
AMTLICHER TEIL

Eisenbahnen**Nr. 181 Bekanntmachung der Ausführungsgrundlagen Magnetschwebebahn**

Für Magnetschwebebahnen in der Bundesrepublik Deutschland mache ich die Ausführungsgrundlagen Magnetschnellbahn, Ausgabe 15. Februar 2007 bekannt. Ihre Regelungen sind bei der Planung, beim Bau und beim Betrieb von Magnetschwebebahnen im Sinne des Allgemeinen Magnetschwebebahngesetzes (AMbG) zu berücksichtigen.

Das Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften (RL 98/34/EG, geändert durch RL 98/48/EG) wurde für die Ausführungsgrundlagen Magnetschnellbahn durchgeführt.

Die Dokumente stehen auf der Homepage des Eisenbahn-Bundesamtes (http://www.eisenbahn-bundesamt.de/aktuelles/msb_dok.htm) zum Download bereit.

Bonn, den 23. Oktober 2007

Eisenbahn-Bundesamt
Im Auftrag
Rebentisch

(VkBli. 2007 S. 692)

Ausführungsgrundlagen Magnetschnellbahn (MSB)

Informationen

Einleitung

Technische Systeme werden auf der Grundlage von allgemein anerkannten Regeln der Technik entwickelt, realisiert, genehmigt und betrieben. Für Magnetschnellbahnen existierte bisher kein geschlossenes Regelwerk. Daher sind die aus Entwicklung, Erprobung, Genehmigung und Betrieb abgeleiteten allgemein gültigen Grundlagen für ein Magnetschnellbahn-System zusammengefasst worden.

Dabei wurden projektunabhängige Ausführungsgrundlagen für Magnetschnellbahnen und deren einzelne Teilsysteme erarbeitet. Das Eisenbahn-Bundesamt beabsichtigt, diese Dokumentation als „Regeln der Technik“ im Sinne von § 3 Abs. 1 der Magnetschwebbahn-Bau- und Betriebsordnung (MbBO) anzuwenden.

Geltungsbereich

Die Dokumentation gilt für Magnetschwebbahnen in der Bundesrepublik Deutschland gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz (AMbG).

Aufbau der Dokumentation

Die vorliegende Dokumentation legt, vergleichbar einer Grundnorm, projektunabhängig die allgemein anerkannten technischen und betrieblichen Anforderungen an ein Magnetschnellbahn-System fest. Diese bilden die Grundsätze für die Auslegung, die Planung, die Realisierung und den Betrieb von Magnetschnellbahn-Projekten. Ergänzend wird auf bereits bestehende und auf die Magnetschnellbahn anwendbare Regeln der Technik verwiesen.

Bei der Erstellung der vorliegenden Dokumentation wurden die Regelungen gemäß DIN 820 sinngemäß angewendet. Der Verbindlichkeitsgrad der Anforderungen wurde in Anlehnung an DIN 820, Teil 2, E festgelegt und in der Formulierung der Anforderungen jeweils berücksichtigt.

Die Dokumentation umfasst die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten MSB-Ausführungsgrundlagen.

Gesamtsystem

Dok.Nr.

50630	Gesamtsystem (GS)	
67536	GS – Anlage 1	Abkürzungen und Definitionen
67539	GS – Anlage 2	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien
67285	GS – Anlage 3	Umweltbedingungen
69061	GS – Anlage 4	Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung)
72963	GS – Anlage 5	Schall

Fahrzeug

Dok.Nr.

67698	Fahrzeug Teil I	Generelle Anforderungen
67694	Fahrzeug Teil II	Bemessung
67650	Fahrzeug Teil III	Kinematische Begrenzungslinie
73388	Fahrzeug Teil IV	Trag- / Führtechnik
73389	Fahrzeug Teil V	Bremstechnik

Antrieb und Energieversorgung

Dok.Nr.

50998	Antrieb und Energieversorgung	
-----------------------	-------------------------------	--

Betriebsleittechnik

Dok.Nr.

53328	Betriebsleittechnik	
-----------------------	---------------------	--

Fahrweg

Dok.Nr.

57284	Fahrweg Teil I	Übergeordnete Anforderungen
57288	Fahrweg Teil II	Bemessung
41727	Fahrweg Teil III	Geometrie
60640	Fahrweg Teil IV	Trassierung
60641	Fahrweg Teil V	Vermessung
63842	Fahrweg Teil VI	Instandhaltung

Urheberrecht

Das Urheberrecht an der veröffentlichten Dokumentation und sämtlichen Beilagen verbleibt beim jeweiligen Verfasser entsprechend den einschlägigen gesetzlichen Regelungen. Alle Rechte vorbehalten.

Verfahrensstand

Mit der Annahme der Dokumentation durch die einzelnen Fachausschüsse am 15.02.2007 ist der nationale Abstimmungsprozess abgeschlossen.

Informationsverfahren nach Richtlinie 98/34/EG

Nach Abschluss des nationalen Abstimmungsprozesses wird den Erfordernissen gemäß Richtlinie 98/34 nachgekommen.

Veröffentlichung durch das Eisenbahn-Bundesamt

Das Eisenbahn-Bundesamt veröffentlicht die Dokumentation in seiner Funktion als Geschäftsführung der Fachausschüsse Magnetschnellbahn. Für den Inhalt der Dokumentation sind ausschließlich die Fachausschüsse verantwortlich.

Gleichwertigkeitsklausel

Fahrzeuge und Betriebsanlagen aus anderen Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft oder der Türkei oder einem EFTA-Staat, der Vertragspartei des EWR-Abkommens ist, werden ebenfalls zugelassen, wenn dasselbe Niveau für die Verkehrssicherheit gewährleistet wird, das die Ausführungsgrundlagen Magnetschnellbahn beinhaltet.

Hinweis

Die Verpflichtungen aus der Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. EG Nr. L 204 S 37), geändert durch die Richtlinie 98/48/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juli 1998 (ABl. EG Nr. L 217 S 18), sind beachtet worden.

Bearbeitungsstand des Gesamtdokumentes

Stand: 20.06.2007

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem

Dok.-Nr.: 50630 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 1 von 92

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Gesamtsystem zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007; Weißdruck, Fachausschuss Gesamtsystem

3 Inhaltsverzeichnis

1 Verteiler	2
2 Änderungsübersicht	3
3 Inhaltsverzeichnis	4
4 Allgemeines	10
4.1 Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich.....	10
4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen.....	10
4.3 Abkürzungen und Definitionen.....	11
4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien.....	11
4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen.....	11
5 Systemeigenschaften	12
5.1 Funktion.....	12
5.1.1 Transport.....	12
5.1.1.1 Geschwindigkeit.....	12
5.1.1.2 Beschleunigung.....	13
5.1.2 Trassierung.....	13
5.1.2.1 Trassierungsdaten.....	14
5.1.2.2 Dimensionierende Grenzbeschleunigungen.....	17
5.1.2.3 Lichtraumumgrenzung und Streckenquerschnitt.....	17
5.2 Systemstruktur.....	18
5.3 Verfügbarkeit.....	18
5.3.1 Zuverlässigkeit.....	19
5.3.1.1 Ausfallverhalten/Ausfallhäufigkeit aktiver Baugruppen.....	19
5.3.1.2 Ausfallverhalten/Ausfallhäufigkeit von Struktur- und Verkleidungsteilen.....	19
5.3.2 Instandhaltbarkeit.....	19
5.3.2.1 Anforderungen an Baugruppen und Verkabelung.....	19
5.3.2.2 Inspizierbarkeit von Baugruppen.....	20
5.3.3 Instandhaltung.....	20
5.3.3.1 Grundsätzliche Vorgehensweise.....	20
5.3.3.2 Instandsetzung.....	20
5.3.4 Nutzungsdauer.....	21
5.3.5 Bemessung von Einzelteilen und Baugruppen.....	21
5.4 Sicherheit.....	21
5.4.1 Sicherheitskonzept.....	21

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Gesamtsystem

5.4.1.1	Projektspezifische Sicherheitsanforderungen.....	21
5.4.1.2	Projektunabhängige Sicherheitsanforderungen.....	22
5.4.1.2.1	Schutz von Personen.....	22
5.4.1.2.2	Brandschutz.....	23
5.4.1.2.2.1	Brandschutz im Fahrzeug.....	23
5.4.1.2.2.2	Brandschutz in Betriebsanlagen.....	23
5.4.1.2.3	Kollisionen.....	24
5.4.1.2.3.1	Kollisionsvermeidung.....	24
5.4.1.2.3.2	Kollisionsverhalten.....	25
5.4.1.2.3.3	Verlassen des Fahrwegs.....	25
5.4.1.2.4	Außerplanmäßiger Halt.....	25
5.4.1.2.4.1	Streckenbereiche im Anschluss an den Bahnsteigbereich von Stationen.....	26
5.4.1.2.4.2	Betriebshalteplätze (BHPL).....	26
5.4.1.2.5	Antriebsfehlfunktionen.....	27
5.4.1.3	Rettungskonzept.....	28
5.4.2	Sicherheitsnachweis.....	29
5.5	Umwelt.....	29
5.5.1	Einwirkungen aus der Umwelt.....	29
5.5.1.1	Wind.....	29
5.5.1.2	Winter.....	29
5.5.1.3	Elektromagnetische Störgrößen.....	30
5.5.2	Einwirkungen auf die Umwelt.....	30
5.5.2.1	Schall.....	30
5.5.2.2	Magnetische, elektrische und elektromagnetische Störgrößen.....	30
5.6	Fahrkomfort.....	30
5.6.1	Komfortrelevante Aspekte der Trassierung.....	30
5.6.2	Komfortrelevante Schwingungen (RMS-Werte).....	30
5.6.3	Druckschwankungen bei Tunnelfahrten.....	31
6	Systemkonzept/ -Auslegung.....	32
6.1	Teilsysteme.....	32
6.1.1	MSB-Fahrzeug.....	32
6.1.1.1	Struktur.....	32
6.1.1.1.1	Fahrzeugumgrenzung.....	32
6.1.1.1.2	Wagenkasten.....	32
6.1.1.2	Funktionen.....	32
6.1.1.2.1	Tragen und Führen.....	32

6.1.1.2.2	Sichere Bremse.....	33
6.1.1.2.3	Bordenergieversorgung.....	34
6.1.1.3	Konfigurationsparameter.....	34
6.1.1.3.1	Fahrzeugkonfiguration	34
6.1.1.3.2	Fahrwiderstand	35
6.1.1.3.3	Aerodynamik	36
6.1.2	Antrieb und Energieversorgung	37
6.1.2.1	Struktur.....	37
6.1.2.2	Funktionen	37
6.1.2.3	Konfigurationsparameter.....	39
6.1.3	Betriebsleittechnik	41
6.1.3.1	Struktur.....	41
6.1.3.2	Funktionen	41
6.1.3.3	Konfigurationsparameter.....	43
6.1.4	Fahrweg	44
6.1.4.1	Struktur.....	44
6.1.4.2	Funktionen	45
6.1.4.3	Konfigurationsparameter.....	45
6.1.4.3.1	Fahrwegüberbauten	45
6.1.4.3.2	Fahrwegunterbauten	47
6.1.4.3.3	Spurwechseleinrichtungen	47
6.1.4.3.4	Sonderbauwerke	48
6.1.4.3.5	Streckenperipherie	49
6.1.4.3.6	Fahrgaugrüstung	49
6.1.4.3.7	Grenzlinien und Maße für feste Einbauten und Fahrzeuge	53
6.1.4.3.8	Toleranzen, Lageabweichungen.....	53
6.1.5	Sonstige Betriebsanlagen	53
6.1.5.1	Stationen	54
6.1.5.2	Unterwerke	55
6.1.5.3	Betriebszentrale	55
6.1.5.4	Halteplätze	55
6.1.5.5	Instandhaltungsanlagen.....	55
6.1.6	Sonderfahrzeug.....	55
6.2	Schnittstellen und teilsystemübergreifende Funktionen	56
6.2.1	Lasten und Einwirkungen.....	56
6.2.2	Ortung	59
6.2.2.1	Aufgabe und Struktur	59

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Gesamtsystem

6.2.2.2	Funktionale Anforderungen.....	59
6.2.2.3	Konstruktive Anforderungen	60
6.2.2.4	Nachweisführung	61
6.3	Betrieb.....	61
6.3.1	Abgrenzung Betrieb/ Betriebsarten.....	61
6.3.1.1	Definition Betrieb.....	61
6.3.1.2	Definition Betriebsarten.....	61
6.3.1.3	Grundsätze für die Anwendung der Betriebsarten.....	62
6.3.2	Betriebliche Funktionen und Abläufe	62
6.3.2.1	Fahrtvorgaben und Überwachung des Betriebs	62
6.3.2.2	Abfahrt von einer Station im Normalbetrieb.....	63
6.3.2.3	Anfahrt zu einer Station im Normalbetrieb.....	63
6.3.2.4	Auf- und Abrüsten von MSB-Fahrzeugen.....	63
6.3.2.5	Abwicklung von Zwangshalten von MSB-Fahrzeugen	63
6.3.2.6	Randbedingungen zum Bewegen der Sonderfahrzeuge.....	63
7	Qualitätsmanagement.....	65
8	Abbildungen	66
8.1	Dokumentenbaum.....	66
8.2	Systemstruktur und Koordinatensystem	67
8.3	MSB-Fahrzeugsektionen für Personentransport.....	70
8.4	Trag-/ Führsystem.....	73
8.5	Bremskennlinie sichere Bremse	74
8.6	Fahrwiderstand	75
8.7	Druckeinwirkung (außerhalb von Tunneln).....	76
8.8	Struktur der Energieversorgung.....	77
8.9	Struktur und Funktionen des Antriebs.....	78
8.10	Struktur und Funktionen der Betriebsleittechnik	79
8.11	Struktur der Ortung	81
8.12	Aufgeständerter Fahrweg.....	81
8.13	Ebenerdiger Fahrweg.....	82
8.14	Trägermaß.....	82
8.15	Fahrwegausrüstung und Funktionsebenen.....	83
8.16	Statorpaketanordnung.....	84
8.17	Langstatorwicklung	84
8.18	Spurwechseleinrichtungen.....	85
8.19	Schutzbauwerke.....	88

8.20	Streckenperipherie	90
9	Anhang: Magnetschnellbahn-Systemdaten	92
Abbildungsverzeichnis		
Abbildung 1:	Dokumentenbaum Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen.....	66
Abbildung 2:	Systemstruktur	67
Abbildung 3:	Koordinatensystem.....	67
Abbildung 4:	Koordinatensystem und Fahrtrichtung	68
Abbildung 5:	Zuordnung Wicklungsstränge, Referenzort, Erregerpole	69
Abbildung 6:	Fahrzeugsektionen für Personentransport Fernverkehr (Beispiel).....	70
Abbildung 7:	Fahrzeug-Endsektionen für Personentransport Flughafenanbinder (Beispiel) .	71
Abbildung 8:	Fahrzeug-Mittelsektionen für Personentransport Flughafenanbinder (Beispiel)	72
Abbildung 9:	Trag-/ Führsystem (Beispiel)	73
Abbildung 10:	Bremskennlinie sichere Bremse für eine MSB-Fahrzeugsektion	74
Abbildung 11:	Fahrwiderstand (Flughafenanbinder - Planungsstand 2006)	75
Abbildung 12:	Druckeinwirkung bei Vorbeifahrt eines MSB-Fahrzeugs (außerhalb von Tunneln) (Flughafenanbinder - Planungsstand 2006)	76
Abbildung 13:	Struktur der Energieversorgung (Beispiel)	77
Abbildung 14:	Struktur des Antriebs (Beispiel).....	78
Abbildung 15:	Funktionen des Antriebs.....	78
Abbildung 16:	Einordnung und Schnittstellen der BLT	79
Abbildung 17:	Betriebsleittechnische Funktionen und Datenflüsse.....	80
Abbildung 18:	Struktur der Ortung (Beispiel).....	81
Abbildung 19:	Aufgeständerter Fahrweg (Beispiel).....	81
Abbildung 20:	Ebenerdiger Fahrweg (Beispiel).....	82
Abbildung 21:	Trägermaß - Zusammenhang Bauteillänge/ Systemlänge	82
Abbildung 22:	Funktionselemente, -ebenen und Einbauräume am Fahrweg, Abmessungen (Nennmaße).....	83
Abbildung 23:	Statorpaketanordnung (Beispiel).....	84
Abbildung 24:	Langstatorwicklung (Beispiel).....	84
Abbildung 25:	Weiche (Beispiel)	85
Abbildung 26:	Schiebebühne (Beispiel)	86
Abbildung 27:	Schwenkbühne (Beispiel).....	87
Abbildung 28:	Schallschutzwand und Schutzzaun am ebenerdigen Fahrweg (Beispiel).....	88
Abbildung 29:	Schallschutzwand am aufgeständerten Fahrweg (Beispiel).....	89
Abbildung 30:	Streckenperipherie bei ebenerdigem Fahrweg (Beispiel)	90
Abbildung 31:	Streckenperipherie bei aufgeständertem Fahrweg (Beispiel)	91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Trassierungsdaten Halteplätze	14
Tabelle 2: Trassierungsdaten allgemein	15
Tabelle 3: Abhängigkeit $R_{xz, \min}$ von der Verwindung α'	15
Tabelle 4: Übersicht der minimalen Vertikalradien $R_{V\min}$ und Horizontalradien R_H	16
Tabelle 5: Geschwindigkeitsabhängiger Spurmittenabstand	17
Tabelle 6: Definition der Einwirkungsbedingungen A / B	58
Tabelle 7: Einwirkungen an den Schnittstellen Fahrzeug - Fahrweg	59

4 Allgemeines

4.1 Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich

Das vorliegende Dokument legt projektunabhängig die technischen und betrieblichen Mindestanforderungen an ein Magnetschnellbahn-System (MSB-System) fest. Diese bilden die Grundlage für die Auslegung, die Planung, die Realisierung und den Betrieb von Magnetschnellbahn-Projekten. Ergänzend wird auf bereits bestehende und auf die Magnetschnellbahn anwendbare Normen und Richtlinien verwiesen.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentenbaum ist in Abbildung 1 dargestellt. Die vorliegende übergeordnete Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation.

Die Dokumentation besteht aus der vorliegenden

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, mit den Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

sowie den nachgeordneten, mitgeltenden Dokumenten:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil I: Generelle Anforderungen, Dok.-Nr: 67698, /MSB AG-FZ GEN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil II: Bemessung, Dok.-Nr: 67694, /MSB AG-FZ BEM/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil III: Kinematische Begrenzungslinie, Dok.-Nr: 67650, /MSB AG-FZ KIN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil IV: Trag- /Führtechnik, Dok.-Nr: 73388, /MSB AG-FZ TRAFÜ/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil V: Bremstechnik, Dok.-Nr: 73389, /MSB AG-FZ BREMS/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Antrieb und Energieversorgung, Dok.-Nr: 50998, /MSB AG-ANT/

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Gesamtsystem

Dok.-Nr.: 50630 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 10 von 92

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Betriebsleittechnik, Dok.-Nr: 53328, /MSB AG-BLT/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil I: Übergeordnete Anforderungen, Dok.-Nr: 57284, /MSB AG-FW ÜBG/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil II: Bemessung, Dok.-Nr: 57288, /MSB AG-FW BEM/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil III: Geometrie, Dok.-Nr: 41727, /MSB AG-FW GEO/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil IV: Trassierung, Dok.-Nr: 60640, /MSB AG-FW TRAS/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil V: Vermessung, Dok.-Nr: 60641, /MSB AG-FW VERM/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil VI: Instandhaltung, Dok.-Nr: 63842, /MSB AG-FW IH/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokuments sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in *Kursiv-Schrift*

gekennzeichnet.

Der Verbindlichkeitsgrad der Anforderungen wurde in Anlehnung an /DIN 820/, Teil 2, Anhang G festgelegt und in der Formulierung der Anforderungen jeweils berücksichtigt.

5 Systemeigenschaften

Das Koordinatensystem, die Fahrtrichtung und die Zuordnung zwischen Referenzorten, Wicklungssträngen und Erregerpolen sind in Abb. Abbildung 3, Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt.

5.1 Funktion

Die Magnetschnellbahn ist als spurgeführtes Verkehrssystem für den Personenverkehr und / oder Güterverkehr auszuführen und muss folgende Merkmale aufweisen:

- berührungslose Trag-/Führefunktion durch geregelte Elektromagnete (Elektromagnetische Schwebetechnik, EMS), Kap. 6.1.1.2.1,
- berührungslose Antriebs- und Bremsfunktion durch synchronen Langstatorantrieb, Umformung der geregelten Traktionsleistung in stationären Anlagen, Kap. 6.1.2.2,
- berührungslose Bordenergieversorgung der MSB-Fahrzeuge oberhalb einer projektspezifisch festzulegenden Geschwindigkeit, bei der der Bordenergiebedarf vollständig gedeckt wird, Kap. 6.1.1.2.3,
- vollständig technisch gesicherter und automatisch gesteuerter Fahrbetrieb, Kap. 6.1.3.2,
- aufgeständerter oder ebenerdiger Fahrweg, Kap. 6.1.4.3.1.

Die Geometrie des Fahrwegs und die Geometrie der Einrichtungen zum Tragen und Führen der Fahrzeuge müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass bei den jeweils zulässigen Geschwindigkeiten und Trassierungsparametern, auch unter Ausnutzung der zulässigen Toleranzen der Bauteile, die Spurführung gewährleistet wird.

An der Schnittstelle zwischen dem Fahrweg und den Einrichtungen zum Tragen, Führen, Antreiben und Bremsen in den Fahrzeugen müssen die auftretenden Kräfte - auch im Fehlerfall - sicher aufgenommen und übertragen werden.

5.1.1 Transport

5.1.1.1 Geschwindigkeit

Die Fahrzeughöchstgeschwindigkeit, die Fahrweghöchstgeschwindigkeit und die Tunnelhöchstgeschwindigkeit müssen projektspezifisch bestimmt werden. (s. Kap. 9).

Typische Werte für Fahrzeug- und Fahrweghöchstgeschwindigkeit:

- für Fernverkehr 400-500 km/h
- für Flughafenbinder 300-400 km/h.

Aus Fahrzeughöchstgeschwindigkeit, Fahrweghöchstgeschwindigkeit und Tunnelhöchstgeschwindigkeit muss die Streckenhöchstgeschwindigkeit abgeleitet werden.

Die Fahrzeughöchstgeschwindigkeit muss bei der Bemessung für das MSB-Fahrzeug zugrunde gelegt werden.

Die Fahrweghöchstgeschwindigkeit muss bei der Bemessung für den Fahrweg zugrunde gelegt werden.

Die technische Höchstgeschwindigkeit kann projektspezifisch festgelegt werden.

Fahrten im Geschwindigkeitsbereich oberhalb der Streckenhöchstgeschwindigkeit bis zur technischen Höchstgeschwindigkeit können unter Nutzung von Reserven in der Dimensionierung nur nach Prüfung und Genehmigung in jedem Einzelfall durchgeführt werden.

Bei der Projektierung wird die für den Fahrbetrieb erforderliche ortsabhängige Sollgeschwindigkeit unter betrieblichen und wirtschaftlichen Aspekten ermittelt und durch die Systemkonfiguration realisiert.

Zur den Definitionen und den Beziehungen der Geschwindigkeiten zueinander s.a. /MSB AG-ABK&DEF/, Kap. 5.

5.1.1.2 Beschleunigung

§ 13, (5) /MbBO/ muss berücksichtigt werden.

Diese Anforderung wird wie folgt ausgeführt:

Die anfahr- und bremsbedingte Beschleunigung eines Fahrzeugs darf $1,5 \text{ m/s}^2$ nicht überschreiten.

Die Berücksichtigung von außergewöhnlichen Einwirkungen richtet sich nach den Festlegungen in Kapitel 6.2.1.

Die mittlere und maximale Antriebsbeschleunigung sollte projektspezifisch ortsabhängig und unter betrieblichen und wirtschaftlichen Aspekten festgelegt werden.

Die betrieblich nutzbare Bremsverzögerung wird begrenzt durch das Bremsvermögen der Sicheren Bremse, durch den Fahrwiderstand und durch das von der BLT überwachte Maximalfahrprofil.

Anforderungen an die Beschleunigung in y- und z-Richtung s. Kap. 5.1.2.1.

5.1.2 Trassierung

§ 13, (1) und § 13, (7) /MbBO/ müssen berücksichtigt werden.

5.1.2.1 Trassierungsdaten

§ 13, (2); § 13, (3); § 13, (4) und § 13, (6) /MbBO/ müssen berücksichtigt werden.

Darüber hinaus sollten folgende Werte eingehalten werden:

	Werte	Kriterium
Bahnsteigbereich		Planmäßiger Halt
Querneigung *	$\leq 3,0^\circ$	Rollstuhlfahrer, Sturzrisiko bei Ein- und Ausstieg
Längsneigung	$\leq 5\text{‰}$	
Betriebshalteplatz für betrieblich bedingten Halt		Außerplanmäßiger Halt , z.B. bei betrieblichen oder technischen Störungen
Querneigung	$\leq 6^\circ$	Rollstuhlfahrer, Sturzrisiko
Längsneigung	$\leq 100\text{‰}$ gemäß Nachweis der Haltefunktion	Haltefunktion
Sonstige Betriebshalteplätze		Außerplanmäßiger seltener Halt , im Wesentlichen bei technischen Störungen
Querneigung	$\leq 12^\circ$	
Längsneigung	$\leq 100\text{‰}$ gemäß Nachweis der Haltefunktion	Haltefunktion
Evakuierungshalteplätze		Außerplanmäßiger seltener Halt , in Notfällen
Querneigung **)	$\leq 6^\circ$	Möglichkeit zu Evakuierung
Längsneigung **)	$\leq 5\text{‰}$	
Freie Strecke, außerhalb von Halteplätzen		Außerplanmäßiger Halt bei außergewöhnlichen und sehr seltenen Störsituationen
Querneigung	$\leq 12^\circ$ in Sonderfällen bis 16°	Nutzbarkeit für Trassierung
Längsneigung	$\leq 100\text{‰}$	Nutzbarkeit für Trassierung

*) in /MbBO/ § 13 (3) ist die zulässige Querneigung im stehenden Fahrzeug im Bahnsteigbereich auf $3,4^\circ$ begrenzt. Daraus abgeleitet ergibt sich die max. zulässige Querneigung von $3,0^\circ$ für die Trassierung.

**) Werte gelten für den Bahnsteig- bzw. Stegbereich innerhalb von Evakuierungshalteplätzen; außerhalb gelten die Werte für sonstige Betriebshalteplätze.

Tabelle 1: Trassierungsdaten Halteplätze

Merkmal	Bereich	Kriterium für Maximalwert
Verwindung	$\leq 0,10^\circ/\text{m}$, in Sonderfällen bis $0,15^\circ/\text{m}$ *)	Kinematik des MSB-Fahrzeugs
Seiten- und Vertikalruck		
• grundsätzlich	$\leq 0,5 \text{ m/s}^3$	Komfort
• als Ausnahme z. B. in Stationsnähe	$\leq 1 \text{ m/s}^3$	Komfort
• auf Weichen bei Abzweig	$\leq 2 \text{ m/s}^3$	Komfort
Omnidirektionaler Ruck (nicht bei Weichen)	$\leq 1 \text{ m/s}^3$	Komfort

*) Querneigung $> 12^\circ$ und Verwindung $> 0,10^\circ/\text{m}$ nur an Zwangspunkten der Trassierung nach Prüfung und Genehmigung in jedem Einzelfall.

Tabelle 2: Trassierungsdaten allgemein

Weiterhin müssen bei Überlagerung von Horizontalradien und Vertikalradien die folgenden Werte als Mindestradius eingehalten werden:

$$\frac{1}{R_{x,z}} = \left| \frac{\cos \alpha}{R_v} - \frac{\sin \alpha * \cos^2 \beta}{R_H} \right|$$

β Längsneigungswinkel, positiv bei Steigung, negativ bei Gefälle

α Querneigung, positiv bei Rechtsdrehung, negativ bei Linksdrehung (in Richtung aufsteigender Kilometrierung)

R_H Horizontalradius

R_v Vertikalradius, positiv bei Kuppe, negativ bei Wanne

α' [°/m]	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
$R_{x,z \text{ min}}$ [m]	530	550	590	630	670	710	770	830	900	990	1.100	1.230	1.410	1.640	1.950	2.430

Tabelle 3: Abhängigkeit $R_{x,z \text{ min}}$ von der Verwindung α'

Unter Berücksichtigung des $R_{x,z}$ - Kriteriums ergibt sich ein minimaler Vertikalradius $R_{v \text{ min}}$ bei Querneigung α des Fahrwegs und Horizontalradius R_H gemäß nachfolgender Tabelle:

R_{Vmin} [m] bei	$R_H=350$	$R_H=400$	$R_H=500$	$R_H=600$	$R_H=700$	$R_H=800$	$R_H=1.000$	$R_H=2.000$
$\alpha = 0^\circ$	± 1300	± 1020	± 780	± 670	± 620	± 580	± 530	± 530
$\alpha = 4^\circ$	-1760/ 1040	-1230/ 860	-870/ 700	-730/ 620	-650/ 580	-610/ 550	-550/ 530	-540/ 530
$\alpha = 8^\circ$	-2590/ 840	-1530/ 740	-970/ 630	-780/ 580	-690/ 530	-630/ 530	-570/ 530	-550/ 530
$\alpha = 12^\circ$	-4710/ 700	-1980/ 640	-1090/ 570	-840/ 530	-720/ 530	-660/ 530	-580/ 530	-550/ 530
$\alpha = 16^\circ (*)$	-21900/ 600	-2740/ 560	-1230/ 530	-900/ 530	-760/ 530	-680/ 530	-590/ 530	-550/ 530

(*) Zulassung im Einzelfall durch die zuständige Aufsichtsbehörde erforderlich

Tabelle 4: Übersicht der minimalen Vertikalradien R_{Vmin} und Horizontalradien R_H

In Streckenbereichen für Fahrgastbetrieb müssen Übergangsbögen wie folgt ausgeführt werden:

- horizontal: Sinusoiden
- Weichen in Abzweigposition: Klothoiden (näherungsweise)

In Streckenbereichen ohne Fahrgastbetrieb können auch abweichende Übergangsbögen festgelegt werden, z. B. für Weichen in Instandhaltungsanlagen.

- vertikal: Klothoiden

Vorgaben bzgl. niederfrequenter Beschleunigungsänderungen durch Abfolge von Trassierungselementen sind in /MSB AG-FW TRAS/ enthalten.

Bei der Trassierung und Festlegung der Stützenteilung müssen die Anforderungen des Langstatorantriebs hinsichtlich der Länge in der Raumkurve berücksichtigt werden.

Anforderungen des synchronen Langstatorantriebs ergeben sich z. B. aus der Polteilung.

Das Koordinatensystem und Teilstrecken der Trassierung, sowie die räumliche Zuordnung der Langstatorwicklung sind in Abb. 4 und Abb. 5 grundsätzlich dargestellt.

Die Trassierungsanforderungen sind in /MSB AG-FW TRAS/ weiter detailliert. Dort ist ebenfalls die Abfolge der Trassierungselemente (Kurven, Kuppen, Wannen) geregelt.

5.1.2.2 Dimensionierende Grenzbeschleunigungen

Die freie Seitenbeschleunigung (lateral zum Fahrwegtisch) darf die folgenden Werte nicht überschreiten:

- Regelfahrweg 1,5 m/s²
- Weichen 2,0 m/s².

Die freie fahrdynamische Normalbeschleunigung (normal zum Fahrwegtisch) darf die folgenden Werte nicht überschreiten:

- Kuppe 0,6 m/s²
- Wanne 1,2 m/s².

Die im Normalbetrieb unter Komfortgesichtspunkten einzuhaltenden Seiten- und Vertikalbeschleunigungen sollten projektspezifisch festgelegt werden.

5.1.2.3 Lichtraumumgrenzung und Streckenquerschnitt

Der Regelquerschnitt ist projektspezifisch festzulegen. Hierbei sind neben der Lichtraumumgrenzung gemäß /MbBO/ insbesondere auch die Aspekte der Instandhaltung und der Sicherheit zu berücksichtigen.

Lichtraum, Spurmittenabstand

Für die Lichtraumumgrenzungen des Ein- und Doppelspurfahrweges siehe /MSB AG-FW TRAS/.

Es müssen die Werte gemäß Tabelle 5 eingehalten werden.

	Einheit	Entwurfsgeschwindigkeit v_e				
		Abk. [km/h]	≤ 300	$\leq 300^{*)}$	$300 < v_e \leq 400$	$400 < v_e \leq 500$
Spurmittenabstand	S [m]		4,40	4,50	4,80	5,10
Breite des Streckenquerschnitts ^{**)}	b [m]		10,10	10,20	10,50	11,40

*) für Sonderbedingungen: $10^\circ < \alpha$ oder
 $5^\circ < \alpha \leq 10^\circ$ und $RH \leq 3.500$ m

***) Angaben für $\alpha = 0^\circ$. Die angegebenen Werte berücksichtigen die Freiraumbedingungen für Kurvenradien und Fahrwegquerneigung mit den o.g. Grenzwerten, d.h. keine Vergrößerung des Spurmittenabstands in Kurven.

Tabelle 5: Geschwindigkeitsabhängiger Spurmittenabstand

5.2 Systemstruktur

§ 2, (2) und § 2, (3) /MbBO/ müssen berücksichtigt werden.

Im Rahmen dieser Ausführungsgrundlagen wird abweichend von der Bezeichnung in der /MbBO/ das MSB-System in Teilsysteme untergliedert (siehe Abbildung 2):

- *MSB-Fahrzeug*
- *Antrieb und Energieversorgung*
- *Betriebsleittechnik*
- *Fahrweg*
- *Sonstige Betriebsanlagen*
- *Sonderfahrzeug.*

5.3 Verfügbarkeit

Um eine hohe Systemverfügbarkeit zu erreichen, muss das Gesamtsystem folgende Merkmale aufweisen:

- betriebsfest dimensionierter Fahrweg, keine bleibenden Geometrie- oder Oberflächenveränderungen der Fahrwegträger infolge definierter Betriebs- und Umwelteinwirkung, Nachjustierbarkeit der Fahrwegträgerlage zur Kompensation plastischer Baugrundverformungen,
- Realisierung der betriebsnotwendigen aktiven Funktionen weitgehend modular durch autonome, redundante Baugruppen,
- Fortführung des Fahrplanbetriebs nach Einzelfehler in einer beliebigen mobilen oder stationären Baugruppe,
- weitgehend zustandsorientierte Instandhaltung auf Basis selbsttätiger Ausfalloffenbarung bei elektrischen/elektronischen Baugruppen,
- automatisierte Erkennung von signifikanten Lageabweichungen bei den Fahrweg-Funktionsflächen und weitgehend automatisierte Auslösung von Instandhaltungsmaßnahmen,
- Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen mit geringstmöglichem Einfluss auf den Fahrbetrieb.

Die quantitativen Anforderungen an die Systemverfügbarkeit sollten projektspezifisch festgelegt werden.

Die Systemverfügbarkeit sollte in jedem Projekt ermittelt werden.

Dabei kann z.B. eine Fehlerbaumanalyse verwendet werden.

Die Systemauslegung muss so erfolgen, dass:

- der Fahrbetrieb gemäß Kap. 6.3.2 gesichert ist,
- die geforderte Verfügbarkeit durch hohe Baugruppenzuverlässigkeit oder durch Redundanz oder durch beides erreicht wird,
- zwischen zwei Stationen MSB-Fahrzeuge nicht infolge technischer Einzelfehler anhalten müssen,

- bei einer verfügbarkeitsrelevanten Störung der Zug noch zur Instandhaltungsanlage überführt werden kann.

Es muss berücksichtigt werden, dass MSB-Fahrzeuge nicht abgeschleppt werden können.

5.3.1 Zuverlässigkeit

5.3.1.1 Ausfallverhalten/Ausfallhäufigkeit aktiver Baugruppen

Bei Ausfall einer betriebsrelevanten aktiven Baugruppe

- muss eine redundante Baugruppe die Funktion übernehmen,
- muss eine selbsttätige Ausfalloffenbarung erfolgen,
- kann eine selbsttätige Prüfung und Reaktivierung unter Einhaltung des sicheren Zustands während und nach der Reaktivierung erfolgen, sobald die Ausfallursache nicht mehr vorliegt.

Für betriebsrelevante aktive Baugruppen müssen die MTBF-Werte ermittelt werden.

5.3.1.2 Ausfallverhalten/Ausfallhäufigkeit von Struktur- und Verkleidungsteilen

Strukturteile von Fahrzeug und Fahrweg sowie Fahrzeug-Verkleidungsteile müssen tragfähig, standsicher und gebrauchstauglich sein.

Die daraus resultierenden Anforderungen an Ausführung/Werkstoffwahl und Nachweise enthalten die Ausführungsgrundlagen Fahrzeug/Fahrweg.

Die bei der Bemessung zu berücksichtigenden Einwirkungen enthalten /MSB AG-FZ BEM/ und /MSB AG-FW BEM/.

5.3.2 Instandhaltbarkeit

Vorgaben für die Instandhaltbarkeit werden in den Ausführungsgrundlagen der einzelnen Teilsysteme gemacht. Nachfolgend sind grundsätzliche Anforderungen aufgeführt.

5.3.2.1 Anforderungen an Baugruppen und Verkabelung

Elektrische und mechanische Baugruppen sollten, soweit wirtschaftlich sinnvoll, in ihrer Lebensdauer auf die Nutzungsdauer des jeweiligen Teilsystems ausgelegt werden.

Baugruppen, deren Lebensdauer kleiner als die Nutzungsdauer der Teilsysteme sind, sollten leicht zugänglich und tauschbar sein.

Beim Austausch von Baugruppen sollten keine Anpassungs- und Nacharbeiten erforderlich sein.

Prüf- und Justagemaßnahmen nach dem Austauschvorgang sollten durch entsprechende Auslegung der Baugruppen weitestgehend vermieden werden (z.B. Autokalibrierung, Selbsttest etc.).

Durch konstruktive Maßnahmen sollte die Möglichkeit für das Entstehen von Montagefehlern weitestgehend ausgeschlossen werden. Bei Steckverbindungen, die sicherheitsrelevante Signale führen, ist durch geeignete technische Maßnahmen (z.B. Steckplatzkodierung) sicherzustellen, dass diese nur an ihrem vorgesehenen Ort / Gerät / Baugruppe aufgesteckt werden können.

Baugruppen, Kabel und Leitungen müssen eindeutig, dauerhaft, übersichtlich und systematisch gekennzeichnet sein. Version und ggf. implementierter Softwarestand einer Baugruppe muss aus deren Bezeichnung eindeutig hervorgehen.

Für die Einbauorte der Baugruppen muss eine systematische Kennzeichnung festgelegt werden.

Ausfälle müssen durch automatische Diagnoseeinrichtungen und / oder durch planmäßige Inspektionen offenbart werden können.

5.3.2.2 Inspizierbarkeit von Baugruppen

Baugruppen, die gemäß Instandhaltungsprogramm zu inspizieren sind, müssen für eine Inspektion zugänglich sein.

5.3.3 Instandhaltung

§ 8, (1) § 8, (2) § 8, (3) der /MbBO/ müssen beachtet werden.

Anforderungen an Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung) sind in /MSB AG-BTR/ definiert.

Die Instandhaltung muss entsprechend /DIN 31051/ erfolgen.

Die Integration der Instandhaltung in den Betrieb und die Verzahnung der Instandhaltung mit dem Fahrbetrieb müssen projektspezifisch festgelegt werden.

Es muss projektspezifisch ein Instandhaltungskonzept erstellt werden.

5.3.3.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

Zu den spezifizierten Instandhaltungsmaßnahmen muss eine Anleitung für deren Ausführung vorliegen, die Prüfprotokolle/Checklisten zur Dokumentation der Ergebnisse enthalten sollte.

Die Instandhaltung der Teilsysteme muss in die Instandhaltung des Gesamtsystems integriert werden. In diesem Rahmen ist ein Instandhaltungshandbuch (IHB) zu erstellen.

Die MSB-Teilsysteme können in geeignete Betrachtungseinheiten eingeteilt werden, in denen dann jeweils standardisierte Instandhaltungsprozeduren durchgeführt werden können.

Die Wirksamkeit und Angemessenheit der Maßnahmen muss auf Grundlage der dokumentierten Ereignisse regelmäßig überprüft werden.

Zu diesem Zweck und zum Zweck der Unterstützung des Instandhaltungsmanagements müssen geeignete Informationssysteme realisiert werden.

Die Instandhaltung muss einem Qualitätsmanagement vergleichbar /DIN EN ISO 9000/ unterliegen.

5.3.3.2 Instandsetzung

Die Instandsetzung sollte durch Tausch von Baugruppen oder auf Basis projektspezifisch zu definierender kleinster tauschbarer Einheiten durchgeführt werden.

Jede Baugruppe bzw. kleinste tauschbare Einheit muss für sich tausch- und prüfbar sein.

Der Lebensweg von getauschten / instandgesetzten Baugruppen / kleinster tauschbarer Einheiten muss zusammen mit der Angabe der Fehlerbeschreibung, der Fehlerursache und

durchgeführter Reparaturmaßnahme (ggf. Ersatz durch Neuteil) eindeutig und nachvollziehbar dokumentiert werden.

5.3.4 Nutzungsdauer

Die Nutzungsdauern der Teilsysteme und Komponenten müssen projektspezifisch festgelegt werden.

Das Gesamtsystem muss bei spezifikationsgemäßer Nutzung (Fahrbetrieb und Instandhaltung) während der Nutzungsdauer die spezifizierten Anforderungen erfüllen.

5.3.5 Bemessung von Einzelteilen und Baugruppen

Mechanische/ bauliche Einzelteile/ Baugruppen müssen

- nach den Kriterien Standsicherheit/ Lastaufnahmefähigkeit und
- Gebrauchstauglichkeit

dimensioniert und nachgewiesen werden auf Basis

- der maximalen Einwirkungen aus Betrieb und Umwelt gemäß /MSB AG-UMWELT/ und
- des im vorliegenden Dokument spezifizierten Parameterraums und des Ausfallverhaltens.

Die dimensionierenden Einwirkungskombinationen und Beanspruchungen werden in /MSB AG-FZ BEM/ und /MSB AG-FW BEM/ festgelegt.

Für die Ermittlung der Betriebsfestigkeit und Prognose der Lebensdauer von Einzelteilen / Baugruppen werden in /MSB AG-FZ BEM/ und /MSB AG-FW BEM/ die zugrundezulegenden Einwirkungen aus Betrieb und Umwelt festgelegt.

Die teilsystemübergreifenden Grenzwerte, welche der Bemessung zugrunde zu legen sind, sind dem Kapitel 9 zu entnehmen.

5.4 Sicherheit

5.4.1 Sicherheitskonzept

5.4.1.1 Projektspezifische Sicherheitsanforderungen

§ 23, (1) und § 23, (2) /MbBO/ müssen berücksichtigt werden.

Ausgestaltungshinweise ergeben sich aus der amtlichen Begründung zu § 23 /MbBO/.

Projektspezifisch muss ein Sicherheitskonzept in Anlehnung an /EN 50126/ erstellt werden.

Das Sicherheitskonzept muss auf Grundlage der in den Ausführungsgrundlagen (s. Abbildung 1) spezifizierten sicherheitsrelevanten Anforderungen und Merkmale des MSB - Systems die projektspezifischen Gefährdungen analysieren und bewerten, sowie risikoreduzierende Maßnahmen (technisch, baulich, betrieblich und organisatorisch) festlegen.

In dem Sicherheitskonzept müssen projektspezifisch Sicherheitsziele und ein Risikoakzeptanzkriterium festgelegt werden.

Die projektspezifische Analyse und Bewertung der Gefährdungen kann im Rahmen einer Risikoanalyse gemäß /EN 50126/ erfolgen.

Methodische Hinweise finden sich in /prEN 50126-2/ und /prR009-004/.

Die risikoreduzierenden Maßnahmen können in einem Maßnahmenkatalog oder -liste beschrieben werden.

Die Vorgaben an das Rettungskonzept, insbesondere Vorgehensweisen, Entscheidungskriterien und Zuständigkeiten müssen im Sicherheitskonzept projektspezifisch festlegen werden.

Risikoanalyse, Gefährdungsliste, Maßnahmenkatalog und Rettungskonzept können Bestandteile des projektspezifischen Sicherheitskonzepts sein.

Risikoanalyse, Gefährdungsliste, Maßnahmenkatalog und Rettungskonzept müssen projektspezifisch aufeinander abgestimmt sein.

Die Einhaltung der höchstzulässigen Anzahl von Personen im MSB-Fahrzeug muss im Sicherheitskonzept dargelegt werden.

Das verbleibende Risiko sollte das festgelegte Risikoakzeptanzkriterium nicht überschreiten.

5.4.1.2 Projektunabhängige Sicherheitsanforderungen

Die in den nachfolgenden Unterkapiteln aufgeführten Anforderungen stellen gesonderte Anforderungen zu einzelnen Risikoaspekten dar, die nicht der projektspezifischen Festlegung vorbehalten sind.

Sie ersetzen nicht die systematische und projektspezifische Analyse und Bewertung aller Risiken.

Die Sicherheitsanforderungen an die Funktionen müssen aus der Risikoanalyse abgeleitet werden.

Sicherheitsrelevante Funktionen müssen nach den CENELEC-Normen nachgewiesen werden (/ DIN EN 50126/, / DIN EN 50128/ und /DIN EN 50129/).

Die Komponenten und Baugruppen, die zur Erfüllung dieser Funktionen eingesetzt werden, sind nach den produktspezifischen Normen (z. B. übergeordnet /DIN EN 61508-1/) nachzuweisen.

Weitere Anforderungen an sicherheitsrelevante Funktionen sind beschrieben in

- *Kap. 6.1 sowie in den Ausführungsgrundlagen der Teilsysteme, siehe Abbildung 1 und*
- *Kap. 6.3.2 an die Sicherung des Fahrbetriebs.*

5.4.1.2.1 Schutz von Personen

Ausführungsmerkmale

- *zum Brandschutz sind in Kap. 5.4.1.2.2,*
- *zum Schutz von Personen im MSB-Fahrzeug sind in /MSB AG-FZ GEN/,*
- *zum Schutz von Personen am Bahnsteig sind in Kap. 6.1.5.1 dargelegt.*

Die Schutzwirkung gegen eine Personengefährdung durch elektrostatische Aufladung der Außenhaut des MSB-Fahrzeugs gemäß /MbBO/ § 17, (4) muss nachgewiesen werden.

Spezifische Maßnahmen zum Arbeitsschutz des Instandhaltungspersonals müssen projektspezifisch festgelegt werden.

Für Arbeiten im Gefahrenbereich des Fahrwegs (vom Sonderfahrzeug aus oder unabhängig davon), z. B. Instandhaltung oder Vegetationskontrolle, muss die Sicherung der betreffenden Personen projektspezifisch festgelegt werden. Der Gefahrenbereich ist projektspezifisch festzulegen.

Die Sicherung bei Arbeiten im Gefahrenbereich des Fahrwegs muss so erfolgen, dass Fahrten, die die betreffenden Personen gefährden können, ausgeschlossen werden. Der betroffene Streckenabschnitt muss vor Beginn der Arbeiten gesperrt werden und darf erst nach Abschluss der Arbeiten freigemeldet werden. Diese Freimeldung ist eine Voraussetzung zur Erteilung einer Fahrtfreigabe für den entsprechenden Streckenabschnitt.

Wenn während der Durchführung der Arbeiten Fahrbetrieb mit MSB-Fahrzeugen stattfinden soll, muss es möglich sein, Streckenabschnitte mittels technischer Einrichtungen durch die für die Arbeiten verantwortliche Person zu sperren und wieder freizugeben.

Bei Arbeiten am Fahrweg muss eine kollektive Absturzsicherung vorgesehen werden.

Weitere Sicherheitsmaßnahmen zum Schutz von Personen können projektspezifisch definiert werden.

5.4.1.2.2 Brandschutz

Projektspezifisch müssen Brandschutzkonzepte festgelegt werden.

Brandmeldungen müssen in der Betriebszentrale gemeldet werden.

Anforderungen an die Übertragung von Brandmeldungen müssen aus dem projektspezifischen Sicherheitskonzept abgeleitet werden.

Aus dem Brandschutzkonzept können Beschränkungen für den Transport von Gepäck und Gütern folgen.

5.4.1.2.2.1 Brandschutz im Fahrzeug

Die brandschutztechnischen Anforderungen an MSB-Fahrzeuge sind in /MSB AG-FZ GEN/ beschrieben.

Die brandschutztechnischen Anforderungen an die Einrichtungen der BLT im MSB-Fahrzeug müssen unter Berücksichtigung des Brandschutzkonzepts des Fahrzeugs projektspezifisch festgelegt werden.

Brandschutzanforderungen an Sonderfahrzeuge müssen projektspezifisch definiert werden.

5.4.1.2.2.2 Brandschutz in Betriebsanlagen

Bei der Auslegung von Tunneln müssen die Anforderungen an den Brandschutz gemäß /EBA-RL MSB Tunnel/ berücksichtigt werden.

Bei der Auslegung von Stationen müssen die Anforderungen an den Brandschutz gemäß /EBA-Lf Station/ berücksichtigt werden.

Über das Erfordernis und die Ausgestaltung von Brandschutzkonzepten zu weiteren Betriebsanlagen muss projektspezifisch entschieden werden.

5.4.1.2.3 Kollisionen

5.4.1.2.3.1 Kollisionsvermeidung

Eine Kollision von Fahrzeugen untereinander muss sicher ausgeschlossen werden (Richtwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit entsprechend SIL 4 gemäß /DIN EN 61508-1/).

Ein Überfahren eines Gefahrpunktes muss sicher ausgeschlossen werden (Richtwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit entsprechend SIL 4 gemäß /DIN EN 61508-1/).

Zur Vermeidung von Kollisionen müssen Freiraumverletzungen durch Versagen einer Baugruppe des Fahrwegs ausgeschlossen werden.

Ausfälle in Magnetregelkreisen, die zu Berührungen zwischen Magneten und Stator bzw. Seitenführschiene mit unzulässiger Kraftereinleitung in die Struktur von MSB-Fahrzeug und Fahrweg führen können, müssen ausgeschlossen werden.

Bei der Fahrwegbemessung müssen die Einwirkungen entsprechend der lokalen wahrscheinlichen Erdbebenintensität gemäß /MSB AG-UMWELT/ berücksichtigt werden.

Schutzbauten und -einrichtungen müssen entsprechend Sicherheitskonzept unter Berücksichtigung von /EN 1317/ und der /RPS/ vorgesehen werden.

Dabei müssen nachfolgende Grundsätze berücksichtigt werden:

- bei Verkehrswegen unter dem MSB-Fahrweg:
Die Dimensionierung von Stützen, Fahrwegträgerlager muss unter Berücksichtigung des Anpralls von Straßenfahrzeugen erfolgen (s. /MSB AG-FW BEM/).
Für den Fahrweg muss ein Kollisionsschutz auf der Grundlage einer Risikobetrachtung vorgesehen werden,
- bei Verkehrswegen über dem MSB-Fahrweg:
Es muss ein Schutz gegen Herabfallen von Fahrzeugen und Gegenständen auf den Fahrweg auf der Grundlage einer Risikobetrachtung vorgesehen werden.
- bei Verkehrswegen parallel zum Fahrweg:
Es muss ein Kollisionsschutz für die Stützen des aufgeständerten Fahrwegs und den ebenerdigen Fahrweg auf der Grundlage einer Risikobetrachtung vorgesehen werden.

Folgende organisatorische und betriebliche Maßnahmen müssen erfolgen:

- besondere Waldpflege entlang der Trasse der Magnetschnellbahn so dass die MSB-Lichtraumumgrenzung gemäß /MbBO/ frei bleibt, auch z.B. bei umstürzenden Bäumen,
- Maßnahmen bei Winterbetrieb gemäß Kap. 5.5.1.2,
- weitere projektspezifisch im Sicherheitskonzept (s. Kap. 5.4.1) festzulegende Maßnahmen.

5.4.1.2.3.2 Kollisionsverhalten

Nachfolgende repräsentative Kollisionsfälle müssen betrachtet werden:

- Stein 15 kg auf Gleitleiste,
- runder Stein 50 kg mittig auf dem Fahrwegtisch bzw. seitlich neben dem Fahrwegträger in Höhe der Tragmagnete des MSB-Fahrzeugs,
- Baum (Länge 18 m, Stammdurchmesser am Aufprallort 20 cm), der unter 45° am aufgeständerten Fahrweg anliegt bzw. horizontal quer zum ebenerdigen Fahrwegtisch liegt,
- Hydrokörper 75 kg auf dem Fahrwegtisch.

Dabei muss die projektspezifisch zu definierende Höchstgeschwindigkeit berücksichtigt werden.

Für diese repräsentativen Kollisionen müssen Beschleunigungen im Fahrgastraum soweit begrenzt bleiben, dass das Risiko mindestens tolerabel bleibt (Beurteilungskriterium: Head Injury Criterion (HIC)).

Für diese repräsentativen Kollisionen dürfen Beschleunigungen nicht zu einer Gefährdung der Spurführung oder der Standsicherheit des Fahrwegs führen.

Für diese repräsentativen Kollisionen müssen Deformationen der Fahrgastzelle soweit begrenzt bleiben, dass Personen im Fahrgastraum nicht eingeklemmt werden.

Die Penetrationsfestigkeit der Wagenkastenzelle bei Frontalkollision mit einem Hindernis muss entsprechend der Penetrationsfestigkeit für Fenster (gegen Beschuss mit Normprojektil, 1kg Masse, Auftreffgeschwindigkeit 600 km/h) gemäß /UIC 651/ ausgelegt werden.

Es ist projektspezifisch zu regeln, wie die o.g. Kollisionsfälle diagnostiziert und welche Folgemaßnahmen zu treffen sind.

5.4.1.2.3.3 Verlassen des Fahrwegs

Es muss ausgeschlossen werden, dass ein Fahrzeug unbeabsichtigt den Fahrweg verlässt.

Ein Verlassen des Fahrwegs ist denkbar an Fahrwegenden oder an offenen Enden von Spurwechseleinrichtungen.

Zu diesem Zweck müssen projektspezifisch definiert werden:

- Gefahrenpunkte vor Fahrwegenden und
- Gefahrenpunkte vor offenen Enden von Spurwechseleinrichtungen.

5.4.1.2.4 Außerplanmäßiger Halt

Der außerplanmäßige Halt eines Zuges außerhalb des Bahnsteigbereichs von Stationen muss entweder innerhalb eines definierten Streckenbereiches im Anschluss an den Bahnsteigbereich oder an einem Betriebshalteplatz erfolgen.

Der außerplanmäßige Halt eines MSB-Fahrzeugs außerhalb eines Halteplatzes darf damit nur bei einem zeitgleichen Zusammentreffen von bestimmten Stöorzuständen und weiteren Ausfällen auftreten. Hieraus resultierende Situationen sind im Sicherheitskonzept zu berücksichtigen.

Beispiel: Wenn beim Beschleunigen unmittelbar nach einem außerplanmäßigen Halt an einem Betriebshalteplatz die Energieversorgung des Antriebs ausfällt, bevor die zum Erreichen des nächsten Halteplatzes erforderliche Geschwindigkeit erreicht ist.

5.4.1.2.4.1 Streckenbereiche im Anschluss an den Bahnsteigbereich von Stationen

Streckenbereiche im Anschluss an den Bahnsteigbereich von Stationen müssen die Eigenschaften eines Betriebshalteplatzes (s. Kap. 5.4.1.2.4.2) aufweisen und sollten durchgehend mit externer Bordenergieversorgung ausgerüstet sein. Diese Bereiche dürfen von einzelnen kurzen Abschnitten unterbrochen sein, bei denen

- die zulässige Längs- bzw. Querneigung für Betriebshalteplätze gemäß Kap. 5.1.2.1 überschritten wird, oder
- eine Evakuierung eines MSB-Fahrzeugs nur erschwert möglich ist, z.B. bei Überquerung von Verkehrswegen.

Ein außerplanmäßiger Halt sollte außerhalb solcher Abschnitte erfolgen.

Richtwert für die Länge von Streckenbereichen im Anschluss an den Bahnsteig: 1 bis 2 km.

5.4.1.2.4.2 Betriebshalteplätze (BHPL)

Betriebshalteplätze müssen projektspezifisch ausgelegt werden.

Bei der projektspezifischen Auslegung müssen folgende Grundsätze berücksichtigt werden:

- Es muss stets mindestens ein Betriebshalteplatz unter kontrollierter Nutzung der kinetischen Energie des MSB-Fahrzeugs erreicht werden können.
- Zum Erreichen eines Betriebshalteplatzes müssen Fahr-, Brems- und Schwebepprofile festgelegt werden, die ortsbezogen spezifizierte Bedingungen berücksichtigen.
- Die Bremsprofile müssen mindestens für alle Betriebshalteplätze, an denen ein Halt aus betrieblichen Gründen zu erwarten ist, sowohl vom Langstatorantrieb als auch von der Sicheren Bremse eingehalten werden können.

Bremsprofile zu anderen Betriebshalteplätzen dürfen so ausgelegt werden, dass sie mit der Sicheren Bremse, nicht jedoch vom Langstatorantrieb eingehalten werden.

- Die Überwachung gegen Überfahren eines Gefahrenpunktes durch die BLT muss mit einer projektspezifisch abzuleitenden Ausfallwahrscheinlichkeit realisiert werden.

Als Richtwert gilt die Ausfallwahrscheinlichkeit entsprechend SIL 4 gemäß /DIN EN 61508-1/.

- Die Überwachung zum Erreichen eines Erreichbarkeitspunktes durch die BLT muss mit einer projektspezifisch abzuleitenden Ausfallwahrscheinlichkeit realisiert werden.

Als Richtwert gilt die Ausfallwahrscheinlichkeit entsprechend SIL 3 gemäß /DIN EN 61508-1/.

Die zulässigen Eintrittswahrscheinlichkeiten für das Überfahren eines Gefahrenpunktes und das Nicht-Erreichen eines Erreichbarkeitspunktes müssen anhand der projektspezifisch durchzuführenden Risikoanalyse (Kap. 5.4.1) festgelegt werden.

Ein Betriebshalteplatz ist durch Erreichbarkeits- und Gefahrenpunkt bestimmt.

Bei drohender Verletzung der Brems- und Schwebepprofile erfolgt eine sichere Antriebsabschaltung. Das MSB-Fahrzeug verzögert mit der Sicherem Bremse geregelt auf den aktuellen BHPL.

Betriebshalteplätze, an denen ein Halt aus betrieblichen Gründen zu erwarten ist, sollten mit externer Bordenergieversorgung ausgerüstet sein.

Bei Streckenbereichen mit außergewöhnlich langer und großer Steigung muss ein Betriebshalteplatz am Beginn des Steigungsbereichs angeordnet werden.

Es muss sichergestellt sein, dass im Falle eines Zurückschwebens bis zum Betriebshalteplatz am Beginn des Steigungsbereichs, dieser Streckenbereich durch die BLT gesichert ist.

Richtwert für die Ausfallwahrscheinlichkeit entsprechend SIL 4 gemäß /DIN EN 61508-1/.

Im Falle einer Zwangsbremung in einem solchen Steigungsbereich (z.B. 5 % über 10 km) kann gemäß /MSB AG-BLT/ der zurückliegende Betriebshalteplatz am Beginn des Steigungsbereichs angefahren werden.

Richtwert für die Mindestlänge von Betriebshalteplätzen: Zuglänge + 350 m.

Anforderungen zur Trassierung im Bereich von Betriebshalteplätzen gemäß Kap. 5.1.2.1.

Ausführung und Ausrüstung gemäß Kap. 6.1.5.4.

5.4.1.2.5 Antriebsfehlfunktionen

Für Fehlverhalten des Antriebs müssen

- synchrone Fehlerströme mit signifikanten Einwirkzeiten und schubkraftbildender Wirkung im Hinblick auf Kräfte und Beschleunigungen in x-Richtung und
- synchrone Fehlerströme mit signifikanten Einwirkzeiten und das Tragmagnetfeld schwächender oder verstärkender Wirkung.

berücksichtigt werden.

Die Fehlerstromstärke darf nicht

- zu einer im Sinne der Bemessung von MSB-Fahrzeug und Fahrweg unzulässigen Kraft oder
- zu einer unzulässigen Beschleunigung (mit Verletzung von Grenzfahrprofilen oder Gefährdung von Personen im Fahrzeug) führen.

Dazu ist die Fehlerstromstärke zu überwachen und zu begrenzen.

Schubkraftbildende Wirkung:

- **Fehlerhafte Antriebskraft**

Die fehlerhafte Antriebskraft muss so beschränkt werden, dass die der Bemessung von MSB-Fahrzeug und Fahrweg (gemäß Außergewöhnliche Einwirkungen, s. Kap. 9, Nr. 7. (2)) zugrunde liegende Kraft in x-Richtung höchstens mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit entsprechend SIL 4 (Richtwert) überschritten wird.

Standicherheit des Fahrwegs und Bemessung des MSB-Fahrzeugs, Einstufung gemäß /DIN EN 61508-1/.

- **Fehlerhafte Antriebsbeschleunigung**

Die fehlerhafte positive Antriebsbeschleunigung in Fahrtrichtung muss so beschränkt werden, dass die dem Maximalfahrprofil zugrunde liegende maximale Beschleunigung höchstens mit der von der BLT dafür vorgegebenen Eintrittswahrscheinlichkeit überschritten wird.

Es gilt die Begrenzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis "Überfahren des Gefahrenpunktes" (s. Kap. 5.4.1.2.4.2). Die fehlerhafte Antriebsbeschleunigung ist dabei anteilig zu berücksichtigen. Die Einstufung erfolgt gemäß /DIN EN 61508-1/.

Die fehlerhafte negative Antriebsbeschleunigung (Verzögerung) in Fahrtrichtung muss so beschränkt werden, dass die dem Minimalfahrprofil zugrunde liegende maximale Beschleunigung höchstens mit einer von der BLT dafür vorgegebenen Eintrittswahrscheinlichkeit überschritten wird.

Es gilt die Begrenzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis "Nichterreichen des Erreichbarkeitspunktes" (s. Kap. 5.4.1.2.4.2). Die fehlerhafte Antriebsbeschleunigung ist dabei anteilig zu berücksichtigen.

Tragmagnetfeld schwächende oder verstärkende Wirkung:

Ein fehlerhafter Antriebsstrom mit einer das Tragmagnetfeld schwächenden Wirkung auf einer Motor-/Fahrwegseite darf auftreten.

Standicherheit des Fahrwegs und Bemessung des MSB-Fahrzeugs, Einstufung bzgl. der Ausfallwahrscheinlichkeit gemäß /DIN EN 61508-1/, einseitiges Absetzen ist als Sonderlastfall berücksichtigt.

Ein fehlerhafter Antriebsstrom mit einer das Tragmagnetfeld schwächenden Wirkung auf beiden Motor-/Fahrwegseiten darf höchstens mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit entsprechend SIL 4 (Richtwert) auftreten.

Ein fehlerhafter Antriebsstrom mit einer das Tragmagnetfeld verstärkenden Wirkung muss so beschränkt werden, dass die der Bemessung von MSB-Fahrzeug und Fahrweg (gemäß Außergewöhnliche Einwirkungen, s. Kap. 9, Nr. 7) zugrunde liegende resultierende Kraft in x-Richtung höchstens mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit entsprechend SIL 4 (Richtwert) überschritten wird.

Standicherheit des Fahrwegs und Bemessung des MSB-Fahrzeugs, Einstufung gemäß /DIN EN 61508-1/.

Erdfehlererfassung und Abschaltung:

Die Erdfehlererfassung und -abschaltung muss mit einer projektspezifisch festzulegenden Verfügbarkeit ausgeführt werden.

Hier tritt keine unmittelbare fehlerhafte Kraftwirkung oder Gefährdung auf.

5.4.1.3 Rettungskonzept

Die Anforderungen an die Rettung müssen in einem Rettungskonzept projektspezifisch festgelegt werden.

Das Rettungskonzept muss Bestandteil des projektspezifischen Sicherheitskonzepts sein.

Das Rettungskonzept berücksichtigt insbesondere den Schutz von Personen für das Ereignis eines Brandes im MSB-Fahrzeug.

Das Rettungskonzept sollte auf dem Prinzip der Selbstrettung basieren.

Fremdrettungsmaßnahmen müssen ergänzend einbezogen werden.

Das Rettungskonzept muss den Ablauf einer zeitkritischen Evakuierung unter den projektspezifischen Bedingungen und das Zusammenwirken aller Sicherheitsmaßnahmen (technisch, baulich, betrieblich und organisatorisch) für den Evakuierungsfall beschreiben.

Auf Basis der Vorgaben des Rettungskonzeptes wird in der Risikoanalyse (siehe Kap. 5.4.1) bewertet, ob das verbleibende Risiko für den Evakuierungsfall akzeptabel ist.

5.4.2 Sicherheitsnachweis

Der Nachweis der Systemsicherheit gemäß § 4 (2) /MbBO/ muss als Sicherheitsnachweis projektspezifisch in Anlehnung an /DIN EN 50129/ geführt werden.

5.5 Umwelt

5.5.1 Einwirkungen aus der Umwelt

Bei Dimensionierung und Qualifikation der Baugruppen und Teilsysteme des MSB - Systems müssen die Daten der Primärumwelt zugrunde gelegt werden /MSB AG-UMWELT/.

Sofern in einem Projektgebiet darüber hinaus gehende Umweltdaten zugrunde zu legen sind, sind diese durch eine Sonderauslegung zu berücksichtigen.

Bei einer drohenden Überschreitung der spezifizierten Umweltdaten ist der Betrieb gemäß projektspezifisch zu erstellender Betriebsvorschriften einzuschränken oder einzustellen.

5.5.1.1 Wind

Der Einfluss von Seitenwind einschließlich Böigkeit (gemäß /MSB AG-UMWELT/) und Durchqueren von Windschatten muss durch das elektromagnetische Führsystem geregelt werden.

Bei Überlagerung außergewöhnlicher Seitenwindböen darf das elektromagnetische Führsystem kurzzeitig durch die mechanische Seitenführung unterstützt werden, ohne dass dies den Fahrbetrieb beeinträchtigen darf.

Rücken- und Gegenwind müssen bei der Bemessung der Bremswege und Abstände von Halteplätzen berücksichtigt werden.

5.5.1.2 Winter

Betriebsanlagen und Fahrzeuge müssen so gestaltet werden, dass eine Gefährdung Dritter durch Schnee, Wasser oder Eis vermieden wird.

Bei der Trassierung des ebenerdigen Fahrwegs muss die Gradientenhöhe unter Berücksichtigung der zu erwartenden klimatischen Auswirkungen (z. B. Schneeanstimmungen) projektspezifisch festgelegt werden.

Der Fahrwegtisch muss so ausgeführt werden, dass Regen- und Schmelzwasser ungehindert ablaufen können.

Die magnetische Trag-, Führ- und Antriebsfunktion darf auch bei Vereisung gemäß /MSB AG-UMWELT/ von MSB-Fahrzeug und Fahrweg nicht beeinträchtigt werden.

Bei Funktion und Bremsweg der Sicherer Bremse gemäß Kap. 6.1.1.3 muss eine Fahrwegvereisung berücksichtigt werden, wenn dies nicht z.B. durch konstruktive Maßnahmen ausgeschlossen wird.

Maßnahmen des Winterdienstes sind projektspezifisch festzulegen.

Rettungseinrichtungen müssen in den Winterdienst einbezogen werden.

5.5.1.3 Elektromagnetische Störgrößen

Die Störfestigkeit des MSB-Systems gegenüber elektromagnetischen Störgrößen von außen muss den in /DIN EN 50121/ definierten Anforderungen entsprechen.

Der Schutz vor Blitzeinwirkungen muss der /DIN V VDE V 0185-3/ genügen.

5.5.2 Einwirkungen auf die Umwelt

5.5.2.1 Schall

Es gilt die /MSB-LSchV/.

Das Verfahren zur Ermittlung der Korrekturfaktoren DFz und DFb wird in Anlage 5 zur AG Gesamtsystem geregelt.

5.5.2.2 Magnetische, elektrische und elektromagnetische Störgrößen

Es sind die Normen /DIN EN 50121-2/, /DIN EN 50121-5/ sowie /26. BImSchV/ anzuwenden.

5.6 Fahrkomfort

Komfortanforderungen sollten projektspezifisch festgelegt werden.

5.6.1 Komfortrelevante Aspekte der Trassierung

Anforderungen hinsichtlich Beschleunigung und Ruck sind in Kap. 5.1.2 enthalten.

Anforderungen hinsichtlich niederfrequenter Beschleunigungsänderungen und Rucke durch Abfolge von Trassierungselementen sind in /MSB AG-FW TRAS/, Kap. 6.2 enthalten.

5.6.2 Komfortrelevante Schwingungen (RMS-Werte)

Die Beschleunigung sollte folgende Richtwerte für die RMS - Werte einhalten:

0,2 m/s² in x-, y- und z-Richtung bei 95 % aller Auswertungsabschnitte

(mit Bewertungsfilter gemäß /ISO 2631, ORE B 153/, Auswertungsabschnitte jeweils 5 s oder 500 m).

5.6.3 Druckschwankungen bei Tunnelfahrten

Auf der Grundlage der in Kap. 6.1.1.3.3. vorgegebenen maximalen Druckbelastung bei Tunnelfahrt sollten die Druckdichtigkeit und Drucksteifigkeit des MSB-Fahrzeugs so ausgeführt werden, dass die Komfortanforderungen eingehalten werden.

Die zulässigen, auf Passagiere im MSB-Fahrzeug wirkenden Druckschwankungen sind projektspezifisch zu definieren.

Richtwert für die maximale Druckänderung im Fahrgastraum bei Tunnelfahrt

500 Pa in 1 s

800 Pa in 3 s

1000 Pa in 10 s.

Zu den aerodynamischen Anforderungen aus der Bemessung des Fahrzeugs siehe Kap. 6.1.1.3.3.

Zu den bautechnischen Anforderungen an Tunnel siehe Kap. 6.1.4.3.4.

6 Systemkonzept/ -Auslegung

6.1 Teilsysteme

6.1.1 MSB-Fahrzeug

6.1.1.1 Struktur

Die Struktur des MSB-Fahrzeugs ist in Abbildung 9 dargestellt.

6.1.1.1.1 Fahrzeugumgrenzung

Nachweis der kinematischen Begrenzungslinie gemäß /MSB AG-FZ KIN/.

6.1.1.1.2 Wagenkasten

§ 18, (1) und § 18, (3) /MbBO/ müssen berücksichtigt werden.

Druckbeanspruchungen auf den Wagenkasten s. Kap. 6.1.1.3.3.

6.1.1.2 Funktionen

6.1.1.2.1 Tragen und Führen

§19 /MbBO/ muss berücksichtigt werden. Diese Anforderung muss wie folgt ausgeführt werden:

Struktur/Funktion

Das Magnetfahrwerk muss die Trag-/Führ-/Antriebskräfte als Flächenlasten in den Fahrweg einleiten.

Die MSB-Fahrzeuge weisen ein über die gesamte Fahrzeuglänge durchgehendes Magnetfahrwerk aus einer Kette von Schwebegestellen und Trag-/Führmagneten auf.

§ 17, (4) und § 20, (1) /MbBO/ müssen berücksichtigt werden. Diese Anforderungen müssen wie folgt ausgeführt werden.

Anforderungen an die mechanische Tragfunktion:

- Die Tragkufe muss die Funktion der mechanische Abstützung sowie der Haltebremse des abgesetzten, stehenden MSB-Fahrzeugs in Bereichen, in denen stehende Fahrzeuge gegen unbeabsichtigte Bewegung zu sichern sind, realisieren.
- Die Tragkufen müssen geeignet sein, das MSB-Fahrzeug unterhalb der Absetzgeschwindigkeit bis zum Stillstand abzubremsen.
- Nach Ausfall der beiden Tragregelkreise an einem Schweberrahmen müssen die Tragkufen die Tragfunktion bei Fahrt übernehmen.
- Das Gleitverhalten zwischen Gleitleiste und Tragkufe muss so abgestimmt werden, dass bei der Bemessung von Fahrweg und MSB-Fahrzeug die zugrunde gelegten statischen und dynamischen Lasten eingehalten werden.

- Der Ausfall der magnetischen Tragfunktionen an einem Tragregelkreis muss erkannt werden und eine automatische Systemreaktion auslösen mit dem Ziel, den Gleitweg auf ein projektspezifisch festzulegendes Maß zu begrenzen.

siehe Abbildung 10: Bremskennlinie sichere Bremse für eine MSB-Fahrzeugsektion.

Orientierungswert für den Gleitweg eines auf Tragkufen abgesetzten Schweberahmens: 100 bis 200 km

Anforderungen an die mechanische Führfunktion:

- Nach Ausfall der beiden Führregelkreise an einem Schweberahmen muss die mechanische Führfunktion durch Gleiten von mechanischen Führelementen auf Seitenführschiene erfolgen.
- Das Gleitverhalten zwischen Seitenführschiene und mechanischem Führelement muss so abgestimmt werden, dass die bei der Bemessung von Fahrweg und MSB-Fahrzeug zugrunde gelegten statischen und dynamischen Lasten eingehalten werden.

6.1.1.2.2 Sichere Bremse

Funktionsmerkmale

Zur Einhaltung des von der BLT überwachten Maximalfahrprofils muss die Bremsfähigkeit des MSB-Fahrzeugs zur Verfügung stehen.

Kommt dazu eine vom Antrieb prinzipverschiedene Sichere Bremse zum Einsatz, muss sichergestellt sein, dass die Funktion Sichere Bremse nicht (z.B. durch den Antrieb) unzulässig beeinflusst wird.

Wenn eine Störung oder ein Ausfall innerhalb der Einrichtungen zur Ansteuerung des Bremssystems auftritt, muss dies mindestens die gleiche Bremswirkung wie eine betriebliche Ansteuerung erzeugen.

Der Maximalwert der Bremskraft muss mit den Bemessungslasten für den Fahrweg und das MSB-Fahrzeug kompatibel sein.

Der sicher erreichbare Mindestwert der Bremskraft muss mit den sicherungstechnisch überwachten Fahrprofilen unter ungünstigsten Bedingungen (wie z. B. starker Rückenwind) abgestimmt werden.

Die fahrzeugeigene Sichere Bremse muss so ausgeführt werden, dass das MSB-Fahrzeug mit den in ihm eingebauten Einrichtungen der Betriebsleittechnik autark eine Bremsung zu einem Halteplatz durchführen kann.

Projektspezifisch kann ergänzend zur Sicheren Bremse die Bremswirkung von Kurzschlusswicklungen bei der Projektierung des Sicheren Bremsprofils herangezogen werden, siehe auch /MSB AG-ANT/, Kap. 5.3.

Es muss eine Überschreitung der in den Bemessungslasten unterstellten Bremskraft ausgeschlossen werden. Sofern dies durch die Auslegung nicht gegeben ist, muss der Ausschluss einer gleichzeitigen Wirkung der Bremskraft des Langstatorantriebs und der fahrzeugeigenen sicheren Bremse durch die Betriebsleittechnik mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit gemäß SIL 4 (Richtwert) nachgewiesen werden (s. Kap. 6.1.3.2).

Ein abgesetztes MSB-Fahrzeug darf durch den Langstatorantrieb nicht beeinflusst werden.

Dies ist dadurch gegeben, dass die Erregung für den Langstatorantrieb im abgesetzten Zustand nicht vorhanden ist.

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Gesamtsystem

Dok.-Nr.: 50630 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 33 von 92

Die Funktion der Haltebremse muss für Streckenbereiche nachgewiesen werden, in denen MSB-Fahrzeuge gegen unbeabsichtigte Bewegungen zu sichern sind.

In diesen Bereichen darf gemäß MbBO, § 13, (2) eine Längsneigung von 5 ‰ nicht überschritten werden. Ausnahmen davon sind im Einzelfall aus besonderen Gründen zulässig, wenn die Sicherheit auf andere Weise nachgewiesen ist.

Falls in Sonderfällen stehende MSB-Fahrzeuge in Bereichen mit einer Längsneigung > 5 ‰ gegen unbeabsichtigte Bewegungen zu sichern sind, muss die Haltebremsfunktion nachgewiesen werden.

Die Funktion Sichere Bremse muss zur Durchführung einer Zwangsbremmung gemäß /MSB AG-BLT/ geeignet sein.

6.1.1.2.3 Bordenergieversorgung

Die Funktion Bordenergieversorgung muss überwacht werden (siehe Kap. 6.1.3.2).

Es muss sichergestellt sein, dass zur Durchführung einer Fahrt einschließlich eines Halts mit sicherer Bremse ausreichend Bordenergie zur Verfügung steht.

6.1.1.3 Konfigurationsparameter

§ 3, (3); § 17, (1); § 17, (6), § 18, (2) und § 21, (1) /MbBO/ müssen berücksichtigt werden.

Anforderungen an den Brandschutz im MSB-Fahrzeug siehe. Kap.: 5.4.1.2.2.1.

6.1.1.3.1 Fahrzeugkonfiguration

§ 20, (2) /MbBO/ muss berücksichtigt werden. Diese Anforderung müssen wie folgt ausgeführt werden.

Die MSB-Fahrzeuge müssen aus Fahrzeugsektionen gebildet werden, die in Bezug auf die Trag- und Führungsfunktion, die Bremseinrichtung, die Bordenergieversorgung und den Wagenkasten autark sind.

Das Systemmaß von Fahrzeugsektionen eines MSB-Fahrzeugs muss 24,768 m betragen.

(Tragmagnetbelegungslänge, s.a. Kap.: 9, Nr. 6.1.1. (3)).

Die Längenabmessungen von MSB-Fahrzeugendsektionen können davon abweichen.

Ein MSB-Fahrzeug muss zwei Endsektionen aufweisen.

Ein MSB-Fahrzeug kann darüber hinaus bis zu 8 Mittelsektionen aufweisen.

Die Festlegung der Anzahl der Sektionen erfolgt projektspezifisch auf Basis der Transportaufgabe (z.B. Verkehrsaufkommen).

Die einzelnen Sektionen müssen im Rahmen der Fahrzeugauslegung für Personen- und Gütertransport frei konfigurierbar sein.

Betrieblich kann auf die täglichen Schwankungen des Verkehrsaufkommens durch Einsatz von MSB-Fahrzeugen mit größerer oder kleinerer Zahl von Mittelsektionen und/oder Anpassung des Fahrplans reagiert werden.

Zur Anpassung an die langfristige Entwicklung der Verkehrsnachfrage kann die Kapazität der MSB-Fahrzeuge durch zusätzliche Mittelsektionen vergrößert werden.

Als Zug wird ein MSB-Fahrzeug bezeichnet, das mit den mobilen Einrichtungen der BLT ausgestattet ist und betrieblich gesteuert und gesichert wird (siehe /MSB AG-ABK&DEF/).

Abmessungen der MSB-Fahrzeugsektionen sind beispielhaft dargestellt:

- *End-/ Mittelsektion für Personentransport Fernverkehr: Abbildung 6*
- *End-/ Mittelsektion für Personentransport Flughafenbinder: Abbildung 7 und Abbildung 8*
- *Wagenkasten und Trag-/Führsystem: Abbildung 9*

6.1.1.3.2 Fahrwiderstand

Definition Fahrwiderstand, siehe /MSB AG-NORM&RILI/.

Der Fahrwiderstand setzt sich zusammen aus den Anteilen:

- Aerodynamik,
- Magnetisierung,
- Bordenergieerzeugung.

Bei der Festlegung von Fahrprofilen mit Bestimmung der Schwebewege und der Bremswege ist zusätzlich zum Fahrwiderstand der örtliche Hangabtrieb zu berücksichtigen.

Richtwerte für die Größe des Fahrwiderstands für MSB-Fahrzeuge mit 2 bis 10 Sektionen bei 0 bis 400 km/h sowie dessen Anteile: Abbildung 11

Der Fahrwiderstand muss projektspezifisch festgelegt und bei der Auslegung berücksichtigt werden (siehe Abbildung 11):

Gesamtfahrwiderstand:

$$F_W = F_A + F_M + F_B$$

Aerodynamik:

$$F_A = 2,8 \text{ kN} \cdot (v/[m/s])^2 \cdot (0,53 \cdot N/2 + 0,30) \cdot 10^{-3}$$

Aerodynamische Fahrwiderstandserhöhungen durch Tunnel sind projektspezifisch zusätzlich zu berücksichtigen.

Der Anteil Aerodynamik ist weitestgehend proportional zu v^2 , enthält jedoch auch einen geringen Anteil proportional zu v zur Berücksichtigung der Luftentnahme für Belüftung und Klimatisierung. Dieser Anteil proportional zu v kann als im Anteil proportional zu v^2 enthalten angenommen werden.

Magnetisierung:

$$F_M = N \cdot (0,1 \text{ kN} \cdot (v/[m/s])^{0,5} + 0,02 \text{ kN} \cdot (v/[m/s])^{0,7})$$

gilt bei Verwendung des empfohlenen Materials für die Seitenführschiene gemäß Kap. 6.1.4.3.6.

Bordenergieerzeugung:

$F_B = 0$	für 0 bis 20 km/h
$F_B = N * 7,3 \text{ kN}$	für 20 bis 70 km/h
$F_B = N * (146 \text{ kN} / v[\text{m/s}] - 0,2 \text{ kN})$	für 70 bis 500 km/h

mit
v - Geschwindigkeit MSB-Fahrzeug
N - Anzahl Fahrzeugsektionen

für stationären Betrieb

- ohne Einspeisung via externer Bordenergieversorgung (bei Betrieb mit externer Bordenergieversorgung bis 100 km/h ist $F_B = 0$),
- ohne Nachladen der Bordnetz Batterien,
- ohne Windeinfluss und
- für mittlere Umgebungstemperatur bei gemäßigttem Klima (gemäß /MSB AG-UMWELT/) mit entsprechender Klimatisierungsleistung.

6.1.1.3.3 Aerodynamik

Das aerodynamische Verhalten aus Begegnungsverkehr und Tunnelfahrt ist gem. /EN 14067-2/ und /EN 14067-3/ zugrunde zu legen.

Der maximale zulässige Druckunterschied (innen/außen) bei Tunnelfahrt und die Druckeinwirkung bei Begegnungsverkehr sind bei der Bemessung des Fahrzeugs zugrunde zu legen.

Der Druckunterschied (innen/ außen) bei Tunnelfahrt ergibt sich aus der von Länge und Querschnitt des Tunnels abhängigen Änderung des Außendrucks und aus der zeitverzögerten Änderung des Innendrucks. Die Änderung des Innendrucks wird durch die Druckdichtigkeit und Drucksteifigkeit des Wagenkastens bestimmt. Die Festlegung des Tunnelquerschnitts, der Komfortanforderungen und der Fahrzeugeigenschaften sind daher aufeinander abzustimmen. Siehe auch 5.6.3 und 6.1.4.3.4.

Der maximale Druckunterschied (innen/ außen) darf nicht mehr als 5.500 Pa betragen (Grenzwert).

Der Höchstwert des bei Tunnelfahrt auftretenden Druckunterschieds (innen/ außen) ist projektspezifisch zu bestimmen.

Die Druckeinwirkung bei Zugbegegnung außerhalb von Tunneln zeigt Abbildung 12.

Die Druckeinwirkung auf stationäre Einrichtungen längs des Fahrwegs außerhalb von Tunneln bei Vorbeifahrt eines Fahrzeugs zeigt ebenfalls Abbildung 12.

6.1.2 Antrieb und Energieversorgung

Das Teilsystem Antrieb und Energieversorgung muss andere Teilsysteme des MSB-Systems mit der notwendigen Energie versorgen und MSB-Fahrzeuge entsprechend den Vorgaben der Betriebsleittechnik bewegen.

Das Teilsystem Antrieb und Energieversorgung muss folgende Schnittstellen zu anderen Teilsystemen beachten:

- Fahrweg (Stator des synchronen Langstatormotors, Spurwechseleinrichtungen, Referenzorte),
- MSB-Fahrzeuge (Tragmagnet als Erregereinrichtung des synchronen Langstatormotors, absolute und relative Ortsinformation, externe Bordenergieversorgung),
- Betriebsleittechnik (Fahrvorgaben, sichere Antriebsabschaltung),
- Weitere Komponenten des MSB-Systems (Hilfsenergieversorgung).

6.1.2.1 Struktur

Ortsbezogen muss das Teilsystem Antrieb und Energieversorgung aus folgenden Komponenten bestehen:

- Zentrale Einrichtungen zum **Bedienen und Beobachten** und zur **Diagnose**,
- **Energieversorgung** (Struktur Abbildung 13) mit
 - **Einrichtungen in Unterwerken** zur Hilfs- und Traktionsenergieversorgung, ggf. auch zur externen Bordenergieeinspeisung und
 - **Streckenseitigen Einrichtungen** zur Hilfsenergieversorgung der streckenseitigen Einrichtungen des MSB-Systems und ggf. der externen Bordenergieversorgung,
- **Antrieb** (Abbildung 14) mit
 - **Einrichtungen in Unterwerken** zur Umformung der elektrischen Energie und zur Regelung / Steuerung und
 - **Antriebsstrecken** entlang des Fahrweges zur Verteilung der elektrischen Energie entlang des Fahrweges und zur Steuerung, bestehend aus Streckenkabeln, Schaltstellen und Statorabschnitten.

6.1.2.2 Funktionen

An zentralen **Bedienplätzen** muss der Zustand des gesamten Teilsystems beobachtet werden können und durch den Bediener die notwendigen Bedienhandlungen vorgenommen werden können. Im ungestörten Fahrplanbetrieb darf keine manuelle Bedienhandlung notwendig sein.

Die **Energieversorgung** muss die Teilfunktionen Energieanpassung und -verteilung, Hilfsenergieversorgung, externe Bordenergieeinspeisung, Traktionsenergieversorgung, Blindleistungskompensation und Steuerung Energieversorgung beinhalten.

Die **Energieanpassung und -verteilung** muss -sofern notwendig- die an der Schnittstelle zum öffentlichen Netz zur Verfügung gestellte Spannungsebene an die antriebsintern

verwendete Netzausführung anpassen und diese an die nachfolgend beschriebenen Funktionseinheiten der Energieversorgung verteilen.

Die **Hilfsenergieversorgung** muss die Antriebsregelung / -steuerung, die Betriebsleittechnik, die Weichen und ggf. weitere Komponenten des MSB-Systems mit der jeweils erforderlichen Energie versorgen. Für ausgewählte Komponenten ist die Energieversorgung unterbrechungsfrei bereitzustellen.

Die **externe Bordenergieeinspeisung** muss die Energie entsprechend dem Leistungsbedarf der MSB-Fahrzeuge an festzulegenden Orten zur Verfügung stellen. Sie muss die Energie entsprechend der Ausführung der externen Bordenergieversorgung umformen und den fahrwegseitigen Komponenten zuführen.

Die **Traktionsenergieversorgung** muss dem Antrieb die zur Traktion benötigte Energie zuführen.

Sofern notwendig muss die **Blindleistungskompensation** für die Einhaltung der geforderten Anschlussbedingungen an der Schnittstelle zum öffentlichen Energieversorgungsnetz sorgen.

Die **Steuerung Energieversorgung** muss alle Energieversorgungseinrichtungen überwachen und im Fehlerfall Schutzreaktionen und sofern notwendig automatische Redundanzumschaltungen auslösen. Des Weiteren muss sie die am Bedienplatz eingegebenen Schalthandlungen auf Plausibilität mit den vorhandenen Verriegelungsbedingungen prüfen und die erforderlichen Schalthandlungen einleiten.

Der **Antrieb** muss die folgenden Teilfunktionen gemäß Abbildung 15 beinhalten:

Die Umrichter müssen die bereitgestellte Energie entsprechend dem Fahrzeugort, der Fahrzeuggeschwindigkeit und der geforderten Beschleunigung umformen.

Die Umrichter müssen so ausgeführt werden können, dass die Bremsenergie ins öffentliche Netz zurückgespeist werden kann.

Die Strecke ist in **Antriebsbereiche** aufzuteilen, innerhalb derer ein MSB-Fahrzeug nach Vorgabe der Betriebsleittechnik angetrieben werden kann.

Die Komponenten der Antriebsstrecke sind zu einem bestimmten Zeitpunkt jeweils einem Antriebsbereich zugeordnet.

In der Regel stimmen die Antriebsbereiche mit den Sicherungsbereichen der Betriebsleittechnik überein.

Innerhalb der Antriebsbereiche ist die elektrische Traktionsleistung in synchronen Langstatormotoren in mechanische Leistung umzuwandeln.

Die Erregung wird durch die im MSB-Fahrzeug befindlichen Tragmagnete erzeugt.

Die **Antriebsregelung / -steuerung** muss alle Vorgänge, die antriebsbereichsweit und übergreifend sind, koordinieren:

- Bildung und Auflösung von Antriebseinheiten und Synchronisierung benachbarter Antriebseinheiten bis zur Übergabe der Fahrzeugführung von einer Antriebseinheit zur nächsten,
- Koordinierung des Einsatzes der Umrichter, Statorabschnitte und Redundanzen,
- Steuerung der Betriebsarten für alle Antriebseinrichtungen in Abhängigkeit ihrer Zustände und der aktuellen Vorgaben der Betriebsleittechnik.

Die **Fahrzeugführung** muss ein MSB-Fahrzeug gemäß dem von der BLT vorgegebenen Fahrprofil unter Berücksichtigung der Komfortbedingungen über eine Antriebsstrecke führen. Dazu sind vorzusehen:

- Kommunikation mit der Betriebsleittechnik zum Empfang der Vorgaben für Zielort, Fahrtrichtung und Geschwindigkeit,
- Kommunikation mit dem MSB-Fahrzeug zum Empfang der relativen und absoluten Ortsinformation,
- Berechnung von Zielbremskurven,
- Weg- und Geschwindigkeitsregelung,
- Phasenregelung (Ermittlung der relativen Fahrzeuglage zum Langstator).

Die **Streckensteuerung** muss in Abhängigkeit von Statorabschnittsverfahren, Fahrzeugort und -geschwindigkeit die Steuerung und Überwachung der verschiedenen Schaltanlagen der Antriebsstrecke koordinieren, mit folgenden Funktionen:

- Erzeugung von Steuersignalen für das Ein- und Ausschalten der Statorabschnitts- und Streckenschalter,
- Überwachung der Schaltermeldungen,
- Streckenkabel- und Langstatorschutz.

Die **Stromregelung** muss den Statorstrom nach Frequenz, Betrag und Phasenlage regeln, mit:

- Ermittlung der vom MSB-Fahrzeug in den Langstator induzierten Polradspannung,
- Umsetzung der Vorgaben von Fahrzeugführung und Antriebssteuerung in Stellgrößen für die Umrichterregelung / -steuerung.

Die **Umrichterregelung / -steuerung** muss alle Komponenten eines Umrichters entsprechend der Vorgaben der Stromregelung und Antriebssteuerung steuern und regeln, mit:

- Istwerterfassung auf Netz- und Motorseite und im Umrichterleistungsteil,
- Steuerung und Überwachung des Umrichterleistungsteils,
- Steuerung und Überwachung der zugeordneten peripheren Komponenten wie Schaltanlagen, Transformatoren und Kühlanlage.

6.1.2.3 Konfigurationsparameter

Aus systemspezifischen, projektspezifischen oder betrieblichen Anforderungen sind die folgenden Randbedingungen bzw. Parameter für die Konfiguration des Antriebs abzuleiten:

Allgemein:

- Die gesamte Strecke muss entsprechend der betrieblichen Anforderungen in Antriebsbereiche aufgeteilt werden.
- Verzweigungen dürfen innerhalb oder am Rande eines Antriebsbereichs angeordnet sein.

- Zur Erreichung der Verfügbarkeitsanforderungen sind die Statorabschnitte an den beiden Fahrwegseiten voneinander unabhängigen Motorsystemen zuzuordnen und im Regelfall räumlich gegeneinander zu versetzen.

Schnittstelle zur Betriebsleittechnik (Antriebsabschaltung):

- Der Antrieb muss Abschaltvorrichtungen für die sichere Abschaltung des Antriebs bereitstellen.

Die Auslösung der sicheren Antriebsabschaltung erfolgt durch die BLT.

- Der Antrieb sollte sicherstellen, dass im Falle einer Antriebsabschaltung in einem Antriebsbereich die Rückwirkung auf andere Antriebsbereiche auf einen Redundanzverlust oder auf eine Leistungsreduktion beschränkt bleibt.

Betrieb:

- Projektspezifisch festgelegte Ausfallkombinationen des Antriebs müssen bei der Auslegung der Halteplätze Berücksichtigung finden.

Motor Kenngrößen:

Folgende Motor Kenngrößen sind projektspezifisch festzulegen:

- Ohmscher Widerstandsbelag,
- Induktivitätsbelag,
- Kapazitätsbelag,
- Motorkonstante,
- Haupt- und Streuinduktivität,
- Maximal zulässige Leitertemperatur und Temperaturverhalten,
- Polradspannung.

Motor Kenndaten siehe Kap. 9, Anhang: Nr. 8.

Die Eigenschaften der Schutzvorrichtungen und der Langstatorwicklung müssen zur Erzielung einer zuverlässigen Schutzfunktion aufeinander abgestimmt werden.

Folgende Maßnahmen zur Reduzierung des Anschlussfahrweges sind bei Bedarf vorzusehen:

- Teilweise Bewicklung einer oder mehrerer Statorabschnitte mit daraus resultierender Änderung der Motordaten,
- Zeitweise oder feste Verschaltung eines oder mehrerer Statorabschnitte oder Teile von Statorabschnitten beidseitig im Sternpunkt (Kurzschluss).

6.1.3 Betriebsleittechnik

§ 15, (3) und § 15, (4) /MbBO/ müssen berücksichtigt werden. Diese Anforderungen müssen gemäß /MSB AG-BLT/ ausgeführt werden.

6.1.3.1 Struktur

Die Betriebsleittechnik muss die Komponenten und Funktionen zur Sicherung, Überwachung und Steuerung des Fahrbetriebs umfassen.

Die Betriebsleittechnik muss die Teilsysteme der Magnetschnellbahn funktional zu einem betriebsbereiten Gesamtsystem verbinden.

Die benachbarten Teilsysteme und operativen Ebenen der BLT sind (siehe Abbildung 16):

- *Fahrdienstleitung,*
- *Fahrweg und Stationen (einschl. Spurwechseinrichtungen und Referenzorten für die Ortung),*
- *Fahrzeug (alle MSB-Fahrzeuge und projektabhängig technisch gesicherte Sonderfahrzeuge),*
- *Antrieb und Energieversorgung (Unterwerke mit Antriebseinheiten),*
- *Instandhaltung.*

Die Komponenten der Betriebsleittechnik können mobil (z.B. Sicherungsrechner für ein Fahrzeug) oder ortsfest (z.B. Sicherungsrechner für einen Fahrwegbereich) sein.

Die ortsfesten Komponenten können sich weiter in zentrale Komponenten und in dezentrale Komponenten unterteilen.

Die Konfiguration muss im Rahmen der Projektierung nach den Vorgaben des Betreibers erfolgen.

6.1.3.2 Funktionen

Die Betriebsleittechnik muss folgende Funktionen beinhalten:

- Fahrablaufsteuerung,
- Fahrwegsicherung,
- Fahrprofilüberwachung,
- Fahrzeugsicherung,
- Antriebsabschaltung,
- Sichere Ortung,
- Datenübertragung.

Die **Fahrablaufsteuerungsfunktion** muss folgende Teilfunktionen beinhalten:

- die Bedien- und Anzeigefunktion (Anzeige des aktuellen Zustands des Fahrweges und aller der BLT bekannten Fahrzeuge, Bearbeitung der Bedieneingaben),
- Generierung von Fahrtvorgaben (aus Bedienhandlungen und automatisch aus Fahrplänen),
- Fahrwegeinstellung (Einstellen von beweglichen Fahrwegelementen),
- Generierung und Übertragung von Steuerungsdaten für Fahrzeuge.

Die **Fahrzeugsicherung** muss den Zustand der Fahrzeuge überwachen und steuern. Dazu muss sie beim MSB-Fahrzeug z. B. das Anheben, das Absetzen, die Überwachung der Funktion Bordenergieversorgung und die Ansteuerung der Sicheren Bremse über die Fahrzeugsteuerung abwickeln.

Die **Fahrwegsicherung** muss das Stellen und Überwachen von Fahrstraßen entsprechend den Fahrwegparametern einschließlich der beweglichen Fahrwegelemente realisieren. Die Besetzungsverfolgung und die Fahrstraßenauflösung müssen die Informationen über die Fahrzeugbewegungen berücksichtigen.

Die **Sichere Ortung** muss auf der Basis der festgelegten Referenzorte und den darauf bezogenen Relativort den aktuellen Ort und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ermitteln. Diese Informationen muss die Sichere Ortung der Fahrprofilüberwachung zur Verfügung stellen (siehe auch Kapitel 6.2.2).

Die **Fahrprofilüberwachung** muss das zulässige Fahrprofil aus Fahrzeug- und Fahrwegdaten berechnen. Die Fahrprofilüberwachung muss dieses Profil mittels der sicheren Ortungsinformation des Fahrzeugs überwachen. Die Fahrprofilüberwachung muss eine Verletzung des Profils der Antriebsabschaltung und der Fahrzeugsicherung melden.

Die **Antriebsabschaltung** muss den Antrieb derart abschalten, dass die Wirkung der Sicheren Bremse vom Antrieb nicht unzulässig beeinflusst wird.

Bei Verletzung des Maximalfahrprofils muss zusätzlich die sichere Fahrzeugbremse ausgelöst werden.

Bei Verletzung des Minimalfahrprofils erfolgt nach der Antriebsabschaltung das antriebslose Ausschweben.

Die **Datenübertragung** muss den Austausch folgender Daten/Informationen zwischen den Teilsystemen der Magnetschnellbahn und innerhalb der Betriebsleittechnik gewährleisten:

- Sicherungsdaten,
- Antriebsdaten,
- Diagnosedaten,
- Fahrgastnotruf,
- Brandmeldung,
- Betriebliche Sprachübertragung.

6.1.3.3 Konfigurationsparameter

Aus systemspezifischen, projektspezifischen oder betrieblichen Anforderungen müssen mindestens die folgenden Randbedingungen bzw. Parameter für die Konfiguration der Betriebsleittechnik abgeleitet werden:

- Die gesamte Strecke muss ausgehend von betrieblichen Anforderungen und der Antriebsauslegung in Sicherheitsbereiche aufgeteilt werden.
- Fahrwegparameter:
 - Spurplan (Elementverkettung),
 - Gefahrenpunkte,
 - Spurwechseleinrichtungen,
 - Fahrweglängsneigung,
 - Ortungsgenauigkeit ggf. ortsbezogen (Lage der Referenzorte),
 - Halteplätze (Lage, Länge, Zielpunkte, Türfreigabe für MSB-Fahrzeuge),
 - Zwangshalt zum Halteplatz oder als Soforthalt,
 - Ortsbezogene Grenzgeschwindigkeiten,
 - Ortsbezogene Antriebskonfiguration,
 - Ortsbezogene fehlerhafte Antriebsbeschleunigung,
 - Ortsbezogene zulässige Überlagerung von Antrieb und Sicherer Bremse.
- Fahrzeugparameter:
 - Kennlinien für Sichere Bremse und antriebsloses Schweben von MSB-Fahrzeugen,
 - fahrzeugbezogene Grenzgeschwindigkeiten,
 - Fahrzeuglänge,
 - Absetzgeschwindigkeit von MSB-Fahrzeugen.
- Sonstige Parameter, sofern diese betriebsleittechnisch zu steuern sind:
 - Bereiche mit externer Bordenergieversorgung,
 - Bahnsteigtürfreigabe.

6.1.4 Fahrweg

6.1.4.1 Struktur

§ 12, (1), § 12, (2) und § 12, (3) und § 14 /MbBO/ müssen berücksichtigt werden.

Der Fahrweg gehört zu den Betriebsanlagen und untergliedert sich in:

- Fahrwegüberbauten,
- Fahrwegunterbauten,
- Spurwechseleinrichtungen,
- Sonderbauwerke,
- Streckenperipherie,
- Fahrwegausrüstung.

Die in Abbildung 22 definierten Grenzlinien und Freiräume sollten eingehalten werden, dürfen jedoch bauartabhängig und nach projektspezifischer Prüfung angepasst werden.

Die Instandhaltung des Fahrweges sollte vom Fahrwegträger aus erfolgen. Insbesondere bei der Instandsetzung von Fahrwegunterbauten kann davon abgewichen werden.

Fahrwegträger und Ausrüstungskomponenten dürfen in einem Anwendungsprojekt erst nach einer Qualifikation betrieben werden.

Vor dem Einsatz als Regelbauart in einem Anwendungsprojekt müssen Fahrwegträger und Ausrüstungskomponenten darüber hinaus unter möglichst anwendungsnahen Randbedingungen erprobt worden sein.

Die Rückwirkungen der einzelnen Baugruppen des Fahrweges aufeinander insbesondere unter der dynamischen Lasteinwirkung von Fahrzeugen und den Einwirkungen aus der Umwelt sind bauartspezifisch zu berücksichtigen.

Die Baugruppen des Fahrweges müssen projektspezifisch in einem Bauwerksverzeichnis eindeutig definiert werden.

Das Bauwerksverzeichnis muss wenigstens folgende Informationen beinhalten:

- Trassierungsparameter (Raumstationierung, Querneigung, Längsneigung, Horizontalradius, Vertikalradius, Fahrwegkoordinaten, Fahrweghöhe, Geländehöhe),
- Stütznummer,
- Trägernummer und -länge,
- Sonderbauwerke,
- Längslaufende und querende Infrastruktur (incl. Durchfahrtshöhen),
- Statorpaketanordnung (mit Angabe der Spalte),
- Lage und Kodierung der Lagereferenzleisten,

- Bereiche mit externer Bordenergieversorgung,
- Halteplätze,
- Lage und Anordnung der Motorwicklung in Bezug auf die Statorpaketanordnung,
- Kabelaufführungen an den Unterbauten.

Weitere Anforderungen an den Fahrweg sind in der Ausführungsgrundlage Fahrweg Teil I bis VI definiert.

Die darin definierten Anforderungen beziehen sich auf alle Baugruppen, die direkt am Fahrweg bzw. im unmittelbaren Trassenumfeld angeordnet sind.

6.1.4.2 Funktionen

Die aus Betrieb und Umwelt resultierenden und auf den Fahrweg wirkenden Lasten müssen projektspezifisch definiert werden.

Der Fahrweg muss diese Lasten aufnehmen und in den Baugrund einleiten.

Die aus Antrieb und Fahrzeug resultierenden Lasten werden über die Funktionsebenen des Fahrwegträgers in den Fahrweg eingeleitet.

Die Konstruktionen des Fahrwegs und seiner Anbauteile sollten fehlertolerant, fehleroffenbarend und / oder redundant ausgebildet werden.

Die Fahrwegträger müssen die fahrwegseitigen Baugruppen der MSB-spezifischen Fahrwegausrüstung aufnehmen.

Die Konstruktionen sind so auszulegen, dass die Funktionsebenen unter gleichzeitigem Einfluss des Fahrwegeigengewichtes und der Lasten aus dem Betrieb und der Umwelt höchstens Abweichungen von den Vorgaben der Raumkurve gemäß /MSB-FW GEO/ und /MSB-FW BEM/ aufweisen.

6.1.4.3 Konfigurationsparameter

6.1.4.3.1 Fahrwegüberbauten

Die Fahrwegüberbauten bilden die Fahrspuren des Fahrweges.

Die Fahrwegüberbauten müssen die Fahrwegausrüstung (gemäß Kap. 6.1.4.3.6) aufnehmen.

Die Fahrwegüberbauten müssen die einwirkenden Lasten (ggf. über die Lager) in die Fahrwegunterbauten ableiten.

Bei der Planung von MSB-Strecken sollte mit folgenden Regelfahrweg-Typen gearbeitet werden, projektspezifisch kann davon abgewichen werden:

- Fahrwegtyp I: Ein- /Mehrfeldträger mit Systemlängen von > 16 m (Richtwert: 24,768 m),
- Fahrwegtyp II: Ein- /Mehrfeldträger mit Systemlängen von ≤ 16 m (Richtwert: 12,384 m),
- Fahrwegtyp III: Mehrfeldplatten mit Systemlängen von z.B. 6 m (Richtwert: 6,192 m).

Die Fahrwegtypen I und II sind in der Regel diskret auf Stützen mit Einzelfundamenten gelagert. Die Auflagerungskräfte des Fahrwegtyps III werden in der Regel über Streifenfundamente in den Baugrund weitergeleitet.

Die Festlegung des jeweiligen Fahrweg-Typs und der Systemlängen muss projektspezifisch erfolgen.

Abweichend von den o.g. Richtwerten der Systemlängen können Träger mit gekürzter Systemlänge zum Einsatz kommen:

Zur Kompensation der radialen Verschiebung der Systemachsen beim Doppelspurfahrweg oder an Trassierungszwangspunkten können auf der bogeninnen liegenden Spur Fahrwegüberbauten eingesetzt werden, deren Systemlänge im Raster von 86 mm um bis zu 4*86 mm gekürzt werden kann.

Bei größeren Systemlängen (ca. > 31 m) müssen entweder Sonderträger oder Primärtragwerke mit aufgesetztem Regelfahrweg verwendet werden.

Für die Fahrwegüberbauten sind u. a. folgende „Bauweisen“ anwendbar:

- *Betonträger/ -platte mit integrierten (Beton-) Kragarmen,*
- *Stahlträger/ -platte mit integrierten (Stahl-) Kragarmen,*
- *Hybridträger /-platte als Betonträger/ -platten mit daran befestigten Modulen aus Stahl zur Aufnahme der Fahrwegausrüstung,*
- *Betonplatte auf Stahlträger oder Stahlplatte auf Betonträger.*

Nach der Lage der Gradienten zur Geländeoberkante (Fahrweghöhe) wird zwischen ebenerdigen und aufgeständerten Fahrwegen unterschieden.

Aufgeständerter Fahrweg

Fahrwege mit einer Fahrweghöhe zwischen 3,5 m und 20 m (in Sonderfällen > 20 m) werden als aufgeständerte Fahrwege bezeichnet.

Der aufgeständerte Fahrweg (siehe Abbildung 19) wird in der Regel in Trägerbauweise mit diskreten Unterbauten erstellt als:

- *Einfeldträger mit einseitigem Festlager,*
- *Zweifeldträger mit Festlager auf der Mittelstütze.*

Ebenerdiger Fahrweg

Fahrwege mit einer Fahrweghöhe von bis zu 3,5 m (minimale Höhe in Sonderfällen: 1,25 m) werden als ebenerdige Fahrwege bezeichnet.

Der ebenerdige Fahrweg kann in folgenden Bauweisen erstellt werden:

- *in Plattenbauweise mit kontinuierlichen Unterbauten (siehe Abbildung 20),*
- *Trägerbauweise mit diskreten Unterbauten entsprechend dem aufgeständerten Fahrweg.*

6.1.4.3.2 Fahrwegunterbauten

Die Fahrwegunterbauten müssen

- die aus den Fahrwegüberbauten einwirkenden Lasten in den Untergrund übertragen und
- die Befestigung von Zuleitungen der Fahrwegausrüstung ermöglichen.

Die Fahrwegunterbauten umfassen

- Fahrweggründung,
- Fahrwegstützen,
- sonstige Fahrwegunterbauten (einschließlich Masse-Feder System).

Die Abweichungen der Fahrweg - Stützorte in x-Richtung infolge elastischer Verformung der Unterbauten müssen auf folgende Werte begrenzt werden:

- 10 mm durch veränderliche Einwirkungen,
- 20 mm durch aussergewöhnliche Einwirkungen.

6.1.4.3.3 Spurwechseleinrichtungen

Die Forderung der /MbBO/, § 12, (2) muss beachtet werden.

Spurwechseleinrichtungen müssen den MSB-Fahrzeugen und den Sonderfahrzeugen den Wechsel von einer Fahrspur auf eine andere Fahrspur ermöglichen.

Generell wird zwischen Spurwechseleinrichtungen die keine Fahrtunterbrechung erfordern (Weichen) (siehe Abbildung 25) und Spurwechseleinrichtungen, die eine Fahrtunterbrechung erfordern (Schwenk- und Schiebebühnen) unterschieden.

Spurwechseleinrichtungen müssen mit Einrichtungen versehen sein, die die jeweilig erreichte Endlage nach dem Verstellvorgang verriegeln und gegen Verstellen zur Unzeit sichern.

Die Endlage und die Verriegelung der Endlage werden sicherungstechnisch durch die BLT überwacht.

Die Endlage der Spurwechseleinrichtung muss unabhängig von Ausfällen der Steuerung, Überwachung oder Energieversorgung beibehalten werden.

Der Ausfall einer einzelnen elektrischen, elektronischen oder elektromechanischen Baugruppe in Stell- und Verriegelungseinrichtungen, Steuerung, Überwachung bzw. Stromversorgung muss ohne Auswirkung auf die Verstellfunktion bleiben.

Die Verstellung der Spurwechseleinrichtung darf ausschließlich

- auf Veranlassung der BLT oder
- durch gesonderte Betriebsvorschrift geregelt, in Personalverantwortung erfolgen.

Die folgenden Randbedingungen sind projektspezifisch festzulegen:

- Verstellhäufigkeiten,
- erforderliche Verstellzeiten,
- MTBF und
- erforderliche elektrische Leistung.

6.1.4.3.4 Sonderbauwerke

Tunnel

Planung und Ausführung müssen projektspezifisch erfolgen.

Die Tunnel müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Aufnahme des Fahrweges,
- Aufnahme der Streckenperipherie,
- Anforderungen gemäß projektspezifischem Sicherheitskonzept,
- Einhaltung der definierten Freiräume und Grenzlinien.

Der Tunnel muss so ausgeführt werden, dass die Druckbeanspruchung des MSB-Fahrzeugs gemäß Kapitel 6.1.1.3.3 nicht überschritten wird.

Der Tunnel sollte so ausgeführt werden, dass die projektspezifisch zu definierenden auf den Passagier im Innenraum des MSB-Fahrzeugs wirkenden Druckänderungen gemäß Kap. 5.6.3 nicht überschritten werden.

Bei der Ausführung des gesamten Tunnelbauwerkes müssen projektspezifisch berücksichtigt werden:

- die Tunnellänge, die Anzahl der Spuren und die Fahrzeuglänge,
- über den Lichtraum hinausgehende räumliche Anforderungen (z.B. Streckenperipherie),
- Erschütterungseinleitungen,
- Tunnelknalleffekte,
- Abwärmeemissionen (z.B. Kabel),
- ggf. vorhandene Abgasemissionen von Sonderfahrzeugen.

Darüber hinaus müssen der Planung und dem Bau des gesamten Tunnelbauwerkes die einschlägigen Vorschriften für Tunnelbauten zu Grunde gelegt werden.

Die Einhaltung der geometrischen Anforderungen an den Fahrweg muss für den Übergang zwischen dem auf der Tunnelsohle ruhenden und dem angrenzenden, direkt auf dem Baugrund gegründeten Fahrweg gesondert nachgewiesen werden.

Primärtragwerke

Planung und Ausführung müssen projektspezifisch erfolgen.

Die Einhaltung der geometrischen Anforderungen an den Fahrweg ist für den Übergang zwischen dem auf dem Primärtragwerk ruhenden und dem angrenzenden, direkt auf dem Baugrund gegründeten Fahrweg gesondert nachgewiesen werden. Ggf. muss eine Übergangskonstruktion vorgesehen werden.

Der Langstator in der Übergangskonstruktion sollte ohne Antriebsfunktion ausgeführt werden.

Für den Bereich der Übergangskonstruktion muss die Funktion Ortung gesondert nachgewiesen werden.

6.1.4.3.5 Streckenperipherie

Die Streckenperipherie umfasst folgende Baugruppen:

- funktional erforderliche kleinere bauliche Anlagen, die im näheren Umfeld der Fahrwegtrasse benötigt werden (z.B. Funkmasten, Schaltstellen),
- projektspezifisch, örtlich erforderliche, bauliche Anlagen, mit trassennaher Anordnung (z.B. Schallschutzwand, Sichtschutz).

Eine unzulässige Rückwirkung von Bauten der Streckenperipherie auf das System muss ausgeschlossen werden.

Planung und Ausführung müssen projektspezifisch erfolgen.

6.1.4.3.6 Fahrwegausrüstung

Die Fahrwegausrüstung untergliedert sich in:

- die MSB-spezifische Fahrwegausrüstung (inklusive der jeweiligen Befestigungen) mit
 - Langstator mit Statorpaket und Langstatorwicklung,
 - Gleitleiste,
 - Seitenführschiene,
 - fahrwegseitige Baugruppen der Ortung,
 - fahrwegseitige Baugruppen der externe Bordenergieversorgung,
- die bauartspezifische Fahrwegausrüstung mit
 - Trägerlagerung,
 - Trägerspaltabdeckungen,
 - Erdung und Blitzschutz,
- und sonstige Anbauten mit
 - temporären und/ oder projektspezifischen Anbauten jeweils inkl. der Befestigung und
 - Vorrichtungen zur Instandhaltung am Fahrweg.

Statorpaket

Die Statorpakete bilden mit Ihrer Unterseite die Statorebene und müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Führung des durch die Tragsmagnete erzeugten magnetischen Flusses mit Aufnahme und Weiterleitung der durch den magnetischen Fluss erzeugten Kräfte (Tragkräfte),
- Aufnahme und Weiterleitung der Beschleunigungs- und Bremskräfte aus der Motorwicklung (Antriebskräfte),
- Bildung der Referenzfläche (Statorebene) zur Messung des Luftspaltes zwischen Statorpaket und Tragsmagnet,

- Bildung der Referenzfläche zur Fahrweginspektion,
- Bildung der Zahn-Nut-Folge zur Ortung,
- Bildung der Zahn-Nut-Geometrie für Flussmodulation zur induktiven Energieübertragung in das MSB-Fahrzeug (Bordenergieversorgung).

Die Blechqualität sollte M 800-50 A gemäß /EN 10106/ erfüllen, nach funktionaler Prüfung können projektspezifisch abweichende Festlegungen getroffen werden.

Die Zahn-Nut Geometrie muss das Systemraster von 86 mm einhalten.

Die Statorpaketeilung muss 1032 mm, bezogen auf die Raumkurve, betragen.

Die in /MSB AG-FW GEO/ definierten Maße für Versätze, Spalte und das Neigungsänderungskriterium der Statorebene müssen im montierten unbelasteten Zustand bei Referenztemperatur eingehalten werden.

Langstatorwicklung

Über die Befestigung der Langstatorwicklung in den Nuten des Statorpaketes muss die Weiterleitung der Schubkräfte aus dem Antrieb und der sonstigen Kräfte (z.B. Eigengewicht, aus dynamischer Anregung) in die Statorpakete erfolgen.

Die Langstatorwicklung muss als 3-phasige Wicklung ausgeführt werden (siehe Abbildung 24 und Abbildung 5).

Die Nennlänge einer Wicklungsperiode muss 516 mm, entsprechend der Wellenlänge des magnetischen Wanderfeldes (6 Zahn/Nut-Perioden), betragen.

Der Richtwert für die Kabellänge eines einzelnen Leiters beträgt 2,35m je laufendem Meter Fahrweg.

Folgende Anforderungen müssen eingehalten werden:

- Die elektrischen Daten und Eigenschaften der Motorwicklung gemäß Kap. 6.1.2 Antrieb,
- die Anforderungen an den Langstatorschutz gemäß /MSB AG-ANT/ ,
- Anschluß der Wicklungserdung an die Erdung der Fahrweges gemäß /MSB AG-FW ÜBG/,
- der Anschluss der Motorwicklung muss an geeigneten Stellen (z.B. im Bereich von Stützen) unter Beachtung der Freiräume gemäß Abbildung 22 und der /MSB AG-FW ÜBG/ ausgeführt werden,
- bei der Verlegung der Motorwicklung sind temperatur- und lastbedingte min. und max. Spalte in der Statorebene zu berücksichtigen.

Die Motorabschnittsenden sollten an Fahrwegträgerenden gelegt werden.

Gleitleisten / Gleitebene

Die Gleitebene kann integrierter Bestandteil des Fahrwegträgers sein oder als Gleitleiste ausgeführt werden.

Die Gleitebene muss folgende Anforderungen erfüllen:

- die aus Sonderfahrzeugen eingeleiteten Einwirkungen unter Berücksichtigung der Einwirkungen aus der Umwelt aufnehmen,
- die entstehenden statischen und dynamischen Kräfte unter Berücksichtigung der Einwirkungen aus der Umwelt an der Schnittstelle Tragkufe und Gleitebene berücksichtigen,
- eine max. Längskraft von 250 kN je MSB-Fahrzeugsektion aufnehmen und in den Fahrwegträger weiterleiten,
- die aus Haftreibung resultierende Längskraft zwischen der Gleitkufe des MSB-Fahrzeugs und der Gleitebene des Fahrwegs muss bei den projektspezifisch festzulegenden Umweltbedingungen und Längsneigungen in Bereichen, in denen Fahrzeuge gegen unbeabsichtigte Bewegungen zu sichern sind, größer sein als die anteilige Hangabtriebskraft und die Windkraft in x-Richtung (s. Kap. 5.1.2.1),
- die /MSB AG-FW GEO/ definierten Maße für Versätze, Spalte und das Neigungsänderungskriterium der Gleitleiste im montierten unbelasteten Zustand bei Referenztemperatur einhalten,
- die definierten min. und max. Werte der Spalte und Versätze unter Verkehrslast einhalten, sowohl in der Planungsphase, als auch nach Fertigstellung des Fahrweges mit projektspezifischem Nachweis,
- in äquidistanten Abstand parallel zur Raumkurve ausgeführt werden.

Die Gleitleisten sollten trägerlang ausgeführt werden.

Seitenführschiene / Seitenführebene

Die Seitenführschiene bilden mit ihrer Oberfläche die Seitenführebene und müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- die Anforderungen einer Reaktionsschiene für die Führungsmagnete und den Bremsmagneten erfüllen,
- alle statischen und dynamischen Einwirkungen an der Schnittstelle Führungsmagnet/ Seitenführebene und Bremsmagnet/ Seitenführebene aus Betrieb und Umwelt aufnehmen,
- die aus Sonderfahrzeugen eingeleiteten Einwirkungen aufnehmen,
- müssen die in /MSB AG-FW GEO/ definierten Maße für Versätze, Spalte und das Neigungsänderungskriterium der Seitenführebene im montierten unbelasteten Zustand bei Referenztemperatur einhalten.

Die Seitenführschiene sollten trägerlang und in äquidistantem Abstand zur Raumkurve ausgeführt werden.

Die Seitenführschiene sollten aus Sonderstahl mit einer gegenüber S235 (ST37-2) um den Faktor 3 reduzierten elektrischen Leitfähigkeit oder einem gleichwertigen Material gefertigt werden. Für eine hiervon abweichende Materialwahl ist in der Systemauslegung eine Veränderung von Bremseigenschaften und Fahrwiderstand zu berücksichtigen.

Fahrwegseitige Baugruppen der Bordenergieversorgung von MSB-Fahrzeugen

Die fahrwegseitige Baugruppen der Bordenergieversorgung dienen der elektrischen Energieübertragung zu den fahrzeugseitigen Baugruppen der externen Bordenergieversorgung im niedrigen Geschwindigkeitsbereich und sind projektspezifisch festzulegen .

Fahrwegseitige Baugruppen der Ortung

Die fahrwegseitige Baugruppen der Ortung dienen als Referenzorte. Anforderungen an die Anordnung entlang des Fahrweges sind projektspezifisch zu definieren.

Trägerlagerung

Die Trägerlagerung muss eine Justierbarkeit zur Kompensation plastischer Baugrundverformungen ermöglichen.

Die Trägerlagerung muss die Ableitung aller Kräfte aus den Fahrwegträgern sicherstellen.

Trägerspaltabdeckungen

Trägerspalte zwischen aufeinanderfolgenden Fahrwegträgern müssen geschlossen werden, wenn sie

- größer als 20 mm werden können und
- in Streckenabschnitten mit einer Streckenhöchstgeschwindigkeit oberhalb 150km/h liegen.

Erdung und Blitzschutz

Zum Schutz von Personen und gegen die Auswirkungen elektrostatischer Aufladungen sowie im Hinblick auf die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) müssen die elektrischen Einwirkungen aus

- Blitzeinschlägen,
- Potentialunterschieden und
- Erd- und Fehlerströmen

des Fahrzeugs und aller Baugruppen des Fahrweges bei der Bemessung einer Erdungs- und Blitzschutzanlage des Fahrweges berücksichtigt werden.

Hierzu muss ein projektspezifisches Erdungs- und Blitzschutzkonzept erstellt werden.

Sonstige Anbauten

Sonstige Anbauten am Fahrweg (bedingt z.B. durch Qualifikation neuer Baugruppen, Messungen oder projektspezifische Anforderungen) müssen so beschaffen sein, dass sie

- unter den projektspezifischen Umweltbedingungen allen für sie spezifizierten Beanspruchungen zuverlässig während der projektspezifisch festgelegten Nutzungsdauer standhalten und
- keine ungewollten Rückwirkungen auf das System zur Folge haben.

6.1.4.3.7 Grenzl原因en und Maße für feste Einbauten und Fahrzeuge

Folgende Grenzl原因en sind bei der Konstruktion der Baugruppen des Fahrweges einzuhalten:

- Begrenzungsl原因e für den kinematischen Raumbedarf des Fahrzeuges,
- Umgrenzung für Instandhaltungsanlagen (z.B. Waschanlage),
- Grenzl原因e für feste Anlagen,
- Grenzl原因en für Bahnsteige und Bahnsteigtüren.

Die Lage der einzelnen Elemente der Fahrwegausr原因ung in Bezug zur Raumkurve, sowie die für die Ausr原因ungen zur Verfügung stehenden Einbauräume sind in Abbildung 22 dargestellt.

Der zwischen den Einbauräumen und Grenzl原因en zur Verfügung stehende Raum kann für lokale Zu- und Ableitungen und als Montageraum genutzt werden. Um Mehrfachbelegungen dieses Raumes auszuschließen, muss die Nutzung projektspezifisch festgelegt werden.

6.1.4.3.8 Toleranzen, Lageabweichungen

Die Lage (Y, Z-Lage) der Funktionsflächen sowie die dafür definierten Einbauräume müssen wie in Abbildung 22 angegeben eingehalten werden.

Alle Angaben zur Fahrweggeometrie beziehen sich auf die Funktionsebenen im eingebauten, beschichteten Zustand (mechanische Maße, nicht elektrisch wirksame Maße).

Die definierten Maße gelten für den unbelasteten Zustand (Fahrweg ohne Verkehrslast und nur durch Eigengewicht belastet) bei projektspezifisch festzulegender Referenztemperatur.

Die max. und min. Spalte müssen darüber hinaus unter Beachtung der Längenänderung des Fahrweges durch Temperatureinwirkung, der elastischen Verformung der Unterbauten bei Lasteinwirkung, sowie der Montagetoleranzen eingehalten werden.

Die geometrischen Anforderungen und Toleranzen der Funktionsebenen sind in der /MSB AG-FW GEO/ festgelegt.

6.1.5 Sonstige Betriebsanlagen

Die Anordnung trassennaher Bauwerke sowie der sonstigen Betriebsanlagen muss projektspezifisch festgelegt werden.

Dabei müssen die Systemanforderungen berücksichtigt werden bezüglich:

- Lichtraum,
- Grenzl原因en,
- aerodynamischer Einflüsse,
- Einflüssen auf das MSB-Funksystem,
- Bemessung,
- Instandhaltung und
- weiterer projektspezifischer Anforderungen.

6.1.5.1 Stationen

§ 3, (3); § 15, (1) bis § 15, (6) /MbBO/ müssen berücksichtigt werden. Diese Anforderungen müssen wie folgt ausgeführt werden:

Stationen

Stationen müssen für eine projektspezifisch festzulegende Durchfahrgeschwindigkeit, die die örtliche Streckenhöchstgeschwindigkeit nicht überschreiten darf, ausgelegt werden.

Anforderungen an einen Witterungsschutz sind projektspezifisch zu definieren.

Die Ausrüstung mit gläsernen Türen und Wänden muss nach /DIN EN ISO 12543/ mit Sicherheitsglas erfolgen.

Die Festlegung von Beleuchtung, Blitzschutz/Brandschutz, Bodenbeläge, Zu-Abgänge und Zugangsmöglichkeit für Rettungsdienste muss projektspezifisch unter Berücksichtigung der am Standort gültigen Vorschriften erfolgen.

Der Fahrweg im Bereich der Stationen (Bahnsteige und anschließender Streckenbereich gemäß Kap. 5.4.4) sollte mit externer Bordenergieversorgung ausgerüstet werden.

Die Freiräume und Abstände zwischen Fahrzeug und Bahnsteig müssen unter Berücksichtigung der Fahrzeugbegrenzung von MSB-Fahrzeugen projektspezifisch festgelegt werden.

Die Ausführung/Ausrüstung der Stationen muss projektspezifisch erfolgen.

Bahnsteigtüranlagen

Bahnsteigtüranlagen dienen dazu Gefährdungen von Personen beim Fahrgastwechsel und durch durchfahrende Züge im automatischen Fahrbetrieb zu vermeiden (analog zu §31, (5) BOStrab).

Es muss unabhängig von den Zugbewegungen sichergestellt werden, dass

- Personen nicht in den Lichtraum des fahrenden Zugs geraten bzw. durch Fall oder Sprung vom Bahnsteig auf den Fahrweg gelangen können,
- Gegenstände vom Bahnsteig aus nicht in den Lichtraum des Zuges geraten können und
- Personen auf dem Bahnsteig nicht durch Einwirkungen durchfahrender Züge gefährdet werden können.

Projektspezifisch müssen die Ortungsgenauigkeit, die Breite und der Abstand der Außentüren von MSB-Fahrzeugen und die Anordnung der Bahnsteigtüren so aufeinander abgestimmt werden, dass bei Halt und mit geöffneten Fahrzeug- und Bahnsteigtüren eine festgelegte lichte Durchgangsbreite mit einer festgelegten Wahrscheinlichkeit vorhanden ist.

Dadurch werden Gefährdungen beim Fahrgastwechsel durch zu engen Durchgang vermieden. Als Ortungsmittel kommen z.B. die Sichere Ortung, die steuerungstechnisch relevante Ortung, oder eigene Ortungsmittel der Bahnsteigtüranlage in Frage.

Durch die Konstruktion der Bahnsteigtüren muss sichergestellt werden, dass ein selbsttätiges Verlassen der gesicherten Endlage ohne Freigabe durch die Sicherungseinrichtung nicht möglich ist.

Es sollte möglich sein, zeitweise eine Vor-Ort-Bedienung (z.B. für Instandhaltungsarbeiten) einzurichten.

Fahrwegreservierung und Vor-Ort-Bedienung müssen sich ausschließen.

Es muss an der Bahnsteigtüranlage möglich sein, einzelne gestörte Bahnsteigtüren manuell zu verriegeln, gegen das Verstellen zu sichern und dadurch aus der technischen Steuerung und Überwachung zu nehmen.

Die Ansteuerung und -überwachung der betreffenden Bahnsteigtür wird damit überbrückt.

Die Überbrückung der Meldung der gesicherten Endlage (geschlossen, verriegelt und gegen Öffnen gesichert) darf nur nach manueller Verriegelung der Tür in geschlossener Lage erfolgen.

Manuell verriegelte und gegen Verstellen gesicherte Bahnsteigtüren dürfen nur unter Personalverantwortung wieder zum Verstellen freigegeben werden.

Bahnsteigtüren müssen Notentriegelungseinrichtungen besitzen, die von der Fahrwegseite aus durch Fahrgäste bedienbar sein müssen und eine Räumung des Zuges unabhängig von der Positionierung des MSB-Fahrzeugs erlauben.

6.1.5.2 Unterwerke

Planung und Bau von Unterwerken müssen projektspezifisch erfolgen.

6.1.5.3 Betriebszentrale

Planung und Bau von Betriebszentralen müssen projektspezifisch erfolgen.

6.1.5.4 Halteplätze

Betriebshalteplätze

Die Anordnung und Ausstattung der Betriebshalteplätze erfolgt projektspezifisch unter Berücksichtigung der Vorgaben in Kapitel 5.4.1.2.4.2.

Betriebshalteplätze müssen bei Betriebsstörungen die Möglichkeit zum Aussteigen von Fahrgästen und Personal gewährleisten.

Der Ausstieg erfolgt in der Regel durch im MSB-Fahrzeug mitgeführte Ausstiegshilfen.

Weitere Anforderungen siehe Kapitel 5.4.1.2.4.2.

6.1.5.5 Instandhaltungsanlagen

Die Instandhaltungsanlagen untergliedern sich in:

- zentrale Instandhaltungsanlagen,
- dezentrale Instandhaltungsanlagen und
- Basisstandorte für Sonderfahrzeuge.

Die Instandhaltungsanlagen müssen projektspezifisch ausgelegt werden.

6.1.6 Sonderfahrzeug

Sonderfahrzeuge können aus eigener Kraft angetrieben werden.

Projektspezifisch muss festgelegt werden, über welche technische Ausrüstung Sonderfahrzeuge verfügen müssen.

Hierbei müssen die mit den Sonderfahrzeugen durchzuführenden Maßnahmen (z. B. Instandhaltungsmaßnahmen) berücksichtigt werden.

Für Anhänger von Sonderfahrzeugen, die unabhängig von diesen Sonderfahrzeugen eingesetzt werden sollen, gelten die Regelungen für Sonderfahrzeuge.

Für die Sicherung von Sonderfahrzeugen gilt Folgendes:

- Sofern das Betriebsprogramm einen gleichzeitigen Fahrbetrieb mit MSB-Fahrzeugen und Sonderfahrzeugen vorsieht, müssen Sonderfahrzeuge in die technische Sicherung einbezogen werden.
In diesem Fall sollten Sonderfahrzeuge technische Einrichtungen zur Ermittlung der Fahrzeugposition und Steuerung/ Überwachung der Fahrzeugbremsen (Betriebs- und Feststellbremse) und des Fahrzeugantriebs enthalten.
- Sofern kein gleichzeitiger Fahrbetrieb mit MSB-Fahrzeugen und Sonderfahrzeugen stattfinden soll, ist dies durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen.

Gleichzeitiger Fahrbetrieb von MSB-Fahrzeugen und Sonderfahrzeugen liegt dann nicht vor, wenn sich alle Sonderfahrzeuge während des Fahrbetriebs von MSB-Fahrzeugen an ihren bestimmungsgemäßen Abstellpositionen oder in gesperrten Streckenabschnitten befinden, oder wenn sich alle MSB-Fahrzeuge während des Fahrbetriebs mit Sonderfahrzeugen an bestimmungsgemäßen Abstellpositionen befinden.

Ausnahmeregelungen z.B. für die Inbetriebnahmephase, für außerplanmäßige Instandhaltung oder im Zusammenhang mit dem Rettungskonzept bleiben hiervon unberührt.

Sonderfahrzeuge werden durch technische Einrichtungen spurgeführt. Diese müssen so ausgelegt sein, dass ein Abkippen des Fahrzeugs (auch vom quergeneigten) Fahrweg verhindert wird.

Die eingetragenen Lasten aus Sonderfahrzeugen dürfen nicht zu Beanspruchungen führen, die für die Dimensionierung des Fahrweges maßgebend werden.

Die mechanischen Eigenschaften des Sonderfahrzeugs inklusive vorhandener Auf- und Anbauten zur Erfüllung ihres Bestimmungszwecks (z.B. Arbeitsbühnen, Kräne, Schneepflug) müssen hinsichtlich

- Geometrie (Maße von Wagenkasten und Fahrgestell, z.B. Spurbreite),
- Gewicht und Gewichtsverteilung,

auf die in /MSB AG-FW BEM/ genannten Bemessungsgrenzwerte für orts- und zeitabhängige Kraft- und Beschleunigungseinwirkungen sowie Freiraumvorgaben gemäß /MSB AG-FW GEO/ abgestimmt werden.

6.2 Schnittstellen und teilsystemübergreifende Funktionen

6.2.1 Lasten und Einwirkungen

Kriterien für die Bemessung der Struktur von Fahrzeug und Fahrweg:

- a) Die relevanten Einwirkungen (ständige, veränderliche und außergewöhnliche) müssen nach Art und Größe bekannt sein.
- b) Die relevanten Einwirkungen müssen hinsichtlich ihrer Auftretenshäufigkeit bekannt sein (Annahmen sind zulässig).
- c) Die Einwirkungskombinationen und die daraus resultierenden Beanspruchungen der Baugruppen müssen bekannt sein.

d) Lasten infolge Einwirkungskombinationen mit einer kleineren Eintretenswahrscheinlichkeit als SIL 4 (gemäß /DIN EN 61508-1/) müssen bei der Bemessung nicht berücksichtigt werden.

e) Für Gefahrenfälle infolge von Einwirkungskombinationen nach d) sollte eine Risikobewertung gemäß EN 50126 durchgeführt werden.

Bei der Ermittlung der Eintretenswahrscheinlichkeit gemäß d) kann auf statistische Daten und Erfahrungswerte aus dem Feldeinsatz vergleichbarer Systeme/ Baugruppen/ Materialien zurückgegriffen werden.

Fahrzeuggewicht

Das Gewicht der MSB-Fahrzeuge ist gemäß Anhang 9, Pkt. 4.3 festzulegen.

Folgende Beladungszustände sind gemäß Anhang. 9 zu berücksichtigen:

- *Fahrzeugleergewicht (ohne Nutzlast),*
- *Mittleres Fahrzeuggewicht (z.B. 80% der zulässigen Nutzlast) bei Personenfahrzeugen,*
- *Zulässiges Fahrzeuggewicht (100% zulässige Nutzlast bei Personen- und Güterfahrzeugen),*
- *Maximales Fahrzeuggewicht (z.B. außergewöhnliche Betriebssituationen wie Evakuierung in benachbarte Sektionen bei Personenfahrzeugen).*

Nutzlast ist definiert als:

- *Gewicht der Fahrgäste mit Gepäck (Personenfahrzeuge),*
- *Gewicht der Zuladung (Güterfahrzeuge).*

Die Auftretenshäufigkeiten der Beladungszustände sind projektspezifisch festzulegen.

Die für die Bemessung zu berücksichtigenden Beladungszustände können auf Grund der Auftretenshäufigkeiten abweichend festgelegt werden.

Einwirkungen:

Auf Basis der projektspezifisch festgelegten Fahrzeuggewichte und der Randbedingungen wie

- zulässige Beschleunigungen in x-, y- und z-Richtung,
- betriebliche und maximale Fahrgeschwindigkeiten,
- Umweltbedingungen (z.B. Seitenwind, Temperaturen)
- zulässige Betriebssituationen

sind unter Berücksichtigung der Anforderungen in /MSB AG-FW BEM/ und /MSB AG-ANT/ die an den kraftübertragenden Schnittstellen Fahrzeug / Fahrweg anzusetzenden Einwirkungsgrößen zu ermitteln.

Der Antriebsstrom muss so begrenzt werden, dass die maximal zulässige Kraft gemäß Kap. 9 Nr. 7. (1) nicht überschritten wird.

Der Antriebsstrom muss so begrenzt werden, dass die maximal zulässige Beschleunigung / Verzögerung gemäß § 13, Absatz 5, /MbBO/ nicht überschritten wird.

Die Begrenzung des Antriebsstroms im Fehlerfall ist in Kap. 5.4.1 geregelt.

Einwirkungsbedingungen	Auftretenshäufigkeit
A: Systemzustand ohne Ausfälle bzw. Störungen von Baugruppen.	Häufige veränderliche Einwirkungen
B: Systemzustand mit Ausfällen bzw. Störungen von Baugruppen.	Seltene und außergewöhnlich seltene veränderliche Einwirkungen

Tabelle 6: Definition der Einwirkungsbedingungen A / B

Folgende Einwirkungen sind zu beachten.

Schnittstelle	Einwirkungsbedingungen A	Einwirkungsbedingungen B
Tragmagnet / Langstator	Kräfte in z-Richtung aus - Fahrzeugeigengewicht - Nutzlast unter Berücksichtigung zusätzlicher Massenkräfte resultierend aus - der Geschwindigkeit und - der Streckenführung (Radien, Quer- und Längsneigung) Einwirkungen auf das Fahrzeug (insbesondere Aerodynamik) Kräfte in x-Richtung durch den Langstatorantrieb Tragfeldbeeinflussung durch Antriebsströme (Höhe und Dauer müssen projektspezifisch festgelegt werden)	Erhöhte Tragmagnetkraft benachbarter Tragmagnete bei Ausfall Magnetregelkreis Tragen Erhöhte Kräfte infolge von Antriebsfehlern Erhöhtes Nutzlastgewicht bei außergewöhnlichen Betriebssituationen
Führmagnet / Seitenführschiene	Kräfte in y-Richtung bei quergeneigtem Fahrweg aus - Fahrzeugeigengewicht - Nutzlast unter Berücksichtigung zusätzlicher Massenkräfte aus - der Geschwindigkeit und - der Streckenführung (Radien, Quer- und Längsneigung) Aerodynamische Einwirkungen auf das Fahrzeug	Erhöhte Führmagnetkraft benachbarter Führmagnete bei Einzelausfall Magnetregelkreis Führen Mechanische Führfunktion bei Ausfall zweier benachbarter Magnetregelkreise Führen
Tragkufe / Gleitleiste	Kräfte in x-, y- und z-Richtung aus - Fahrzeugeigengewicht - Nutzlast unter Berücksichtigung der Fahrweglage (Radien, Quer- und	Mechanische Tragfunktion bei Ausfall zweier benachbarter Magnetregelkreise Tragen Absetzen des MSB-Fahrzeugs bei

Schnittstelle	Einwirkungsbedingungen A	Einwirkungsbedingungen B
	Längsneigung) und des Reibbeiwerts in x- und y-Richtung.	$v > 0$ km/h infolge von Antriebsstörungen
Fahrzeugbremse / Seitenführschiene		Mechanische und/oder magnetische Kräfte in x- und y-Richtung bei Bremsen mit sicherer Bremse

Tabelle 7: Einwirkungen an den Schnittstellen Fahrzeug - Fahrweg

Die dimensionierenden Einwirkungen sind auf Basis von /MSB AG-FZ BEM/ und /MSB AG-FW BEM/ festzulegen und in einer projektspezifischen Spezifikation zu dokumentieren.

6.2.2 Ortung

6.2.2.1 Aufgabe und Struktur

Die Ortung ist eine Einrichtung zur Orts- und Geschwindigkeitsbestimmung von technisch gesicherten Fahrzeugen.

Die Gesamtfunktion Ortung untergliedert sich in Einrichtungen und Funktionen innerhalb der Teilsysteme Fahrzeug (sofern es sich um technisch gesicherte Fahrzeuge handelt), Fahrweg, Betriebsleittechnik und Antrieb (Abbildung 18).

6.2.2.2 Funktionale Anforderungen

Die Anforderungen an die Ortserfassung (Einrichtungen zur Ermittlung der Orts- und Geschwindigkeitsinformationen) müssen von allen Teilsystemen festgelegt werden.

Einrichtungen zur Ermittlung der Orts- und Geschwindigkeitsinformationen werden als „steuerungstechnisch relevante Ortung“ (siehe. Abbildung 18) bezeichnet.

Es müssen Komponenten zur Feststellung von Referenzorten und Relativorten ortsfest vorhanden sein.

Die Ermittlung von Orts- und Geschwindigkeitsinformationen von technisch gesicherten Fahrzeugen wird durch Abtasten von Merkmalen des Fahrwegs z.B. am Fahrweg installierte Lagereferenzpunkte (Lagereferenzleisten, LRL) und die Statorpakete (Nut- / Zahn - Periodizität) erreicht.

Die fahrwegseitigen Ortsinformationen müssen von fahrzeugseitigen Einrichtungen erfasst und weiterverarbeitet werden:

- Für den Antrieb müssen folgende Informationen bereitgestellt werden (siehe auch /MSB AG-ANT/):
 - Fahrzeugort,
 - Fahrzeuglagesignal (Polradwinkel),
 - Fahrzeugkennung.

- Für die Funktion „Sichere Ortung“ der Betriebsleittechnik müssen folgende Informationen bereitgestellt werden (s. /MSB AG-BLT/):
 - Fahrzeugort,
 - Fahrzeuggeschwindigkeit,
 - Fahrtrichtung.
- Desweiteren müssen Ortsinformationen zu Diagnosezwecken bereitgestellt werden.

Die Genauigkeit, die Aktualität und die Sicherungsverfahren auf den Übertragungswegen aller Ortsinformationen müssen projektspezifisch und ggf. orts- und geschwindigkeitsabhängig festgelegt werden.

Projektspezifisch müssen das Koordinatensystem (Stationierung/Kilometrierung) und dessen Bezug zum Fahrzeug unter Berücksichtigung der Fahrzeuglänge festgelegt werden.

Weitergehende Festlegungen der Schnittstellen zwischen den beteiligten Teilsystemen sind projektspezifisch festzulegen.

Die Festlegung der Referenzorte entlang der Strecke sowie in der Anfahrt auf

- Stationen,
- Halteplätze,
- Abstellplätze und
- Spurwechseleinrichtungen

muss projektspezifisch erfolgen.

6.2.2.3 Konstruktive Anforderungen

Einbauorte der fahrzeugseitigen Einrichtungen (z.B. Sensoren zur Abtastung Nut/Zahn-Periodizität des Langstators und der Referenzortinformation sowie elektronische Auswertebaugruppen) sind projektspezifisch festzulegen.

Für die fahrzeugseitigen Einrichtungen sind insbesondere zu beachten:

- der Raumbedarf der fahrwegseitigen Komponenten (siehe Abbildung 22) unter Berücksichtigung dynamischer Bewegungen des Fahrzeugs während der Fahrt,
- die Umweltbedingungen sowie mechanische Anforderungen gemäß /MSB AG-UMWELT/, /EN 50125-1/ und /EN 61373/.

Details zu den Anforderungen an die fahrwegseitigen Einrichtungen finden sich in /MSB AG-FW ÜBG/.

Weitergehende Festlegungen der Schnittstellen zwischen den beteiligten Teilsystemen sind projektspezifisch zu treffen.

6.2.2.4 Nachweisführung

Sicherheitsanforderungen an die Ortung einschließlich der Verantwortlichkeiten für die Nachweisführung müssen projektspezifisch in Schnittstellendokumenten festgelegt werden.

Ihre Erfüllung muss teilsystemübergreifend für die Gesamtfunktionalität nachgewiesen werden.

Anforderungen können z.B. sein:

- *Diversität und Unabhängigkeit sowohl bei der Detektion als auch bei der Verarbeitung der Daten,*
- *Fehleroffenbarung (zulässige Ausfalloffenbarungszeit, Systemreaktionen),*
- *Ungefährlichkeit von Einzelausfällen.*

6.3 Betrieb

6.3.1 Abgrenzung Betrieb/ Betriebsarten

6.3.1.1 Definition Betrieb

„Betrieb“ ist die Gesamtheit aller Maßnahmen, die der Beförderung von Personen und Gütern dienen (/MbBO/, § 2).

Dies umfasst sowohl die Bereithaltung der MSB-Gesamtanlage, die Vorbereitung und Durchführung von Fahrtvorhaben (Fahrbetrieb) als auch die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen.

Vorgaben für den Betrieb sind ferner im vom MSB-Unternehmer zu erstellenden Betriebshandbuch (/MbBO/, § 24) zu regeln. Dabei müssen projektspezifisch die Eigenschaften des MSB-Systems sowie die betrieblich/ organisatorischen Rahmenbedingungen des MSB-Unternehmers und geltende gesetzliche Bestimmungen berücksichtigt werden.

Während des Fahrbetriebs können gleichzeitig Bau- oder Instandhaltungsmaßnahmen (inklusive damit verbundener Fahrtvorhaben) stattfinden. Hierfür sind projektspezifische Regelungen zu erlassen.

Für Fahrten zur erstmaligen Inbetriebsetzung des Systems und für Demonstrationsfahrten während der Inbetriebnahmephase sind projektspezifische Sonderregelungen zu erlassen sowie ggf. zusätzliche Sicherungseinrichtungen vorzusehen.

Anforderungen an Regeln für den Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung) sind /MSB AG-BTR / zu entnehmen.

6.3.1.2 Definition Betriebsarten

Betriebsarten sind definierte und eindeutig voneinander abgegrenzte Arten des Fahrbetriebes, die sich in ihren technischen und nichttechnischen Maßnahmen zur Durchführung von Fahrten unterscheiden.

Betriebsarten sind fahrzeugbezogen, d.h. für jedes am Fahrbetrieb teilnehmende Fahrzeug wird eine Betriebsart eingestellt.

Der Fahrbetrieb muss in einer der beiden folgenden Betriebsarten durchgeführt werden:

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Gesamtsystem

- **"Normalbetrieb":**
Fahrten unter vollständiger technischer Sicherung,
- **"Abweichungen vom Normalbetrieb":**
Fahrten unter einer nicht vollständigen technischen Sicherung
Für Fahrbetrieb mit MSB-Fahrzeugen in der Betriebsart "Abweichung vom Normalbetrieb" sollte eine vollständige technische Sicherung des Fahrwegs vorhanden sein. Dabei sollten die BLT-Funktionen Fahrablaufsteuerung, Fahrwegsicherung, Fahrprofilüberwachung, Antriebsabschaltung und Sichere Ortung nicht beeinträchtigt sein. Es ist zulässig, dass die Überwachung sicherheitsrelevanter fahrzeugseitiger Zustandsignale (überwacht durch die BLT-Funktion Fahrzeugsicherung) nicht vollständig vorhanden ist.
Diese Betriebsart kann z.B. bei Überführungsfahrten in eine Instandhaltungsanlage notwendig sein.
Zur Durchführung von Fahrten in der Betriebsart "Abweichungen vom Normalbetrieb" müssen projektspezifische Festlegungen hinsichtlich der anzuwendenden betrieblichen Regelungen getroffen werden.

Für Sonderfahrzeuge müssen die Randbedingungen für den Fahrbetrieb projektspezifisch in Abhängigkeit von deren technischer Ausrüstung festgelegt werden.

Ausnahmefälle wie z. B. Sicherung des Fahrbetriebs innerhalb von Instandhaltungsanlagen müssen projektspezifisch festgelegt werden.

Zum gleichzeitigen Fahrbetrieb von MSB-Fahrzeugen und Sonderfahrzeugen siehe auch Kapitel 6.1.6.

6.3.1.3 Grundsätze für die Anwendung der Betriebsarten

Fahrbetrieb mit Fahrgästen mit MSB-Fahrzeugen muss grundsätzlich in der Betriebsart Normalbetrieb durchgeführt werden. Ausnahmen sind nur in gesondert zu definierenden Störungs- und Notfällen zulässig.

Für Fahrbetrieb in der Betriebsart „Abweichungen vom Normalbetrieb“ müssen die Maßnahmen zur nichttechnischen Überwachung des Fahrzeugzustands im Regelwerk für Betrieb festgelegt werden.

Gleichzeitiger Betrieb von Fahrzeugen in unterschiedlichen Betriebsarten muss projektspezifisch geregelt werden.

6.3.2 Betriebliche Funktionen und Abläufe

6.3.2.1 Fahrtvorgaben und Überwachung des Betriebs

Für Fahrten in den Betriebsarten laut Kap. 6.3.1.2 müssen manuelle und automatisch generierte Fahrtvorgaben möglich sein.

Das Fahrbetriebspersonal muss die Möglichkeit haben, Überwachungs- und Steuerungsaufgaben wahrzunehmen.

Das Fahrbetriebspersonal muss die Möglichkeit haben, die Betriebsart zu wechseln.

Weitere Festlegungen siehe /MSB AG-BLT/.

6.3.2.2 Abfahrt von einer Station im Normalbetrieb

Sicherung der MSB-Fahrzeug-Außentüren: Siehe /MSB AG-BLT/, Kapitel 6.3.3.5.

Sicherung der Bahnsteigtüren: Siehe /MSB AG-BLT/, Kapitel 6.3.2.7.

Optische und akustische Signale für Fahrgäste zum Signalisieren der Zeit bis zur Abfahrt sollten in den Stationen vorgesehen werden

6.3.2.3 Anfahrt zu einer Station im Normalbetrieb

MSB-Fahrzeuge müssen Stationen zielgenau anfahren und selbsttätig absetzen.

Sicherung der MSB-Fahrzeug-Außentüren: Siehe /MSB AG-BLT/, Kapitel 6.3.3.5.

Sicherung der Bahnsteigtüren: Siehe /MSB AG-BLT/, Kapitel 6.3.2.7.

Durchfahrten durch Stationen bei verriegelten Bahnsteigtüren muss möglich sein, die maximale Durchfahrgeschwindigkeit ist projektspezifisch festzulegen.

6.3.2.4 Auf- und Abrüsten von MSB-Fahrzeugen

Behandlung der Sicherer Bremsen (Bremsprüfung): Siehe /MSB AG-BLT/, Kapitel 6.3.3.2.

Steuerung / Überwachung Bordenergieversorgung: Siehe /MSB AG-BLT/, Kapitel 6.3.3.3.

Ein unmittelbar wirkendes Abrüsten und Abschalten von Bordnetzen aus besonderem Grund, das ohne technische Zustimmungsprüfung erfolgt, muss als projektspezifische, betriebliche Sondermaßnahme (Bedienung in Personalverantwortung) geregelt werden.

Aus aufgerüstet abgestellten Fahrzeugen sollten weiterhin

- der Status der Brandmeldeanlagen übertragen und
- Diagnosedaten übertragen und in die betriebliche Disposition einbezogen werden.

6.3.2.5 Abwicklung von Zwangshalten von MSB-Fahrzeugen

Behandlung der Zwangshalte ist in /MSB AG-BLT/, unter anderem in den Kapiteln 6.3.3.7 („Zwangshalt“) und 6.3.4 („Fahrprofilüberwachung“) geregelt.

Die Zwangsbremung sollte in der Regel durch den Antrieb erfolgen.

Fälle, die ein sofortiges Auslösen der Sicherer Bremsen erfordern, sind in /MSB AG-BLT/ genannt.

Der sequentielle Ablauf einer Zwangsbremung mit der sicheren Bremsen ist in /MSB AG-BLT/, Kapitel 6.3.3.4 geregelt, dessen Aufhebung in /MSB AG-BLT/, Kapitel 6.3.3.7.

6.3.2.6 Randbedingungen zum Bewegen der Sonderfahrzeuge

Sonderfahrzeuge müssen auch außerhalb der in /MSB AG-UMWELT/ definierten Umweltbedingungen betrieben werden können (z.B. zur Durchführung von Winterdienstmaßnahmen). Die dabei einzuhaltende Grenzen müssen projektspezifisch festgelegt werden.

Falls die Sonderfahrzeuge aufgrund ihrer Auslegung nicht den gesamten MSB-Fahrweg befahren können, sind diesbezügliche Einschränkungen und Ausschlüsse projektspezifisch zu regeln.

Bezüglich der Behandlung der Sonderfahrzeuge im Betriebsablauf finden sich in /MSB AG-BTR / weitere Anforderungen.

7 Qualitätsmanagement

In allen Phasen der Planung, Ausführung und des Betriebs des MSB-Systems müssen durch Einführung und Aufrechterhaltung eines Qualitätsmanagementsystems die Anforderungen der Norm /DIN EN ISO 9001/ erfüllt werden.

Die Norm /DIN EN ISO 9004/ gibt darüber hinausgehende Anleitungen zur Verbesserung der Wirksamkeit und Effizienz des zu realisierenden Qualitätsmanagementsystems.

Projektspezifisch muss ein Qualitätsmanagementplan für jedes Teilsystem erstellt werden.

8 Abbildungen

8.1 Dokumentenbaum

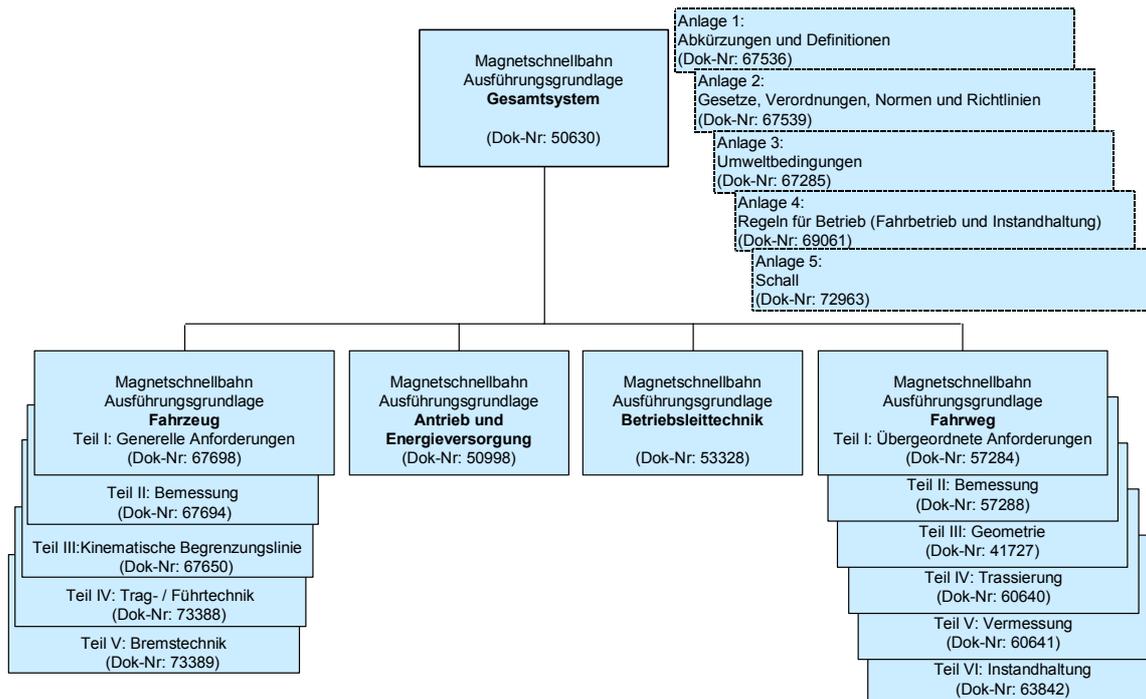


Abbildung 1: Dokumentenbaum Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen

8.2 Systemstruktur und Koordinatensystem

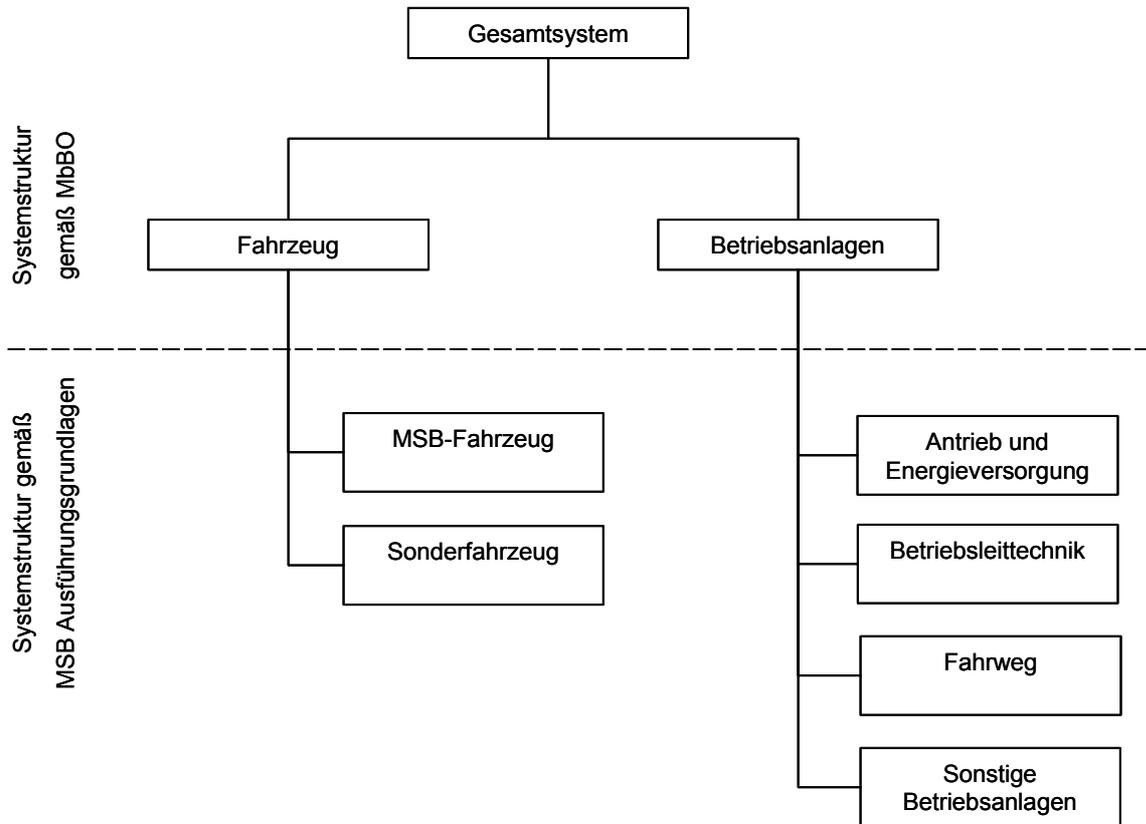
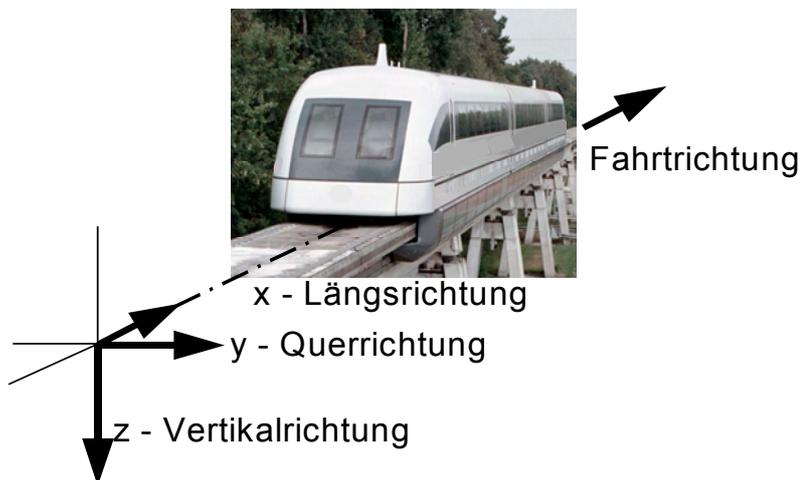


Abbildung 2: Systemstruktur



Zur Darstellung gesonderter Sachverhalte sind in den Teilsystemen weitere Koordinatensysteme definiert.

Abbildung 3: Koordinatensystem

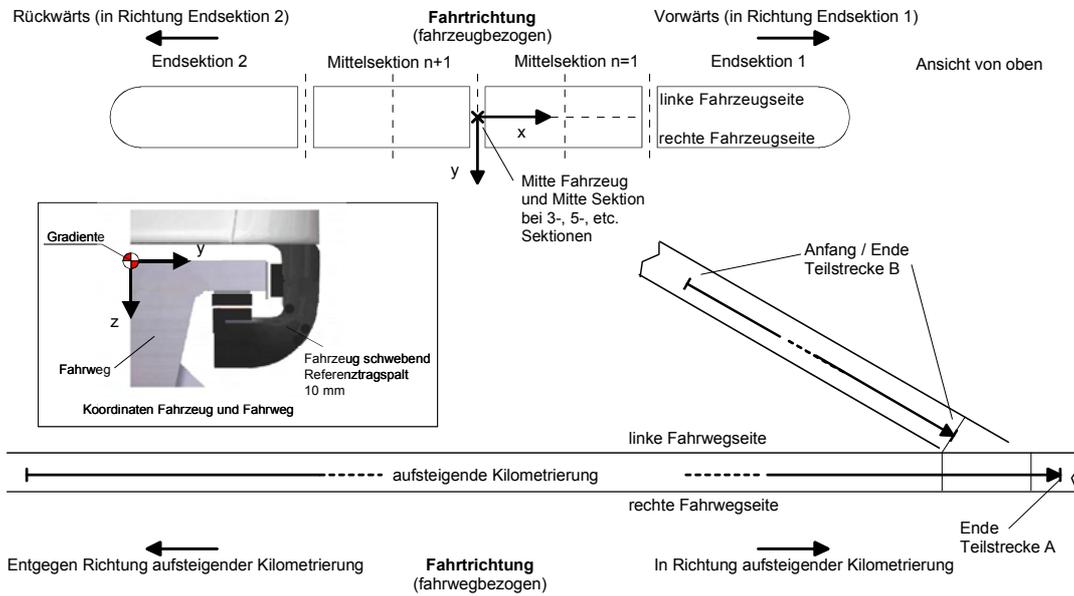


Abbildung 4: Koordinatensystem und Fahrtrichtung

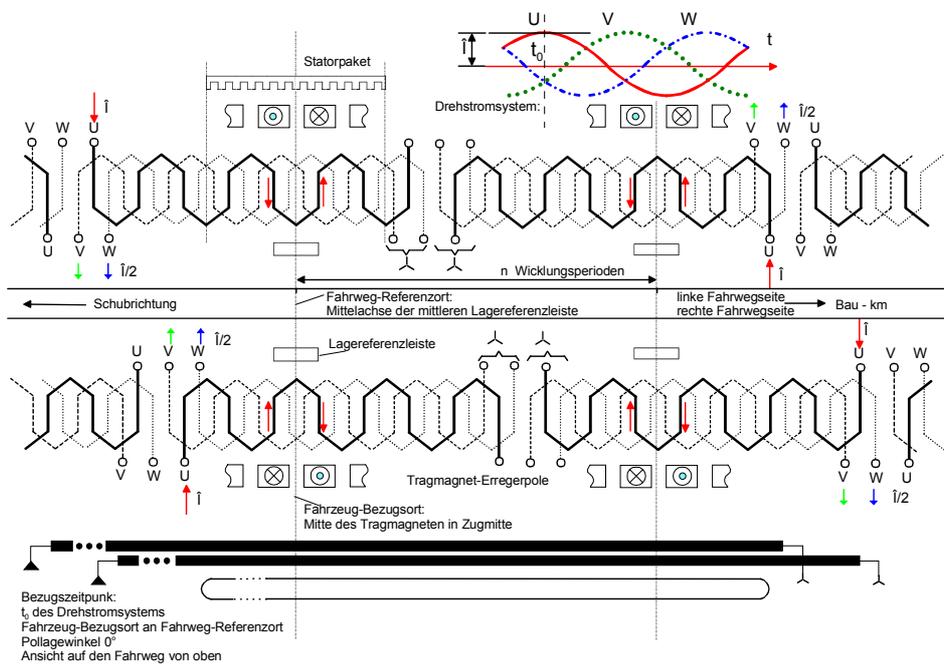


Abbildung 5: Zuordnung Wicklungsstränge, Referenzort, Erregerpole

8.3 MSB-Fahrzeugsektionen für Personentransport

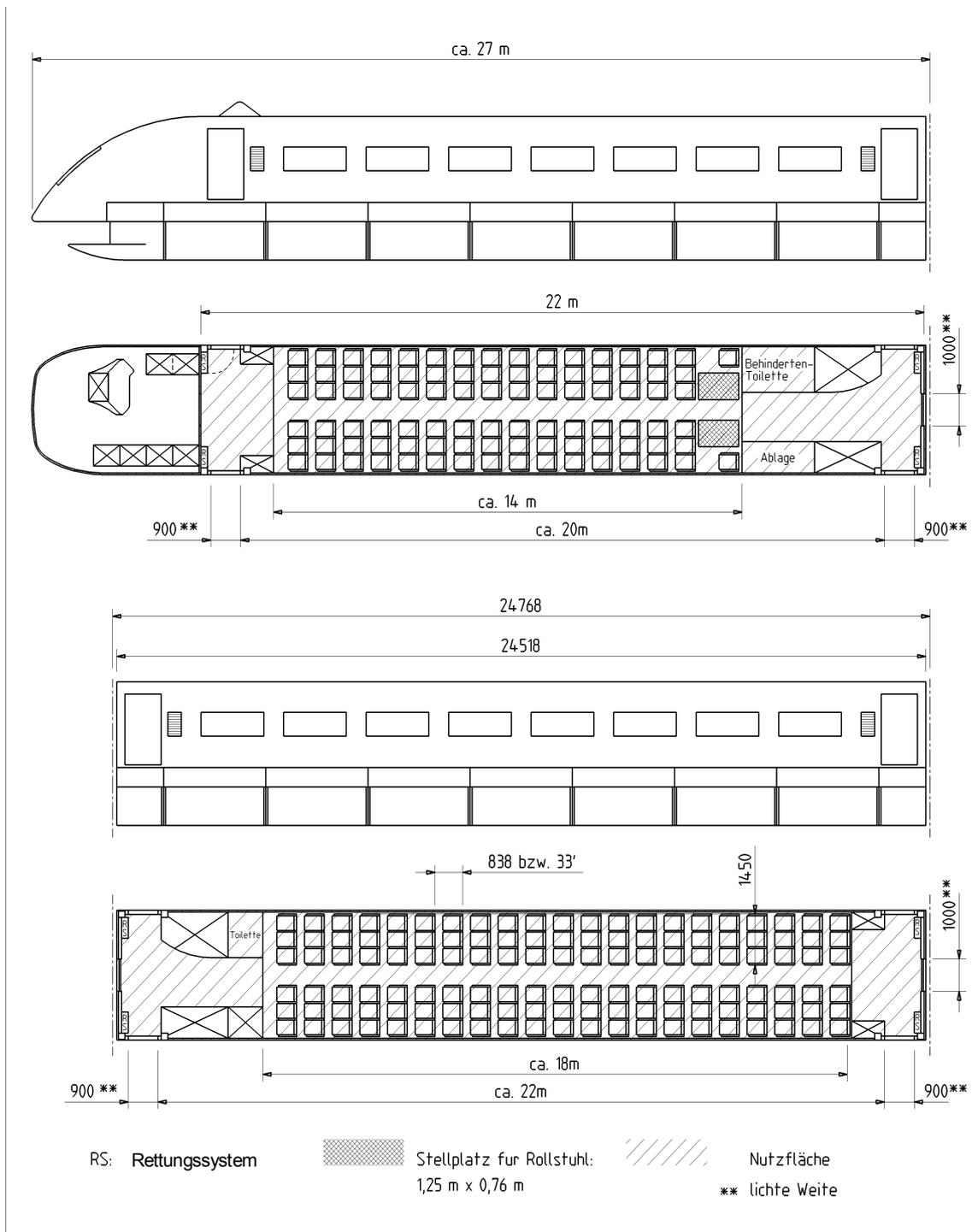


Abbildung 6: Fahrzeugsektionen für Personentransport Fernverkehr (Beispiel)

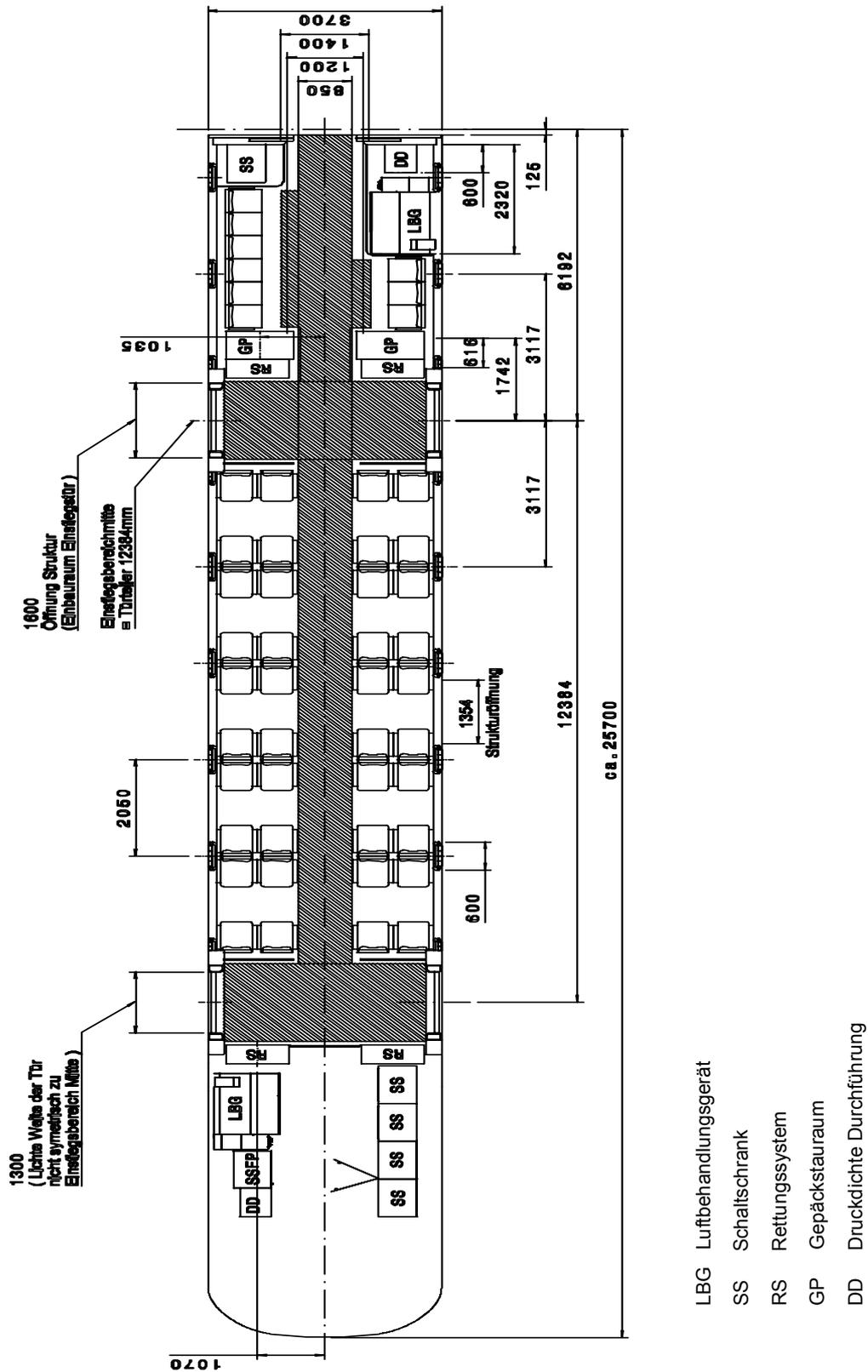


Abbildung 7: Fahrzeug-Endsektionen für Personentransport Flughafenanbinder (Beispiel)

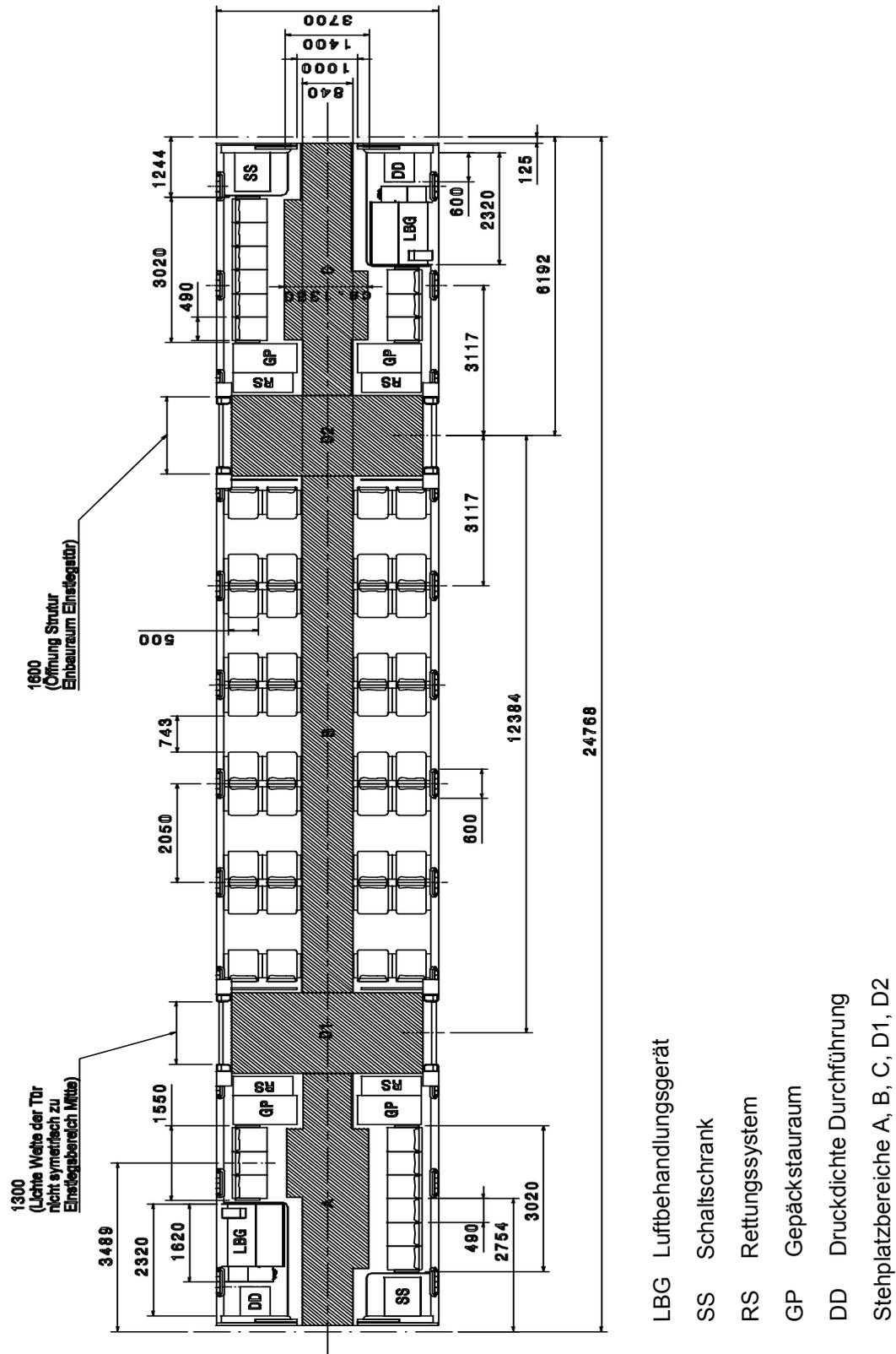


Abbildung 8: Fahrzeug-Mittelsektionen für Personentransport Flughafenbinder (Beispiel)

8.4 Trag-/ Führsystem

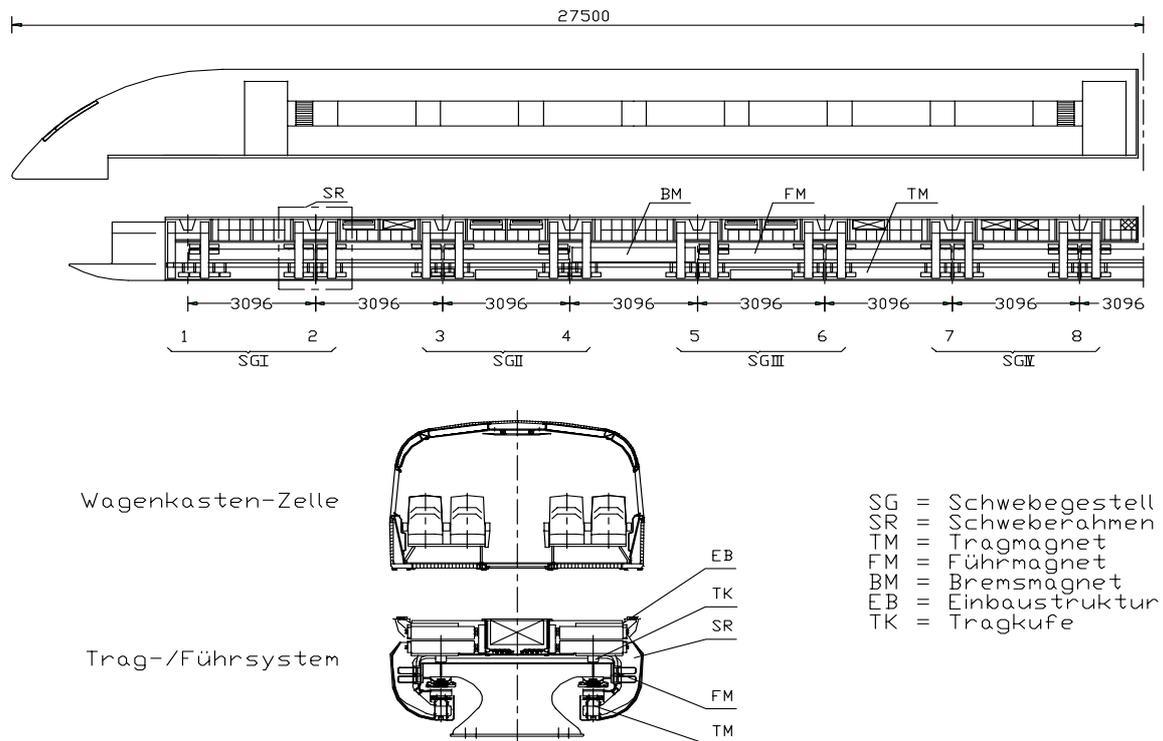


Abbildung 9: Trag-/ Führsystem (Beispiel)

8.5 Bremskennlinie sichere Bremse

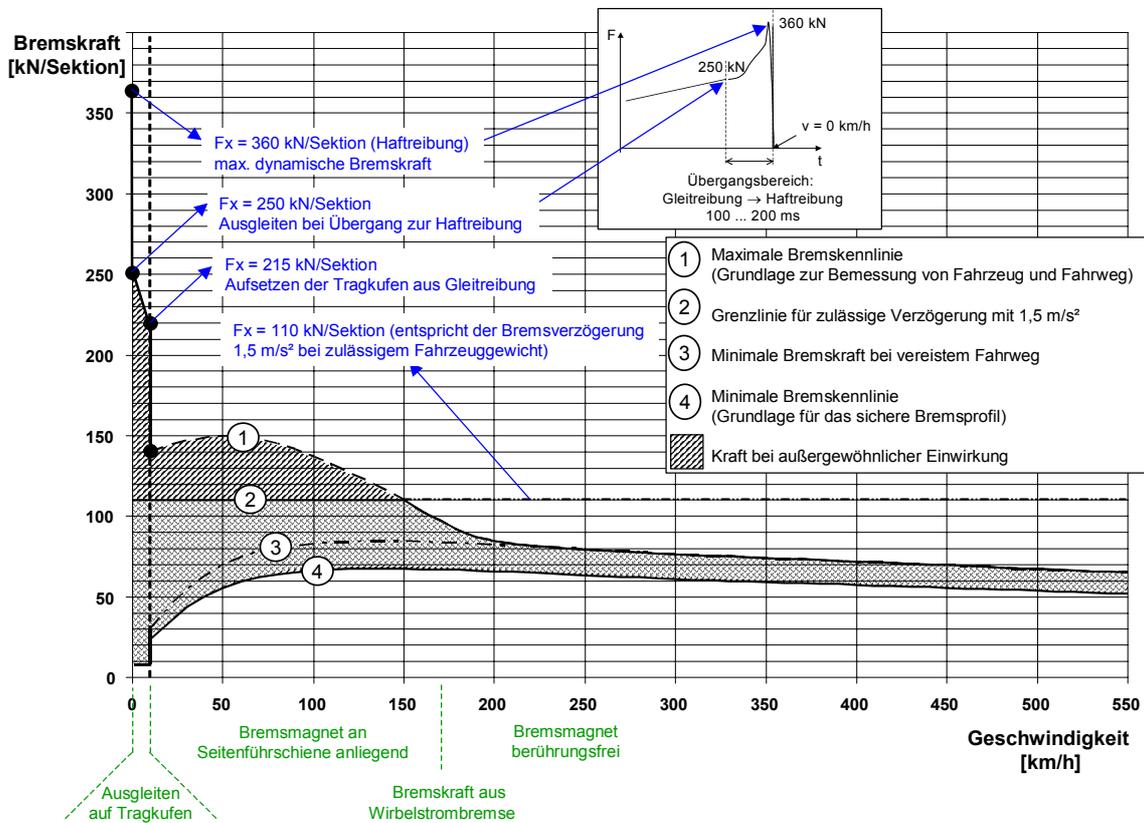
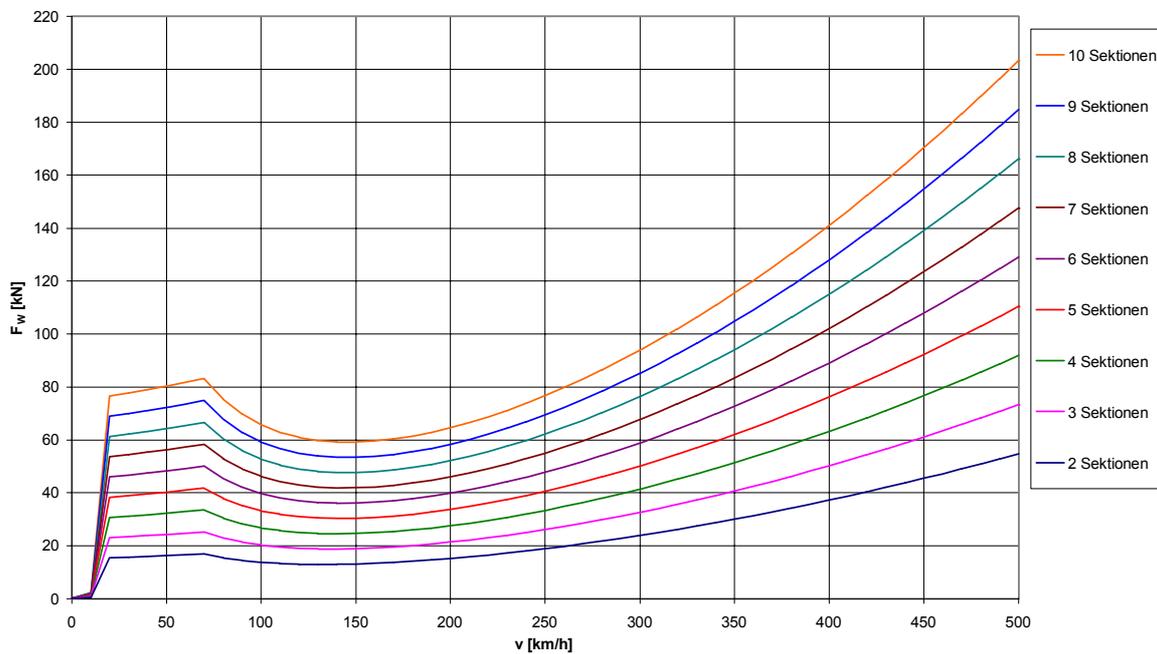


Abbildung 10: Bremskennlinie sichere Bremse für eine MSB-Fahrzeugsektion

8.6 Fahrwiderstand



Erläuterung siehe Kap. 6.1.1.3.2

Abbildung 11: Fahrwiderstand (Flughafenanbinder - Planungsstand 2006)

8.7 Druckeinwirkung (außerhalb von Tunneln)

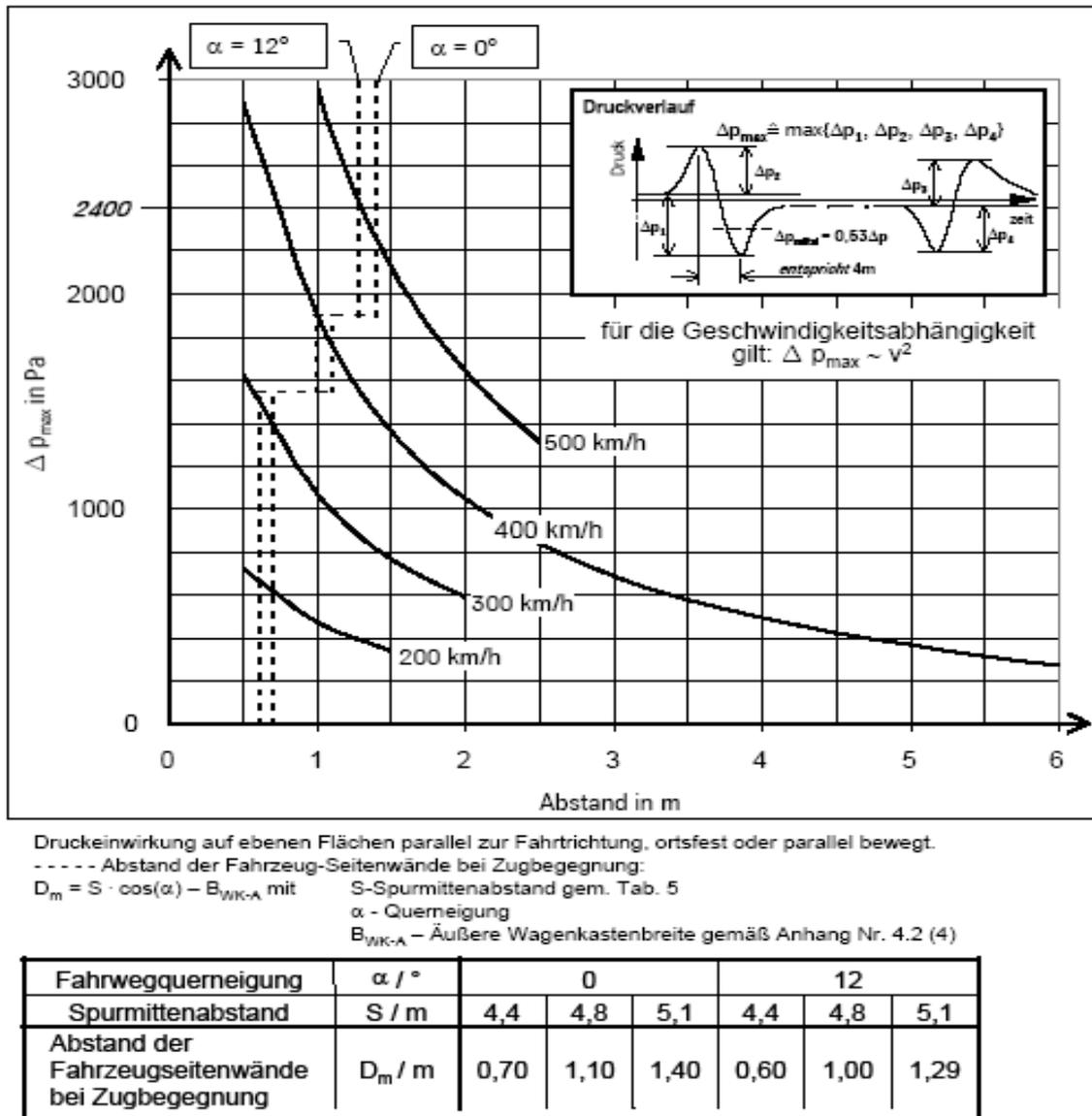


Abbildung 12: Druckeinwirkung bei Vorbeifahrt eines MSB-Fahrzeugs (außerhalb von Tunneln) (Flughafenanbinder - Planungsstand 2006)

8.8 Struktur der Energieversorgung

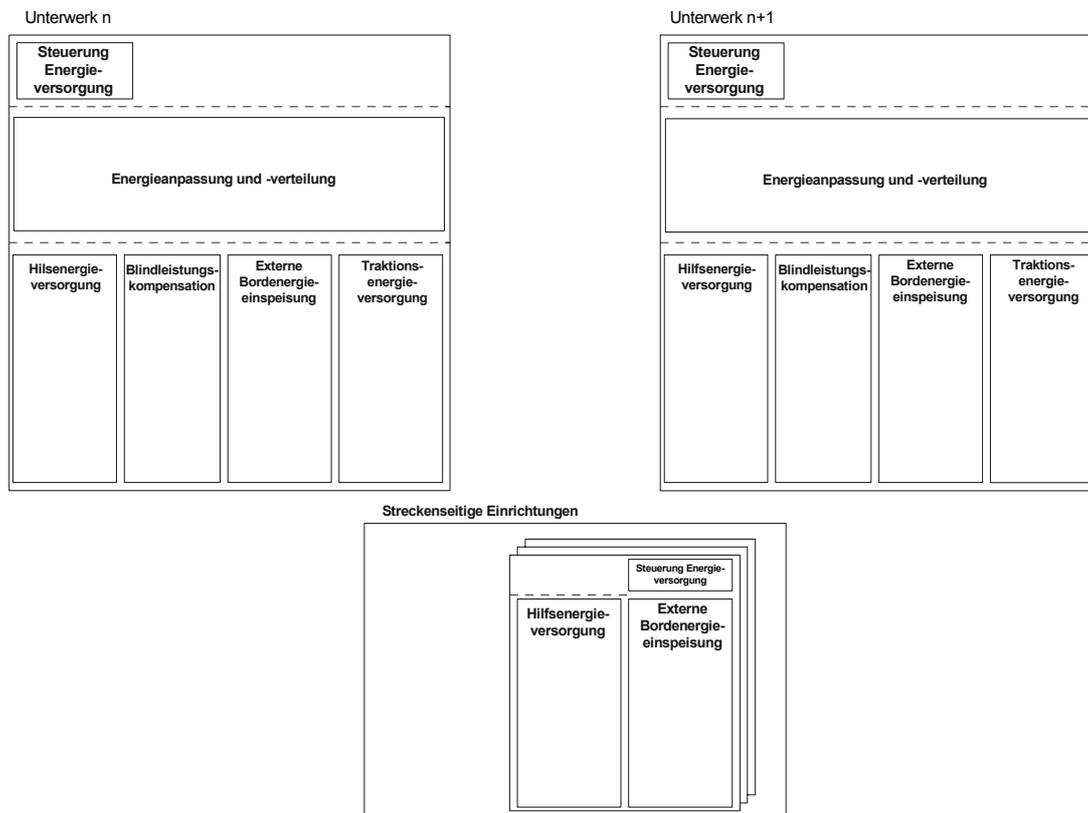


Abbildung 13: Struktur der Energieversorgung (Beispiel)

8.9 Struktur und Funktionen des Antriebs

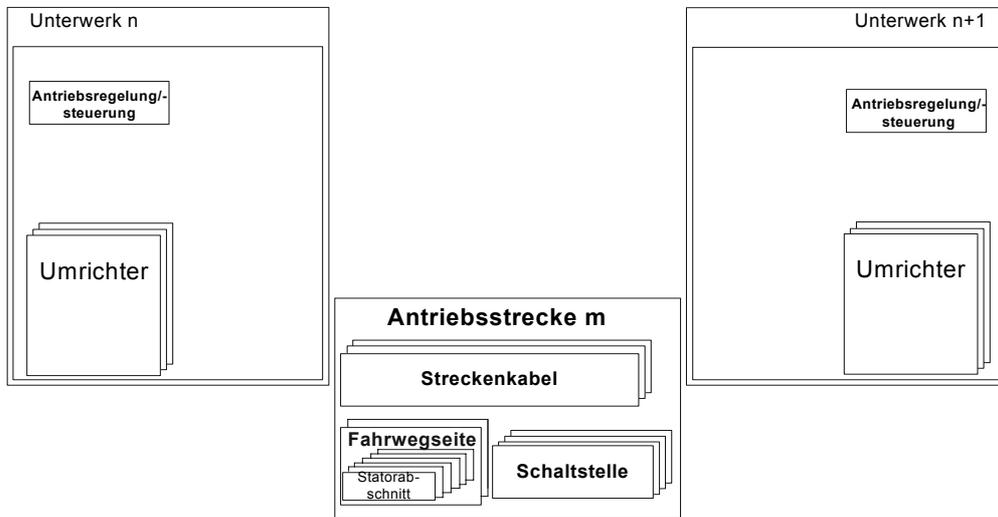
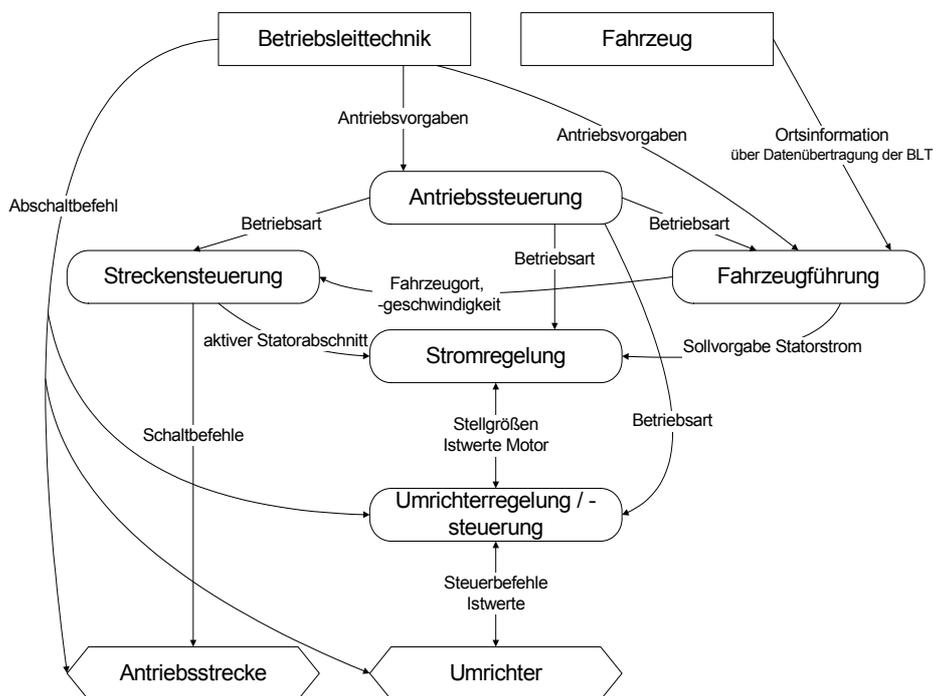


Abbildung 14: Struktur des Antriebs (Beispiel)



Antriebsfunktionen werden in ovalen und externe Komponenten in rechteckigen Feldern dargestellt.

Abbildung 15: Funktionen des Antriebs

8.10 Struktur und Funktionen der Betriebsleittechnik

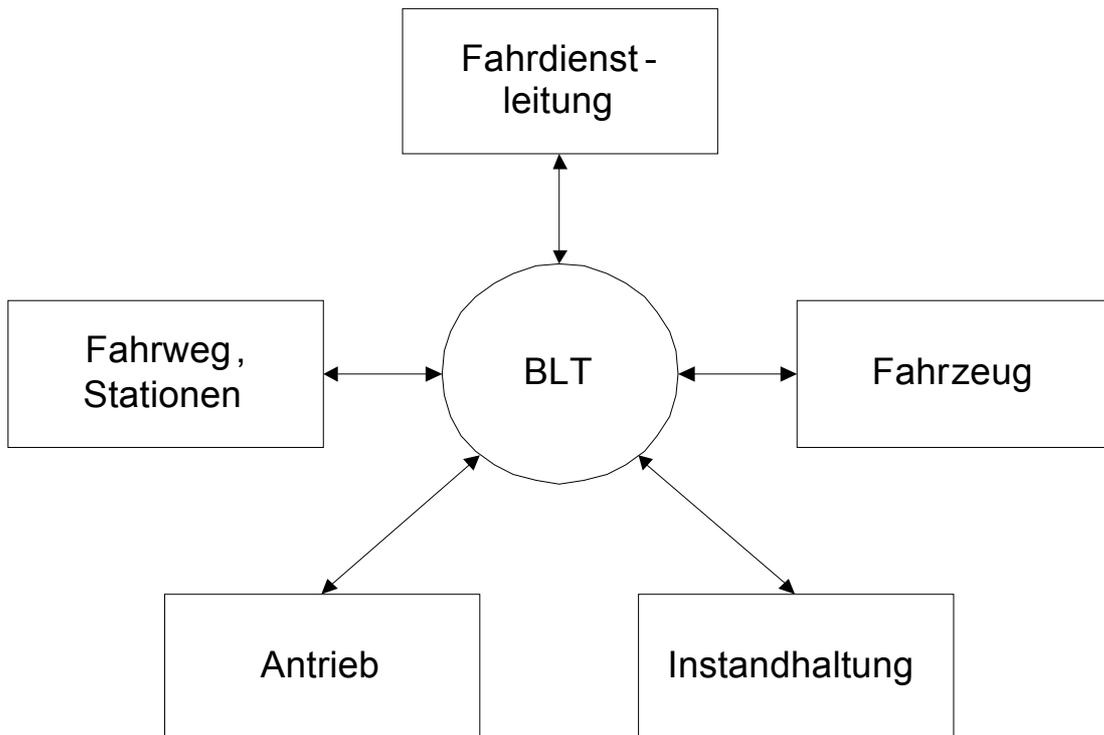
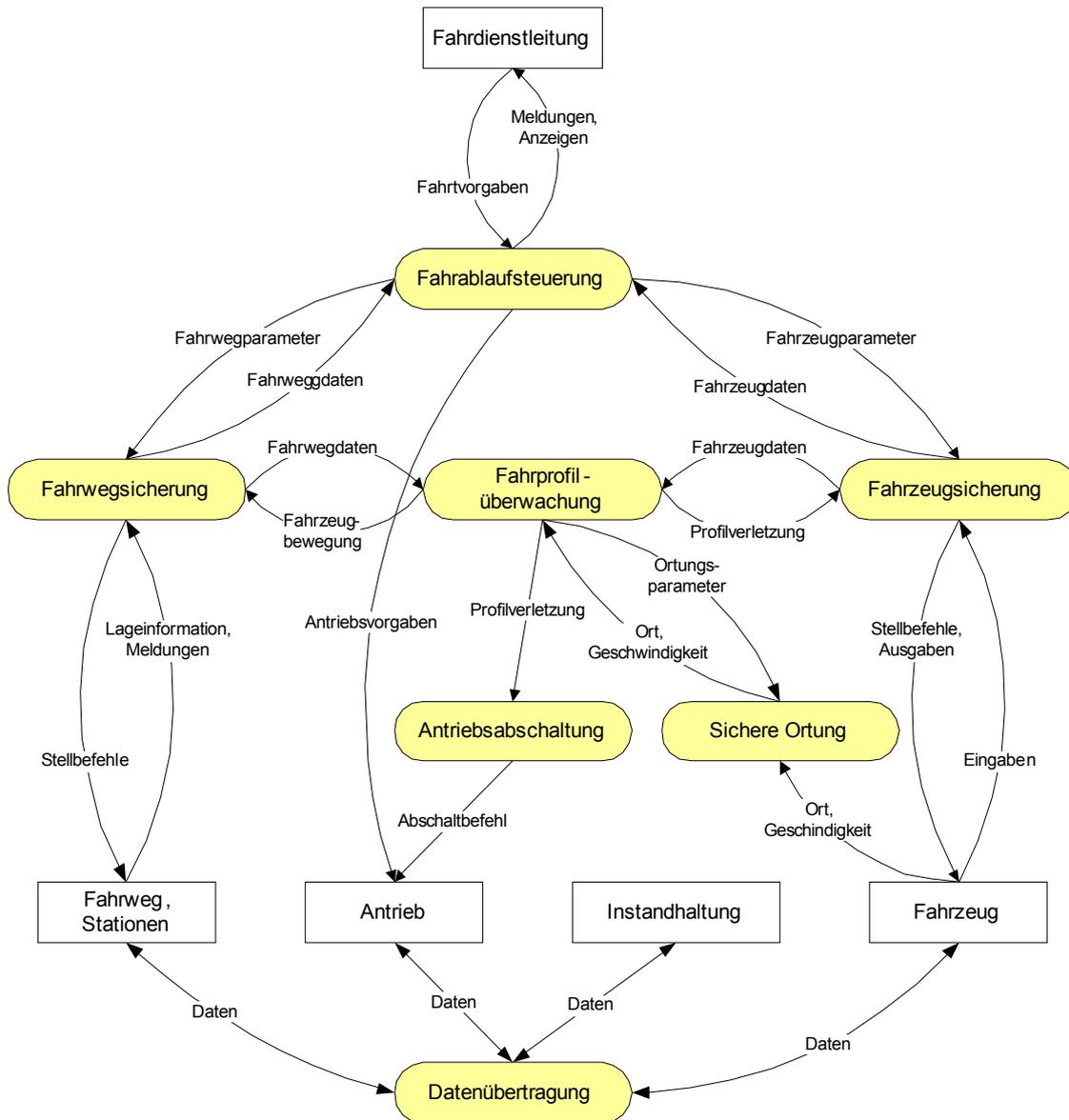


Abbildung 16: Einordnung und Schnittstellen der BLT



BLT-Funktionen werden in ovalen und externe Komponenten in rechteckigen Feldern dargestellt.

Abbildung 17: Betriebsleitetechnische Funktionen und Datenflüsse

8.11 Struktur der Ortung

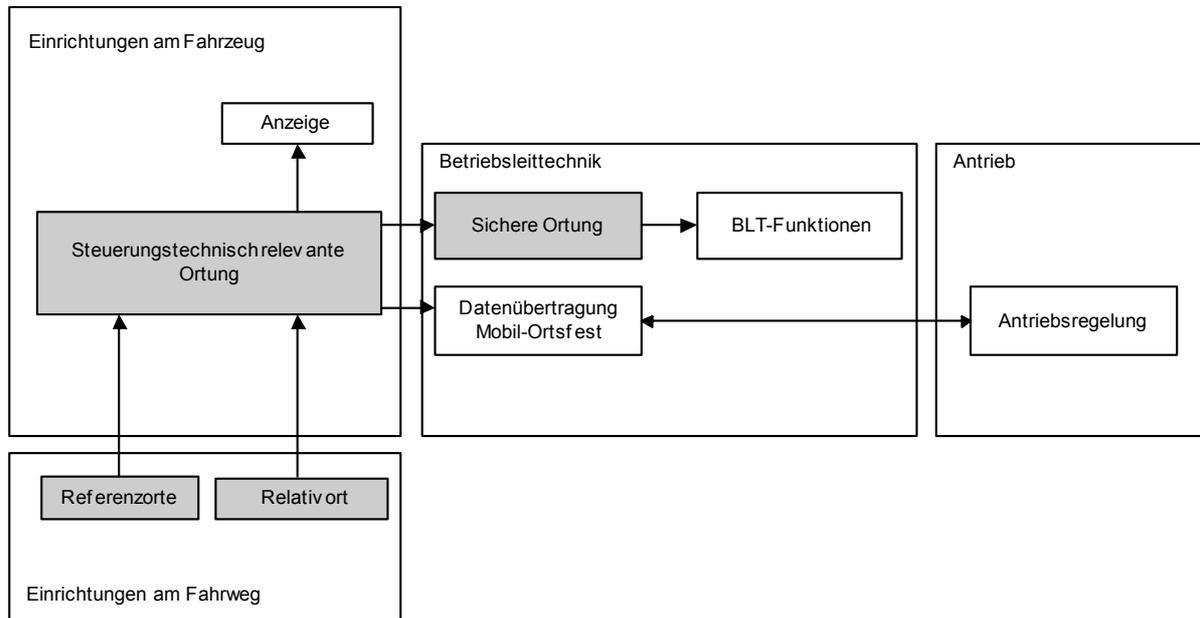


Abbildung 18: Struktur der Ortung (Beispiel)

8.12 Aufgeständerter Fahrweg

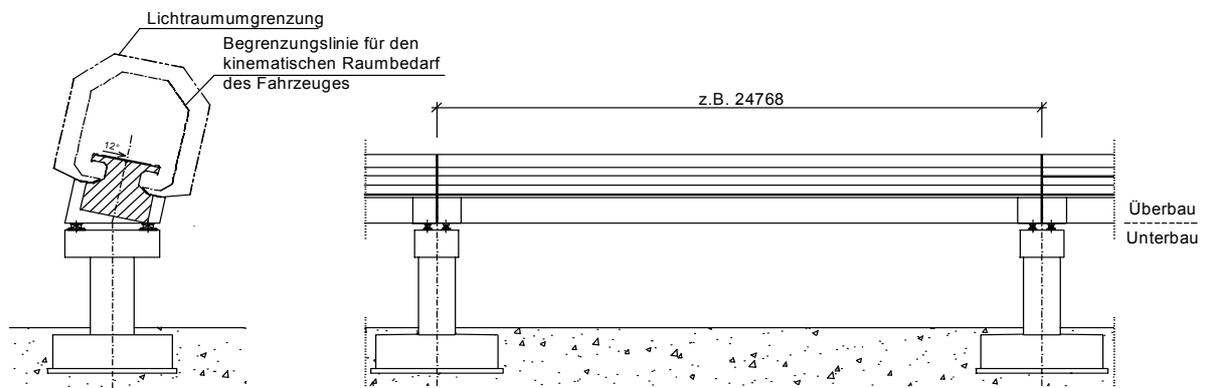


Abbildung 19: Aufgeständerter Fahrweg (Beispiel)

8.13 Ebenerdiger Fahrweg

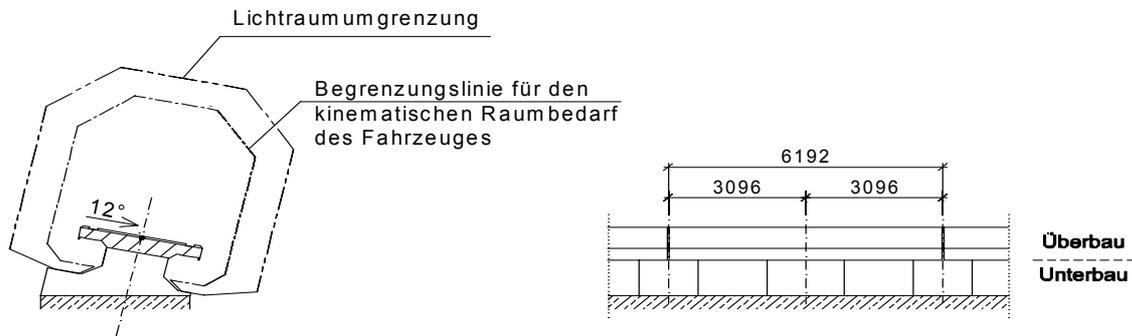


Abbildung 20: Ebenerdiger Fahrweg (Beispiel)

8.14 Trägermaß

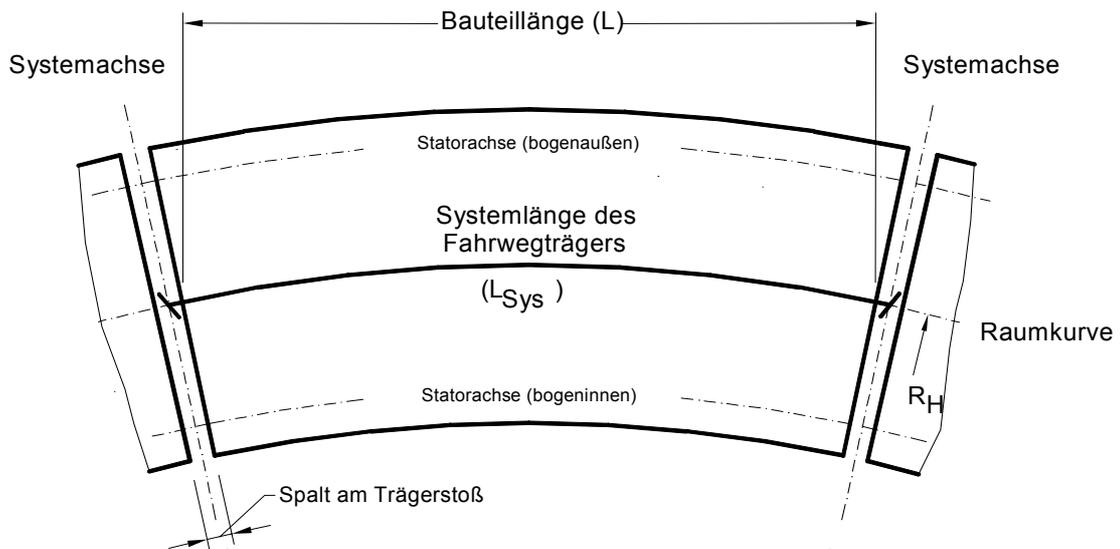
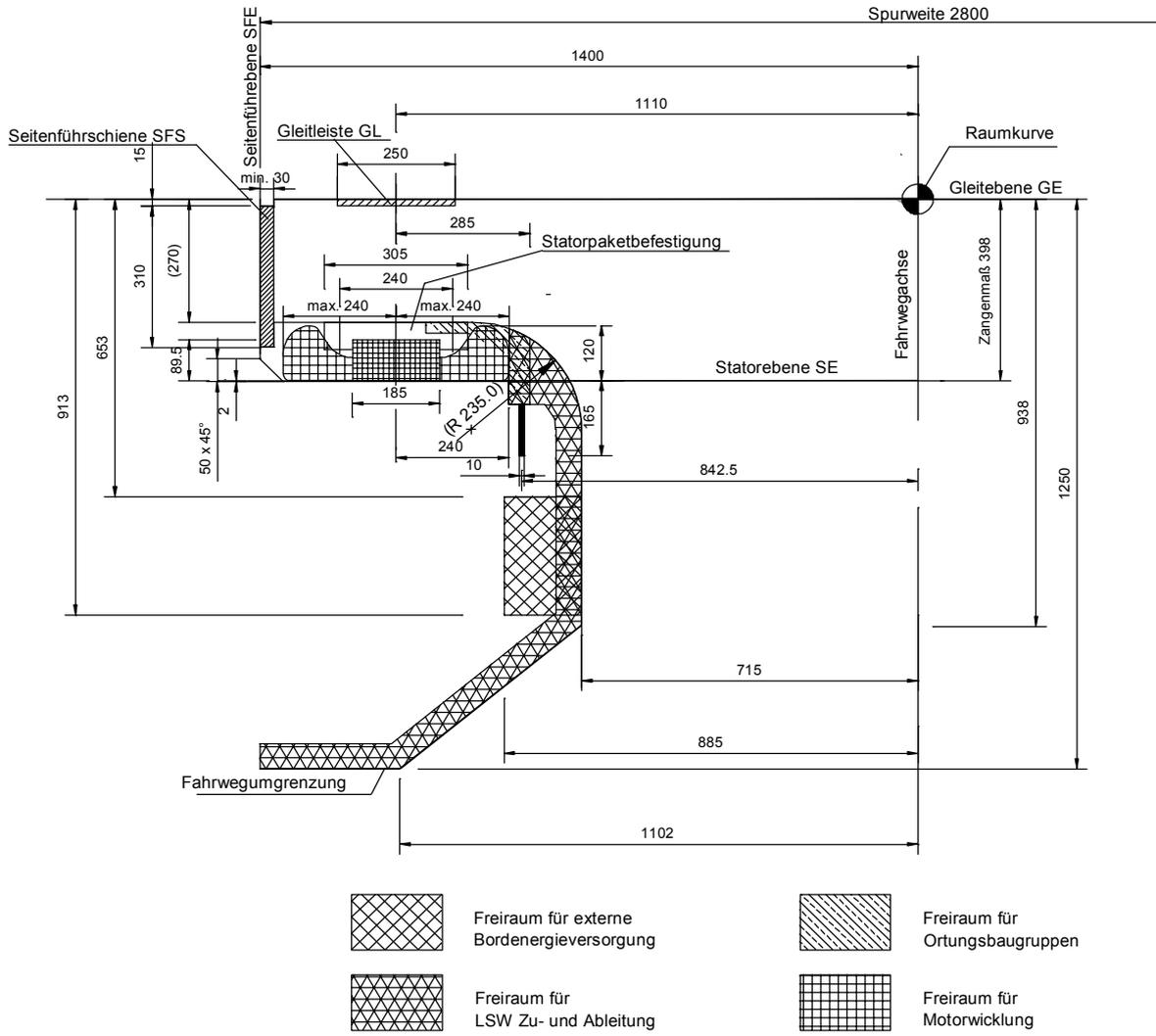


Abbildung 21: Trägermaß - Zusammenhang Bauteillänge/ Systemlänge

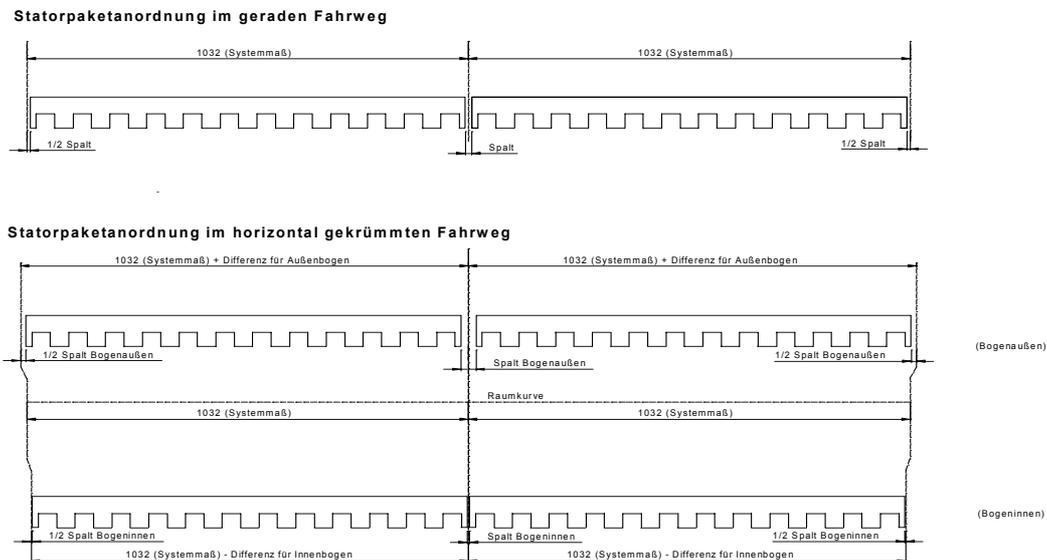
8.15 Fahrwegausrüstung und Funktionsebenen



() Werte in Klammern sind bauartspezifisch

Abbildung 22: Funktionselemente, -ebenen und Einbauräume am Fahrweg, Abmessungen (Nennmaße)

8.16 Statorpaketanordnung



Die Längen der einzelnen Statorpakettypen müssen projektspezifisch festgelegt werden.
 Abbildung 23: Statorpaketanordnung (Beispiel)

8.17 Langstatorwicklung

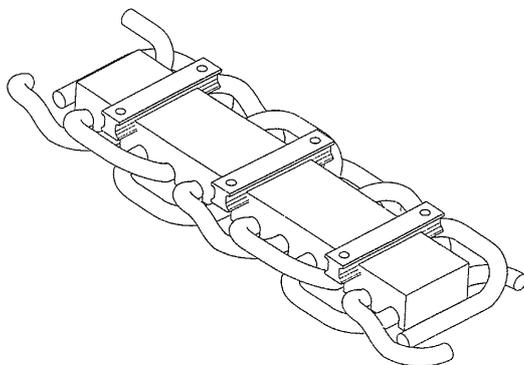
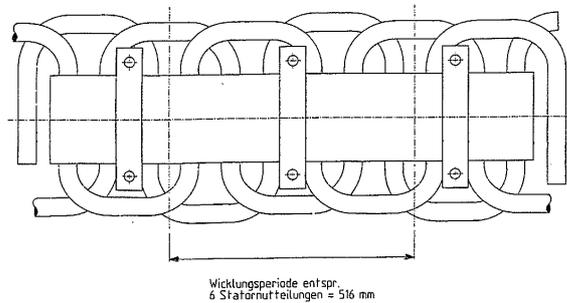


Abbildung 24: Langstatorwicklung (Beispiel)

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem

Dok.-Nr.: 50630 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 84 von 92

8.18 Spurwechseleinrichtungen

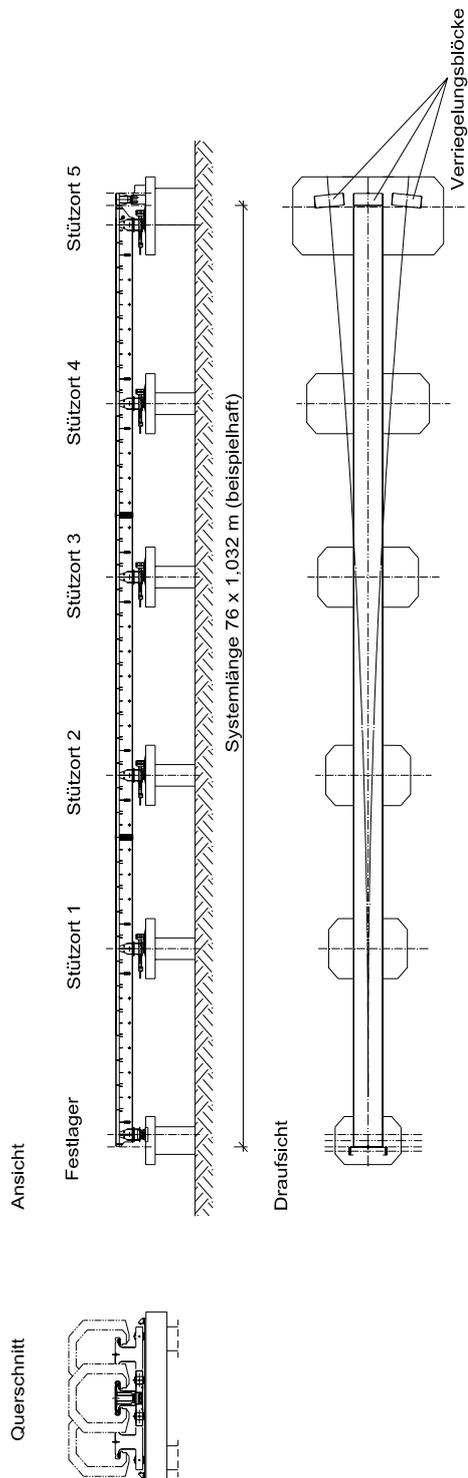


Abbildung 25: Weiche (Beispiel)

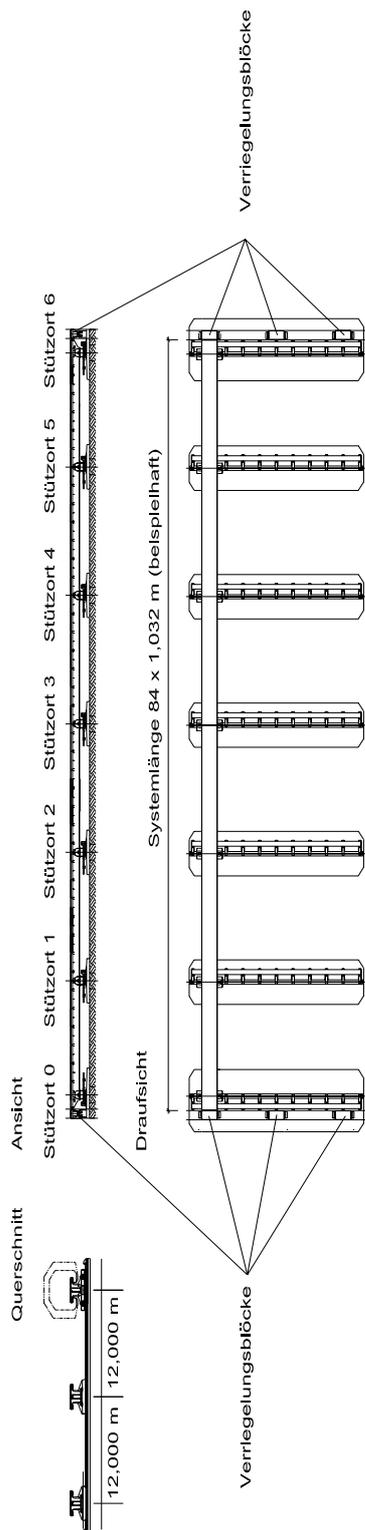


Abbildung 26: Schiebepühne (Beispiel)

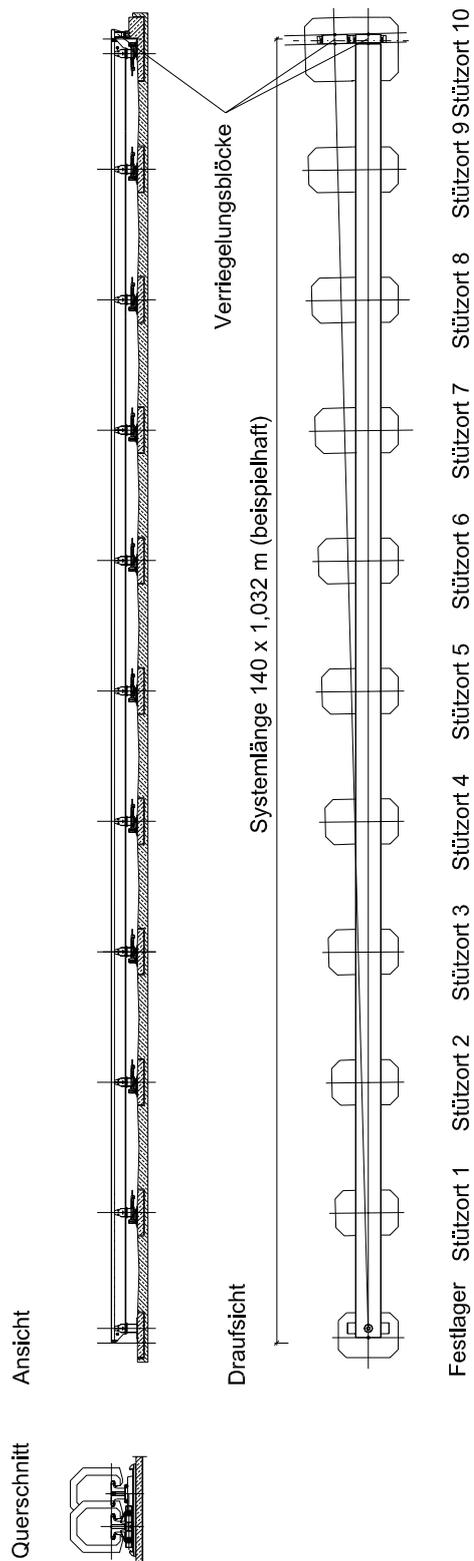


Abbildung 27: Schwenkbühne (Beispiel)

8.19 Schutzbauwerke

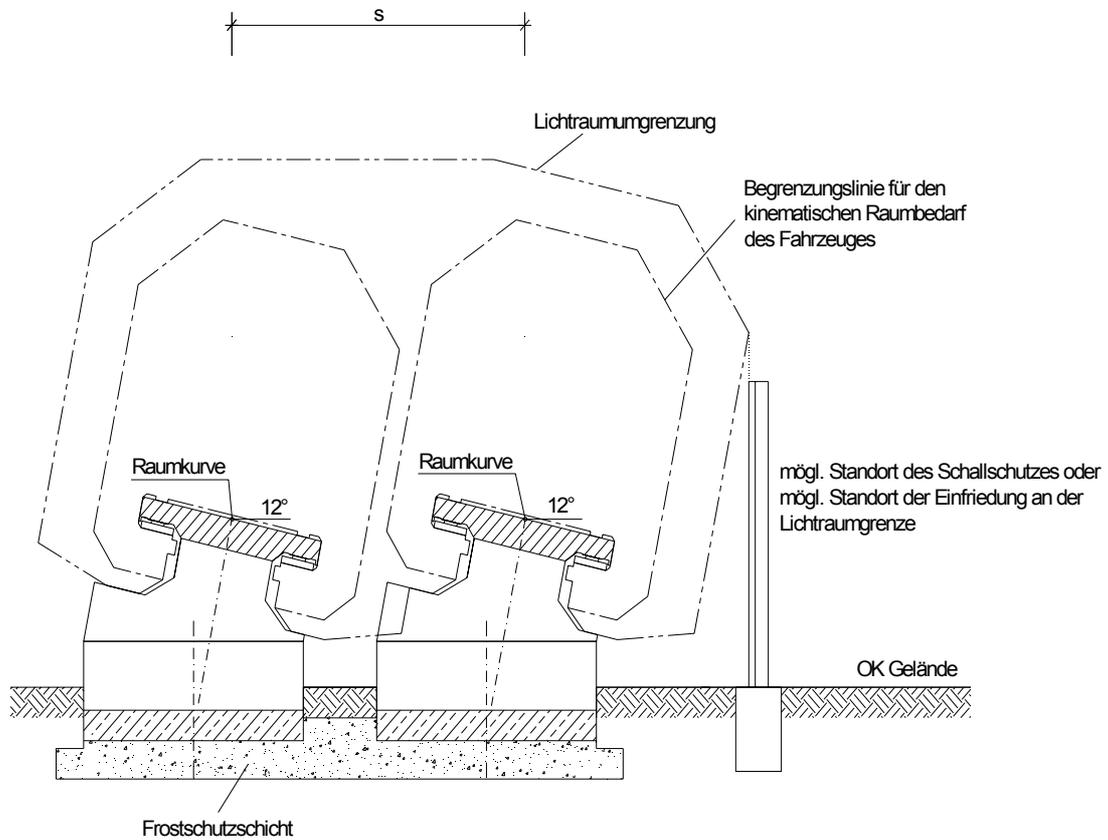


Abbildung 28: Schallschutzwand und Schutzzaun am ebenerdigen Fahrweg (Beispiel)

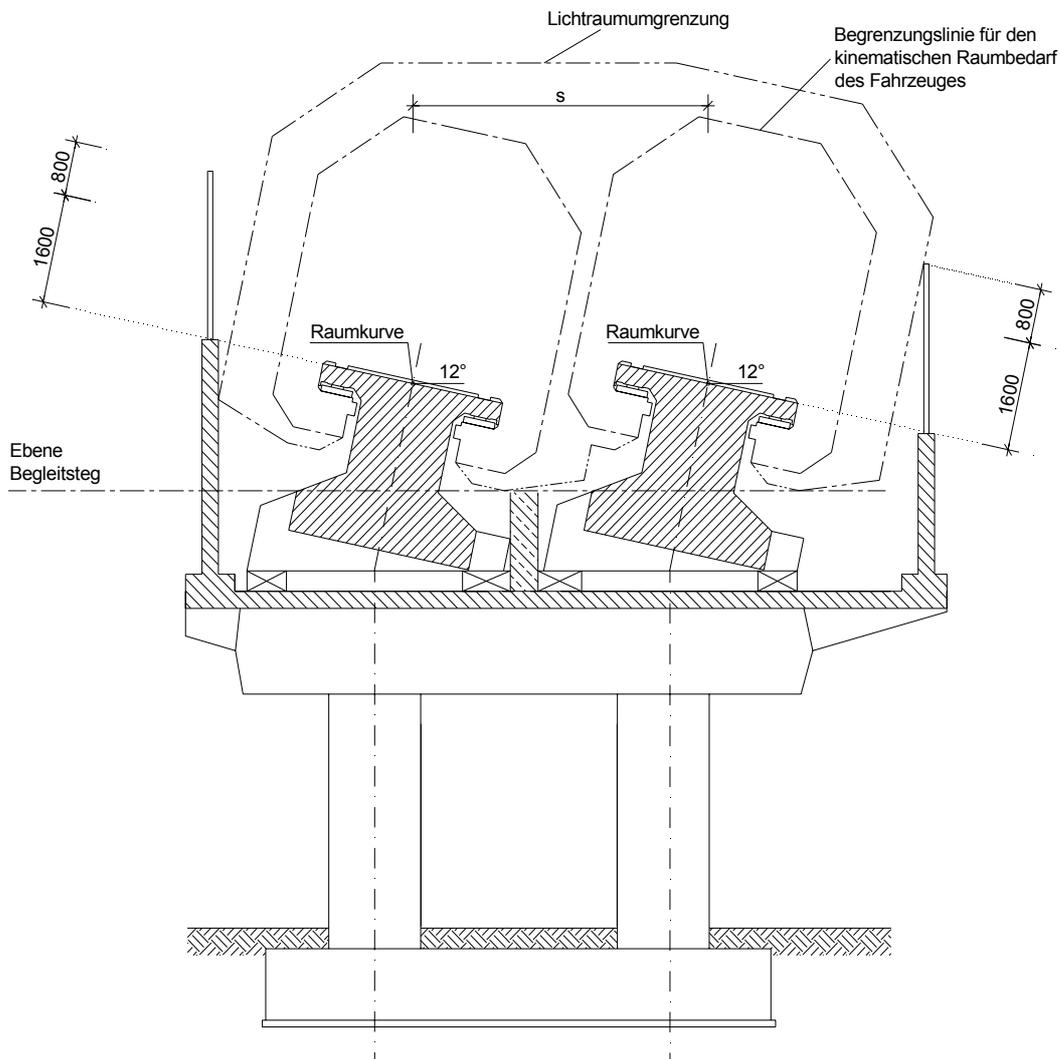
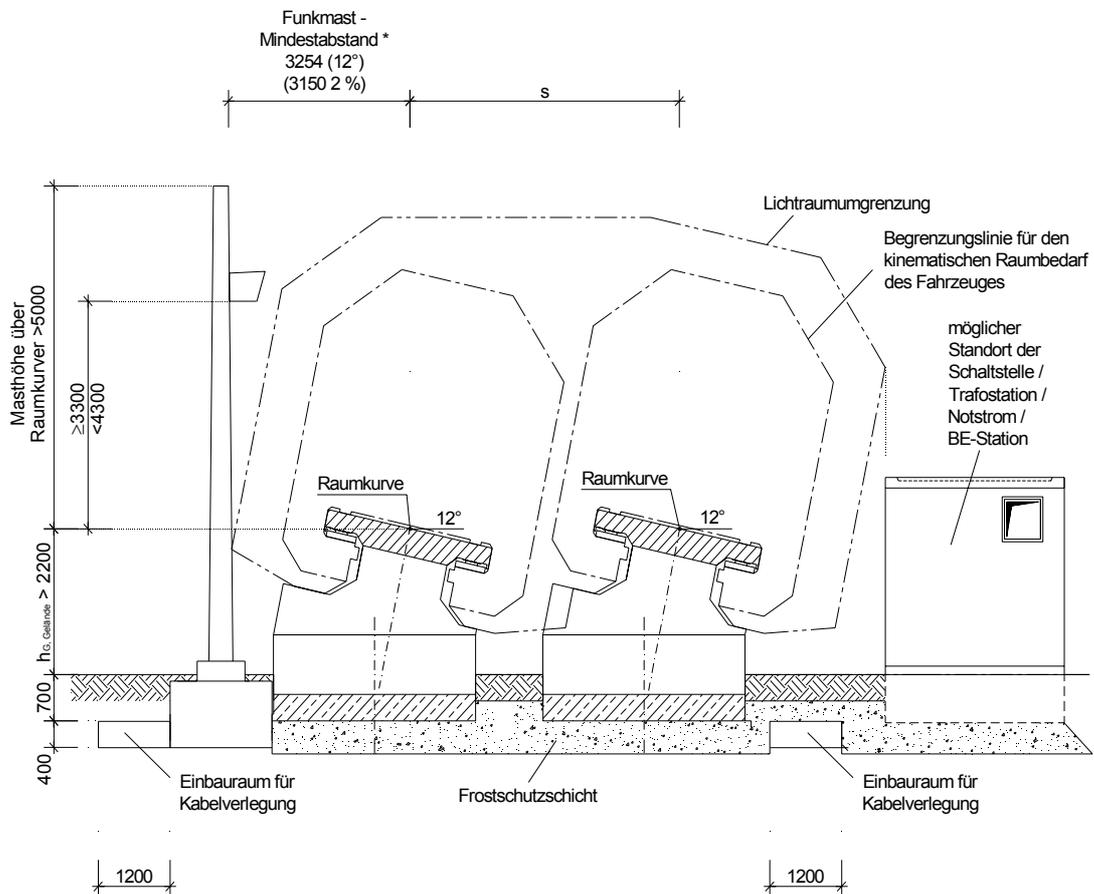


Abbildung 29: Schallschutzwand am aufgeständerten Fahrweg (Beispiel)

8.20 Streckenperipherie



* ausgenommen Sonderfälle

h_{G, Gelände} - Gradientenhöhe über Gelände nach Fertigstellung

Abbildung 30: Streckenperipherie bei ebenerdigem Fahrweg (Beispiel)

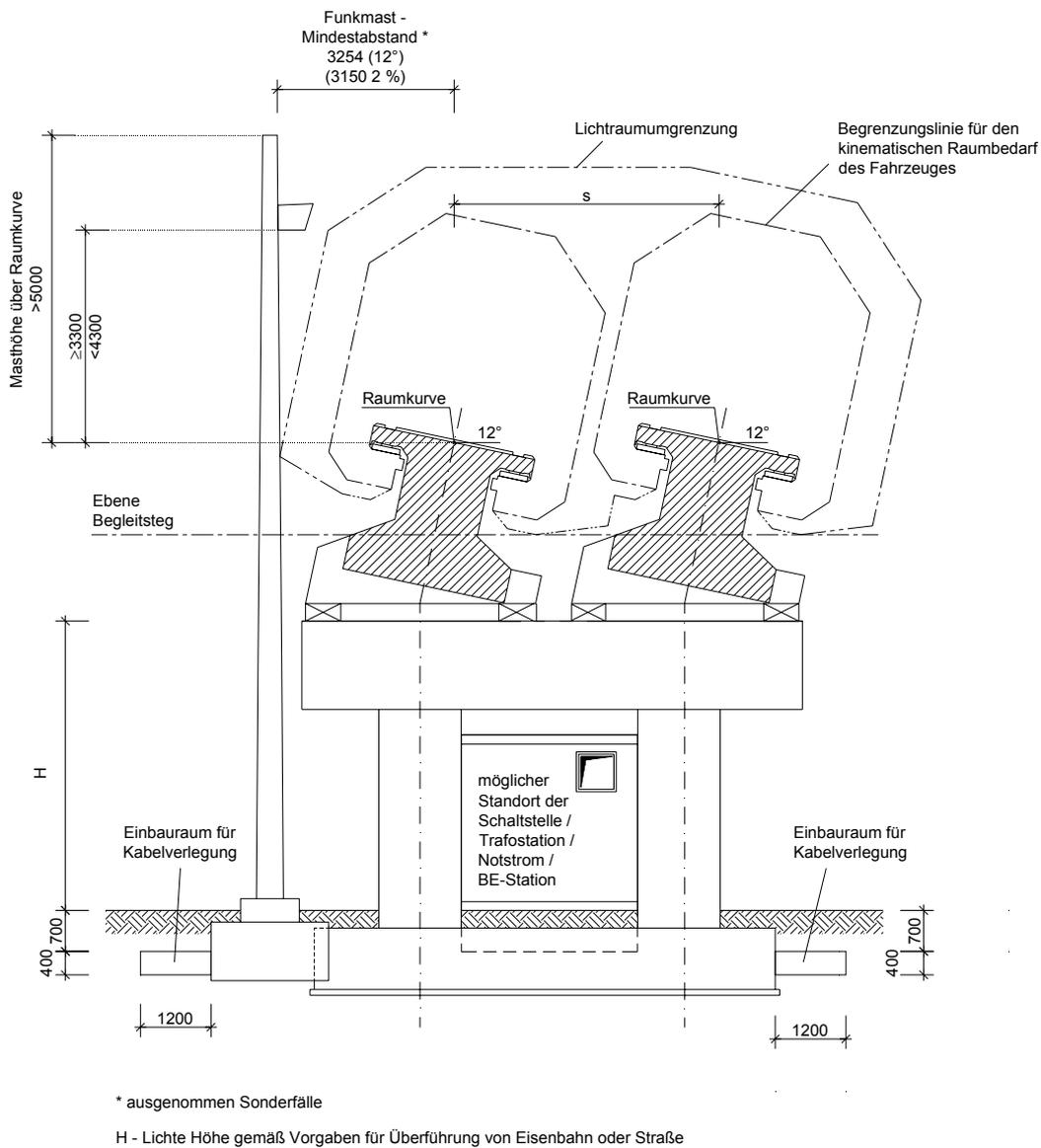


Abbildung 31: Streckenperipherie bei aufgeständertem Fahrweg (Beispiel)

9 Anhang: Magnetschnellbahn-Systemdaten

MSB-Systemdaten
Anhang zur Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr.: 50630, Weißdruck

Die nachfolgend definierten Systemdaten sind zur Bemessung von Teilsystemen und Baugruppen der MSB erforderlich. Die in diesem Anhang als "Systemkenngrößen" gekennzeichneten Systemdaten gelten für alle Projekte. Die (hier nicht gesondert als "Systemkenngrößen" gekennzeichneten) projekt- bzw. produktspezifischen Daten sind unter Anwendung der Ausführungsgrundlagen projektspezifisch zu bestätigen oder abweichend festzulegen. Die Festlegungen sind in der Nachweisführung zu berücksichtigen.

Nr.	Bezeichnung	Formelzeichen	Systemkenngröße	Wert	Einheit	Erläuterung
1. Transport / Betriebliche Kenngrößen						
1.1. Geschwindigkeit						
(1)	Fahrzeughöchstgeschwindigkeit	$V_{Fz,hochst}$		500	km/h	Konstante, aus den zulässigen Dauerlasten für das Fahrzeug abgeleitete Geschwindigkeit.
(2)	Fahrzeuggrenzungsgeschwindigkeit	$V_{Fz,grenz}$		-	km/h	Konstante, aus den zulässigen Fahrzeuglasten (Sonderlastfälle) abgeleitete Geschwindigkeit. Festlegung erfolgt projektspezifisch auf der Grundlage von Störfallbetrachtungen.
(3)	Fahweghöchstgeschwindigkeit	$V_{Fw,hochst} (X)$		≤ 500	km/h	Ortsabhängiger Verlauf der aus der Beanspruchbarkeit des Fahwegs abgeleiteten zulässigen Geschwindigkeit für eine trassierte Strecke.
(4)	Fahweggrenzungsgeschwindigkeit	$V_{Fw,grenz} (X)$		-	km/h	Ortsabhängiger Verlauf der aus der Beanspruchbarkeit des Fahwegs bei außergewöhnlichen Einwirkungen abgeleiteten zulässigen Geschwindigkeit für eine trassierte Strecke. Festlegung erfolgt projektspezifisch auf der Grundlage von Störfallbetrachtungen.
1.2. Fahrplan						
(1)	Zugfolgezeit			-	min	Projektspezifische Festlegung

Nr.	Bezeichnung	Formelzeichen	Systemkenngröße	Wert	Einheit	Erläuterung
2. Trassierung						
2.1. Horizontalradius						
(1)	Minimaler Horizontalradius	$R_{H, \min}$	x	350	m	
2.2. Grenzwerte der Querneigung						
(1)	- im Bahnsteigbereich	$\alpha_{\max} (BS)$	x	3	°	Gemäß MbBO § 13 (3) ist die zulässige Querneigung im stehenden Fahrzeug im Bahnsteigbereich auf 3,4 ° begrenzt. Daraus abgeleitet ergibt sich die max. zulässige Querneigung von 3,0 ° für die Trassierung.
(2)	- an Betriebshalteplätzen für betrieblich bedingten Halt	$\alpha_{\max} (HP_2)$		6	°	Komfortrichtwert nach projektspezifischer Festlegung
(3)	- an sonstigen Betriebshalteplätzen	$\alpha_{\max} (HP_1)$	x	12	°	
(4)	- ausserhalb von Halteplätzen	$\alpha_{\max} (ST)$	x	12 16	°	MbBO § 13, (3) MbBO § 13, (3) bei Zulassung im Einzelfall
(5)	Sollwert der Querneigung zur Entwässerung der Fahwegträgeroberseite	$\alpha_{\min} (ST)$		≥ 1,15	°	entsprechend 2%
2.3. Vertikalradius						
(1)	Minimaler Vertikalradius	$R_{V, \min}$	x	530	m	
2.4. Grenzwerte der Längsneigung						
(1)	- im Bahnsteigbereich	$S_{\max} (BS), (\beta)$	x	5	‰	MbBO § 13, (2)
(2)	- in Bereichen, in denen stehende Fahrzeuge gegen unbeabsichtigte Bewegungen zu sichern sind	$S_{\max} (BE), (\beta)$	x	5	‰	MbBO § 13, (2), Ausnahme nach MbBO § 5, (1) zulässig
(3)	- an Halteplätzen	$S_{\max} (HP), (\beta)$		≤ 100	‰	Festlegung nach projektspezifischer Festlegung gemäß Nachweis der Haltefunktion
(4)	- ausserhalb von Halteplätzen	$S_{\max} (ST), (\beta)$	x	100	‰	
2.5. Grenzwerte der Fahrwegverwindung						
(1)	Grenzwerte der Fahrwegverwindung	$\Delta\alpha_{\max} (ST)$	x	0,10	°/m	in Sonderfällen bis 0,15°/m bei Kombination von Querneigung größer 12° und Verwindung größer 0,1°/m nur nach Prüfung im Einzelfall.
2.6. Überlagerung von Trassierungselementen						
(1)	$R_{x,z}$ -Kriterium	$R_{x,z, \min}$	x	$f_{x,z}(\Delta\alpha)$	m	
(2)	$R_{x,y}$ -Kriterium	$R_{x,y, \min}$	x	$f_{x,y}(\Delta\alpha)$	m	
2.7. Sonstige Trassierungskenngrößen						
(1)	Spurmittenabstand	S_M	x	≥ 4.400	mm	gemäß MbBO, geschwindigkeitsabhängig
(2)	Lichtraumgrenzung	-	x	-	mm	gemäß MbBO

Nr.	Bezeichnung	Formelzeichen	Systemkenngröße	Wert	Einheit	Erläuterung
3.	Beschleunigungen, Rucke, Schwingungen und Drücke					
3.1.	Beschleunigung					
3.1.1.	Längsbeschleunigung (x-Richtung)					
(1)	Maximalwert der Antriebsbeschleunigung	$a_{x,max,Beschleunigen}$	x	$\leq 1,5$	m/s ²	MbBO § 13, (5)
(2)	Maximalwert der Bremsbeschleunigung	$a_{x,max,Bremsen}$	x	$\geq -1,5$	m/s ²	MbBO § 13, (5)
3.1.2.	Unausgeglichene (freie) Seitenbeschleunigung (y-Richtung)					
(1)	Strecke	$a_{y,max}$	x	$\leq 1,5$	m/s ²	nach bogenausssen, MbBO § 13, (4)
(2)	Spurwechseleinrichtung	$a_{y,max,SWE}$	x	$\leq 2,0$	m/s ²	nach bogenausssen, MbBO § 13, (4)
3.1.3.	Normalbeschleunigung (z-Richtung)					
(1)	Wanne	$a_{z,max}$		$\leq 1,2$	m/s ²	MbBO § 13, (6), kann im Einzelfall überschritten werden (veränderliche Einwirkungen)
(2)	Kuppe	$a_{z,min}$		$\geq -0,6$	m/s ²	
3.2.	Ruck					
(1)	Seitenruck	$\delta_{y,max}$		0,5	m/s ³	Komfortkriterium, für Stadteinfahrten bei Zwangspunkten: im Einzelfall bis zu 1,0 m/s ³
(2)	Seitenruck Weiche im Abzweig	$\delta_{y,max,SWE}$		2,0	m/s ³	Komfortkriterium
(3)	Vertikalluck	$\delta_{z,max}$		0,5	m/s ³	Komfortkriterium, im Einzelfall bei Zwangspunkten: bis zu 1,0 m/s ³

Nr.	Bezeichnung	Formelzeichen	Systemkenngröße	Wert	Einheit	Erläuterung
4.	MSB-Fahrzeug					
4.1.	Fahrzeugkonfiguration					
(1)	Anzahl Fahrzeugsektionen	N_{Sekt}		2 ... 10	Stück	
(2)	Nutzfläche je Fahrzeugsektion	A_{Nutz}		-	m ²	projektspezifische Festlegung
(3)	Sitzplätze je Fahrzeugsektion	N_{Sitz}		-	-	
(4)	Stehplätze je Fahrzeugsektion	N_{Steh}		-	-	
(5)	Nutzlast je Fahrzeugsektion	NL		-	kg	
4.2.	Fahrzeugeometrie					Flughafenanbinder - Planungsstand 2006
(1)	Geometrische Länge Endsektion	L_{ES}		ca. 25	m	
(2)	Geometrische Länge Mittelsektion (Systemlänge Fahrzeugsektion)	L_{MS}	x	24,768	m	s.a. Nr. 6.1.1. (3): Tragmagnetbelegungslänge Mittelsektion
(3)	Geometrische Länge Fahrzeug	L_{Fzg}			m	$L_{FZG} = 2 \cdot L_{ES} + (N_{Sekt} - 2) \cdot L_{MS}$
(4)	Äußere Breite Wagenkasten	B_{Wk-A}	x	3.7	m	
(5)	Höhe Wagenkasten über Gradiente (ohne Antenne)	H_{Wk-Grd}		ca. 3,3	m	Fahrzeug abgesetzt, projektspezifisch festzulegen
(6)	Höhe Fußboden Oberkante über Gradiente	$H_{FOk-Grd}$		ca. 0,93	m	Fahrzeug abgesetzt, projektspezifisch festzulegen
(7)	Höhe Fahrzeug (inkl. Antenne) über Gradiente	$H_{Fzg-Grd}$		ca. 3,8	m	Fahrzeug abgesetzt, projektspezifisch festzulegen
(8)	Höhe Wagenkasten außen über Fußboden Oberkante	H_{Wk-FOk}		ca. 2,4	m	projektspezifisch festzulegen
(9)	Höhe Gradiente über Fahrzeug-Unterkante	$H_{Grd-Fzg,UK}$		ca. 0,9	m	Fahrzeug abgesetzt, projektspezifisch festzulegen
(10)	Gesamthöhe Fahrzeug (ohne Antenne)	$H_{Fzg,Ges}$		ca. 4,2	m	projektspezifisch festzulegen
4.3.	Fahrzeuggewichte					Die u.g. Streckenlasten liegen der Fahwegbemessung zugrunde. Eine Toleranz von +/- 5% der Streckenlasten ist fahrzeugeitig zulässig.
(1)	Eigengewicht einer Fahrzeugsektion	M_{EG}		≥	kg	Das Fahrzeuggewicht darf den Wert entsprechend einer Streckenlast von 19 kN/m gemittelt über die Systemlänge einer Fahrzeugsektion nicht unterschreiten.
(2)	Mittleres Gewicht einer Fahrzeugsektion	M_{MG}		≤	kg	Das Mittlere Fahrzeuggewicht entspricht einer durchschnittlichen Streckenlast von 26 kN/m gemittelt über die Systemlänge einer Fahrzeugsektion.
(3)	Zulässiges Gewicht einer Fahrzeugsektion	M_{ZG}		≤	kg	Das Zulässige Fahrzeuggewicht darf den Wert entsprechend einer Streckenlast von 29 kN/m gemittelt über die Systemlänge einer Fahrzeugsektion nicht überschreiten.
(4)	Maximales Gewicht einer Fahrzeugsektion	M_{XG}		≤	kg	Das Maximale Fahrzeuggewicht darf den Wert entsprechend einer Streckenlast von 31 kN/m gemittelt über die Systemlänge einer Fahrzeugsektion nicht überschreiten.

Nr.	Bezeichnung	Formelzeichen	Systemkenngröße	Wert	Einheit	Erläuterung
5.	Fahrweg					
5.1.	Fahwegkonfiguration					
5.1.1.	Grundmaße					
(1)	Statorpaketsystemlänge	$L_{Sp, Sys}$	x	1.032	mm	s. auch Abb. 23 /MSB AG-GESAMTSYS/, Kap. 8. 16
5.1.2.	Regelträgerlängen					
(1)	Regelfahwegtyp I	$L_{Sys, Typ I}$		> 16	m	In der Regel diskret auf Einzelfundamenten gelagert. Projektspezifisch festzulegen.
(2)	Regelfahwegtyp II	$L_{Sys, Typ II}$		≤ 16	m	In der Regel diskret auf Einzelfundamenten gelagert. Projektspezifisch festzulegen.
(3)	Regelfahwegtyp III	$L_{Sys, Typ III}$		ca. 6	m	In der Regel diskret auf Streifenfundamenten gelagert. Projektspezifisch festzulegen.
5.2.	Fahrggeometrie					
(1)	Spurweite (Abstand der Seitenführebenen)	S_{SFE}	x	2.800	mm	
(2)	Fahrgzangenmaß Gleitlebene-Statorebene	$T_{ZM, GLE-SE}$	x	398	mm	
5.3.	Lageabweichungen der Funktionsebenen					
5.3.1.	Toleranz Fahrgzangenmaß					
(1)	Fahrgzangenmaß im Trägerfeld	ΔT_{ZM}		+3 / -5	mm	
(2)	Relativer Unterschied der Zangenmaße am Trägerstoß			± 0,4	mm	
5.3.2.	Toleranz Spurweite					
(1)	Spurweite im Trägerfeld	$\max \Delta S$		± 2	mm	
(2)	Relativer Unterschied der Spurweite am Trägerstoß			± 1	mm	
5.4.	Verformungen Fahrgüterbauten					
5.4.1.	in x-Richtung infolge Verkehr					
(1)	am Trägerstoß			10 20	mm	periodisch bei Zwangsbremmung
5.4.2.	in z-Richtung infolge Verkehr					
(1)	Einfeldträger	$\max f_{z, Fzg}$	x	$L_{St}/4.000$	mm	bei statischer Einwirkung bei zulässigem Fahrzeuggewicht
(2)	Zweifeldträger		x	$L_{St}/4.800$	mm	bei statischer Einwirkung bei zulässigem Fahrzeuggewicht
(3)	Fahrgwegplatten					Die Konstruktion ist im Einzelfall zu bewerten.
5.4.3.	in y-Richtung infolge Verkehr					
(1)	Einfeldträger	$\max f_{y, Fzg}$	x	$L_{St}/15.000$	mm	bei stationärer Einwirkung bei zulässigem Fahrzeuggewicht und $a_y \max$
(2)	Zweifeldträger		x	$L_{St}/18.000$	mm	bei stationärer Einwirkung bei zulässigem Fahrzeuggewicht und $a_y \max$
(3)	Fahrgwegplatten					Die Konstruktion ist im Einzelfall zu bewerten.
5.5.	Spurwechseleinrichtungen					
(1)	Umlaufzeit einer 2-Wege-Weiche von Endlage zu Endlage			30	s	Typischer Wert

Nr.	Bezeichnung	Formelzeichen	Systemkenngröße	Wert	Einheit	Erläuterung
6.	Geometrie der Schnittstellen Fahrzeug - Fahrgew					
6.1.	Tragmagnet - Langstator					
6.1.1.	Tragmagnet					
(1)	Tragmagnetsystemlänge (Magnet in Regelänge)	$L_{sys, TM}$	x	3.096	mm	
(2)	Tragmagnetmittlenabstand in y-Richtung	$e_{y, TM}$	x	2.220	mm	
(3)	Tragmagnetbelegungslänge Mittelsektion	$L_{TM-B, MS}$	x	24.768	mm	
(4)	Tragmagnetbelegungslänge Endsektion	$L_{TM-B, ES}$		23.753	mm	kein Systemmaß, kann projektspezifisch variieren
6.1.2	Langstator					
(1)	Langstatormittlenabstand in y-Richtung	$e_{y, SP}$	x	2220	mm	Nennmaß
(2)	Breite des Statorpaketes (geometrisch)	$b_{y, SP}$		≥ 185	mm	Typisches Ausführungsbeispiel: 185 mm, projektspezifisch festzulegen
(3)	Polteilung	$e_x, Polteilung$	x	258	mm	Nennmaß, 3-phasige Motorwicklung
(4)	Nutteilung (Mittlenabstand der Motorwicklungskabel)	$e_x, Nutteilung$	x	86	mm	Nennmaß
6.2.	Führmagnet - Seitenführschiene					
6.2.1.	Führmagnet					
(1)	Führmagnetsystemlänge	$L_{sys, FM}$	x	3.096	mm	
6.2.2.	Seitenführschiene					
(1)	Seitenführschienehöhe	h_{FS}	x	310	mm	
(2)	Seitenführschieneenddicke	d_{SFS}		≥ 30	mm	30 mm, Typisches Ausführungsbeispiel, projektspezifisch festzulegen
6.3.	Bremsmagnet - Seitenführschiene					
(1)	Bremsmagnetmittlenabstand in x-Richtung	$e_{x, BM}$		24.768	mm	Richtwert, projektspezifisch können abweichende Maße festgelegt werden.
6.4.	Tragkufe - Gleitebene					
6.4.1	Tragkufe					
(1)	Tragkufelänge	$L_{x, TK}$		740	mm	Richtwert, projektspezifisch können abweichende Maße festgelegt werden.
(2)	Tragkufenbreite	$b_{y, TK}$		110	mm	Richtwert, projektspezifisch können abweichende Maße festgelegt werden.
(3)	Tragkufenmittlenabstand in x-Richtung	$e_{x, TK}$		3.096	mm	
(4)	Tragkufenmittlenabstand in y-Richtung	$e_{y, TK}$	x	2.220	mm	
6.4.2	Gleitebene					
(1)	Gleitebenen- / Gleiteistenbreite	$\min b_{y, GL}$		≥ 150	mm	

Nr.	Bezeichnung	Formelzeichen	Systemkenngröße	Wert	Einheit	Erläuterung
7.	Einwirkungen an den Schnittstellen Fahrzeug/Fahrgew in x-Richtung					
(1)	Veränderliche Einwirkungen bei Antrieb/Bremsen	$\max \text{ stat } p_x$		4,8	kN/m	Lokales Maximum: im Mittel über eine Fahrzeugsektion 4,4 kN/m bei einer Mittelsektion mit 24,768 m Länge. Begrenzung des Antriebsstroms so, dass die maximal zulässige Kraft nicht überschritten wird.
(2)	Ausgewöhnliche Einwirkungen (symmetrisch)	$\max p_x$		10,0	kN/m	Entspricht ca. 250 kN/Fahrzeugsektion bei einer Mittelsektion mit 24,768 m Länge
(3)	Ausgewöhnliche Einwirkungen (asymmetrisch)	$\max p_x \text{ r.l}$		5,5 bzw. 2,0	kN/m	Entspricht einer maximalen Gesamtkraft von 185 kN/Fahrzeugsektion bei einer Mittelsektion mit 24,768 m Länge und einer maximalen Ungleichverteilung von 0,73 : 0,27 zwischen den beiden Fahrgew/Fahrzeugseiten
8.	Antrieb					
8.1.	Motorgeometrie					
	<i>siehe Trägernagel und Langstator</i>			-		
8.2.	Motorkonstanten					
(1)	Schubkraftkonstante je Mittelsektion	$c_{M,MS}$		-	N/A	Zugeschnittene Größengleichung: $c_{M,MS} = 43,0 \cdot \sqrt{(m_{MS}[t] / 64,5 \text{ t})}$ mit m_{MS} - Ist-Gewicht Mittelsektion Werte können bei sehr hohen und sehr niedrigen Temperaturen aufgrund der Längenänderung langer MSB-Fahrzeuge variieren.
(2)	Schubkraftkonstante je Endsektion	$c_{M,ES}$		-	N/A	Zugeschnittene Größengleichung: $c_{M,ES} = 41,3 \cdot \sqrt{(m_{ES}[t] / 62,0 \text{ t})}$ mit m_{ES} - Ist-Gewicht Endsektion Werte können bei sehr hohen und sehr niedrigen Temperaturen aufgrund der Längenänderung langer MSB-Fahrzeuge variieren.
(3)	Induzierte Motorspannung je Fahrzeugsektionslängsseite	u_p		-	V	Entspricht $1/6 \cdot c_M \cdot \text{Geschwindigkeit}$
(4)	Leiterquerschnitt	A_S		300	mm	Richtwert für Aluminiumleiter
(5)	Leitenwiderstand	R_S		0,23	Ω	Richtwert pro km Statorlänge bei 20°C und 0-30 Hz
(6)	Widerstand/Temperaturbeiwert	θ_{St}		0,004	1/°C	Richtwert Faktor ist: $(1 + \theta_{St} \cdot (\text{Temperatur} - 20^\circ\text{C}))$
(7)	Widerstand/Frequenzbeiwert	f_{St}		0,004	s	Richtwert Faktor ist: $(1 + f_{St} \cdot (\text{Frequenz} - 30\text{Hz}))$
(8)	Streuinduktivität	L_S		2,6	mH	Richtwert pro km Statorlänge ohne Fahrzeug
(9)	Fahrzeughauptinduktivität	L_h		0,1	mH	Richtwert je Sektion und Seite ind. L_S
(10)	Erkappazität	C_S		1	μF	Richtwert pro km Statorlänge
(11)	Längenfaktor Wanderfeldleitung/Langstator			2,35		Richtwert
(12)	Max. Leitertemperatur	$T_{L,max}$		70	°C	Richtwert aus Lebensdauergründen, technisch 90°C
(13)	Thermische Zeitkonstante	t_{Stat}		1...5	h	Richtwert
(14)	Nennspannung	U_{Nenn}		10...20	kV	Richtwert verkettete Grundschwingung effektiv
8.3.	Motorverschaltung					
(1)	Motorabschnittslänge	ds		1.200	m	Richtwert, individuell zwischen ca. 0,5 und 3 km
(2)	Motorabschnittsversatz	$vers$		300	m	Richtwert, individuell zwischen 0 und ds/2

Nr.	Bezeichnung	Formelzeichen	Systemkenngröße	Wert	Einheit	Erläuterung
9.	Betriebsleittechnik					
9.1	Sichere Ortung					
(1)	Ungenauigkeit der Ortsinformation statisch			2	m	Beispielwert. Der Wert ist projektspezifisch zu ermitteln.
(2)	Ungenauigkeit der Geschwindigkeitsinformation			5	km/h	Beispielwert. Der Wert ist projektspezifisch zu ermitteln.
9.2	Fahrzeugbezogene Geschwindigkeiten					
(1)	Abseitzgeschwindigkeit			5	km/h	Beispielwert. Der Wert ist projektspezifisch zu ermitteln.
9.3	Verzögerungs- und Laufzeiten					
(1)	Max. Antriebsabschaltzeit			2,3	s	Richtwert für die Abschaltzeit der Antriebs- und Bremsenergie bei sicherheitsrelevantem Abschaltgrund durch die BLT
10.	Aerodynamik					
10.1.	Druck bei Fahrzeugvorbeifahrt					
(1)	Max. Druckamplitude auf die Fahrzeugseitenflächen		x	2.400	Pa	
(2)	Druckamplitude auf Bauten am Fahweg			-	Pa	abhängig von Abstand und Fahrzeuggeschwindigkeit
(3)	Druckbelastung auf den Fahwegtisch und auf den Fahrzeugunterboden		x	-7,6 bis 15,2	kN/m ²	
10.2.	Druck bei Tunnelfahrt					
(1)	Auslegungsdruck für Tunnelbemessung			5.500	Pa	Druckdifferenz Fahrzeug innen / aussen
(2)	Auslegungsdruck für Fahrzeugbemessung			6.000	Pa	Druckdifferenz Fahrzeug innen / aussen

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Gesamtsystem Anlage 1 Abkürzungen und Definitionen

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Gesamtsystem, Anlage 1 Abkürzungen und Definitionen

Dok.-Nr.: 67536 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 1 von 47

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Gesamtsystem zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007, Weißdruck, Fachausschuss Gesamtsystem

3 Inhaltsverzeichnis

1 Verteiler	2
2 Änderungsübersicht	3
3 Inhaltsverzeichnis	4
4 Allgemeines	5
4.1 Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich	5
4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen.....	5
4.3 Abkürzungen und Definitionen	5
4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien	5
4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen	6
5 Übersichten	7
6 Abkürzungen	9
7 Definitionen	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung Betrieb, Betriebsarten	7
Abbildung 2: Darstellung der Geschwindigkeitsbegriffe	7

4 Allgemeines

4.1 Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich

Das vorliegende Dokument enthält Abkürzungen und Definitionen für MSB-Systeme.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Anlage zur Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und damit Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentenbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordneten Dokumente Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln Betrieb und Instandhaltung, Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Abkürzungen und Definitionen sind im vorliegenden Dokument aufgeführt.

Weitere spezifische Abkürzungen und Definitionen können in den nachgeordneten Ausführungsgrundlagen definiert sein.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokuments sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in *Kursiv-Schrift*

gekennzeichnet.

Der Verbindlichkeitsgrad der Anforderungen wurde in Anlehnung an /DIN 820-2/, Anhang G, festgelegt und in der Formulierung der Anforderungen jeweils berücksichtigt.

5 Übersichten

Die folgenden Begriffe und Definitionen müssen für die Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen angewendet werden.

Die Begriffe und Definitionen sind in den Kapiteln 6 und 7 in alphabetischer Reihenfolge nachfolgend zusammengefasst.

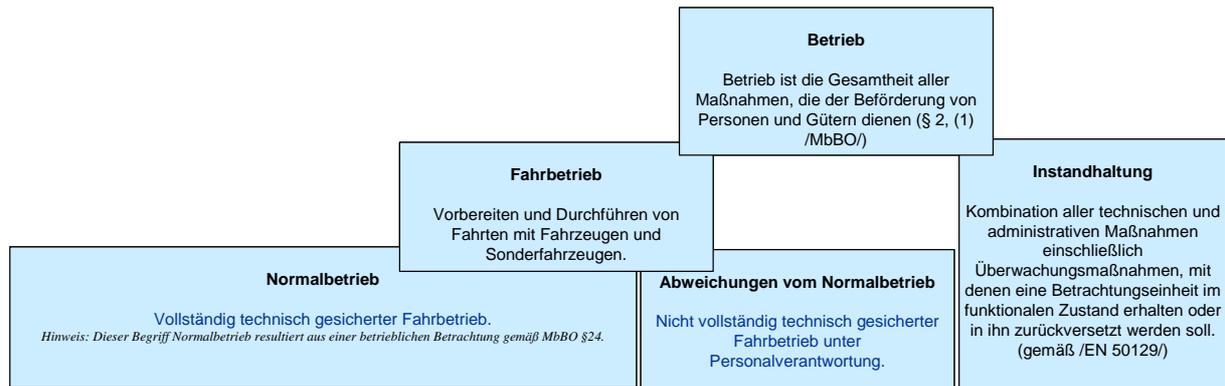


Abbildung 1: Darstellung Betrieb, Betriebsarten

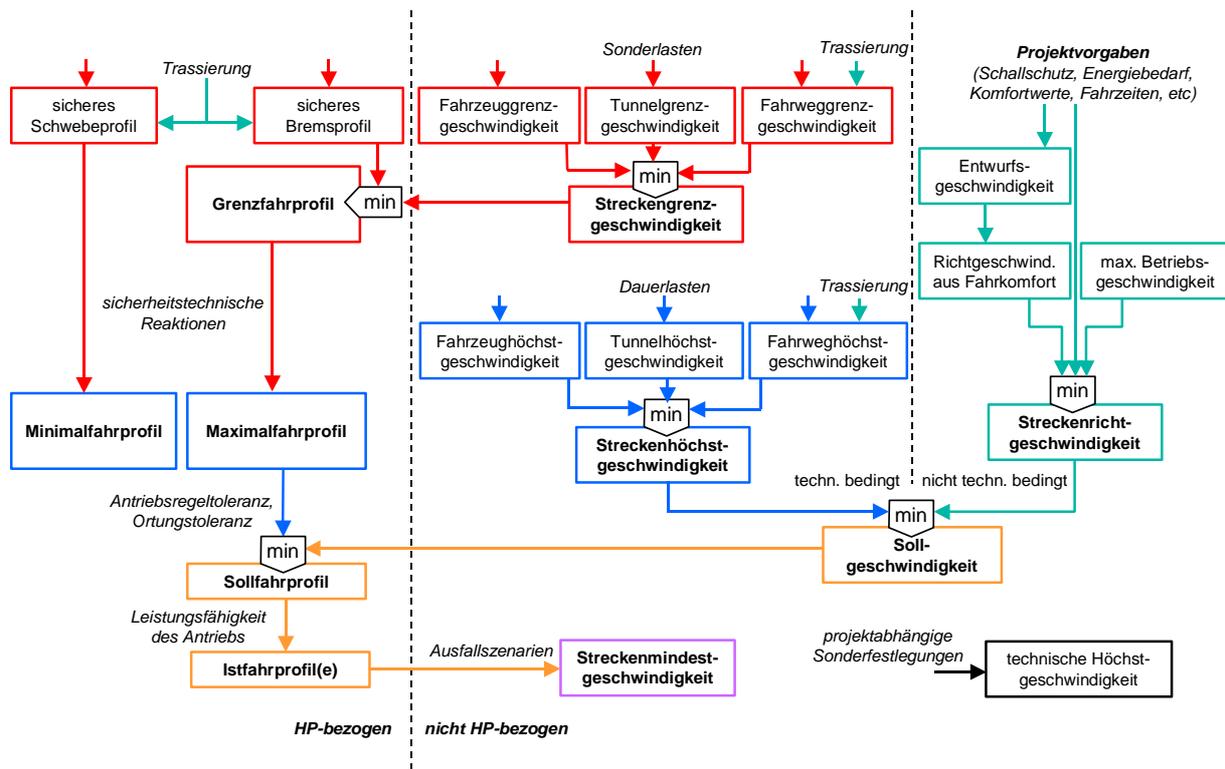


Abbildung 2: Darstellung der Geschwindigkeitsbegriffe

Erläuterung der Abbildung "Geschwindigkeitsbegriffe":

Die Geschwindigkeitsbegriffe gliedern sich in:

- Halteplatz bezogene Geschwindigkeiten ("Profile") zur Anfahrt von Halteplätzen und
- nicht Halteplatz bezogene Geschwindigkeiten ("Geschwindigkeiten")

Unmittelbar sicherheitstechnisch überwacht werden ausschließlich Profile.

Halteplatz bezogen:

Aus der Trassierung und verschiedenen Systemeigenschaften ergeben sich das sichere Schwebeprofil und das sichere Bremsprofil.

Durch Minimalwertbildung mit der Streckengrenzgeschwindigkeit (führt zum Grenzfahrprofil) und unter Beachtung der sicherheitstechnischen Reaktionen erhält man Minimal- und Maximalfahrprofil des Halteplatzes. Hierbei handelt es sich um von der BLT überwachte Profile zur sicheren Einhaltung des sicheren Schwebeprofiles /-bremsprofils bzw. des Grenzfahrprofils. Nach Abzug von Antriebsregeltoleranzen und Ortungstoleranzen sowie unter Beachtung der Sollgeschwindigkeit erhält man das Sollfahrprofil, welches vom Antrieb gefahren werden soll. Das Profil, das der Antrieb aufgrund seiner Leistungsfähigkeit tatsächlich fährt, wird als Istfahrprofil bezeichnet. Aus definierten Ausfallszenarien des Antriebs ergibt sich weiterhin halteplatzunabhängig eine Streckenmindestgeschwindigkeit, die im Betrieb noch gefahren werden kann.

Nicht Halteplatz bezogen:

Aus den definierten Sonderlasten und der Trassierung ergeben sich für Fahrzeug, Tunnel und Fahrweg die entsprechenden Grenzgeschwindigkeiten. Das Minimum dieser drei Anteile heißt Streckengrenzgeschwindigkeit. Diese darf nie überschritten werden und geht deshalb in das Grenzfahrprofil ein.

Aus den definierten Dauerlasten für Fahrzeug, Tunnel und Fahrweg ergeben sich die entsprechenden Höchstgeschwindigkeiten. Das Minimum der 3 Anteile ist die Streckenhöchstgeschwindigkeit. Sie stellt die technisch bedingte Restriktion für die Sollgeschwindigkeit dar. Darüber hinaus gibt es die Streckenrichtgeschwindigkeit als weitere Begrenzung für die Sollgeschwindigkeit. Diese setzt sich aus komfortbedingten und ggfs. anderen, nicht sicherheitsrelevanten Projektvorgaben zusammen. Die Sollgeschwindigkeit geht in das Sollfahrprofil ein (s.o.).

Neben allen anderen Geschwindigkeiten steht die technische Höchstgeschwindigkeit, die projektspezifisch unter definierten Sonderbedingungen höchstens gefahren werden darf, z.B. für Einzelfahrten zur Erbringung von Nachweisen.

6 Abkürzungen

Abkürzung	Definition
\bar{p}	gemittelte, statische Streckenlast
α	Fahrwegquerneigung
α	ellipsoidisches Azimut im Nullpunkt (P_0) der schiefachsigen konformen Abbildung (MKS)
α'	Querneigungsänderung Fahrweg (Überhöhungswinkel)
β	Fahrweglängsneigung (Steigung +, Gefälle -) der räumlichen Fahrwegachse
Δ	Delta, Differenz
δ bzw. δ_{xy}	Gierwinkel (Drehung um die z-Achse)
$\Delta\alpha$	Winkelabweichung der y-z-Ebene, Fahrwegquerneigungsänderung (Fahrwegverwindung)
$\Delta\alpha_{\max}$	maximal zulässige Fahrwegverwindung
$\Delta\alpha_y$	Differenz der unausgeglichene Seitenbeschleunigung von Sinusoiden- oder Klotoidenende und -anfang
$\Delta\alpha_z$	Differenz der Normalbeschleunigung von Klotoidenende und -anfang
$\Delta\lambda$	ellipsoidische Längendifferenz bezogen auf P_0
$\Delta\varphi$	ellipsoidische Breitendifferenz bezogen auf P_0
ΔT	linearer Temperaturunterschied
δ_{0xy}	statischer Gierwinkel aus Unsymmetrie Beladung
ΔF_{pz}	Abweichung z-Pendelkraft von Nennlast
Δf_y	kraftabhängige statische y-Einfederung der Gestellstruktur bei erregtem Führungsmagnet und Abweichung von der Nennlast
Δf_z	kraftabhängige statische Ein- bzw. Ausfederung bei Abweichungen von der Nennlast
Δf_{zG}	kraftabhängige statische Ein- bzw. Ausfederung der Gestellstruktur bei Abweichungen von der Nennlast
Δf_{zTK}	statische Einfederung der Tragkufe bei abgesetztem Fahrzeug
Δf_{zTM}	kraftabhängige statische Ein- bzw. Ausfederung der Tragemagnetanlenkung bei Abweichungen von der Nennlast
ΔP	Verschleiß Polleiste Führungsmagnet
Δs	dynamische Spaltabweichung Luftspalt Tragen / Führen
Δs_1	Spaltdifferenz in Führungsmagnetmitte bei Kurvenfahrt
Δs_2	Spaltdifferenz am Führungsmagnetende bei Kurvenfahrt

Abkürzung	Definition
ΔT_0	linearer Temperaturunterschied zwischen Trägerober- und Trägerunterseite, bei dem sich im unbelasteten Zustand die Sollvorkrümmung /MSB AG-FW GEO/ einstellt
ΔT_M	linearer Temperaturunterschied
$\Delta T_{M,y}$	linearer Temperaturunterschied in y-Richtung
$\Delta T_{M,z}$	linearer Temperaturunterschied in z-Richtung
ΔT_N	gesamte Schwankung des konstanten Temperaturanteils
$\Delta T_{re/li}$	Temperaturdifferenz der rechten zu linken Seite
ΔV_{TK}	Verschleiß Tragkufenbelag
ΔW_y	y-Bautoleranzen Spurweite Fahrweg
ΔW_z	z-Bautoleranzen Fahrwegzangenmaß
$\Delta x_{A,E}$	Maßangabe für den Abstand Systemachse zu Trägeranfang bzw. -ende
Δy	y-Bautoleranzen Spurweite Fahrzeug
Δy_i	y-Verschiebung Schweberahmen i
Δz	z-Bautoleranzen Fahrzeug-Zangenmaß
Δz_i	z-Verschiebung Schweberahmen i
η	Knickwinkel
η bzw. η_{Vz}	Rollwinkel (Drehung um x-Achse)
η_{0Vz}	statischer Rollwinkel aus Unsymmetrie Beladung
$\eta_{Vz\alpha'}$	Rollwinkel Wagenkasten aus Fahrwegüberhöhung
η_{VzFy}	Rollwinkel Wagenkasten aus Massenkraft und Seitenwind
γ	Sicherheitsbeiwert, Teilsicherheitsbeiwert
γ bzw. γ_{xz}	Nickwinkel (Drehung um y-Achse)
γ_{0xz}	Statischer Nickwinkel aus Unsymmetrie Beladung
γ_A	Teilsicherheitsbeiwert für außergewöhnliche Einwirkungen
γ_G	Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen
γ_Q	Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen
λ	ellipsoidische Länge
λ	Wellenlänge der fahrzeugseitigen Anregungen bzw. Einwirkungen
λ_0	ellipsoidische Länge des Abbildungsnullpunktes
μ	Massenbelegung der Fahrwegträger
μ	Reibbeiwert
μ_H	Reibbeiwert für die Haltebremsfunktion

Abkürzung	Definition
$\mu_{H \min}$	minimaler Reibbeiwert für die Haltebremsfunktion auf vereistem Fahrweg
φ	dynamischer Überhöhungsfaktor, Schwingbeiwert
φ	ellipsoidische Breite
φ_0	ellipsoidische Breite des Abbildungsnullpunktes
ψ	Kombinationsfaktor
ψ_0	Kombinationsfaktoren für veränderliche Einwirkungen
ψ_1	Kombinationsfaktoren für häufige Einwirkungen (1/Woche)
ψ_1'	Kombinationsfaktoren für nicht häufige Einwirkungen (1/Jahr)
ψ_2	Kombinationsfaktoren für quasiständige Einwirkungen
ρ°	Formelzeichen Rho, Faktor zur Umrechnung der Einheit Bogenmaß in Altgrad [°]
τ	Weichenwinkel Tau
ϑ	Tangentenverdrehung an Trägerstößen
a	Beschleunigung, Verzögerung
a	im MKS: seitlicher Abstand zur längentreu abgebildeten geodätischen Linie
a	Außenspur
A	Klotoidenparameter
A	Anfang
A	Fläche
A	Auftrieb
A	Lastfälle außergewöhnlicher Einwirkungen
$a_{(t)}$	Beschleunigungsamplitude zum Zeitpunkt t
ABE	Antriebsbereich
a_{eff} bzw. a_{RMS}	Effektivwert der Beschleunigung
a_i	Beschleunigung in x-, y-, z-Richtung (i=x,y,z)
$a_{i \max}$	maximale Beschleunigung in x-, y-, z-Richtung (i=x,y,z) (S-Lasten)
$a_{i \text{mitt}}$	mittlere betriebliche Beschleunigung in x-, y-, z-Richtung (i=x,y,z) (A-Lasten)
AL	Anlaufleiste
AW	Auftrieb aus Windeinwirkungen
a_x	Antriebs- und Bremsbeschleunigung
$a_{x \max}$	zulässiger Maximalwert für die Antriebs- und Bremsbeschleunigung
a_y	unausgeglichene freie y-Seitenbeschleunigung (Kurvenfahrt)

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 1 Abkürzungen und Definitionen

Abkürzung	Definition
$a_{y \max}$	zulässiger Maximalwert für die unausgeglichene freie Seitenbeschleunigung
a_z	Normalbeschleunigung (g + Wannens- /Kuppenfahrt)
$a_{z \max}$	zulässiger Maximalwert für die Normalbeschleunigung
B, b	Breite (allgemein)
b_G	Maximaler seitlicher Abstand eines Fahrgastes zur Raumkurve (jeweils Mitte des äußeren Sitzes)
Bg	Bauteil, global
BHPL	Betriebshalteplatz
Bl	Bauteil, lokal
BLT	Betriebsleittechnik
BM	Bremsmagnet
BSK	Brandschutzkonzept
BZ	Betriebszentrale
c	Federkonstante
c_{nWK}	Rollsteifigkeit Wagenkasten, bezogen auf Pendel
CAD	Computer Aided Design (computergestützte Konstruktion)
c_{piE}	Steifigkeit der z-Absetzfeder i, bezogen auf die Pendelachse
c_{ZF}	Steifigkeit y-Zusatzfeder
d	Abstand Führungsmagnetspaltsensoren
D	Dämpfungsmaß, Lehrsches Dämpfungsmaß
D	zulässiger Widerspruch zwischen Hin- und Rückweg des geometrischen Nivellements
D	Druck
DIN	Deutsches Institut für Normung
DSV	Dreischrittverfahren
dyn	dynamisch
e	Abstände allgemein, Mittenabstand
E	Ende
E	Elastizitätsmodul
E	Auswirkungen aus Einwirkungen (Verformungen, <schnittgrößen, Spannungen, Lagerkräfte)
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EFT	Einfeldträger
EG	Lastfallbezeichnung für Fahrzeugeigengewicht

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 1 Abkürzungen und Definitionen

Abkürzung	Definition
EI	Biegesteifigkeit
elas	elastisch
E_m	mittlerer Ostwert einer Streckenbeobachtung
EMF	elektromagnetische Felder
EMS	elektromagnetisches Schweben
EMV	elektromagnetische Verträglichkeit
EN	Europäische Norm
EP	Endpol der Tragsmagnete
ES	Endsektion
ESD	elektrostatische Entladung (Electrostatic Discharge)
EVU	Energieversorgungsunternehmen
f	Frequenz; Verformung
F	Kraft
F_A	Aerodynamischer Fahrwiderstand
FA	Fahrzeug-Außenraum,
F_B	Fahrwiderstand aus Bordenergieerzeugung
F_{Brems}	Bremskraft des Fahrzeugs durch Wirkung der fahrzeugseitigen Bremsrichtungen
FEM	Finite-Elemente-Methode
F_G	Gesamtbremskraft des Fahrzeugs
F_H	Haltebremskraft
FI	Fahrzeug-Innenraum,
F_{Kz1}	z-Kupplungskraft Sektionskupplung Endsektion 1 zu Mittelsektion
F_{Kz2}	z-Kupplungskraft Sektionskupplung Endsektion 2 zu Mittelsektion
F_M	Fahrwiderstand aus Magnetisierung von Stator und Seitenführschiene
FM	Führmagnet
FMEA	Ausfalleffektanalyse (Failure Mode & Effect Analysis)
FMT	einem Führregelkreis zugeordneter Führmagnetbereich = Teilmagnet
F_{mWKy}	y-Massenkraft Wagenkasten (Überhöhungsfehlbetrag)
F_{mWKz}	z-Massenkraft Wagenkasten
F_{p1z}	z-Pendelkraft Bugschweberahmen Endsektion
F_{piy}	y-Pendelkraft Schweberahmen i
F_{piz}	z-Pendelkraft Schweberahmen i
F_{pzLfi}	z-Pendelkraft Luftfederkreis i

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 1 Abkürzungen und Definitionen

Abkürzung	Definition
F_W	Fahrwiderstand des Fahrzeugs
FW	Fahrweg
$F_{x, Schub}$	im Fahrweg installierte Antriebskraft
F_{xTM}	x-Kraft an der Tragsmagnetanlenkung
F_{yFM}	y-Kraft an der Führungsmagnetanlenkung
F_{yFM0}	Vorspannkraft Führungsmagnet
F_{ySW}	Seitenwindkraft auf Endsektion E, Mittelsektion M
F_{yWK}	y-Kräfte Wagenkasten Endsektion E, Mittelsektion M
f_z	z-Verschiebungen
$f_{z, Fzg}$	Verformung des Fahrweges in z-Richtung durch das Magnetfahrzeug
$f_{z, Fzg, max}$	maximale Verformung des Fahrweges in z-Richtung durch das Magnetfahrzeug
$F_{zFi y}$	y-Kraft an y-Zusatzfeder Schweberahmen i
Fzg	Fahrzeug
F_{zTM}	z-Kraft an der Tragsmagnetanlenkung
F_{zWK}	z-Kräfte Wagenkasten Endsektion E, Mittelsektion M
g	Normalfallbeschleunigung (Erdbeschleunigung)
G	Gewicht
G	Lasfälle ständiger Einwirkungen
G	Schubmodul
GA_v	Schubsteifigkeit
ges, Ges	gesamt
GL	Gleitleiste
GLE, GE	Gleitebene
GLM	Gleitleistenmittenabstand
GPS	Global Positioning System (Satellitengestützte Positionsbestimmung)
H	Horizontal
H, h	Höhe (allgemein)
HG	Lastfallbezeichnung für erhöhtes Fahrzeuggewicht
$h_{G, Gelände}$	Gradientenhöhe über Gelände nach Fertigstellung
HIC	<u>Head Injury Criterion</u>
H_L	Hochwert im Landessystem
HP	Hauptpol der Tragsmagnete
i	Innenspur

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 1 Abkürzungen und Definitionen

Abkürzung	Definition
I	Trägheitsmoment
i, j	ganzzahlige Laufvariable
IH	Instandhaltung
ILT	Infrastrukturleittechnik
INKREFA	inkrementale Fahrzeuglageerfassung
K	Krümmung, Reziprokwert des Radius
K	Kuppe
k	Faktor, Beiwert
Kw	kurzwellige Abweichung
l	links
L	Länge (allgemein)
LA	Langstatormittenachse
Lb	Lichtraumbreite
L _e	Gesamtlänge eines Trassierungselementes
L _{ES}	Fahrzeuglänge Endsektion
L _{FM}	Magnetlänge Führungsmagnet
L _{FM-B}	Führungsmagnetbelegungslänge des Fahrzeugs
L _{Fw}	Länge Feldweite aus Stützenteilung
L _i	Trägersegment-Länge
L _K	Länge Klotoide
L _{K min}	Mindestlänge Klotoide
L _M	Systemlänge eines Modules in x-Richtung
L _{MS}	Fahrzeuglänge Mittelsektion
LP	Länge des Elements bis zum Punkt P
l _p	Länge Pendel
LPZ	Lighting Protection Zone (Blitzschutzzone) gemäß /DIN EN 62305-1/
LRL	Lagereferenzleiste
LS	Länge Sinusoide
L _{S min}	Mindestlänge Sinusoide
L _{St}	Stützweiten der Fahrwegträger (Abstand der Lagerachsen, die in der Regel ein Vielfaches von 1,032 m und bezogen auf die Abstände der Stützenachsen in der Raumkurve sind)
L _{Sys}	Systemlänge des Trägers
L _{Tangente}	Tangentenlänge

Abkürzung	Definition
L_{TM}	Tragmagnetlänge
L_{TM-B}	Tragmagnetbelegungslänge des Fahrzeugs
L_V	Längenverzerrung als Maßstabsdifferenz
L_w	Langwellige Abweichung
m	Masse
m	Linien- bzw. streckenförmige Einwirkungen infolge Torsion
M	Moment (allgemein)
M	Modulbauweise
max	maximal
m_b	abgesetzter Anteil der Fahrzeugmasse
MbBO	Magnetschwebbahn-Bau- und Betriebsordnung
MDT	mittlere Ausfallzeit (Mean Down Time)
MFE	mechanisches Führelement z.B. Führungsmagnetleisten bzw. Anlaufleisten
MG	Lastfallbezeichnung für mittleres Fahrzeuggewicht
min	minimal
MKS	Magnetschnellbahnkoordinatensystem
MRE	Magnetregeleinheit
MREB	Magnetregeleinheit Bremsen
MREF	Magnetregeleinheit Führen
MRET	Magnetregeleinheit Tragen
MRK	Magnetregelkreis bestehend aus den Regelkreisgliedern Magnet, Magnetregeleinheit und ggf. Spaltmesseinheit
MS	Mittelsektion
MSB	Magnetschwebbahn, Magnetschnellbahn
m_{Sekt}	Gesamtgewicht einer Fahrzeugsektion (mit oder ohne Nutzlast)
MSF	Maßstabsfaktor der Projektionsverzerrung
MSH	Magnetischer Sonderstahl Heinrichshütte (Weichmagnetischer Sonderbaustahl mit guten magnetischen Eigenschaften)
M_T	Rollmoment Wagenkasten
MTBF	mittlere ausfallfreie Zeit zwischen Ausfällen einer Baugruppe (Mean Time Between Failures)
MTTR	mittlere Reparaturdauer (Mean Time to Repair)
m_{WK}	Masse Wagenkasten
n	Anzahl, allgemein
n	Anzahl der Sektionen

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 1 Abkürzungen und Definitionen

Abkürzung	Definition
N	Anzahl der Felder eines Trägers
NBT	Normalbetrieb
NGK	Neigungsänderungskriterium [mm/m]
NL	Nutzlast
NLÜ	Nutzlastüberschreitung
NT	Nuttraverse
o	oben
OG	Obergurt, Fahrwegoberseite
OK	Oberkante
P	maximaler Polleistenverschleiß
P	beliebiger Punkt auf dem Trassierungselement
P ₀	Nullpunkt für das MKS, gleichzeitig Scheitelpunkt des ellipsoidischen Azimuts und Abbildungsnullpunkt
PK	Polkern
PL	Polleiste
plas	plastisch
P _{Mitte}	Punkt in der Mitte des Trassierungselements
PRW	Polradwinkel
p _x , p _y , p _z	Linien- bzw. Streckenlast in x-, y- und z-Richtung
Q	Lasfälle veränderlicher Einwirkungen
QS	Qualitätssicherung
q _x , q _y , q _z	Flächenlast in x-, y- und z-Richtung
r	Erdradius
r	rechts
R	Krümmungsradius Fahrweg
R	Radius
R	Regelung
RAMS	R - <u>R</u> eliability (Zuverlässigkeit) A - <u>A</u> vailability (Verfügbarkeit) M - <u>M</u> aintainability (Instandhaltbarkeit) S - <u>S</u> afety (Sicherheit)
R _H	Horizontalradius
RH	Horizontaler Kurvenradius
R _{H min}	minimal zulässiger Horizontalradius
R _{H,P}	Horizontalradius im Punkt P

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 1 Abkürzungen und Definitionen

Abkürzung	Definition
$R_{K,W}$	Vertikalradius (Kuppe, Wanne in der Gradiente) $\equiv R_V$
RKK	Raumkurven-Koordinatensystem
RKK	Raumkurven-Kordinatensystem
RI	Regelung
Rm	mittlerer Erdradius (für Berechnungen von Abbildungsverzerrungen)
RMS	Effektivwert (<u>R</u> oot <u>M</u> ean <u>S</u> quare)
R_V	Vertikalhalbmesser / -radius
RV	vertikaler Kurvenradius
$R_{V\ min}$	minimal zulässiger Vertikalhalbmesser
$R_{x,y}$	räumlicher Radius aus Überlagerung einer Gradientenkrümmung (Halbmesser) mit einer Horizontalkrümmung (Radius)
$R_{x,z}$	räumlicher Radius aus Überlagerung von Horizontalkrümmung und Gradientenkrümmung
$R_{x,z\ min}$	minimal zulässiger räumlicher Radius (in Abhängigkeit von der Fahrwegverwindung)
R_{xy}	Radius Kurve
s	Strecke, Abstand
S	Spurweite Fahrweg
S	Spurmittenabstand
S	Spaltmaß
S	Sog
S	Schwerpunkt
s_0	Nennluftspalt Tragmagnet / Führomagnet
SA	Statorabschnitt
SB	sichere Bremse
SE	Statorebene
Sekt	Sektion
S_F	Nennspalt Führen
SFE	Seitenführschienenebene
SFS	Seitenführschiene
SFZ	Schienenfahrzeug
SGN	Vorzeichen (Signum) einer Zahl
SIAB	<u>s</u> ichere <u>A</u> ntriebs <u>a</u> bschaltung
SK	Seitenkraft
SP	Statorpaket

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 1 Abkürzungen und Definitionen

Abkürzung	Definition
SPB	Statorpaketbefestigung
SPD	Surge Protection Device: (Überspannungs-Schutzgerät) gemäß /DIN EN 62305-1/
S _R	Nennspalt Führen bei Kurvenfahrt
SS	Schwingspielzahl
St	Stütze, Stützort, Stützweite
S _T	Tragkufenspalt
stat	statisch
SW	Sicherheitswind
t	Blechdicke
t	Zeit
T	Temperatur
T ₀	Nenn-/ Aufstelltemperatur
TFK	Trägerfertigungskordinatensystem
TK	Tragkufe
T _l	Temperatur des linken Randes des tragenden Querschnitts
TM	Tragmagnet
TMT	einem Tragregelkreis zugeordnete "Tragmagnethälfte" = Teilmagnet
T _o	Objekttemperatur am Obergurt
TP	trigonometrischer Punkt der Landesvermessung
T _r	Temperatur des rechten Randes des tragenden Querschnitts
TRS	Traktionsregelung und Steuerung
T _u	Objekttemperatur am Untergurt
TVE	Transrapid Versuchsanlage Emsland
t _{ZM}	Zangenmaß (Nennmaß Abstand Statorebene - Gleitebene)
u	unten
URS	Umrichterregelung und Steuerung
USV	Unterbrechungslose Stromversorgung
UW	Unterwerk
v	Geschwindigkeit
V	Vertikal
V	Versatzmaß
V	Querkraft (an Auflagern)
VDE	Verband Deutscher Elektrotechniker

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 1 Abkürzungen und Definitionen

Abkürzung	Definition
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
v_e	Entwurfsgeschwindigkeit
v_{Einsatz}	Einsatzgeschwindigkeit der Bordenergieversorgung
v_{Fzg}	Fahrzeuggeschwindigkeit
v_{Grenz}	Fahrzeuggrenzgeschwindigkeit
v_{max}	ortsabhängige Maximalgeschwindigkeit für das Maximalfahrprofil
Vor	Vorspannung
v_w	Windgeschwindigkeit
w	Durchbiegung
W	Wanne
W	Wind
WK	Wagenkasten
WLZ	Windlastzone
WSB	Wirbelstrombremse
WSE	Werkstoffermüdung
WSV	Wechselschrittverfahren
W_y	Spurweite Fahrweg (Abstand Seitenführschiene)
W_z	Nennzangenmaß des Fahrwegs zwischen Oberkante Gleitebene und Unterkante Statorpaket
X	Bezeichnung der Längsachse der MKS (= ausmittelnde Gerade) durch P_0
X_0	Additionswert zur Nullpunktverschiebung in X - Richtung im MKS
x_{2E}	Abstand Schweberahmen 2 Endsektion zu Sektionskupplung
x_i	x-Wert am Punkt „i“ ($i=1 \rightarrow n$)
x_{iE}	Abstand der z-Absetzfeder i zur Sektionskupplung
x_{NiE}	Abstand der z-Absetzfeder i zum Drehpunkt Wagenkastennicken
x_{sE}	x-Abstand Schwerpunkt Endsektion zu Sektionskupplung
x_{si}	Abstand resultierender Kraftangriffspunkt Luftfederkreis i zu Sektionskupplung
x_{SWE}	Abstand Seitenwindkraft Endsektion zu Sektionskupplung
x_{ZFi}	Abstand y-Zusatzfeder i zu Sektionskupplung
Y	Bezeichnung der Querachse des MKS (steht in der Lage senkrecht auf X)
Y	Spurweite Fahrzeug
Y_0	Additionswert zur Nullpunktverschiebung in Y - Richtung im MKS

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 1 Abkürzungen und Definitionen

Dok.-Nr.: 67536 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 20 von 47

Abkürzung	Definition
Y_0	Nennspurweite Fahrzeug bei nicht erregten Führmagneten (abgesetztes Fahrzeug)
y_i	y-Wert am Punkt „i“ ($i=1 \rightarrow n$)
y_K	y-Verschiebung der Sektionskupplung
$y_{Lw, Ist}$	y-Ist-Wert für die langwellige Abweichung
$y_{Lw, max}$	zulässiger maximaler y-Wert für die langwellige Abweichung
y_p	y-Koordinate Wagenkastenpendelkraftangriffspunkt
y_{piE}	y-Verschiebung Pendel i Endsektion
y_{sWK}	y-Schwerpunktkoordinate Wagenkasten
Z	Zangenmaß zwischen Unterkante Tragkufe und Oberkante Tragemagnet
Z_0	Zangenmaß: Nennmaß <i>(Zangenmaß Fahrzeug: Abstand zwischen Unterkante Tragkufe und Oberkante Tragemagnet bezogen auf die Nennlast am Tragemagnet bei schwebendem Fahrzeug)</i>
z_C	z-Koordinate Drehpunkt Wagenkastenverrollung
ZG	Lastfallbezeichnung für zulässiges Fahrzeuggewicht
z_i	z-Wert am Punkt „i“ ($i=1$ bis n)
$z_{i, Ist}$	z-Wert in Istlage am Punkt „i“
Z_{Ist}	Zangenmaß: vorliegender z-Ist-Wert
z_K	z-Verschiebung der Sektionskupplung
z_{piE}	z-Verschiebung Pendel i Endsektion
z_{sE}	z-Abstand Schwerpunkt Endsektion zu Sektionskupplung
Z_{Soll}	Zangenmaß: projektiertes Soll-Wert
z_{sWK}	z-Schwerpunktkoordinate Wagenkasten
Zw	Zwickellösung
ZWK	Zwangskraft
ÜA	Übergangsbogenanfang
ÜE	Übergangsbogenende
\ddot{a}_o	omnidirektionaler Ruck
$\ddot{a}_{o max}$	Maximal zulässiger omnidirektionaler Ruck
\ddot{a}_x	Längsruck
\ddot{a}_y	Seitenruck
$\ddot{a}_{y max}$	maximal zulässiger Seitenruck
\ddot{a}_z	Vertikalruck
$\ddot{a}_{z max}$	maximal zulässiger Vertikalruck

7 Definitionen

Begriff	Definition
A-Lasten	Lasten aus Normalbetrieb für Ermüdungsfestigkeitsnachweis.
Abbildungs-Reduktion	Ggf. anzubringende Verbesserungen an gemessenen Größen bei der Abbildung auf die ebene Fläche.
Abbildungsfläche	Mathematisch definierte Fläche, auf die Punkte bzw. Objekte der physikalischen Erdoberfläche abgebildet werden.
Absetzgeschwindigkeit	Geschwindigkeit, bei der der Absetzvorgang des Fahrzeugs durch die BLT eingeleitet wird.
Aktueller Halteplatz	Halteplatz, den das MSB-Fahrzeug aktuell erreichen kann. Im Zwangshaltfall wird dieser angefahren. Innerhalb der Fahrprofilüberwachung ist für das MSB-Fahrzeug immer genau ein Halteplatz aktuell.
Anschlussfahrweg	Weg zwischen Gefahrenpunkt und Zielpunkt eines Halteplatzes (jeweils bezogen auf Zugspitze).
Antrieb	Teilsystem zur Bereitstellung der Traktionsleistung für MSB-Fahrzeuge.
Antriebsbereich	Teilbereich der Strecke, in dem höchstens ein Fahrzeug angetrieben werden kann.
Antriebsbeschleunigung (a_x)	Beschleunigungskomponente, die den Antrieb des Fahrzeuges bewirkt, in Längsrichtung der Fahrwegachse und parallel zur Fahrwegfläche, Vorzeichen (+).
Antriebsblock	Teil des Antriebs im Unterwerk zur Umformung der Traktionsenergie für ein Fahrzeug.
Antriebseinheit	Komponenten des Antriebsbereichs zum Betrieb eines Fahrzeugs, bestehend aus ein oder zwei Antriebsblöcken und der Antriebsstrecke des Antriebsbereichs.
Antriebsregelung/-steuerung	Sammelbegriff für die Regelungs- und Steuerungseinrichtungen des Antriebsbereichs.
Antriebsstrecke	Streckenseitige Antriebskomponenten eines Antriebsbereichs.

Begriff	Definition
Arbeitsanweisungen	Arbeitsanweisungen umfassen die Instandhaltungsanleitungen und ergänzen diese mit den örtlichen und /oder projektspezifischen Besonderheiten. Diese Besonderheiten sind z.B. die Verwendung spezieller Werkzeuge, die Durchführung im Rahmen der örtlichen Infrastruktur oder Angaben zum Arbeitsablauf. Die sich aus diesen Besonderheiten ergebenden zusätzlichen Anforderungen an den Arbeits- und Umweltschutz sind hier enthalten. Arbeitsanweisungen sind projekt- und ortsabhängig.
Aufgeständerter Fahrweg	Fahrwegabschnitt mit einer Höhe des Fahrwegs von $3,5\text{ m} < H \leq 20\text{ m}$ (in Sonderfällen $H > 20\text{ m}$) werden als aufgeständerte Fahrwege bezeichnet.
Automatischer Betrieb	Betriebsart, bei der die Sicherung des Fahrbetriebs vollständig technisch und die Steuerung automatisch erfolgt.
Azimut	Winkel, der in einem Punkte P eine beliebige Oberflächenkurve mit dem Meridian durch P bildet. Beim ellipsoidischen Azimut verlaufen die Linien auf der Oberfläche des gewählten Umdrehungsellipsoides.
Bau-Koordinatensystem	Koordinatensystem (X,Y,Z) zur dreidimensionalen Einrechnung, Absteckung und Überwachung von Ingenieurbauwerken.
Baugruppe	In Serie oder einzeln hergestelltes Bauteil, oder eine funktionale Menge von in Serie oder einzeln hergestellten Bauteilen, die ein Ganzes bilden (gemäß /EN 61508-4/).
Bauhorizont	Mittlere Höhenlage, auf welche die Grundrisskomponenten des Magnetschwebbahnkoordinatensystems (X,Y) reduziert werden.
Bedienen und Beobachten	Teil der Mensch-Maschine Schnittstelle des Teilsystems Antrieb und Energieversorgung. Einrichtung zur Prozessbeobachtung und -bedienung.
Begleitsteg	Aufgeständerte fußläufige Zuwegung entlang des Fahrweges, die zur Rettung und Evakuierung von Passagieren an speziellen Evakuierungshalteplätzen vorgesehen ist.

Begriff	Definition
Begleitweg	Ebenerdige fußläufige Zuwegung entlang des Fahrweges, die zur Rettung und Evakuierung von Passagieren an speziellen Evakuierungshalteplätzen vorgesehen ist.
Bereichsüberlappung	Funktionalität, die es ermöglicht, dass in definierten Streckenbereichen die Antriebs- und Sicherungsfunktionen der dortigen Antriebs- und/oder Sicherungsbereiche durch benachbarte Antriebs- und/oder Sicherungsbereiche übernommen werden können.
Beschleunigungsfehlbetrag (Hangabtrieb)	Unausgeglichene Seitenbeschleunigung, die bei vorhandener Querneigung des Fahrwegs zur nach unten geneigten Fahrwegfläche (bogeninnen) wirkt.
Beschleunigungsüberschuss	Unausgeglichene Seitenbeschleunigung, die nach bogenaußen, bei vorhandener Querneigung des Fahrweges in Richtung der nach oben geneigten Fahrwegfläche wirkt.
Betrieb	Betrieb ist die Gesamtheit aller Maßnahmen, die der Beförderung von Personen und Gütern dienen (§ 2, (1) /MbBO/).
Betriebsanlagen	Dem Betrieb sowie dessen Abwicklung und Sicherung dienende Grundstücke, bauliche Anlagen und Einrichtungen außer den Fahrzeugen.
Betriebsarten	Definierte und eindeutig voneinander abgegrenzte Arten des Fahrbetriebes, die sich in ihren technischen und nichttechnischen Maßnahmen zur Durchführung von Fahrten unterscheiden.
Betriebsbediensteter	§ 26, (2) /MbBO/ Betriebsbediensteter ist, wer 1. im Fahrbetrieb, 2. bei der Steuerung oder Überwachung des Betriebsablaufs, 3. als Verantwortlicher bei der Instandhaltung der Betriebsanlagen oder Fahrzeuge, 4. als Leitender oder Aufsichtsführender über Betriebspersonal nach den Nummern 1 bis 3 tätig ist.
Betriebsfahrt	Fahrt ohne Fahrgäste, z.B. Überführungsfahrten.
Betriebsfestigkeit	Beanspruchbarkeit unter Berücksichtigung der Einwirkung aus Betrieb und Umwelt mit definierter Häufigkeit und Dauer der Beanspruchung.
Betriebshalteplatz	Streckenabschnitt, der für einen außerplanmäßigen Halt von Zügen genutzt wird.

Begriff	Definition
Betriebshandbuch	Regelungen des Unternehmers für die sichere Durchführung und Überwachung des Fahrbetriebes, die den Normalbetrieb als auch davon abweichende Betriebszustände sowie die Schnittstelle zur Instandhaltung berücksichtigen.
Betriebsleittechnik	Die Betriebsleittechnik umfasst die Komponenten und Funktionen zur Sicherung, Überwachung und Steuerung des Betriebs.
Betriebspersonal	Siehe Betriebsbediensteter.
Betriebsrelevante aktive Baugruppe	Für die Aufrechterhaltung des Regelbetriebs oder Störbetriebs erforderliche Baugruppe.
Betriebszentrale	Zentrale Betriebsanlage mit Einrichtungen zur Betriebsführung und Kommunikation sowie mit Bedien- und Anzeigeeinrichtungen der MSB - Teilsysteme.
Biegeweiche	Spurwechseleinrichtung, die durch eine elastische Verformung des Fahrwegüberbaus (Mehrfeldträger) unter Einhaltung der geometrischen Vorgaben den Wechsel auf andere Fahrspuren ermöglicht.
Bremsbeschleunigung	Beschleunigungskomponente, die das Abbremsen des Fahrzeuges bewirkt, in Längsrichtung der Fahrwegachse und parallel zur Fahrwegfläche, Vorzeichen (-).
Diagnose	Diagnose ist das Sammeln, Speichern und Bewerten von Informationen über den Betriebszustand und die Funktionsfähigkeit eines Systems zur Unterstützung des Betriebes oder der Instandhaltung.
Diagnosesystem	Einrichtung zur Überwachung bestimmter Größen und Prozesszustände auf Abweichungen vom Sollzustand.
Dreischrittverfahren	Statorabschnittswchselverfahren mit drei Streckenkabelsystemen, wobei die links und rechts getrennten und zueinander versetzten Statorabschnitte unabhängig voneinander und ohne Umschaltpause gespeist werden.
Eignung	Eignung bezeichnet die Erfüllung der psychischen und kognitiven Anforderungen zur Durchführung einer definierten Tätigkeit durch eine Person.
Einrichtung	Funktionale, physische Betrachtungseinheit (gemäß /DIN 50129/).
Einsetzfahrt	Fahrt zur Verifikation des vom Fahrdienstleiter vorgegebenen Einsetzortes und zur Ausfalloffenbarung der Ortung.

Begriff	Definition
Element	In Abhängigkeit von der Betrachtung die als unteilbar aufgefasste Einheit der untersten Betrachtungsebene (gemäß /DIN 40150/).
Energieversorgung	Teilsystem zur Bereitstellung der Energie für das Gesamtsystem.
Entwurfsgeschwindigkeit	Zu Beginn der Planung für die Trassierung je Streckenabschnitt vorgegebene Geschwindigkeit mit Einhaltung der Komfortparameter. Über einen definierbaren Streckenabschnitt ist der Wert eine Konstante. (Hinweis: Die tatsächlichen Geschwindigkeiten und Fahrprofile in einem Projekt ergeben sich als Ergebnis der auf Basis der Entwurfsplanung ausgeführten Trassierung und der Systemgrenzwerte und -parameter.)
Erfahrungswert	Auf Basis von Messungen am bestehenden MSB-System konservativ angesetzt. Ist projektspezifisch zu überprüfen.
Erreichbarkeitspunkt	Fußpunkt des Schwebeprofils, markiert (in Fahrtrichtung) den Anfang eines Halteplatzes.
Evakuierungshalteplatz	Definierter Streckenabschnitt zum Halt von Zügen in Notfällen, der mit Einrichtungen zur schnellen und einfachen Evakuierung der Personen aus dem Fahrzeug auf eine Ausstiegsplattform ausgestattet ist.
externe Bordenergieeinspeisung	Stationäre Einrichtungen zur Energieversorgung der Fahrzeuge, die dem Teilsystem Antrieb und Energieversorgung zugeordnet sind. Dazu gehören nicht die Übertragungskomponenten am Fahrweg und im Fahrzeug.
externe Bordenergieversorgung	Alle elektrotechnischen Einrichtungen zur Versorgung der MSB-Fahrzeuge mit elektrischer Energie.
Fahrbetrieb	Vorbereiten und Durchführen von Fahrten mit Fahrzeugen und Sonderfahrzeugen.
Fahrplan	Vorausschauende Festlegung des Fahrtenverlaufs der Züge hinsichtlich Abfahrt- und Ankunftsstationen, Verkehrstagen, Fahrzeiten.
Fahrprofil	Kennlinie, die die Fahrzeuggeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Fahrzeugort unter Berücksichtigung von Betriebs- und Trassierungsdaten angibt und auf einen Halteplatz bezogen ist.

Begriff	Definition
Fahrprofilüberwachung	Teilfunktion der betriebsleittechnischen Sicherungsfunktion. Überwacht die Fahrzeuggeschwindigkeit auf Verletzung von sicherungstechnischen Vorgaben (Fahrprofile).
Fahrt	Bewegung von Fahrzeugen auf dem Fahrweg.
Fahrweg	Spurbauwerk, welches alle aus den Fahrzeugen und der Umwelt resultierenden Kräfte aufnimmt und in den Baugrund einleitet und die für das Schweben (Tragen, Führen, Antrieb und Bremsen) des Fahrzeugs erforderlichen Baugruppen beinhaltet bzw. trägt.
Fahrweg-Unterbauten	Gründung, Stützen und ähnliche Bauteile, welche die Kräfte aus den Fahrwegüberbauten und der Umwelt in den Baugrund weiterleiten.
Fahrweg-Überbauten	Fahrwegträger und Fahrwegplatten (inkl. der Fahrwegausrüstung), welche die Einwirkungen aus den Fahrzeugen und der Umwelt aufnehmen und in die Fahrwegunterbauten weiterleiten.
Fahrwegachse	Mittellinie zwischen den Gleitebenen des Fahrweges. Sie entspricht der Raumkurve.
Fahrwegausrüstung	MSB-spezifische und bauartspezifische Baugruppen/Bauteile des Fahrwegs.
Fahrwegbauarten	Herstellerspezifische Ausführung einer Fahrwegbauweise.
Fahrwegbauweisen	Definition des Fahrwegs, abhängig von den verwendeten Materialien der Fahrwegüberbauten (z.B. Stahlbauweise, Betonbauweise, Hybridbauweise)
Fahrwegelemente	Sammelbegriff für alle Bauteile und Baugruppen des Fahrwegs.
Fahrwegfläche	Durch die Gleitebene verlaufende Fläche, enthält die Raumkurve.
Fahrwegbegrenzgeschwindigkeit	Ortsabhängiger Verlauf der maximal zulässigen Geschwindigkeit einer trassierten Strecke, abgeleitet aus den bei der Fahrwegbemessung angesetzten maximalen Einwirkungen in Folge nicht häufiger oder außergewöhnlicher Bemessungssituationen.
Fahrweghöchstgeschwindigkeit	Ortsabhängiger Verlauf der maximal zulässigen Geschwindigkeit einer trassierten Strecke, abgeleitet aus den bei der Fahrwegbemessung angesetzten maximalen Einwirkungen häufiger Bemessungssituationen.

Begriff	Definition
Fahrweglager	Sammelbegriff für alle Elemente/Baugruppen wie Fahrwegträgerlager, Auflagerungen usw.
Fahrwegplatten	Sonderform des Fahrwegträgers; Tragsystem mit flächen- oder plattenartiger Tragwirkung infolge der geringen Länge (bzw. Stützweite) im Verhältnis zur Breite.
Fahrwegträger	Diskret gelagertes Tragsystem mit balkenartiger Tragwirkung; üblich sind Einfeldträger und Zweifeldträger für den Regelfahrweg und Mehrfeldträger für Spurwechseleinrichtungen.
Fahrwegtypen	Definition der Fahrwegüberbauten, abhängig von der Stützweite; es wird unterschieden in Regelfahrwegüberbauten (Regelfahrweg-träger Typ I und Typ II, Regelfahrwegplatten Typ III) und Sonderfahrwegüberbauten (Sonderfahrwegträger, Sonderfahrwegplatten).
Fahrwiderstand	Der Fahrwiderstand wird gebildet durch die drei Anteile <ul style="list-style-type: none"> • aerodynamischer Widerstand FA (Erhöhung in Tunneln ist bauwerkspezifisch zu ermitteln), • Fahrwiderstand FM infolge Auf-/Abmagnetisierung von Langstator und Seitenführschiene des Fahrwegs, • Fahrwiderstand FB infolge Bordenergieerzeugung durch Lineargenerator für das Fahrzeug.
Fahrzeug	MSB-Fahrzeuge und Sonderfahrzeuge (s. auch Definitionen MSB-Fahrzeug und Sonderfahrzeug).
Fahrzeug-Außenraum	Kennzeichnung wird bei den verschiedenen, vorgesehenen EMV- und Blitzschutz-Schutzräumen im Außenbereich des Fahrzeugs verwendet.
Fahrzeug-Begrenzungslinie	Umrisslinie, bezogen auf den zu untersuchenden Querschnitt, die von keinem Fahrzeugteil überschritten werden darf (Fahrzeugkontur).
Fahrzeugeigengewicht	Gewicht des Fahrzeuges inkl. der Ausstattung (z.B. Bestuhlung) ohne Nutzlast.
Fahrzeuggewicht, zulässiges	Fahrzeugeigengewicht mit maximaler Nutzlast.

Begriff	Definition
Fahrzeuggrenzgeschwindigkeit	Maximal zulässige Geschwindigkeit (konstante Größe) abgeleitet aus den bei der Fahrzeugbemessung angesetzten maximalen Einwirkungen in Folge nicht häufiger oder außergewöhnlicher Bemessungssituationen.
Fahrzeughöchstgeschwindigkeit	Höchste zulässige Geschwindigkeit (konstante Größe), abgeleitet aus den bei der Fahrzeugbemessung angesetzten maximalen Einwirkungen häufiger Bemessungssituationen.
Fahrzeugsektion	Einheit zur Bildung eines Fahrzeugs.
Fail-safe (Fehlersicherheit)	Konzept, das in den Entwurf eines Produktes so einfließt, dass bei Eintreten einer Fehlfunktion ein sicherer Zustand eingenommen oder beibehalten wird (gemäß /EN 50129/).
Fehlerbaumanalyse	Ein analytisches Verfahren zur Feststellung, welche Fehlerarten des Produktes, des Teilproduktes oder äußere Ereignisse, oder von Kombinationen daraus, zu einer vereinbarten Fehlerart des Produktes führen können, wobei die Analyse in Form eines Fehlerbaums dargestellt wird (gemäß /EN 50126/).
Freie (unausgeglichene) Seitenbeschleunigung	Beschleunigungsüberschuss (wirkt in Richtung bogenaußen: $a_y = \text{positiv}$), Beschleunigungsfehlbetrag (wirkt in Richtung bogeninnen: $a_y = \text{negativ}$).
Freie Lagerung	Lagerung eines geodätischen Netzes (1-, 2- od. 3-dimensional) auf Näherungskordinaten unter Minimierung der Restklaffungen. Eine Deformation des Netzes durch Anschlusszwänge wird somit vermieden.
Funktion	Art von Aktion oder Tätigkeit, durch die ein Produkt seinen beabsichtigten Zweck erfüllt (gemäß /EN 50129/).
Funktionsebene	Systemkennzeichnende Bezugsebenen für die Trag-Führfunktionen des Fahrzeuges
Funktionseinheit	Betrachtungseinheit, deren Abgrenzung nach Aufgabe oder Wirkung erfolgt. Abgeleitete Begriffe in Abhängigkeit von den Betrachtungskriterien sind: <ul style="list-style-type: none"> • Baueinheit • Betriebseinheit • Instandhaltungseinheit (gemäß /DIN 40150/)

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 1 Abkürzungen und Definitionen

Begriff	Definition
Gebrauchstauglichkeit	Die Gebrauchstauglichkeit ist das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen. Der Nutzungskontext besteht aus den Benutzern, Arbeitsaufgaben, Arbeitsmitteln (Hardware, Software und Materialien) sowie der physischen und sozialen Umgebung, in der das Produkt eingesetzt wird." (DIN EN ISO 9241, Teil 11)
Gefahrpunkt	Fußpunkt des sicheren Bremsprofils, markiert (in Fahrtrichtung) das Ende eines Halteplatzes.
Geoid	Durch eine Niveaufläche des Erdschwerefeldes (normal zur Schwerkraft) beschriebene Gestalt der Erde auf Höhe des mittleren Meeresniveaus - unter dem Festland - fortgesetzt gedacht.
Geoid-Undulation	Höhendifferenz vom Geoid zum Ellipsoid.
Gieren	Drehbewegung des Wagenkastens bzw. Schwebegestells um die z-Achse
Gitter-Nord	Die Richtung der parallel zum Hauptmeridian verlaufenden Gitterlinien der geodätischen Koordinatensysteme.
Gleitebene	Durch die Oberflächen der Gleitleisten gebildete Funktionsebene.
Gleitleiste	Fahrwegseitige Baugruppen an der Oberseite der Kragarme, die zur Aufnahme mechanischer Einwirkungen dienen.
Gleitweg	Weg, den eine neuwertige Gleitkufe auf der Gleitleiste bei Nennmasse des Fahrzeuges und unter trockenen Bedingungen zurücklegen kann, bis eine Instandhaltungsmaßnahme an der Kufe erforderlich wird.
Global Positioning System	Satellitengestütztes Verfahren zur absoluten oder relativen Positionsbestimmung.
Gradiente	Verlauf der Raumkurve des Fahrweges im Längsschnitt.
Grenzfahrprofil	Geschwindigkeitsprofil, das ortsabhängig alle sicherheitstechnisch zu beachtenden Geschwindigkeitsbegrenzungen (Streckengrenzgeschwindigkeit und sicheres Bremsprofil) berücksichtigt. Das Profil ist abhängig vom Halteplatz.

Begriff	Definition
Halteplatz	Definierter Streckenabschnitt zum planmäßigen oder außerplanmäßigen Halt von Zügen; Halteplätze sind Stationen (planmäßiger Halt) und Betriebshalteplätze (außerplanmäßiger Halt).
Head Injury Criterion	Maß für die Gefahr einer Kopfverletzung bei einer Fahrzeugkollision (gemäß /HIC/). <i>Hinweis: Bei einem Wert von unter 1.000 kann angenommen werden, dass es zu keinen schweren Kopfverletzungen kommt.</i>
Hemmung	Sicherungstechnisch verhindertes Anheben und Anfahren eines haltenden Fahrzeugs.
Höchstgeschwindigkeitsprofil	Höchstes orts- und vom Halteplatz abhängiges Geschwindigkeitsprofil, das aus technischer Sicht betrieblich genutzt werden darf. Liegt um die Regeltoleranz des Antriebes unter dem Maximalfahrprofil und darf die Streckenhöchstgeschwindigkeit nicht überschreiten.
Höhenbezugsfläche	Niveaufläche als Referenz für Höhenangaben.
Instandhaltung	Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann. Unter der Betrachtungseinheit versteht man jedes Teil, Bauelement, Gerät, Teilsystem, jede Funktionseinheit, jedes Betriebsmittel oder System, das für sich allein betrachtet werden kann (EN 31051 und DIN EN 13306). Zur Abgrenzung siehe auch Winterdienst und Vegetationskontrolle.
Instandhaltungsanlagen	Betriebsanlagen zur Instandhaltung aller Teilsysteme. Sie können projektabhängig zentral, dezentral oder in einer geeigneten Kombination aus beidem vorliegen.

Begriff	Definition
Instandhaltungsanleitungen	Instandhaltungsanleitungen werden vom Hersteller eines Systems / einer Betrachtungseinheit erstellt. Sie enthalten alle Anleitungen, Daten und Arbeitsschritte, welche zur Durchführung einer Instandhaltungsmaßnahme erforderlich sind. Weiterhin enthalten sie diejenigen Angaben zum Arbeits- und Umweltschutz, die durch die einzelnen Arbeitsschritte oder die verwendeten Betriebsstoffe erforderlich sind, sowie Angaben zu den erforderlichen Instandhaltungshilfsmitteln. Instandhaltungsanleitungen sind projekt- und ortsunabhängig.
Instandhaltungsdezentrale	Instandhaltungsanlage, in welcher betriebsnah Teile der Instandhaltungsressourcen und des Instandhaltungsmanagements für die Instandhaltung von MSB-Teilsystemen dezentral vorgehalten werden.
Instandhaltungsfahrweg	Fahrweg im Bereich der Fahrzeuginstandhaltung mit erhöhten Anforderungen hinsichtlich der Zugänglichkeit zu den Baugruppen des MSB-Fahrzeugs.
Instandhaltungskonzept	Konzept für die betriebliche und organisatorische Durchführung der Instandhaltung.
Instandhaltungsmanagement	Alle Tätigkeiten der Führung, welche die Ziele, die Strategie und die Verantwortlichkeiten der Instandhaltung bestimmen und sie durch Mittel wie Instandhaltungsplanung, Steuerung und Überwachung und Verbesserung der Organisationsmethoden einschließlich wirtschaftlicher Gesichtspunkte verwirklichen (gemäß /EN 13306/).
Instandhaltungsmanagementsystem	Elektronisches System zur Unterstützung des Instandhaltungsmanagements, (/DIN EN 13306/).
Instandhaltungsprogramm	Definition der Instandhaltungsmaßnahmen für ein Teilsystem. Instandhaltungsprogramme werden entsprechend den Betriebserfahrungen fortgeschrieben.
Instandhaltungsressourcen	Beinhaltet Infrastruktur, Personal, Material, Arbeits-, Mess- und Prüfmittel für die Instandhaltung.
Instandhaltungszentrale	Instandhaltungsanlage, in welcher die wesentlichen Instandhaltungsressourcen und das Instandhaltungsmanagement für die Instandhaltung der MSB-Teilsysteme zentral zusammengeführt sind.

Begriff	Definition
Istfahrprofil	Ortsabhängiger Geschwindigkeitsverlauf, der sich nach Vorgabe des Sollfahrprofils abhängig von den gegebenen Randbedingungen (z.B. dem verfügbaren Leistungsvermögen) einstellt.
Kalibrier-Fahrweg	Begrenzter Abschnitt des Instandhaltungsfahrwegs mit erhöhten Anforderungen hinsichtlich der Lagegenauigkeit der Funktionsebenen zur Inbetriebnahme des MSB-Fahrzeugs bzw. einzelner Baugruppen.
Kartesische Koordinaten	Koordinaten, die Punkte im Raum lokalisieren, ausgedrückt durch Werte (x, y, z) auf rechtwinklig zueinander stehenden Achsen.
Kilometrierung	Räumliche Abwicklungslänge der Raumkurve (entspricht Stationierung).
Kinematische Begrenzungslinie	Ist die auf die Normalkoordinaten bezogene theoretische Hülllinie eines Fahrzeugs unter Berücksichtigung der ungünstigsten Einstellungen der Schwebegestelle zum Fahrweg und der quasisstatischen Verschiebungen des Wagenkastens. Nicht berücksichtigt werden zufallsbedingte Faktoren (Schwingungen, Unsymmetrien).
Klotoide	Übergangsbogen mit einer linear zu- bzw. abnehmenden Krümmung.
Kollision	Zusammenstoß zwischen Fahrzeugen oder von Fahrzeugen mit anderen Objekten.
Konforme Abbildung	Abbildung der Ellipsoidoberfläche in ein ebenes rechtwinkliges System mit der Eigenschaft der differentiellen (d.h. „in den kleinsten Teilen“ - nicht im Ganzen) Winkeltreue. Anwendung z.B. bei den zylindrischen Abbildungen nach Gauß-Krüger oder dem Universal Transverse Mercator Grid System (UTM).
Kragarm	Seitliche Bereiche der Fahrwegüberbauten zur Aufnahme des Langstators, der Seitenführschiene und der Gleitleisten.
Kurzunterbrechung des Netzes	Ausfall der öffentlichen Energieversorgung über einen Zeitraum $\geq 1s$ (in Anlehnung an /EN 50160/).
Kurzweilige Abweichung	Überlagerung der langwelligen Abweichung als absolute Grenzlinie für die räumliche Ausdehnung einer Funktionsebene.
Landessystem	Koordinatensystem der amtlichen Landesvermessung (RL, HL, Höhe).

Begriff	Definition
Langstator	Fahrwegseitige Baugruppe des Antriebs, bestehend aus Statorpaketen, Statorpaketbefestigung, Motorwicklung und der dazugehörigen Erdung.
Langstatorantrieb	Vorrichtung zum Antreiben und Bremsen von MSB-Fahrzeugen bestehend, aus Komponenten des Teilsystems Antrieb (zur Einspeisung der Traktionsleistung) und den Langstatormotoren selbst.
Langstatorwicklung	Motorwicklung mit Erdungsausrüstung und Anschluss an die Schaltstellen.
Langwellige Abweichung	Ermittelte Abweichung von der Solllage, auf Basis diskreter Messwerte.
Lebensdauer	Prognosewert für den Mindestzeitraum, in dem ein Einzelteil / eine Baugruppe Betriebsfestigkeit gegen ein definiertes Beanspruchungskollektiv aufweist. Entsprechend den tatsächlich im Betrieb aufgetretenen Beanspruchungen wird der Prognosewert der Lebensdauer auf Grundlage der Ergebnisse der Inspektionen gemäß Instandhaltungsprogramm überprüft und ggf. angepasst.
lebensdauersicher (safe-life)	Während der gesamten Nutzungsdauer vorhandene/verfügbare Eigenschaft/Funktion; Realisierung alternativ durch <ul style="list-style-type: none"> • Ausfallausschluss auf Grundlage betriebsfester Auslegung und umfassender Prüfungen bei Produktion und Instandhaltung oder • Redundanz mit Ausfalltoleranz für redundante Baugruppen und durch Fehlerbaumanalyse nachgewiesene, gemessen am Risiko akzeptable Restausfallwahrscheinlichkeit der Funktion.
Lichtraumumgrenzung	Umgrenzungslinie in einer Schnittebene normal zur Fahrwegachse, bei Doppelspurfahrwegen normal zur Streckenachse, die den von Gegenständen freizuhaltenden Raum festlegt und die sich mit der Querneigung des Fahrweges um die Raumkurve dreht. Systemeigene Bauten dürfen bis zur „Grenzlínie für feste Einbauten“ vorhanden sein.
Lineargenerator	Fahrzeugseitige Einrichtung zur Bordenergieerzeugung.

Begriff	Definition
Längsneigung (s, b)	Winkel (b), um den die Fahrwegachse in Kilometrierungsrichtung gegen die Horizontale geneigt ist. (s) = Tangenswert des Winkels (b). Vorzeichen (+) bei steigender, Vorzeichen (-) bei fallender Fahrwegachse, Angabe in [°] bzw. [%].
Längsruck (\dot{a}_x)	Differentielle Änderung der Antriebs- und Bremsbeschleunigung (a_x) pro Zeiteinheit
Magnetfahrwerk	Das Magnetfahrwerk umfasst alle tragenden, im primären Kraftfluss liegenden Teile unterhalb des Wagenkastens. Es besteht aus den tragenden Strukturteilen, der Sekundärfederung und x-Anlenkung als Schnittstelle zum Wagenkasten, den Magnetanlenkungen und den Magneten (Trag-, Führ-, Bremsmagnete). Eingeschlossen sind alle Komponenten, die an diesen Teilen befestigt sind und direkt zu deren Festigkeit, Steifigkeit und Stabilität beitragen.
Magnetschnellbahn	Eine Magnetschwebbahn im Sinne des Allgemeinen Magnetschwebbahngesetzes (gemäß /AMG/).
Magnetschnellbahnkoordinatensystem (MKS)	Spezielles objektbezogenes Koordinatensystem für Lage und Höhe zur dreidimensionalen Feinplanung, Bauausführung und Bauwerksüberwachung (X,Y,Z).
Maximale Betriebsgeschwindigkeit	Aus betrieblichen Gründen erwünschte maximale Geschwindigkeit. Kann abschnittsweise definiert werden.
maximale Fehlbeschleunigung des Antriebs	Beschleunigungsgrenzwert, der vom Antrieb im Fehlerfall unter Berücksichtigung ungünstig spezifizierter Antriebsparameter maximal auf das MSB-Fahrzeug in Längsrichtung (x-Richtung) der Fahrwegachse beschleunigend oder bremsend wirken darf.
maximale Fehlkraft des Antriebs	Kraftgrenzwert, der vom Antrieb im Fehlerfall unter Berücksichtigung ungünstig spezifizierter Antriebsparameter maximal als Schnittstellenkraft zwischen Langstator (Fahrweg) und dem MSB-Fahrzeug in Längsrichtung (x-Richtung) der Fahrwegachse erzeugt werden darf.
Maximales Fahrzeuggewicht	Fahrzeugeigengewicht mit erhöhter Nutzlast bei aussergewöhnlicher Betriebssituation (z.B. bei Evakuierung von benachbarten Sektionen im Brandfall).

Begriff	Definition
Maximalfahrprofil	Durch die Betriebsleittechnik überwachtes, orts- und vom Halteplatz abhängiges, maximales Geschwindigkeitsprofil zur Einhaltung des Grenzfahrprofils. Bei Überschreitung erfolgt eine Sichere Antriebsabschaltung und die Sichere Bremse wird aktiviert.
Mean Down Time	Mittlere Zeit, für die eine ausgefallene Baugruppe bis zur Wiederinbetriebnahme nicht verfügbar ist.
Mean Time Between Failures	Mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen einer Baugruppe.
Mean Time to Repair	Mittlere Reparaturzeit.
Minimalfahrprofil	Durch die Betriebsleittechnik überwachtes, orts- und vom Halteplatz abhängiges minimales Geschwindigkeitsprofil zur Einhaltung des sicheren Schwebeprofils. Bei Unterschreitung wird der Antrieb zuverlässig abgeschaltet.
mittleres Fahrzeuggewicht	Fahrzeugeigengewicht mit häufig zu erwartenden Nutzlastanteil.
Motorregelung/-steuerung	Zentraler Teil der Antriebsregelung/-steuerung für übergeordnete Regelungs-/steuerungsaufgaben wie Fahrzeugführung und Organisation der Antriebseinheit.
Motorsystem	Besteht aus ein oder zwei Umrichtern, Streckenschaltanlagen sowie einem Streckenkabelsystem mit den zugehörigen Schaltstellen und Statorabschnitten. Eine Antriebseinheit besteht aus ein oder zwei Motorsystemen.
MSB-Fahrzeug	Mit magnetischer Trag- und Führungsfunktion ausgestattetes Fahrzeug zur Beförderung von Personen und/oder Gütern.
Nachbarschaftsprinzip	Grundprinzip aller geodätischen Messungen, Berechnungen und Absteckungen, nach dem bestehende geometrische Beziehungen zwischen benachbarten Objektpunkten besonders zu beachten sind.
Neigungsänderungskriterium	Winkel-Abweichung zweier benachbarter 1 m langer Funktionsebenen-Elemente in y- und z-Richtung.
Nicken	Drehbewegung des Wagenkastens bzw. Schwebegestells um die y-Achse.
Niveaufläche	Fläche konstanten Schwerepotentials.

Begriff	Definition
Normalbeschleunigung (a_z)	Von der Normalfallbeschleunigung (Vertikalrichtung) abweichende Beschleunigungskomponente senkrecht zur Fahrwegfläche, Vorzeichen (+) in Richtung der Normalfallbeschleunigung, Vorzeichen (-) entgegen der Richtung der Normalfallbeschleunigung.
Normalbetrieb	Vollständig technisch gesicherter Fahrbetrieb. <i>Hinweis: Dieser Begriff Normalbetrieb resultiert aus einer betrieblichen Betrachtung gemäß /MbBO/ §24.</i>
Normalfallbeschleunigung (g)	Erdbeschleunigung ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).
Nutzlast	Gewicht der Personen (inkl. Gepäck) bzw. der Güter, die befördert werden.
Nutzungsdauer	Richtwert für den Zeitraum, in dem ein Teilsystem genutzt werden kann. Die Nutzungsdauer wird bei der Instandhaltungsstrategie und Planung der Ersatzteilversorgung zugrundegelegt. Einzelteile/Baugruppen mit gegenüber der Nutzungsdauer kleinerer Lebensdauer werden im Rahmen der Instandhaltung betriebsbegleitend ausgetauscht.
Objektschutz	Maßnahmen zur Sicherung und Überwachung sowie zur Verhinderung von Angriffen auf Anlagen der MSB.
Personalverantwortung	Übernahme von definierten sicherheitsrelevanten Aufgaben durch Personal.
Planungs - Koordinatensystem (Planungssystem)	Für den jeweiligen Planungszweck verwendetes Koordinatensystem. Hier: Landessystem für Vorentwurf, Grobplanung bzw. Magnetschwebbahnkoordinatensystem für Feintrassierung und Bauausführung.
Polygonzug	Dient zur linienweisen Bestimmung von Lagefestpunkten. Die zu koordinierenden Polygonpunkte werden aus den gemessenen Seitenlängen des Zuges und den auf seinen Knickpunkten gemessenen Brechungswinkeln abgeleitet.
Primärtragwerk	Sonderbauwerk zur Aufnahme der Fahrwegüberbauten und ggf. baulichen Anlagen der Streckenperipherie (z.B. Brücke mit Schallschutz).
Primärumwelt	Die Umwelt, die ohne Beeinflussung durch ein Teilsystem der Magnetschwebbahn auf dieses wirkt ("Ursprungsklima").

Begriff	Definition
Pufferzeit	Bei der Fahrplankonstruktion zu berücksichtigender Zuschlag auf die Mindestzugfolgezeit zur Verminderung der Verspätungsübertragung bei Unregelmäßigkeiten.
Qualität	Qualität ist die Gesamtheit von Eigenschaften und Merkmalen eines Produktes oder einer Dienstleistung, die sich auf deren Eignung zur Erfüllung festgelegter oder vorausgesetzter Anforderungen bezieht.
Qualitätssicherungsprozess	Prüfung, ob die systemtechnischen Anforderungen der Ausführungsgrundlagen und ggf. der Projektspezifikationen eingehalten werden. Die Prüfung erfolgt im Rahmen des Qualitätssicherungsprozesses bei Planung und Ausführung des jeweiligen Teilsystems.
Querneigung	Winkel, um den die Fahrwegfläche gegen die Horizontale gedreht ist, Vorzeichen (+) bei Rechts-, Vorzeichen (-) bei Linksdrehung (in Kilometrierungsrichtung), Angabe in [°].
Querneigungstoleranz	Abweichung von der Soll-Querneigung.
Raumkurve / Räumliche Fahrwegachse	Räumlicher Verlauf der Achslinie des Fahrweges. Die Raumkurve wird erzeugt durch die rechnerische Überlagerung der Trassierungs- und Gradientenfestlegung.
Redundanz	Bereitstellung von einer oder mehreren zusätzlichen, gewöhnlich identischen Maßnahmen, um die Fehlertoleranz zu erhalten. (gemäß /DIN 50129/).
Referenzort	Referenzort dient zur Synchronisierung der Ortung an definierten Referenzpunkten der Strecke.
Referenztemperatur	Projektbezogene Bezugstemperatur für die geometrische Auslegung und Tolerierung der Bauteile. In der Regel liegt sie in der Mitte der max. und min. zu erwartenden Bauteiltemperatur.
Regelbedienung	Bedienhandlung ohne Sicherheitsverantwortung des Bedieners, d.h. ohne Personalverantwortung. Die Sicherheitsverantwortung liegt bei der BLT.
Regelfahrwegträger	Typisierung von Fahrwegträgern durch projektspezifische Vorgabe von Randbedingungen (z.B. Regelstützweite), die im Hinblick auf einen Serieneffekt die Basis für eine wirtschaftliche Herstellung bildet; Regelfahrwegträger-Typen können in verschiedenen Bauweisen und Bauarten ausgeführt werden.

Begriff	Definition
Reinigung	Reinigungsaufgaben und Reinigungsmaßnahmen, die entsprechend § 3 /MdBÖ/ einen sicheren und ordnungsgemäßen Betrieb unterstützen oder als Marketing Instrument zum positiven Gesamtimage der MSB beitragen.
Relativort	Der Relativort wird während der Fahrt kontinuierlich gebildet und bezieht sich auf den letzten gültigen Referenzort.
Reservieren	Einstellung der beweglichen Fahrweegelemente, lückenlose und vollständig technische Sicherung des zu befahrenden Fahrwegs und Zuordnung ausschließlich eines leittechnisch gesicherten Fahrzeugs zu diesem Fahrweg.
Richtgeschwindigkeit aus Fahrkomfort	Ortsabhängige Geschwindigkeit, bei der mit gegebener Trassierung genau die projektspezifisch definierten Komfortparameter eingehalten werden.
Richtwert	Wert, der ggf. mit anderen Richtwerten gemeinsam gemäß geübter Praxis geeignet ist, die Anforderungen zu erfüllen.
RMS-Wert (Effektivwert)	Unter dem Effektivwert versteht man den quadratischen Mittelwert (engl.: <u>R</u> oot <u>M</u> ean <u>S</u> quare) eines periodischen Signals.
Rollen	Drehbewegung des Wagenkastens bzw. Schwebegestells um die x-Achse.
safe-life	Siehe Definition "lebensdauersicher".
Schaltstelle	Streckenseitige Einrichtung zum Schalten von Statorabschnitten.
Schiebebühne	Spurwechseleinrichtung, die einem haltenden Fahrzeug durch paralleles Verschieben des Fahrwegüberbaus einen Wechsel auf andere Fahrspuren ermöglicht.
Schnittstelle	Eine Schnittstelle (interface) ist eine Berührungs-, Verbindungs- oder Trennstelle von Systemen oder Komponenten.
Schweben	Kombination der Funktionen Tragen und Führen des Fahrzeugs.
Schwebeprofil	Zum zugehörigen Halteplatz führender ortsabhängiger Geschwindigkeitsverlauf, der mit der Schwebeseigenschaft des Fahrzeugs erreichbar wird.
Schwenkbühne	Spurwechseleinrichtung, die einem haltenden Fahrzeug durch Schwenken/Drehen des Fahrwegüberbaus einen Wechsel auf andere Fahrspuren ermöglicht.

Begriff	Definition
Seitenbeschleunigung, unausgeglichen	Beschleunigungskomponente parallel zur Fahrwegfläche und normal zur Fahrwegachse, Vorzeichen (+) Beschleunigung in Fahrtrichtung nach links, Vorzeichen (-) Beschleunigung nach rechts
Seitenführebenen	Durch die seitlichen Außenflächen der Seitenführschienen gebildete Funktionsebenen.
Seitenführschienen	Fahrwegseitige Baugruppen an den Außenseiten der Kragarme, die der Aufnahme mechanischer und elektromagnetischer Einwirkungen dienen.
Seitenruck (\dot{a}_y)	Differentielle Änderung der unausgeglichenen Seitenbeschleunigung (a_y) pro Zeiteinheit.
Sekundärumwelt	Umweltmerkmale, die durch den Betrieb eines technischen Systems und einer nachgeordneten Baueinheit induziert werden. Die Sekundärumwelt kann gegenüber der Primärumwelt neue, für einzelne Baugruppen des Systems voneinander abweichende Merkmale enthalten.
Servicestation	Halteplatz, bei dem Instandsetzungsmaßnahmen am Fahrzeug möglich sind.
Sichere Antriebsabschaltung	Funktion zur sicheren Abschaltung des Langstatorantriebs.
Sichere Bremse	Im Zug integrierte lebensdauersichere Bremse, z. B. realisiert durch zielortgeregelte Wirbelstrombremse und Ausgleiten des Zuges auf Tragkufen.
Sicherer Ort	Sicherungstechnisch verifizierte Orts-, Geschwindigkeits- und Fahrtrichtungsinformation eines Fahrzeugs.
Sicheres Bremsprofil	Zum zugehörigen Halteplatz führender ortsabhängiger Geschwindigkeitsverlauf, der mit der Sicheren Bremse erreichbar wird.
Sicherheit	Freisein von nicht akzeptierbaren Risiken eines Schadens (gemäß /DIN 50129/).
Sicherheitsmanagement	Sicherheitsmanagement sind die von einem MSB-Unternehmer eingerichtete Organisation und die von ihm getroffenen Vorkehrungen, die die sichere Steuerung seiner Betriebsabläufe gewährleisten.
Sicherheitsnachweis	Dokumentierter Nachweis, dass ein Produkt die spezifizierten Sicherheitsanforderungen erfüllt (gemäß /EN 50129/).
Sinusoid	Übergangsbogen mit einer sinusförmig zu- bzw. abnehmenden Krümmung.

Begriff	Definition
Soforthalt	Ein sofortiges Aktivieren der Sicheren Bremse mit voller unregelter Bremskraft ununterbrochen bis zum Stillstand und Absetzen ohne Beachtung von Halteplätzen. Es erfolgt außerdem eine sichere Antriebsabschaltung.
Sollfahrprofil	Ortsabhängiges Minimum aus Sollgeschwindigkeit und Maximalfahrprofil abzüglich Ortungs- und Antriebsregeltoleranzen als Sollwerte für den Antrieb zur Anfahrt des Zielpunktes eines Halteplatzes.
Sollgeschwindigkeit	Ortsabhängiges Minimum aus Streckenrichtgeschwindigkeit und Streckenhöchstgeschwindigkeit als gestufte und geglättete Sollwerte für den Antrieb, z.B. zum Zwecke der Fahrzeitsimulation.
Sollvorkrümmung	Überhöhung des Fahrwegträgers in z-Richtung, zur weitgehenden Kompensation der Verformungen infolge Fahrzeug- und Temperatureinwirkungen.
Sonderbauwerke	In der Regel singuläre/spezielle Bauwerke zur Aufnahme des Fahrwegs (Primärtragwerke und Tunnel).
Sonderfahrwegträger	Fahrwegträger die in ihrer Konstruktion (z.B. Querschnitt, Stützweite) von den projektspezifisch definierten Regelfahrwegträger-Typen abweichen,
Sonderfahrzeug	Fahrzeuge (Radfahrzeuge oder MSB-Fahrzeuge mit Sonderausstattung), die während Bau und Inbetriebnahme der MSB oder zu Instandhaltung, Winterdienst, Vegetationskontrolle oder Rettungszwecken auf dem Fahrweg fahren.
Spurmittenabstand	Horizontaler Abstand zwischen den Fahrwegachsen des Doppelspurfahrweges.
Spurwechseleinrichtungen	Bewegliche Fahrwegelemente, die einem Fahrzeug den Wechsel von einer Fahrspur auf andere Fahrspuren ermöglichen.
Station	Betriebsanlage zum planmäßigen Halt von Zügen und Wechsel von Fahrgästen und Fracht.
Stationierung	Fortlaufende längengetreue Bemaßung (Kilometrierung) der Fahrweg- oder Streckenachse, je nach Bedarf im Grundriss oder im dreidimensionalen Raum.
Statorabschnitt	Schaltbarer Statorwicklungsabschnitt einer Fahrwegseite, der unabhängig gespeist werden kann.

Begriff	Definition
Statorabschnittswechsel	Umschaltvorgang von einem zum nächsten Statorabschnitt synchron zur Fahrzeugbewegung über die entsprechenden Statorabschnitte. Es werden verschiedene Verfahren angewendet, z.B. Wechselschrittverfahren und Dreischrittverfahren.
Statorebenen	Durch die Unterseite der Statorpakete gebildete Funktionsebenen.
Statorpaket	Bestandteil des Langstators; Blechpaket, bestehend aus verklebten Elektroblechlamellen mit definierter Geometrie, Beschichtung und integrierten Elementen zur Befestigung an den Kragarmen.
Strecke	Ist der trassenförmiger Verlauf von einem oder mehreren, parallel verlegten Fahrwegen, die mit Sicherungseinrichtungen, Kilometrierung und Nebenanlagen ausgestattet sind.
Streckenachse	Verlauf der Mittellinie zweier Fahrwegachsen bei Doppelspurfahrwegen.
Streckengrenzgeschwindigkeit	Ortsabhängiges Minimum aus Fahrzeuggrenzgeschwindigkeit, Tunnelgrenzgeschwindigkeit und Fahrweggrenzgeschwindigkeit.
Streckenhöchstgeschwindigkeit	Ortsabhängiges Maximum aus Fahrzeughöchstgeschwindigkeit, Tunnelhöchstgeschwindigkeit und Fahrweghöchstgeschwindigkeit.
Streckenkabelsystem	Dreiphasige Mittelspannungskabelanordnung, die die Schaltstellen mit den Unterwerken verbindet.
Streckenmindestgeschwindigkeit	Ortsabhängige Geschwindigkeit, die durch den Antrieb unter Berücksichtigung projektspezifisch festzulegender Randbedingungen und Ausfallszenarien mindestens erreichbar ist. Diese ist bei der Halteplatzauslegung zu berücksichtigen.
Streckenperipherie	Sammelbegriff für <ul style="list-style-type: none"> • systemtechnisch erforderliche kleinere bauliche Anlagen, die im näheren Umfeld der Fahrwegtrasse benötigt werden (z.B. Funkmasten, Schaltstellen) und • sonstige erforderliche bauliche Anlagen, die in ihrer Anordnung direkt an den Fahrweg gebunden sind (z.B. Schallschutzwand, Sichtschutz).

Begriff	Definition
Streckenquerschnitt	Darstellung von Fahrweg und Einrichtungen der Streckenperipherie im Querschnitt an einer bestimmten Stelle der Strecke.
Streckenrichtgeschwindigkeit	Minimum aus Richtgeschwindigkeit aus Fahrkomfort und maximaler Betriebsgeschwindigkeit sowie ggf. Berücksichtigung weiterer, projektspezifischer Vorgaben (z.B. Energiebedarf, Schallschutz).
System	Menge von Teilsystemen, die entsprechend einem Entwurf zusammenwirken (gemäß /DIN 50129/).
Systemkenngröße	Generische, nicht ableitbare Größe, durch die das Magnetschnellbahnsystem in der gegebenen Ausführung gekennzeichnet ist.
Systemlängen	Abmessungen in x-Richtung, abgeleitet aus dem Abstand der einzelnen Phasen der Motorwicklung (n x 86 mm, kleinstes teilbares Systemmaß).
Systemtechnische Erprobung	Erbringung der erforderlichen Nachweise unter anwendungsnahen (Rand)-Bedingungen, eingebunden in das Gesamtsystem von Fahrzeug, Antrieb, Betriebsleittechnik und Fahrweg.
Tauglichkeit	Tauglichkeit bezeichnet die Erfüllung der physischen Anforderungen zur Durchführung einer definierten Tätigkeit durch eine Person.
Teilsystem	Teil eines Systems, der eine spezielle Funktion erfüllt (gemäß /DIN 50129/).
Transformation	Umrechnung von Punkten von einem Koordinatensystem in ein anderes.
Translation	Verschiebung (meist entlang einer der Koordinatenachsen).
Trassenbegleitendes Höhenfestpunktfeld	Höhenfestpunkte als Grundlage der baubegleitenden Vermessungsarbeiten in der Aufrisskomponente (Z) des Magnetschwebbahnkoordinatensystems.
Trassenbegleitendes Lagefestpunktfeld	Lagefestpunkte als Grundlage der baubegleitenden Vermessungsarbeiten in der Grundrisskomponente (X,Y) des Magnetschwebbahnkoordinatensystems.
Trassenhauptpunkt	Punkt auf der Raumkurve, an dem 2 benachbarte Trassierungselemente von Grundriss oder Aufriss zusammentreffen.
Trassierung	Achskurve des Fahrwegs im Grundrissverlauf. Gleichbedeutend mit Trassierungsachse.

Begriff	Definition
Tunnel	<p>Tunnel sind Bauwerke, die eine künstliche unterirdische Passage ermöglichen. Bei Erstellung in</p> <ul style="list-style-type: none"> • Untertagebauweise gelten sie unabhängig von ihrer Länge als Tunnel, • offener Bauweise gelten sie ab einer geschlossenen Länge von 300 m als Tunnel. Für kürzere Bauwerke sind hinsichtlich Standsicherheit und Konstruktion die für Tunnel definierten Anforderungen sinngemäß anzuwenden.
Tunnelgrenzgeschwindigkeit	Ortsabhängiger Verlauf der maximal zulässigen Geschwindigkeit in einem Tunnel, abgeleitet aus den maximal zulässigen Druckbelastungen des Fahrzeugs im Tunnel in Folge nicht häufiger oder außergewöhnlicher Bemessungssituationen.
Tunnelhöchstgeschwindigkeit	Ortsabhängiger Verlauf der höchsten zulässigen Geschwindigkeit in einem Tunnel, abgeleitet aus den höchsten zulässigen Druckbelastungen des Fahrzeugs im Tunnel für häufige Bemessungssituationen.
Umrichter	Einrichtung zum Erzeugen eines Traktionsstromes für ein Motorsystem.
Umrichterregelung/-steuerung	Teil der Antriebsregelung/-steuerung zur Regelung und Steuerung des Umrichters.
Umwelt	Gesamtheit aller Einflüsse, denen ein System Teilsystem Untersystem oder ein Bauteil während der Herstellung Lagerung, Transport Integration und Nutzung tatsächlich ausgesetzt ist oder sein könnte.
Ungünstigst spezifizierte Bedingungen	Kombination von spezifizierten Bedingungen, die bei einer betrachteten Funktionseinheit oder einem betrachteten Prozess - die gemessen an der spezifizierten Funktion - ungünstigste Auswirkungen hervorruft.
Unterbrechungslose Stromversorgung	Einrichtung zur Erzeugung einer Versorgungsspannung ohne Unterbrechungen bei Netzausfall.

Begriff	Definition
Unternehmer (gemäß /AEG/)	Eisenbahnen sind öffentliche Einrichtungen oder privatrechtlich organisierte Unternehmen, die Eisenbahnverkehrsleistungen erbringen (Eisenbahnverkehrsunternehmen) oder eine Eisenbahninfrastruktur betreiben (Eisenbahninfrastrukturunternehmen). Eisenbahnverkehrsleistungen sind die Beförderung von Personen oder Gütern auf einer Eisenbahninfrastruktur. Eisenbahnverkehrsunternehmen müssen in der Lage sein, die Zugförderung sicherzustellen.
Unterwerk	Abgeschlossene elektrische Betriebsstätte, die im wesentlichen Komponenten des Antriebs, der Energieversorgung und der BLT enthalten.
Vegetationskontrolle	Gesamtheit aller Maßnahmen zur Freihaltung der definierten Lichtraumgrenzung des MSB-Systems von Bewuchs einschließlich präventiver Maßnahmen gegen umstürzende Bäume.
Verfahrensanweisungen	Verfahrensanweisungen beinhalten allgemeine Angaben und Vorschriften zu den Arbeitsabläufen (z.B. Prozesse, Organisation, Beauftragung von IH-Maßnahmen, allgemeine Richtlinien zur Arbeitsdurchführung, Dokumentation von Maßnahmen, etc.). Verfahrensanweisungen sind projekt- und ortsabhängig.
Verfügbarkeit	Die Fähigkeit eines Produktes, in einem Zustand zu sein, in dem es unter vorgegebenen Bedingungen zu einem vorgegebenen Zeitpunkt oder während einer vorgegebenen Zeitspanne eine geforderte Funktion erfüllen kann oder unter der Voraussetzung, dass die geforderten äußeren Hilfsmittel bereitgestellt sind (gemäß /EN 50126/).
Verkipfung	Drehung einer Funktionsebene um den Messpunkt der y-z-Ebene.
Versatz	Lineare Abweichung zweier benachbarter Funktionsebenenelemente in y- und z-Richtung.
Verspätung	Zeitlich gegenüber dem Fahrplan verspätete Ankunft oder Abfahrt eines Zuges in einer Station oberhalb eines projektspezifisch festzulegenden Schwellwertes.
Vertikalruck	Differentielle Änderung der Normalbeschleunigung (a_z) pro Zeiteinheit.
Verwindung	Änderung der Querneigung pro Längeneinheit, Dimension [$^{\circ}/m$].

Begriff	Definition
Wagenkasten	Dieser umfasst alle tragenden, im primären Kraftfluss liegenden Teile oberhalb des Magnetfahrwerks. Er schließt alle Komponenten ein, die an diesen Teilen befestigt sind und direkt zu seiner Festigkeit, Steifigkeit und Stabilität beitragen.
Wechselschrittverfahren	Statorabschnittsweschelfverfahren mit zwei rechts und links angeordneten Motorsystemen mit gegeneinander versetzten Statorabschnitten. Die Umschaltung erfolgt innerhalb eines Motorsystems stromlos, wodurch i.d.R. ein Schubeinbruch entsteht.
Weiche	Fahrwegelement, das den Wechsel von einer Fahrspur in eine andere bei Spurwechseln oder Streckenabzweigen ohne Fahrtunterbrechung erlaubt. Die Weichen bei der Magnetschnellbahn sind Biegeweichen.
Winterdienst	Gesamtheit aller technischen und nichttechnischen Maßnahmen zur Einhaltung der definierten Umweltbedingungen für den MSB-Betrieb unter winterlichen Bedingungen. Umfasst die Planung, Organisation und Durchführung der Maßnahmen für den Fahrweg und MSB-Systemteile sowie allgemeine Winterdienstmaßnahmen im Bereich der Verkehrsanlagen, Betriebsanlagen und Verkehrswegeinfrastruktur.
Zug	Im Betrieb befindliches, technisch gesichertes, fahrweggebundenes Fahrzeug.
Zugfahrt	Eine Zugfahrt ist eine gesteuerte, technisch überwachte und technisch gesicherte Bewegung eines Zuges zwischen einem Startpunkt und einem Zielpunkt.
Zuverlässigkeit	Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen für eine gegebene Zeitdauer zu erbringen (gemäß /EN 50129/).
Zwangsbremung	Automatisch durch die Betriebsleittechnik veranlasste Bremsung zum aktuell durch die Betriebsleittechnik festgelegten Halteplatz.
Zwangshalt	Halt eines Zuges an einem Halteplatz nach Auslösung und Durchführung einer Zwangsbremung dorthin.
Zwangshalt Servicestation	Halt eines Zuges an einer Servicestation nach Auslösung und Durchführung einer Zwangsbremung dorthin.
Zwangspunkt	Örtlich bzw. planerisch streng vorgegebener Punkt, der bei der Feintrassierung zu berücksichtigen ist.

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 1 Abkürzungen und Definitionen

Dok.-Nr.: 67536 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 46 von 47

Begriff	Definition
Übergeordneter Festpunktrahmen	Übergeordnete Lage- und Höhenfestpunkte des Magnetschwebbahnkoordinatensystems als Grundlage der Feintrassierung und zur Anlage der trassenbegleitenden Lage- bzw. Höhenfestpunktfelder.
Überleitverbindung	Anlage, die unter Verwendung von Biegeweichen den Wechsel von einer Fahrspur in eine andere parallele Fahrspur ohne Fahrtunterbrechung erlaubt.

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Gesamtsystem

Anlage 2

Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Gesamtsystem, Anlage 2 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Dok.-Nr.: 67539 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 1 von 21

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Gesamtsystem zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007, Weißdruck, Fachausschuss Gesamtsystem

3 Inhaltsverzeichnis

1 Verteiler	2
2 Änderungsübersicht	3
3 Inhaltsverzeichnis	4
4 Allgemeines	5
4.1 Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich	5
4.2 MSB-Ausführungsgrundlagen	5
4.3 Abkürzungen und Definitionen	5
4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien	5
4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen	5
5 Ausführungsgrundlagen	6
6 Gesetze und Verordnungen	7
7 Normen und Richtlinien	9

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:Ausführungsgrundlagen	6
Tabelle 2:Gesetze und Verordnungen	8
Tabelle 3:Normen und Richtlinien	21

4 Allgemeines

4.1 Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich

Das vorliegende Dokument enthält Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien für MSB-Systeme.

4.2 MSB-Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Anlage zur Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und damit Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus verschiedenen Ausführungsgrundlagen.

Die übergeordneten Dokumente Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- MSB-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/
 - Anlage 1: MSB-Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: MSB-Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: MSB-Umwelt, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: MSB-Regeln Betrieb und Instandhaltung, Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR&IH/
 - Anlage 5: MSB-Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien sind im vorliegenden Dokument aufgeführt.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ sinngemäß angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokuments sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in Kursiv-Schrift

gekennzeichnet.

Der Verbindlichkeitsgrad der Anforderungen wurde in Anlehnung an /DIN 820-2/, Anhang G festgelegt und in der Formulierung der Anforderungen jeweils berücksichtigt.

5 Ausführungsgrundlagen

Kurzform	Beschreibung
/MSB AG-GESAMTSYS/	MSB-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, mit den Anlagen:
/MSB AG-ABK&DEF/	Anlage 1: MSB-Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536,
/MSB AG-NORM&RILI/	Anlage 2: MSB-Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539,
/MSB AG-UMWELT/	Anlage 3: MSB-Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285,
/MSB AG-BTR/	Anlage 4: MSB-Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061,
/MSB AG-SCHALL/	Anlage 5: MSB-Schall, Dok.-Nr: 72963,
/MSB AG-FZ GEN/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil I: Generelle Anforderungen, Dok.-Nr: 67698,
/MSB AG-FZ BEM/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil II: Bemessung, Dok.-Nr: 67694,
/MSB AG-FZ KIN/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil III: Kinematische Begrenzungslinie, Dok.-Nr: 67650,
/MSB AG-FZ TRAFÜ/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil IV: Trag- /Führtechnik, Dok.-Nr: 73388,
/MSB AG-FZ BREMS/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil V: Bremstechnik, Dok.-Nr: 73389,
/MSB AG-ANT/	MSB-Ausführungsgrundlage Antrieb und Energieversorgung, Dok.-Nr: 50998,
/MSB AG-BLT/	MSB-Ausführungsgrundlage Betriebsleittechnik, Dok.-Nr: 53328,
/MSB AG-FW ÜBG/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil I: Übergeordnete Anforderungen, Dok.-Nr: 57284,
/MSB AG-FW BEM/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil II: Bemessung, Dok.-Nr: 57288,
/MSB AG-FW GEO/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil III: Geometrie, Dok.-Nr: 41727,
/MSB AG-FW TRAS/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil IV: Trassierung, Dok.-Nr: 60640,
/MSB AG-FW VERM/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil V: Vermessung, Dok.-Nr: 60641,
/MSB AG-FW IH/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil VI: Instandhaltung, Dok.-Nr: 63842,

Tabelle 1:Ausführungsgrundlagen

6 Gesetze und Verordnungen

Die in den MSB - Ausführungsgrundlagen verwendeten Gesetze und Verordnungen sind nachfolgend zusammengestellt. Der angegebene Ausgabestand entspricht dem Stand der Gesetze und Verordnungen zum Zeitpunkt der Ausgabe der MSB - Ausführungsgrundlagen.

Gesetz	Beschreibung
/26. BImSchV/	Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) "Verordnung über elektromagnetische Felder vom 16. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1966)"
/AMbG/	"Allgemeines Magnetschwebbahngesetz vom 19. Juli 1996 (BGBl. I S. 1019), zuletzt geändert durch Artikel 303 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)"
/Arbeitsschutz/	Gesetze und Verordnungen zum Arbeitsschutz /ArbSchG/, /ArbStättV/, /ASiG/, /BaustellV/, /BetrSichV/, /BildscharbV/, /GPSG/, /GPSGV/, /GSGV/, /LasthandhabV/, /PSA-BV/.
/ArbSchG/	"Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), zuletzt geändert durch Artikel 227 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)"
/ArbStättV/	"Arbeitsstättenverordnung vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179), geändert durch Artikel 388 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)"
/ASiG/	"Gesetz über Betriebsärzte, Sicherheitsingenieure und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit vom 12. Dezember 1973 (BGBl. I S. 1885), zuletzt geändert durch Artikel 226 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)"
/BaustellV/	"Baustellenverordnung vom 10. Juni 1998 (BGBl. I S. 1283), geändert durch Artikel 15 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3758)"
/BetrSichV/	"Betriebssicherheitsverordnung vom 27. September 2002 (BGBl. I S. 3777), zuletzt geändert durch Artikel 439 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)"
/BildscharbV/	"Bildschirmarbeitsverordnung vom 4. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1843), zuletzt geändert durch Artikel 437 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)"
/BImSchG/	"Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18. Dezember 2006 (BGBl. I S. 3180)"
/BNatSchG/	"Bundesnaturschutzgesetz vom 25. März 2002 (BGBl. I S. 1193), zuletzt geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 9. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2833)"
/ChemG/	"Chemikaliengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 20. Juni 2002 (BGBl. I S. 2090), zuletzt geändert durch Artikel 231 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)"
/GefStoffV/	"Gefahrstoffverordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3758, 3759), zuletzt geändert durch Artikel 442 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)"
/GPSG/	"Geräte- und Produktsicherheitsgesetz vom 6. Januar 2004 (BGBl. I S. 2 (219)), zuletzt geändert durch Artikel 3 Abs. 33 des Gesetzes vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970)"
/GPSGV/	Maschinenverordnung "Neunte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) vom 12. Mai 1993 (BGBl. I S. 704), zuletzt geändert durch Artikel 14 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3758)"
/KrW- AbfG/	"Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705), zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 9. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2819)"
/LasthandhabV/	"Lastenhandhabungsverordnung vom 4. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1842), zuletzt geändert durch Artikel 436 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)"

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 2 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Gesetz	Beschreibung
/MbBO/	"Magnetschwebebahn-Bau- und Betriebsordnung vom 23. September 1997 (BGBl. I S. 2329)"
/MSB-LSchV/	„Magnetschwebebahn-Lärmschutzverordnung vom 23. September 1997 (BGBl. I S. 2329, 2338)“
/PERSCH/	Gesetze zum Personenschutz /ArbSchG/, /BetrSichV/, /BilschabV/, /PSA-BV/, /LasthandhabV/, /ArbStättV/, /BaustellV/, /GPSG/, /GPSGV/, /ASiG/, /ChemG/, /GefStoffV/.
/PSA-BV/	"PSA-Benutzungsverordnung vom 4. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1841)"
/Richtlinie 2004/49/EG/	Berichtigung der Richtlinie 2004/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Eisenbahnsicherheit in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 95/18/EG des Rates über die Erteilung von Genehmigungen an Eisenbahnunternehmen und der Richtlinie 2001/14/EG über die Zuweisung von Fahrwegkapazität der Eisenbahn, die Erhebung von Entgelten für die Nutzung von Eisenbahninfrastruktur und die Sicherheitsbescheinigung („Richtlinie über die Eisenbahnsicherheit“) <i>Amtsblatt der Europäischen Union L 164 vom 30. April 2004</i>
/Richtlinie 98/37/	Richtlinie 98/37/EG Richtlinie 98/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen <i>Amtsblatt nr. L 207 vom 23/07/1998 S. 0001 - 0046</i>
/Umwelt/	Gesetze zum Umweltschutz /BlmSchG/, /BNatSchG/, /ChemG/, /GefStoffV/, /KrW- AbfG/, /WHG/
/WHG/	"Wasserhaushaltsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. August 2002 (BGBl. I S. 3245), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 25. Juni 2005 (BGBl. I S. 1746)"

Tabelle 2:Gesetze und Verordnungen

7 Normen und Richtlinien

Die in den MSB - Ausführungsgrundlagen verwiesenen Normen und Richtlinien sind nachfolgend zusammengestellt. Der angegebene Ausgabestand entspricht dem Stand der Normen und Richtlinien zum Zeitpunkt der Ausgabe der MSB - Ausführungsgrundlagen.

Norm	Beschreibung
/BrandReg/	"Regelungen für die brandschutztechnische Beurteilung von Schienenfahrzeugen im Rahmen der Abnahme nach § 32 EBO - Grundsätze der brandschutztechnischen Anforderungen in Anlehnung an EN 45545", EBA 2006-06-01
/DIN 1055-100/	Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung - Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln 2001-03-01
/DIN 1076/	Ingenieurbauwerke im Zuge von Strassen und Wegen - Ueberwachung und Pruefung 1999-11-01
/DIN 18014/	Fundamenterder 1994-02-01
/DIN 31051/	Grundlagen der Instandhaltung 2003-06-01
/DIN 4149/	Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausfuehrung ueblicher Hochbauten 2005-04-01
/DIN 5510-1/	Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen; Brandschutzstufen, brandschutztechnische Massnahmen und Nachweise 1988-10-01
/DIN 5510-2/	Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen - Teil 2: Brennverhalten und Brandnebenscheinungen von Werkstoffen und Bauteilen; Klassifizierungen, Anforderungen und Pruefverfahren Entwurf 2003-09-01
/DIN 5510-4/	Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen; Konstruktive Gestaltung der Fahrzeuge; Sicherheitstechnische Anforderungen 1988-10-01
/DIN 5510-5/	Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen; Elektrische Betriebsmittel; Sicherheitstechnische Anforderungen 1988-10-01
/DIN 5510-6/	Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen; Begleitende Massnahmen; Funktion der Notbremseinrichtung, Informationssysteme, Brandmeldeanlagen, Brandbekaempfungseinrichtungen; Sicherheitstechnische Anforderungen 1988-10-01
/DIN 57510/ /DIN VDE 0510/ /VDE 0510/	VDE-Bestimmung fuer Akkumulatoren und Batterie-Anlagen 1977-01-01

Norm	Beschreibung
/DIN 820-2/	Normungsarbeit - Teil 2: Gestaltung von Dokumenten (ISO/IEC-Direktiven - Teil 2, modifiziert); Dreisprachige Fassung CEN/CENELEC-Geschaeftsordnung - Teil 3: Regeln fuer den Aufbau und die Abfassung von CEN/CENELEC-Publikationen 2004-10-01
/DIN EN 12663/	Bahnanwendungen - Festigkeitsanforderungen an Wagenkaesten von Schienenfahrzeugen; (Deutsche Fassung EN 12663:2000) 2000-10-01
/DIN EN 13306/	Begriffe der Instandhaltung; Dreisprachige Fassung EN 13306:2001 2001-09-01
/DIN EN 14750-1/	Bahnanwendungen - Luftbehandlung in Schienenfahrzeugen des innerstaedtischen und regionalen Nahverkehrs - Teil 1: Behaglichkeitsparameter; (Deutsche Fassung EN 14750-1:2006) 2006-08-01
/DIN EN 50121/	Normenreihe: Bahnanwendungen - Elektromagnetische Vertraeglichkeit
/DIN EN 50121-1/ (VDE 0115-121-1)	Bahnanwendungen - Elektromagnetische Vertraeglichkeit - Teil 1: Allgemeines; (Deutsche Fassung EN 50121-1:2000 / <i>Daneben gilt DIN V ENV 50121-1 (1997-02) noch bis 2003-04-01.</i>) 2001-05-01
/DIN EN 50121-2/ (VDE 0115-121-2)	Bahnanwendungen - Elektromagnetische Vertraeglichkeit - Teil 2: Stoeraussendung des gesamten Bahnsystems in die Aussenwelt; (Deutsche Fassung EN 50121-2:2000 / <i>Daneben gilt DIN V ENV 50121-2 (1997-02) noch bis 2003-04-01.</i>) 2001-05-01
/DIN EN 50121-3-1/ (VDE 0115-121-3-1)	Bahnanwendungen - Elektromagnetische Vertraeglichkeit - Teil 3-1: Bahnfahrzeuge; Zug und gesamtes Fahrzeug; (Deutsche Fassung EN 50121-3-1:2000 / <i>Daneben gilt DIN V ENV 50121-3-1 (1997-02) noch bis 2003-04-01.</i>) 2001-05-01
/DIN EN 50121-3-2/ (VDE 0115-121-3-2)	Bahnanwendungen - Elektromagnetische Vertraeglichkeit - Teil 3-2: Bahnfahrzeuge; Geraete; (Deutsche Fassung EN 50121-3-2:2000 / <i>Daneben gilt DIN V ENV 50121-3-2 (1997-02) noch bis 2003-04-01.</i>) 2001-05-01
/DIN EN 50121-4/ (VDE 0115-121-4)	Bahnanwendungen - Elektromagnetische Vertraeglichkeit - Teil 4: Stoeraussendung und Stoerfestigkeit von Signal- und Telekommunikationseinrichtungen; (Deutsche Fassung EN 50121-4:2000 / <i>Daneben gilt DIN V ENV 50121-4 (1997-02) noch bis 2003-04-01.</i>) 2001-05-01
/DIN EN 50121-5/ (VDE 0115-121-5)	Bahnanwendungen - Elektromagnetische Vertraeglichkeit - Teil 5: Stoeraussendung und Stoerfestigkeit von ortsfesten Anlagen und Einrichtungen der Bahnenergieversorgung; (Deutsche Fassung EN 50121-5:2000 / <i>Daneben gilt DIN V ENV 50121-5 (1997-02) noch bis 2003-04-01.</i>) 2001-05-01
/DIN EN 50126/ (VDE 0115-103)	Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis der Zuverlaessigkeit, Verfuegbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit (RAMS); (Deutsche Fassung EN 50126:1999) 2000-03-01

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 2 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Norm	Beschreibung
/DIN EN 50128/ (VDE 0831-128)	Bahnanwendungen - Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme - Software fuer Eisenbahnsteuerungs- und Ueberwachungssysteme; (Deutsche Fassung EN 50128:200) 2001-11-01
/DIN EN 50129/ (VDE 0831-129)	Bahnanwendungen - Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme - Sicherheitsrelevante elektronische Systeme fuer Signaltechnik; (Deutsche Fassung EN 50129:2003 / <i>Daneben gilt DIN V ENV 50129 (1999-07) noch bis 2005-12-01.</i>) 2003-12-01
/DIN EN 50153/ (VDE 0115-2)	Bahnanwendungen - Fahrzeuge - Schutzmassnahmen in Bezug auf elektrische Gefahren; (Deutsche Fassung EN 50153:2002 / <i>Daneben gilt DIN EN 50153 (1996-12) noch bis 2005-05-01.</i>) 2003-07-01
/DIN EN 50159-1/ (VDE 0831-159-1)	Bahnanwendungen - Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme - Teil 1: Sicherheitsrelevante Kommunikation in geschlossenen Uebertragungssystemen; (Deutsche Fassung EN 50159-1:2001) 2001-11-01
/DIN EN 50159-2/ (VDE 0831-159-2)	Bahnanwendungen - Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme - Teil 2: Sicherheitsrelevante Kommunikation in offenen Uebertragungssystemen; (Deutsche Fassung EN 50159-2:2001) 2001-12-01
/DIN EN 50160/	Merkmale der Spannung in oeffentlichen Elektrizitaetsversorgungsnetzen; (Deutsche Fassung EN 50160:1999) 2000-03-01
/DIN EN 50178/ (VDE 0160)	Ausruestung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln; (Deutsche Fassung EN 50178:1997) 1998-04-01
/DIN EN 60068/	Normfamilie Umweltpruefungen
/DIN EN 60071-1/ (VDE 0111-1)	Isolationskoordination - Teil 1: Begriffe, Grundsaeetze und Anforderungen (IEC 60071-1:2006); (Deutsche Fassung EN 60071-1:2006 / <i>Daneben gilt DIN EN 60071-1 (1996-07) noch bis 2009-03-01.</i>) 2006-11-01
/DIN EN 60071-2/ (VDE 0111-2)	Isolationskoordination - Teil 2: Anwendungsrichtlinie (IEC 60071-2:1996); Deutsche Fassung EN 60071-2:1997 1997-09-01
/DIN EN 60076-/	Normenreihe: Leistungstransformatoren
/DIN EN 60076-1/ (VDE 0532-76-1)	Leistungstransformatoren - Teil 1: Allgemeines (IEC 60076-1:1993, modifiziert + A1:1999); (Deutsche Fassung EN 60076-1:1997 + A1:2000 + A12:2002 / <i>Daneben gelten DIN EN 60076-1 (1997-12) und DIN EN 60076-1/A1 (2001-07) noch bis 2005-02-01.</i>) 2003-01-01
/DIN EN 60076-10/ (VDE 0532-76-10)	Leistungstransformatoren - Teil 10: Bestimmung der Geraeuschepegel (IEC 60076-10:2001); Deutsche Fassung EN 60076-10:2001 / <i>Daneben gelten DIN EN 60551 (1993-11) und DIN EN 60551/A1 (1998-02) noch bis 2004-06-01.</i> 2002-04-01

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 2 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Norm	Beschreibung
/DIN EN 60076-11/ (VDE 0532-76-11)	Leistungstransformatoren - Teil 11: Trockentransformatoren (IEC 60076-11:2004); Deutsche Fassung EN 60076-11:2004 / Daneben gilt DIN EN 60726 (2003-10) noch bis 2007-07-01. 2005-04-01
/DIN EN 60076-2/ (VDE 0532-102)	Leistungstransformatoren - Teil 2: Uebertemperaturen (IEC 60076-2:1993, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60076-2:1997 1997-12-01
/DIN EN 60076-3 BERICHTIGUNG 1/ (VDE 0532-3 BERICHTIGUNG 1)	Berichtigungen zu DIN EN 60076-3 (VDE 0532 Teil 3):2001-11 2002-04-01
/DIN EN 60076-3/ (VDE 0532-3)	Leistungstransformatoren - Teil 3: Isolationspegel, Spannungspruefungen und aeuessere Abstaende in Luft (IEC 60076-3:2000 + Corrigendum:2000); Deutsche Fassung EN 60076-3:2001 / Daneben gelten DIN VDE 0532-3 (1987-07) und DIN VDE 0532-3/A1 (1995-12) noch bis 2004-01-01. 2001-11-01
/DIN EN 60076-4/ (VDE 0532-76-4)	Leistungstransformatoren - Teil 4: Leitfaden zur Blitz- und Schaltstossspannungspruefung von Leistungstransformatoren und Drosselspulen (IEC 60076-4:2002); Deutsche Fassung EN 60076-4:2002 / Daneben gilt DIN VDE 0532-13 (1984-07) noch bis 2005-09-01. 2003-06-01
/DIN EN 60076-5/ (VDE 0532-76-5)	Leistungstransformatoren - Teil 5: Kurzschlussfestigkeit (IEC 60076-5:2006); Deutsche Fassung EN 60076-5:2006 / Daneben gilt DIN EN 60076-5 (2001-11) noch bis 2009-04-01. 2007-01-01
/DIN EN 60228/ (VDE 0295)	Leiter fuer Kabel und isolierte Leitungen (IEC 60228:2004); (Deutsche Fassung EN 60228:2005 + Corrigendum:2005 / Daneben gilt DIN VDE 0295 (1992-06) noch bis 2007-12-01.) 2005-09-01
/DIN EN 60529/ (VDE 0470-1)	Schutzarten durch Gehaeuse (IP-Code) (IEC 60529:1989 + A1:1999); (Deutsche Fassung EN 60529:1991 + A1:2000 / Daneben gilt DIN VDE 0470-1 (1992-11) noch bis 2003-01-01.) 2000-09-01
/DIN EN 60664-1/ (VDE 0110-1)	Isolationskoordination fuer elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen - Teil 1: Grundsaeetze, Anforderungen und Pruefungen (IEC 60664-1:1992 + A1:2000 + A2:2002); (Deutsche Fassung EN 60664-1:2003 / Daneben gilt DIN VDE 0110-1 (1997-04) noch bis 2006-04-01.) 2003-11-01
/DIN EN 60694/ (VDE 0670-1000)	Gemeinsame Bestimmungen fuer Hochspannungs-Schaltgeraete-Normen (IEC 60694:1996 + Corr. 1:2001 + A1:2000 + A2:2001 + Corr. 1:2001); (Deutsche Fassung EN 60694:1996 + A1:2000 + A2:2001 / Daneben gilt DIN EN 60694 (1998-10) noch bis 2003-11-01.) 2002-09-01
/DIN EN 60695-1-1/ (VDE 0471-1-1)	Pruefungen zur Beurteilung der Brandgefahr - Teil 1-1: Anleitung zur Beurteilung der Brandgefahr von elektrotechnischen Erzeugnissen; Allgemeiner Leitfaden (IEC 60695-1-1:1999 + Corrigendum 2000); (Deutsche Fassung EN 60695-1-1:2000 / Daneben gilt DIN EN 60695-1-1 (1996-07) noch bis 2003-01-01.) 2000-10-01
/DIN EN 60909-0/ (VDE 0102)	Kurzschlussstroeme in Drehstromnetzen - Teil 0: Berechnung der Stroeme (IEC 60909-0:2001); (Deutsche Fassung EN 60909-0:2001 / Daneben gilt DIN VDE 0102 (1990-01) noch bis 2003-01-01.) 2002-07-01

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 2 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Norm	Beschreibung
/DIN EN 61378-1/ (VDE 0532-41)	Stromrichtertransformatoren - Teil 1: Transformatoren fuer industrielle Anwendungen (IEC 61378-1:1997); (Deutsche Fassung EN 61378-1:1998 + Corrigendum 1998) 1999-09-01
/DIN EN 61508-1/ (VDE 0803-1)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 61508-1:1998 + Corrigendum 1999); (Deutsche Fassung EN 61508-1:2001) 2002-11-01
/DIN EN 61508-2/ (VDE 0803-2)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 2: Anforderungen an sicherheitsbezogene elektrische/elektronische/programmierbare elektronische Systeme (IEC 61508-2:2000); Deutsche Fassung EN 61508-2:2001 2002-12-01
/DIN EN 61508-3/ (VDE 0803-3)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 3: Anforderungen an Software (IEC 61508-3:1998 + Corrigendum 1999); Deutsche Fassung EN 61508-3:2001 2002-12-01
/DIN EN 61508-4/ (VDE 0803-4)	Funktionale Sicherheit elektrischer/elektronischer/programmierbar elektronischer sicherheitsbezogener Systeme - Teil 4: Begriffe und Abkuerzungen (IEC 61508-4:1998 + Corrigendum 1999); Deutsche Fassung EN 61508-4:2001 2002-11-01
/DIN EN 61508-5/ (VDE 0803-5)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 5: Beispiele zur Ermittlung der Stufe der Sicherheitsintegritaet (safety integrity level) (IEC 61508-5:1998 + Corrigendum 1999); Deutsche Fassung EN 61508-5:2001 2002-11-01
/DIN EN 61508-6/ (VDE 0803-6)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 6: Anwendungsrichtlinie fuer IEC 61508-2 und IEC 61508-3 (IEC 61508-6:2000); Deutsche Fassung EN 61508-6:2001 2003-06-01
/DIN EN 61508-7/ (VDE 0803-7)	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 7: Anwendungshinweise ueber Verfahren und Massnahmen (IEC 61508-7:2000); Deutsche Fassung EN 61508-7:2001 2003-06-01
/DIN EN 61642/ (VDE 0560-430)	Von Oberschwingungen beeinflusste industrielle Wechselstromnetze - Anwendung von Filtern und Parallelkondensatoren (IEC 61642:1997); (Deutsche Fassung EN 61642:1997) 1998-11-01

Norm	Beschreibung
/DIN EN 62040/	Normenreihe: Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)
/DIN EN 62040-1-1/ (VDE 0558-511)	Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) - Teil 1-1: Allgemeine Anforderungen und Sicherheitsanforderungen an USV ausserhalb abgeschlossener Betriebsraeume (IEC 62040-1-1:2002 + Corrigendum 2002); (Deutsche Fassung EN 62040-1-1:2003 / Daneben gilt DIN EN 50091-1-1 (1997-07) noch bis 2005-11-01.) 2003-10-01
/DIN EN 62040-1-2/ (VDE 0558-512)	Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) - Teil 1-2: Allgemeine Anforderungen und Sicherheitsanforderungen an USV in abgeschlossenen Betriebsraeumen (IEC 62040-1-2:2002 + Corrigendum 2002); (Deutsche Fassung EN 62040-1-2:2003 / Daneben gelten DIN EN 50091-1-2 (1999-05) und DIN EN 50091-1-2 Berichtigung 1 (2000-07) noch bis 2005-11-01.) 2003-10-01
/DIN EN 62040-2/ (VDE 0558-520)	Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) - Teil 2: Anforderungen an die elektromagnetische Vertraeglichkeit (EMV) (IEC 62040-2:2005); Deutsche Fassung EN 62040-2:2006 / Daneben gilt DIN EN 50091-2 (1996-05) noch bis 2008-10-01.) 2006-07-01
/DIN EN 62040-3/ (VDE 0558-530)	Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) - Teil 3: Methoden zum Festlegen der Leistungs- und Pruefungsanforderungen (IEC 62040-3:1999, modifiziert); (Deutsche Fassung EN 62040-3:2001 / Daneben gelten DIN VDE 0558-5 (1988-09) und DIN VDE 0558-6 (1992-04) noch bis 2003-08-01.) 2002-02-01
/DIN EN 62271/	Normenreihe: Hochspannungsschaltgeraete
/DIN EN 62271-100/ (VDE 0671-100)	Hochspannungs-Schaltgeraete und -Schaltanlagen - Teil 100: Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter (IEC 62271-100:2001 + A1:2002 + Corrigendum 1:2002 + Corrigendum 2:2003); (Deutsche Fassung EN 62271-100:2001 + A1:2002 / Daneben gelten DIN VDE 0670-101 (1992-12), DIN VDE 0670-102 (1992-12), DIN VDE 0670-103 (1992-10), DIN VDE 0670-104 (1992-10), DIN VDE 0670-105 (1992-10) und DIN VDE 0670-106 (1992-10) noch bis 2004-09-01.) 2004-04-01
/DIN EN 62271-102/ (VDE 0671-102)	Hochspannungs-Schaltgeraete und -Schaltanlagen - Teil 102: Wechselstrom-Trennschalter und -Erdungsschalter (IEC 62271-102:2001 + Corrigendum 1:2002 + Corrigendum 2:2003); (Deutsche Fassung EN 62271-102:2002 / Daneben gelten DIN EN 60129 (1998-03), DIN EN 61129 (1995-02), DIN EN 61129/A1 (1998-01) und DIN EN 61259 (1996-06) noch bis 2005-03-01.) 2003-10-01
/DIN EN 62271-105/ (VDE 0671-105)	Hochspannungs-Schaltgeraete und -Schaltanlagen - Teil 105: Hochspannungs-Lastschalter-Sicherungs-Kombinationen (IEC 62271-105:2002); (Deutsche Fassung EN 62271-105:2003 / Daneben gilt DIN EN 60420 (1994-09) noch bis 2005-10-01.) 2003-12-01
/DIN EN 62271-107/ (VDE 0671-107)	Hochspannungs-Schaltgeraete und -Schaltanlagen - Teil 107: Wechselstrom-Leistungsschalter-Sicherungs-Kombinationen fuer Bemessungsspannungen ueber 1 kV bis einschliesslich 52 kV (IEC 62271-107:2005); (Deutsche Fassung EN 62271-107:2005) 2006-07-01

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 2 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Norm	Beschreibung
/DIN EN 62271-108/ (VDE 0671-108)	Hochspannungs-Schaltgeraete und -Schaltanlagen - Teil 108: Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter mit Trennfunktion fuer Bemessungsspannungen groesser oder gleich 72,5 kV (IEC 62271-108:2005); (Deutsche Fassung EN 62271-108:2006) 2006-10-01
/DIN EN 62271-110/ (VDE 0671-110)	Hochspannungs-Schaltgeraete und -Schaltanlagen - Teil 110: Schalten induktiver Lasten (IEC 62271-110:2005); (Deutsche Fassung EN 62271-110:2005) 2006-07-01
/DIN EN 62271-2/ (VDE 0671-2)	Hochspannungs-Schaltgeraete und -Schaltanlagen - Teil 2: Erdbebenqualifikation fuer Bemessungsspannungen von 72,5 kV und darueber (IEC 62271-2:2003); (Deutsche Fassung EN 62271-2:2003 2004-01-01
/DIN EN 62271-200/ (VDE 0671-200)	Hochspannungs-Schaltgeraete und Schaltanlagen - Teil 200: Metallgekapselte Wechselstrom-Schaltanlagen fuer Bemessungsspannungen ueber 1 kV bis einschliesslich 52 kV (IEC 62271-200:2003); (Deutsche Fassung EN 62271-200:2004 / Daneben gelten DIN EN 60298 (1998-05), DIN EN 60298 Berichtigung 1 (1999-03) und DIN EN 60298 Berichtigung 2 (2001-09) noch bis 2007-02-01.) 2004-10-01
/DIN EN 62271-203/ (VDE 0671-203)	Hochspannungs-Schaltgeraete und -Schaltanlagen - Teil 203: Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen fuer Bemessungsspannungen von 52 kV und darueber (IEC 62271-203:2003); (Deutsche Fassung EN 62271-203:2004 / Daneben gelten DIN EN 60517 (1998-10) und DIN EN 60517 Berichtigung 1 (2001-08) noch bis 2007-02-01.) 2004-11-01
/DIN EN 62305/ (VDE 0185-305-1)	Normenreihe: Blitzschutz
/DIN EN 62305-1/ (VDE 0185-305-1)	Blitzschutz - Teil 1: Allgemeine Grundsaeetze (IEC 62305-1:2006); (Deutsche Fassung EN 62305-1:2006 / Daneben gilt DIN V VDE V 0185-1 (2002-11) noch bis 2008-10-01.) 2006-10-01
/DIN EN 62305-2/ (VDE 0185-305-2)	Blitzschutz - Teil 2: Risiko-Management (IEC 62305-2:2006); (Deutsche Fassung EN 62305-2:2006 / Daneben gelten DIN V VDE V 0185-2 (2002-11), DIN V VDE V 0185-2 Berichtigung 1 (2004-02) und DIN V VDE V 0185-2 Beiblatt 1 (2004-06) noch bis 2008-10-01.) 2006-10-01
/DIN EN 62305-3/ (VDE 0185-305-3)	Blitzschutz - Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen (IEC 62305-3:2006, modifiziert); (Deutsche Fassung EN 62305-3:2006 / Daneben gelten DIN V VDE V 0185-3 (2002-11) und DIN V VDE V 0185-3/A1 (2005-06) noch bis 2008-10-01.) 2006-10-01
/DIN EN 62305-4/ (VDE 0185-305-4)	Blitzschutz - Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen (IEC 62305-4:2006); (Deutsche Fassung EN 62305-4:2006 / Daneben gilt DIN V VDE V 0185-4 (2002-11) noch bis 2008-10-01.) 2006-10-01
/DIN EN ISO 12944-1/	Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 1: Allgemeine Einleitung (ISO 12944-1:1998); (Deutsche Fassung EN ISO 12944-1:1998) 1998-07-01

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 2 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Norm	Beschreibung
/DIN EN ISO 12944-2/	Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen (ISO 12944-2:1998); (Deutsche Fassung EN ISO 12944-2:1998) 1998-07-01
/DIN EN ISO 12944-3/	Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 3: Grundregeln zur Gestaltung (ISO 12944-3:1998); (Deutsche Fassung EN ISO 12944-3:1998) 1998-07-01
/DIN EN ISO 12944-4/	Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 4: Arten von Oberflaechen und Oberflaechenvorbereitung (ISO 12944-4:1998); (Deutsche Fassung EN ISO 12944-4:1998) 1998-07-01
/DIN EN ISO 12944-5/	Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 5: Beschichtungssysteme (ISO 12944-5:1998); (Deutsche Fassung EN ISO 12944-5:1998) 1998-07-01
/DIN EN ISO 12944-6/	Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 6: Laborpruefungen zur Bewertung von Beschichtungssystemen (ISO 12944-6:1998); (Deutsche Fassung EN ISO 12944-6:1998) 1998-07-01
/DIN EN ISO 12944-7/	Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 7: Ausfuehrung und Ueberwachung der Beschichtungsarbeiten (ISO 12944-7:1998); (Deutsche Fassung EN ISO 12944-7:1998) 1998-07-01
/DIN EN ISO 12944-8/	Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme - Teil 8: Erarbeiten von Spezifikationen fuer Erstschutz und Instandsetzung (ISO 12944-8:1998); (Deutsche Fassung EN ISO 12944-8:1998) 1998-07-01
/DIN EN ISO 3095/	Bahnwendungen - Akustik - Messung der Geraeuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen (ISO 3095:2005); (Deutsche Fassung EN ISO 3095:2005) 2005-11-01
/DIN EN ISO 9000/	Qualitaetsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2005); Dreisprachige Fassung EN ISO 9000:2005 DIN EN ISO 9000
/DIN EN ISO 9001/	Qualitaetsmanagementsysteme - Anforderungen (ISO 9001:2000-09); Dreisprachige Fassung EN ISO 9001:2000 2000-12-01
/DIN EN ISO 9004/	Qualitaetsmanagementsysteme - Leitfaden zur Leistungsverbesserung (ISO 9004:2000); Dreisprachige Fassung EN ISO 9004:2000 2000-12-01
/DIN Fachbericht 101/	Einwirkungen auf Bruecken; Ausgabe Maerz 2003; ISBN-3-410-15007-2; 2003-01-01

Norm	Beschreibung
/DIN VDE 0100/ (VDE 0100)	Bestimmungen fuer das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V / vom 1. November 1958 in der Fassung vom Mai 1973 / War irrtuemlich zurueckgezogen. Es gelten noch die Paragraphen, die im Beiblatt 2 von Mai 2001 in der Tabelle 2 abgedruckt sind / Uebergangsfrist, festgelegt durch DIN VDE 0100-443 (2002-01) und DIN VDE 0100-530 (2005-06), bis 2006-05-31 beachten. 1973-05-01
/DIN VDE 0101/ (VDE 0101)	Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen ueber 1 kV; (Deutsche Fassung HD 637 S1:1999 / Daneben gelten DIN VDE 0101 (1989-05) und DIN VDE 0141 (1989-07) noch bis 2001-01-01. / Uebergangsfrist, festgelegt durch DIN EN 60204-11 (2001-05), bis 2003-09-01 beachten.) 2000-01-01
/DIN VDE 0105-100/ (VDE 0105-100)	Betrieb von elektrischen Anlagen - Teil 100: Allgemeine Festlegungen / Daneben gelten DIN VDE 0105-100 (2000-06) und DIN VDE 0105-100/A3 (2003-11) noch bis 2007-07-01. 2005-06-01
/DIN VDE 0276-632/ (VDE 0276-632)	Starkstromkabel mit extrudierter Isolierung und ihre Garnituren fuer Nennspannungen ueber 36 kV ($U_{m} = 42$ kV) bis 150 kV ($U_{m} = 170$ kV); (Deutsche Fassung HD 632 S1 Teile 1, 3D, 4D, 5D:1998) 1999-05-01
/DIN VDE 0888/	Normenreihe: Lichtwellenleiter-Kabel für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen
/DIN VDE 0888-3 BERICHTIGUNG 1/ /VDE 0888-3 BERICHTIGUNG 1/	Berichtigung zu DIN VDE 0888-3 (VDE 0888 Teil 3):1999-10 2001-08-01
/DIN VDE 0888-3/ (VDE 0888-3)	Lichtwellenleiter-Kabel fuer Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen - Teil 3: Aussenkabel 1999-10-01
/DIN VDE 0888-4/ (VDE 0888-4)	Lichtwellenleiter-Kabel fuer Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen - Teil 4: Innenkabel mit einem Lichtwellenleiter 1999-10-01
/DIN VDE 0888-5/ (VDE 0888-5)	Lichtwellenleiter-Kabel fuer Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen - Teil 5: Aufteilbare Aussenkabel 1999-10-01
/DIN VDE 0888-6/ (VDE 0888-6)	Lichtwellenleiter-Kabel fuer Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen - Teil 6: Innenkabel mit mehreren Lichtwellenleitern 1999-10-01
/EBA-Lf Station/	EBA - Leitfaden "Brandschutz in Personenverkehrsanlagen der Eisenbahnen des Bundes"; Stand: Januar 2001 sowie ergänzende Hinweise zum Leitfaden bei Anwendung für Personenverkehrsanlagen der Magnetschwebbahnen; Stand: April 2002
/EBA-RL MSB Tunnel/	Leitfaden für den Bau und den Betrieb von Magnetschwebbahntunneln aus Sicht des Brand- und Katastrophenschutzes sowie der Gefahrenabwehr; Eisenbahn Bundesamt; 2005-03-01
/EN 10106/	Kaltgewalztes nichtkornorientiertes Elektroblech und -band im schlussgegluehten Zustand; Deutsche Fassung EN 10106:1995 1996-02-01
/EN 1317-1/	Rueckhaltesysteme an Strassen - Teil 1: Terminologie und allgemeine Kriterien fuer Pruefverfahren 1998-04-01

Norm	Beschreibung
/EN 1363-1/	Feuerwiderstandspruefungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen 1999-08-01
/EN 14067-2/	Bahnanwendungen - Aerodynamik - Teil 2: Aerodynamik auf offener Strecke 2003-04-01
/EN 14067-3/	Bahnanwendungen - Aerodynamik - Teil 3: Aerodynamik im Tunnel 2003-04-01
/EN 1990/	Eurocode : Grundlagen der Tragwerksplanung 2002-04-01
/EN 1991/	Normenreihe Eurocode 1:Einwirkungen auf Tragwerke
/EN 1991-1-1/	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau 2002-04-01
/EN 1991-1-2/	Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen; Brandeinwirkungen auf Tragwerke 2002-11-01
/EN 1991-1-3/	Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten 2003-07-01
/EN 1991-1-4/	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten 2005-04-01
/EN 1991-1-5/	Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen; Temperatureinwirkungen 2003-11-01
/EN 1991-1-6/	Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-6: Allgemeine Einwirkungen - Einwirkungen waehrend der Bauausfuehrung 2005-06-01
/EN 1991-1-7/	Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen - Aussergewoehnliche Einwirkungen 2006-07-01
/EN 1991-2/	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Verkehrslasten auf Bruecken 2003-09-01
/EN 1991-3/	Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen 2006-07-01
/EN 1992/	Normenreihe Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken
/EN 1992-1-1/	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln fuer den Hochbau 2004-12-01
/EN 1992-1-2/	Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung fuer den Brandfall 2004-12-01
/EN 1992-2/	Eurocode 2 - Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 2: Betonbruecken - Planungs- und Ausfuehrungsregeln 2005-10-01

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 2 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Norm	Beschreibung
/EN 1992-3/	Eurocode 2 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 3: Stuetz- und Behaelterbauwerke aus Beton 2006-06-01
/EN 1993/	Normfamilie Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten; Stand: Juli 2005
/EN 1998/	Normfamilie Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben; Stand: Dezember 2004
/EN 1999/	Normfamilie Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumbauten; Vornorm Stand: Oktober 2000
/EN 50124-1/	Bahnanwendungen - Isolationskoordination - Teil 1: Grundlegende Anforderungen; Luft- und Kriechstrecken fuer alle elektrischen und elektronischen Betriebsmittel 2001-03-01
/EN 50125/	Normenreihe Bahnanwendungen
/EN 50125-1/	Bahnanwendungen - Umweltbedingungen fuer Betriebsmittel - Teil 1: Betriebsmittel auf Bahnfahrzeugen 1999-09-01
/EN 50125-2/	Bahnanwendungen - Umweltbedingungen fuer Betriebsmittel - Teil 2: Ortsfeste elektrische Anlagen 2002-12-01
/EN 50125-3/	Bahnanwendungen - Umweltbedingungen fuer Betriebsmittel - Teil 3: Umweltbedingungen fuer Signal- und Telekommunikationseinrichtungen 2003-01-01
/EN 50207/	Bahnanwendungen - Elektronische Stromrichter auf Bahnfahrzeugen 2000-09-01
/EN 60721/	Normenreihe: Klassifizierung von Umweltbedingungen
/EN 60721-1/	Klassifizierung von Umweltbedingungen - Teil 1: Vorzugswerte fuer Einflussgroessen (IEC 60721-1:1990 + A1:1992) 1995-04-01
/EN 60721-1/A2	Klassifizierung von Umweltbedingungen - Teil 1: Umwelteinflussgroessen und deren Grenzwerte; Aenderung A2 (IEC 60721-1:1990/A2:1995) 1995-07-01
/EN 60721-3-0/	Klassifizierung von Umweltbedingungen; Teil 3: Klassen von Umwelteinflussgroessen und deren Grenzwerte; Einfuehrung und Hinweise fuer den Anwender (IEC 60721-3-0:1984 + A1:1987) 1993-07-01
/EN 60721-3-1/	Klassifizierung von Umweltbedingungen - Teil 3: Klassen von Umwelteinflussgroessen und deren Grenzwerte - Hauptabschnitt 1: Langzeitlagerung (IEC 60721-3-1:1997) 1997-03-01
/EN 60721-3-2/	Klassifizierung von Umweltbedingungen - Teil 3: Klassen von Umwelteinflussgroessen und deren Grenzwerte - Hauptabschnitt 2: Transport (IEC 60721-3-2:1997) 1997-03-01
/EN 60721-3-3/	Klassifizierung von Umweltbedingungen - Teil 3: Klassen von Umwelteinflussgroessen und deren Grenzwerte - Hauptabschnitt 3: Ortsfester Einsatz, wettergeschuetzt (IEC 60721-3-3:1994) 1995-01-01

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem, Anlage 2 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Norm	Beschreibung
/EN 60721-3-3/A2/	Klassifizierung von Umweltbedingungen - Teil 3: Klassen von Umwelteinflussgroessen und deren Grenzwerte - Hauptabschnitt 3: Ortsfester Einsatz, wettergeschuetzt; Aenderung A2 (IEC 60721-3-3:1994/A2:1996) 1997-01-01
/EN 60721-3-4/	Klassifizierung von Umweltbedingungen - Teil 3: Klassen von Umwelteinflussgroessen und deren Grenzwerte - Hauptabschnitt 4: Ortsfester Einsatz, nicht wettergeschuetzt (IEC 60721-3-4:1995) 1995-02-01
/EN 60721-3-4/A1/	Klassifizierung von Umweltbedingungen - Teil 3: Klassen von Umwelteinflussgroessen und deren Grenzwerte - Hauptabschnitt 4: Ortsfester Einsatz, nicht wettergeschuetzt; Aenderung A1 (IEC 60721-3-4:1995/A1:1996) 1997-01-01
/EN 60721-3-5/	Klassifizierung von Umweltbedingungen - Teil 3: Klassen von Umwelteinflussgroessen und deren Grenzwerte - Hauptabschnitt 5: Einsatz an und in Landfahrzeugen (IEC 60721-3-5:1997) 1997-04-01
/EN 61373/	Bahnanwendungen - Betriebsmittel von Bahnfahrzeugen - Pruefungen fuer Schwingen und Schocken (IEC 61373:1999) 1999-04-01
/EN ISO 12543/	Normenreihe: Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbund-Sicherheitsglas -
/ERRI B 153 RP-1/	ANWENDUNG DER NORM ISO 2631 AUF EISENBAHNFahrZEUGE Untersuchung der verschiedenen, im Eisenbahnbereich gehandhabten Anwendungsverfahren der ISO-Norm 2631 1981-09-01
/ISO 2631/	Normenreihe: Mechanische Schwingungen
/ISO 2631-1/	Mechanische Schwingungen und Stoesse - Bewertung der Einwirkung von Ganzkoerper-Schwingungen auf den Menschen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen / Korrigierte Fassung vom Juli 1997 1997-05-01
/ISO 2631-2/	Mechanische Schwingungen und Stoesse - Bewertung der Einwirkung von Ganzkoerper-Schwingungen auf den Menschen - Teil 2: Schwingungen in Gebaeuden (1 Hz - 80 Hz) 2003-04-01
/ISO 2631-5/	Mechanische Schwingungen und Stoesse - Bewertung der Einwirkung von Ganzkoerper-Schwingungen auf den Menschen - Teil 5: Verfahren zur Bewertung von stosshaltigen Schwingungen 2004-02-01
/prEN 50126-2/	Railway Applications The Specification and Demonstration of Reliability, Aviability, Maintainability and Safety (RAMS) Part 2: Guide to the application on EN 50126 for Safety Draft July 05
/R009-004/	Railway specifications. Systematic allocation of safety integrity requirements. CENELEC Report R009-004:2001
/RI-EDV-AP-2001/	Richtlinie für das Aufstellen und Prüfen EDV-unterstützter Standsicherheitsnachweise; Bundesvereinigung der Prüfengeure für Bautechnik; Ausgabe April 2001

Norm	Beschreibung
/RPS/	Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN ARBEITSGRUPPE VERKEHRSFÜHRUNG UND VERKEHRSSICHERHEIT 1989
/TL 918300 Blatt 87/	Deutschen Bahn AG, Korrosionsschutz, technische Lieferbestimmung;
/UIC 651/	Gestaltung der Fuehrraeume von Lokomotiven, Triebwagen, Triebwagenzuegen und Steuerwagen; Stand: Juli 2002
/Wiesinger/	Prof. Dr. Wiesinger Studie über die Blitzbedrohung und elektrostatische Bedrohung von Magnetbahnen, Mai 1979

Tabelle 3: Normen und Richtlinien

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Gesamtsystem Anlage 3 Umweltbedingungen

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Gesamtsystem zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007, Weißdruck, Fachausschuss Gesamtsystem

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler	2
2	Änderungsübersicht	3
3	Inhaltsverzeichnis	4
4	Allgemeines	8
4.1	Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich	8
4.2	MSB-Ausführungsgrundlagen	8
4.3	Abkürzungen und Definitionen	9
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien.....	9
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen	9
5	Umweltbeständigkeit.....	10
5.1	Klima.....	10
5.1.1	Luftdruck.....	10
5.1.2	Relative Luftfeuchte.....	10
5.1.3	Lufttemperatur	11
5.1.4	Witterungswechsel im Verlaufe eines Tages	11
5.1.5	Wind.....	12
5.1.6	Niederschläge.....	14
5.1.6.1	Regen.....	14
5.1.6.2	Schnee	14
5.1.6.3	Eis	15
5.1.7	Sonneneinstrahlung.....	15
5.1.8	Atmosphärische Einflussgrößen.....	15
5.1.8.1	Regen.....	15
5.1.8.2	Chemisch Aktive Stoffe.....	16
5.1.8.3	Mechanisch aktive Stoffe	16
5.1.9	Blitz.....	17
5.1.9.1	Häufigkeit	17
5.1.9.2	Intensität.....	17
5.1.9.3	Blitzstromparameter des ersten Blitzentladestoßes	18
5.1.9.4	Blitzstromparameter des Folgeentladungsstoßes	18
5.1.9.5	Blitzstromparameter des Langzeitentladungsstoßes.....	18
5.1.9.6	Elektrische und magnetische Feldstärken	18
5.2	Erdbeben	19
5.3	Störfestigkeit gegenüber elektromagnetischen Störgrößen.....	19

6	Spezifikation der Parameter zu der Sekundärumwelt	20
6.1	Sekundärumwelt im MSB-Fahrzeug.....	20
6.1.1	Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung	23
6.1.1.1	Fahrzeug - Außenräume (FA)	23
6.1.1.1.1	Außenraum - Unterflur (FA1)	23
6.1.1.1.2	Außenraum - Schweberahmen (FA2)	24
6.1.1.1.3	Außenraum - Einbauraum für Tragmagnete, Sensoren (FA3)	25
6.1.1.2	Fahrzeug - Innenräume (FI)	26
6.1.1.2.1	Innenraum - Klimatisierter Bereich (FI1)	26
6.1.1.2.2	Innenraum - Nicht klimatisierter Bereich (FI2)	26
6.1.1.2.3	Innenraum - Schaltschrank Fahrzeugsektion (FI3).....	27
6.1.1.2.4	Innenraum - Decke/Seitenwand hinter Verkleidung (FI4).....	28
6.1.2	Mechanische Anregung.....	29
6.1.3	ESD-Schutz	29
6.1.4	EMV- / Blitzschutz	29
6.1.4.1	Definition von EMV-/ Blitzschutz zonen	29
6.1.4.2	Zuordnung der EMV - / Blitzschutz zonen zu den Einbauräumen.....	33
6.1.4.3	Direkter Blitzschlag - Bedrohungswerte für EMV - / Blitzschutzzone 0_A	35
6.1.4.3.1	Blitzstrom	35
6.1.4.3.2	Felder und induzierte Spannungen.....	36
6.1.4.3.2.1	Felder und Feldänderungen; Abstand vom Blitzstrompfad: 1 m	36
6.1.4.3.3	Strahlungsgebundene Störungen	37
6.1.4.3.3.1	Grenzwerte der Störfestigkeit für hochfrequente Felder.....	37
6.1.4.3.3.2	Grenzwerte der Störfestigkeit für magnetische Felder	38
6.2	Sekundärumwelt in Betriebsanlagen.....	38
6.2.1	Sekundärumwelt am Langstator.....	38
6.2.1.1	Temperatur.....	38
6.2.1.2	Mechanische Beanspruchung der Langstatorwicklung	39
6.2.1.3	Verschmutzungsgrad	40
6.2.1.4	EMV- / Blitzschutz	40
6.2.2	Sekundärumwelt im Gebäudeinnenraum (z.B. Unterwerke, Schaltstellen, Weichenschalthäuser)	40
6.2.2.1	Klima	40
6.2.2.2	Verschmutzungsgrad	40
6.2.2.3	EMV - / Blitzschutz	40
6.2.3	Umweltbedingungen bei überdeckten Fahrwegabschnitten	41
6.2.4	Umweltbedingungen bei Tunnelabschnitten	41
6.2.4.1	Temperatur.....	41

6.2.4.2	Luftfeuchte	41
6.2.4.3	Wind	42

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erster Blitzentladungsstoß und Folgeentladungsstoß	17
Abbildung 2: Langzeitentladungsstoß	17
Abbildung 3: Umwelträume des MSB- Fahrzeugs (Anordnung beispielhaft)	21
Abbildung 4: Dämpfung des magnetischen Feldes	31
Abbildung 5: Dämpfung des elektrischen Feldes	32
Abbildung 6: EMV- / Blitzschutz zonen des MSB-Fahrzeugs	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Luftdruck Fahrbetrieb, Lagerung, See- und Landtransport	10
Tabelle 2: Luftdruck Lufttransport	10
Tabelle 3: Relative Luftfeuchte Fahrbetrieb, Lagerung, See- und Landtransport	10
Tabelle 4: Relative Luftfeuchte Lufttransport	11
Tabelle 5: Lufttemperatur Fahrbetrieb	11
Tabelle 6: Lufttemperatur Lagerung und Transport	11
Tabelle 7: Jahresdurchschnittstemperaturen	11
Tabelle 8: Temperaturwechsel	11
Tabelle 9: Luftfeuchtigkeitswechsel	11
Tabelle 10: Luftdruckwechsel	12
Tabelle 11: Windgeschwindigkeit in Höhe 5m, max. 10-Min. Mittelwert	12
Tabelle 12: Windgeschwindigkeit in Höhe 10m, max. 10-Min. Mittelwert	12
Tabelle 13: Windgeschwindigkeit in Höhe 20m, max. 10-Min. Mittelwert	13
Tabelle 14: Zugehörige Böengeschwindigkeit zur Höhe 5m	13
Tabelle 15: Zugehörige Böengeschwindigkeit zur Höhe 10m	13
Tabelle 16: Zugehörige Böengeschwindigkeit zur Höhe 20m	13
Tabelle 17: Jährliche Einwirkdauer der 10- Minuten Mittelwerte in 10 m Höhe	14
Tabelle 18: Regenrate	14
Tabelle 19: Schneehöhe	14
Tabelle 20: Zulässige Fahrwegvereisung	15
Tabelle 21: Sonneneinstrahlung (für Lagerung, Transport und Betrieb)	15
Tabelle 22: pH- Wert des Regens	15
Tabelle 23: Luft, Belastung durch chemisch aktive Stoffe	16

Tabelle 24: Luft, Belastung durch mechanisch aktive Stoffe.....	16
Tabelle 25: Häufigkeit der Blitzeinschläge	17
Tabelle 26: Blitzstromparameter des ersten Blitzentladestoßes (siehe Abbildung 1)	18
Tabelle 27: Blitzstromparameter des Folgeentladungsstoßes (siehe Abbildung 1)	18
Tabelle 28: Blitzstromparameter des Langzeitentladungsstoßes (siehe Abbildung 2).....	18
Tabelle 29: Abstand vom Hauptblitzstrompfad: 0,1 m.....	18
Tabelle 30: Abstand vom Hauptblitzstrompfad: 1 m.....	19
Tabelle 31: Europäische Normen zur Störfestigkeit der MSB –Teilsysteme	19
Tabelle 32: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FA1	23
Tabelle 33: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FA2	24
Tabelle 34: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FA3	25
Tabelle 35: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FI1.....	26
Tabelle 36: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FI2.....	27
Tabelle 37: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FI3.....	28
Tabelle 38: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FI4.....	28
Tabelle 39: Quelle der Schwingungsanregung bei $v = 500$ km/h.....	29
Tabelle 40: Blitzstromparameter des ersten Blitzentladungsstoßes	35
Tabelle 41: Blitzstromparameter des Folgeentladungsstoßes	35
Tabelle 42: Ströme in Blitz- und Teilblitzstrompfaden	36
Tabelle 43: Felder und Feldänderungen; Abstand vom Blitzstrompfad: 0,1 m	36
Tabelle 44: Induzierte Spannungen durch Magnetfeld bei Blitzschlag; Abstand vom Blitzstrompfad: 0,1 m	36
Tabelle 45: Induzierte Spannungen durch Magnetfeld bei Blitzschlag; Abstand vom Blitzstrompfad: 1 m	37
Tabelle 46: Elektromagnetische Störfeldstärken in den EMV- / Blitzschutzonen	37
Tabelle 47: Magnetische Störfeldstärke in den EMV- / Blitzschutzonen	38
Tabelle 48: Temperatur	38
Tabelle 49: Typische Schwingungseinwirkungen auf den Langstator.....	39
Tabelle 50: Abweichung vom Nennmaß an den Trägerstößen.....	39
Tabelle 51: Thermischer Einfluss an den Trägerstößen	39
Tabelle 52: Einfluss aus Fahrzeug-Beschleunigung und -verzögerung und resultierende Trägerdehnspaltänderung	40
Tabelle 53: Umweltbedingungen in den überdeckten Fahrwegabschnitten.....	41

4 Allgemeines

4.1 Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich

Das vorliegende Dokument spezifiziert projektunabhängig die Umweltbedingungen des MSB-Systems.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

Die in diesem Dokument spezifizierten Einflussgrößen der Primärumwelt sollen als Grundlage für die Auslegung des MSB-Systems in einem Anwendungsprojekt herangezogen werden.

Um die entsprechende Umweltbeständigkeit zu gewährleisten, sollen die genannten Umweltbedingungen bei der Systementwicklung, Qualifikation und Nachweisprüfung von Teilsystemen und Baugruppen für das jeweilige Anwendungsprojekt zugrunde gelegt werden.

Bei projektspezifisch abweichenden Einflussgrößen sind diese bei der Auslegung zu berücksichtigen und die erforderlichen Nachweise zu führen.

Die Überwachung der in diesem Dokument spezifizierten Primärumweltparameter und die Einleitung der entsprechenden Folgemaßnahmen bei der Überschreitung der hier angegebenen Grenzwerte ist nicht Bestandteil des vorliegenden Dokumentes und wird in den entsprechenden projektspezifischen Dokumenten festgelegt.

Die Umweltbedingungen für den Betrieb, Lagerung und Transport entsprechend /EN 60721/ sind in Kapitel 5 definiert.

Die Umweltbedingungen innerhalb von Gebäuden oder sonstigen wettergeschützten Anlagen sind nicht Bestandteil dieses Dokuments.

Nicht Gegenstand dieses Dokumentes sind diejenigen Bedingungen, die sich aus einer konkreten projektabhängigen Trassenführung ergeben, wie z. B. lokale Geologie/ Hydrologie.

4.2 MSB-Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Anlage zur Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und damit Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus verschiedenen Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentenbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordneten Dokumente Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- MSB-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Gesamtsystem Anlage 3 Umweltbedingungen

Dok.-Nr.: 67285 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 8 von 42

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokuments sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in *Kursiv-Schrift*

gekennzeichnet.

Der Verbindlichkeitsgrad der Anforderungen wurde in Anlehnung an /DIN 820/, Teil 2, Anhang G, festgelegt und in der Formulierung der Anforderungen jeweils berücksichtigt.

5 Umweltbeständigkeit

Mit der vorliegenden Ausführungsgrundlage Umwelt soll für eine Auslegung eines Magnetschnellbahnsystems eine Umweltbeständigkeit entsprechend den im folgenden spezifizierten Merkmalen und Daten ermöglicht werden.

Das MSB-System muss so ausgelegt werden, dass innerhalb der nachfolgend spezifizierten Umweltbedingungen der Betrieb uneingeschränkt möglich ist.

5.1 Klima

Die Klimadaten orientieren sich an den Eckwerten der Klimagruppe **"Weitverbreitet"** gemäß /EN 60721-2/.

Die zugehörigen Klimaklassen für den Betrieb, Transport und Lagerung müssen, soweit zutreffend, den Anforderungen von /EN 60721-3-1/, /EN 60721-3-2/, /EN 60721-3-3/, /EN 60721-3-4/ und /EN 60721-3-5/ entsprechen.

Folgende Vorgaben müssen beachtet werden:

5.1.1 Luftdruck

Klimaklassen entsprechend /EN 60721-3-4/, /EN 60721-3-1/ und /EN 60721-3-2/: 4K3, 1K5, 2K4.

Parameter	Wert	Einheit
Luftdruck (Fahrbetrieb Lagerung, See- und Landtransport)	70 - 106 (entsprechend 0 m bis 3000 m über NN)	kPa

Tabelle 1: Luftdruck Fahrbetrieb, Lagerung, See- und Landtransport

Parameter	Wert	Einheit
Luftdruck (Luftfrachtbedingungen)	55	kPa

Tabelle 2: Luftdruck Lufttransport

5.1.2 Relative Luftfeuchte

Klimaklassen entsprechend /EN 60721-3-4/, /EN 60721-3-1/ und /EN 60721-3-2/: 4K3, 1K5, 2K4 bzw. /DIN EN 50125-3/ Tabelle 3; Klimaklasse T1.

Parameter	Wert	Einheit
Relative Luftfeuchte (Fahrbetrieb Lagerung, See- und Landtransport)	15 bis 100	%

Tabelle 3: Relative Luftfeuchte Fahrbetrieb, Lagerung, See- und Landtransport

Klimaklassen entsprechend /EN 60721-3-4/, /EN 60721-3-1/ und /EN 60721-3-2/: 4K3, 1K5, 2K4.

Parameter	Wert	Einheit
Relative Luftfeuchte (Luffrachtbedingungen)	20 bis 40	%

Tabelle 4: Relative Luftfeuchte Lufttransport

5.1.3 Lufttemperatur

Klimaklasse entsprechend /EN 60721-3-5/: 5K2 bzw. /DIN EN 50125-3/, Tabelle 2;
 Klimaklasse T1 (im Freien).

Parameter	Wert	Einheit
Lufttemperatur (Fahrbetrieb)	-25 bis + 40	°C

Tabelle 5: Lufttemperatur Fahrbetrieb

Klimaklassen entsprechend /EN 60721-3-1/ und /EN 60721-3-2/: 1K5, 2K4.

Parameter	Wert	Einheit
Lufttemperatur (Lagerung und Transport)	-40 bis + 70	°C

Tabelle 6: Lufttemperatur Lagerung und Transport

Parameter	Wert	Einheit
Jahresdurchschnittstemperatur Gemäßigte Zonen	10	°C
Jahresdurchschnittstemperatur Subtropische Zonen	20	°C

Tabelle 7: Jahresdurchschnittstemperaturen

5.1.4 Witterungswechsel im Verlaufe eines Tages

Parameter	Wert	Einheit
Temperaturwechsel pro Tag max.	40	K/Tag
Temperaturwechsel pro Tag im Mittel	15	K/Tag
Temperaturwechsel Betrieb max.	10	K/h
Temperaturwechsel Lagerung und Transport max.	20	K/h

Tabelle 8: Temperaturwechsel

Parameter	Wert	Einheit
Luftfeuchtigkeitswechsel max.	50	%

Tabelle 9: Luftfeuchtigkeitswechsel

Parameter	Wert	Einheit
Luftdruckwechsel max.	10	kPa

Tabelle 10: Luftdruckwechsel

5.1.5 Wind

Die Aufrechterhaltung des Fahrbetriebs mit der projektspezifisch festzulegenden Streckenhöchstgeschwindigkeit muss für diejenigen Windgeschwindigkeiten möglich sein, die unten für den "10-min Mittelwert für alle 10 Jahre" entsprechend Windlastzone II gemäß /DIN EN 1991-1-4 / angegeben sind.

Der Fahrbetrieb darf bei einer höheren Windgeschwindigkeit mit projektabhängigen betrieblichen Zusatzmaßnahmen (z.B. Reduktion der Fahrgeschwindigkeit) und/oder Sondermaßnahmen (z. B. bauliche Maßnahmen) fortgesetzt werden.

Regelwerte der Windgeschwindigkeiten in m/s für die Windlastzone II gemäß /DIN EN 1991-1-4/ in den Höhen von 5m, 10m und 20m:

Parameter	Wert	Einheit
Windgeschwindigkeit in Höhe 5m, max. 10-Min. Mittelwert		
pro Jahr	19,0	m/s
alle 10 Jahre	22,4	m/s
alle 50 Jahre	24,7	m/s
alle 100 Jahre	25,8	m/s

Tabelle 11: Windgeschwindigkeit in Höhe 5m, max. 10-Min. Mittelwert

Parameter	Wert	Einheit
Windgeschwindigkeit in Höhe 10m, max. 10-Min. Mittelwert		
pro Jahr	21,3	m/s
alle 10 Jahre	25,0	m/s
alle 50 Jahre	27,6	m/s
alle 100 Jahre	28,8	m/s

Tabelle 12: Windgeschwindigkeit in Höhe 10m, max. 10-Min. Mittelwert

Parameter	Wert	Einheit
Windgeschwindigkeit in Höhe 20m, max. 10-Min. Mittelwert		
pro Jahr	23,7	m/s
alle 10 Jahre	27,9	m/s
alle 50 Jahre	30,8	m/s
alle 100 Jahre	32,0	m/s

Tabelle 13: Windgeschwindigkeit in Höhe 20m, max. 10-Min. Mittelwert

Parameter	Wert	Einheit
Zugehörige Böengeschwindigkeit zur Höhe 5m		
pro Jahr 1- Sekundenwert	30,7	m/s
pro Jahr 5 - Sekundenwert	27,2	m/s
alle 10 Jahre -1 Sekundenwert	36,1	m/s
alle 10 Jahre -5 Sekundenwert	32,2	m/s

Tabelle 14: Zugehörige Böengeschwindigkeit zur Höhe 5m

Parameter	Wert	Einheit
Zugehörige Böengeschwindigkeit zur Höhe 10m		
pro Jahr 1- Sekundenwert	33,1	m/s
pro Jahr 5 - Sekundenwert	29,4	m/s
alle 10 Jahre -1 Sekundenwert	39,0	m/s
alle 10 Jahre -5 Sekundenwert	34,6	m/s

Tabelle 15: Zugehörige Böengeschwindigkeit zur Höhe 10m

Parameter	Wert	Einheit
Zugehörige Böengeschwindigkeit zur Höhe 20m		
pro Jahr 1- Sekundenwert	35,7	m/s
pro Jahr 5 - Sekundenwert	31,7	m/s
alle 10 Jahre -1 Sekundenwert	42,1	m/s
alle 10 Jahre -5 Sekundenwert	37,3	m/s

Tabelle 16: Zugehörige Böengeschwindigkeit zur Höhe 20m

Parameter	Wert	Einheit
Jährliche Einwirkdauer der 10- Minuten Mittelwerte in 10 m Höhe		
Windgeschwindigkeit > 10 m/s	74	h
Windgeschwindigkeit >17 m/s	3	h

Tabelle 17: Jährliche Einwirkdauer der 10- Minuten Mittelwerte in 10 m Höhe

5.1.6 Niederschläge

5.1.6.1 Regen

Grenzwert für Transport und Betrieb entsprechend /EN 60721-3-2/, /EN 60721-3-5/:2K4, 5K3 bzw. DIN EN 50125-3, Kapitel 4.6, gem. Klimaklasse T1.

Parameter	Wert	Einheit
Regenmenge - allgemein	6	mm/min
Regenmenge - Grenzwert für die Funkprojektierung	projektspezifisch *)	

**) Die Ausbreitungseigenschaften von Richtfunkstrecken, insbesondere bei höheren Frequenzen, sind unter anderem abhängig von Niederschlägen. Diese bewirken eine höhere Streckendämpfung, deshalb sind bei der Projektierung der Funkstrecken entsprechende Pegelreserven vorzuhalten. Regen hat den größten Einfluss auf die Streckendämpfung und wird deshalb bei der Ermittlung der Pegelreserve herangezogen. Die von dem Regen verursachte Streckendämpfung hängt neben anderen Faktoren wie z.B. die Verteilung der Tröpfchengröße, vorwiegend von der Regenrate, gemessen in mm/h, ab.*

Die Festlegung der Obergrenze für die Regenintensität bei der Funkprojektierung erfolgt aus den oben genannten Gründen nicht nach einer Klimaklasse, sondern auf Grund einer Analyse der Regenstatistiken des örtlichen Wetterdienstes. Neben der Regenrate ist für das jeweilige Projektgebiet auch die Auftretenswahrscheinlichkeit der Obergrenze zu ermitteln. Als Richtwert gilt hier, dass die festgelegte Obergrenze für die Regenrate mit einer zeitlichen Wahrscheinlichkeit von >99,99 % im Jahr nicht überschritten wird.

Es handelt sich hierbei nicht um einen Grenzwert im eigentlichen Sinne, dessen Überschreitung zwangsläufig zu einer Funktionsstörung des Systems führt. Vielmehr verringert sich im Allgemeinen jenseits dieses Richtwerts lediglich die Systemreserve bezüglich der Funkreichweite in einzelnen betroffenen Streckenabschnitten. Dies bleibt in der Regel ohne Einfluss auf den Fahrbetrieb.

Tabelle 18: Regenrate

5.1.6.2 Schnee

Parameter	Wert	Einheit
Tolerierbare Schneehöhe auf Fahrwegtisch	10	cm

Tabelle 19: Schneehöhe

5.1.6.3 Eis

Parameter	Wert	Einheit
Zulässige Fahrwegvereisung		
mittleren Schichtdicken auf der Gleitebene	10	mm
mittleren Schichtdicken im Trag-/Führbereich	5	mm
max. lokalen Schichtdicken, max. 2 m lang auf der Gleitebene	20	mm
lokalen Schichtdicken, max. 2 m lang im Trag-/Führbereich	10	mm

Tabelle 20: Zulässige Fahrwegvereisung

5.1.7 Sonneneinstrahlung

Klimaklassen entsprechend /EN 60721-3-1/ bis /EN 60721-3-5/: 1K4, 2K4, 4K3, 5K3 bzw. /DIN EN 50125-3/ Kapitel 4.9.

Parameter	Wert	Einheit
Maximale stündliche Globalstrahlung	1120	W/m ²

Tabelle 21: Sonneneinstrahlung (für Lagerung, Transport und Betrieb)

5.1.8 Atmosphärische Einflussgrößen

5.1.8.1 Regen

Parameter	Wert	Einheit
pH Wert Regen	3,4 bis 7,6 (Mittelwert bei 5,4) *	-

**: Der natürliche pH-Wert des Regens liegt bei ca. 5,5, während der pH-Wert von "Saurem Regen" in Deutschland in dem Bereich 4...4,6 liegt.
 Bei dieser Angabe zu dem pH-Wert des Regens handelt es sich um eine "sinnvolle" Festlegung mit einer "hinreichenden Sicherheitsreserve", die den in der Natur beobachteten durchschnittlichen Wertebereich des pH-Werts des Regens berücksichtigt.*

Tabelle 22: pH- Wert des Regens

Diese Angabe ist projektspezifisch zu prüfen und ggf. anzupassen.

5.1.8.2 Chemisch Aktive Stoffe

Schadstoffbelastung gemäß /EN 60721-3-4/ 4C3 für die Durchschnittswerte und /EN 60721-3-4/ 4C4 für die Spitzen- bzw. Grenzwerte. Anforderung für die Durchschnittswerte identisch mit /EN 50125-3/, Tabelle 4, starke Verschmutzung.

Umwelteinflussgröße	Mittelwert *	Grenzwert **	Einheit
Meersalz	Auftreten von Salznebel		---
Schwefeldioxid	5,0	40	mg/m ³
Schwefelwasserstoff	3,0	70	mg/m ³
Chlor	0,3	3,0	mg/m ³
Chlorwasserstoff	1,0	5,0	mg/m ³
Fluorwasserstoff	0,1	2,0	mg/m ³
Ammoniak	10	175	mg/m ³
Ozon	0,1	2,0	mg/m ³
Stickoxide (angegeben in Äquivalentwerten zu Stickstoffdioxid)	3,0	20	mg/m ³
*) Angaben entsprechen den Mittelwerten der Klasse 4C3 von EN 60721-3-4			
**) Angaben entsprechen den Mittelwerten der Klasse 4C3 von EN 60721-3-4			

Tabelle 23: Luft, Belastung durch chemisch aktive Stoffe

5.1.8.3 Mechanisch aktive Stoffe

Belastung durch mechanisch aktive Stoffe gemäß /EN 60721-3-4/.

Umwelteinflussgröße	Klasse		Einheit
	4S1 *	4S2 **	
Sand in der Luft	30	300	mg/m ³
Staub (Schwebstoffgehalt)	0,5	5	mg/m ³
Staub (Niederschlag)	15,0	20	mg / (m ² h)
*) Einsatzort in schwach besiedelten Gebieten, nicht in der Nähe von Sandquellen			
**) Einsatzort in Gebieten mit Sand- oder Staubquellen, einschließlich Gebiete mit hoher Siedlungsdichte			

Tabelle 24: Luft, Belastung durch mechanisch aktive Stoffe

5.1.9 Blitz

Das MSB-System muss gegenüber den im folgenden spezifizierten Blitzeinwirkungen geschützt sein.

Bezüglich des baulichen Blitzschutzes müssen die örtlich geltenden Bauvorschriften angewendet werden.

5.1.9.1 Häufigkeit

Parameter	Wert	Einheit
Blitzeinschläge	20 *	Anzahl pro Quadratkilometer/Jahr

*) Bei dieser Angabe zu der Blitzhäufigkeit handelt es sich um eine sinnvolle Festlegung mit einem hinreichenden "Sicherheitsabstand" zu den durchschnittlichen, in der Natur beobachteten "Blitzeigenschaften" auf Basis von /WIESINGER/.

Tabelle 25: Häufigkeit der Blitzeinschläge

5.1.9.2 Intensität

Entsprechend /DIN EN 62305-1/ (VDE 0185-305-1)

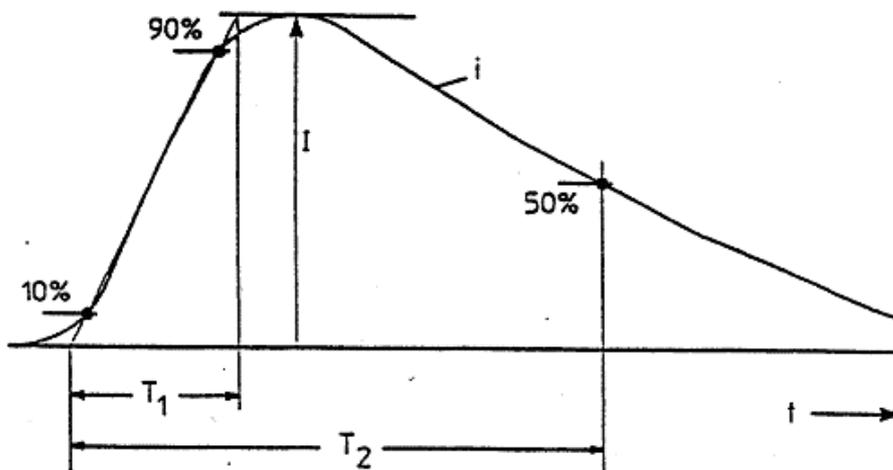


Abbildung 1: Erster Blitzentladungsstoß und Folgeentladungsstoß

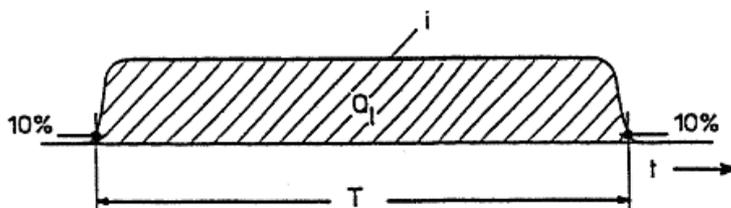


Abbildung 2: Langzeitentladungsstoß

5.1.9.3 Blitzstromparameter des ersten Blitzentladestoßes

Parameter	Wert	Einheit
Spitzenstrom I	200	kA
Stirnzeit T ₁	10	µs
Rückenhalfwertzeit T ₂	350	µs
Ladung des Kurzzeitentladestoßes Q _s	100	C
Spezifische Energie W/R	10	MJ/Ω

Tabelle 26: Blitzstromparameter des ersten Blitzentladestoßes (siehe Abbildung 1)

5.1.9.4 Blitzstromparameter des Folgeentladungsstoßes

Parameter	Wert	Einheit
Spitzenstrom I	50	kA
Stirnzeit T ₁	0,25	µs
Rückenhalfwertzeit T ₂	100	µs
Mittlere Steilheit I/T ₁	200	kA/µs

Tabelle 27: Blitzstromparameter des Folgeentladungsstoßes (siehe Abbildung 1)

5.1.9.5 Blitzstromparameter des Langzeitentladungsstoßes

Parameter	Wert	Einheit
Ladung Q _i	200	C
Dauer T	0,5	s

Tabelle 28: Blitzstromparameter des Langzeitentladungsstoßes (siehe Abbildung 2)

5.1.9.6 Elektrische und magnetische Feldstärken

Parameter	Wert	Einheit
dH/dt	3,2*10 ¹¹	A/(m*s)
H	3,2*10 ⁵	A/m
dE/dt	5,0 * 10 ¹¹	V/(m*s)
E	5*10 ⁵	V/m

Tabelle 29: Abstand vom Hauptblitzstrompfad: 0,1 m

Parameter	Wert	Einheit
dH/dt	$3,2 \cdot 10^{10}$	A/(m*s)
H	$3,2 \cdot 10^4$	A/m
dE/dt	$5,0 \cdot 10^{11}$	V/(m*s)
E	$5 \cdot 10^5$	V/m

Tabelle 30: Abstand vom Hauptblitzstrompfad: 1 m

5.2 Erdbeben

Bei der Dimensionierung der Bauten müssen hinsichtlich der Erdbebensicherheit projektspezifisch die örtlichen Bauvorschriften berücksichtigt werden. Für Projekte in Deutschland müssen projektspezifisch die entsprechenden Erdbebenstärken nach /DIN 4149/, "Bauten in deutschen Erdbebengebieten" ermittelt und bei der Dimensionierung der Bauten zugrunde gelegt werden.

5.3 Störfestigkeit gegenüber elektromagnetischen Störgrößen

Die Störfestigkeit der MSB -Teilsysteme vor einwirkenden Störgrößen muss grundsätzlich der europäischen Norm DIN EN 50121 (Elektromagnetische Verträglichkeit; Bahnanwendungen) entsprechen. Die bestimmungsgemäßen Leistungsmerkmale des MSB-Systems dürfen bei Störfeldstärken und leitungsgebundenen Störgrößen bis zu den im folgenden angegebenen Grenzwerten nicht beeinträchtigt werden.

Teilsysteme	Grenzwerte gemäß Norm
Ortsfeste Anlagen und Einrichtungen für den Antrieb und Energieversorgung	DIN EN 50121-5
Fahrzeug	DIN EN 50121-3-1
in Fahrzeuge eingebaute Geräte	DIN EN 50121-3-2
Signal- und Telekommunikationseinrichtungen inkl. BLT- Funk	DIN EN 50121-4

Tabelle 31: Europäische Normen zur Störfestigkeit der MSB –Teilsysteme

6 Spezifikation der Parameter zu der Sekundärumwelt

In diesem Kapitel werden die Parameter zur Sekundärumwelt für die Teilsysteme MSB-Fahrzeug und Betriebsanlagen angegeben. Dafür werden die Umwelträume und EMV-/ Blitzschutz zonen gemäß /DIN EN 62305-1/ (VDE 0185-305-1) spezifiziert.

Die nachfolgend angegebenen Werte basieren auf Betriebserfahrungen zur Sekundärumwelt. Die Vorgaben in diesem Dokument stellen den aktuellen Kenntnisstand dar und müssen projektspezifisch bestätigt bzw. geändert und verifiziert werden. Geänderte Werte müssen in der projektspezifischen Dokumentation (Lieferspezifikation, Technische Berichte) angegeben werden. Wird keine explizite Vereinbarung getroffen, gelten die Werte dieses Dokumentes.

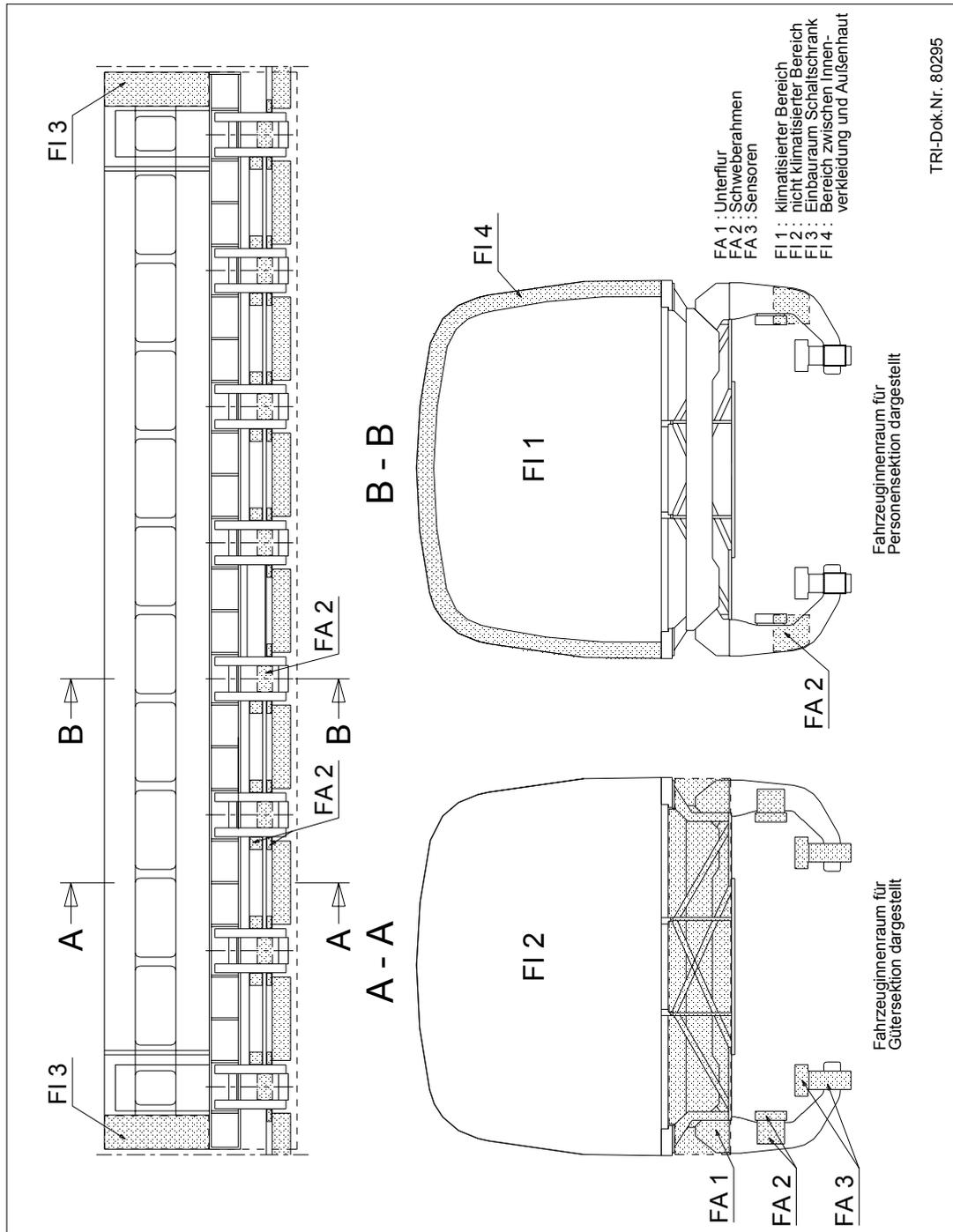
Die diesem Dokument zu Grunde liegenden Betriebserfahrungen beziehen sich auf die MSB-Fahrzeuge TR07 und TR08 auf der TVE sowie auf das Transrapid-Projekt Shanghai.

Die Parameter für die EMV- / Blitzschutz zonen müssen die strahlungsgebundene elektromagnetische Beeinflussung, die durch Blitzschlag, sowie durch feldgebundene Störeinwirkungen aller Art z.B. Funksender verursacht werden, berücksichtigen.

6.1 Sekundärumwelt im MSB-Fahrzeug

Die nachfolgend aufgeführten Anforderungen gelten für alle Komponenten und Anbauteile im und am MSB-Fahrzeug.

Die Umwelträume MSB-Fahrzeugs werden in Abbildung 3 dargestellt.



TRI-Dok.Nr. 80295

Abbildung 3: Umwelträume des MSB- Fahrzeugs (Anordnung beispielhaft)

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Gesamtsystem Anlage 3 Umweltbedingungen

Dok.-Nr.: 67285 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 21 von 42

Fahrzeug Außenraum (FA):

- Unterflur (FA1),
Einbauraum für elektrische/elektronische Baugruppen, Kabelkanal, Einrichtungen zur Pneumatikversorgung
- Schweberahmen (FA2),
 - Einbauraum für Führungsmagnete
 - Einbauraum für Bremsmagnete
 - Einbauraum für Sensorelektronik
 - Verkleidungstechnik und Strukturmechanik Schweberahmen
- Einbauraum (FA3) für
 - Tragsmagnete
 - Sensoren.

Fahrzeug Innenraum (FI):

- Klimatisierter Bereich (FI1),
Einbauraum für Service-/Kommunikations-/Bedieneinrichtungen
- Nicht klimatisierter Bereich (FI2)
Einbauraum für Verladeeinrichtungen
- Schaltschrank Fahrzeugsektion (FI3)
Einbauraum für Steuerungs-/Sicherheitseinrichtungen
- Decke/Seitenwand hinter Verkleidung (FI4)
Einbauraum für Leitungen, Beleuchtung.

6.1.1 Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung

6.1.1.1 Fahrzeug - Außenräume (FA)

6.1.1.1.1 Außenraum - Unterflur (FA1)

Parameter	Wert	Einheit
Temperatur		
min. Betriebstemperatur für Elektronik-Bauteile/Batterien*)	-25	°C
max. Temperaturerhöhung gegenüber Primärumwelt	10	K
mittlere Temperaturerhöhung gegenüber Primärumwelt	5	K

*) Bei Anwendung mit Außenlufttemperatur -25 °C bis -40 °C ist sicherzustellen, dass

- die min. Betriebstemperatur der Bauteile im Fahrbetrieb nicht unterschritten wird
- abgestellte Fahrzeuge vor Aufrüsten und während der Bereitstellung für den Fahrbetrieb nicht unter -25 °C abkühlen.

Parameter	Wert	Einheit
Feuchtigkeit (relative Luftfeuchte)		
im Jahresmittel	≤90	%
Höchstwert an 30 über das Jahr verteilten Tagen andauernd	100	%
Betauung	ja	-

Parameter	Wert	Einheit
Verschmutzung		
Verschmutzungsgrad gemäß /DIN EN 60664-1/	4	-
Schutzklasse für Einbaugeräte gemäß /DIN EN 60529/	IP 65	-

Tabelle 32: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FA1

6.1.1.1.2 Außenraum - Schweberahmen (FA2)

Parameter	Wert	Einheit
Temperatur		
min. Betriebstemperatur für Elektronik-Bauteile/Batterien*)	-25	°C
max. Temperaturerhöhung gegenüber Primärumwelt	10	K
mittlere Temperaturerhöhung gegenüber Primärumwelt	5	K

*) Bei Anwendung mit Außenlufttemperatur <-25 °C bis -40 °C ist sicherzustellen, dass

- die min. Betriebstemperatur der Bauteile im Fahrbetrieb nicht unterschritten wird,
- abgestellte Fahrzeuge vor Aufrüsten und während der Bereitstellung für den Fahrbetrieb nicht unter -25 °C abkühlen.

Parameter	Wert	Einheit
Feuchtigkeit (relative Luftfeuchte)		
im Jahresmittel	≤90	%
Höchstwert an 30 über das Jahr verteilten Tagen andauernd	100	%
Betauung	ja	-

Parameter	Wert	Einheit
Verschmutzung		
Verschmutzungsgrad gemäß /DIN EN 60664-1/	4	-
Schutzklasse für Einbaugeräte gemäß /DIN EN 60529/	IP 65	-

Tabelle 33: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FA2

6.1.1.1.3 Außenraum - Einbauraum für Tragsmagnete, Sensoren (FA3)

Parameter	Wert	Einheit
Temperatur		
min. Betriebstemperatur für Elektronik-Bauteile/ Batterien*)	-25	°C
max. Temperaturerhöhung gegenüber Primärumwelt Einbauraum für Sensorelektronik im Magnetrücken	25	K
max. Temperaturerhöhung gegenüber Primärumwelt Einbauraum für Sensoren im Magnetpolbereich auf der der Wicklung zugewandten Seite	80	K
mittlere Temperaturerhöhung gegenüber Primärumwelt Einbauraum für Sensorelektronik im Magnetrücken	10	K
mittlere Temperaturerhöhung gegenüber Primärumwelt Einbauraum für Sensoren im Magnetpolbereich auf der der Wicklung zugewandten Seite	30	K

*) Bei Anwendung mit Außenlufttemperatur < -25 °C bis -40 °C ist sicherzustellen, dass

- die min. Betriebstemperatur der Bauteile im Fahrbetrieb nicht unterschritten wird,
- abgestellte Fahrzeuge vor Aufrüsten und während der Bereitstellung für den Fahrbetrieb nicht unter -25 °C abkühlen.

Parameter	Wert	Einheit
Feuchtigkeit (relative Luftfeuchte)		
im Jahresmittel	≤90	%
Höchstwert an 30 über das Jahr verteilten Tagen andauernd	100	%
Betauung	ja	-

Parameter	Wert	Einheit
Verschmutzung		
Verschmutzungsgrad gemäß /DIN EN 60664-1/	4	-
Schutzklasse für Einbaugeräte gemäß /DIN EN 60529/	IP 65	-

Tabelle 34: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FA3

6.1.1.2 Fahrzeug - Innenräume (FI)

6.1.1.2.1 Innenraum - Klimatisierter Bereich (FI1)

Parameter	Wert	Einheit
Temperatur		
min. Innenraumtemperatur *)	5	°C
mittlere Temperatur im Fahrbetrieb (Klimaanlage aktiv)	**)	
max. Temperaturerhöhung gegen über Primärumwelt im Fahrbetrieb (Klimatisierung inaktiv)	10	K

*) In Betriebspausen abgestellte Fahrzeuge werden so klimatisiert, dass die min. Innenraumtemperatur eingehalten wird. Instandhaltung mit Abrüsten der Fahrzeuge erfolgt in beheizter Halle. Prüfung der min. Innenraumtemperatur nach Instandhaltung mit abgeschalteter Klimatisierung gemäß Instandhaltungshandbuch.

***) Die mittlere Raumtemperatur folgt dem in Anhang A von /DIN EN 14750-1/ dargestellten Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Außentemperatur.

Parameter	Wert	Einheit
Feuchtigkeit (relative Luftfeuchte)		
im Jahresmittel	≤65	%
Höchstwert an 60 über das Jahr verteilten Tagen andauernd	85	%
Betauung	nein	-

Parameter	Wert	Einheit
Verschmutzung		
Verschmutzungsgrad gemäß /DIN EN 60664-1/	2	-
Schutzklasse gemäß /DIN EN 60529/	IP 54	-

Tabelle 35: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FI1

6.1.1.2.2 Innenraum - Nicht klimatisierter Bereich (FI2)

Parameter	Wert	Einheit
Temperatur		
min. Innenraumtemperatur	-25	°C
mittlere Temperatur im Fahrbetrieb (Klimaanlage aktiv)	-----	-
max. Temperaturerhöhung gegen über Primärumwelt im Fahrbetrieb (Klimatisierung inaktiv)	10	K

Parameter	Wert	Einheit
Feuchtigkeit (relative Luftfeuchte)		
im Jahresmittel	≤65	%
Höchstwert an 60 über das Jahr verteilten Tagen andauernd	85	%
Betauung	leichte Betauung	-

Parameter	Wert	Einheit
Verschmutzung		
Verschmutzungsgrad gemäß /DIN EN 60664-1/	2	-
Schutzklasse gemäß /DIN EN 60529/	IP 54	-

Tabelle 36: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FI2

6.1.1.2.3 Innenraum - Schaltschrank Fahrzeugsektion (FI3)

Parameter	Wert	Einheit
Temperatur		
min. Innenraumtemperatur *)	5	°C
mittlere Temperatur im Fahrbetrieb (Klimaanlage aktiv)	25	°C
max. Temperaturerhöhung gegenüber Primärumwelt im Fahrbetrieb (Klimatisierung inaktiv).**)	10	K
max. Temperaturerhöhung gegenüber Primärumwelt im Fahrbetrieb (Klimatisierung inaktiv ***)	5	K

*) In Betriebspausen abgestellte Fahrzeuge werden so klimatisiert, dass die min. Innenraumtemperatur eingehalten wird. Instandhaltung mit Abrüsten der Fahrzeuge erfolgt in beheizter Halle. Prüfung der min. Innenraumtemperatur nach Instandhaltung mit abgeschalteter Klimatisierung gemäß Instandhaltungshandbuch.

**)Prüfung der Innenraumtemperatur nach Instandhaltung mit abgeschalteter Klimatisierung gemäß Instandhaltungshandbuch.

***)Bei Anwendung mit Außenlufttemperatur > 40 °C bis 45 °C erfolgt Belüftung des Einbauraums mit Umgebungsluft.

Parameter	Wert	Einheit
Feuchtigkeit (relative Luftfeuchte)		
im Jahresmittel	≤65	%
Höchstwert an 60 über das Jahr verteilten Tagen andauernd	85	%
Betauung	nein	-

Parameter	Wert	Einheit
Verschmutzung		
Verschmutzungsgrad gemäß /DIN EN 60664-1/	2	-
Schutzklasse gemäß /DIN EN 60529/	IP 54	-

Tabelle 37: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FI3

6.1.1.2.4 Innenraum - Decke/Seitenwand hinter Verkleidung (FI4)

Parameter	Wert	Einheit
Temperatur		
min. Innenraumtemperatur	- 25	°C
mittlere Temperatur im Fahrbetrieb (Klimaanlage aktiv)	-----	-
max. Temperaturerhöhung gegenüber Primärumwelt im Fahrbetrieb(Klimatisierung inaktiv)	15	K

Parameter	Wert	Einheit
Feuchtigkeit (relative Luftfeuchte)		
im Jahresmittel	≤65	%
Höchstwert an 60 über das Jahr verteilten Tagen andauernd	85	%
Betauung	nein	-

Parameter	Wert	Einheit
Verschmutzung		
Verschmutzungsgrad gemäß /DIN EN 60664-1/	2	-
Schutzklasse gemäß /DIN EN 60529/	IP 54	-

Tabelle 38: Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung in FI4

6.1.2 Mechanische Anregung

Das Fahrzeug wird bei der Überfahrt über die Träger zu Schwingungen angeregt. Die unten angegebenen Werte sind als Einwirkungen auf die Bauteile der Außenräume zu verstehen.

Quelle	Länge	Max. Frequenz *)
Feldweite Fahrwegträger, Trägervorkrümmung und langwellige Abweichung von der Soll-Lage	31 m	4,5 Hz
Statorpaket, Einbautoleranz	1,032 m	135 Hz
Statornutteilung	86 mm	1,6 kHz

*) Ggf. Minderung der Einwirkung, wenn in dem betreffenden Anwendungsprojekt eine geringere Fahrzeughöchstgeschwindigkeit als 500 km/h vorgesehen ist.

Tabelle 39: Quelle der Schwingungsanregung bei $v = 500$ km/h.

Die Einwirkungen durch Schwingung und Schock werden in /MSB AG-FZ BEM/ angegeben.

6.1.3 ESD-Schutz

Die Sekundärumwelt im Fahrzeug kann bei berührungsfreiem Schweben gegenüber den stationären Anlagen elektrostatisch aufgeladen werden. Die elektrostatische Entladung der Sekundärumwelt im Fahrzeug muss unter dem Aspekt des Personenschutzes so erfolgen, dass die nach der Entladung verbleibende Energie gemäß §17, Absatz 4 der MbBO kleiner als 350 mJ ist.

6.1.4 EMV- / Blitzschutz

6.1.4.1 Definition von EMV-/ Blitzschutzzonen

Die EMV- / Blitzschutzzonen sind durch elektromagnetische Schirme voneinander zu trennen.

Leitungen, die die Zonengrenzen überschreiten, müssen mit Schutzbeschaltungen versehen werden.

Es sind vier EMV- / Blitzschutzzonen für das Fahrzeug definiert, die Zonen sind durch folgende Bedrohungen charakterisiert (s. Abbildung 6) :

Zone 0_A

- Direkter Blitzeinschlag möglich.
- Haupt- und Teilblitzstrompfade befinden sich in der Zone
- Ungedämpfte Feldeinwirkung

Zone 0_B

- Kein direkter Blitzeinschlag möglich
- Keine Haupt- und Teilblitzstrompfade
- Nahezu ungedämpfte Feldeinwirkung

Zone 1

- Kein direkter Blitzeinschlag möglich
- Keine Haupt- und Teilblitzstrompfade
- Die Dämpfung der Felder muss den folgenden Minimalwerten genügen:
 - für magnetische Felder: gemäß Abbildung 4
 - für elektrische Felder: gemäß Abbildung 5

Zone 2

- Kein direkter Blitzeinschlag möglich
- Keine Haupt- und Teilblitzstrompfade
- Die Dämpfung der Felder muss den folgenden Minimalwerten genügen:
 - für magnetische Felder bezogen auf Zone 0_A: gemäß Abbildung 4
 - für magnetische Felder bezogen auf Zone 1: gemäß Abbildung 4
 - für elektrische Felder bezogen auf Zone 0_A: gemäß Abbildung 5
 - für elektrische Felder bezogen auf Zone 1: gemäß Abbildung 5

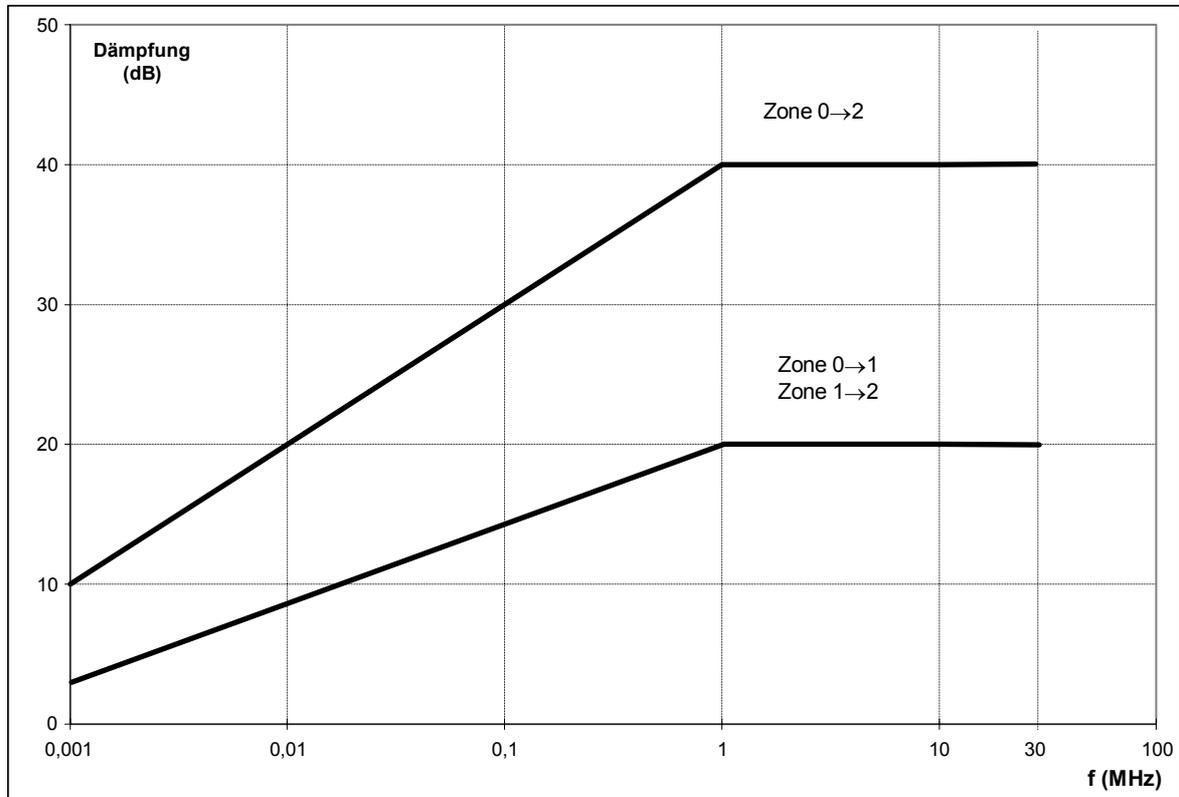


Abbildung 4: Dämpfung des magnetischen Feldes

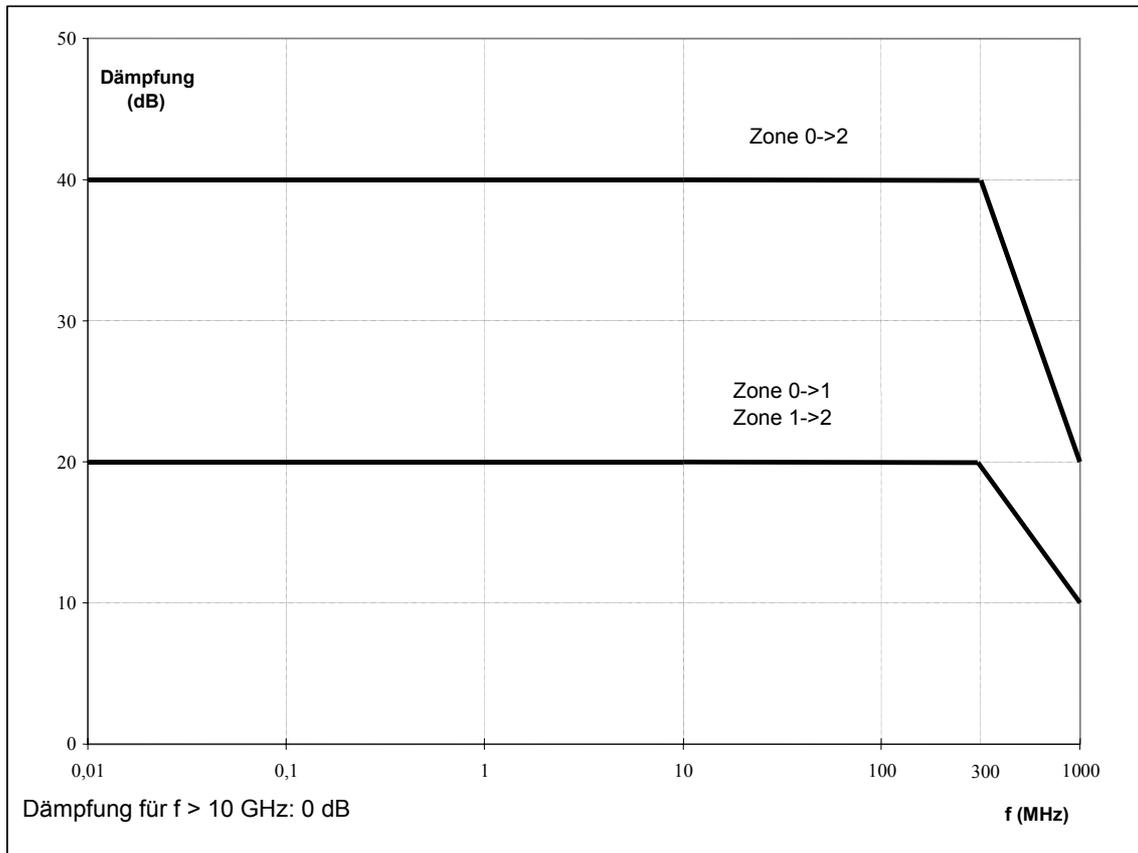


Abbildung 5: Dämpfung des elektrischen Feldes

6.1.4.2 Zuordnung der EMV - / Blitzschutz zonen zu den Einbauräumen

Die EMV- / Blitzschutz zonen werden den Einbauräumen wie folgt zugeordnet:

Zone 0_A

- Außenbereich
- Ungeschirmter bzw. ungeschützter Unterflurbereich

Zone 0_B

- Wagenkasteninneres, außerhalb von Schaltschränken und sonstigen Schirmen
- von Haupt- und Teilblitzströmen geschützter Unterflurbereich

Zone 1

- Geschirmte Kabelkanäle
- Innenraum von Schaltschränken im Wagenkasteninneren
- Adern innerhalb einfach geschirmter Kabel
- Gehäuseinnenräume

Zone 2

Gehäuse- oder Kabelschirminneres. Die Gehäuse und Kabel können sich in den Zonen 0_A, 0_B oder 1 befinden. Die geforderten Schirmdämpfungswerte sind einzuhalten.

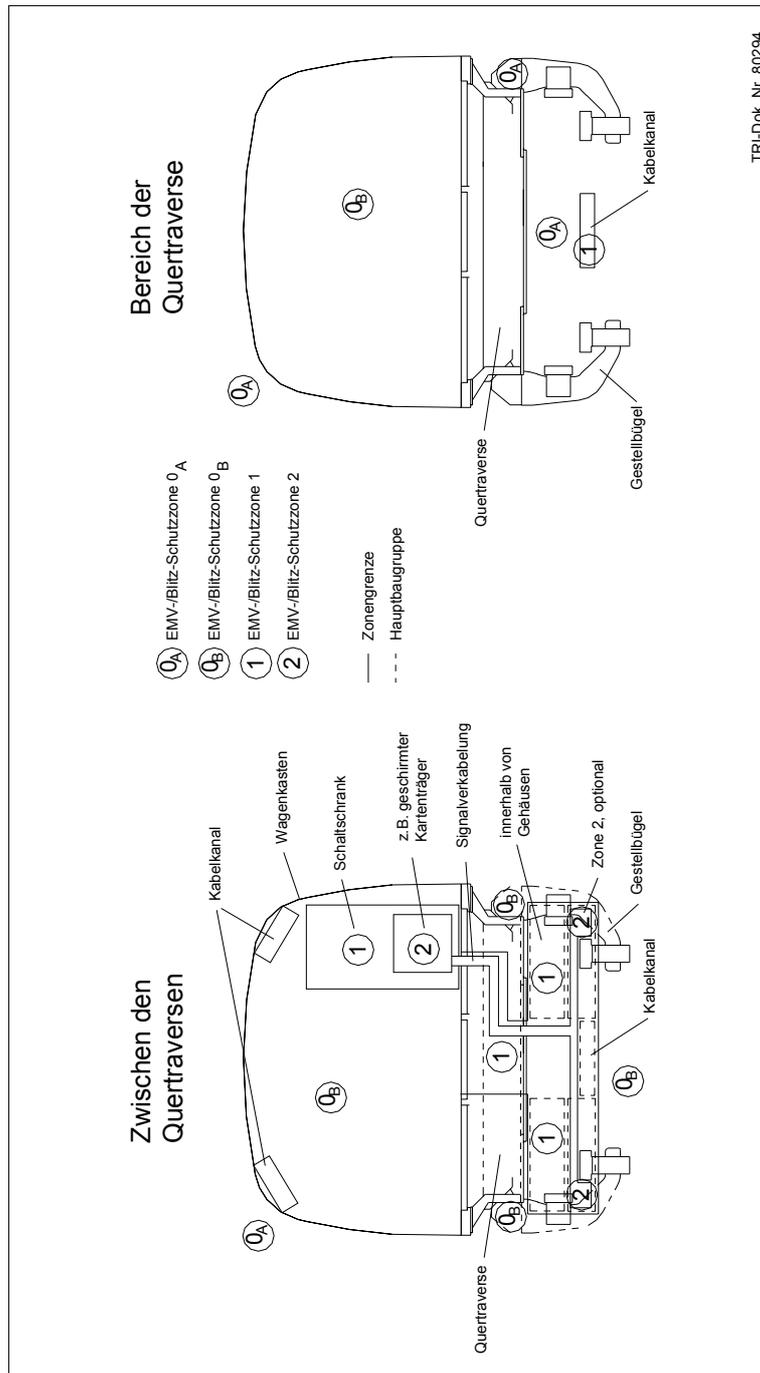


Abbildung 6: EMV- / Blitzschutz zonen des MSB-Fahrzeugs

6.1.4.3 Direkter Blitzschlag - Bedrohungswerte für EMV - / Blitzschutzzone 0_A

Bei Blitzeinschlag in das Fahrzeug ist mit mindestens zwei Blitzübertrittsstellen pro Blitzstoßstrom und damit mit mindestens zwei Blitzstrompfaden zu rechnen.

Bei der Auslegung der blitzstromführenden Potentialausgleichsleiter, der Schirmungsmaßnahmen und der Elektronikkomponenten wird von zwei Teilblitzstoßströmen mit gleichen Blitzparametern ausgegangen.

Daraus ergeben sich folgende Reduktionsfaktoren gegenüber den in dem Kapitel 5.1.9 angegebenen Blitzparametern:

- Blitzstromscheitelwert: 2
- Blitzstoßladung: 2
- Spezifische Blitzenergie: 4

Beim Langzeitstrom werden die Parameter aus dem Kapitel 5.1.9 herangezogen.

Bei der Festlegung der Grenzwerte für die Blitzbedrohung wird von einem Mindestabstand der Senke von Blitzstrompfaden von 0,1 m ausgegangen.

Der Mindestabstand ist konstruktiv zu gewährleisten. Bei größerem Abstand verringern sich die Bedrohungswerte proportional zum Abstand.

Aus dem Abstand und den maximalen Blitzstromwerten I bzw. dI/dt werden die maximalen magnetischen Feldbedrohungswerte H bzw. dH/dt gemäß /DIN EN 62305-4/ angegeben.

H und I sind aus dem Erstblitz, dH/dt und dI/dt sind aus den Folgeblitzen abgeleitet.

Das elektrische Feld E bzw. dE/dt ist bei Blitzschlag gemäß / DIN EN 62305-4/ im Abstand bis zu etwa 100 m vom Einschlagpunkt weitestgehend abstandsunabhängig.

6.1.4.3.1 Blitzstrom

Blitzstrom (s. Abbildung 2 und Abbildung 1):

Parameter	Wert	Einheit
Spitzenstrom I	100	kA
Ladung des Kurzzeitentladungsstoßes Q_s	50	C
Spezifische Energie W/R	2,5	MJ/ Ω

Tabelle 40: Blitzstromparameter des ersten Blitzentladungsstoßes

Parameter	Wert	Einheit
Spitzenstrom I	25	kA
Mittlere Steilheit I/T_1	100	kA/ μ s

Tabelle 41: Blitzstromparameter des Folgeentladungsstoßes

Parameter	Wert	Einheit
Stromscheitelwert Hauptblitzstrompfad	100	kA
Stromscheitelwert Teilblitzstrompfad	5	kA
Stromverlauf	wie erster Blitzentladungsstoß siehe Abbildung 1	-

Tabelle 42: Ströme in Blitz- und Teilblitzstrompfaden

6.1.4.3.2 Felder und induzierte Spannungen

Parameter	EMV- / Blitzschutzzonen				Einheit
	0 _A	0 _B	1	2	
dH/dt	$1,6 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^9$	A/ms
H	$1,6 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$	$6,3 \cdot 10^4$	A/m
dE/dt	$5,0 \cdot 10^{11}$	$<5,0 \cdot 10^{11}$	$<5,0 \cdot 10^{10}$	$<5,0 \cdot 10^9$	V/ms
E	$5,0 \cdot 10^5$	$<5,0 \cdot 10^5$	$<5,0 \cdot 10^4$	$<5,0 \cdot 10^3$	V/m

Tabelle 43: Felder und Feldänderungen; Abstand vom Blitzstrompfad: 0,1 m

Parameter	EMV- / Blitzschutzzonen				Einheit
	0 _A	0 _B	1	2	
dH/dt	$1,6 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^9$	$1,6 \cdot 10^8$	A/ms
H	$1,6 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^3$	A/m
dE/dt	$5,0 \cdot 10^{11}$	$<5,0 \cdot 10^{11}$	$<5,0 \cdot 10^{10}$	$<5,0 \cdot 10^9$	V/ms
E	$5,0 \cdot 10^5$	$<5,0 \cdot 10^5$	$<5,0 \cdot 10^4$	$<5,0 \cdot 10^3$	V/m

Tabelle 44: Felder und Feldänderungen; Abstand vom Blitzstrompfad: 1 m

Parameter	EMV- / Blitzschutzzonen				Einheit
	0 _A	0 _B	1	2	
U _{ind} in 10x10 cm-Messschleife mit einer Windung	2 000	2 000	200	20	V
U _{ind} in zweiadriges Kabel, Aderabstand: 1 cm, Länge: 1 m	20 000	20 000	2 000	200	V

Tabelle 45: Induzierte Spannungen durch Magnetfeld bei Blitzschlag; Abstand vom Blitzstrompfad: 0,1 m

Parameter	EMV- / Blitzschutz zonen				Einheit
	0 _A	0 _B	1	2	
U _{ind} in 10x10 cm-Messschleife mit einer Windung	200	2 00	20	2	V
U _{ind} in zweiadriges Kabel, Aderabstand: 1 cm, Länge: 1 m	2 000	2 000	200	20	V

Tabelle 46: Induzierte Spannungen durch Magnetfeld bei Blitzschlag; Abstand vom Blitzstromfad: 1 m

6.1.4.3.3 Strahlungsgebundene Störungen

Die Störfestigkeit des MSB-Fahrzeugs gegenüber strahlungsgebundenen Störeinträgen muss den Anforderungen von /DIN EN 50121/ Teil 3-1 entsprechen. Für die strahlungsgebundene Störfestigkeit von im Fahrzeug eingebauten Geräten und Einrichtungen müssen die Anforderungen von /DIN EN 50121/ Teil 3-2 erfüllt sein. Durch konstruktive Maßnahmen müssen die oben genannten Anforderungen dauerhaft sichergestellt werden.

6.1.4.3.3.1 Grenzwerte der Störfestigkeit für hochfrequente Felder

Parameter	EMV- / Blitzschutz zonen			
	0 _A	0 _B	1	2
Feldstärken in [V/m]				
Frequenzbereich 0,15 MHz - 1 GHz	20	20	< 12	< 1,2
Frequenzbereich 1-4 GHz				
<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeuginnenraum (FI1-FI3) - bei 0,2 m Mindestabstand zu Mobilfunkgeräten - • Unterflurbereich (FA1-FA3) - bei 0,4 m Mindestabstand zu Mobilfunkgeräten - 	20	20	< 20	< 20
Frequenzbereich 37-39,5 GHz				
<ul style="list-style-type: none"> - Fahrzeuginnenraum (FI1-FI3) - Unterflurbereich (FA1-FA3) - Feldstärken gegenüber Primärumwelt stark reduziert, da die Blitzschutz zonen nicht im Bereich des Funkstrahles liegen - 	0,21	0,21	< 0,21	< 0,21

Tabelle 47: Elektromagnetische Störfeldstärken in den EMV- / Blitzschutz zonen

6.1.4.3.3.2 Grenzwerte der Störfestigkeit für magnetische Felder

Parameter	EMV- / Blitzschutz zonen			
	0 _A	0 _B	1	2
Magnetische Dauerfeldstärke in [A/m]				
16 2/3 Hz	100	100	100	100
50 Hz	100	100	100	100

Tabelle 48: Magnetische Störfeldstärke in den EMV- / Blitzschutz zonen

Es ist davon auszugehen, dass die Felder in der Zone 0_B gegenüber Zone 0_A durch den Wagenkasten gedämpft werden. Da jedoch die Wagenkastendämpfung im Einzelnen nicht gemessen wurde, wird sie konservativ mit 0 dB d. h. ohne Dämpfung angenommen.

In den Pegelwerten der Zone 0_B sind mögliche Raumresonanzen im Fahrzeuginnenraum und die Felder von Mobilfunkgeräten enthalten.

Durch konstruktive Reserven und/oder Instandhaltung bleibt die Schirmdämpfung in den Zonen 1 und 2 erhalten.

6.2 Sekundärumwelt in Betriebsanlagen

Der bestimmungsgemäße Betrieb der im folgenden angegebenen Betriebsanlagen muss innerhalb der in den folgenden Unterkapiteln spezifizierten Sekundärumweltbedingungen gewährleistet sein.

6.2.1 Sekundärumwelt am Langstator

Die nachfolgenden, für die Langstatorwicklung genannten Umweltbedingungen gelten sinngemäß auch für andere Ausrüstungs- und Anbauteile der Fahrwegträger.

Es muss berücksichtigt werden, dass die Sekundärumweltbedingungen von der Ausführung der Fahrwegträger und der Unterbauten abhängen.

Die nachfolgenden Werte müssen projektspezifisch überprüft und festgelegt werden.

6.2.1.1 Temperatur

Parameter	Wert	Einheit
Max. Temperaturerhöhung des Langstator-Einbauraums gegenüber Primärumwelt	5	K

Tabelle 49: Temperatur

6.2.1.2 Mechanische Beanspruchung der Langstatorwicklung

Zur Erfassung der mechanischen Beanspruchung müssen folgende Einwirkungen aus dem Fahrwegträger berücksichtigt werden:

- Einwirkungen aus der statischen und dynamischen Verformung des Trägers infolge des Betriebs sowie aus Eigenschwingungen des Trägers, die insbesondere bei langsamer Fahrt eines MSB-Fahrzeuges angeregt werden können.
- Einwirkungen aus Verformung des Trägers infolge Temperaturänderungen
 - Längsdehnung
 - Verformung durch inhomogene Temperaturverteilung
- Verformung der Unterbauten infolge Betrieb (Antreiben/Bremsen)

Zur Erfassung der mechanischen Beanspruchung der jeweiligen Ausrüstungs- und Anbauteile muss zusätzlich deren Eigenschwingungsverhalten berücksichtigt werden.

Parameter	Wert	Einheit
Einwirkung durch Schwingung des Fahrwegträgers auf die Langstatorwicklung		
max. Frequenz	35	Hz
Beschleunigung in x-Richtung (RMS)	20	m/s ²
Beschleunigung in y-Richtung (RMS)	50	m/s ²
Beschleunigung in z-Richtung (RMS)	50	m/s ²
Tägliche Dauer der Einwirkung (akkumuliert)	5	min

Tabelle 50: Typische Schwingungseinwirkungen auf den Langstator

Parameter	Wert	Einheit
Mechanische Bewegung an den Trägerstößen		
Grenzwerte der Abweichung vom Nennmaß	-32 bis +63	mm

Tabelle 51: Abweichung vom Nennmaß an den Trägerstößen

Parameter	Wert	Einheit
Bewegungszyklus an den Trägerstößen durch die Temperaturganglinie		
maximale tägliche Trägerdehnpaltänderung in x-Richtung	30	mm
mittlere tägliche Trägerdehnpaltänderung in x-Richtung	12	mm
mittlere jährliche Trägerdehnpaltänderung in x-Richtung	12	mm

Tabelle 52: Thermischer Einfluss an den Trägerstößen

Parameter	Wert	Einheit
Bewegungszyklus durch Einwirkungen aus Betrieb		
max. Anzahl der Zyklen	200	1/Tag
min. Zykluszeit, resultierend aus min. Zuglänge	1	s
maximale Trägerdehnspaltänderung in x-Richtung (bei max. Geschwindigkeit)	3,5	mm
mittlere Trägerdehnspaltänderung in x-Richtung (bei max. Geschwindigkeit)	2	mm

Tabelle 53: Einfluss aus Fahrzeug-Beschleunigung und -verzögerung und resultierende Trägerdehnspaltänderung

6.2.1.3 Verschmutzungsgrad

Die Anforderungen von /DIN EN 60664-1/ für Verschmutzungsgrad 4 müssen erfüllt werden.

6.2.1.4 EMV- / Blitzschutz

Die in / DIN EN 62305-4/ definierten Anforderungen für LPZ 0_B müssen erfüllt werden.

6.2.2 Sekundärumwelt im Gebäudeinnenraum (z.B. Unterwerke, Schaltstellen, Weichenschalthäuser)

Für klimatisierte Betriebsräume müssen die Werte projektspezifisch festgelegt werden.

6.2.2.1 Klima

Muss projektspezifisch festgelegt werden.

6.2.2.2 Verschmutzungsgrad

Die Anforderungen von /DIN EN 60664-1/ für Verschmutzungsgrad 2 müssen erfüllt werden.

6.2.2.3 EMV - / Blitzschutz

Die in /DIN EN 62305-4/ definierten Anforderungen für LPZ 0_B müssen mindestens erfüllt werden.

Eine ggf. erforderliche Festlegung von Bereichen mit den Zonen LPZ 1 bzw. LPZ 2 muss im Rahmen der EMV-Gebäudeplanung erfolgen.

6.2.3 Umweltbedingungen bei überdeckten Fahrwegabschnitten

Gegenüber Fahrwegabschnitten, die den Einwirkungen der Primärumwelt unmittelbar ausgesetzt sind, müssen bei überdeckten Fahrwegabschnitten folgende Abweichungen berücksichtigt werden:

Merkmal	Abweichungen
Temperatur	Die max. Grenzwerte der Primärumwelt werden nicht erreicht.
Feuchte	größer als der Durchschnitt der Primärumwelt
Wind	max. 10-Min.-Mittelwert: 10 m/s
Eis/Schnee	keine Schnee- oder Eisbedeckung der Fahrwegfunktionsflächen
Wirkungslänge der Überdeckung in Bezug auf Wind und Eis/Schnee	Als Richtwert wird die Länge des überdeckenden Bauwerks abzüglich je 10 m Übergangsbereich angesetzt. Die tatsächliche Länge muss projektspezifisch festgelegt werden.

Tabelle 54: Umweltbedingungen in den überdeckten Fahrwegabschnitten

6.2.4 Umweltbedingungen bei Tunnelabschnitten

Im Tunnel sind die Umweltbedingungen bezüglich Temperatur, Luftfeuchte, Luftbewegungen bzw. Wind je nach Örtlichkeit unterschiedlich und abhängig von verschiedenen Parametern wie Anzahl der Fahrspuren, Tunnelaufbau, Zugfolge usw.

Deswegen ist es notwendig, die Umgebungsbedingungen für den jeweiligen Tunnel projektspezifisch festzulegen.

Aus diesem Grund sind die Angaben in den folgenden Kapiteln, die auf Anhang A von /DIN EN 50125-2/ beruhen, als Richtwerte zu verstehen.

6.2.4.1 Temperatur

Für Tunnel mit einer Länge unter 2000 m und im ersten und letzten Abschnitt von 1000 m bei längeren Tunneln sollten die gleichen Temperaturannahmen wie im Freien getroffen werden.

Innerhalb des mittleren Abschnitts von langen Tunneln (> 2000 m) kann die niedrigste Temperatur um 20 K höher als für Freiluft angenommen werden und die höchste Temperatur kann um 5 K verringert werden.

6.2.4.2 Luftfeuchte

Die Luftfeuchte tendiert dazu, gering zu sein, sofern die Tunnelwände das Eindringen einer bedeutenden Menge Feuchtigkeit verhindern können.

Bauliche Maßnahmen gegen das Eindringen von Feuchtigkeit müssen projektspezifisch festgelegt werden.

Die max. absolute Feuchte im Tunnel ist nach /DIN EN 50125-3/, Tabelle 3 mit 30 g/m³ anzunehmen.

6.2.4.3 Wind

Für den 10-min.-Mittelwert der Windgeschwindigkeit kann ein Wert von 3 m/s angenommen werden.

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Gesamtsystem Anlage 4 Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung)

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Gesamtsystem Anlage 4 Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung)

Dok.-Nr.: 69061 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 1 von 23

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung) zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007, Weißdruck, Fachausschuss Regeln für Betrieb

3 Inhaltsverzeichnis

1 Verteiler	2
2 Änderungsübersicht	3
3 Inhaltsverzeichnis	4
4 Allgemeines	6
4.1 Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich	6
4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen	6
4.3 Abkürzungen und Definitionen	7
4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien	7
4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen	7
5 Bearbeitung des Regelwerks für Betrieb	8
6 Aufbau, Gliederung und Umfang des Regelwerks für Betrieb	9
6.1 Aufbau und Gliederung des Regelwerks	9
6.2 Regelwerksbestandteile	9
7 Managementarten und -systeme	11
7.1 Sicherheitsmanagementsystem (SMS)	11
7.2 Qualitätsmanagement (QM)	11
7.3 Arbeitsschutzmanagement	11
7.4 Umweltschutzmanagement.....	11
8 Regelungsbedarf Fahrbetrieb und Instandhaltung	12
8.1 Übergeordnete Anforderungen	12
8.1.1 Überwachung von Grenzwerten	12
8.1.2 Anforderungen an das Fahrbetriebs- und Instandhaltungspersonal	12
8.1.3 Anforderungen an die Kommunikation	12
8.2 Regelungsbedarf Fahrbetrieb	12
8.2.1 Regeln für den Fahrbetrieb.....	12
8.2.2 Betriebsart "Normalbetrieb"	13
8.2.3 Betriebsart "Abweichungen vom Normalbetrieb".....	14
8.2.4 Fahrbetrieb mit Sonderfahrzeugen.....	15
8.2.5 Regelungsbedarf für Sondermaßnahmen	15
8.2.5.1 Objektschutz	15
8.2.5.2 Winterdienst.....	16
8.2.5.3 Vegetationskontrolle	16
8.3 Regelungsbedarf Instandhaltung.....	17

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Gesamtsystem Anlage 4 Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung)

8.3.1	Regeln für die Instandhaltung.....	17
8.3.1.1	Inhalte der Regeln für die Instandhaltung	17
8.3.1.2	Instandhaltungsprogramm.....	17
8.3.1.3	Instandhaltungsanleitungen.....	18
8.3.1.4	Regeln zur Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen.....	18
8.3.1.5	Regeln zum Ablauf und/oder zur Organisation von Instandhaltungsmaßnahmen...	18
8.3.2	Instandhaltungsmanagement	19
8.3.3	Instandhaltungsmaßnahmen	19
8.3.3.1	Grundsätze zur Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen	19
8.3.3.2	Planung von Instandhaltungsmaßnahmen.....	20
8.3.3.3	Beauftragung von Instandhaltungsmaßnahmen	20
8.3.3.4	Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen	20
8.3.3.5	Abschluss von Instandhaltungsmaßnahmen.....	20
8.3.3.6	Rückmeldung/Dokumentation von Instandhaltungsmaßnahmen.....	21
8.4	Regelungsbedarf Schnittstelle zwischen Fahrbetrieb und Instandhaltung	21
8.4.1	Grundsätze der Schnittstellengestaltung zwischen Fahrbetrieb und Instandhaltung.....	21
8.4.2	Freigabeverfahren	22
8.4.3	Übernahme und Übergabeverfahren.....	23
8.4.4	Fahrbetriebsunterstützung durch die Instandhaltung	23

4 Allgemeines

4.1 Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebebahngesetz /AMbG/.

Nach § 24 und § 8 /MbBO/ hat der MSB-Unternehmer Regeln für den Betrieb aufzustellen.

Das Dokument enthält die projektunabhängigen Anforderungen an aufzustellende Regeln für den Betrieb von MSB-Systemen, bestehend aus Fahrbetrieb und Instandhaltung.

Diese Ausführungsgrundlage gilt in Verbindung mit der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem /MSB AG-GESAMTSYS/ und ihren Anlagen.

Für den Betrieb von MSB-Systemen gilt die hier vorliegende Ausführungsgrundlage.

Für den Betrieb während des Baus und der Inbetriebnahme von MSB-Systemen müssen gesonderte Regelungen erlassen werden.

Nachfolgende Ausführungen beziehen sich auf die Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung) des MSB-Unternehmers, im Nachfolgenden „Regelwerk“ genannt, für den Einsatz von MSB-Systemen zur Personenbeförderung.

Der Transport von Gütern ist gesondert zu betrachten.

Die Anforderungen richten sich an MSB-Unternehmer (gemäß § 5 /AMbG/).

Die Anforderungen richten sich auch an die Hersteller des MSB-Systems und dessen Komponenten, indem sie u.a. Aussagen zur erforderlichen Dokumentation treffen und Bedingungen an die Organisation und Prozessabläufe des Betriebs des MSB-Systems stellen, die bereits in der Konstruktion aller Betrachtungseinheiten des MSB-Systems berücksichtigt werden müssen.

Sofern interne Regelungen des MSB-Unternehmers oder eines Herstellers von den Festlegungen dieser Ausführungsgrundlage abweichen, können diese internen Regelungen bei Nachweis gleicher Sicherheit oder im Falle von Definitionen und Begriffen bei Nachweis sinngemäß gleicher Bedeutung beibehalten werden.

4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentenbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordnete Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/
 - Anlage 1: Magnetschnellbahn Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Magnetschnellbahn Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/

- Anlage 3: Magnetschnellbahn Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
- Anlage 5: Magnetschnellbahn Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

An Stelle des in diesem Dokument verwendeten Begriffs "Fahrbetrieb" ist bei Betreibern von spurgeführten Verkehrssystemen auch der Begriff "Betrieb" gebräuchlich. Daher darf im Regelwerk des MSB-Unternehmers an Stelle des Begriffs "Fahrbetrieb" auch der Begriff "Betrieb" verwendet werden. Dies gilt auch für entsprechende Wortzusammensetzungen.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden.

Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht.

Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

Eine Zusammenstellung von Gesetzen, Verordnungen, Normen und Richtlinien für das Regelwerk des MSB-Unternehmers befindet sich im Dokument Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien /MSB AG-NORM&RILI/.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/, Teil 2, Anhang G, im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokuments sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in *Kursiv-Schrift*

gekennzeichnet.

5 Bearbeitung des Regelwerks für Betrieb

Die Gesamtheit der Regelungen muss in sich:

- vollständig,
- konsistent,
- widerspruchsfrei

sein.

Die Regelungen müssen den Festlegungen des MSB-Unternehmers zum Sicherheitsmanagement, insbesondere gemäß /DIN EN 61508/, /DIN EN 50126/ und /DIN EN 50129/, entsprechen (siehe Kap.7.1).

Festlegungen im Regelwerk sind auf Konsistenz mit dem projektspezifischen Sicherheits-, Betriebs- und Instandhaltungskonzept zu prüfen.

Die im Regelwerk verwendeten Begriffe und Abkürzungen sind eindeutig zu definieren. Die definierten Begriffe und Abkürzungen sind konsistent zu verwenden.

Das Regelwerk muss anwenderfreundlich aufgebaut sein.

Anwenderfreundlich ist ein Regelwerk insbesondere dann, wenn

- die einzelnen Zielgruppen im Regelwerk direkt angesprochen werden,
- die Inhalte des Regelwerks eindeutig, verständlich und anschaulich dargestellt sind und
- die im Regelwerk verwendeten Hilfsverben gemäß /DIN 820-2/ Anhang G benutzt werden.

Das Regelwerk muss praxistauglich sein.

Praxistauglich ist ein Regelwerk, wenn

- die darin enthaltenen Regelungen die spezifizierte Funktionsweise der eingesetzten Technik optimal unterstützen und
- die Regelungen von allen Anwendern gut und ohne besondere Schwierigkeiten im Betrieb angewendet werden können.

Das Regelwerk sollte modular aufgebaut sein.

Modular aufgebaut ist ein Regelwerk dann, wenn es aus einzelnen, in sich jeweils abgeschlossenen „Bausteinen“ besteht, die jeweils zueinander kompatibel sind.

6 Aufbau, Gliederung und Umfang des Regelwerks für Betrieb

6.1 Aufbau und Gliederung des Regelwerks

Aufbau und Gliederung des Regelwerks sind in geeigneter Form, z.B. als Inhaltsverzeichnis, im Regelwerk darzustellen.

Ergänzende Bestimmungen zum Regelwerk können als Anhänge oder Zusätze herausgegeben werden. Als Arbeitshilfen kann das Regelwerk Vordrucke enthalten.

Sofern der MSB-Unternehmer einheitliche Erarbeitungs-, Struktur-, Gestaltungs- und Dokumentationsgrundsätze für Regelwerke vorgibt, sollten diese für das gesamte Regelwerk angewendet werden.

6.2 Regelwerksbestandteile

Dem Personal ist das für seine Tätigkeit erforderliche Grundverständnis über das MBS-System zu vermitteln.

Die Beschreibung und Darstellung muss die für den Betrieb relevanten Betriebsanlagen umfassen.

Die Betriebsanlagen sollten in übersichtlicher Form in einem Lageplan dargestellt werden.

Die im jeweiligen Projekt zum Einsatz kommenden MSB-Fahrzeuge und Sonderfahrzeuge sowie ggf. Anhänger und Arbeitsgerüste sind zu beschreiben.

Das Regelwerk für den Betrieb des MSB-Systems besteht aus:

- Regeln für den Fahrbetrieb,
- Regeln für die Instandhaltung,
- allgemeinen Organisationsregeln für den Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung).

Allgemeine Organisationsregeln müssen mindestens die Zuständigkeitsverteilung innerhalb der Organisation des MSB-Unternehmers beschreiben.

Allgemeine Organisationsregeln können entweder als eigenständiges Dokument vorliegen oder jeweils in die Regeln für den Fahrbetrieb oder in die Regeln für die Instandhaltung integriert werden.

Die allgemeinen Organisationsregeln müssen so formuliert sein, dass erkennbar ist, wie unter den gegebenen projektspezifischen Systemvoraussetzungen und den projektspezifischen betrieblichen Rahmenbedingungen die festgelegten Sicherheitsziele erreicht werden.

Die Regeln müssen den Grundsatz der Trennung der Verantwortung für sicherheitsrelevante und nicht sicherheitsrelevante (z.B. wirtschaftliche) Faktoren des Betriebs in der Organisation sowie in den Arbeits- und Managementprozessen, -systemen und -arten ersichtlich machen.

Die mitgeltenden Dokumente müssen im Regelwerk definiert sein. Sie unterliegen den gleichen Qualitätskriterien wie das Regelwerk selbst.

Als mitgeltende Dokumente werden hier beispielhaft genannt:

- Bedienungsanleitungen der MSB-Systemhersteller,
- Instandhaltungsanleitungen der MSB-Systemhersteller.

Basisdokumente zur Erstellung des Regelwerks sind kein Bestandteil des Regelwerks.

Als Basisdokumente werden hier beispielhaft genannt:

Titel	Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem Anlage 4 Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung)
-------	---

Dok.-Nr.:	69061	Version	Weißdruck	Ausg. Datum	15.02.2007
-----------	-------	---------	-----------	-------------	------------

Seite 9 von 23

- die sicherheitsrelevanten Anwendungsvorschriften (SAV) der MSB-Systemhersteller,
- die Betriebsanleitung gemäß /Richtlinie 98/37/EG/,
- Auflagen und Nebenbestimmungen in Bescheiden / Zulassungen der Genehmigungsbehörde,
- Dokumente, die sich aus Anforderungen in einschlägigen Gesetzen, Verordnungen, Normen und Richtlinien ergeben (z.B. Handbücher für das Sicherheits- und das Qualitätsmanagement).

7 Managementarten und -systeme

7.1 Sicherheitsmanagementsystem (SMS)

Es ist vom MSB-Unternehmer ein Sicherheitsmanagementsystem in Anlehnung an die /Richtlinie 2004/49/EG/ einzurichten.

Das SMS bezeichnet die von einem MSB-Unternehmer eingerichtete Organisation und die von ihm getroffenen Vorkehrungen, die die sichere Durchführung seiner Betriebsabläufe gewährleisten.

Das SMS muss gewährleisten, dass die Regelungen für Organisation, Fahrbetrieb und Instandhaltung, die sich aus dem projektspezifischen Sicherheitskonzept ergeben, in das Regelwerk integriert werden.

7.2 Qualitätsmanagement (QM)

Die Maßnahmen und Regelungen für das Qualitätsmanagement müssen im Regelwerk dargelegt werden und den geltenden regionalen, nationalen und internationalen Regeln, Normen (z.B. /Normenreihe DIN EN ISO 9000 ff./) und dem QM-Handbuch des MSB-Unternehmers genügen.

Regeln zur Qualitätssicherung, Qualitätsplanung und zu den Qualitätsverfahren müssen im Regelwerk enthalten sein, sofern sie die Sicherheit des Betriebes des MSB-Systems berühren.

7.3 Arbeitsschutzmanagement

Die Maßnahmen und Regelungen für den Arbeitsschutz müssen im Regelwerk dargelegt werden und den geltenden regionalen, nationalen und internationalen Regeln, Normen, Vorschriften und der nationalen Gesetzgebung genügen.

Der Schutz des Personals ist durch entsprechende Regelungen sicherzustellen.

Die nationale Gesetzgebung beinhaltet dazu eine Sammlung von Gesetzen und Verordnungen, die in der /MSB AG-NORM&RILI/ enthalten sind /PERSSCHI/.

Die Regelungen zum Arbeitsschutz können in geeigneter Art und Weise, z.B. in Form eines Arbeitsschutzmanagementsystems, zusammengefasst werden.

7.4 Umweltschutzmanagement

Die Maßnahmen und Regelungen für den Umweltschutz müssen im Regelwerk dargelegt werden und den geltenden regionalen, nationalen und internationalen Regeln, Normen, Vorschriften und der nationalen Gesetzgebung genügen. Die aktuellen umwelttechnischen Erkenntnisse sind zu berücksichtigen.

Die nationale Gesetzgebung beinhaltet dazu eine Sammlung von Gesetzen und Verordnungen, die in der /MSB AG-NORM&RILI/ enthalten sind /UMWELTSCHI/.

Die Überprüfungen der Arbeitsprozesse und Arbeitsinhalte und deren Einfluss auf die Umwelt sowie die Maßnahmen zur Überprüfung der Einhaltung der Umweltschutzmaßnahmen sind im Regelwerk festzulegen.

Die Regelungen zum Umweltschutz können in geeigneter Art und Weise, z.B. in Form eines Umweltschutzmanagementsystems, zusammengefasst werden.

8 Regelungsbedarf Fahrbetrieb und Instandhaltung

8.1 Übergeordnete Anforderungen

8.1.1 Überwachung von Grenzwerten

Die Einhaltung der in den Ausführungsgrundlagen Gesamtsystem und Teilsysteme festgelegten Grenz- und sonstigen spezifizierten Werte muss vom MSB-Unternehmer überwacht werden.

Die entsprechenden Regeln, Aufzeichnungs- und Auswerteverfahren, Beurteilungskriterien sowie die als Konsequenz bei Abweichungen zu treffenden Maßnahmen sind projektspezifisch im Regelwerk festzulegen.

Es ist im Regelwerk festzulegen, wie die Einwirkungen von Sonderlastfällen gemäß MSB-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem /MSB AG-GESAMTSYS/ erfasst und deren Zulässigkeit sichergestellt werden.

8.1.2 Anforderungen an das Fahrbetriebs- und Instandhaltungspersonal

Im Regelwerk muss arbeitsplatzbezogen dargestellt werden, welche Anforderungen der MSB-Unternehmer an die Eignung, Tauglichkeit und Qualifikation des Personals stellt.

Im Regelwerk ist festzulegen, dass jede Tätigkeit im Fahrbetrieb und in der Instandhaltung ausschließlich durch geeignetes, taugliches und qualifiziertes Personal durchgeführt wird.

Die Verfahren zur Ermittlung von Eignung und Tauglichkeit des Personals, zur regelmäßigen Überprüfung und die Vorgaben zu Intervallen, Fristen und Dokumentation der Überprüfung sind im Regelwerk festzuschreiben.

Die Ausbildung/Qualifikation des Personals muss mindestens derart im Regelwerk verankert sein, dass eindeutig erkennbar ist, welche Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten des Personals mit welcher Mindestqualifikation verbunden sind.

Dabei muss erkennbar sein, wie die Qualifikationen erlangt werden, wie die Qualifikation, wenn erforderlich, regelmäßig wiederholt bzw. erhalten wird und wie die Organisation, Dokumentation und Verwaltung aller Qualifikationen des Personals durchgeführt wird.

8.1.3 Anforderungen an die Kommunikation

Regeln für die sicherheitsrelevante Kommunikation einschließlich technischer und organisatorischer Voraussetzungen sind zu definieren.

Technische Kommunikationseinrichtungen sowie ihre Rückfallebenen für den Fall von Störungen oder Ausfällen der Kommunikationseinrichtungen und deren Einbindung in die Betriebsabläufe sind zu beschreiben.

Die Regeln für Aufzeichnung und Speicherung der Kommunikation sind festzulegen.

8.2 Regelungsbedarf Fahrbetrieb

8.2.1 Regeln für den Fahrbetrieb

Die Regeln für den Fahrbetrieb sind im Betriebshandbuch gemäß § 24 /MbBO/ festzulegen und müssen mindestens den gesamten Fahrbetrieb abdecken.

Der Fahrbetrieb muss in einer der beiden folgenden Betriebsarten durchgeführt werden (siehe Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem /MSB AG-GESAMTSYS/, Kap. 6.3.1.2):

- Normalbetrieb
- Abweichungen vom Normalbetrieb.

Soweit technisch möglich und aus betrieblichen Gründen gewollt, muss die Möglichkeit einer gleichzeitigen Durchführung der beiden Betriebsarten vorgesehen werden.

Es ist im Regelwerk festzulegen, unter welchen Voraussetzungen Instandhaltungsmaßnahmen bei Störungen im Ablauf des Fahrbetriebs stattfinden dürfen.

Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten während dieses Prozesses sind zu beschreiben.

Für den Fall eines außerplanmäßigen Haltes des MSB-Fahrzeugs sind Regelungen zu treffen.

Bei Störungen des Ablaufs des Fahrbetriebs, die zu einer Räumung des MSB-Fahrzeuges führen, ist im Regelwerk festzulegen, wie die Räumungsmaßnahmen einzuleiten und durchzuführen sind.

Die sicherheitsrelevanten Planungs- und Dispositionsprozesse für den Fahrbetrieb sind zu beschreiben.

Sicherheitsrelevant sind Planungs- und Dispositionsprozesse u.a. dann, wenn sie gewährleisten, dass spezifizierte Grenzwerte für das MSB-System eingehalten werden oder ihre Realisierung Einfluss auf die Unversehrtheit von Personen und Sachwerten haben kann.

8.2.2 Betriebsart "Normalbetrieb"

Die Randbedingungen zur Durchführung des Normalbetriebs (siehe Anlage 1: Magnetschnellbahn Abkürzungen und Definitionen /MSB AG-ABK&DEF/) sind in den Regeln für den Fahrbetrieb festzulegen und zu beschreiben.

Der MSB-Unternehmer muss im Regelwerk definieren (siehe auch § 22 der /MbBO/):

- betriebliche Voraussetzungen für den Start und Ablauf des Normalbetriebes,
- technische Voraussetzungen für den Start und Ablauf des Normalbetriebes,
- Wechsel zwischen manuell und automatisch generierten Fahrtvorgaben innerhalb des Normalbetriebes,
- Bedingungen für das Verlassen der Betriebsart Normalbetrieb,
- Voraussetzungen und Verfahren für die Rückkehr in die Betriebsart Normalbetrieb,
- Verfahren beim Wegfall von Fahrtvoraussetzungen.

Sofern einzelne Abläufe sicherheitsrelevante Handlungen des Betriebspersonals im Normalbetrieb erfordern, sind diese zu beschreiben.

Die Handlungen und Einschränkungen, die notwendig sind, um mögliche gefahrbringende Zustände im Normalbetrieb zu verhindern bzw. zu vermeiden, sind zu beschreiben.

Die bei vorhersehbaren technischen und betrieblichen Störungen im Betriebsablauf erforderlichen Maßnahmen sind zu beschreiben.

Die bei vorhersehbaren gefahrbringenden Ereignissen erforderlichen Maßnahmen sind zu beschreiben.

Die vom Betriebspersonal durchzuführenden Überwachungstätigkeiten, Maßnahmen und Eingriffe in die Steuerung und in die Sicherung des Fahrbetriebes auf Grund technischer oder betrieblicher Erfordernisse sind zu beschreiben.

Bei gleichzeitiger Durchführung von Fahrbetrieb und Bau- bzw. Instandhaltungsmaßnahmen ist festzulegen,

- ob und in welchem Umfang Bau- bzw. Instandhaltungsmaßnahmen (z.B. teilsystembezogen, örtlich abgegrenzte Streckenbereiche) während des Normalbetriebs stattfinden dürfen und
- wie die Bereiche, in denen Bau- bzw. Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden, abgegrenzt und gesichert werden.

Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten während dieses Prozesses sind festzulegen.

8.2.3 Betriebsart "Abweichungen vom Normalbetrieb"

Die Funktionen, die nicht in der technischen Sicherung enthalten sind, müssen in den Regeln für den Fahrbetrieb definiert werden.

Soweit erforderlich, sind geeignete Sicherungsmaßnahmen (technische und/oder organisatorische) im Regelwerk zu beschreiben.

Die unter Personalverantwortung zu treffenden Maßnahmen sind im Regelwerk zu beschreiben.

Der MSB-Unternehmer muss im Regelwerk definieren (siehe auch § 22 der /MbBO/):

- betriebliche Voraussetzungen für den Start und den Ablauf der Betriebsart „Abweichungen vom Normalbetrieb“,
- technische Voraussetzungen für den Start und den Ablauf der Betriebsart „Abweichungen vom Normalbetrieb“,
- Wechsel zwischen manuell und automatisch generierten Fahrtvorgaben innerhalb der Betriebsart "Abweichungen vom Normalbetrieb",
- Bedingungen für das Verlassen der Betriebsart „Abweichungen vom Normalbetrieb“,
- Voraussetzungen und Verfahren für die Rückkehr in den Normalbetrieb,
- Verfahren beim Wegfall von Fahrtvoraussetzungen.

Durch Festlegungen im Regelwerk ist sicherzustellen, dass die Betriebsart "Abweichungen vom Normalbetrieb" nicht zu einem unsicheren Zustand des MSB-Systems führen.

Es ist im Regelwerk festzulegen, unter welchen Bedingungen der Fahrbetrieb infolge der Betriebsart "Abweichungen vom Normalbetrieb" zu unterbrechen ist.

Projektspezifische technische Eigenschaften der Betriebsanlagen und der MSB-Fahrzeuge sind bei Festlegungen von Ablaufhandlungen und Maßnahmen unter Personalverantwortung zu beachten.

Automatische Reaktionen der technischen MSB-Einrichtungen während der Betriebsart "Abweichungen vom Normalbetrieb" sowie der Umfang der verbleibenden technischen Sicherung sind für das Fahrbetriebspersonal zu beschreiben.

Dies gilt auch für die vom Fahrbetriebspersonal durchzuführenden Überwachungstätigkeiten, Maßnahmen und Eingriffe in die Steuerung und in die Sicherung des Fahrbetriebes auf Grund technischer oder nichttechnischer Erfordernisse.

Betriebsüberwachende Maßnahmen zum systematischen Erkennen, Einordnen/Auswerten und Dokumentieren von Ursachen für die Betriebsart "Abweichungen vom Normalbetrieb" sind im Regelwerk festzulegen.

Im Regelwerk ist zu definieren, wie der Fahrdienstleiter über Umstände, die zur Betriebsart "Abweichungen vom Normalbetrieb" führen können, zu informieren ist.

Art, Form und Umfang der Kommunikation während der Betriebsart "Abweichungen vom Normalbetrieb" sind im Regelwerk festzulegen.

Ablaufhandlungen für einzelne Maßnahmen und Bedieneingriffe zur Gewährleistung der erforderlichen Sicherheit unter Personalverantwortung, insbesondere in einer Notsituation, sind im Regelwerk in geeigneter Form (Checklisten, Ablaufdiagramme usw.) festzulegen.

Bei gleichzeitiger Durchführung von Fahrbetrieb und Bau- bzw. Instandhaltungsmaßnahmen ist festzulegen,

- ob und in welchem Umfang Bau- bzw. Instandhaltungsmaßnahmen (z.B. teilsystembezogen, örtlich abgegrenzte Streckenbereiche) während der Betriebsart "Abweichungen vom Normalbetrieb" stattfinden dürfen und
- wie die Bereiche, in denen Bau- bzw. Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden, abgegrenzt und gesichert werden.

Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten während dieses Prozesses sind festzulegen.

8.2.4 Fahrbetrieb mit Sonderfahrzeugen

Im Regelwerk sind Arten von Sonderfahrzeugen projektspezifisch zu definieren.

Regeln für das Bewegen von Sonderfahrzeugen sind projektspezifisch festzulegen.

Abläufe, Bedienhandlungen und Kommunikation sowie technische und nichttechnische Maßnahmen sind von der technischen Ausrüstung der Sonderfahrzeuge abhängig.

Es ist im Regelwerk festzulegen, unter welchen Voraussetzungen Sonderfahrzeuge auf die MSB-Strecke ausfahren dürfen (Umweltbedingungen, MSB-Fahrzeuge im Betrieb usw.).

In Abhängigkeit von der Ausrüstung der Sonderfahrzeuge sind Maßnahmen gegen Lichtraumprofilverletzungen festzulegen.

In Abhängigkeit von der Ausrüstung der Sonderfahrzeuge sind Maßnahmen zur Vermeidung von Kollisionen mit

- anderen Sonderfahrzeugen,
- MSB-Fahrzeugen,
- Betriebsanlagen,
- Personen und Gegenständen, die in das Lichtraumprofil hineinragen

festzulegen.

Abstell- und Bereitstellpositionen für Sonderfahrzeuge sowie die Maßnahmen zur Stillstandsicherung der Sonderfahrzeuge sind projektspezifisch festzulegen.

8.2.5 Regelungsbedarf für Sondermaßnahmen

8.2.5.1 Objektschutz

Im Regelwerk müssen der Objektschutz und die Objektschutzaufgaben im Zusammenhang mit dem MSB-System beschrieben werden. Es müssen dargestellt werden:

- die Grundsätze und die Ziele des Objektschutzes,

- die Verantwortung und die handelnden Personen für den Objektschutz,
- die Aufgaben und der Umfang des baulichen Objektschutzes,
- die Aufgaben und der Umfang des organisatorischen Objektschutzes,
- die Dokumentation, Prüfung und Berichterstattung zum Objektschutz.

Es ist festzulegen, welche Maßnahmen des Objektschutzes mindestens zu definieren sind. Dies betrifft alle aktiven und passiven Maßnahmen, wie z.B.:

- Sicherung der Fahrzeuge und der Betriebsanlagen gegen unbefugten Zugriff und gegen unbefugte Eingriffe,
- Reaktion auf Alarm und Notrufe,
- Zusammenwirken mit Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS),
- Einbeziehung von Wach- und Sicherheitsdiensten.

8.2.5.2 Winterdienst

In den Regeln für den Fahrbetrieb müssen die Grenzwerte definiert sein, innerhalb derer der sichere Betrieb des MSB-Systems auch unter winterlichen Bedingungen möglich ist. Die Grenzwerte sind in Anlage 3: Magnetschnellbahn Umweltbedingungen /MSB AG-UMWELT/ spezifiziert.

Folgende Grenzwerte sind beispielhaft benannt:

- die zulässigen Schichtdicken der Fahrwegvereisung (Trag-/Führbereich),
- die tolerierbaren Schneehöhen auf dem Fahrwegtisch und unterhalb der Gradienten.

In den Regeln für den Fahrbetrieb ist festzulegen, dass der Betrieb des MSB-Systems nur innerhalb der spezifizierten Grenzwerte zulässig ist.

Dargestellt werden müssen die Verantwortlichkeiten und Maßnahmen dafür, dass eine Annäherung an die Grenzwerte rechtzeitig erkannt wird und mit den notwendigen Maßnahmen anforderungsgerecht reagiert wird.

Allgemeine Winterdienstmaßnahmen im Bereich der Verkehrsanlagen, der IHZ sowie der Verkehrswege, die ggf. auch durch Dritte durchgeführt werden, sind projektspezifisch zu regeln.

8.2.5.3 Vegetationskontrolle

Die Vegetationsbestände entlang der MSB-Strecke sind durch regelmäßige Inspektionen zu überwachen und zu pflegen.

Es müssen Maßnahmen zur Lichtraumfreihaltung festgelegt werden. Dabei sind folgende Kategorien zu berücksichtigen:

- Maßnahmen zum Schutz vor einer Lichtraumverletzung,
- Maßnahmen zur Erkennung einer Lichtraumverletzung,
- Maßnahmen zur Beseitigung einer Lichtraumverletzung.

Die Maßnahmen der Vegetationskontrolle müssen berücksichtigen, dass Einragungen in den Lichtraum infolge von natürlichem Wachstum ausgeschlossen sowie von Umwelteinflüssen (z.B. Windbruch, Schneelasten auf der Vegetation) weitgehend verhindert werden.

8.3 Regelungsbedarf Instandhaltung

8.3.1 Regeln für die Instandhaltung

8.3.1.1 Inhalte der Regeln für die Instandhaltung

Die Grundsätze der Instandhaltung sowie die vollständige Unterteilung der Instandhaltung in deren Grundmaßnahmen sind in /DIN 31051/ festgelegt.

Die Grundbegriffe der Instandhaltung und die Gliederung der Instandhaltung in Instandhaltungsarten sind in /DIN EN 13306/ definiert. Darüber hinaus gilt die /DIN EN 50126/.

Diese Grundsätze, Unterteilungen, Begriffe und Gliederungen müssen im Regelwerk für die Instandhaltung verwendet werden.

Die Instandhaltung der MSB-Teilsysteme muss in geeigneter Weise zur Instandhaltung des MSB-Gesamtsystems zusammengeführt werden. Die Regeln für die Instandhaltung müssen dies abbilden.

Die Regeln für die Instandhaltung bestehen aus:

- Instandhaltungsprogramm,
- Instandhaltungsanleitungen (für alle im Instandhaltungsprogramm aufgeführten Instandhaltungsmaßnahmen),
- Regeln, welche projektspezifische bzw. örtlich spezifische Ergänzungen enthalten (z.B. in Form von Arbeits- und Verfahrensanweisungen).

8.3.1.2 Instandhaltungsprogramm

Auf Grundlage der "Grundsätze und Verfahren für die Aufstellung des Instandhaltungsprogramms" (siehe § 8 der /MbBO/) ist ein Instandhaltungsprogramm für das Gesamtsystem zu erstellen.

Bei Erstellung des Instandhaltungsprogramms ist Folgendes insbesondere zu berücksichtigen:

- Die Instandhaltungsprogramme der Teilsysteme müssen alle erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen des jeweiligen Teilsystems beinhalten.
- Die Instandhaltungsprogramme der Teilsysteme müssen das Gesamtsystem abdecken.
- Der Hersteller einer Betrachtungseinheit muss die möglichen Störungen und Fehler dieser Betrachtungseinheit auflisten und diese eindeutig einer Fehlerklasse zuordnen.
- Für jede Fehlerklasse sind die erforderlichen Reaktionen und Maßnahmen des Personals zu definieren. Die Maßnahmen müssen mindestens den Einfluss der Störungen und Fehler auf die Sicherheit des Systems berücksichtigen.
- Zur Identifizierung der erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen müssen Struktur- und/oder Funktionsanalysen aller MSB-Teilsysteme und die Maßnahmendefinition anhand anerkannter Verfahren (z.B. FMEA /MSB AG-ABK&DEF/) erfolgen. Die Häufigkeiten/Intervalle der Instandhaltungsmaßnahmen müssen auf dieser Basis festgelegt sein.
- Grundlage für die Struktur- und Funktionsanalyse ist ein Produktstrukturplan.
- Es ist eine Klassifizierung bzw. Priorisierung der Instandhaltungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Sicherheitsrelevanz vorzusehen.

Das Regelwerk muss die Differenzierung der Reaktionen auf unterschiedliche Klassen bzw. Prioritäten der Instandhaltungsmaßnahmen eindeutig aufzeigen.

Weitergehende Forderungen zur Erstellung des Instandhaltungsprogrammes sind, soweit vorhanden, in den jeweiligen Ausführungsgrundlagen der Teilsysteme enthalten.

8.3.1.3 Instandhaltungsanleitungen

Für alle im Instandhaltungsprogramm definierten Instandhaltungsmaßnahmen müssen Instandhaltungsanleitungen vorliegen.

Die Instandhaltungsanleitungen müssen vom Hersteller für die jeweilige technische Betrachtungseinheit (z.B. Hersteller eines Teilsystems) erstellt werden.

Sie sollten eine einheitliche Struktur und Gestaltung aufweisen.

Die Instandhaltungsanleitungen müssen alle zur Durchführung der Instandhaltungsmaßnahme erforderlichen Angaben enthalten.

8.3.1.4 Regeln zur Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen

Die Regeln für die Instandhaltung müssen projekt- und/oder ortsspezifische Informationen und Vorgaben zur technischen Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen, z.B. in Form von Arbeitsanweisungen, enthalten. Diese ergänzen die Instandhaltungsanleitungen.

Die Benennung der projekt- und/oder ortsspezifische Informationen und Vorgaben zur technischen Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen steht dem Unternehmer frei.

Die projekt- und/oder ortsspezifischen Informationen und Vorgaben sollten mindestens die folgenden Angaben enthalten:

- Beschreibung der Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen,
- Einsatz spezifischer Arbeitsmittel/Werkzeuge,
- Angaben zur Nutzung der Infrastruktur,
- Spezifische Angaben zum Arbeits-/Umweltschutz und zur Verwendung der persönlichen Schutzausrüstung,
- Spezifische Angaben zur Qualifikation des Personals.

Die projekt- bzw. ortsspezifischen Informationen, Vorgaben, Angaben und Ergänzungen dürfen den Inhalt der Instandhaltungsanleitungen nicht unzulässig verändern.

8.3.1.5 Regeln zum Ablauf und/oder zur Organisation von Instandhaltungsmaßnahmen

Die Regeln für die Instandhaltung müssen projekt- und/oder ortsspezifische Informationen und Vorgaben zum Ablauf und/oder zur Organisation von Instandhaltungsmaßnahmen, z.B. in Form von Verfahrensanweisungen, enthalten. Diese ergänzen die Instandhaltungsanleitungen.

Die Benennung der projekt- und/oder ortsspezifischen Informationen und Vorgaben zum Ablauf und/oder zur Organisation von Instandhaltungsmaßnahmen steht dem Unternehmer frei.

Die projekt- und/oder ortsspezifischen Informationen und Vorgaben sollten mindestens die folgenden Angaben enthalten:

- Verfahren für Zutritt und Aufenthalt in Instandhaltungsbereichen,

- An-, Abmeldeverfahren und Sicherungsverfahren sowie Warnverfahren für Instandhaltungsarbeiten,
- Beauftragung von Instandhaltungsarbeiten,
- Durchführung von Instandhaltungsarbeiten,
- Abschluss und Rückmeldung von Instandhaltungsarbeiten,
- Dokumentation von Instandhaltungsarbeiten.

Für schnell fahrende und automatisch betriebene Fahrzeuge sind Warnverfahren als organisatorische Maßnahme zum Schutz von Personen, die sich im Gefahrenbereich des Fahrwegs befinden, keine geeigneten Sicherungsmaßnahmen und auszuschließen.

Die projekt- bzw. ortsspezifischen Informationen, Vorgaben, Angaben und Ergänzungen dürfen den Inhalt der Instandhaltungsanleitungen nicht unzulässig verändern.

8.3.2 Instandhaltungsmanagement

Das Regelwerk muss den Gesamtprozess der Instandhaltung für die Fahrzeuge und Betriebsanlagen abbilden, einschließlich dem Instandhaltungsmanagement und der Instandhaltungsstrategie.

Es sind alle Planungs- und Dispositionsprozesse für die Instandhaltung zu beschreiben.

Die sicherheitsrelevanten Planungs- und Dispositionsprozesse sind zu kennzeichnen.

Sicherheitsrelevant sind Planungs- und Dispositionsprozesse u.a. dann, wenn sie gewährleisten, dass spezifizierte Grenzwerte für das MSB-System eingehalten werden oder ihre Realisierung Einfluss auf die Unversehrtheit von Personen und Sachwerten haben kann.

Neben den Anforderungen des Kapitels 7.1 müssen für das Instandhaltungsmanagement zusätzlich folgende Anforderungen Berücksichtigung finden:

- Das Regelwerk für die Instandhaltung muss über die Schnittstellenregeln für Fahrbetrieb und Instandhaltung mit den Regelungen des Fahrbetriebs verbunden und zu diesem konsistent sein,
- Regeln, welche sich aus bestehenden Gesetzen, Normen und Richtlinien ergeben (z.B. für die Themen Arbeitsschutz, Umweltschutz, Brandschutz, Qualitätsmanagement, usw.) sind im Regelwerk zu verankern. Dies kann durch Festlegen von spezifischen Regelungen oder durch Verweise auf die geltenden Dokumente geschehen.

8.3.3 Instandhaltungsmaßnahmen

8.3.3.1 Grundsätze zur Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen

Der Prozessablauf "Instandhaltungsmaßnahmen durchführen" besteht aus den Teilprozessen Planung, Beauftragung, Durchführung, Abschluss und Rückmeldung/Dokumentation.

Die Teilprozesse müssen im Regelwerk umfassend beschrieben werden. Für alle Teilprozesse muss diese Beschreibung mindestens die folgenden Angaben enthalten:

- Inhalte des Teilprozesses,
- Teilprozessablauf,
- handelnde und verantwortliche Personen,

- Eingangsgrößen des Teilprozesses,
- Ausgangsgrößen des Teilprozesses.

Es muss zu jedem Zeitpunkt erkennbar sein, in welchem Teilprozess sich eine Instandhaltungsmaßnahme befindet und wer für diese Instandhaltungsmaßnahme verantwortlich zeichnet. Die hierzu erforderlichen technischen und/oder organisatorischen Regelungen sind festzuschreiben.

8.3.3.2 Planung von Instandhaltungsmaßnahmen

Planung bezeichnet die Vorbereitung der zukünftigen Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen. Diese Vorbereitung betrifft die Ressourcen Zeit, Termine, Personal, Material und Infrastruktur.

Die Planung muss mindestens die im Instandhaltungsprogramm als sicherheitsrelevant gekennzeichneten Maßnahmen und Maßnahmen mit gesetzlicher Nachweispflicht umfassen.

Neben den im Kapitel 8.3.3.1 genannten Anforderungen müssen im Regelwerk zusätzlich Angaben zum Planungszeitpunkt, Planungszeitraum und zur Bekanntgabe der Planung enthalten sein.

8.3.3.3 Beauftragung von Instandhaltungsmaßnahmen

Der Grundsatz der Instandhaltungsdurchführung, "Keine Maßnahme ohne Auftrag", muss im Regelwerk festgelegt sein.

Die Inhalte der Beauftragung und die Form (Papiervordrucke, EDV-Formulare usw.) sind festzulegen.

Die Beauftragung von Instandhaltungsmaßnahmen muss nachprüfbar sein.

8.3.3.4 Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen

Die Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen hat gemäß den technischen Vorgaben der Hersteller und den organisatorischen Festlegungen der Instandhaltung zu erfolgen.

Es sind Verfahren zur Überwachung der Instandhaltungsmaßnahmen festzulegen.

Die Verfahren und die handelnden und verantwortlichen Personen zur Steuerung der Instandhaltungsaufgaben (z.B. bei Plan-Ist-Abweichungen) sind festzulegen.

Es sind Regeln für die Durchführung von Fahrzeugbewegungen zu Instandhaltungszwecken festzulegen. Die Regeln müssen die in Kapitel 8.3.3.1 aufgeführten Umfänge aufweisen.

8.3.3.5 Abschluss von Instandhaltungsmaßnahmen

Der Abschluss von Instandhaltungsmaßnahmen ist durch die Meldung der technischen Beendigung der beauftragten Maßnahme bestimmt.

Für sicherheitsrelevante Tätigkeiten sind zusätzlich besondere Festlegungen (z.B. Vier-Augen-Prinzip) zu treffen.

Die Inhalte der Abschlussmeldung und die Form (Papiervordrucke, EDV-Formulare usw.) sind festzulegen.

Die Abschlussmeldung muss nachprüfbar sein.

8.3.3.6 Rückmeldung/Dokumentation von Instandhaltungsmaßnahmen

Die Rückmeldung einer Instandhaltungsmaßnahme ist durch die detaillierte Beschreibung der tatsächlich durchgeführten Tätigkeit bestimmt.

Für die Rückmeldung der erledigten Maßnahmen sind die geforderten Daten festzulegen.

Die Inhalte der Rückmeldung und die Form (Papiervordrucke, EDV-Formulare usw.) sind festzulegen.

Die Rückmeldung muss nachprüfbar sein.

Der Lebensweg von getauschten/instandgesetzten Baugruppen/kleinsten tauschbaren Einheiten muss zusammen mit der Angabe der Fehlerbeschreibung, der Fehlerursache und der durchgeführten Reparaturmaßnahme (ggf. Vernichtung des defekten Teils und Ersatz durch Neuteil) eindeutig und nachvollziehbar dokumentiert werden.

8.4 Regelungsbedarf Schnittstelle zwischen Fahrbetrieb und Instandhaltung

8.4.1 Grundsätze der Schnittstellengestaltung zwischen Fahrbetrieb und Instandhaltung

Der Betrieb des MSB-Systems unterteilt sich in Fahrbetrieb und Instandhaltung.

Im Fahrbetrieb und in der Instandhaltung des MSB-Systems kann es unterschiedliche Verantwortungsbereiche geben.

Die einzelnen Verantwortungsbereiche sind im Regelwerk eindeutig zu beschreiben und voneinander abzugrenzen.

Im Fahrbetrieb und in der Instandhaltung müssen die Verantwortungsbereiche zu jedem Zeitpunkt eindeutig zugeordnet sein.

Fahrbetrieb und Instandhaltung können sowohl parallel als auch seriell stattfinden.

Finden Fahrbetrieb und Instandhaltung parallel statt, müssen im Regelwerk Kriterien für Art und Umfang der Zulässigkeit dafür definiert sein.

Die Rahmenbedingungen und Voraussetzungen müssen beschrieben und geregelt sein.

Fahrbetrieb und Instandhaltung können dann parallel stattfinden, wenn keine gegenseitigen Sicherheitsrisiken entstehen.

Finden Fahrbetrieb und Instandhaltung seriell statt, müssen im Regelwerk Regelungen für die Verantwortungsübergänge vorhanden sein.

Für beide Fälle ist im Regelwerk darzustellen:

- die Organisation der Schnittstellen,
- die an der Schnittstelle beteiligten technischen Systeme,
- der Inhalt und die Abgrenzung der Tätigkeiten,
- die Verantwortlichkeit für das Einleiten der Maßnahmen,
- die Verantwortungsabgrenzung für das Gesamtsystem oder die Teilsysteme,
- die handelnden Funktionsträger,
- die Kommunikations- und Informationsflüsse,

- die erforderlichen Dokumentationen,
- die Auftragserteilung und die Sperr- sowie die Freigabeverfahren,
- die Sicherungsverfahren,
- die Übergabe- und Übernahmeverfahren,
- die Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen.

Für den Fahrbetrieb und die Schnittstelle zwischen Fahrbetrieb und Instandhaltung müssen insbesondere folgende Kommunikationsregeln festgeschrieben sein:

- Informationen über Fahrzeugbewegungen,
- Warnverfahren,
- schriftliche Befehle,
- Informationen über temporäre/lokale Einschränkungen und Besonderheiten,
- Regelungen zum Zusammenspiel der beteiligten Verantwortlichen,
- Übermittlung von Freigaben und Sperrungen.

Für schnell fahrende und automatisch betriebene Fahrzeuge sind Warnverfahren als organisatorische Maßnahme zum Schutz von Personen, die sich im Gefahrenbereich des Fahrwegs befinden, keine geeigneten Sicherungsmaßnahmen und auszuschließen.

8.4.2 Freigabeverfahren

Das Regelwerk muss die Verantwortung für technische Freigaben des Systems oder - falls vorgesehen - von Systemkomponenten, sowohl für die Organisation als auch für die Management- und Arbeitsprozesse, definieren.

Zur Aufnahme des Fahrbetriebs sind sowohl technische als auch nichttechnische Fahrtvoraussetzungen erforderlich.

Im Regelwerk sind diese Fahrtvoraussetzungen gemäß § 22 der /MbBO/ zu beschreiben.

Ferner sind im Regelwerk die jeweiligen Verantwortlichen für die Bestätigung der einzelnen Fahrtvoraussetzungen festzulegen.

Die Bestätigung der Fahrtvoraussetzung muss gemäß einem entsprechenden Freigabeverfahren erfolgen.

Das Freigabeverfahren muss auch die zugehörigen Prüfverfahren beinhalten.

Die technischen Fahrtvoraussetzungen müssen vom Verantwortungsbereich der Instandhaltung festgestellt und bestätigt werden. Mit dieser Bestätigung wird bescheinigt, dass die technischen Vorgaben (Funktionsfähigkeit gemäß /DIN 31051/ und /DIN EN 13306/) zum Einsatz des Systems (Teilsystem, Gesamtsystem) erfüllt werden.

Die nichttechnischen Fahrtvoraussetzungen müssen im Verantwortungsbereich des Fahrbetriebs festgestellt werden.

Wenn eine Freigabe von Bestandteilen eines Teilsystems vorgesehen wird, müssen die oben genannten Beschreibungen entsprechend auf der Ebene dieser Bestandteile der Teilsysteme erfolgen. Die Bestandteile müssen definiert sein.

Die Freigabeverfahren, die Bedingungen für die Freigabe und die Rücknahme von Freigaben müssen im Regelwerk beschrieben werden. Die Beschreibung muss mindestens die folgenden Punkte enthalten:

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Gesamtsystem Anlage 4 Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung)

Dok.-Nr.: 69061 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 22 von 23

- die handelnden Personen (Verantwortlicher, Empfänger usw.),
- den Inhalt der Meldung (technisch, betrieblich, Teilsystem usw.),
- die Angabe, gegen welche Forderungen geprüft wird,
- die möglichen Einschränkungen/Randbedingungen,
- die Form bzw. die Art und Weise (z.B. schriftlich, elektronisch),
- die Dokumentation.

8.4.3 Übernahme und Übergabeverfahren

Mit der Übergabe/Übernahme wechselt die Verantwortung für das übergebene/übernommene System/Teilsystem. Wenn eine Übergabe/Übernahme von Bestandteilen eines Teilsystems vorgesehen wird, müssen die oben genannten Beschreibungen entsprechend auf der Ebene dieser Bestandteile der Teilsysteme erfolgen. Die Bestandteile müssen definiert sein.

Die technischen und organisatorischen Verfahren der Übernahme- und Übergabe müssen im Regelwerk beschrieben werden. Diese Beschreibung muss mindestens enthalten:

- die handelnden Personen der Übergabe/Übernahme (Verantwortlicher, Empfänger usw.),
- der Inhalt der Übergabe-/Übernahmemeldung (technisch, betrieblich, Teilsystem usw.),
- die Basis für die Übergabe/Übernahme (gegen welche Forderungen wird geprüft),
- die Form bzw. die Art und Weise der Übergabe/Übernahme (z.B. schriftlich, elektronisch),
- die Dokumentation der Übergabe/Übernahme.

Bei ortsveränderlichen Systemen (MSB-Fahrzeuge, Sonderfahrzeuge usw.) ist zusätzlich der örtliche Übergabe-/Übernahmepunkt zu benennen und die damit verbundenen Besonderheiten des Prozesses zu beschreiben.

8.4.4 Fahrbetriebsunterstützung durch die Instandhaltung

In Abhängigkeit von der technischen Ausrüstung des MSB-Systems kann eine Unterstützung des Fahrbetriebspersonals durch das Instandhaltungspersonal erforderlich sein.

Sofern diese Unterstützung erforderlich ist, muss sie im Regelwerk berücksichtigt werden. Der Leistungsumfang der Unterstützung muss mindestens die folgenden Punkte beinhalten:

- die Beobachtung des technischen Betriebszustands,
- die Bewertung des technischen Betriebszustands,
- die Dokumentation von Besonderheiten während des Fahrbetriebs,
- die Unterstützung und Hilfestellung beim Auftreten von Störungen.

Die erforderlichen Melde- und Kommunikationswege sowie das Zusammenwirken zwischen den Funktionsträgern von Fahrbetrieb und Instandhaltung sind zu beschreiben.

Falls erforderlich, sind in Abhängigkeit von den möglichen Auswirkungen der Störungen auf die Sicherheit des MSB-Systems abgestufte Vorgehensweisen zu beschreiben.

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Gesamtsystem, Anlage 5 Schall

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Gesamtsystem zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007, Weißdruck, Fachausschuss Gesamtsystem

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler.....	2
2	Änderungsübersicht.....	3
3	Inhaltsverzeichnis	4
4	Allgemeines	7
4.1	Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich.....	7
4.2	MSB-Ausführungsgrundlagen.....	7
4.3	Abkürzungen, Definitionen und Symbole	8
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien	10
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen.....	11
5	Erstellung einer Prüfspezifikation	12
6	Durchführung der Messungen	13
6.1	Allgemeine Vorgaben für die Messungen.....	13
6.1.1	Anforderungen an den Mess- und Immissionsort.....	13
6.1.2	Anforderungen an die Fahrzeuge und deren Vorbeifahrten.....	14
6.1.3	Geschwindigkeitsstufung und Anzahl der Vorbeifahrten.....	14
6.1.4	Anforderungen an die Witterung.....	14
6.1.5	Messgröße und Messgeräte	15
6.2	Zusätzliche Messbedingungen bei der D_{Fz} -Bestimmung.....	15
6.3	Zusätzliche Messbedingungen bei der D_{Fb} -Bestimmung	15
6.4	Zusätzliche Messbedingungen bei der D_{Fb} -Bestimmung bei kurzen Einbaulängen des Fahrweg-Prüflings.....	16
6.4.1	Messverfahren mit Einzelmikrofonen bei reduziertem Messabstand.....	16
6.4.2	Messverfahren mit einem Mikrofon-Array.....	17
6.5	Dokumentation zur Durchführung der Messungen.....	19
7	Auswertung der Messdaten	20
7.1	Berechnung der Stundenmittlungspegel	20
7.2	Zusätzliche Vorgaben für die Auswertungen bei kurzen Einbaulängen des Fahrweg-Prüflings.....	21

7.2.1	Datenauswertung beim Messverfahren mit Einzelmikrofonen bei reduziertem Messabstand.....	21
7.2.2	Datenauswertung beim Array-Messverfahren	21
7.3	Dokumentation zur Auswertung der Messdaten.....	22
8	Bestimmung der Pegeldifferenzen D_{Fz} und D_{Fb}	24
8.1	Bestimmung des D_{Fz,me^-} und des $D_{Fz,ae}$ -Werts.....	24
8.2	Bestimmung des D_{Fb} -Werts	26
8.3	Zusätzliche Vorgaben für die D_{Fb} -Bestimmung bei kurzen Einbaulängen des Fahrweg-Prüflings	28
8.4	Dokumentation zur Bestimmung der Pegeldifferenzen D_{Fz} und D_{Fb}	28
9	Anhang.....	30
9.1	Beispiel für die Bestimmung der Pegeldifferenzen $D_{Fz,me}$ und $D_{Fz,ae}$	31
9.2	Beispiel für die Bestimmung der Pegeldifferenz D_{Fb}	32
9.2.1	Bestimmung der Hilfsgrößen $D_{FzH,me}$ und $D_{FzH,ae}$	32
9.2.2	Bestimmung des D_{Fb} -Werts für einen Fahrweg-Prüfling mit langer Erstreckung	34
9.2.3	Bestimmung des D_{Fb} -Werts für einen Fahrweg-Prüfling mit kurzer Einbaulänge	38

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Erläuterung von Messzeit T_M und Ereigniszeit T_E	20
Abbildung 2: Korrigierte Stundenmittlungspegel $L_{Am,1h,korr}$, Ausgleichspolynom $L_{Am,1h,korr}(v)$ und Gesamtbeurteilungspegel $L_r(v)$ auf Basis der mit dem Iterationsverfahren bestimmten DFz-Werte	31
Abbildung 3: Pegeldifferenz $\Delta L_{Diff}(v)$ von Gesamtbeurteilungspegel und Ausgleichspolynom aus Abbildung 2	32
Abbildung 4: Stundenmittlungspegel $L_{Am,1h,ref}$, Ausgleichspolynom $L_{Am,1h,ref}(v)$ und Gesamtbeurteilungspegel $L_r(v)$ auf Basis der mit dem modifizierten Iterationsverfahren bestimmten D_{FzH} -Werte	33
Abbildung 5: Pegeldifferenz $\Delta L_{Diff}(v)$ von Gesamtbeurteilungspegel und Ausgleichspolynom aus Abbildung 4	33
Abbildung 6: Stundenmittlungspegel $L_{Am,1h,prüf}$ und Ausgleichspolynom $L_{Am,1h,prüf}(v)$	35
Abbildung 7: Pegeldifferenz $\Delta L_{Am,1h}(v)$	36
Abbildung 8: Berechnete $D_{Fb,prüf}$ -Werte eines Fahrweg-Prüflings bei fiktiven Messungen an einem Prüfling mit „langer“ Erstreckung	37
Abbildung 9: Berechnete $D_{Fb,prüf}$ -Werte eines Fahrweg-Prüflings bei fiktiven Messungen an einem Prüfling mit „kurzer“ Einbaulänge	38

Verzeichnis der Tabellen und Gleichungen

Gleichungen (1a-1i)	24
Gleichung (2)	25
Gleichung (3)	25
Gleichung (4)	25
Gleichung (5)	27
Gleichung (6)	27

4 Allgemeines

4.1 Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich

Das vorliegende Dokument definiert die Verfahren zur messtechnischen Bestimmung der Pegeldifferenzen $D_{Fz,me}$ und $D_{Fz,ae}$ für neue Fahrzeuge und D_{Fb} für neue Fahrwege als Grundlage für einen Nachweis im Sinne der Fußnotenregelung der /MSB-LSV/. Die Festlegung der in der Magnetschwebbahn-Lärmschutzverordnung aufgeführten Pegeldifferenzen bedarf gegebenenfalls einer zusätzlichen Nachweisführung bezüglich der Dauerhaftigkeit.

Die in der Magnetschwebbahn-Lärmschutzverordnung aufgeführten Tabellen für die „Pegeldifferenzen $D_{Fz,me}$ und $D_{Fz,ae}$ durch unterschiedliche Fahrzeugarten“ (/MSB-LSV/, Tabelle 3) und die „Pegeldifferenzen D_{Fb} durch unterschiedliche Fahrwegarten“ (/MSB-LSV/, Tabelle 4) enthalten jeweils Fußnoten mit dem Hinweis, dass bei dauerhaft nachgewiesener anderer Geräuschemission entsprechende Korrekturwerte, d. h. andere Werte für $D_{Fz,me}$, $D_{Fz,ae}$ und D_{Fb} , zu verwenden sind.

Bei der Definition der Nachweisverfahren für obige Pegeldifferenzen wird im Wesentlichen auf das Vorgehen im „Projektbegleitenden Ausschuss Schall 03/Schall-Transrapid“ zurückgegriffen, der die Vorlage der derzeitigen /MSB-LSV/ erarbeitet hat. Inhalt des vorliegenden Dokuments ist die detaillierte Beschreibung aller notwendigen Messungen und Auswertemethoden, anhand derer die Bestimmung der Pegeldifferenzen $D_{Fz,me}$, $D_{Fz,ae}$ und D_{Fb} durchgeführt werden muss. Das vorliegende Dokument ist als Basisdokument bei der Nachweisführung der Subsysteme Fahrzeug und Fahrweg anzuwenden.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

4.2 MSB-Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentenbaum ist in Abbildung 1 /MSB AGGESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordnete Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, mit den Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umwelt, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln für Betrieb und Instandhaltung, Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/, (vorliegendes Dokument)

4.3 Abkürzungen, Definitionen und Symbole

Es gelten die in der /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

Die nachfolgenden Abkürzungen und Definitionen stellen spezifische Abkürzungen und Definitionen der Ausführungsgrundlage Schall dar:

Symbol	Einheit	Bedeutung
C	dB(A)	Konstante in Gleichung (6)
$C_{\text{prüf}}$	dB(A)	Berücksichtigung von Schallausbreitungseinflüssen gemäß /MSB-LSV/ am Messort des Fahrweg-Prüflings
C_{ref}	dB(A)	Berücksichtigung von Schallausbreitungseinflüssen gemäß /MSB-LSV/ am Messort des Referenz-Betonfahrwegs
$D_{\text{BM,k}}$	dB(A)	Pegeldifferenz durch Boden- und Meteorologiedämpfung
D_{Fb}	dB(A)	Pegeldifferenz durch unterschiedliche Fahrwegarten
$D_{\text{Fb,prüf}}$	dB(A)	D_{Fb} -Wert des Fahrweg-Prüflings
$D_{\text{Fb,ref}}$	dB(A)	D_{Fb} -Wert des Referenz-Betonfahrwegs
D_{Fz}	dB(A)	Pegeldifferenzen durch unterschiedliche Fahrzeugarten
$D_{\text{Fz,me}}$	dB(A)	Pegeldifferenz durch unterschiedliche Fahrzeugarten, mechanischer Anteil
$D_{\text{Fz,ae}}$	dB(A)	Pegeldifferenz durch unterschiedliche Fahrzeugarten, aerodynamischer Anteil
D_{FzH}	dB(A)	Hilfsgröße bei der Bestimmung von D_{Fb}
$D_{\text{FzH,me}}$	dB(A)	Hilfsgröße bei der Bestimmung von D_{Fb} , mechanischer Anteil
$D_{\text{FzH,ae}}$	dB(A)	Hilfsgröße bei der Bestimmung von D_{Fb} , aerodynamischer Anteil
$D_{\text{L,k}}$	dB(A)	Pegeldifferenz durch Luftabsorption
$D_{\text{s,k}}$	dB(A)	Pegeldifferenz durch Abstand
L_{A}	dB(A)	A- und FAST-bewerteter Schalldruckpegel
$L_{\text{Am,E}}$	dB(A)	Ereignispegel durch Mittelung über die Ereigniszeit T_{E}
$L_{\text{Am,E,eFl}}$	dB(A)	Ereignispegel durch Mittelung über die Ereigniszeit $T_{\text{E,eFl}}$
$L_{\text{Am,E,r}}$	dB(A)	Ereignispegel durch Mittelung über die Ereigniszeit $T_{\text{E,r}}$
$L_{\text{Am,1h}}$	dB(A)	Stundenmittelungspegel für <u>eine</u> Fahrzeug-Vorbeifahrt pro Stunde
$L_{\text{Am,1h,eFl}}$	dB(A)	Stundenmittelungspegel für <u>eine</u> Fahrzeug-Vorbeifahrt pro Stunde (Array-Verfahren)
$L_{\text{Am,1h,korr}}$	dB(A)	anhand der Sektionsanzahl korrigierter Stundenmittelungspegel (Gleichung (2))
$L_{\text{Am,1h,r}}$	dB(A)	Stundenmittelungspegel für <u>eine</u> Fahrzeug-Vorbeifahrt pro Stunde (Einzelmikrofon-Verfahren bei reduziertem Messabstand)
$L_{\text{E,me}}$	dB(A)	mechanischer Anteil des Emissionspegels gemäß /MSB-LSV/
$L_{\text{E,ae}}$	dB(A)	aerodynamischer Anteil des Emissionspegels gemäß /MSB-LSV/
L_{r}	dB(A)	Gesamtbeurteilungspegel gemäß /MSB-LSV/
$\Delta L_{\text{Am,1h}}$	dB(A)	Differenz zwischen am Messort des Fahrweg-Prüflings und am Messort des Referenz-Betonfahrwegs

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Gesamtsystem Anlage 5, Schall

Dok.-Nr.: 72963 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 8 von 38

Symbol	Einheit	Bedeutung
		renz-Betonfahrwegs gemessenem Stundenmittelungspegel (Gleichung (5))
ΔL_{Diff}	dB(A)	Differenz zwischen Gesamtbeurteilungspegel und korrigiertem Stundenmittelungspegel (Gleichung (4))
ΔL_k	dB(A)	Summe von Pegeldifferenzen beim Teilstückverfahren gemäß /MSB-LSV/
ΔL_{Sek}	dB(A)	Pegeldifferenz durch Anzahl der Fahrzeugsektionen
a, b, c	-	Koeffizienten eines Ausgleichspolynoms zweiten Grades (Gleichung (3))
k	-	Laufindex beim Teilstückverfahren gemäß /MSB-LSV/
l	m	Länge des Fahrzeugs zwischen Bug- und Heckspitze
l_k	m	Teilstücklänge
p	Pa	Schalldruck
R	m	Radius der Trasse
S	dB(A)	Korrekturpegel zur Berücksichtigung der Besonderheiten von Bahnen
t	s	Zeit
t_1	s	Zeitpunkt zu Beginn der Mittelungszeit T_E
$t_{1,eFl}$	s	Zeitpunkt zu Beginn der Mittelungszeit $T_{E,eFl}$ (Array-Verfahren)
$t_{1,r}$	s	Zeitpunkt zu Beginn der Mittelungszeit $T_{E,r}$ (Einzelmikrofon-Verfahren bei reduziertem Messabstand)
t_2	s	Zeitpunkt am Ende der Mittelungszeit T_E
$t_{2,eFl}$	s	Zeitpunkt am Ende der Mittelungszeit $T_{E,eFl}$ (Array-Verfahren)
$t_{2,r}$	s	Zeitpunkt am Ende der Mittelungszeit $T_{E,r}$ (Einzelmikrofon-Verfahren bei reduziertem Messabstand)
T_E	s	Mittelungszeit für den Ereignispegel
$T_{E,eFl}$	s	Mittelungszeit für den Ereignispegel (Array-Verfahren)
$T_{E,r}$	s	Mittelungszeit für den Ereignispegel (Einzelmikrofon-Verfahren bei reduziertem Messabstand)
T_M	s	Messzeit
v	km/h	Geschwindigkeit des Fahrzeugs
v_0	km/h	Bezugsgeschwindigkeit ($v_0 = 100 \text{ km/h}$)

Begriff/Abkürzung	Bedeutung
Emissionsort	Fahrwegoberkante in Fahrwegträgermitte im Messquerschnitt gemäß /MSB-LSV/
Immissionsort	Ort eines Mikrofons oder des Mikrofon-Arrays
kurze Einbaulänge	Fahrweg-Prüfling mit einer Einbaulänge > 24 m und < 250 m
Maximalpegel	maximaler Pegel im Zeitverlauf $L_A(t)$ bei der Vorbeifahrt des Fahrzeugs
Messort	näheres Umfeld im Bereich des Emissions- und des Immissionsorts
Messquerschnitt	Ebene durch den Immissionsort mit dem Fahrweg als Normale
Sektion	mit ca. 25 m Länge angenommene Fahrzeugeinheit
FO	Fahrwegoberkante
TVE	Transrapid-Versuchsanlage Emsland

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

Die nachfolgenden Abkürzungen und Definitionen stellen spezifische Abkürzungen und Definitionen der Ausführungsgrundlage Schall dar:

In diesem Dokument wird insbesondere auf nachfolgend genannte Verordnungen und Normen verwiesen.

Abkürzung	Verordnungen und Normen
/MbBO/	Magnetschwebbahn – Bau- und Betriebsordnung – MbBO (Artikel 1 der Magnetschwebbahnverordnung)
/MSB-LSV/	Magnetschwebbahn – Lärmschutzverordnung (Artikel 2 der Magnetschwebbahnverordnung)
/DIN EN ISO 3095/	Akustik – Messung der Geräuschemission von spurgeführten Fahrzeugen

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ sinngemäß angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln dieses Dokuments sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in *Kursiv-Schrift*

gekennzeichnet.

5 Erstellung einer Prüfspezifikation

Der für die Messungen und Datenauswertungen zur Bestimmung der Pegeldifferenzen D_{Fz} eines neuen Fahrzeugs sowie der Pegeldifferenz D_{Fb} eines Fahrweg-Prüflings vorgesehene Auftragnehmer hat dem Auftraggeber eine Prüfspezifikation vorzulegen. Diese ist im Vorfeld der Messungen mit der zuständigen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde bzw. mit einem durch diese benannten Sachverständigen abzustimmen. Die Prüfspezifikation muss folgende wesentliche Punkte enthalten:

- eine Aussage zur Übereinstimmung der Messbedingungen an den geplanten Messorten im Bereich des Referenz-Betonfahrwegs und des Fahrweg-Prüflings mit den Vorgaben von Kapitel 6, insbesondere die Einhaltung der Lage der Immissionsorte betreffend,
- eine Aussage zur Übereinstimmung des schalltechnischen Zustands des bei der Durchführung der Messungen zu verwendenden Fahrzeugs mit den Anforderungen nach Kapitel 6.1.2,
- die Vorlage eines Ablaufplans, der die Anzahl und Geschwindigkeiten der nach Kapitel 6.1.3 geforderten Fahrzeug-Vorbeifahrten je Messort gewährleistet,
- eine Aufstellung der voraussichtlich einzusetzenden Mess- und Datenerfassungsgeräte sowie
- einen Nachweis über die Kenntnis der in Kapitel 7 und vor allem Kapitel 8 beschriebenen Verfahren zur Datenauswertung und Bestimmung der Pegeldifferenzen D_{Fz} und D_{Fb} .

Hinweis: Der vorgesehene Auftragnehmer hat insbesondere seine Kenntnisse über die zu verwendenden Mess- und Auswerteverfahren (siehe Kapitel 7 und 8) der Aufsichts- und Genehmigungsbehörde oder dem benannten Sachverständigen gegenüber ausführlich darzulegen, wobei eine ausreichende Messpraxis mit diesen Verfahren beim Auftragnehmer vorausgesetzt wird.

6 Durchführung der Messungen

Bei den in diesem Kapitel beschriebenen Messungen zur Bestimmung der Pegeldifferenzen D_{Fz} , d. h. von $D_{Fz,me}$ und $D_{Fz,ae}$, sowie der Pegeldifferenz D_{Fb} sind allgemeine Vorgaben zu erfüllen, wie sie in Kapitel 6.1 aufgeführt sind. In den folgenden beiden Kapiteln werden weitere Messbedingungen genannt, die sich ausschließlich auf die Bestimmung der Pegeldifferenzen D_{Fz} (Kapitel 6.2) bzw. die Bestimmung der Pegeldifferenz D_{Fb} (Kapitel 6.3) beziehen. Dabei soll der D_{Fb} -Wert eines Fahrweg-Prüflings grundsätzlich nur an einem Messort ermittelt werden, an dem die Trasse über eine „lange“ Erstreckung aus dem Fahrwegtyp des Prüflings besteht (siehe Kapitel 6.1.1). Ist dies im Ausnahmefall nicht möglich, da der Fahrweg-Prüfling als Prototypträger nur über eine „kurze“ Einbaulänge von typischerweise 25 bis 60 m verfügt, muss die D_{Fb} -Bestimmung mittels eines Einzelmikrofon-Verfahrens bei reduziertem Messabstand und mittels eines Verfahrens mit einem Mikrofon-Array erfolgen. Die diesbezüglichen gesonderten Messbedingungen sind in Kapitel 6.4 dargestellt. Des Weiteren sind in Kapitel 6.5 die für alle Messverfahren erforderlichen Punkte im Rahmen der Dokumentation der Messungen genannt.

6.1 Allgemeine Vorgaben für die Messungen

Bei Messungen an Fahrzeugen und Fahrwegen sind zum Nachweis der Schallemission die folgenden Anforderungen einzuhalten, die sich an /DIN EN ISO 3095/ anlehnen. Die allgemeinen Vorgaben an die Messungen gliedern sich in Anforderungen an den Mess- und Immissionsort, die Fahrzeuge und ihre Vorbeifahrten, deren Geschwindigkeitsstufung und Anzahl, die Witterungsbedingungen sowie in Angaben zur Messgröße und den Messgeräten.

6.1.1 Anforderungen an den Mess- und Immissionsort

Der Messort muss freies, ebenes Gelände aufweisen und zwar zumindest auf der Seite der Trasse, auf der die Schallimmission gemessen wird. Auf der abgewandten Seite ist auf möglichst geringe Reflexionen zu achten. Im Bereich zwischen Fahrweg und Immissionsort sollten sich Ackerland und/oder Wiesen befinden; niedriger Bewuchs ist zugelassen. Die Schallausbreitung störende Hindernisse und unzulässige, reflektierende Flächen sind in der Umgebung des Immissionsorts auf der Trassenseite der Messung bis zur dreifachen Messentfernung unzulässig.

Als Messorte dienen ausschließlich Streckenabschnitte, in denen die Trasse gerade verläuft ($R > 10.000$ m). Eine Querneigung des Fahrwegs von $\leq 2^\circ$ ist gestattet. Im Bereich des Messorts muss der Fahrweg über eine „lange“ Erstreckung aus dem identischen Fahrwegtyp aufgebaut sein. „Lange“ Erstreckung bedeutet, dass derselbe Fahrwegtyp mindestens 125 m beidseits des Messquerschnitts vorhanden ist.

Der Messort ist so auszuwählen, dass das Hintergrundgeräusch während aller Vorbeifahrten des Fahrzeugs vernachlässigt werden kann. Dafür muss der durch störende Schallquellen hervorgerufene A- und FAST-bewertete Schalldruckpegel mindestens 15 dB(A) unterhalb des während einer Vorbeifahrt gemessenen Maximalpegels liegen und ebenso müssen die für den Maximalpegel relevanten Terzpegel mindestens 15 dB(A) über denen des Hintergrundgeräuschs liegen. Kann die geforderte Pegeldifferenz von 15 dB(A) durch ein unvorhersehbares Schallereignis (z. B. Flugzeug-Überflug) während einer einzelnen Vorbeifahrt nicht eingehalten werden, so ist die betroffene Messung zu verwerfen und die Vorbeifahrt grundsätzlich zu wiederholen.

Der Messquerschnitt ist bei „langer“ Erstreckung des zu prüfenden Fahrwegtyps ausnahmslos in die Mitte zwischen zwei benachbarten Stützen zu legen. Die im Messquerschnitt senkrecht auf den Boden projizierte Messentfernung zwischen Fahrwegträgermitte und Immissionsort beträgt 25 m.

Die Höhe des Immissionsorts befindet sich:

- 3,5 m über Boden bei FO-Höhen von bis zu 7,0 m über Boden,
- 3,5 m unter FO bei FO-Höhen oberhalb von 7,0 m über Boden.

6.1.2 Anforderungen an die Fahrzeuge und deren Vorbeifahrten

Während der Messungen zur Bestimmung der Pegeldifferenzen D_{Fz} muss sich das Fahrzeug in dem schalltechnischen Zustand befinden, der dem betrieblichen Anwendungsfall entspricht bzw. für den die Pegeldifferenzen D_{Fz} gemäß /MSB-LSV/ ermittelt werden sollen. Im Rahmen der Bestimmung der Pegeldifferenz D_{Fb} darf das Fahrzeug während der Messungen auch über einen anderen schalltechnischen Zustand verfügen, da im Vorfeld der D_{Fb} -Bestimmung die Hilfsgrößen D_{FzH} (siehe Kapitel 8.2) des aktuellen Fahrzeugs gemessen und sodann verwendet werden müssen. Die Länge bzw. die Sektionsanzahl der Fahrzeuge während der hier beschriebenen Messungen ist freigestellt.

Hinweis: Korrekturen bezüglich der Sektionsanzahl sind bei der D_{Fz} -Bestimmung in Kapitel 8 berücksichtigt.

Bei allen hier durchzuführenden Messungen sind Vorbeifahrten mit konstanter Geschwindigkeit im Bereich von jeweils 125 m zuzüglich der halben Fahrzeuglänge beidseits des Messquerschnitts erforderlich. Da nach bisheriger Erfahrung die Fahrtrichtung, die tatsächlich vorlaufende Sektion, die zugewandte Fahrzeugseite sowie der Beladungszustand des Fahrzeugs keinen Einfluss auf die am Immissionsort gemessenen Schalldruckpegel haben, lassen sich Fahrten unterschiedlicher Richtung und Beladung bei der D_{Fz} - und D_{Fb} -Bestimmung nutzen. Fahrtrichtung, vorlaufende Sektion, zugewandte Fahrzeugseite und Beladung sind aber gleichwohl zu dokumentieren.

Bei neuen Fahrzeugen ist (z. B. anhand von Konstruktionsunterlagen und/oder durch Messungen) zu prüfen, ob deren Schallemission zu beiden Fahrzeugseiten in gleichem Maße erfolgt. Bei unterschiedlicher Emission der Fahrzeugseiten sind die D_{Fz} -Werte des Fahrzeugs für die Fahrzeugseite mit der höheren Schallemission zu bestimmen. Bei unterschiedlicher Emission der Fahrzeugseiten ist die Hilfsgröße D_{FzH} gemäß Kapitel 8.2 und der D_{Fb} -Wert des Fahrwegs immer mit der gleichen Fahrzeugseite zu bestimmen.

6.1.3 Geschwindigkeitsstufung und Anzahl der Vorbeifahrten

Der jeweils erforderliche Geschwindigkeitsbereich zur Bestimmung der Pegeldifferenzen D_{Fz} und D_{Fb} ist in Kapitel 6.2 bzw. 6.3 angegeben. In allen Fällen soll jedoch die Abstufung der Vorbeifahr-Geschwindigkeiten 10 km/h betragen. Bei jeder Geschwindigkeitsstufe sind zumindest zwei Fahrten zu vermessen. Bei maximaler Geschwindigkeit sind mindestens drei Messungen durchzuführen.

6.1.4 Anforderungen an die Witterung

Bei den Messungen dürfen am Immissionsort nur Windgeschwindigkeiten auftreten, die kleiner als 5 m/s sind. Es darf kein Schnee auf dem Boden im Bereich des Messorts liegen. Messungen bei Regen sollen vermieden werden.

6.1.5 Messgröße und Messgeräte

Messgröße ist der Schalldruck p am Immissionsort. Die Aufzeichnung der Messgröße hat entweder als zeitlicher Verlauf des Schalldrucks $p(t)$ oder als zeitlicher Verlauf des A- und FAST-bewerteten Schalldruckpegels $L_A(t)$ über eine jeweils ausreichende Messzeit T_M zu erfolgen. Gestartet wird die Messung, wenn das Vorbeifahrtgeräusch beginnt, sich deutlich vom Hintergrundgeräusch abzuzeichnen und endet, wenn das Vorbeifahrtgeräusch wieder vom Hintergrundgeräusch verdeckt wird. Die für die einzelnen Fahrzeug-Vorbeifahrten vorliegenden Zeitverläufe $p(t)$ bzw. $L_A(t)$ sind gemäß den Angaben von Kapitel 7 auszuwerten.

Die Anforderungen an die Messgeräte und ihre Kalibrierung entsprechen den Vorgaben in /DIN EN ISO 3095/. Pro Messtag muss vor und nach der Messung die gesamte Geräteketten bzw. der Schallpegelmessers kalibriert werden. Wird die Geräteketten modifiziert, so sind erneute Kalibrierungen vor und nach der Modifikation durchzuführen. Die Kalibriersignale sind zu speichern und der Kalibriervorgang ist zu dokumentieren.

6.2 Zusätzliche Messbedingungen bei der D_{Fz} -Bestimmung

Zusätzlich zu den allgemeinen Anforderungen an die Messungen nach Kapitel 6.1 sind bei den Messungen zur Bestimmung der Pegeldifferenzen D_{Fz} noch die folgenden Messbedingungen einzuhalten:

- Die Fahrzeug-Vorbeifahrten müssen an einem Messort vermessen werden, an dem die Trasse aus dem Referenz-Betonfahrweg des 1. oder 2. Bauabschnitts der TVE besteht, d. h. vor 1989 gebaut wurde. Für diesen Fahrwegtyp ist in der /MSB-LSV/ ein D_{Fb} -Wert von 0 dB(A) festgelegt.
- Es müssen Vorbeifahrten im Geschwindigkeitsbereich von 130 bis mindestens 400 km/h vermessen werden, d. h. unter den Maßgaben von Kapitel 6.1.3 beträgt die Anzahl der Fahrten mindestens 57.

6.3 Zusätzliche Messbedingungen bei der D_{Fb} -Bestimmung

Zusätzlich zu den allgemeinen Anforderungen an die Messungen nach Kapitel 6.1 sind bei den Messungen zur Bestimmung der Pegeldifferenz D_{Fb} noch die folgenden Messbedingungen einzuhalten:

- Die Angabe des D_{Fb} -Werts eines Fahrwegtyps ist für beschränkte Geschwindigkeitsbereiche zulässig, nämlich bis einschließlich 300 km/h, von > 300 km/h bis einschließlich 400 km/h und von > 400 km/h bis zur Zulassungsgeschwindigkeit des Fahrwegs. Daher sind gegebenenfalls Vorbeifahrten auf dem Fahrweg-Prüfling nur in entsprechend beschränkten Geschwindigkeitsbereichen erforderlich. Von Fall zu Fall kann sich somit der Geschwindigkeitsbereich bei den Messungen zur D_{Fb} -Bestimmung von 130 bis 300 km/h, von 130 bis 400 km/h bzw. bis zur Zulassungsgeschwindigkeit des Fahrwegs erstrecken. Die jeweilige Mindestanzahl an Vorbeifahrten ergibt sich nach Kapitel 6.1.3.
- Die Bestimmung des D_{Fb} -Werts setzt die Kenntnis der Hilfsgrößen D_{FzH} , d. h. $D_{FzH,me}$ und $D_{FzH,ae}$ desjenigen Fahrzeugs voraus, mit dem die Vorbeifahrten auf dem Fahrweg-Prüfling stattgefunden haben. Die D_{FzH} -Werte lassen sich zwar aus bereits vorhandenen Messdaten dieses Fahrzeugs bei Messungen von Vorbeifahrten auf dem Referenz-Betonfahrweg berechnen, sie sind jedoch vorzugsweise zeitnah durch eine erneute vorgeschaltete Messung mit diesem Fahrzeug auf dem Referenz-Betonfahrweg (vgl. Kapitel 6.2) zu ermitteln. Wurden seit der letzten Messung für die Schallemission relevante Modifikationen am Fahrzeug durchgeführt, müssen die Hilfsgrößen D_{FzH} erneut bestimmt werden. Die D_{FzH} -Werte müssen sich unabhängig von einem eventuell beschränkten Geschwindigkeitsbereich bei der D_{Fb} -Bestimmung auf den Geschwindigkeitsbereich bis mindestens 400 km/h beziehen.

6.4 Zusätzliche Messbedingungen bei der D_{Fb} -Bestimmung bei kurzen Einbaulängen des Fahrweg-Prüflings

Beim Vorliegen eines Fahrweg-Prüflings mit „kurzer“ Einbaulänge ist der D_{Fb} -Wert mittels des Einzelmikrofon-Verfahrens bei reduziertem Messabstand und des Array-Verfahrens zu bestimmen, wobei die Durchführung dieser Messungen mit beiden Verfahren zeitgleich vorgeschrieben ist.

Von der Forderung, dass der Messquerschnitt genau in der Mitte zwischen zwei benachbarten Stützen liegt, soll geringfügig abgewichen werden, wenn sich ein reflektierender Gegenstand in der Mitte zwischen den Stützen befindet.

6.4.1 Messverfahren mit Einzelmikrofonen bei reduziertem Messabstand

Um bei „kurzer“ Einbaulänge des Fahrweg-Prüflings die Beeinflussung durch benachbarte Fahrwege abweichenden Typs bei der Messung mit einem Einzelmikrofon möglichst gering zu halten, ist der Messabstand zu reduzieren; und zwar beträgt der im Messquerschnitt senkrecht auf den Boden projizierte Messabstand zwischen Fahrwegträgermitte und Immissionsort 12,5 m, wenn die Einbaulänge des Prüflings ≥ 49 m und < 250 m ist, und 6,5 m, wenn die Länge des Prüflings > 24 m und < 49 m ist. Des Weiteren ist die vertikale Richtcharakteristik von Fahrweg und Fahrzeug durch simultanes Messen im erforderlichen Abstand an zwei unterschiedlich hohen Immissionsorten zu berücksichtigen, so dass zwei Schalldrucksignale $p(t)$ bzw. zwei Pegelverläufe $L_A(t)$ aufgezeichnet werden müssen. Die Höhen der Immissionsorte sind wie folgt festgelegt:

- der obere Immissionsort befindet sich auf FO-Höhe,
- der untere Immissionsort liegt 3,5 m unterhalb FO, jedoch mindestens 1,0 m über Boden.

Aufgrund der „kurzen“ Einbaulänge des Fahrweg-Prüflings vermindert sich der minimale Bereich konstanter Vorbeifahr-Geschwindigkeit des Fahrzeugs auf die tatsächliche Länge des Prüflings zuzüglich der halben Fahrzeuglänge vor und hinter dem Prüfling.

Da die Bestimmung des D_{Fb} -Werts in Kapitel 8.2 auf einer Vergleichsmessung am Referenz-Betonfahrweg beruht, müssen die Messungen an letzterem Messort im selben reduzierten Messabstand wie am Fahrweg-Prüfling in zwei Immissionshöhen entsprechend der FO-Höhe des Referenz-Betonfahrwegs stattfinden.

Hinweis: Da während der Vorbeifahrt des Fahrzeugs insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten im Bereich von Fahrzeugbug und -heck momentane Druckschwankungen entstehen, die an den Immissionsorten in 6,5 m Abstand zu Signalübersteuerungen führen können, wird empfohlen, für diesen Messabstand gegebenenfalls am Eingang der Signalverstärkung ein Hochpassfilter mit einer Grenzfrequenz von ca. 20 Hz einzufügen.

6.4.2 Messverfahren mit einem Mikrofon-Array

Zur Bestimmung des D_{Fb} -Werts eines Fahrweg-Prüflings mit „kurzer“ Einbaulänge ist neben dem Verfahren nach Kapitel 6.4.1 eine Messmethode mit einem Mikrofon-Array vorgeschrieben. Das Array-Verfahren dient dazu, den D_{Fb} -Wert vom Immissionsort in 25 m Abstand von Fahrwegträgermitte aus zu messen, und zwar in

- 3,5 m Höhe über Boden bei FO-Höhen von bis zu 7,0 m über Boden bzw.
- 3,5 m Höhe unter FO bei FO-Höhen oberhalb von 7,0 m über Boden.

Bei der Messung wird ein linienförmiges, folglich eindimensionales Array in horizontaler und zum Fahrweg paralleler Orientierung verwendet, dessen mittleres Mikrofon im Messquerschnitt liegt. Während die Schall-emissionen von angrenzenden Fahrwegen anderer Bauarten durch die starke horizontale Richtwirkung dieses Arrays ausgeblendet werden, besitzt ein solches Array in vertikaler Richtung Eigenschaften wie ein Einzelmikrofon, d. h. Einflüsse auf den Immissionspegel durch die vertikale Richtcharakteristik von Fahrweg und Fahrzeug sowie durch Bodenreflexionen werden bei der Messung korrekt wiedergegeben.

Seitliche und damit unerwünschte Schallanteile werden vom Array beim Empfang ausreichend vermindert, wenn bei Geradeaus-Fokussierung auf die Mitte zwischen zwei Stützen das Array-Auflösungsvermögen bzw. die Breite der Array-Hauptkeule in der Objektebene in 25 m Abstand maximal 5 m beträgt. Des Weiteren ist bei einem solchen Auflösungsvermögen zur Unterdrückung der Emissionen benachbarter Träger ein Abstand zwischen der Array-Hauptkeule und den Nebenkeulen, d. h. eine Array-Dynamik von mindestens 10 dB erforderlich, wie sie von einem Linien-Array auch ohne Shading erreicht wird.

Da das Auflösungsvermögen eines Arrays stark von der Frequenz abhängt und die Hauptkeulenbreite bei Geradeaus-Fokussierung im gesamten auszuwertenden Frequenzbereich gegenüber einem mittleren Wert um höchstens $\pm 20\%$ abweichen soll, wird als Konfiguration des Arrays hier ein so genanntes Schachtel-Array verwendet, d. h. ein Array, in dem sich eine Anzahl von Unter-Arrays befindet. Jedes Unter-Array ist für einen bestimmten Frequenzbereich ausgelegt, der jeweils ein mittleres Auflösungsvermögen von 4 m in der Objektebene in 25 m Abstand besitzt.

Als Realisierung eines den obigen Anforderungen genügenden Arrays ist hier die Verwendung des im Folgenden beschriebenen Arrays, des so genannten „WH10x-Arrays“, verbindlich festgelegt. Durch Mehrfachnutzung sind dessen insgesamt 27 Mikrofone in Gruppen für 10 Unter-Arrays aufgeteilt. Jedes Unter-Array enthält dabei sieben Mikrofone, nur das Unter-Array mit dem kleinsten Mikrofonabstand von 4 cm umfasst neun Mikrofone. Tabelle 3 listet die Mikrofonpositionen im WH10x-Array auf, wobei das Mikrofon mit der Nummer 14 die Array-Mitte darstellt.

Mikrofon-Nummer	Position [m]	Mikrofon-Nummer	Position [m]
1	3,52	15	-0,04
2	2,56	16	-0,08
3	1,92	17	-0,12
4	1,28	18	-0,16
5	0,96	19	-0,24
6	0,64	20	-0,32
7	0,48	21	-0,48
8	0,32	22	-0,64
9	0,24	23	-0,96
10	0,16	24	-1,28
11	0,12	25	-1,92
12	0,08	26	-2,56
13	0,04	27	-3,52
14	0	-	-

Tabelle 6-1: Mikrofonpositionen im WH10x-Array

Wie bei Messungen mit Einzelmikrofonen gelten für die Array-Mikrofone und deren Kalibrierung die Anforderungen, die in Kapitel 6.1.5 formuliert sind. Wegen des bei Array-Messungen eingeschränkten Frequenzbereichs (beim WH10x-Array 125 bis 8000 Hz, siehe Kapitel 7.2.2) müssen die Kriterien in Hinsicht auf Konstanz und Übereinstimmung der Amplituden- und Phasengänge der einzelnen Array-Mikrofone nur in diesem eingeschränkten Frequenzbereich erfüllt sein.

Aufgrund der simultanen Signalerfassung der 27 Mikrofone des WH10x-Arrays und zumindest eines weiteren Zeitsignals, das aufgrund eines Triggermechanismus (z. B. mittels einer Lichtschranke) Informationen zur Fahrzeugposition in Bezug auf die Zeitsignale der Array-Mikrofone sowie zur Fahrzeuggeschwindigkeit enthält, ist bei den Messungen ein wenigstens 28-kanaliges, d. h. üblicherweise 32-kanaliges Datenerfassungssystem zu benutzen. Bei einer durch die Array-Technik bedingten minimal erforderlichen Sampling-Frequenz von 25 kHz je Kanal ist die Speicherkapazität des Datenerfassungssystems so zu bemessen, dass Signale über eine Zeitspanne von bis zu 15 s kontinuierlich aufgezeichnet werden können. Die bei der A/D-Wandlung je Kanal notwendigen Tiefpassfilter sind zumindest als Filter 2. Ordnung mit einer Grenzfrequenz entsprechend der gewählten Sampling-Frequenz auszuführen.

Das Datenerfassungssystem muss die Möglichkeit einer Überprüfung der aufgezeichneten Signale unmittelbar nach jeder Messung, d. h. Fahrzeugvorbeifahrt, zulassen (Kontrolle auf Übersteuerung, Störgeräusche, ausreichende Vorlauf- und Nachlaufzeit bei der Fahrzeugvorbeifahrt, usw.), um gegebenenfalls eine Wiederholung der fraglichen Vorbeifahrt veranlassen zu können. Der Datenverlust maximal eines Kanals bzw. Mikrofon bei der Aufzeichnung kann toleriert werden, solange es sich nicht um das Mikrofon mit der Nummer 14 oder den Kanal mit dem Triggersignal handelt.

Wie schon beim Messverfahren in Kapitel 6.4.1 muss auch die Array-Messung sowohl am Messort mit dem Fahrweg-Prüfling als auch am Messort mit dem Referenz-Betonfahrweg durchgeführt werden, da die Vergleichsdaten für die D_{Fb} -Bestimmung nach Kapitel 8.2 benötigt werden.

6.5 Dokumentation zur Durchführung der Messungen

Die Durchführung der Messungen ist im Messbericht zu dokumentieren. Darin sind zumindest

- das Ziel der Messungen,
- der Messort mit seinen akustisch relevanten Randbedingungen (beidseits der Trasse),
- der Fahrwegtyp und dessen FO-Höhe über Boden im Messquerschnitt sowie die Erstreckung dieses Fahrwegtyps zu beiden Seiten des Messquerschnitts,
- die Lage des bzw. der Immissionsorte hinsichtlich der Entfernung zur Fahrwegträgermitte sowie die Höhe des bzw. die Höhen der Immissionsorte über Boden,
- das Fahrzeug, seine Sektionsanzahl und Länge, sein Beladungszustand und gegebenenfalls Angaben zu seinen akustisch relevanten Modifikationen,
- die zeitliche Abfolge der Messungen bzw. der Vorbeifahrten mit Angabe der Fahrzeug-Geschwindigkeit, der Fahrtrichtung, der vorlaufenden Sektion, der zugewandten Fahrzeugseite, der Beladung und der gegebenenfalls aufgetretenen Störungen,
- die meteorologischen Daten während der einzelnen Fahrzeug-Vorbeifahrten (Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung) sowie
- die eingesetzten Messgeräte, d. h. die Geräteketten von den Mikrofonen zum Datenaufzeichnungsgerät oder die Schallpegelmesser, mit Angaben zur Durchführung von Kalibrierungen und deren Zeitpunkte

zu beschreiben. Weitere Anforderungen an die Dokumentation enthalten Kapitel 7 in Bezug auf die Datenauswertung und Kapitel 8 in Bezug auf die D_{Fz} - und D_{Fb} -Bestimmung.

7 Auswertung der Messdaten

Nach Durchführung der Messungen gemäß Kapitel 6 liegen zur Bestimmung sowohl der Pegeldifferenzen D_{Fz} als auch der Pegeldifferenz D_{Fb} für jeweils bestimmte Anzahlen von Fahrzeug-Vorbeifahrten analog oder digital gespeicherte Zeitsignale des Schalldrucks $p(t)$ oder zeitliche Verläufe des Schalldruckpegels $L_A(t)$ über eine jeweils ausreichende Messzeit T_M vor (siehe Kapitel 6.1.5). Im vorliegenden Kapitel wird die Auswertung dieser Messdaten beschrieben.

7.1 Berechnung der Stundenmittlungspegel

Für jede vermessene Vorbeifahrt und für jeden Immissionsort ist der Stundenmittlungspegel $L_{Am,1h}$ zu berechnen. Durch Mittelung von $L_A(t)$ über die Mittelungszeit T_E wird zunächst der Ereignispegel $L_{Am,E}$ berechnet. Hierbei ist $T_E = t_2 - t_1$ die so genannte Ereigniszeit, die bezüglich einer Fahrzeug-Vorbeifahrt zum Zeitpunkt t_1 beginnt, wenn der Pegel L_A bei Annäherung des Fahrzeugs erstmalig 15 dB(A) unter dem Maximalpegel während der Fahrzeug-Vorbeifahrt liegt, und zum Zeitpunkt t_2 endet, wenn nach Durchfahrt des Fahrzeugs der Pegel L_A letztmalig um 15 dB(A) gegenüber dem Maximalpegel abgeklungen ist.

In Abbildung 1 sind die Messzeit T_M und die Ereigniszeit T_E mit den Zeitpunkten t_1 und t_2 am Beispiel eines typischen Pegelverlaufs $L_A(t)$ während einer Fahrzeug-Vorbeifahrt verdeutlicht.

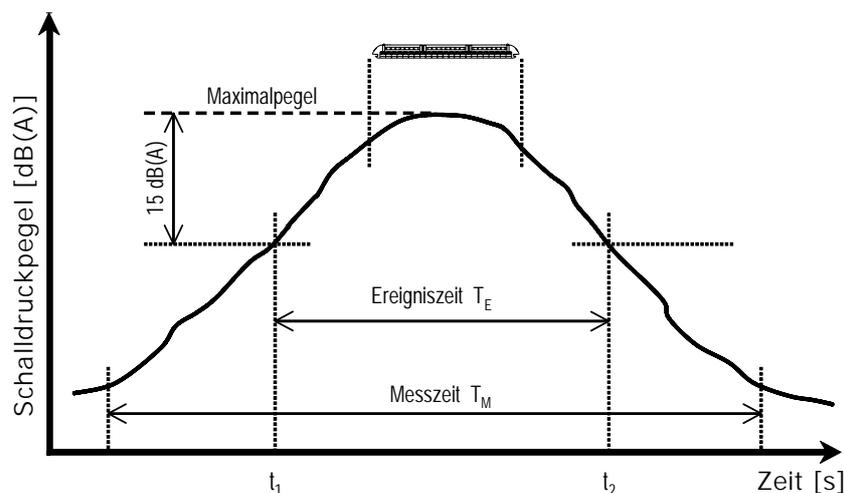


Abbildung 1: Erläuterung von Messzeit T_M und Ereigniszeit T_E

Der Stundenmittelungspegel folgt aus dem Ereignispegel $L_{Am,E}$ durch Addition des Terms $10\lg(T_E/3600 \text{ s})$, wobei das Ergebnis mathematisch auf eine Dezimalstelle zu runden ist. Die so berechneten Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h}$ für jeweils eine Vorbeifahrt pro Stunde stellen die Grundlage für die Bestimmung der Pegeldifferenzen D_{Fz} und D_{Fb} in Kapitel 8 dar.

7.2 Zusätzliche Vorgaben für die Auswertungen bei kurzen Einbaulängen des Fahrweg-Prüflings

In Hinblick auf die Auswertung der beim Messverfahren mit Einzelmikrofonen bei reduziertem Messabstand nach Kapitel 6.4.1 und beim Array-Messverfahren nach Kapitel 6.4.2 aufgezeichneten Schalldrucksignale $p(t)$ oder Pegelverläufe $L_A(t)$ sind gesonderte Vorgaben zu beachten, wie sie in den folgenden beiden Kapiteln beschrieben werden.

7.2.1 Datenauswertung beim Messverfahren mit Einzelmikrofonen bei reduziertem Messabstand

Die Berechnung der Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h}$ erfolgt beim vorliegenden Messverfahren im Prinzip wie in Kapitel 7.1 beschrieben, jedoch wird hier eine reduzierte Ereigniszeit $T_{E,r} = t_{2,r} - t_{1,r}$ eingeführt. Dabei ist $t_{1,r}$ der Zeitpunkt, zu dem der Fahrzeugbug den Fahrweg-Prüfling erreicht, und $t_{2,r}$ der Zeitpunkt, zu dem das Fahrzeugheck den Prüfling verlässt. Diese Definition der Zeitpunkte $t_{1,r}$ und $t_{2,r}$ stellt sicher, dass während der Ereigniszeit zumindest ein Fahrzeugteil den Fahrweg-Prüfling befährt. Durch Mittelung über die Zeit $T_{E,r}$ wird zunächst der Ereignispegel $L_{Am,E,r}$, sodann der Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,r}$ durch Addition des Terms $10\lg(T_{E,r}/3600 \text{ s})$ und mathematische Rundung auf eine Dezimalstelle berechnet.

Für jede Fahrzeug-Vorbeifahrt müssen die Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,r}$ für den oberen und den unteren Immissionsort angegeben werden. Aus Gründen der Vergleichbarkeit sind die Stundenmittelungspegel am Messort mit dem Referenz-Betonfahrweg unter denselben geometrischen Verhältnissen zu ermitteln wie bei der Messung am Fahrweg-Prüfling, d. h. die Erstreckung des Referenz-Betonfahrwegs beidseits des Messquerschnitts ist als identisch mit der Erstreckung des Fahrweg-Prüflings zu beiden Seiten des Messquerschnitts anzunehmen. Daraus folgt, dass die Differenz $t_{2,r} - t_{1,r}$ und mithin die Ereigniszeit $T_{E,r}$ an beiden Messorten gleich sind. Die so am Referenz-Betonfahrweg und am Fahrweg-Prüfling berechneten Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,r}$ sind die Eingangsgrößen für die D_{Fb} -Bestimmung in Kapitel 8.2 bzw. 8.3.

7.2.2 Datenauswertung beim Array-Messverfahren

Die aufgezeichneten Signale der 27 Mikrofone des WH10x-Arrays sind ohne Benutzung von Shading-Faktoren mittels des „Delay-and-Sum Beamforming“-Algorithmus (siehe D. H. Johnson und D. E. Dudgeon, Array Signal Processing: Concepts and Techniques, P T R Prentice Hall, 1993) im Zeitbereich für jedes der 10 Unter-Arrays separat auszuwerten. Tabelle 7-1 enthält die Zuordnung der einzelnen Mikrofone zu den Unter-Arrays. Bei der Berechnung der Array-Summensignale sind die erforderlichen Abtastwerte der Mikrofon-signale durch lineare Interpolation der zeitnahen Signalabtastwerte zu generieren. Die Ergebnisse des Beamformings in den einzelnen Unter-Arrays gelten für die in Tabelle 7-1 angegebenen Frequenzbereiche. Folglich berücksichtigt das WH10x-Array den für die D_{Fb} -Bestimmung ausreichenden Gesamtfrequenzbereich von 125 bis 8000 Hz.

Unter-Array	Enthält Mikrofone mit der Nummer	Frequenzbereich [Hz]
WH128	1, 2, 4, 14, 24, 26, 27	125 - 250
WH096	2, 3, 5, 14, 23, 25, 26	250 - 355
WH064	3, 4, 6, 14, 22, 24, 25	355 - 500
WH048	4, 5, 7, 14, 21, 23, 24	500 - 710
WH032	5, 6, 8, 14, 20, 22, 23	710 - 1000
WH024	6, 7, 9, 14, 19, 21, 22	1000 - 1410
WH016	7, 8, 10, 14, 18, 20, 21	1410 - 2000
WH012	8, 9, 11, 14, 17, 19, 20	2000 - 2820
WH008	9, 10, 12, 14, 16, 18, 19	2820 - 4000
WH004	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	4000 - 8000

Tabelle 7-1: Unter-Arrays des WH10x-Arrays mit zugehörigen Mikrofonen und Frequenzbereichen

Als Auswertemodus während des Beamformings ist ein ortsfester Fokus mit senkrechter Ausrichtung zur Mikrofonreihe zu wählen. Dabei muss sich der Fokuspunkt - gemäß der Positionierung des Arrays bei den Messungen - in 25 m Entfernung vom Array befinden. Die Datenauswertung ist bei jedem Unter-Array für Mess- bzw. Fokuspunkte in 1,0 m-Abständen entlang des vorbeifahrenden Fahrzeugs durchzuführen, d. h. in Zeitintervallen, die der Fortbewegung des Fahrzeugs um 1,0 m bei der aktuellen Fahrzeug-Geschwindigkeit entsprechen. Bei jedem dieser Messpunkte ist das Array-Summensignal wiederum über eine Zeit zu mitteln, die der Fortbewegung des Fahrzeugs um 5,0 m gleichkommt.

Die Datenauswertung soll ca. 100 m vor der Fahrzeugspitze beginnen und ca. 100 m hinter dem Fahrzeugheck enden. Zur Verknüpfung zwischen der Fahrzeugposition und den Schalldrucksignalen dient dabei das mit aufgezeichnete Triggersignal.

Die so für jedes Unter-Array in den Teilfrequenzbereichen von Tabelle 7-1 berechneten und zudem A-bewerteten Pegelverläufe sind daraufhin energetisch zu addieren und ergeben somit den für die jeweilige Fahrzeug-Vorbeifahrt mittels des WH10x-Arrays gemessenen zeitlichen Verlauf des Schalldruckpegels im Frequenzbereich von 125 bis 8000 Hz. Die Ermittlung des zugehörigen Ereignispegels ist beim Array-Verfahren mit der so genannten „erweiterten Fahrzeuglänge (eFl)“ verknüpft, d. h. mit der um 24,0 m vergrößerten Länge des Fahrzeugs: die Ereigniszeit $T_{E,eFl}$ beginnt zum Zeitpunkt $t_{1,eFl}$, zu dem sich die Fahrzeugspitze noch 12,0 m vor dem Messquerschnitt befindet, und endet zum Zeitpunkt $t_{2,eFl}$, zu dem sich nach Durchfahrt des Fahrzeugs dessen Ende um 12,0 m vom Messquerschnitt entfernt hat. Durch Mittelung über die Ereigniszeit $T_{E,eFl} = t_{2,eFl} - t_{1,eFl}$ wird zunächst der Ereignispegel $L_{Am,E,eFl}$, sodann der Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,eFl}$ durch Addition von $10\lg(T_{E,eFl}/3600 \text{ s})$ und mathematische Rundung auf eine Dezimalstelle berechnet.

Die so beschriebene Methode bei der Datenauswertung ist gleichermaßen für die Messungen am Fahrzeug-Prüfling als auch am Referenz-Betonfahrweg anzuwenden. Die jeweiligen Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,eFl}$ sind die Eingangsgrößen für die D_{Fb} -Bestimmung in Kapitel 8.2 bzw. 8.3.

7.3 Dokumentation zur Auswertung der Messdaten

Die Ergebnisse der gemäß Kapitel 7.1 und 7.2 durchgeführten Auswertung der Messdaten sind vollständig in tabellarischer Form im Messbericht zu dokumentieren, d. h. für jede vermessene Vorbeifahrt und für jeden Immissionsort sind die Fahrzeug-Geschwindigkeit, die Ereigniszeit T_E (bzw. $T_{E,r}$ oder $T_{E,eFl}$), der Ereignis-

pegel $L_{Am,E}$ (bzw. $L_{Am,E,r}$ oder $L_{Am,E,eFl}$) und der Stundenmittlungspegel $L_{Am,1h}$ (bzw. $L_{Am,1h,r}$ oder $L_{Am,1h,eFl}$) anzugeben, wobei die Fahrzeug-Geschwindigkeit die vom Betreiber der MSB-Strecke für den Messort mitgeteilte Geschwindigkeit ist. Ergebnisse von Vorbeifahrten, bei denen die berechneten Pegel wegen einer offensichtlichen Fehlmessung zweifelhaft erscheinen, sind dennoch in der Tabelle aufzuführen, dort aber hervorzuheben. Sie sind bei der D_{Fz} - bzw. D_{Fb} -Bestimmung in Kapitel 8 jedoch nicht zu berücksichtigen. Die Ursachen von Fehlmessungen sind zu beschreiben.

Neben obiger Dokumentation der Messergebnisse in Tabellenform sind außerdem für alle Vorbeifahrten und für jeden Immissionsort die Verläufe $L_A(t)$ in grafischer Form über die Dauer der Messzeit T_M darzustellen. In diesen Pegelschrieben sollen die Zeitpunkte t_1 bzw. $t_{1,r}$ und t_2 bzw. $t_{2,r}$ für die Berechnung des Ereignispegels gekennzeichnet werden. Im Falle der Messungen mit dem Mikrofon-Array sind als Pegelschriebe $L_A(t)$ die Zeitverläufe des nach Kapitel 6.4.2 berechneten Array-Summensignals mit den Zeitpunkten $t_{1,eFl}$ und $t_{2,eFl}$ zu dokumentieren. Die Darstellung letzterer Pegelschriebe kann sich anstelle der Messzeit T_M auf den Bereich ca. 100 m vor der Fahrzeugspitze bis ca. 100 m hinter dem Fahrzeugende beschränken.

Des Weiteren sollen Schalldruck-Terzspektren von der Terzmittenfrequenz 25 Hz bis zur Terzmittenfrequenz 10 kHz - beim Array-Verfahren jedoch nur für die Terzen von 160 bis 6300 Hz - in absoluten Pegeln erstellt werden. Hierfür ist die Auswertung je einer Fahrt mit 150, 200, 250, 300, sowie je nach erforderlichem Geschwindigkeitsbereich 350 und 400 km/h ausreichend. Für die Terzspektren ist das Zeitsignal $p(t)$ - beim Array-Verfahren das Summensignal der Zeitsignale $p(t)$ der Array-Mikrofone - über die Ereigniszeit der jeweiligen Vorbeifahrt auszuwerten. Die Darstellung von unbewerteten oder A-bewerteten Terzspektren ist zulässig; die entsprechende Wahl ist bei der Ordinatenbeschriftung deutlich zu machen. Jedes Terzspektrum muss außerdem die Angabe des „linearen“, d. h. unbewerteten, bzw. A-bewerteten Gesamtschallpegels als energetische Summe der oben genannten Terzpegel enthalten.

8 Bestimmung der Pegeldifferenzen D_{Fz} und D_{Fb}

Die gemäß Kapitel 7.1 berechneten Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h}$ für die einzelnen Fahrzeug-Vorbeifahrten sind die Grundlage für die im Folgenden beschriebene Bestimmung der Pegeldifferenzen D_{Fz} , d. h. von $D_{Fz,me}$ und $D_{Fz,ae}$, sowie der Pegeldifferenz D_{Fb} .

8.1 Bestimmung des $D_{Fz,me}$ - und des $D_{Fz,ae}$ -Werts

Zur Bestimmung des $D_{Fz,me}$ - und des $D_{Fz,ae}$ -Werts sind entsprechend Kapitel 6.2 ausschließlich die Messergebnisse bei den Vorbeifahrten auf dem Referenz-Betonfahrweg unter den ebenfalls in diesem Kapitel angegebenen Messbedingungen zu verwenden. Da nach Kapitel 6.1.2 die Länge des Fahrzeugs bzw. dessen Sektionsanzahl bei Messungen zur D_{Fz} -Bestimmung freigestellt ist, erwächst hieraus in Bezug auf die gemessenen Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h}$ eine notwendige Korrektur um Werte ΔL_{Sek} , die von der Sektionsanzahl und der Fahrzeug-Geschwindigkeit abhängen und unten für 2- bis 10-Sektionsfahrzeuge angegeben sind.

Hinweis: Bei der Erstellung der /MSB-LSV/ wurden gemessene Immissionspegel aus Vorbeifahrten des TR 07/1 bestehend aus zwei Sektionen zu Grunde gelegt. Werte für Mehrsektionsfahrzeuge wurden mit Hilfe von Modellrechnungen prognostiziert, die sich auf einer Schallquellenortung am TR 07/1 abstützten. Diese Prognosewerte wurden als Ersatz für die fehlenden Messungen bei Mehrsektionsfahrzeugen verwendet und zur Erstellung der Formeln (2.1) und (2.2) in der /MSB-LSV/ zur Berücksichtigung der Fahrzeuglänge genutzt. Innerhalb dieses Verfahrens lagen die Immissionspegel bei der Messung bzw. den Modellrechnungen unter den dann in der /MSB-LSV/ festgelegten Rechenwerten (um bis zu 1,2 dB(A) für ein 2-Sektionsfahrzeug bzw. um bis zu 2,1 dB(A) für ein 4-Sektionsfahrzeug). Diese Differenzen wurden als konservativer Ansatz akzeptiert und spiegeln sich in den Korrekturwerten ΔL_{Sek} wider.

Die Werte ΔL_{Sek} zur Korrektur der gemessenen Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h}$ ergeben sich aus den Gleichungen (1a-1i) und sind bei der folgenden Rechnung auf zwei Dezimalstellen mathematisch zu runden:

$$\Delta L_{Sek}(2 \text{ Sektionen}, v) = -2,7 + 16,5 \cdot \lg(v/v_0) - 17,9 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \quad [\text{dB(A)}], \quad (1a)$$

$$\Delta L_{Sek}(3 \text{ Sektionen}, v) = -2,5 + 17,5 \cdot \lg(v/v_0) - 18,7 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \quad [\text{dB(A)}], \quad (1b)$$

$$\Delta L_{Sek}(4 \text{ Sektionen}, v) = -2,4 + 18,4 \cdot \lg(v/v_0) - 19,6 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \quad [\text{dB(A)}], \quad (1c)$$

$$\Delta L_{Sek}(5 \text{ Sektionen}, v) = -2,4 + 19,0 \cdot \lg(v/v_0) - 19,5 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \quad [\text{dB(A)}], \quad (1d)$$

$$\Delta L_{Sek}(6 \text{ Sektionen}, v) = -2,4 + 19,5 \cdot \lg(v/v_0) - 19,4 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \quad [\text{dB(A)}], \quad (1e)$$

$$\Delta L_{Sek}(7 \text{ Sektionen}, v) = -2,4 + 19,4 \cdot \lg(v/v_0) - 18,7 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \quad [\text{dB(A)}], \quad (1f)$$

$$\Delta L_{Sek}(8 \text{ Sektionen}, v) = -2,3 + 19,3 \cdot \lg(v/v_0) - 18,0 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \quad [\text{dB(A)}], \quad (1g)$$

$$\Delta L_{Sek}(9 \text{ Sektionen}, v) = -2,3 + 18,9 \cdot \lg(v/v_0) - 17,0 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \quad [\text{dB(A)}], \quad (1h)$$

$$\Delta L_{Sek}(10 \text{ Sektionen}, v) = -2,2 + 18,5 \cdot \lg(v/v_0) - 16,0 \cdot (\lg(v/v_0))^2 \quad [\text{dB(A)}]. \quad (1i)$$

Gleichungen (1a-1i)

Hinweis: Die Gleichungen (1a-1i) basieren auf einer Sektionslänge von ca. 25 m. Weicht die Sektionslänge erheblich davon ab, so ist die Gleichung für die nächstliegende Fahrzeuglänge zu verwenden.

Demgemäß ergeben sich die korrigierten Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,korr}$ für die vermessenen Vorbeifahrten bei der jeweiligen Geschwindigkeit v mit ΔL_{Sek} für die Sektionsanzahl bei der Messung zu

$$L_{Am,1h,korr} = L_{Am,1h} + \Delta L_{Sek} \text{ [dB(A)]}. \quad (2)$$

Gleichung (2)

Als nächstes ist anhand der so korrigierten, von 130 bis mindestens 400 km/h in 10 km/h-Stufen vorliegenden Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,korr}$ ein Ausgleichspolynom zweiten Grades der Form

$$L_{Am,1h,korr}(v) = a + b \cdot \lg(v/v_0) + c \cdot (\lg(v/v_0))^2 \text{ [dB(A)]} \quad (3)$$

Gleichung (3)

zu bestimmen, wobei die Koeffizienten a , b und c entsprechend der Methode der kleinsten Fehlerquadrate berechnet werden und die Fahrzeug-Geschwindigkeiten der einzelnen Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,korr}$ die vom Betreiber der MSB-Strecke angegebenen Geschwindigkeiten sind. Das Polynom $L_{Am,1h,korr}(v)$ ist im Folgenden der Repräsentant der Messwerte. Es ist grundsätzlich nur im Bereich der gemessenen Geschwindigkeiten gültig. Auszunehmen ist jedoch der Geschwindigkeitsbereich unterhalb von 170 km/h, wo gemäß der Regelung in der /MSB-LSV/, Abschnitt 2.5, die Stundenmittelungspegel auf den Wert bei 170 km/h zu setzen sind. Des Weiteren dürfen in Fällen, in denen Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,korr}$ oberhalb der mit der höchsten Geschwindigkeit vermessenen Vorbeifahrt erforderlich sind, diese durch Verwendung des Polynoms bis zu Geschwindigkeiten extrapoliert werden, die maximal 5 % höher als die höchste vermessene Geschwindigkeit liegen.

Die Bestimmung der Werte von $D_{Fz,me}$ und $D_{Fz,ae}$ erfolgt im Rahmen des unten beschriebenen iterativen Verfahrens. Hierin werden die Pegel des Polynoms $L_{Am,1h,korr}(v)$ mit denjenigen des nach /MSB-LSV/ zu berechnenden Gesamtbeurteilungspegels $L_r(v)$ verglichen. Dazu ist der Gesamtbeurteilungspegel als energetische Summe aus mechanischem und aerodynamischem Beurteilungspegel für verschiedene Kombinationen von $D_{Fz,me}$ und $D_{Fz,ae}$ für die Dauer einer Stunde bei einer Vorbeifahrt in dieser Zeit mittels des Teilstückverfahrens für die geometrische Situation bei der Messung am Referenz-Betonfahrweg zu berechnen. Hierbei sind Teilstücke über eine Länge von mindestens 500 m zu beiden Seiten des Messquerschnitts einzubeziehen. Bei der Berechnung der Beurteilungspegel ist der Korrekturpegel S zur Berücksichtigung der Besonderheiten von Bahnen (siehe /MSB-LSV/) außer Acht zu lassen.

Das Iterationsverfahren umfasst die folgenden Teilschritte:

- 1) Berechnung des Gesamtbeurteilungspegels $L_r(v)$ für eine Kombination von $D_{Fz,me}$ - und $D_{Fz,ae}$ -Werten,
- 2) Berechnung der Pegeldifferenzen $\Delta L_{Diff}(v)$ zwischen dem berechneten Gesamtbeurteilungspegel $L_r(v)$ und dem Polynom $L_{Am,1h,korr}(v)$ im Geschwindigkeitsbereich von 170 km/h bis mindestens 400 km/h in Stufen von 1 km/h gemäß

$$\Delta L_{Diff}(v) = L_r(v) - L_{Am,1h,korr}(v) \text{ [dB(A)]}, \quad (4)$$

Gleichung (4)

- 3) mathematische Rundung der Werte von $\Delta L_{Diff}(v)$ auf eine Dezimalstelle,

- 4) Variation der $D_{Fz,me}$ - und $D_{Fz,ae}$ -Werte in 0,5 dB-Stufen zur Bestimmung derjenigen Wertekombination, bei welcher die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:
- Die gerundeten Pegeldifferenzen $\Delta L_{Diff}(v) \geq 0$ für alle Geschwindigkeiten zwischen 170 km/h und der höchsten Geschwindigkeit (mindestens 400 km/h, siehe Kapitel 6.2); diese Bedingung ist in 1 km/h-Stufen zu überprüfen und stellt sicher, dass die prognostizierten Gesamtbeurteilungspegel stets über den Messwerten (repräsentiert durch die Werte des Polynoms $L_{Am,1h,korr}(v)$) liegen.
 - Im Bereich von 170 km/h bis zur höchsten Geschwindigkeit (mindestens 400 km/h, siehe Kapitel 6.2) ist die Summe der Quadrate der gerundeten Pegeldifferenzen $\Delta L_{Diff}(v)$ minimal. Bei der Berechnung dieser Summe beträgt die Abstufung wiederum 1 km/h.

Die nach Beendigung von Schritt 4 des Iterationsverfahrens gefundene Kombination der D_{Fz} -Werte stellt die für ein neues Fahrzeug gesuchten Werte für $D_{Fz,me}$ und $D_{Fz,ae}$ dar.

8.2 Bestimmung des D_{Fb} -Werts

Die Bestimmung des D_{Fb} -Werts setzt die Kenntnis der Hilfsgrößen D_{FzH} , d. h. von $D_{FzH,me}$ und $D_{FzH,ae}$, desjenigen Fahrzeugs voraus, mit dem die Vorbeifahrten auf dem Fahrweg-Prüfling stattgefunden haben, für den der D_{Fb} -Wert zu ermitteln ist. Dabei stellen die D_{FzH} -Werte im Prinzip die Pegeldifferenzen D_{Fz} dar; sie werden jedoch ohne die Korrekturen ΔL_{Sek} bezüglich der Sektionsanzahl ermittelt. Sie beruhen im Allgemeinen auf Vorausmessungen am Referenz-Betonfahrweg im zeitnahen Vorfeld der eigentlichen Messungen am Fahrweg-Prüfling.

Vorausmessungen und Datenauswertung zur Bestimmung der D_{FzH} -Werte

Die Vorausmessungen zur Bestimmung der D_{FzH} -Werte am Referenz-Betonfahrweg unterliegen den Anforderungen, wie sie in Kapitel 6 angegeben sind. Auch die Auswertung der Messdaten unterscheidet sich nicht von derjenigen bei der D_{Fz} -Bestimmung. Somit erfolgt die Ermittlung von $D_{FzH,me}$ und $D_{FzH,ae}$ sinngemäß anhand des Iterationsverfahrens von Kapitel 8.1. Vier Ausnahmen sind dabei jedoch zu beachten:

- Die Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h}$ werden nicht mit den Korrekturwerten ΔL_{Sek} beaufschlagt, so dass das Ausgleichspolynom von Gleichung (3) aus den tatsächlich gemessenen Werten für den Stundenmittelungspegel abgeleitet wird.
- Die Rundung von $\Delta L_{Diff}(v)$ in Schritt 3 des Iterationsverfahrens entfällt.
- Beim Schritt 4 des Iterationsverfahrens ist die Variation der $D_{FzH,me}$ - und $D_{FzH,ae}$ -Werte in 0,1 dB-Stufen vorzunehmen und
- die Bedingung $\Delta L_{Diff}(v) \geq 0$ entfällt.

Die nach Beendigung von Schritt 4 des Iterationsverfahrens gefundene Kombination der D_{FzH} -Werte stellt die gesuchten Werte für $D_{FzH,me}$ und $D_{FzH,ae}$ dar.

Bestimmung des D_{FB} -Werts auf der Basis der D_{FzH} -Werte

Zur Bestimmung des D_{FB} -Werts des Fahrweg-Prüflings ist zunächst die Differenzkurve $\Delta L_{Am,1h}(v)$ aus den am Messort mit dem Fahrweg-Prüfling gemessenen Stundenmittlungspegeln $L_{Am,1h,prüf}$ und den am Messort mit dem Referenz-Betonfahrweg gemessenen Pegeln $L_{Am,1h,ref}$ im an beiden Messorten gemeinsamen Geschwindigkeitsbereich zu bilden, nämlich

$$\Delta L_{Am,1h}(v) = L_{Am,1h,prüf}(v) - L_{Am,1h,ref}(v) \quad [\text{dB(A)}], \quad (5)$$

Gleichung (5)

wobei $L_{Am,1h,prüf}(v)$ und $L_{Am,1h,ref}(v)$ nach Gleichung (3) zu bestimmende Ausgleichspolynome sind. Der Kurvenverlauf $\Delta L_{Am,1h}(v)$ ist somit der Repräsentant der am Immissionsort mit dem Fahrweg-Prüfling gegenüber dem Immissionsort mit dem Referenz-Betonfahrweg in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit festgestellten Pegeldifferenz. Unter Kenntnis der Hilfsgrößen $D_{FzH,me}$ und $D_{FzH,ae}$ des aktuellen Fahrzeugs, d. h. desjenigen Fahrzeugs, mit dem die Vorbeifahrten auf dem Fahrweg-Prüfling stattgefunden haben, wird der D_{FB} -Wert des Fahrweg-Prüflings, d. h. $D_{FB,prüf}$, anhand Gleichung (6) berechnet:

$$D_{FB,prüf}(v) = 10 \lg(10^{(\Delta L_{Am,1h} - C)/10} + 10^{(\Delta L_{Am,1h} - C + L_{E,ae} - L_{E,me})/10} - 10^{(L_{E,ae} - L_{E,me})/10}) \quad [\text{dB(A)}] \quad (6)$$

Gleichung (6)

$$\text{mit } L_{E,me} = 40 + D_{FzH,me} + 10 \lg(l/100 \text{ m}) + 20 \lg(v/v_0) + D_{FB,ref} \quad [\text{dB(A)}],$$

$$L_{E,ae} = 24 + D_{FzH,ae} + 10 \lg((0,6 \cdot l + 40)/100 \text{ m}) + 60 \lg(v/v_0) \quad [\text{dB(A)}],$$

$$D_{FB,ref} = 0$$

$$C = C_{prüf} - C_{ref} \quad [\text{dB(A)}],$$

$$\text{mit } C_{prüf} = 10 \lg \sum_k 10^{\Delta L_{k,prüf}/10} \quad [\text{dB(A)}] \quad (\text{gemäß Teilstückverfahren der /MSB-LSV/),}$$

$$C_{ref} = 10 \lg \sum_k 10^{\Delta L_{k,ref}/10} \quad [\text{dB(A)}] \quad (\text{gemäß Teilstückverfahren der /MSB-LSV/),}$$

$$\text{mit } \Delta L_{k,prüf} = 18 + 10 \lg(l_{k,prüf}) + D_{s,k,prüf} + D_{L,k,prüf} + D_{BM,k,prüf} \quad [\text{dB(A)}],$$

$$\Delta L_{k,ref} = 18 + 10 \lg(l_{k,ref}) + D_{s,k,ref} + D_{L,k,ref} + D_{BM,k,ref} \quad [\text{dB(A)}].$$

Hinweis: Die Terme $C_{prüf}$ und C_{ref} berücksichtigen unterschiedliche Höhen über Boden der Fahrwegoberkante und des Immissionsorts am Messort des Fahrweg-Prüflings und des Referenz-Betonfahrwegs. Sind die Höhen der Fahrwegoberkante an beiden Messorten gleich, wird die Differenz $C_{prüf} - C_{ref}$ zu Null, sodass der Term C in Gleichung (6) entfällt.

Gleichung (6) gilt ausdrücklich nur für die Randbedingungen, wie sie nach den Vorgaben in Kapitel 6 bei den Messungen einzuhalten sind. Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass in (6) im Rahmen des Teilstückverfahrens Teilstücke über eine Länge von mindestens 500 m zu beiden Seiten des Messquerschnitts einbezogen werden müssen.

Der nach Gleichung (6) im Geschwindigkeitsbereich ab 170 km/h bestimmte Maximalwert von $D_{Fb,prüf}$ ist in 0,5 dB-Stufen aufzurunden. Der daraus resultierende Wert stellt den gesuchten D_{Fb} -Wert des Fahrweg-Prüflings dar. Da nach Kapitel 6.3 die Angabe des D_{Fb} -Werts des Fahrweg-Prüflings in Geschwindigkeitsbereichen zulässig ist, nämlich bis einschließlich 300 km/h, von > 300 km/h bis einschließlich 400 km/h und im darüber liegenden Bereich, ist die D_{Fb} -Bestimmung mittels Gleichung (6) falls erforderlich getrennt in den einzelnen Geschwindigkeitsbereichen durchzuführen. Die so erhältlichen D_{Fb} -Werte sind bezüglich ihres Gültigkeitsbereichs zu kennzeichnen.

8.3 Zusätzliche Vorgaben für die D_{Fb} -Bestimmung bei kurzen Einbaulängen des Fahrweg-Prüflings

Als D_{Fb} -Wert des Fahrweg-Prüflings wird der aus dem Einzelmikrofon-Verfahren bei reduziertem Messabstand und dem Array-Verfahren jeweils ermittelte größere Wert festgelegt. Diese Regelung gilt für den gesamten Geschwindigkeitsbereich ab 170 km/h als auch separat für die nach Kapitel 6.3 möglichen Teilgeschwindigkeitsbereiche. Im Einzelnen ist noch folgendes anzumerken:

- Die D_{Fb} -Bestimmung mittels des Einzelmikrofon-Verfahren bei reduziertem Messabstand erfolgt prinzipiell wie in Kapitel 8.2 beschrieben. Jedoch werden für die Pegeldifferenz $\Delta L_{Am,1h}(v)$ in Gleichung (5) bei der Berechnung der Polynome $L_{Am,1h,prüf}(v)$ und $L_{Am,1h,ref}(v)$ nach Gleichung (3) sämtliche an einem Messort ermittelte Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,r}$, d. h. die Pegel aus beiden Immissionshöhen, zugleich einbezogen. Ist wegen der an beiden Messorten unterschiedlichen Höhen der Immissionsorte der Term C in Gleichung (6) zu berücksichtigen, so ist je Messort die für die Berechnung von $C_{prüf}$ und C_{ref} notwendige Höhe des Immissionsorts aus den beiden Immissionsorthöhen des jeweiligen Messorts zu mitteln.
- Die D_{Fb} -Bestimmung mittels des Array-Verfahrens erfolgt deckungsgleich wie in Kapitel 8.2 geschildert. Bei der Berechnung der Polynome $L_{Am,1h,prüf}(v)$ und $L_{Am,1h,ref}(v)$ nach Gleichung (3) sind die Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,eFl}$ zu verwenden.

Hinweis: Durch die Berücksichtigung der beim Einzelmikrofon-Verfahren in zwei Immissionsorthöhen gemessenen Stundenmittelungspegel wird bei der Polynomberechnung je Messort eine Mittelung erreicht, welche die durch die vertikale Richtcharakteristik von Fahrweg und Fahrzeug bedingten Fehler reduziert.

8.4 Dokumentation zur Bestimmung der Pegeldifferenzen D_{Fz} und D_{Fb}

Die Dokumentation bezüglich der für ein neues Fahrzeug mittels des Iterationsverfahrens in Kapitel 8.1 gefundenen Werte für $D_{Fz,me}$ und $D_{Fz,ae}$ umfasst zwei Diagramme, die die „beste“ Anpassung des nach /MSB-LSV/ zu berechnenden Gesamtbeurteilungspegels an die korrigierten am Referenz-Betonfahrweg gemessenen Stundenmittelungspegel verdeutlichen sollen. Im ersten Diagramm sind gegenüberzustellen:

- die einzelnen korrigierten Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,korr}$,
- das aus diesen Werten abgeleitete Ausgleichspolynom $L_{Am,1h,korr}(v)$ sowie
- der Verlauf des nach /MSB-LSV/ zu berechnenden Gesamtbeurteilungspegels $L_r(v)$.

Im zweiten Diagramm ist der Verlauf der Pegeldifferenz $\Delta L_{Diff}(v)$ nach (4) aufzutragen, der zum Abbruch des Iterationsverfahrens geführt hat.

Im Rahmen der Ermittlung des D_{Fb} -Werts für den Fahrweg-Prüfling ist zunächst in Analogie zur Bestimmung der D_{Fz} -Werte hinsichtlich der aus dem Iterationsverfahren nach Kapitel 8.2 resultierenden Werte für $D_{FzH,me}$ und $D_{FzH,ae}$ ein Diagramm zu erstellen, das

- die einzelnen gemessenen Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h}$,
- das aus diesen Werten abgeleitete Ausgleichspolynom $L_{Am,1h}(v)$ sowie
- den Verlauf des nach /MSB-LSV/ mit $D_{FzH,me}$ für $D_{Fz,me}$ und $D_{FzH,ae}$ für $D_{Fz,ae}$ zu berechnenden Gesamtbeurteilungspegels $L_r(v)$,

für den Fall der „besten“ Anpassung von zu berechnendem Gesamtbeurteilungspegel und gemessenen Stundenmittelungspegeln beinhaltet. Diese „beste“ Anpassung ist in einem weiteren Diagramm zu illustrieren, in dem der Verlauf der Pegeldifferenz $\Delta L_{Diff}(v)$ nach (4) aufgetragen wird, der zum Abbruch des Iterationsverfahrens geführt hat.

Des Weiteren sind die Messwerte am Fahrweg-Prüfling zu dokumentieren, und zwar in einer Grafik

- die einzelnen gemessenen Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,prüf}$ und
- das aus diesen Werten abgeleitete Ausgleichspolynom $L_{Am,1h,prüf}(v)$.

Zur Dokumentation des mittels Gleichung (6) bestimmten D_{Fb} -Werts sind zwei Grafiken anzufertigen, die

- die gemessene Pegeldifferenz $\Delta L_{Am,1h}$ als Funktion der Geschwindigkeit und
- die berechneten $D_{Fb,prüf}$ -Werte als Funktion der Geschwindigkeit

im Geschwindigkeitsbereich ab 170 km/h enthalten. Letztere Grafik verdeutlicht einerseits die Abhängigkeit der $D_{Fb,prüf}$ -Werte von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs, andererseits zeigt sie auf, bei welcher Geschwindigkeit der maximale Wert von $D_{Fb,prüf}$ und damit letztendlich der D_{Fb} -Wert des Fahrweg-Prüflings ermittelt wurde.

9 Anhang

In diesem Anhang wird die Bestimmung von D_{FZ^-} , D_{FZH^-} und D_{Fb} -Werten sowie die Ergebnisdokumentation an Hand eines Beispiels verdeutlicht. Dazu sind in Tabelle 9-1 fiktive Stundenmittlungspegel $L_{Am,1h}$ aufgelistet, die unter Bedingungen gemäß Kapitel 6 am Referenz-Betonfahrweg gemessen und entsprechend den Vorgaben nach Kapitel 7 ermittelt worden sein sollen.

Im vorliegenden Beispiel werden nachfolgende Randbedingungen und fiktive Messwerte angenommen:

- einzelnes Mikrofon in 25 m Abstand von der Fahrwegträgermitte,
- „lange“ Erstreckung des Fahrwegs,
- Fahrwegoberkante im Messquerschnitt in 6,7 m Höhe über dem Boden,
- Fahrzeug mit einer Länge von 79,2 m.

v [km/h]	$L_{Am,1h}$ [dB(A)]	v [km/h]	$L_{Am,1h}$ [dB(A)]	v [km/h]	$L_{Am,1h}$ [dB(A)]
129,9	41,9	229,2	46,6	330,1	53,6
130,0	42,5	230,3	46,8	330,5	53,8
139,9	42,5	240,1	47,4	339,9	54,4
140,1	42,2	240,3	47,9	340,3	54,8
150,1	41,9	249,9	48,2	349,7	55,3
150,4	42,5	250,3	48,5	350,1	55,1
160,0	42,3	260,2	48,8	360,1	55,6
160,1	42,7	260,5	49,2	360,4	55,2
170,1	42,6	269,8	49,7	369,7	56,5
170,4	43,4	270,2	50,3	370,1	56,3
180,1	43,5	280,0	50,2	379,7	56,8
180,2	42,7	280,2	50,5	380,1	56,7
190,1	43,6	289,9	51,2	390,0	57,0
190,3	44,4	290,2	51,5	390,2	57,4
200,1	44,4	300,2	51,9	400,1	58,0
200,3	44,7	300,6	52,3	400,3	57,7
210,2	44,9	310,5	52,3	409,6	58,4
210,4	45,1	310,8	52,6	409,9	58,9
219,8	45,9	319,9	52,8	410,3	58,6
220,2	45,5	320,1	53,1	-	-

Tabelle 9-1: Am Messort mit dem Referenz-Betonfahrweg fiktiv ermittelte Stundenmittlungspegel

9.1 Beispiel für die Bestimmung der Pegeldifferenzen $D_{Fz,me}$ und $D_{Fz,ae}$

Die Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h}$ aus Tabelle 9-1 sind zunächst hinsichtlich der Sektionsanzahl des Fahrzeugs gemäß Gleichung (2) zu korrigieren. Die daraus resultierenden Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,korr}$ sind in Abbildung 2 eingetragen (entsprechend Kapitel 8.4). Aus den Pegeln $L_{Am,1h,korr}$ wird sodann gemäß Gleichung (3) das Ausgleichspolynom $L_{Am,1h,korr}(v)$ gebildet und der Abbildung 2 hinzugefügt (siehe Kapitel 8.4). Im vorliegenden Beispiel ergeben sich für die Koeffizienten des Ausgleichspolynoms die Werte $a = 38,90$, $b = 12,62$ und $c = 35,70$.

Durch Anwendung des in Kapitel 8.1 festgelegten Iterationsverfahrens werden die Werte $D_{Fz,me}$ und $D_{Fz,ae}$ bestimmt, welche die „beste“ Anpassung des nach /MSB-LSV/ zu berechnenden Gesamtbeurteilungspegels $L_r(v)$ an das Ausgleichspolynom $L_{Am,1h,korr}(v)$ liefern, wobei insbesondere zu beachten ist, dass der berechnete Gesamtbeurteilungspegel stets oberhalb des Ausgleichspolynoms liegen muss. In diesem Beispiel sind die bestimmten Werte $D_{Fz,me} = -0,5 \text{ dB(A)}$ und $D_{Fz,ae} = -0,5 \text{ dB(A)}$. Der Verlauf des Gesamtbeurteilungspegels für diese beiden Werte ist gleichfalls in Abbildung 2 eingetragen (siehe Kapitel 8.4).

Im Übrigen beträgt der bei der Berechnung des Gesamtbeurteilungspegels am Referenz-Betonfahrweg benötigte Wert für C_{ref} aufgrund der oben angegebenen geometrischen Verhältnisse und der über $\pm 500 \text{ m}$ beidseits des Messquerschnitts berücksichtigten Teilstücke $0,0218 \text{ dB(A)}$.

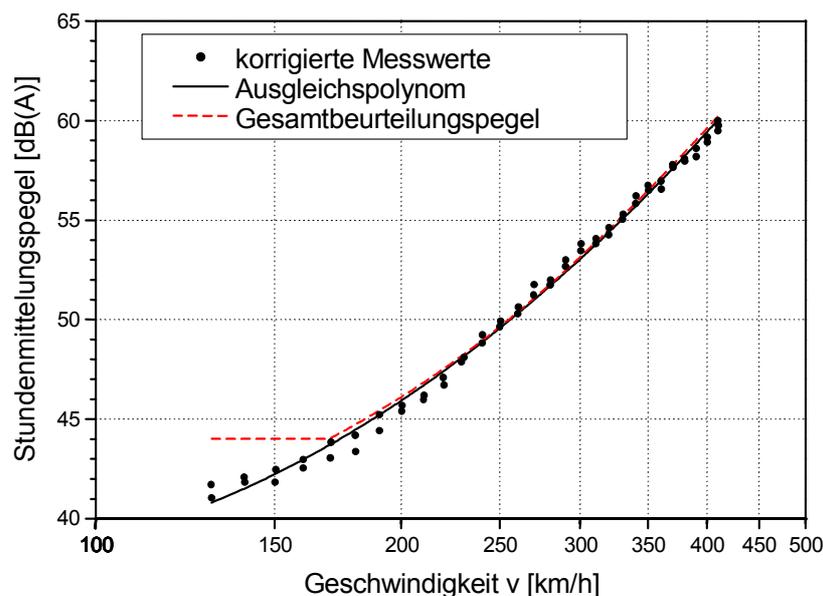


Abbildung 2: Korrigierte Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,korr}$, Ausgleichspolynom $L_{Am,1h,korr}(v)$ und Gesamtbeurteilungspegel $L_r(v)$ auf Basis der mit dem Iterationsverfahren bestimmten D_{Fz} -Werte

Entsprechend der Vorgabe von Kapitel 8.4 ist in Abbildung 3 der Verlauf der Pegeldifferenz ΔL_{Diff} gemäß Gleichung (4) als Differenz der Verläufe von Gesamtbeurteilungspegel und Ausgleichspolynom aus Abbildung 2 dargestellt. Abbildung 3 dient als Nachweis, dass bei der Bestimmung von $D_{Fz,me}$ und $D_{Fz,ae}$ die Bedingung $\Delta L_{Diff} \geq 0$ im gesamten Geschwindigkeitsbereich von 170 km/h bis zur höchsten Geschwindigkeit eingehalten wurde.

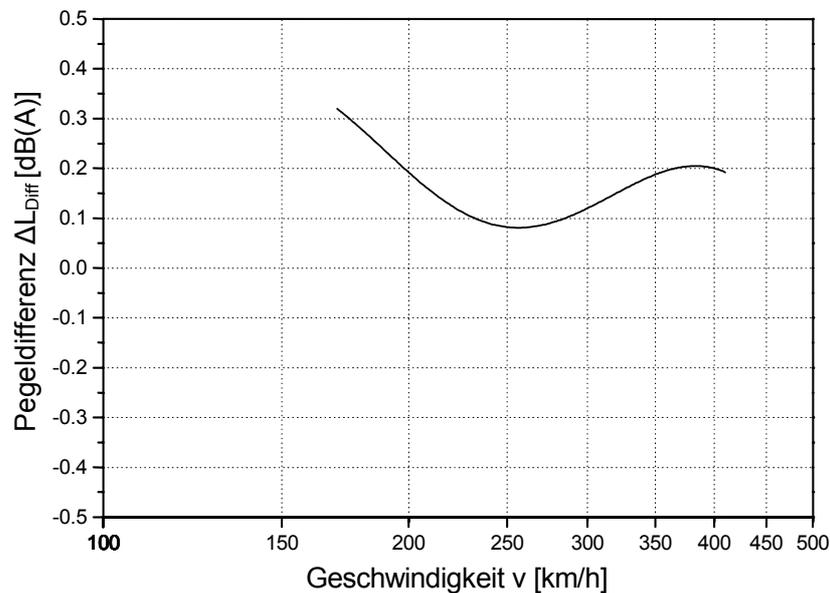


Abbildung 3: Pegeldifferenz $\Delta L_{\text{Diff}}(v)$ von Gesamtbeurteilungspegel und Ausgleichspolynom aus Abbildung 2

9.2 Beispiel für die Bestimmung der Pegeldifferenz D_{Fb}

In einem ersten Schritt sind durch Messungen am Referenz-Fahrweg die Hilfsgrößen $D_{\text{FzH,me}}$ und $D_{\text{FzH,ae}}$ für das Fahrzeug zu ermitteln, mit dem die Fahrten auf dem Fahrweg-Prüfling erfolgten. Anschließend wird aus der Differenz der am Fahrweg-Prüfling und am Referenz-Betonfahrweg gemessenen Stundenmittlungspegel die Pegeldifferenz D_{Fb} bestimmt.

9.2.1 Bestimmung der Hilfsgrößen $D_{\text{FzH,me}}$ und $D_{\text{FzH,ae}}$

Zunächst sind gemäß Kapitel 8.4 die am Referenz-Betonfahrweg ermittelten Stundenmittlungspegel $L_{\text{Am,1h}} = L_{\text{Am,1h,ref}}$ aus Tabelle 9-1 grafisch darzustellen (siehe Abbildung 4). Eine Korrektur hinsichtlich der Sektionsanzahl des Fahrzeugs findet nicht statt. An diese Werte ist mittels Gleichung (3) ein Ausgleichspolynom $L_{\text{Am,1h,ref}}(v)$ anzupassen und ebenfalls grafisch darzustellen (siehe Abbildung 4). Für die Koeffizienten dieses Ausgleichspolynoms ergeben sich für das Beispiel die Werte $a = 41,43$, $b = -4,81$ und $c = 54,38$.

Mittels des nach Kapitel 8.2 modifizierten Iterationsverfahrens sind durch die „beste“ Anpassung des nach /MSB-LSV/ zu berechnenden Gesamtbeurteilungspegels $L_r(v)$ an das Ausgleichspolynom $L_{\text{Am,1h,ref}}(v)$ die Hilfsgrößen $D_{\text{FzH,me}}$ und $D_{\text{FzH,ae}}$ zu bestimmen. Gemäß Kapitel 8.4 ist der mit den gefundenen Werten für $D_{\text{FzH,me}}$ und $D_{\text{FzH,ae}}$ prognostizierte Verlauf von $L_r(v)$ der Abbildung 4 hinzuzufügen. Beim vorliegenden Beispiel erbringt das Iterationsverfahren die Werte $D_{\text{FzH,me}} = -1,6$ dB(A) und $D_{\text{FzH,ae}} = -2,2$ dB(A). Für die so ermittelten D_{FzH} -Werte ist entsprechend Kapitel 8.4 in einer gesonderten Grafik (siehe Abbildung 5) der Verlauf der Pegeldifferenz ΔL_{Diff} gemäß Gleichung (4) als Differenz der Verläufe von Gesamtbeurteilungspegel und Ausgleichspolynom aus Abbildung 4 dargestellt.

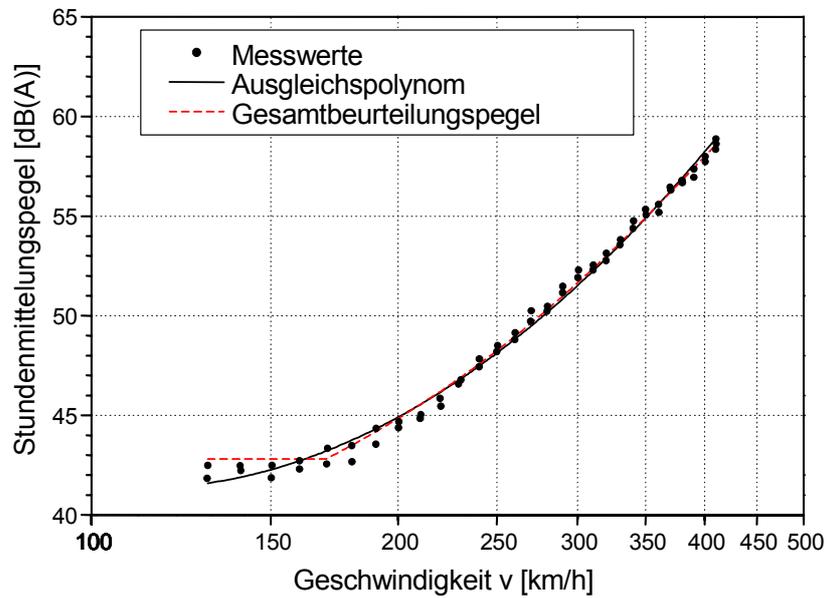


Abbildung 4: Stundenmittlungspegel $L_{Am,1h,ref}$, Ausgleichspolynom $L_{Am,1h,ref}(v)$ und Gesamtbeurteilungspegel $L_r(v)$ auf Basis der mit dem modifizierten Iterationsverfahren bestimmten D_{FzH} -Werte

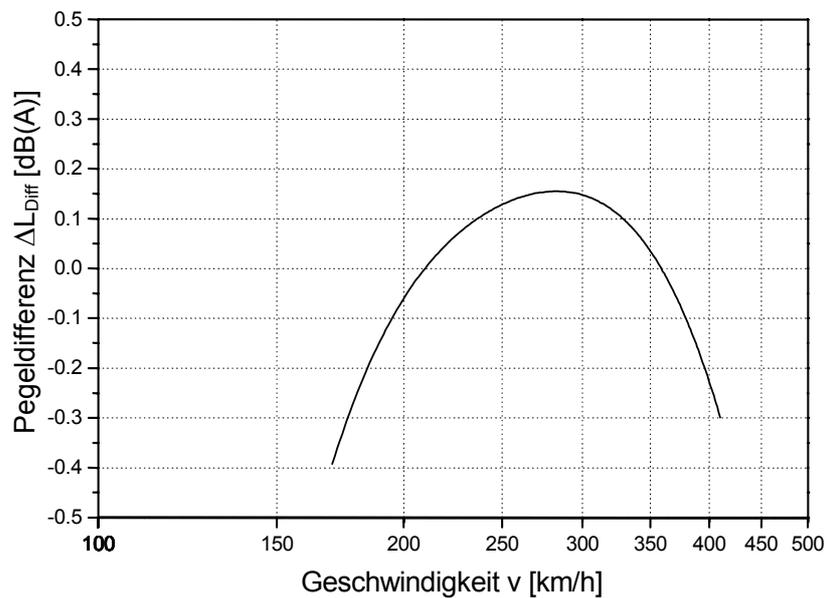


Abbildung 5: Pegeldifferenz $\Delta L_{Diff}(v)$ von Gesamtbeurteilungspegel und Ausgleichspolynom aus Abbildung 4

9.2.2 Bestimmung des D_{Fb} -Werts für einen Fahrweg-Prüfling mit langer Erstreckung

Nachdem nunmehr die Hilfsgrößen $D_{FZH,me}$ und $D_{FZH,ae}$ bestimmt sind, kann der D_{Fb} -Wert des Fahrweg-Prüflings anhand von Gleichung (6) berechnet werden. Dazu sind in Tabelle 9-2 fiktive Stundenmittlungspegel $L_{Am,1h}$ aufgelistet, die unter Bedingungen gemäß Kapitel 6 am Fahrweg-Prüfling gemessen und entsprechend den Vorgaben nach Kapitel 7 ermittelt worden sein sollen.

Im vorliegenden Beispiel werden nachfolgende Randbedingungen und fiktive Messwerte angenommen:

- einzelnes Mikrofon in 25 m Abstand von der Fahrwegträgermitte,
- „lange“ Erstreckung des Fahrwegs,
- Fahrwegoberkante im Messquerschnitt in 6,5 m Höhe über dem Boden.

v [km/h]	$L_{Am,1h}$ [dB(A)]	v [km/h]	$L_{Am,1h}$ [dB(A)]	v [km/h]	$L_{Am,1h}$ [dB(A)]
130,1	44,6	229,7	49,4	329,8	55,0
130,3	45,0	230,1	49,7	330,4	55,4
139,8	44,9	240,0	50,2	340,0	55,6
140,0	44,6	240,2	50,6	340,4	56,1
149,8	44,3	249,8	50,6	349,9	56,5
150,2	44,8	250,1	51,0	350,3	56,2
159,9	44,6	260,1	51,3	359,8	56,7
160,1	45,0	260,5	51,6	360,3	56,4
170,0	44,9	269,7	51,7	369,7	57,6
170,3	45,6	270,1	52,3	370,3	57,3
179,9	45,8	279,5	52,4	379,9	57,7
180,1	45,1	280,1	52,8	380,2	57,5
189,8	46,0	289,8	53,1	390,1	57,7
190,1	46,9	290,2	53,3	390,4	58,2
199,9	47,0	299,7	53,7	399,8	58,6
200,3	47,4	300,3	54,0	400,4	58,4
210,0	47,8	310,1	54,1	409,6	59,0
210,4	48,1	310,5	54,3	410,0	59,3
219,7	48,8	319,9	54,4	410,4	59,1
220,2	48,5	320,3	54,6	-	-

Tabelle 9-2: Am Messort mit dem Fahrweg-Prüfling fiktiv ermittelte Stundenmittlungspegel

Zunächst ist aus den Stundenmittelungspegeln $L_{Am,1h} = L_{Am,1h,prüf}$ der Tabelle 9-2 das Ausgleichspolynom $L_{Am,1h,prüf}(v)$ zu bilden und entsprechend Kapitel 8.4 zusammen mit den Pegeln $L_{Am,1h,prüf}$ darzustellen (siehe Abbildung 6). Beim vorliegenden Beispiel betragen die Werte für die Koeffizienten des Ausgleichspolynoms $a = 42,62$, $b = 6,06$ und $c = 34,69$.

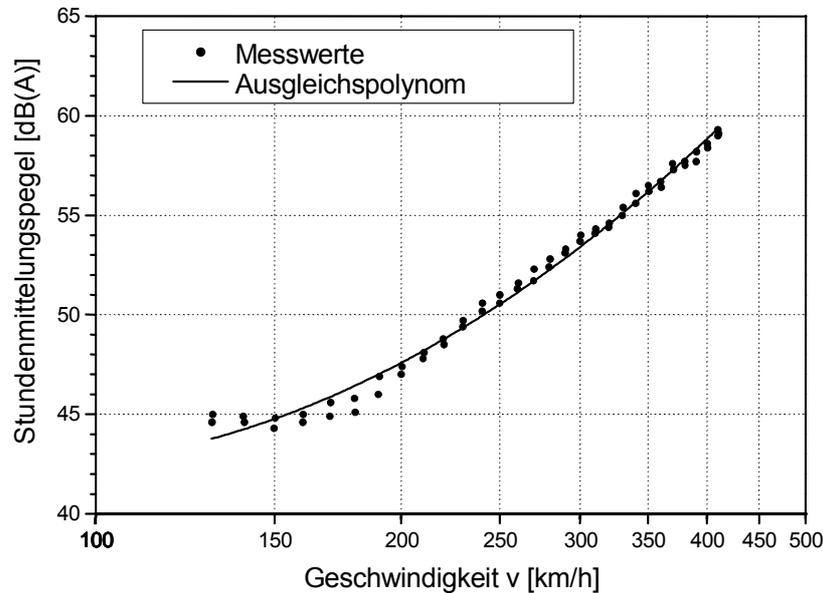
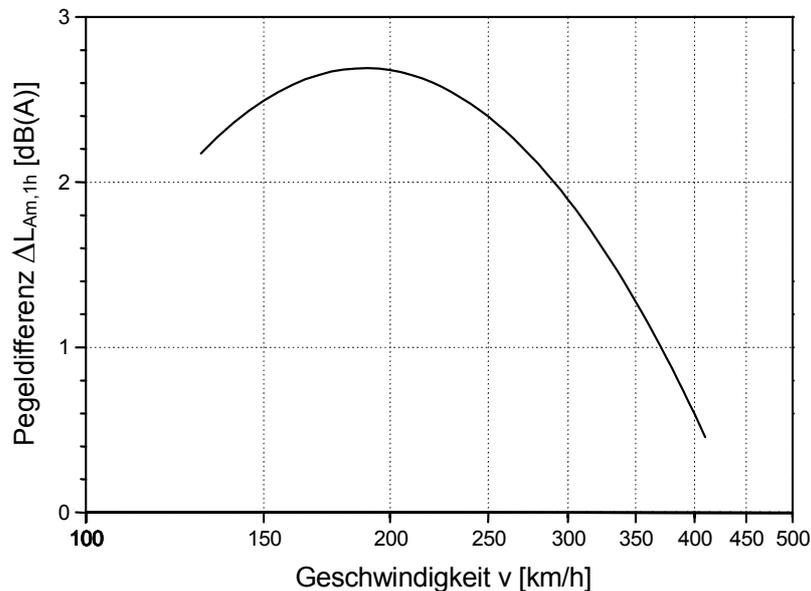


Abbildung 6: Stundenmittelungspegel $L_{Am,1h,prüf}$ und Ausgleichspolynom $L_{Am,1h,prüf}(v)$

Mit dem bereits oben berechneten Polynom $L_{Am,1h,ref}(v)$ folgt nach Gleichung (5) die Pegeldifferenz $\Delta L_{Am,1h}(v)$, die die aus den Messungen resultierende Eingangsgröße für Gleichung (6) darstellt. Der Verlauf von $\Delta L_{Am,1h}(v)$ ist als wichtige Zwischengröße bei der D_{Fb} -Bestimmung in einem gesonderten Diagramm gemäß Kapitel 8.4 zu veranschaulichen (siehe Abbildung 7).

Abbildung 7: Pegeldifferenz $\Delta L_{Am,1h}(v)$

Im nächsten Schritt ist aus $\Delta L_{Am,1h}(v)$ mittels Gleichung (6) $D_{Fb,prüf}(v)$ zu bestimmen. Dazu muss unter Beachtung der geometrischen Gegebenheiten an den beiden Messorten der Term $C = C_{prüf} - C_{ref}$ berechnet werden. Für C_{ref} wurde bereits in Kapitel 9.1 der Wert 0,0218 dB(A) bestimmt. Aufgrund der gegenüber dem Referenz-Betonfahrweg am Messort mit dem Fahrweg-Prüfling leicht geänderten geometrischen Situation (siehe oben) ergibt sich $C_{prüf} = 0,0144$ dB(A), sodass für C ein Wert von -0,0075 dB(A) folgt.

In Abbildung 8 sind als Ergebnis der Berechnungen mittels Gleichung (6) die Werte von $D_{Fb,prüf}(v)$ als Funktion der Fahrzeug-Geschwindigkeit aufgetragen. Der D_{Fb} -Wert des Fahrweg-Prüflings ergibt sich nun aus dem in 0,5 dB-Stufen aufgerundeten Maximalwert von $D_{Fb,prüf}$ entweder im gesamten Geschwindigkeitsbereich ab 170 km/h oder in den nach Kapitel 6.3 möglichen Teilbereichen. Im vorliegenden Beispiel sind dies:

- $D_{Fb} = 4,5$ dB(A) im gesamten Geschwindigkeitsbereich bis 410 km/h,
- $D_{Fb} = 4,5$ dB(A) im Teilbereich bis 300 km/h,
- $D_{Fb} = 4,5$ dB(A) im Teilbereich $300 < v \leq 400$ km/h,
- $D_{Fb} = 3,5$ dB(A) im Teilbereich $400 < v \leq 410$ km/h.

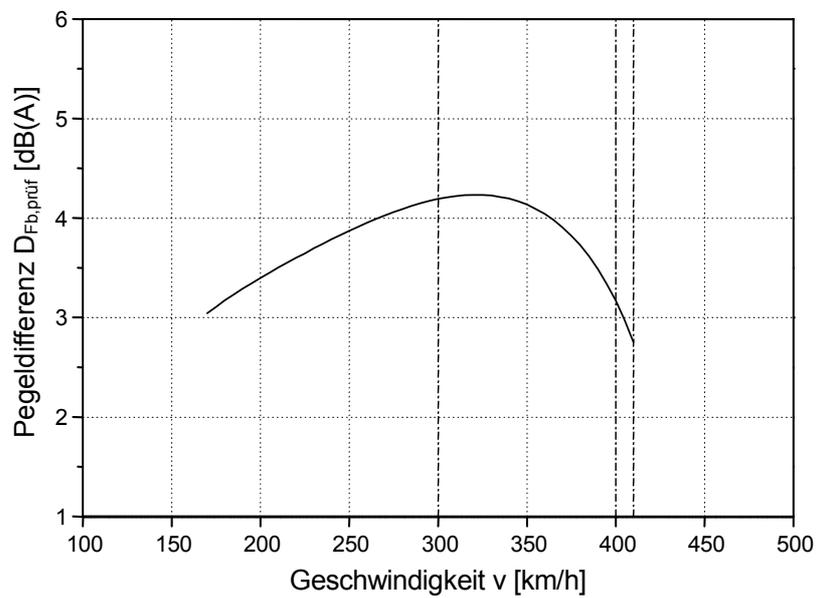


Abbildung 8: Berechnete $D_{Fb,prüf}$ -Werte eines Fahrweg-Prüflings bei fiktiven Messungen an einem Prüfling mit „langer“ Erstreckung

9.2.3 Bestimmung des D_{Fb} -Werts für einen Fahrweg-Prüfling mit kurzer Einbaulänge

Abbildung 9 zeigt schließlich für den Fall eines Fahrweg-Prüflings mit „kurzer“ Einbaulänge ein beispielhaftes Ergebnis der D_{Fb} -Bestimmung mittels des Einzelmikrofon-Verfahrens bei reduziertem Messabstand und des Array-Verfahrens, wobei die Vorgaben von Kapitel 8.3 zu beachten sind. Insbesondere ist dort festgelegt, dass als D_{Fb} -Wert des Fahrweg-Prüflings der größere der von beiden Verfahren ermittelten Werte sowohl im gesamten Geschwindigkeitsbereich ab 170 km/h als auch separat in den Teilgeschwindigkeitsbereichen zu gelten hat. Folglich beträgt der D_{Fb} -Wert im vorliegenden Beispiel nach dessen Aufrundung in 0,5 dB-Stufen

- $D_{Fb} = 6,0$ dB(A) im gesamten Geschwindigkeitsbereich bis 410 km/h, bestimmt aus der Einzelmikrofonmessung,
- $D_{Fb} = 4,0$ dB(A) im Teilbereich bis 300 km/h, bestimmt aus der Array-Messung,
- $D_{Fb} = 6,0$ dB(A) im Teilbereich $300 < v \leq 400$ km/h, bestimmt aus der Einzelmikrofonmessung,
- $D_{Fb} = 6,0$ dB(A) im Teilbereich $400 < v \leq 410$ km/h, bestimmt aus der Einzelmikrofonmessung.

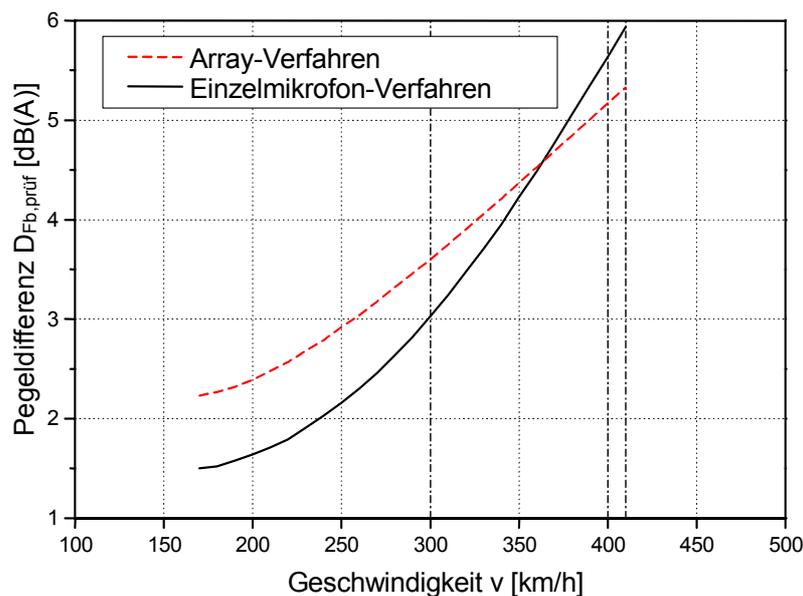


Abbildung 9: Berechnete $D_{Fb,prüf}$ -Werte eines Fahrweg-Prüflings bei fiktiven Messungen an einem Prüfling mit „kurzer“ Einbaulänge

Hinweis: Zu den recht unterschiedlichen Verläufen von $D_{Fb,prüf}$ als Funktion der Geschwindigkeit in Abbildung 8 und Abbildung 9 sei angemerkt, dass sich in Abbildung 8 ein möglicher Fall widerspiegelt, bei dem die erhöhte Schallemission des Fahrweg-Prüflings einzig auf einem mechanisch bedingten Zusatzanteil beruht. Im fiktiven Fall von Abbildung 9 hingegen sind sowohl mechanische als auch aerodynamische Ursachen für die größere Abstrahlung des Prüflings verantwortlich.

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Fahrzeug Teil I

Generelle Anforderungen

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Fahrzeug zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht:

Datum der Freigabe: 15.02.2007; Weißdruck, Fachausschuss Fahrzeug.

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler	2
2	Änderungsübersicht:	3
3	Inhaltsverzeichnis	4
4	Allgemeines	6
4.1	Zweck und Anwendungsbereich	6
4.2	Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen	6
4.3	Abkürzungen und Definitionen	8
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien	8
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen	9
4.6	Referenzen	9
5	Definitionen (fahrzeugspezifisch)	10
6	Generelle Anforderungen	20
6.1	Funktion	20
6.2	Bemessung von mechanischen Bauteilen	20
6.2.1	Bemessungsgrundlagen	20
6.2.2	Kollisionsverhalten	20
6.3	Sicherheitsanforderungen	21
6.3.1	Sicherheitsrelevante Funktionen	21
6.3.2	Brandschutz	21
7	Wagenkasten	24
8	Trag- / Führsystem, Bremseinrichtungen	25
9	Anhang Wägung des MSB-Fahrzeuges	26
9.1	Vorbereitung	26
9.2	Vorgaben und Randbedingungen	26
9.3	Messung unterhalb der Tragkufen	28
9.4	Messung unterhalb der Tragemagnetrücken	29
9.5	Ergänzende Messgrößen	30
9.6	Auswertung	30
9.7	Dokumentation	31
10	Anhang Liste der Anforderungen an die Abnahme (Beispiel)	32

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: <i>Seitenansicht und Frontansicht eines Fahrzeugs (Prinzipdarstellung)</i>	11
Abb. 2: <i>Querschnitt Fahrzeug (Prinzipdarstellung)</i>	12
Abb. 3: <i>Übergeordnete Gliederung Fahrzeug</i>	13
Abb. 4: <i>Gliederung Wagenkasten</i>	14
Abb. 5: <i>Gliederung Trag- / Führsystem</i>	15
Abb. 6: <i>Bezeichnungen der wesentlichen Baugruppen der Wagenkastenstruktur (Beispiele)</i>	16
Abb. 7: <i>Bezeichnungen der Verkleidungselemente von Wagenkasten und Trag- / Führsystem (Prinzipdarstellung)</i>	17
Abb. 8: <i>Bezeichnungen der wesentlichen Baugruppen des Trag-/Führsystems (Prinzipdarstellung Seitenansicht)</i>	18
Abb. 9: <i>Bezeichnungen der wesentlichen Baugruppen und der Abmessungen des Trag-/Führsystems (Prinzipdarstellung Querschnitt)</i>	18
Abb. 10: <i>Bezeichnungen der wesentlichen Baugruppen der Gestellstruktur (Prinzipdarstellung)</i>	19
Abb. 11: <i>Prinzipdarstellung des Verfahrens zur Messung unterhalb der Tagkufe</i>	28
Abb. 12: <i>Prinzipdarstellung des Verfahrens zur Messung unterhalb des Tragemagnetrückens</i>	29
Abb. 13: <i>Exemplarische Darstellung der Messergebnisse für ein Fahrzeug mit drei Sektionen in Form einer Tabelle und einer Grafik (fiktive Messwerte)</i>	30
Abb. 14: <i>Exemplarische Darstellung der Kupplungsstützkräfte und deren Wirkrichtung an einem Fahrzeug mit drei Sektionen</i>	31
Abb. 15: <i>Exemplarische Darstellung der ergänzenden Messgrößen Luftfederdruck, Niveaulage, Kupplungsstützkraft sowie der Lage von Zusatzgewichten an einem Fahrzeug mit drei Sektionen</i>	31

4 Allgemeines

4.1 Zweck und Anwendungsbereich

Die vorliegende Ausführungsgrundlage Fahrzeug Teil I „Generelle Anforderungen“ legt die generellen Anforderungen an das Fahrzeug und die Nachweisverfahren fest.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

Das vorliegende Dokument ist bei der Spezifikation, Ausführung und Nachweisführung der MSB-Fahrzeuge anzuwenden.

Projektspezifische Anforderungen sind zwischen der Genehmigungsbehörde, Magnetschnellbahn-Unternehmer (Betreiber) und Fahrzeuglieferant zu vereinbaren. Diese sind im Pflichtenheft (Liefer- und Leistungsbeschreibung) auf Basis des Lastenheftes des MSB-Unternehmers zu dokumentieren.

In den Ausführungsgrundlagen Fahrzeug (Teile I – V) wird unter dem Begriff Fahrzeug ausschließlich ein Schwebefahrzeug der MSB verstanden.

Abweichungen von den Anforderungen und Festlegungen in diesem Dokument bedürfen des Nachweises gleicher Sicherheit.

Dieser Teil I der Ausführungsgrundlagen Fahrzeug umfasst:

- Definitionen der Struktur und der Baugruppen des Fahrzeugs;
- Generelle Anforderungen an die Fahrzeuge;
- Anforderungen an die Abnahme.

4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentationsbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordnete Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, mit den Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

Die Dokumentation zum Fahrzeug beinhaltet folgende Unterlagen:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil I: Generelle Anforderungen, Dok.-Nr: 67698, /MSB AG-FZ GEN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil II: Bemessung, Dok.-Nr: 67694, /MSB AG-FZ BEM/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil III: Kinematische Begrenzungslinie, Dok.-Nr: 67650, /MSB AG-FZ KIN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil IV: Trag- Führtechnik, Dok.-Nr: 73388, /MSB AG-FZ TRAFÜ/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil V: Bremstechnik, Dok.-Nr: 73389, /MSB AG-FZ BREMS/

Die Schnittstellen zwischen den einzelnen Teilsystemen sind übergeordnet in der Magnetschnellbahn Gesamtsystem /MSB AG-GESAMTSYS / definiert. Die Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem ist daher stets mit anzuwenden.

Nachfolgend sind die Inhalte der Teile I bis V der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen Fahrzeug stichpunktartig zusammengefasst:

Teil I Generelle Anforderungen

- Definitionen der Struktur und der Baugruppen des Fahrzeugs;
- Generelle Anforderungen an die Fahrzeuge;
- Anforderungen an die Abnahme.

Teil II Bemessung

- Festlegung der Betriebsbedingungen, Einwirkungen und Einwirkungskombinationen;
- Nachweisführung der statischen Festigkeit und Ermüdungsfestigkeit, der Stabilität und Steifigkeit.

Teil III Kinematische Begrenzungslinie

- Definition der kinematischen Funktionen;
- Definition der relevanten geometrischen Daten und Ausfallzustände;
- Vorgaben zum Nachweis der Begrenzungslinie.

Teil IV Trag- / Führtechnik

- Definition des Trag- / Führsystems;
- Anforderungen an die Funktionen des Trag- / Führsystems;
- Einwirkungen des Trag- / Führsystems auf den Fahrweg.

Teil V Bremstechnik

- Definition der Bremseinrichtungen;
- Anforderungen an die Funktionen des Bremseinrichtungen;
- Einwirkungen der Bremseinrichtungen auf den Fahrweg.

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

In der Checkliste in Anhang 10 zu diesem Dokument werden Normen genannt, deren Einhaltung - soweit für die MSB anwendbar - grundsätzlich bei der Abnahme des Fahrzeugs gemäß §6 /MbBO/ geprüft werden kann.

Die beigefügte Checkliste dient als Beispiel. Sie ist samt der dazu heranzuziehenden Normen sowie Prüf- und Nachweisverfahren projektspezifisch zwischen der Genehmigungsbehörde, Magnetschnellbahn-Unternehmer (Betreiber) und Fahrzeuglieferant zu vereinbaren.

Soweit Normen für die MSB als nicht eindeutig anwendbar erkannt werden, können weitere MSB-spezifische Ausführungsgrundlagen durch den MSB-Fachausschuss Fahrzeug erarbeitet werden.

Darüber hinaus gibt es weitere Normen, z. B. Werkstoffnormen, Fertigungsnormen, Instandhaltungsnormen, deren Einhaltung im Rahmen der Abnahme gemäß §6 /MbBO/ nicht explizit geprüft wird, sondern deren Einhaltung in der Hersteller- bzw. Betreiberverantwortung liegt.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokuments sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in Kursiv-Schrift gekennzeichnet.

Werden in diesem Dokument Hinweise auf projektspezifische Regelungen im Einzelfall gegeben, bedeutet dies, dass eine Vereinbarung zwischen Hersteller und Unternehmer (z.B. *in einem Lastenheft bzw. einer vertraglichen Regelung*) unter Hinzuziehung der Genehmigungsbehörde zu treffen ist.

4.6 Referenzen

Die nachfolgend aufgelisteten Referenzen stellen einen Auszug der in diesem Dokument herangezogenen Referenzunterlagen dar. Eine vollständige Auflistung aller in den MSB-Ausführungsgrundlagen herangezogenen Referenzunterlagen findet sich in /MSB AG-NORM&RILI/.

Dokument	Beschreibung
/BrandReg/	Regelung für die brandschutztechnische Beurteilung von Schienenfahrzeugen im Rahmen der Abnahme nach §32 EBO; Grundsätze der brandschutztechnischen Anforderungen in Anlehnung an EN 45545; Vereinbarung zwischen Eisenbahn-Bundesamt, Deutsche Bahn AG, Verband der Bahnindustrie in Deutschland, 01.06.2006

5 Definitionen (fahrzeugspezifisch)

Die Abb. 1 und Abb. 2 zeigen die Seiten- und Frontansicht und den Querschnitt eines typischen Fahrzeugs und erläutern die charakteristischen Abmessungen.

Die Fahrzeuge müssen aus Fahrzeugsektionen gebildet werden, die in Bezug auf die Trag- und Führungsfunktion, die Bremseinrichtungen, die Bordenergieversorgung und den Wagenkasten autark sind.

Die Verbindung der Fahrzeugsektionen kann durch sektionsverbindende Tragmagnete und durch eine Sektionskupplung (siehe Abb. 1, Abb. 6, Abb. 8) erfolgen.

Es gibt Endsektionen und Mittelsektionen. Die Endsektionen weisen im Vergleich zur Mittelsektion zusätzlich zur Zellenstruktur einen Bug auf (Abb. 6).

Die Gestellstruktur des Trag-/Führsystems unter dem Bug kann eine gestellfest eingebaute Bugverkleidung (siehe Abb. 7) aufweisen.

In den Endsektionen können die Einrichtungen der Betriebsleittechnik, die Funkeinrichtungen sowie die für die Funktion der Betriebsleittechnik und des Antriebs erforderlichen Ortungseinrichtungen integriert werden.

Ein Fahrzeug kann 2 Endsektionen und bis zu 8 Mittelsektionen aufweisen¹⁾.

Die Systemlänge einer Fahrzeugsektion muss der geometrischen Länge einer Mittelsektion L_{MS} entsprechen.

L_{MS} entspricht der 8-fachen Tragmagnetsystemlänge ($L_{sys, TM}$) und der 96-fachen Polteilung ($e_x, Polteilung$):

$$\begin{aligned} L_{MS} &= 8 \cdot L_{sys, TM} &&= 96 \cdot e_{x, Polteilung} \\ &= 8 \cdot 3\,096 \text{ mm} &&= 96 \cdot 258 \text{ mm} \\ &= 24\,768 \text{ mm} \end{aligned}$$

L_{MS} ist die geometrische Länge einer Mittelsektion über Mitte Sektionskupplung bzw. Mitte der sektionsverbindenden Tragmagneten.

Die geometrische Länge der Endsektion L_{ES} kann - abhängig von der Ausführung und den Abmessungen des Bugs - von der Systemlänge der Mittelsektion L_{MS} abweichen.

Die geometrische Fahrzeuglänge L_{Fzg} eines Fahrzeugs mit 2 Endsektionen und n Mittelsektionen ist:

$$L_{Fzg} = 2 \cdot L_{ES} + n \cdot L_{MS} .$$

¹⁾ Für spezielle Anwendungsfälle können Fahrzeuge mit nur einer Endsektion eingesetzt werden. Entsprechende Anpassungen sind projektspezifisch erforderlich.

Für spezielle Anwendungsfelder sind Fahrzeuge mit bis zu 20 Sektionen konfigurierbar; hierfür bedarf es einer gesonderten Nachweisführung.

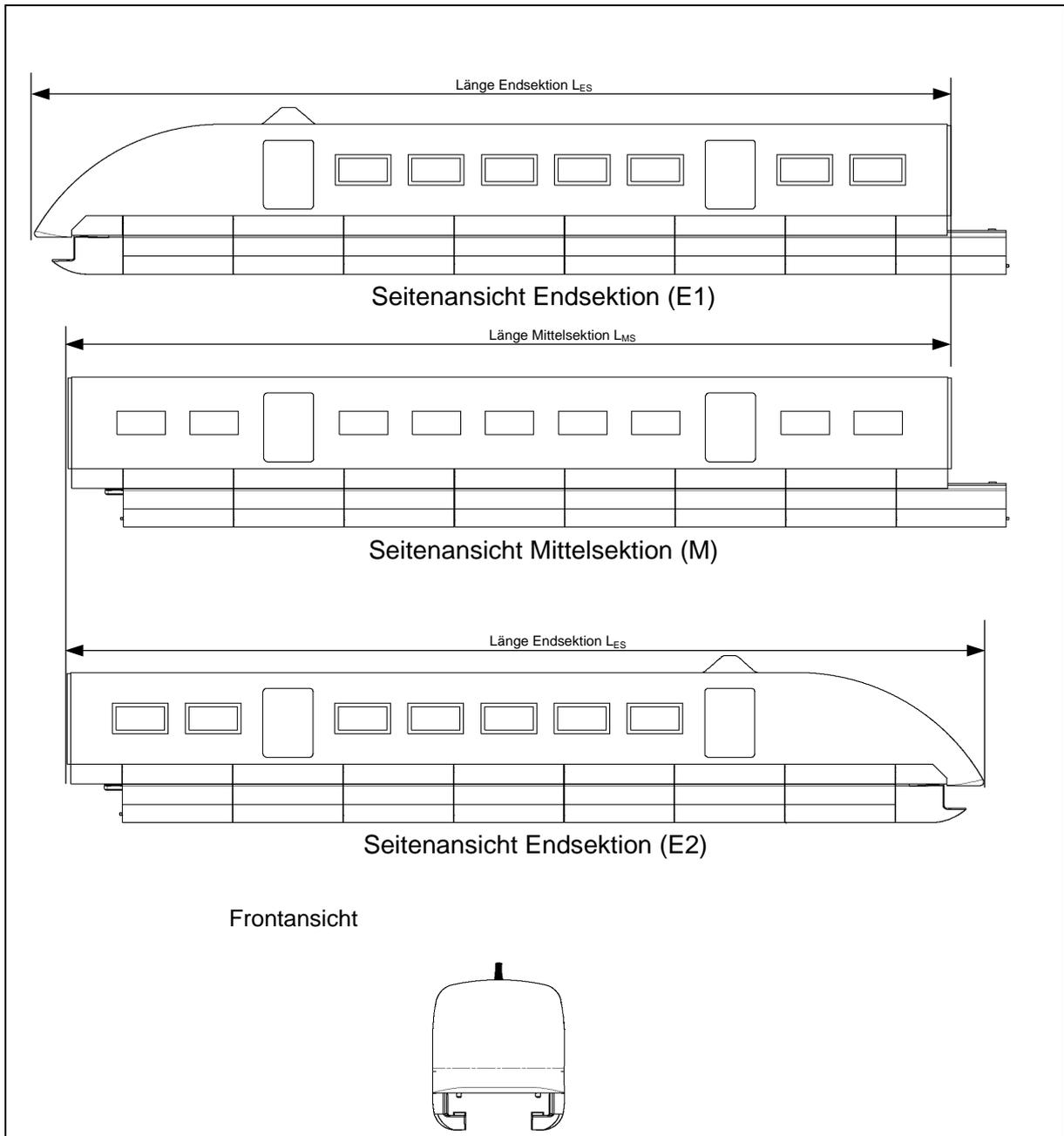


Abb. 1: Seitenansicht und Frontansicht eines Fahrzeugs (Prinzipdarstellung)

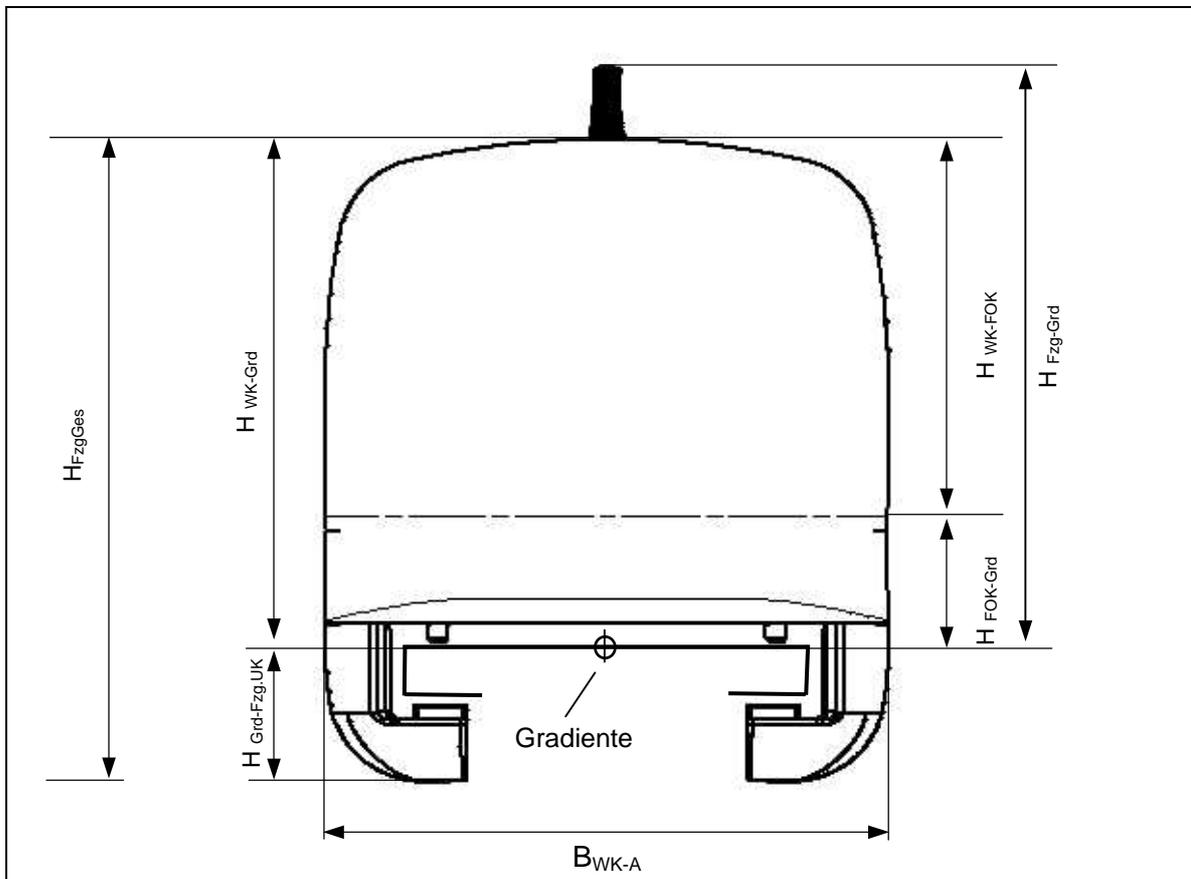


Abb. 2: Querschnitt Fahrzeug (Prinzipdarstellung)

Bezeichnung	Abkürzung
Äußere Breite Wagenkasten	B_{WK-A}
Höhe Wagenkasten über Gradiente (ohne Antenne)	H_{WK-Grd}
Höhe Fußboden Oberkante über Gradiente	$H_{FOK-Grd}$
Höhe Fahrzeug (inkl. Antenne) über Gradiente	$H_{Fzg-Grd}$
Höhe Wagenkasten außen über Fußboden Oberkante	H_{WK-FOK}
Höhe Gradiente über Fahrzeug Unterkante	$H_{Grd-Fzg.UK}$
Gesamthöhe Fahrzeug (ohne Antenne)	$H_{Fzg.Ges}$

Die Gliederung des Fahrzeugs ist in den Diagrammen (Abb. 3 bis Abb. 5) dargestellt.

Die Fahrzeugsektion kann aus Wagenkasten und Trag-/Führsystem (Abb. 3) bestehen. Der Wagenkasten kann aus der Wagenkastenstruktur mit Zelle und Unterflur sowie der Wagenkastenausstattung (Abb. 4) bestehen.

Die Zelle kann aus der Zellenstruktur, dem Bug (nur Endsektion) und den Fenstern (Abb. 6) bestehen.

Die Zellenstruktur kann aus Boden, Seitenwänden, Fensterstegen und Dach bestehen.

Die Außenverkleidung kann aus den in Abb. 7 dargestellten Elementen bestehen.

Das Trag-/Führsystem kann aus den Strukturbaugruppen einschließlich Verkleidung (Magnetfahrwerk) und aus den Funktionsbaugruppen (elektrische und elektronische Baugruppen) einschließlich Bordenergieversorgung bestehen.

Die Bremsrichtungen können im Trag-/Führsystem integriert werden. Die Bremskräfte können durch Bremsmagnete erzeugt und über die Trag-/Führstruktur abgetragen werden (Abb. 8, Abb. 9).

Die Einrichtungen der Betriebsleittechnik können als Teil der technischen Ausrüstung im Wagenkasten integriert werden und können Nahtstellen zur Bordenergieversorgung des Fahrzeugs sowie mittels Steuerungs- und Überwachungssignalen zu Ausrüstungskomponenten des Wagenkastens (z.B. Türen) sowie zum Trag-/Führsystem (Magnetfahrwerk) einschließlich Bremsrichtungen aufweisen. Diese Nahtstellen müssen zwischen Betriebsleittechnik und Fahrzeug spezifiziert werden.

Im Trag-/Führsystem können Einrichtungen zur Ortserfassung für die Funktion von Antrieb und BLT integriert werden.

Die Anforderungen an die Ortserfassung müssen seitens Antrieb bzw. Betriebsleittechnik spezifiziert werden.

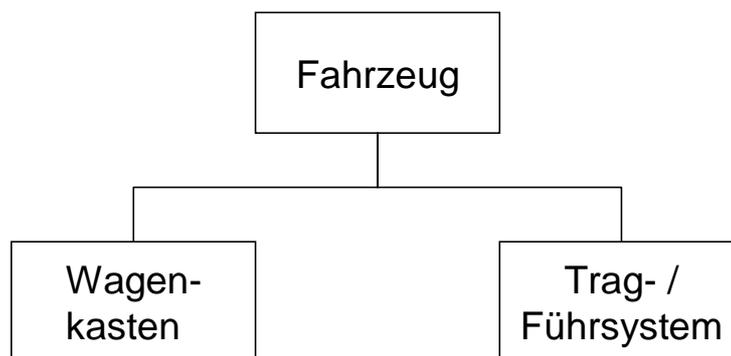


Abb. 3: Übergeordnete Gliederung Fahrzeug

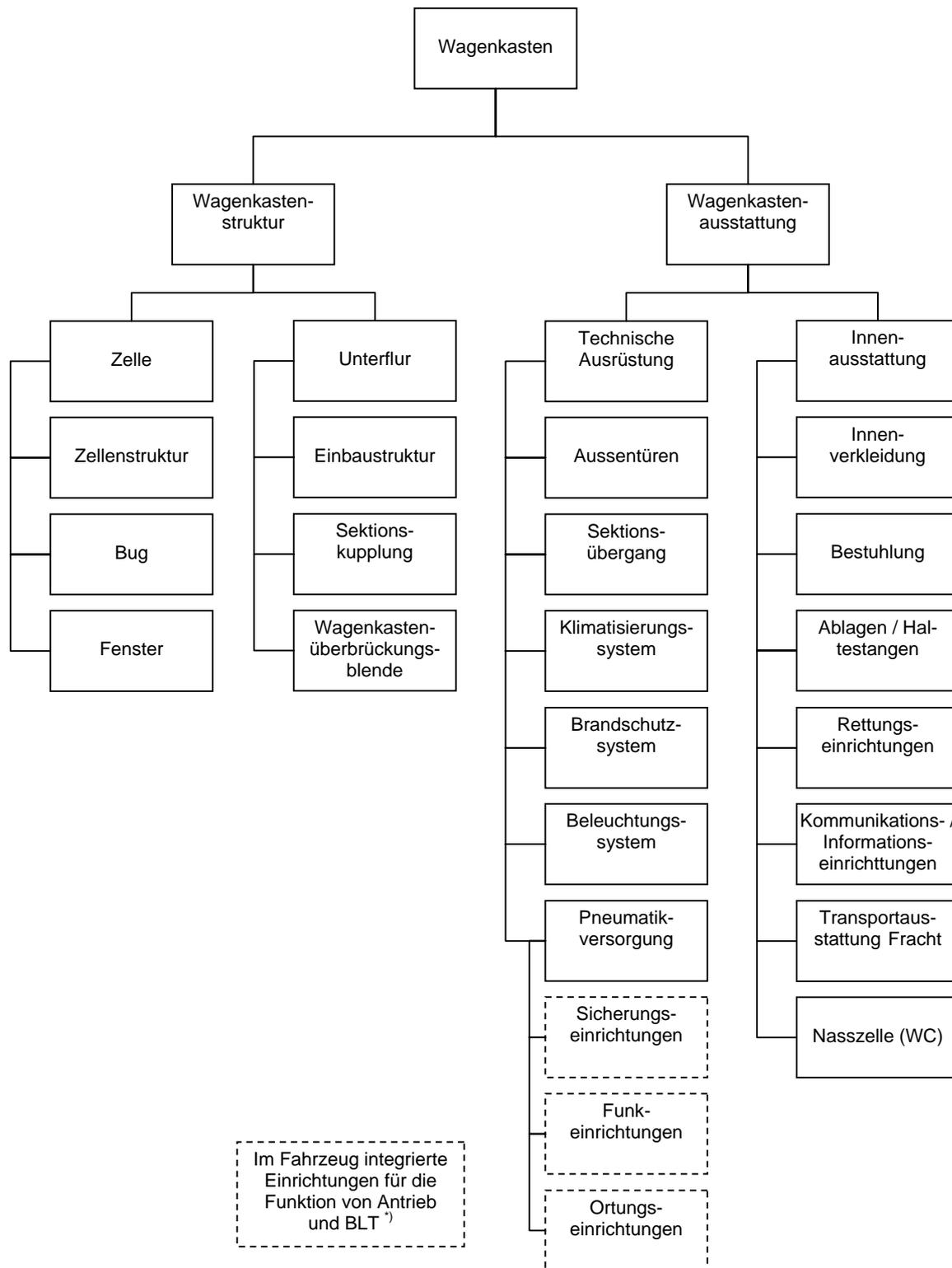


Abb. 4: Gliederung Wagenkasten

*) Orts- bzw. Geschwindigkeitsinformationen, die für die Funktion des Fahrzeugs benötigt werden, können durch die Funktionsbaugruppen des Trag- / Führsystems und / oder durch die Ortungseinrichtungen für die Funktionen Antrieb und BLT erzeugt werden.

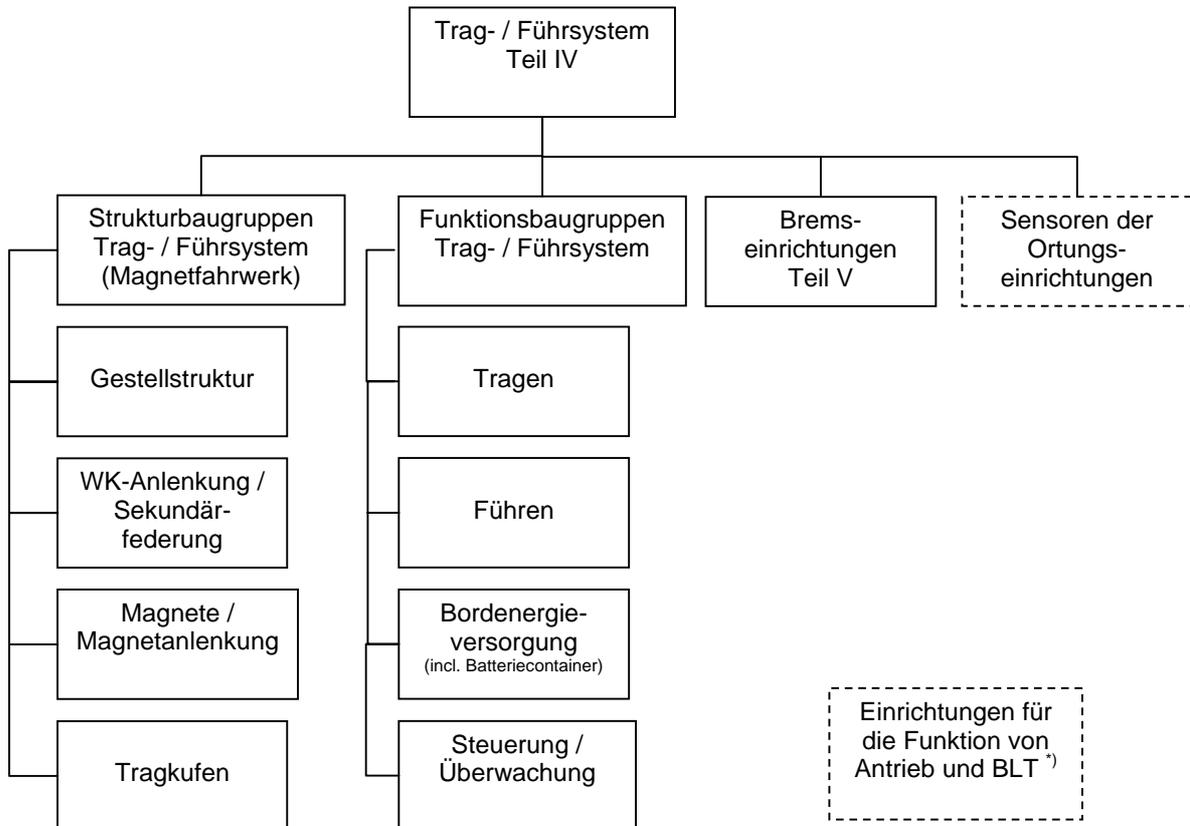


Abb. 5: Gliederung Trag- / Führsystem

¹⁾ Orts- bzw. Geschwindigkeitsinformationen, die für die Funktion des Fahrzeugs benötigt werden, können durch die Funktionsbaugruppen des Trag- / Führsystems und / oder durch die Ortungseinrichtungen für die Funktionen Antrieb und BLT erzeugt werden.

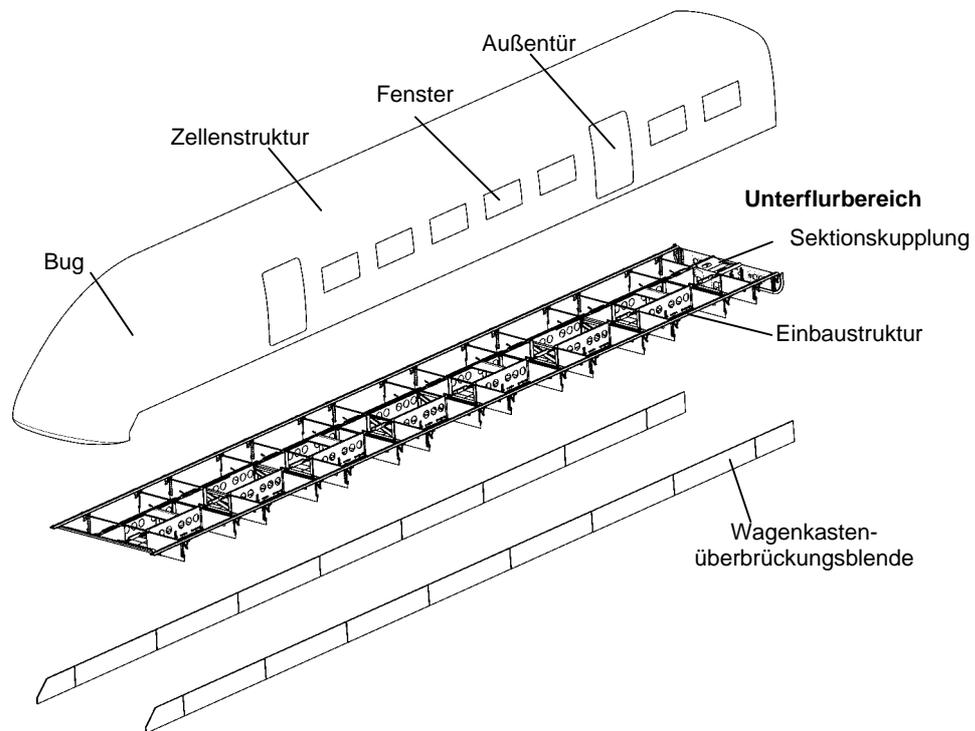


Abb. 6: Bezeichnungen der wesentlichen Baugruppen der Wagenkastenstruktur (Beispiele)

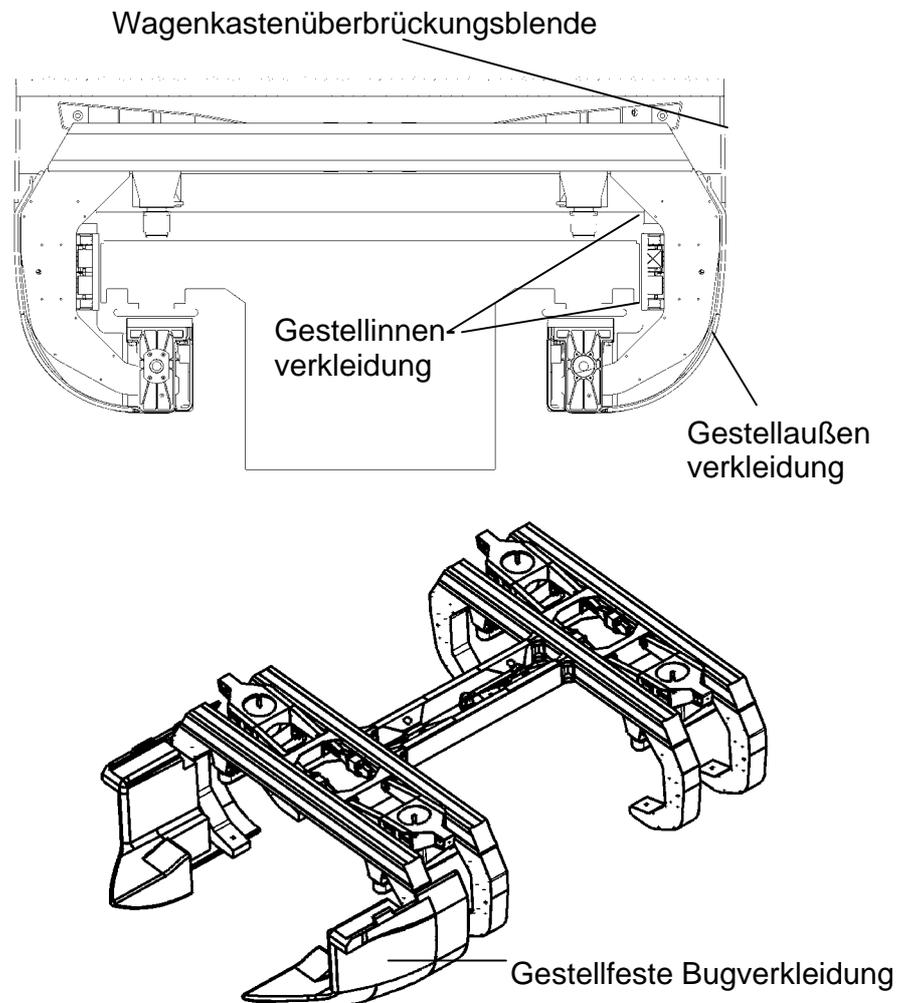


Abb. 7: Bezeichnungen der Verkleidungselemente von Wagenkasten und Trag- / Führsystem (Prinzipdarstellung)

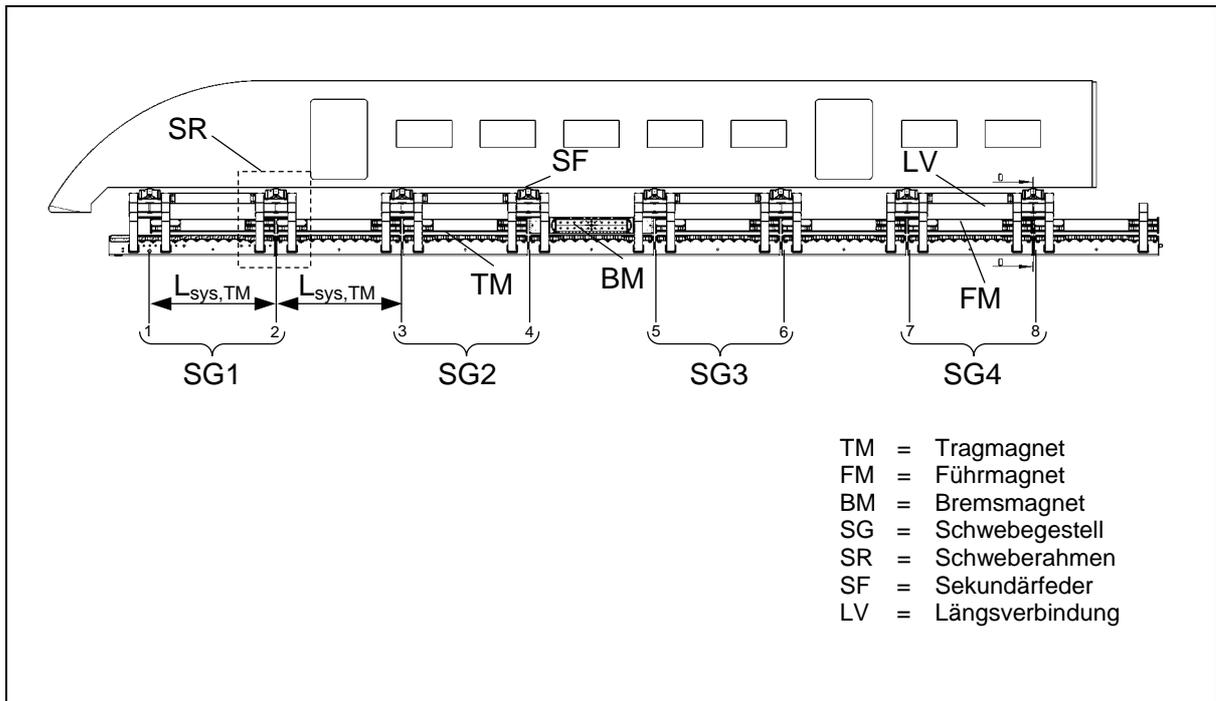


Abb. 8: Bezeichnungen der wesentlichen Baugruppen des Trag-/Führsystems (Prinzipdarstellung Seitenansicht)

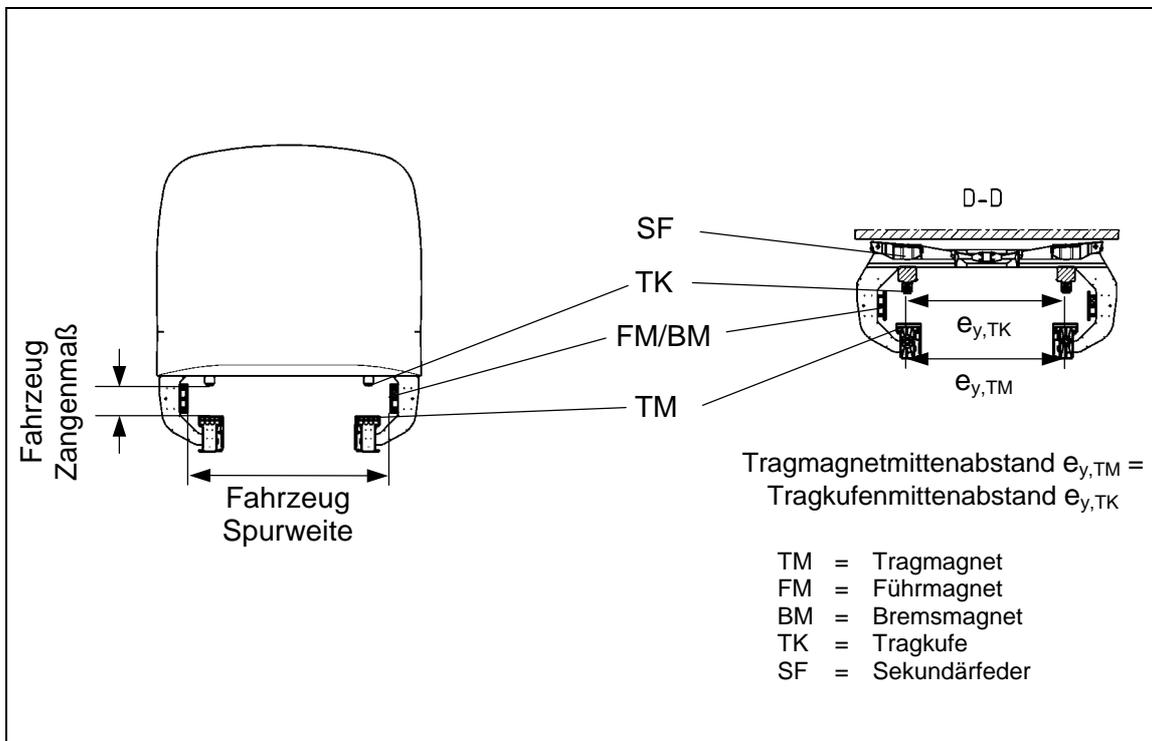


Abb. 9: Bezeichnungen der wesentlichen Baugruppen und der Abmessungen des Trag-/Führsystems (Prinzipdarstellung Querschnitt)

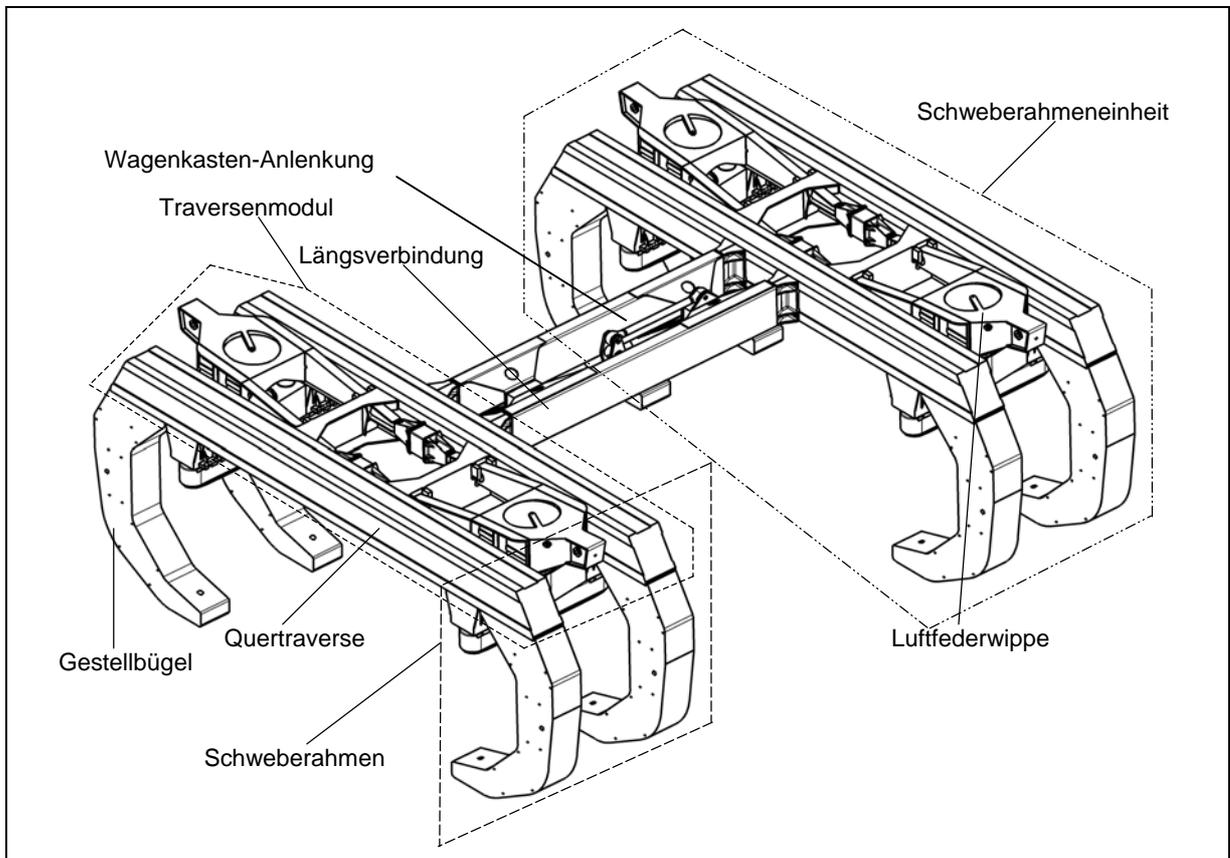


Abb. 10: Bezeichnungen der wesentlichen Baugruppen der Gestellstruktur (Prinzipdarstellung)

6 Generelle Anforderungen

6.1 Funktion

Es gilt die Beschreibung in /MSB AG-GESAMTSYS/.

6.2 Bemessung von mechanischen Bauteilen

6.2.1 Bemessungsgrundlagen

Die Bemessung der Last übertragenden Struktur- und Verkleidungsteile sowie der An- und Einbauteile, die keine Last übertragende Funktion ausüben, muss unter Anwendung von Teil II /MSB AG-FZ BEM/ erfolgen.

6.2.2 Kollisionsverhalten

Die in /MSB AG-GESAMTSYS/ definierten Hindernisse sind als repräsentatives Spektrum Kollisionen verursachender Hindernisse anzusehen, die durch Umwelt- oder Fremdeinwirkung in den Freiraum des Fahrzeugs gelangen können.

Das Kollisionsverhalten ist mit Hilfe numerischer Simulationsrechnungen zu ermitteln und hinsichtlich Auswirkung auf die Fahrzeugstruktur und Personengefährdung zu bewerten.

Zur Erzielung des in /MSB AG-GESAMTSYS/, Kap. 5.4.7.2 spezifizierten Kollisionsverhaltens sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

- kein Abtrennen von Tragkufen und Magneten von der Fahrzeugstruktur,
- keine Deformation von Kabelkanälen, die zum Ausfall sicherheitsrelevanter Funktionen führen,
- keine Personen gefährdenden Deformationen der Fahrgastzelle (*Deformationen mit möglicher Personengefährdung bleiben auf den Bug der Endsektion begrenzt*).
- Die durch die Kollision gemäß definierten Szenarien auf das gesamte Fahrzeug einwirkende Beschleunigung muss von den von der Kollision nicht unmittelbar betroffenen Baugruppen so ertragen werden, dass sich diese nicht lösen und in Folge dessen keine Personen gefährdet werden.

Der Bugraum darf für Fahrgäste nicht zugänglich sein. Der Bugraum ist kein Arbeitsplatz.²

² Falls der Bugraum als Arbeitsplatz definiert wird, muss dieses in den Kollisionsszenarien berücksichtigt werden.

6.3 Sicherheitsanforderungen

6.3.1 Sicherheitsrelevante Funktionen

Für die Funktionen

- Tragen und Führen,
- Sichere Bremse,
- Bordenergieversorgung

muss ein Sicherheitsnachweis unter Berücksichtigung der Anforderungen aus dem projektspezifischen Sicherheitskonzept geführt werden (siehe auch /MSB AG-FZ TRAFÜ/ und /MSB AG-FZ BREMS/).

Weitere sicherheitsrelevante Funktionen und Einrichtungen müssen nach einschlägigen Normen realisiert und nachgewiesen werden. Definition und Nachweisführung siehe Kapitel 10, Anhang. Die in Kapitel 10, Anhang beigefügte Liste der Anforderungen an die Abnahme basiert auf Erfahrungen des Eisenbahn- und Magnetbahnwesens.

Für durch Software realisierte sicherheitsrelevante Funktionen ist /EN 50128/ anzuwenden.

6.3.2 Brandschutz

6.3.2.1 Brandschutztechnische Auslegung

Bei der brandschutztechnischen Auslegung des Fahrzeuges sind die Sicherheitsziele gemäß Ausführungsgrundlage Gesamtsystem Kapitel 5.4.1.1 zu berücksichtigen.

Durch die /MbBO/ (4. Abschnitt Fahrzeuge, §17 Absatz 5) sind die wesentlichen brandschutztechnischen Anforderungen vorgegeben. Das betrifft u.a. die Eingruppierung des MSB-Fahrzeuges gemäß DIN 5510-1, Brandschutzstufe 4, sowie dass beim Brand in einer Fahrzeugsektion die Personen bis zu ihrer Rettung in den anderen Fahrzeugsektionen, mindestens jedoch 30 min geschützt sein müssen.

Für die brandschutztechnische Auslegung und Abnahme von MSB-Fahrzeugen sind, soweit anwendbar, die fachspezifischen Regelungen aus /BrandReg/ anzuwenden.³⁾

Mit /BrandReg/ sind die brandschutztechnischen Anforderungen der MbBO abgedeckt.

Auf Basis von /BrandReg/ muss das MSB-Fahrzeug für den Personenverkehr entsprechend der Fahrzeuggattung „elektrische und Dieseltriebzüge – d“ (Kapitel 3.2) mit der Einstufung E4 (Kapitel 3.3) geführt werden, wenn eine seitliche Evakuierung auf einem Streckenabschnitt von mehr als 500 m nicht möglich oder deutlich erschwert ist.

Vom Hersteller ist ein fahrzeugbezogenes Brandschutzkonzept (BSK) zu erstellen. Dieses ist als Grundlage für die brandschutztechnische Auslegung und Nachweisführung des

³⁾ Der Gültigkeitsbereich von /BrandReg/ bezieht sich auf Schienenfahrzeuge. /BrandReg/ gilt nicht für automatisch betriebene Zugverbände. Die Abnahme von MSB-Fahrzeugen erfolgt nach §6, /MbBO/.

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

Fahrzeugs sowie für das Sicherheitskonzept gemäß /MbBO/ anzuwenden. Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass sich ggf. bei Automatikbetrieb kein ausgebildetes Personal im Fahrzeug befindet.

Bestandteil des BSK muss eine Betrachtung der Brandrisiken und ihrer möglichen Auswirkungen sein. Dabei sind die systemspezifischen Verknüpfungen von technischen, baulichen und betrieblichen Maßnahmen aufzuzeigen.

Gemäß /MbBO/, §17 Absatz (5) Punkt 4 sind die Fahrzeuge mit automatischen Brandmeldern und tragbaren Feuerlöschern auszustatten. Die Feuerlöscher sind im Fahrzeuginnenraum an leicht zugänglichen Stellen unterzubringen und unmissverständlich zu kennzeichnen. Sie sind über die Fahrzeuglänge gleichmäßig zu verteilen und an den Enden des Fahrzeuges vorzusehen.

Ergänzend dazu müssen folgende Bereiche durch Brandmelder überwacht werden:

- alle den Fahrgästen zugänglichen Bereiche,
- die Frischluftzuführung,
- Toiletten (*soweit vorhanden*),
- abgetrennte Technikbereiche und abgetrennte Gepäckräume (*abhängig vom Brandrisiko*).

Bei Ansprechen der Brandmeldeeinrichtung muss die Brandmeldung im Fahrzeug erfolgen und umgehend in die Betriebszentrale übertragen und dort angezeigt werden. Über die im Fahrzeug installierte Brandmeldeanlage müssen selbsttätige Regelprozesse ausgelöst werden. *Dies betrifft z.B. die Abschaltung der Luftbehandlungstechnik und, wenn vorhanden, die Auslösung der Brandbekämpfungsanlage.*

Die technischen Einrichtungen des Fahrzeugs sind so auszulegen, dass eine Brandentstehung weitestgehend ausgeschlossen ist, bzw. so, dass die Auswirkungen in Bezug auf die in /MSB AG-GESAMTSYS/, Kapitel 5.4.1.1 definierten Schutzziele akzeptabel bleiben. Die Spezifikation der Einrichtungen muss u. a. auf Basis der Brandrisikoanalyse erfolgen.

In Bezug auf die in Ausführungsgrundlagen Gesamtsystem Kapitel 5.4.1.1 definierten Schutzziele wird zum Schwerpunkt „Aufenthaltsbereiche“ die Anforderung hinsichtlich eines Brandereignisses konkretisiert:

Ein mögliches Brandereignis in einer Fahrzeugsektion bzw. im Technikbereich darf nicht zum Verlust der Funktionen Tragen, Führen, Sicheres Bremsen, sowie der Fahrzeugstabilität und der fahrzeugeitigen Betriebsleittechnik mindestens über den Zeitraum bis zum Erreichen eines für die Evakuierung günstigen Halteplatzes⁴ führen. Über diesen Zeitraum und die Zeitspanne der Evakuierung ist der Aufenthalt der Personen unter für deren Gesundheit akzeptablen Bedingungen im Fahrzeug zu gewährleisten.

Im Zusammenhang mit der Minimierung von Gefährdungen gegenüber den Rettungskräften sind die nicht mit einer Notfunktion in Verbindung stehenden technischen Einrichtungen abzuschalten. Dies ist den Rettungskräften in geeigneter Form anzuzeigen. Ist dies nicht möglich, so ist am Fahrzeug eine entsprechende Abschaltvorrichtung vorzusehen.

Weitere Maßnahmen zum Brandschutz müssen ggf. projektspezifisch abhängig von der Betriebsaufgabe bzw. den definierten betrieblichen Randbedingungen festgelegt werden.

⁴ Die für die Evakuierung günstigen Halteplätze müssen projektspezifisch festgelegt werden.

6.3.2.2 Brandschutztechnische Nachweisführung

Unter Beachtung der in /BrandReg/ aufgeführten Nachweiserfordernisse sind je nach Verkehrsaufgabe (z.B. Personenverkehr) für folgende Schwerpunkte Einzelnachweise zu erbringen:

- Brandschutztechnischer Eignungsnachweis zu den verwendeten Materialien (z.B. Sitze),
- Nachweise zu Brand abschottenden Baugruppen bzw. Funktionen (z.B. Stirnwandtüren),
- Nachweise zur Funktionalität von elektrischen Schutzeinrichtungen (z.B. Schütze),
- Nachweis zur Funktionalität von Branderkennungstechniken und, wenn vorhanden, Brandbekämpfungstechnik,
- Nachweis der Trag- / Führungsfunktion des MSB-Fahrzeuges;
aus der magnetischen Tragfunktion des Fahrzeugs ergibt sich zusammen mit der Funktionsfähigkeit des Antriebs die Bewegungsfähigkeit des Fahrzeugs,
- Nachweis der Funktionalität von Einrichtungen der BLT im Fahrzeug, siehe /MSB AG-GESAMTSYS/, Kap. 5.4.1.2.2.1;
die Merkmale des Brandschutzes der BLT- Einrichtungen des Fahrzeugs sollten im Rahmen der brandschutztechnischen Prüfung des Fahrzeugs behandelt werden,
- Nachweis der Funktionalität von Kommunikationseinrichtungen (z.B. Notrufeinrichtung),
- Nachweis der Funktionalität von Notausstiegen (z.B. Türöffnung von Innen) und Rettungsmitteln (z.B. Leitern),
- Einbaupläne zu brandschutztechnischen Hilfsmitteln (z.B. Feuerlöscher) und kommunizierenden Einrichtungen (z.B. Monitore) sowie Kennzeichen (z.B. Piktogramme),
- Nachweis der Fremdrettungseinrichtungen (z.B. Türnotöffnung von Außen),
- Nachweis gleicher Sicherheit bei Maßnahmen, die von den Anforderungen der Regelungen abweichen (z.B. Werkstoffanforderungen),
- Nachweis einer ausreichenden Zeitspanne zur Personenevakuierung auf Basis des Bemessungsbrandszenarios „Fahrgastraum“ mit einer kontinuierlich ansteigenden Wärmefreisetzungsrate bis zu einem Spitzenwert von mindestens 120 kW nach 5 min. (minimale Brandlast von 136 MJ sowie Heizwert mit 21 MJ/kg);
projektspezifisch kann je nach Verkehrsaufgabe eine abweichende Festlegung getroffen werden.

7 Wagenkasten

Biegeeigenfrequenz des Wagenkastens: siehe /MSB AG-FZ BEM/, der Nachweis der Steifigkeit.

Für Verkleidungsteile und deren Verschlüsse gelten die Vorgaben aus /MSB AG-FZ TRAFÜ/.

Beleuchtungssystem

Nach Abrüsten der Bordnetze muss eine Notbeleuchtung im Fahrgastraum für einen Zeitraum von 1 h wirksam sein, siehe Kap. 10, Punkt III.

Die Notwendigkeit von nachleuchtenden Rettungszeichen ist projektspezifisch zu prüfen.

8 Trag- / Führsystem, Bremseinrichtungen

Die Anforderungen an das Trag- / Führsystem werden in /MSB AG-FZ TRAFÜ/ behandelt.

Die Anforderungen an die Bremseinrichtungen werden in /MSB AG-FZ BREMS/ behandelt.

Die Anforderungen an die Bordenergieversorgung aus dem T-F/System, aus den Bremseinrichtungen sowie aus den im Fahrzeug integrierten Einrichtungen der BLT sind in /MSB AG-FZ TRAFÜ/ beschrieben.

Batteriecontainer

Die Belüftung und Entlüftung der Einbauräume Batteriecontainer muss überwacht werden. Bezüglich der Belüftungsdauern (z.B. Nachlauf nach Abrüsten des Fahrzeugs) siehe /DIN 57510/, /VDE 0510/.

Die Ansaug- und Ausblasöffnungen für die Belüftung der Batteriecontainer sind geometrisch so anzuordnen, dass ein Ansaugen von Batterieabluft durch die Klimatisierungseinrichtungen bei stehendem und fahrendem Fahrzeug verhindert wird. Die Luftführung muss unter allen klimatischen Bedingungen einschließlich Winter gegeben sein.

Bei Spannungen größer 60V darf ein unbeabsichtigtes Öffnen der Container nicht möglich sein.

9 Anhang Wägung des MSB-Fahrzeuges

9.1 Vorbereitung

Vor Durchführung der Messungen zur Gewichtsbestimmung ist eine projektspezifische Prüfspezifikation vorzulegen.

Diese dient dem Ziel, die Voraussetzungen, den Ablauf, die Rahmenbedingungen und die Art der Dokumentation im Vorfeld der Messungen zu definieren.

Die Prüfspezifikation muss folgende wesentliche Punkte enthalten:

- Ziel bzw. Hintergrund der Messungen,
- Definition wesentlicher Rahmenbedingungen (z.B. getrennte Sektionskupplungen etc.),
- Darstellung der Versuchsdurchführung (Ablauf, Plausibilitätskontrollen etc.),
- Planungsgrößen für den Versuch (z.B. Zeitbedarf, Randbedingungen bei der Versuchsdurchführung),
- Beschreibung der Messmittel (Genauigkeitsklasse, Kalibrierung),
- Beschreibung der notwendigen Dokumentation (Tabellen, Fotografien etc.).

9.2 Vorgaben und Randbedingungen

Die Ermittlung des Gewichtes bei MSB-Fahrzeugen kann je nach Zieldefinition und Messbedingungen unter verschiedenen Vorgaben (z.B. Zustand Sektionskupplung / Messung unterhalb Tragkufe bzw. Tragemagnetrücken) stattfinden.

Für die Ermittlung des Fahrzeuggewichtes bei MSB-Fahrzeugen müssen die Messungen an den einzelnen Schweberahmen der jeweils linken und rechten Fahrzeugseite durchgeführt werden.

Für den Zustand des Fahrzeugs während der Messung können zwei Kategorien berücksichtigt werden:

- Messung des Fahrzeuggewichtes ohne Sektionskupplung im Eingriff,
- Messung mit Sektionskupplung im Eingriff, wobei die von der Sektionskupplung übertragenen Stützkräfte dann ebenfalls gemessen werden müssen.

Um eine repräsentative Gewichtsermittlung zu gewährleisten, müssen die folgenden allgemeinen Randbedingungen eingehalten werden:

- Das Fahrzeug muss sich im aufgerüsteten Zustand (mindestens mit aktiver Niveauregelung) befinden.
- Das Fahrzeug muss sich in der Waage befinden, d.h. die zulässigen Abweichungen innerhalb der Bezugsebene Tragkufenunterkante betragen ± 2 mm bezogen auf Kufenbeläge im Neuzustand. Diese Toleranz gilt bezogen auf den aktuell zu vermessenden Schweberahmen mindestens für alle Schweberahmen, die demselben Luftfederkreis zugeordnet sind, und für die Schweberahmen, die in der aktuellen Sektion dem benachbarten Luftfederkreis zugeordnet sind oder die in der benachbarten Sektion demselben Luftfederkreis angehören, wobei die letzte Forderung nur den Fall betrifft,

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

dass ohne getrennte Sektionskupplung gemessen wird. Diese Bedingungen gelten im weiteren Textverlauf, wenn diese Toleranz genannt wird.

- Der gesamte Fahrzeugverbund muss vor der Messung mindestens einmal komplett geschwebt haben, damit innere Verspannungskräfte reduziert werden.
- Die im Bereich der Sektionsübergänge vorhandenen Faltenbälge sind während der Messungen zu demontieren, um eine Kraftübertragung durch diese auszuschließen.
- Bei der Gewichtsermittlung ohne vorheriges Trennen der Sektionskupplung müssen die übertragenen Kupplungskräfte ebenfalls gemessen werden.
- Bei sequentieller Messung, d.h. das Gewicht wird nicht an allen Schweberahmen gleichzeitig gemessen, müssen ausreichend Wiederholungsmessungen durchgeführt werden, um den Einfluss von evtl. vorhandenen Verspannungen oder von sonstigen Fehlerquellen ausschließen zu können.
- Die Toleranz der Messmittel darf $\pm 2\%$ nicht übersteigen.

Die Gewichtskraft des Fahrzeugs kann an unterschiedlichen Orten gemessen werden.

Im Folgenden werden zwei gängige Verfahren und deren spezifisch zu berücksichtigende Randbedingungen beschrieben.

In der Regel geht die Messung mit einer Gewichtsbilanz einher, in der die Änderungen durch Ein- und/oder Ausbauten verfolgt wird.

Muss im Vorfeld oder während der Messungen von den beschriebenen Vorgehensweisen abgewichen werden, so ist dieses projektspezifisch abzustimmen.

9.3 Messung unterhalb der Tragkufen

Bei der Messung unterhalb der Tragkufen muss sich das Messmittel bei abgesetztem Fahrzeug zwischen Tragkufe und Gleitleiste bzw. Fahrwegoberkante befinden.

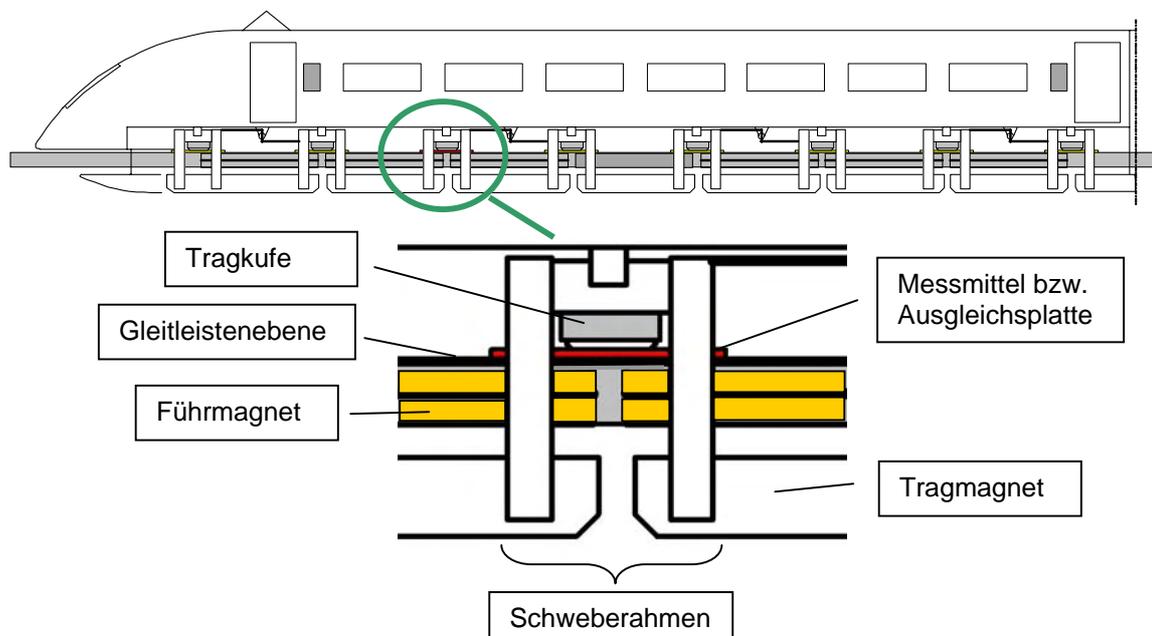


Abb. 11: Prinzipdarstellung des Verfahrens zur Messung unterhalb der Tragkufe

Es muss sichergestellt sein, dass während der Messungen die maximale Abweichung von ± 2 mm in der Ebene der Tragkufenunterkanten eingehalten wird. Außerdem ist zu gewährleisten, dass sich die Niveauregelung im eingeschwungenen Zustand befindet.

Für die Messung gilt:

- Bei zeitgleicher Messung an allen Schweberahmen der Sektion werden Messmittel unterhalb der Tragkufen platziert.
- Bei sequentieller Messung wird die Sektion komplett mit Ausgleichplatten unterfüttert, welche sukzessive durch Messmittel gleicher Höhe ausgetauscht werden.

Bei der beschriebenen Messmethode unterhalb der Tragkufen kann evtl. mit einem geänderten Parametersatz (kleinerer Tragspalt) ein erleichtertes Einbringen der Messmittel (Wägeplatten) zwischen Tragkufen und Fahrweg erzielt werden.

9.4 Messung unterhalb der Tragmagnetrücken

Bei der Ermittlung des Fahrzeuggewichtes unterhalb der Tragmagnetrücken muss sich das Messmittel zwischen Tragmagnetunterkante und einer Abstützung (z.B. Stempel) befinden. Bei dieser Messmethode sollte das Fahrzeug aus dem schwebenden Zustand auf die Abstützungen abgesetzt werden. Es muss sichergestellt sein, dass die Tragkufen während der Messungen keinen Kontakt zum Fahrweg haben.

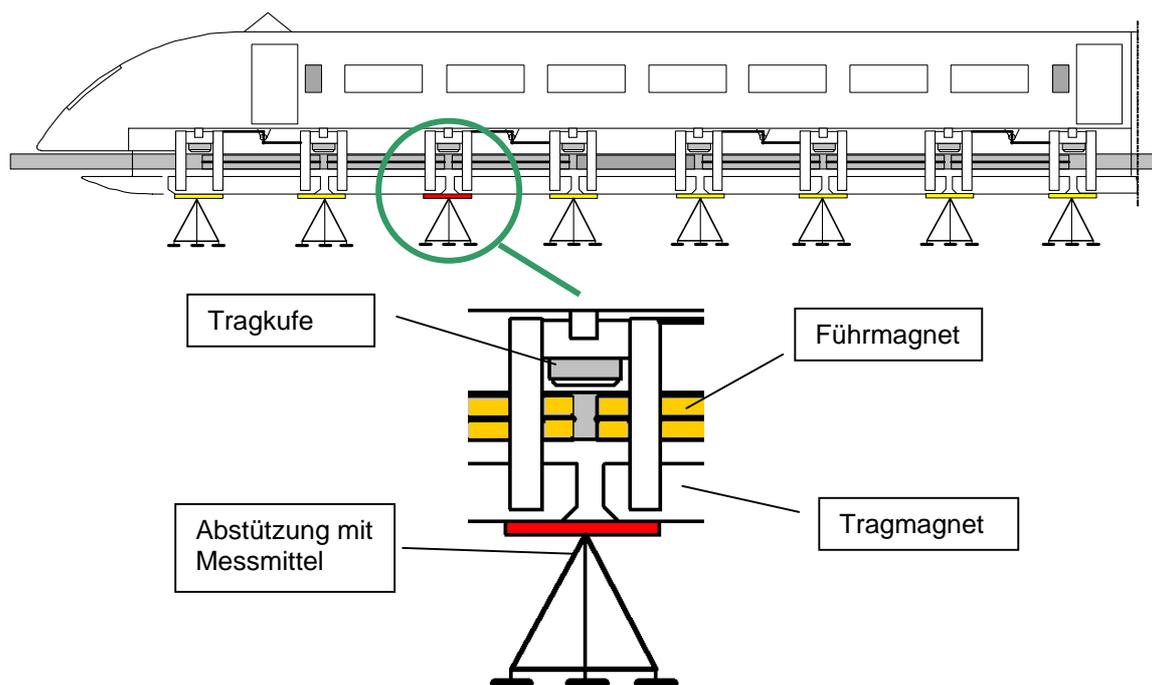


Abb. 12: Prinzipdarstellung des Verfahrens zur Messung unterhalb des Tragmagnetrückens

Es muss sichergestellt sein, dass während der Messungen die Abweichung in der Ebene der Tragkufenunterkanten ± 2 mm nicht überschreitet. Auch hier ist zu gewährleisten, dass sich die Niveauregelung im eingeschwungenen Zustand befindet.

Für die Einhaltung der Toleranzen bezogen auf die Tragkufenunterkanten empfiehlt sich die Einführung von Referenzmarken. Diese dürfen sich aber nicht in Bereichen befinden, deren geometrische Position (bezogen auf die Unterkante der Tragkufen) durch die Lasteinleitung an den Gestellbügeln beeinflusst wird.

Für die Messung gilt:

- Bei gleichzeitiger Messung an allen Schweberrahmen der Sektion werden Messmittel auf entsprechender Höhe unterhalb der Tragmagnetrücken platziert und das Fahrzeug darauf abgesetzt.
- Bei sequentieller Messung wird die Sektion komplett auf entsprechender Höhe unterhalb der Tragmagnetrücken abgestützt. Für die Ermittlung des Gewichtes an den einzelnen Schweberrahmen werden die Abstützungen sukzessive durch eine Abstützung mit integriertem Messmittel ersetzt.

9.5 Ergänzende Messgrößen

Um eine möglichst vollständige Erfassung der relevanten Einflussgrößen während der Gewichtsmessungen sicherzustellen, empfiehlt sich die zusätzliche Messung der Luftfederdrücke und der Niveaulage des Fahrzeugs.

Bei der Ermittlung des Fahrzeuggewichtes und gleichzeitiger Messung der Kupplungskraft empfehlen sich weitere Messungen mit einem Zusatzgewicht (Masse > 500 kg) an unterschiedlichen x-Positionen im Wagenkasten, um den Einfluss einer variablen Nutzlast auf das Abstützverhalten der Sektionskupplung rechnerisch nachbilden zu können.

9.6 Auswertung

Die Auswertung der Wägung sollte die ermittelten Gewichte an allen Schweberrahmen, jeweils getrennt nach linker und rechter Fahrzeugseite, auflisten. Diese Angabe sollte durch das berechnete Gesamtgewicht der einzelnen Sektionen ergänzt werden. Für eine anschauliche Darstellung der Gewichtsverteilung über die gesamte Fahrzeuglänge wird eine ergänzende Diagrammdarstellung ähnlich Abb. 13 empfohlen.

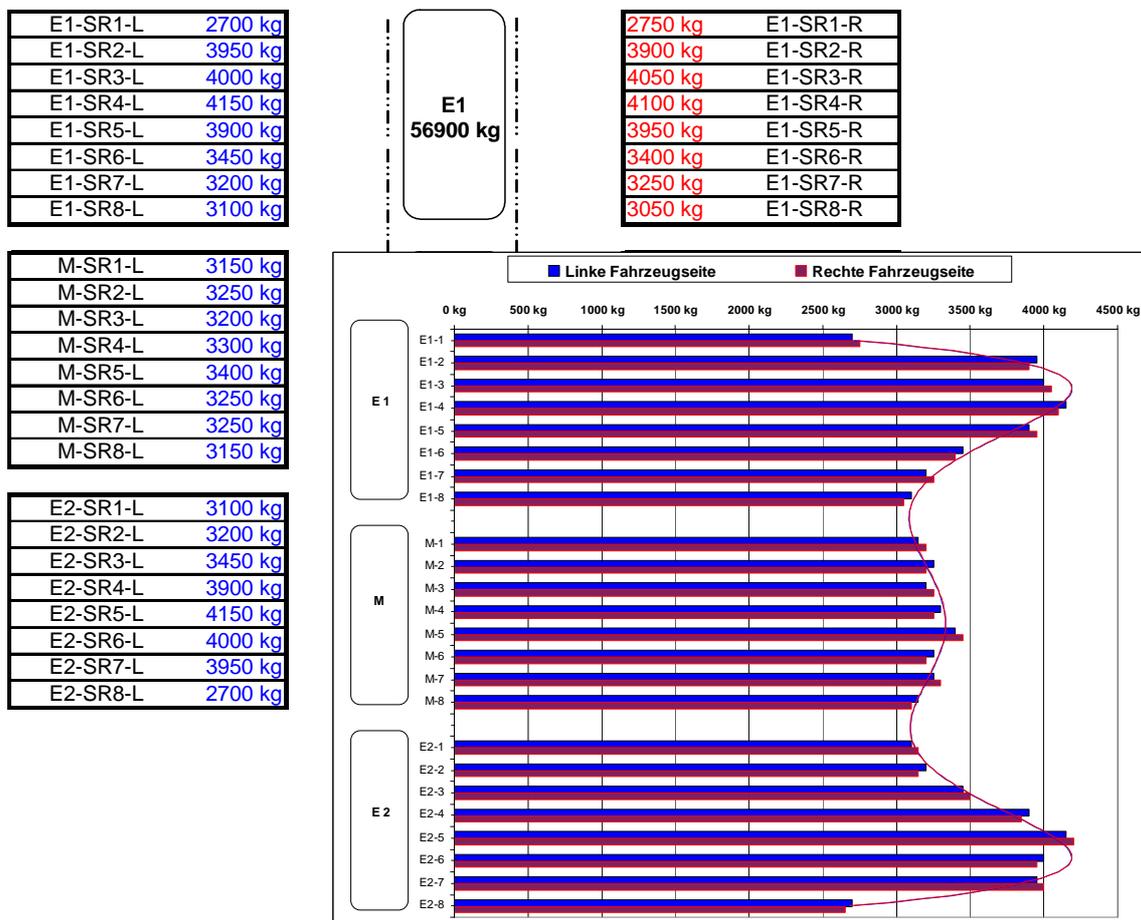


Abb. 13: Exemplarische Darstellung der Messergebnisse für ein Fahrzeug mit drei Sektionen in Form einer Tabelle und einer Grafik (fiktive Messwerte)

Für die Angabe der Kupplungsstützkräfte und deren Wirkrichtung empfiehlt sich eine grafische Darstellung, wie sie in Abb. 14 exemplarisch gezeigt ist. Aus dieser muss eindeutig hervorgehen, wie sich die Kraft auf die unterschiedlichen Bauteile auswirkt.

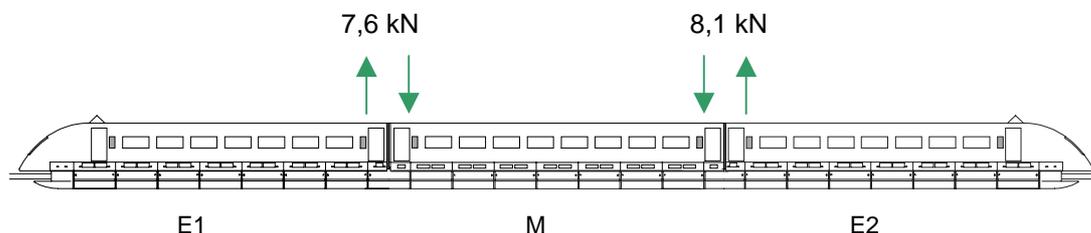


Abb. 14: Exemplarische Darstellung der Kupplungsstützkräfte und deren Wirkrichtung an einem Fahrzeug mit drei Sektionen

(Pfeile geben die Krafrichtung an, mit der die Sektionen auf den Kupplungsbolzen wirken / fiktive Messwerte)

Werden die Gewichtsmessungen durch die in Kapitel 9.5 aufgeführten Größen ergänzt, ist eine Darstellung nach dem in Abb. 15 ersichtlichen exemplarischen Schema zu empfehlen. In der Grafik sollten die Luftfederdrücke, die Niveaulage des Wagenkastens, die gemessene Kupplungsstützkraft sowie die Lage des Zusatzgewichtes () ablesbar sein.

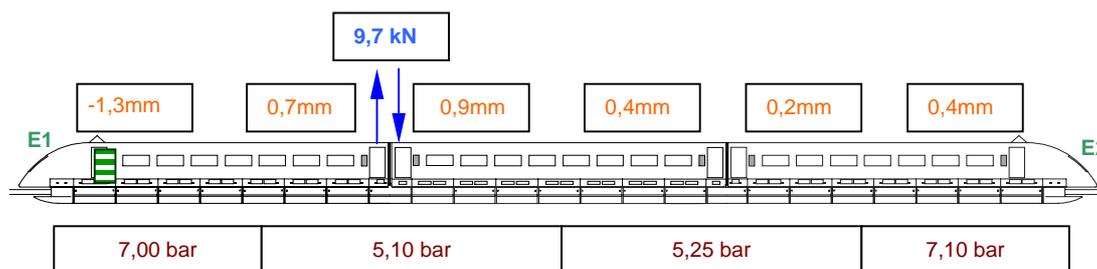


Abb. 15: Exemplarische Darstellung der ergänzenden Messgrößen Luftfederdruck, Niveaulage, Kupplungsstützkraft sowie der Lage von Zusatzgewichten an einem Fahrzeug mit drei Sektionen

(Darstellung Einzelmessung, bei der eine Kupplungskraft gemessen wird / fiktive Messwerte)

9.7 Dokumentation

Die Dokumentation der Wägung dient der Sicherstellung der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse.

Die Dokumentation muss die folgenden Bestandteile enthalten:

- Ablauf der Wägung (insbesondere bei sequentieller Messung der einzelnen Schweberrahmen) sowie Zustand der Sektionskupplungen,
- Hinweis auf das Gewicht der fehlenden Übergangsmagnete im Falle der Vermessung von einzelnen Sektionen,
- Dokumentation des Ausrüstungszustandes des Fahrzeugs durch Auflistung und/oder Fotografien (fehlende bzw. zusätzliche Bauteile etc.),
- Ergebnisdarstellung von zusätzlichen Messungen zur Prüfung der Plausibilität,
- Kalibrierzeugnisse der Messmittel.

10 Anhang Liste der Anforderungen an die Abnahme (Beispiel)

Anforderungen an die Abnahme von Magnetschwebefahrzeugen gemäß § 6 Abs. 1 /MbBO/.

Die beigefügte Checkliste dient als Beispiel. Sie ist samt der dazu heranzuziehenden Normen sowie Prüf- und Nachweisverfahren projektspezifisch zwischen der Genehmigungsbehörde, Magnetschnellbahn-Unternehmer (*Betreiber*) und Fahrzeughersteller zu vereinbaren.

Die in diesem Kapitel beigefügte Liste der Anforderungen an die Abnahme basiert auf Erfahrungen des Eisenbahn- und Magnetbahnwesens. Sie ergänzt /MSB AG-NORM&RILI/.

In der Spalte „Unterlagen“ sind die Nachweisdokumente zu den jeweiligen Merkmalen projektspezifisch zu benennen.

Überblick:

- I. Allgemeines
- II. Grundlegende Parameter der Fahrzeuge
- III. Anforderungen an das Fahrzeug
- IV. Anforderungen an Konstruktion und Fertigung
- V. Anforderungen an den Wagenkasten
- VI. Trag-/Führsystem
- VII. Software
- VIII. Bremseinrichtungen
- IX. Überwachungsbedürftige Anlagen
- X. Innenausstattung
- XI. Bordenergieversorgung / elektrische Ausrüstung
- XII. Steuerung und Kommunikation, sonstige sicherheitstechnische Ausrüstung
- XIII. Umweltschutz-Bestimmungen
- XIV. Arbeitsschutz / Personenschutz
- XV. Brandschutz

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
-----	--------	------------	---------------------	-------------

I. Allgemeines

1	Antragstellung	Antragstellung		U.a. Erklärung, auf welcher Strecke bzw. welchem Streckennetz das Fahrzeug im Geltungsbereich des AMbG eingesetzt werden soll.
2	Erklärung zur Einhaltung der MbBO	Erklärung, dass keine Abweichung von den Vorgaben der MbBO beabsichtigt ist und die Vorgaben der MbBO eingehalten werden.	§ 3 MbBO § 5 MbBO	
3	Erklärung zur Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik	Erklärung, dass keine Abweichung von den anerkannten Regeln der Technik beabsichtigt ist. Bei Abweichungen: Nachweis gleicher Sicherheit gegenüber der Genehmigungsbehörde	§ 3 MbBO § 3 (2) Satz 2 MbBO	
4	Erklärung der Einhaltung aller Anforderungen des Sicherheitskonzeptes	Sicherheitskonzept (inkl. Rettungskonzept) Sicherheitsziele Nachweis der Umsetzung der Maßnahmen im Fahrzeug mit detailliertem Verweis auf den entsprechenden Bezug im Sicherheitskonzept	§ 23 MbBO	Umsetzung des Sicherheitskonzeptes für die Strecke bzw. das Streckennetz, auf dem das Fahrzeug betrieben werden soll. Neben den unmittelbar in der MbBO enthaltenen Anforderungen sowie den anerkannten Regeln der Technik können sich aus dem Sicherheitskonzept gemäß § 23 MbBO weitere Anforderungen an ein Magnetschwebefahrzeug ergeben. Teilweise bilden diese Anforderungen erst die Voraussetzung dafür, dass eine Norm angewendet werden kann (z.B. Vorgabe einer Sicherheitsanforderungsstufe ge-

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck

Ausg. Datum

15.02.2007

Seite 33 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
				mäß DIN EN 50128).
5		Lastenheft Gesamtsystem		Analog zu VwV §32 EBO
6		Pflichtenheft		Analog zu VwV §32 EBO
7		Nachweis der Konformität zu den Grundsätzen und Verfahren zur Erstellung der Instandhaltungsprogramme	Grundsätze und Verfahren zur Erstellung der Instandhaltungsprogramme gem. §8 (2) MbBO	
8		Nahtstellendokumente / Lastenheft Gesamtsystem (5), Pflichtenheft Gesamtsystem (6)	Ausführungsgrundlage Gesamtsystem / Ausführungsgrundlage der weiteren Teilsysteme	
9		Nachweis Qualitätsmanagementsystem des Herstellers / Lieferanten	DIN ISO 9001	Die Genehmigungsbehörde kann eine stichprobenweise Überprüfung der Wirksamkeit des Qualitätsmanagementsystems vornehmen.

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum

15.02.2007

Seite 34 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
-----	--------	------------	---------------------	-------------

II. Grundlegende Parameter des Fahrzeugs

1	Allgemeine technische Spezifikationen	Technische Daten zum Fahrzeug Pflichtenheft Antrag auf Abnahme §6 MbBO		
1.1		Bezeichnung der Fahrzeugbauart		
1.2		Fahrzeug-Nr.		
1.3		Fabrik-Nr.		
1.4		Baujahr		
1.5		Hersteller		
1.6		Eigentümer/Einsteller		
2		Fahrfähigkeit		
2.1	entfällt			
2.2		Betriebskonzept aus Lastenheft / Pflichtenheft Höchstgeschwindigkeit, Betriebliche Regelgeschwindigkeit	Siehe Ausführungsgrundlage Gesamtsystem Anlage 1	
2.3		Länge des Fahrzeugs		
2.4		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eigengewicht ▪ Kufenlasten 	Siehe Kapitel 9, Anhang Wägung	Analog zu TVE-Praxis

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 35 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lasten auf Sektionskupplungen ▪ Schwerpunktlage 		
2.5		Zulässiges Gesamtgewicht		
2.6		Max. Fahrzeuggewicht je Längeneinheit		
2.7		Anzahl der Plätze (Anzahl der Sitz- bzw. Stehplätze), Personen pro Flächeneinheit		
2.8		Anzahl der Abteile		
2.10		Anzahl der Toiletten, Waschräume		
2.11		Anzahl der sonstigen Räume (z.B. Gepäckstauräume)		
2.12		Anzahl der Fahrzeugsektionen		
2.13		Schweberahmen: Anordnung und Aufbau, Anzahl der Schweberahmen, Abstand der Schweberahmen		
2.14		Max. Lasten, die auf die Trag- und Führeinheiten wirken	Ausführungsgrundlage Fahrzeug Teil II Bemessung	Ist nachvollziehbar aus Lastenheft und Pflichtenheft Gesamtsystem herzuleiten
2.15		Antriebsleistung	siehe Punkt I, Nr. 8	Projektspezifisch, siehe Lastenheft und Pflichtenheft Gesamtsystem
2.16		Kleinster befahrbarer Radius	Ausführungsgrundlage Gesamtsystem	

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 36 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
-----	--------	------------	---------------------	-------------

III. Anforderungen an das Fahrzeug

1	Fahrzeugbegrenzung, Kinematik des Fahrzeuges	Zeichnung, Nachweis gem. /MSB AG-BEM/	§ 17 (3) MbBO in Verbindung mit Anlage zu § 14 MbBO und Ausführungsgrundlage Fahrzeug Teil III, § 14 MbBO	In Anlehnung an die Methodik der UIC 505. Das Gutachten zur kinematischen Fahrzeugbegrenzung sollte folgende Bestätigung enthalten: „Hiermit bestätige ich, dass die Fahrzeugbegrenzungslinie (nach) berechnet wurde. Die in der Anlage zu § 14 MbBO dargestellte Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf des Fahrzeugs wird nicht überschritten, auch nicht in den Fällen, die“. Nachweis nach AG Fahrzeug Teil III
2	Signaleinrichtungen	Zeichnung/ Beschreibung: - Spitzensignal - Schlussignal	DS / DV 301 „Signalbuch“	Abweichungen sind projektspezifisch abzustimmen
3	Fahrzeuganschriften	Zeichnung/ Beschreibung; Verzeichnis der Schilder und Anschriften	UIC 640 ISO 7001:1990 (Piktogramme)	Abweichungen sind projektspezifisch abzustimmen
4	Fahrzeugseitige Spaltüberbrückung im Einstiegsbereich	Pflichtenheft	§ 15 MbBO DIN EN 14752 (Bahnanwendungen-Seiteneinstiegssysteme), Beachtung der TSI-PRM	Falls vorhanden Zusammenspiel mit den Bahnsteigtüren beachten (§ 15 MbBO)!
5	Stör- und Notfallkon-	Anzahl, Beschreibung, Zeichnung mit Position von Notausstiegen	§ 18 (3) MbBO	Abgrenzung zum Rettungskonzept nach § 23 MbBO:

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck

Ausg. Datum

15.02.2007

Seite 37 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
	zept / Notausstiegs-konzept	Sicherheitskonzept Beschilderungskonzept	DIN 5510 EBA-Leitfaden Brandschutz in Personenverkehrsanlagen der Eisenbahnen des Bundes /BrandReg/	Rettungskonzept nach § 23 MbBO legt Notfallkonzeption fest (gesamtsystembezogen). Im Rahmen der Fahrzeugabnahme gemäß § 6 MbBO wird geprüft, ob die Maßnahmen, die im Rahmen des Sicherheitskonzeptes (bzw. Rettungskonzeptes) sowie die gesetzlichen Vorschriften und anerkannten Regeln der Technik beim konkreten Fahrzeug umgesetzt worden sind.
6	Druckdichtigkeit / Drucker-tüchtigung	Lastenheft Pflichtenheft	UIC 660 /MSB AG-GESAMTSYS/	Ist nachvollziehbar aus Lastenheft und Pflichtenheft Gesamtsystem herzuleiten
7	Druckwellen-effekte	Lastenheft Pflichtenheft		Ist nachvollziehbar aus Lastenheft und Pflichtenheft Gesamtsystem herzuleiten
8	Klimatische Umweltbedin-gungen	Lastenheft Pflichtenheft	Gemäß /MSB AG-Umwelt/	Projektspezifisch festzulegen. Amtl. Begründung zu § 17 MbBO: Die Fahrzeuge müssen <u>allen</u> anzunehmenden Betriebs- und Umweltbedingungen genügen
9	Aerodynamik	Pflichtenheft	En 14067, UIC 660, DB RIL 807-04 (Seitenwind)	

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 38 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
-----	--------	------------	---------------------	-------------

IV. Anforderungen an Konstruktion und Fertigung

1	Schraubenverbindungen	Zeichnungen/ Beschreibungen/ Prüfung der Konstruktion auf Verliersicherheit; Pflichtenheft Festlegung des Nachweisumfangs und des Nachweisverfahrens (ggf. experimentell)	Umweltanforderungen im jeweiligen Einbauraum DIN 25201	Sicherung von Schraubenverbindungen Die Verliersicherheit ist bei MSB-Fahrzeugen von besonderer Bedeutung, da die Fahrweggradienten erheblich höher sind als bei Eisenbahnen und die Geschwindigkeiten ebenfalls in der Regel größer sind.
2	Nietverbindungen	Zeichnungen Festlegung des Nachweisumfangs und des Nachweisverfahrens (ggf. experimentell) Versuchsprotokolle von entspr. Bauteilversuchen		Projektspezifische Nachweisführung erforderlich. Kraftschluss/ Formschluss (abhängig von Niettyp und Werkstoffpaarung)
3	Schweißkonstruktionen	Zeichnungen	„Verwaltungsrichtlinie für Voraussetzungen für das Schweißen von Schienenfahrzeugen und -teilen im Zuständigkeitsbereich des EBA“; DIN 6700	Insbesondere DIN 6700 Teil 2 → EBA- anerkannte Schweißfachbetriebe!
4	Klebeverbindungen	Zeichnungen/ Beschreibungen/ Festigkeitsnachweise/ Herstellverfahren zu Fahrzeugaufbau (Mechanik Wagenkasten)	DIN 6701, Teil 1 u. 2 DVS Merkblatt M 1618 (Ausgabe 01/2002) Elastisches Dickschichtkleben im Schienenfahrzeugbau	Für elastische Dickschicht-Klebeverbindungen (Bug)

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 39 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
-----	--------	------------	---------------------	-------------

V. Anforderungen an den Wagenkasten

1	Ermittlung des Fahrzeuggewichts	Rechnerischer Nachweis und Nachweis durch Messung	Das Messverfahren wird in Kap. 9 dieses Dokuments beschrieben.	
2	Fahrzeugaufbau	Übersichtszeichnung (Rohbau und Magnetschwebegestell) mit Bemaßung; Fahrzeugkastenvermessung (Zeichnung u. Messblatt) Angabe der verwendeten Werkstoffe (Last übertragende Teile) Anordnung der einzelnen Bauteile Fügeverfahren		
3	Ermittlung des Schwerpunkts	Rechnerischer oder versuchstechnischer Nachweis		Je Fahrzeugsektion
4	Darstellung der Hebepunkte	Zeichnungen, Transportvorschrift		Alle Anhebepunkte müssen, sofern zutreffend, an der betroffenen Hardware dauerhaft gekennzeichnet sein
5	Freie Räume an den Fahrzeugenden	Zeichnung Beschreibung Einbauraum am Kupplungsende	UIC 521, Kupplungen.	Falls vorhanden

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck

Ausg. Datum

15.02.2007

Seite 40 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
6	Wagenkasten einer Sektion einschließlich der Ausrüstungsgegenstände	Nachweise zu Kollisionsszenarien	Lastenheft/Pflichtenheft § 17 (2) MbBO MSB-Dokument Bemessungsgrundlage AG Fahrzeug Teil II, AG Gesamtsystem	§ 17 (2) MbBO: "Die Einwirkungen des Fahrzeugs auf den Fahrweg dürfen die bei der Fahrwegbemessung berücksichtigten Einwirkungen nicht überschreiten". Die Einwirkung ist nachvollziehbar aus Lastenheft und Pflichtenheft Gesamtsystem herzuleiten.
7	Kupplung der Sektionen	Beschreibung der Bauart, Rechnerischer und versuchstechnischer Nachweis	§ 20 (2) MbBO UIC 572 AG Fahrzeug Teil II Das Messverfahren zur Ermittlung der Belastung der Sektionskupplung wird in Kap. 9 zu diesem Dokument beschrieben	
8	Anbauten	Zeichnung/ Beschreibung/ Nachweis der Betriebsfestigkeit und Verliersicherheit unter den am Einbauort herrschenden Umweltbedingungen Lastenheft/ Pflichtenheft	AG Fahrzeug Teil II	Beispiel: Radom
9	Übergänge	Zeichnung/ Beschreibung	Lastenheft / Pflichtenheft	
10		Außenscheiben	§ 18 (1) MbBO	
10.1	Frontscheiben (sofern vorhanden)	Zeichnung/ Beschreibung	UIC 651	Kriterien: ▪ Optische Qualität

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 41 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
			TSI-HGV-Fahrzeuge: Kap. 6.3.2 u. 4.3.19	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Enteisung, Vermeidung von Beschlag. Die Reinigung der Scheiben erfolgt nach projektspezifischen Vorgaben. ▪ Geschossaufprall
10.2	Seitenfenster	Zeichnung / Beschreibung	UIC 564 – 1 UIC 660 UIC 567 BN 918511 PA-1300, Prüfprogramm der DB Systemtechnik für Fenstersysteme, Ausgabe 2005	Die UIC 564-1 deckt den Geschwindigkeitsbereich im HGV nicht ab. Daher werden HGV-Seitenscheiben nach PA-1300 Prüfprogramm der DB Systemtechnik für Fenstersysteme, Ausgabe 2005 geprüft. Die Prüfung erfolgt in Anlehnung an die UIC 564-1. Das Lastniveau und die Lastwechselzahl müssen anhand des Einsatzspektrums (Lastkollektiv) und sinnvoller Zuschläge vereinbart werden.
11	Türen		§ 18 (1) MbBO	
11.1	Einstiegstüren	Sicherheitskonzept Abfertigungsverfahren Zeichnung/ Beschreibung Nachweis der sicherheitstechnischen Funktionen bei gegebenen Umweltbedingungen gem. Lastenheft	§ 18 (2) Nr. 1 u. 2 MbBO VDV 111 DIN EN 14752 UIC 560 UIC 566 DIN 32974 (Akustische Signale)	Vgl. auch amtl. Begr. zu § 18 MbBO: "Bei hohen Geschwindigkeiten kommt der Türsicherung gemäß Abs. 2 besondere Bedeutung zu." Automatische Verriegelung der Türen bei nicht abgesetztem Fahrzeug ist mittels Risikoanalyse zu definieren. Beschreibung des Zusammenwirkens von Fahrzeugtür, Bahnsteigtür und Spaltüberbrückung.

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 42 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
11.2	Sektionsübergangstüren	Zeichnung/ Beschreibung Sicherheitskonzept Nachweis der sicherheitstechnischen Funktionen	§ 17 (5) Nr. 3 MbBO ggf. DIN 5510 VDV 111 DIN EN 14752 UIC 560	Ggf. § 17 (5) Nr. 3 MbBO: 30 min – Kriterium
11.3	WC-Türen	Zeichnung / Beschreibung		
12	Griffe, Handstangen, Tritte	Zeichnung / Beschreibung	Gem. einschlägigen Bahnnormen	
13	Haltevorrichtungen für Gepäckbehälter	Zeichnung / Beschreibung		Sich bewegende Behälter können sicherheitsrelevant sein

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 43 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
-----	--------	------------	---------------------	-------------

VI. Trag- / Führsystem

1	Trag-/Führ- Struktur (Schweben- rahmen, Trag- und Führ- magnete) Tragkufen etc.	Nachweis der statischen und dynami- schen Festigkeit (rechnerisch und / oder versuchstechnisch) Angabe der verwendeten Werkstoffe insbesondere Tragkufen: thermisches Verhalten mechanisches Verhalten, Bruchfestig- keit Verschleiß Reibkoeffizient Tragkufe / Gleitleiste	Ausführungsgrundlage Fahrzeug Teil IV Trag-/Führsystem & Teil II Bemessung	Sollwerte sind projektspezifisch festzulegen.
2	Funktionen der Schweben- technik: ▪ sichere Trag- funktion, ▪ sichere Führ- funktion in Verbindung mit der siche- ren Bordener- gieversorgung	Sicherheitskonzept Zeichnungen/ Beschreibungen: ▪ Spaltmesseinheiten ▪ Magnetregelungen ▪ Verhalten bei Ausfällen	Ausführungsgrundlage Fahrzeug Teil IV Trag-/Führsystem	

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 44 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
3	Vertikale Lasten, Querkräfte, Längskräfte	Nachweis, dass max. vertikale Lasten sowie Quer- bzw. Längskräfte nicht überschritten werden	Ausführungsgrundlage Teil IV T/F-System und Teil II Bemessung	

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
-----	--------	------------	---------------------	-------------

VII. Software

1	Einstufung der Software	Einstufung in <ul style="list-style-type: none"> ▪ nicht sicherheitsrelevante Software Sicherheits-Anforderungs-Stufe (SSAS) = 0 <p>oder</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sicherheitsrelevant SSAS > 0 	EN 50128 <i>EN 61508</i>	Beispiele: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Trag-/Führsystem ▪ Bordenergieversorgung ▪ Bremsenrichtungen ▪ Türsteuerung ▪ Klimaeinrichtung ▪ Brandschutzeinrichtungen ▪ Kommunikationseinrichtungen
2	Sicherheitsrelevante Funktionen	z.B.: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bremsen, ▪ Ein- und Ausstieg, ▪ Schnittstellen zur Zugsicherung etc. ▪ alle Einrichtungen, die <ul style="list-style-type: none"> ○ in die funktionelle Zugsteuerung eingreifen, ○ den Fahrdienstleiter zum Handeln veranlassen, ○ Temperaturen oder Rauchgase diagnostizieren. 	Sicherheitskonzept EN 50128 Leitfaden zur Anwendung der EN 50128 auf Schienenfahrzeuge (Ausgabestand 09/2005)	

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 46 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
3	Software - Erstellungsprozess	Gutachten über die Abarbeitung der Norm	EN 50128	Mit den hiermit gebildeten SSAS ist das V-Modell gem. der gültigen Stufe der EN 50128 abzuarbeiten. Alle Schritte werden dokumentiert und archiviert und gegebenenfalls durch den Gutachter validiert.

VIII. Bremseinrichtungen

		Bremsen		
1	Bremseinrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zeichnung, ▪ Pflichtenheft, ▪ Beschreibung des Bremssystems der Komponenten und der Wirkungsweise, Bremsberechnung, ▪ Betriebsbremse, sichere Bremse, Haltebremse etc. ▪ Bremsprüfung. 	§ 20 MbBO in Verbindung mit §13 Ausführungsgrundlage Fahrzeug Teil V	Randbedingungen projektspezifisch gem. Lastenheft / Pflichtenheft
2	Bremstechnische Prüfungen	Bremsleistungen etc.		Randbedingungen projektspezifisch gem. Lastenheft / Pflichtenheft

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum

15.02.2007

Seite 47 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
-----	--------	------------	---------------------	-------------

IX. Überwachungsbedürftige Anlagen

1	Druckbehälteranlagen (Luftfedern etc.)	<p>Beschreibung der Anlage mit Lufbedarfsberechnung</p> <p>Übersichtszeichnung des Fahrzeuges mit Lage der Druckbehälter, Position der Sicherheitsventile und Druckwächter sowie Verlauf der Rohrleitungen</p> <p>Rohrschaltschema, Behälterzeichnung mit Stückliste</p> <p>Konformitätserklärung gem. Art. 11 der Richtlinie 87/404 EWG oder Prüfscheinigung eines anerkannten Sachverständigen</p> <p>Nachweis über die bauteilgeprüften Sicherheitsventile gem. AD-Merkblatt A2, Abs. 10</p> <p>Leistungsangaben des Kompressors</p> <p>Inbetriebnahmeprotokoll, Prüfnachweise des Sachverständigen / Sachkundigen gem. TRB 505, 511, 512, 513 sowie Nachweis der Prüfung vor Inbetriebnahme gemäß § 21 (2) MbBO</p> <p>Instandhaltungsvorschriften</p>	<p>§ 21 MbBO</p> <p>in Verbindung mit der „Richtlinie für überwachungsbedürftige Anlagen der Schienenfahrzeuge der Eisenbahnen des Bundes gemäß § 33 EBO“, Stand: 1.11.2003, insbesondere Anhang 2</p> <p>Druckgeräterichtlinie 97/23/EG</p> <p>AD 2000</p> <p>DIN EN 286-4</p>	
---	--	--	---	--

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 48 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
		Betriebsanleitung	DIN 31051	
2	Batterien inkl. Belüftung	Beschreibung der Anlage, Zeichnungen usw. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sicherheit ▪ Erdung 	DIN 57510 VDE 0510 Lastenheft/Pflichtenheft Sicherheitskonzept § 21 MbBO in Verbindung mit der „Richtlinie für überwachungsbedürftige Anlagen der Schienfahrzeuge der Eisenbahnen des Bundes gemäß § 33 EBO“, Stand: 1.11.2003, insbesondere Anlage 4.7	

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
-----	--------	------------	---------------------	-------------

X. Innenausstattung

1	Fahrgastraum	Beschreibung /Zeichnung	§ 17 (1) MbBO in Verbindung mit § 3 (3) MbBO Behindertengleichstellungsgesetz (BGG) TSI-Fahrzeuge: Kap. 7.4.3 (Studie COST 335) Beachtung von DIN 33402-1 und DIN 33402-3 TSI PRM UIC 565-3 UIC 563 BMVBW - Handbuch „direkt“, 56/2001 Computergestützte Erfassung und Bewertung von Barrieren Programm der Deutschen Bahn AG (Herausgeber: DB Personenverkehr, P.VMX, 06.2006)	leichte Zugänglichkeit für Personen mit Nutzungsschwierigkeiten; Einrichtung gesicherter Rollstuhlplätze; evtl. Federal Register 49 (USA)
---	--------------	-------------------------	---	--

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
2	Inneneinrichtung	Beschreibung/ Zeichnung von <ul style="list-style-type: none"> ▪ Isolierung ▪ Fußbodenaufbau ▪ Zwischenwänden ▪ Wandverkleidung ▪ Decken ▪ verwendeten Werkstoffen ▪ Gepäck- und Kleiderhaken ▪ Spiegel und sonstigen Glasbauteilen ▪ Halteeinrichtungen ▪ Sitzen ▪ Rückhalteeinrichtungen für Rollstühle Pflichtenheft	§ 18 (1) MbBO DIN 5510 / Stufe 4 in Verbindung mit /BrandReg/ UIC 562 UIC 564 – 1 DB TT73 Grundlagen für die Konstruktion und Prüfung von Fahrgastsitzen in Schienenfahrzeugen Programm der Deutschen Bahn AG (Herausgeber: DB Personenverkehr, P.VMX, 06.2006)	
3	Seitengang	Beschreibung / Zeichnung	UIC 567 - 1 UIC 567 - 2	
4	Vorräume	Beschreibung		
5	Klimatisierung	Beschreibung / Zeichnung / Nachweise <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rüttelprüfung 	Sicherheitskonzept EN14750-1 und EN 14750-2	Einstufung in Kat. A oder B erfolgt projektspezifisch gemäß EN 14750-1.

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 51 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Leistungsprüfung ▪ CO₂-Gehalt ▪ Notbelüftung 	EN 13129-1, EN 13129-2, DIN EN 61373 in Verbindung mit /MSB AG-FZ BEM/	
6	WC-Raum	Beschreibung		Sofern vorhanden
7	Trinkwasser- anlage	Zulassungsnachweis Zeichnung mit Stücklisten Beschreibung	§ 72 Infektionsschutzgesetz (IfSG), § 23 TrinkwVO in Verbindung mit der Richtlinie „Wahrnehmung der behördli- chen Aufsicht gemäß § 72 Infektions- schutzgesetz im Bereich der Eisenbah- nen des Bundes in Trinkwasserversor- gungs- und Abwasserbeseitigungsanla- gen in Schienenfahrzeugen und ortsfes- ten Anlagen zu deren Befüllung und Entsorgung“; EN1508 DIN 1988 Technische Regeln für Trink- wasser-Installationen Technische Regel W270 des DVGW: Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich KTW Kunststoffe und Trinkwasser	Sofern vorhanden
8	Brauchwasser- anlage	Zeichnung	EN 1508	sofern vorhanden
9	Abwasseranlage	Zeichnung	Wasserhaushaltsgesetz (WHG)	sofern vorhanden

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 52 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
			UIC 563	
10	Repeater	Funktionsbeschreibung, Einbindung in EMV-Plan	Siehe XI, 2	sofern vorhanden
11	Notausstiegsfenster	Funktionsbeschreibung	Regelung zur Prüfung von Notein- und Notausstiegsfenstern in Schienenfahrzeugen, EBA, 27.03.2006, (http://www.eisenbahn-bundesamt.de/Service/files/31_32_33_6_1_VwV_NEA.pdf)	sofern vorhanden

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
-----	--------	------------	---------------------	-------------

XI. Bordenergieversorgung / elektrische Ausrüstung

1	Stromabnehmer	Beschreibung der Bauart, Zeichnung, Festigkeitsberechnung, Ermittlung der Lasten, die auf die Stromschiene wirken	EN 50121	Sofern vorhanden EMV Bahnanwendungen
2	Elektrische Ausrüstung	Beschreibung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Blockschaltbild/ Stromlaufpläne ▪ Versorgung aus Lineargenerator / Batterien/ Stromschiene ▪ Erdungskonzept (Impedanzprüfung), insbesondere Erdung über die Tragkufen ▪ Hochspannungsprüfung (Prüfprotokoll) ▪ Blitzschutz ▪ Prüfung der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) ▪ Schutzmaßnahmen in Bezug auf elektrische Gefahren 	§ 17 (4) MbBO EMVG Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten, EN 50121 EMV Bahnanwendungen RL 89/336/EG Richtlinie über elektromagnetische Verträglichkeit EBA Ergänzung zur Einhaltung der Grenzwerte Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) durch Schienenfahrzeuge DIN EN 50155 VDE 0115-200 :2004-01 Bahnanwendungen - Elektronische Einrichtungen auf Schienenfahrzeugen - Deutsche Fassung EN 50155:2001 + A1:2002 + Corrigendum 2003	Spannungsfestigkeit gem. VDE 0160 El. Feldstärke gem. DIN EN 61000-4-3 = VDE 0847-4-3 Magn. Feldstärke gem. DIN EN 61000-4-8 = VDE 0847-4-8 Burst gem. DIN EN 61000-4-4 = VDE 0847-4-4 Surge gem. DIN EN 61000-4-5 = VDE 0847-4-5 ESD gem. DIN EN 61000-4-2 = VDE 0847-4-2 Induzierte Störgrößen gem. DIN EN 61000-4-6 = VDE 0847-4-6 Überspannungen gem. DIN EN 50178 = VDE 0160 Normen gem. Prüfspezifikationen DIN EN 50121-1 VDE 0115-121-1 :2001-05 Bahnanwendungen - Elektromagnetische Ver-

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 54 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
				<p>träglichkeit - Allgemeines - Deutsche Fassung EN 50121-1:2000</p> <p>DIN EN 50121-2 VDE 0115-121-2:2001-05</p> <p>Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit - Störaussendung des gesamten Bahnsystems in die Außenwelt -Deutsche Fassung EN 50121-2:2000</p> <p>DIN EN 50121-3-1 VDE 0115-121-3-1:2001-05</p> <p>Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit - Bahnfahrzeuge - Zug und gesamtes Fahrzeug - Deutsche Fassung EN 50121-3-1:2000</p> <p>DIN EN 50121-3-2 VDE 0115-121-3-2:2001-05</p> <p>Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit - Bahnfahrzeuge - Geräte - Deutsche Fassung EN 50121-3-2:2000</p> <p>DIN EN 50121-4 VDE 0115-121-4:2001-05</p> <p>Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit - Störaussendung und Störfestigkeit von Signal- und Telekommunikationseinrichtungen - Deutsche Fassung EN 50121-4:2000</p> <p>DIN EN 50121-5 VDE 0115-121-5:2001-05</p> <p>Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit - Störaussendung und Störfestigkeit von ortsfesten Anlagen und Einrichtungen der</p>

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck

Ausg. Datum

15.02.2007

Seite 55 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
				Bahnenenergieversorgung - Deutsche Fassung EN 50121-5:2000
3	Beleuchtung / Notbeleuchtung	Beschreibung Leistung / Betriebsdauer	UIC 555, Sicherheitskonzept EN 13272 EN 50172	Anwendung EN 50172 projektspezifisch (bei Entscheid Einsatz z.B. nachleuchtender Ret- tungszeichen)

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
-----	--------	------------	---------------------	-------------

XII. Steuerung und Kommunikation, sonstige sicherheitstechnische Einrichtungen

1	Leittechnik (Hardware/ Software)	Beschreibung / Sicherheitsnachweis der Signalverarbeitung	DIN EN 50155 VDE 0115-200 :2004-01 Bahnanwendungen - Elektronische Ein- richtungen auf Schienenfahrzeugen - Deutsche Fassung EN 50155:2001 + A1:2002 +Corrigendum 2003 DIN EN 50126 IEC 61508 DIN EN 50128 EBA-Merkblatt Leitfaden zur Anwendung EN 50128 auf Schienenfahrzeuge (Ausgabestand 09/2005)	
2	Notrufein- richtungen / Gegensprech- anlage Lautsprechan- lage für Durch- sagen	Beschreibung / Nachweise	Sicherheitskonzept § 18 (2) Nr. 3 MbBO TSI-Fahrzeuge: Kap. 4.3.16	
3	Notbeleuchtung	siehe Beleuchtung	EN 13272	XI.3
4	Notbelüftung	siehe Klimatisierung		X.5

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 57 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
5	Notentriegelung Türen	siehe Einstiegstüren		V.11

XIII. Umweltschutz-Bestimmungen

1	Sicherheitsdatenblätter	Einsatzmerkblatt Mittelsektion Einsatzmerkblatt Endsektion		vergleichbar Muster ICE
2	Sanitäranlagen	Nachweis über die Umweltverträglichkeit der Sanitäranlage	UIC 567 UIC 563	Sofern vorhanden
3	Asbestfreiheit	Erklärung / Nachweis	Asbest-Verbot	
4	FCKW-Freiheit	Erklärung / Nachweis	FCKW-Halogen-Verbots-Verordnung	
5	Außenschall	Nachweis der Schallemission	Magnetschwebbahnverordnung Artikel 2: Magnetschwebbahn-Lärmschutzverordnung Ausführungsgrundlage Gesamtsystem Anlage 5 DIN EN ISO 3095	
6	Recycling		VDI-2243	

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 58 von 61

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
-----	--------	------------	---------------------	-------------

XIV. Arbeitsschutz / Personenschutz

1	Arbeitsschutz	Nachweis über die Einhaltung des Arbeitsschutzes <ul style="list-style-type: none"> ▪ Messung und Bewertung von Ganzkörperschwingungen ▪ Lichtverhältnisse in Fahrgasträumen 	Lastenheft UIC 651 DIN 45641 ISO 2631 UIC 513 EN 13272 ERRI B 153 VDI 2057	Sofern Arbeitsplätze vorgesehen sind. Eine Stellungnahme / Beteiligung des zuständigen Unfallversicherungsträgers ist anzustreben.
2	Innenschall		UIC 567 DIN ISO 3381 (11.05) TSI-HGV-Fahrzeuge, Kap. 4.2.7.6, Rev. 2006	Festlegung des Innengeräuschpegels projektspezifisch TSI betrifft Führerstand
3	Schutz gegen elektrische Schläge		MbBO §17 (4) EN 50153, EN 50125-1, EN 60309, VDE 0115 Teil 2, UIC 533 EN 50215	

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Dok.-Nr.: 67698 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 59 von 61

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
-----	--------	------------	---------------------	-------------

XV. Brandschutz

1	Konstruktive Gestaltung, Ausrüstung und Konzeption	Nachweis über die Einhaltung der brandschutztechnischen Bestimmungen	§ 17 (5) MbBO /BrandReg/ (01.06. 2006) DIN 5510 VBG 125 (Piktogramm Feuerlöscher) DIN 4844 (Sicherheitskennzeichnung) EN 1363-1 (Bauteilprüfung Brandabschottung) EN 60695 (Prüfung zur Beurteilung der Brandgefahr) DB TT73 Grundlagen für die Konstruktion und Prüfung von Fahrgastsitzen in Schienenfahrzeugen BN 918 433	Brandschutzstufe 4 Siehe Kapitel 6.3.2
2	Automatische Brandmeldung	Beschreibung / Zeichnungen / Nachweise (Versuch)	§ 17 (5) Nr. 4 MbBO EN 61508 EBA-Merkblatt „Ionisationsrauchmelder in Schienenfahrzeugen“	
3	Tragbare Feuerlöscher	Beschreibung / Zeichnung	§ 17 (5) Nr. 4 MbBO	
4	Gefahren beim	Sicherheitskonzept		

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug Teil I, Generelle Anforderungen

Ausführungsgrundlage

Nr.	Inhalt	Unterlagen	Regelwerk / Ausgabe	Bemerkungen
	Zugang durch Rettungskräfte	Unterlagen für Rettungsdienste: Einsatzmerkblatt Mittelsektion, Einsatzmerkblatt Endsektion, Notfallausrüstungen		
5	Mittel zur Leistung erster Hilfe	Beschreibung	§ 18 (2) Nr. 4 MbBO	

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Fahrzeug Teil II Bemessung

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Fahrzeug zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007; Weißdruck, Fachausschuss Fahrzeug.

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler.....	2
2	Änderungsübersicht	3
3	Inhaltsverzeichnis.....	4
4	Allgemeines	7
4.1	Zweck und Anwendungsbereich	7
4.2	Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen.....	8
4.3	Abkürzungen und Definitionen.....	9
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien.....	9
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit der Anforderungen	9
4.6	Referenzen	9
5	Definitionen (Teilsystemspezifisch).....	10
5.1	Koordinatensystem	10
5.2	Anlenkungskräfte	11
5.3	Allgemeines	12
5.4	Fahrzeuggewichte bei Personentransport	12
5.4.1	Fahrzeugeigengewicht.....	12
5.4.2	Nutzlast bei Personenfahrzeugen.....	12
5.4.3	Fahrzeuggewicht mit Nutzlast.....	13
5.4.4	Maximales Fahrzeuggewicht.....	13
5.5	Fahrzeuggewichte bei Gütertransport.....	13
6	Konstruktionsfreigabe	14
7	Festigkeitsanforderungen.....	15
7.1	Allgemeines	15
7.2	Einflussparameter auf MSB-Fahrzeuge	16
7.2.1	Lastannahmen	16
7.2.2	Werkstoffe.....	16
7.2.3	Unsicherheiten	17
7.3	Nachweis der statischen Festigkeit und strukturellen Stabilität	18
7.3.1	Nachweis der Lastaufnahmefähigkeit	18
7.3.2	Nachweis der Steifigkeit.....	20
7.3.3	Nachweis der Ermüdungsfestigkeit.....	21
7.3.4	Experimentelle Festigkeitsnachweise	22
8	Lastfälle.....	26
8.1	A-Lasten (Lastfälle für Ermüdungsfestigkeitsnachweis)	26

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

8.1.1	Massenkräfte.....	26
8.1.2	Zwangskräfte infolge Trassierung.....	30
8.1.3	Vorspannung infolge Führungsmagnetlasten.....	30
8.1.4	Aerodynamische Lasten.....	30
8.1.5	Lasten infolge Temperaturänderungen.....	34
8.2	S-Lasten im ausfallfreien Systemzustand für den Lastaufnahmefähigkeitsnachweis.....	35
8.2.1	Massenkräfte.....	35
8.2.2	Zwangskräfte infolge Trassierung.....	38
8.2.3	Vorspannung infolge Führungsmagnetlasten.....	38
8.2.4	Aerodynamische Lasten.....	38
8.2.5	Lasten infolge Temperaturänderungen.....	39
8.3	S-Lasten bei Betrieb mit Ausfällen für den Lastaufnahmefähigkeitsnachweis.....	39
8.3.1	Zwangsbremung mit sicherer Bremse bei Ausfall eines Bremsregelkreises.....	39
8.3.2	Ausfall eines Bordnetzes.....	40
8.3.3	Lokales mechanisches Führen.....	40
8.3.4	Lokales mechanisches Tragen.....	41
8.3.5	Einseitig ungeregeltes Absetzen von Tragkufen.....	42
8.3.6	Schlupf/Pendeln.....	42
8.3.7	Reibwertänderung bei gleitendem, abgesetzten MSB-Fahrzeug.....	43
8.3.8	Halteruck bei Zwangsbremung mit der Sicherer Bremse.....	43
8.3.9	Nutzlastüberschreitung in außergewöhnlichen Betriebsituationen.....	43
8.3.10	Überschreiten der Streckenhöchstgeschwindigkeit.....	43
8.3.11	Schubkraftüberschreitung infolge Antriebsfehler.....	44
8.3.12	Einfahren in die Kurzschlusswicklung.....	44
8.3.13	Stand des MSB-Fahrzeugs mit maximaler Querneigung.....	44
8.3.14	Anheben MSB-Fahrzeug bei angefrorenen Tragkufen.....	44
8.3.15	Ausfall Bugluftfeder.....	45
8.4	Kollisionsfälle.....	45
8.5	Transport.....	45
9	Überlagerung der Lastfälle.....	46
9.1	Lastaufnahmefähigkeitsnachweis.....	46
9.2	Ermüdungsfestigkeitsnachweis.....	48
9.2.1	Dauerfestigkeitsnachweis.....	48
9.2.2	Betriebsfestigkeitsnachweis.....	48
10	Anlage Beanspruchung von Einbau- und Anbauteilen.....	49
10.1	Definition der Umwelträume.....	49
10.2	Prüfpegel.....	51

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Anlenkungskräfte an der Gestellstruktur	11
Abbildung 2: Zoneneinteilung der Endsektion in Bezug auf aerodynamische Einwirkungen	31
Abbildung 3: Wechseldruckwelle Bug-/Heckeinwirkung	33
Abbildung 4: Umwelträume aus /MSB AG-UMWELT/	49
Abbildung 5: Umwelträume (Kategorien) aus /DIN EN 61373/	50

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Bezeichnung der Anlenkungskräfte	11
Tabelle 2: Beispiel für Druckamplituden bei Zugbegegnung	33
Tabelle 3: Schneedichten für unterschiedliche Aggregatzustände	35
Tabelle 4: Überlagerung der S-Lasten aus Betrieb im ausfallfreien Zustand.....	46
Tabelle 5: S-Lasten aus Lastfällen bei Ausfall bzw. außergewöhnlicher Einwirkung.....	47
Tabelle 6: Überlagerung der A-Lasten aus Betrieb im ausfallfreien Zustand.....	48
Tabelle 7: Gegenüberstellung der Einbauräume	50
Tabelle 8: Prüfpegel Schwingen/Schocken	51

4 Allgemeines

4.1 Zweck und Anwendungsbereich

Das vorliegende Dokument enthält die projektunabhängigen Anforderungen zur Bemessung von MSB-Fahrzeugen.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

Teil II der „Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen Fahrzeug“ umfasst die

- Festlegung der Betriebsbedingungen, Lastfälle und Lastfallkombinationen,
- Nachweisführung der Lastaufnahmefähigkeit (statischen Festigkeit, Stabilität und Steifigkeit) und Ermüdungsfestigkeit,
- Festlegung der Sicherheitsfaktoren für die zu verwendenden Werkstoffkennwerte,
- sowie die Prinzipien zur Absicherung der Konstruktion durch Versuche.

Die Grundlagen zur Ermittlung der charakteristischen und repräsentativen Werte der Lasten sind übergeordnet in /MSB AG-GESAMTSYS/ enthalten. Die angegebenen Werte basieren auf Betriebserfahrungen bzw. sind Vorgaben gemäß /MbBO/ zur Dimensionierung und zum Nachweis von MSB-Fahrzeugen. Die Vorgaben in diesem Dokument stellen den aktuellen Kenntnisstand dar und müssen projektspezifisch bestätigt bzw. geändert und verifiziert werden. Geänderte Werte sind in der projektspezifischen Dokumentation (Lieferspezifikation, Technische Berichte) anzugeben. Wird keine explizite Vereinbarung getroffen, gelten die Werte dieses Dokumentes.

Die diesem Dokument zu Grunde liegenden Betriebserfahrungen beziehen sich auf die MSB-Fahrzeuge TR07 und TR08 auf der TVE sowie auf das Transrapid-Projekt Shanghai. Durch diese Betriebserfahrungen wurde verifiziert, dass bei Bemessung nach den in diesem Dokument enthaltenen Vorgaben die im Betrieb auftretenden Beanspruchungen mit ausreichender Reserve die zulässige Beanspruchbarkeit der Bauteile nicht überschreiten.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage wurde in Anlehnung an die bestehenden Normen der Rad-Schiene-Technik /DIN EN 12663/ und /DIN EN 13749/ erstellt. Weitgehend übernommen wurden die Vorgehensweise der Nachweisführung, bestehend aus theoretischem Nachweis und Versuch, sowie die allgemeinen Anforderungen zur Festigkeit mit den Inhalten Werkstoffe, Sicherheitsfaktoren usw. MSB-spezifisch und damit abweichend von diesen Normen wurden die Einzellastfälle und die Lastfallkombinationen definiert.

4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen.

Der Dokumentationsbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordnete Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, mit den Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

Die Dokumentation zum Fahrzeug beinhaltet folgende Unterlagen:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil I: Generelle Anforderungen, Dok.-Nr: 67698, /MSB AG-FZ GEN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil II: Bemessung, Dok.-Nr: 67694, /MSB AG-FZ BEM/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil III: Kinematische Begrenzungslinie, Dok.-Nr: 67650, /MSB AG-FZ KIN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil IV: Trag- /Führtechnik, Dok.-Nr: 73388, /MSB AG-FZ TRAFÜ/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil V: Bremstechnik, Dok.-Nr: 73389, /MSB AG-FZ BREMS/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit der Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln dieses Dokuments sind gemäß /MSB AG-FZGEN/

- Anforderungen / Vorgaben in Standardschriftart
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in Kursiv-Schrift

gekennzeichnet.

Werden in diesem Dokument Hinweise auf projektspezifische Regelungen im Einzelfall gegeben, bedeutet dies, dass eine Vereinbarung zwischen Hersteller und Unternehmer (*z.B. in einem Lastenheft bzw. einer vertraglichen Regelung*) unter Hinzuziehung der Genehmigungsbehörde zu treffen ist.

4.6 Referenzen

Dokument	Beschreibung
/DIN EN 12663/	Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von Schienenfahrzeugen, Oktober 2000
/DIN EN 13749/	Spezifikationsverfahren für Festigkeitsanforderungen an Drehgestellrahmen, Juli 2005

5 Definitionen (Teilsystemspezifisch)

5.1 Koordinatensystem

- x-Richtung : in Fahrtrichtung des Fahrzeugs
- y-Richtung : quer zur Fahrtrichtung,
positive Achse in Fahrtrichtung nach rechts gerichtet
- z-Richtung : vertikal zur Fahrtrichtung, positive Achse nach unten gerichtet

Ursprung des Koordinatensystems ist der Schnittpunkt aus Mittelsenkrechter und Gleitebene des Fahrwegs.

5.2 Anlenkungskräfte

Es gelten die in Abbildung 1 skizzierten Richtungen der Kräfte, die über die Anlenkungen der Trag- und Führungsmagnete an der Gestellstruktur eingeleitet werden.

Die Bezeichnung der Kräfte ist in Tabelle 1 erläutert.

F_{xTM}, F_{zTM}	Anlenkungskräfte der Tragsmagnete
F_{yFM}	Anlenkungskräfte der Führungsmagnete

Tabelle 1: Bezeichnung der Anlenkungskräfte

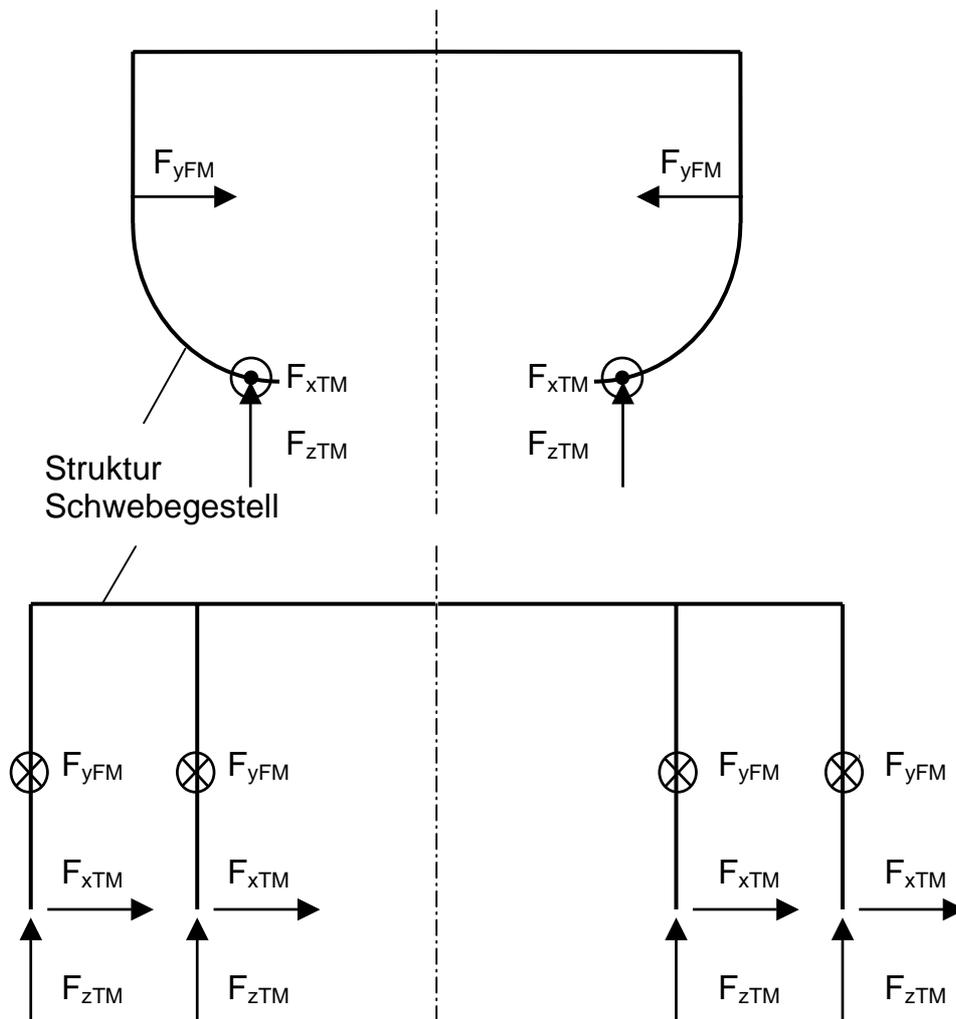


Abbildung 1: Anlenkungskräfte an der Gestellstruktur

5.3 Allgemeines

A-Lasten	Lasten aus Betrieb im ausfallfreien Zustand für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit
S-Lasten	Maximal mögliche Lasten bei Betrieb im ausfallfreien Zustand bzw. unter außergewöhnlichen Einwirkungen für Nachweis der Lastaufnahmefähigkeit

5.4 Fahrzeuggewichte bei Personentransport

Das Gewicht der MSB-Fahrzeuge und die zu berücksichtigenden Nutzlasten sind projektspezifisch festzulegen.

Fahrzeugsektionen für Personentransport schließen Gepäckräume (z.B. für Gepäck der Fahrgäste) mit ein.

5.4.1 Fahrzeugeigengewicht

Definition des Fahrzeugeigengewichts, siehe /MSB AG-ABK&DEF/ Anlage 1: Gewicht des Fahrzeugs inkl. Ausstattung (z.B. Bestuhlung) ohne Nutzlast.

Eingeschlossen sind – soweit vorhanden – die Gesamtmassen des Betriebspersonals und Betriebsvorräte.

5.4.2 Nutzlast bei Personenfahrzeugen

Typische Fahrgastmassen

- Fernverkehr 80 kg je Fahrgast mit Gepäck
- Regionalverkehr 70 kg je Fahrgast
- Flughafenbinder 90 kg je Fahrgast mit Gepäck

Typische Fahrgastdichten in Stehplatzbereichen

- Fernverkehr keine Stehplätze
- Regionalverkehr 320 kg/m²
- Flughafenbinder 1 Person / m² (80 % der Fahrten)
2 Personen / m² (15 % der Fahrten)
320 kg/m² (5 % der Fahrten)

Typische Massenbelegung im Gepäckraumbereich:

300 kg/m²

Die anzusetzenden Massen sind projektspezifisch zu bestätigen oder abweichend festzulegen.

5.4.3 Fahrzeuggewicht mit Nutzlast

Gewicht des komplett ausgestatteten Fahrzeugs mit Nutzlast

Mittleres Fahrzeuggewicht: 80% Nutzlast

Zulässiges Fahrzeuggewicht: 100% Nutzlast

Die Nutzlast für Fahrzeugsektionen für den Personentransport hängt von der Anzahl der Fahrgast-sitze und in Stehplatzbereichen von der Anzahl der Fahrgäste je m² ab. Diese Werte werden vom Betreiber unter Berücksichtigung diesbezüglicher Rechtsvorschriften festgelegt und ergeben die Masse der Zuladung bzw. der Fahrgäste, die in dem MSB-Zug transportiert werden darf.

5.4.4 Maximales Fahrzeuggewicht

Gewicht des komplett ausgestatteten Fahrzeugs unter außergewöhnlicher Einwirkung.

Das maximale Fahrzeuggewicht einer Sektion ergibt sich bei außergewöhnlichen Betriebssituatio-nen (Evakuierung in benachbarte Sektionen).

Typischer Wert für Stehplatzbereich: siehe Kapitel 8.3.9

5.5 Fahrzeuggewichte bei Gütertransport

Die Nutzlast für Gütersektionen ist projektspezifisch festzulegen und ergibt das Gewicht der Zula-dung, die in dem MSB-Zug transportiert werden darf.

6 Konstruktionsfreigabe

Zur Freigabe der Konstruktion ist vom Hersteller des Fahrzeugs ein Freigabeprogramm durchzuführen.

Das Ziel des Freigabeprogramms ist der Nachweis, dass die Konstruktion des Wagenkastens und des Magnetfahrwerks die in der technischen Spezifikation festgelegten Bedingungen erfüllt.

Das Freigabeprogramm muss zeigen, dass das Verhalten der nach Konstruktionsvorgaben hergestellten Fahrzeugbaugruppen einen geeigneten Betrieb erlaubt ohne das Eintreten von Versagen oder Bruch, bleibender Verformung oder Ermüdungsrissen. Es muss außerdem nachweisen, dass weitere Bauteile oder Unter-Baugruppen nicht ungünstig beeinflusst werden.

Das Freigabeprogramm muss detaillierte Informationen darüber enthalten, wie die Freigabe der Konstruktion zu erfolgen hat, und muss die zur Anwendung der verschiedenen Teile des Verfahrens erforderlichen Parameter angeben. Diese Parameter müssen in drei Stufen festgelegt werden:

- das Freigabeverfahren (z. B. Kombination von Lastfällen für Berechnungen und statische Versuche, Programme für Dauerversuche, Strecken für Streckenversuche);
- die Werte der unterschiedlichen Lastfälle;
- die Freigabekriterien (Behandlung der gemessenen oder berechneten Werte, Beanspruchungsgrenzwerte, Kriterien zur Durchführung von Dauerversuchen).

Die Details zu dem Freigabeprogramm sind in dem folgenden Abschnitt 7 ausgeführt.

7 Festigkeitsanforderungen

7.1 Allgemeines

Die MSB-Fahrzeuge der Magnetschwebbahn müssen den maximalen Belastungen entsprechend den Betriebsanforderungen standhalten und die geforderte Lebensdauer unter normalen Betriebsbedingungen mit angemessener Überlebenswahrscheinlichkeit erreichen.

Die Fähigkeit des MSB-Fahrzeugs, bleibenden Verformungen und Bruch zu widerstehen, muss durch Berechnung und/oder Versuch nachgewiesen werden.

Die Bewertung der Fahrzeugfestigkeit hat unter folgenden Kriterien zu erfolgen:

- Ansatz der außergewöhnlichen Belastungen, d.h. der maximalen Beanspruchungen, denen unter Aufrechterhaltung der vollen Betriebsfähigkeit standgehalten werden muss (S-Lasten).
- Einhaltung einer ausreichenden Sicherheit, so dass Unsicherheiten im Nachweis abgedeckt werden und bei Überschreitung der spezifizierten Lasten keine Gefahren für Fahrgäste oder Dritte entstehen.
- Nachweis einer ausreichenden Steifigkeit, so dass die Verformungen unter spezifizierten Belastungen und die Eigenfrequenzen der Konstruktionen den durch die Betriebsanforderungen bestimmten Grenzen entsprechen.
- Ertragbarkeit von Betriebs- oder zyklischen Belastungen, so dass während der festgelegten Lebensdauer keine Beeinträchtigung der Strukturfestigkeit auftritt (A-Lasten).

Der rechnerische Nachweis der obigen Anforderungen erfolgt gemäß Kapitel 7.3.1 durch den Lastaufnahmefähigkeitsnachweis bzw. gemäß Kapitel 7.3.3 durch den Ermüdungsfestigkeitsnachweis.

Der Betreiber muss alle Daten, die die erwarteten Betriebsbedingungen bestimmen, bereitstellen („projektspezifische Festlegung“). In Zusammenarbeit mit dem Betreiber ist es die Aufgabe des Herstellers, alle maßgeblichen Lastfälle in einer aussagefähigen Weise aus diesen Daten abzuleiten und sicherzustellen, dass die Konstruktion ihnen entspricht.

Bei der Weiterentwicklung von Konstruktionen bestehender Fahrzeuge, für die die Sicherheit bereits nachgewiesen wurde, können bei Vorliegen gleicher Betriebsbedingungen frühere Daten für einen vergleichenden Nachweis verwendet werden. Änderungen an Baugruppen müssen generell angezeigt werden. Sind bemessungsrelevante Änderungen vorgesehen, müssen die Bauteile nach Abstimmung mit der Genehmigungsbehörde ggf. erneut berechnet und/oder versuchs-technisch geprüft werden. Der Fahrzeughersteller bzw. dessen Unterlieferanten müssen bei Verwendung von Konstruktionswerkstoffen sicherstellen, dass sie geeignete Daten zur Erfüllung der Werkstoffanforderungen besitzen. Diese Daten (Normen usw.) müssen dem aktuellen Stand der Technik entsprechen.

7.2 Einflussparameter auf MSB-Fahrzeuge

7.2.1 Lastannahmen

Alle Lastannahmen, die als Grundlage für den Fahrzeugentwurf eingesetzt werden, müssen alle notwendigen Toleranzen für Unsicherheiten in ihren Werten enthalten. Die in Kapitel 8 festgelegten Lastannahmen schließen diese Toleranzen ein.

7.2.2 Werkstoffe

7.2.2.1 Allgemeines

Zur Auslegung der Fahrzeugstruktur müssen die Mindestwerte der Werkstoffeigenschaften entsprechend den Spezifikationen für die eingesetzten Werkstoffe verwendet werden. Falls die Werkstoffeigenschaften zum Beispiel durch

- Beanspruchungsgeschwindigkeit,
- Zeit (z.B. Alterung),
- Umgebung (Feuchtigkeitsaufnahme, Temperatur usw.),
- Schweißen oder andere Herstellungsprozesse

beeinflusst werden, müssen geeignete Mindestwerkstoffkennwerte verwendet werden.

7.2.2.2 Zugelassene Werkstoffkennwerte

7.2.2.2.1 Statische Festigkeit

Die zugrunde liegenden statischen Werkstoffkennwerte müssen, sofern verfügbar, den minimalen Streck- bzw. Dehngrenzen und der Zugfestigkeit der Werkstoffangaben entsprechen. Die verwendeten Werte sollten den entsprechenden europäischen oder nationalen Normen entnommen werden. Sind solche Normen nicht vorhanden, müssen projektspezifisch die am besten geeigneten alternativen Datenquellen verwendet werden.

7.2.2.2.2 Ermüdungsfestigkeit

Das Festigkeitsverhalten der Werkstoffe unter schwingender Belastung muss den aktuellen europäischen oder nationalen Normen entnommen werden. Sind solche Normen nicht vorhanden, müssen die am besten geeigneten alternativen Datenquellen verwendet werden. Dazu können projektspezifisch auch alternative Datenquellen entsprechenden Rangs herangezogen werden. Der Hersteller muss abgesicherte Werkstoffdaten bestimmen. Solche Werkstoffdaten können im Hinblick auf die Anwendung durch geeignete Versuche ermittelt werden.

Geeignete Werkstoffdaten müssen im Allgemeinen den folgenden Anforderungen genügen:

- Verwendung der Ermüdungsfestigkeitsdaten anerkannter Normen wie /Eurocode 3/ für Stahlwerkstoffe und /Eurocode 9/ für Aluminiumwerkstoffe.
- Eine zu bevorzugende Überlebenswahrscheinlichkeit von 97,5%, mindestens 95%.
- Für nicht in anerkannten Normen enthaltenen Werkstoffe, für die die Werte aus anderen belastbaren Quellen bzw. aus Versuchen ermittelt werden:
 - Eine Mindestanzahl von $2 \cdot 10^6$ Zyklen mit konstanter Amplitude für Stahlwerkstoffe, entsprechend der Dauerschwingfestigkeit,
 - Eine Mindestanzahl von $1 \cdot 10^7$ Zyklen mit konstanter Amplitude für Aluminiumwerkstoffe, entsprechend der Dauerschwingfestigkeit.
- Klassifizierung der Bauformen (einschließlich der Spannungskonzentrationen) in Bezug auf Kerbfälle.
- An kleinen stabförmigen Prüfbjekten gewonnene Daten der Beanspruchbarkeit sind hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf reale Bauteile zu prüfen.
- Die Wöhlerkurve, die zur Darstellung des Werkstoffermüdungsverhaltens verwendet wird, muss die unter Kapitel 7.2.2.1 genannten Einflüsse und die untere Grenze des vorangehend definierten Streubereichs darstellen.

Die Herstellungs- und Qualitätssicherungsverfahren müssen Produktqualitäten hervorbringen, die den Konstruktionsdaten entsprechen.

7.2.3 Unsicherheiten

Die folgenden Einflüsse bringen Unsicherheiten in die Konstruktion und müssen berücksichtigt werden:

a) Maßtoleranzen

Im Allgemeinen ist es annehmbar, dass die Berechnungen auf der Grundlage der Komponenten-nennmaße basieren. Mindestmaße müssen nur berücksichtigt werden, wenn erhebliche Verringerungen der Dicke (aufgrund von Verschleiß usw.) typisch für den Betrieb des Bauteils sind. Ein angemessener Schutz gegen Korrosion ist integraler Bestandteil der Fahrzeugspezifikation. Der hierdurch bedingte Materialverlust kann üblicherweise vernachlässigt werden.

b) Herstellungsverfahren

Die Kennwerte, die der Werkstoff in einem realen Bauteil aufweist, dürfen von den aus Prüfmustern abgeleiteten abweichen. Solche Abweichungen sind auf Schwankungen im Herstellungsverfahren und auf die Güte der Bearbeitung, die in keinem praktikablen Qualitätskontrollverfahren festgestellt werden können, zurückzuführen.

c) Berechnungsgenauigkeit

Jedes Berechnungsverfahren umfasst Näherungswerte und Vereinfachungen. Es obliegt dem Hersteller, das Berechnungsverfahren bewusst konservativ auf die Konstruktion anzuwenden. Die in a) und b) beschriebenen Unsicherheiten müssen durch einen Faktor im Berechnungsverfahren berücksichtigt werden. Dieser mit S bezeichnete „Sicherheitsfaktor“ muss verwendet werden, wenn die berechnete Spannung mit dem Werkstoffgrenzwert verglichen wird.

7.3 Nachweis der statischen Festigkeit und strukturellen Stabilität

Die folgenden Ausführungen stellen die Mindestanforderungen für metallische Werkstoffe dar und müssen berücksichtigt werden. Für nichtmetallische Werkstoffe sind die Sicherheitsfaktoren zwischen Betreiber, Hersteller und Aufsichtsbehörde abzustimmen.

7.3.1 Nachweis der Lastaufnahmefähigkeit

Durch Berechnung und Prüfung (siehe Kapitel 7.3.4) ist nachzuweisen, dass unter den vorgeschriebenen Lastfällen nach Kapitel 8 und den Lastfallkombinationen nach Kapitel 9 keine bleibende Verformung oder kein Bruch der gesamten Konstruktion bzw. einzelner Teile auftreten wird. Diese Anforderungen müssen durch die Einhaltung von Kapitel 7.2.2 erreicht werden. Wird die Konstruktion auch durch die Bedingungen in Kapitel 7.2.3 und Kapitel 7.3.1.1.2 eingegrenzt, so müssen auch diese eingehalten werden.

7.3.1.1 Allgemeiner Spannungsnachweis

7.3.1.1.1 Streck- bzw. Dehngrenze

Wenn die Festigkeit der Konstruktion ausschließlich durch Berechnung nachgewiesen wird, muss für metallische Werkstoffe für jeden individuellen Lastfall $S_1 = 1,15$ sein. Projektspezifisch kann S_1 zu 1,0 angenommen werden, wenn:

- die Lastfälle durch Versuche überprüft werden oder
- gezeigt werden kann, dass die in Kapitel 7.2.3 erwähnten Unsicherheiten sehr klein sind, oder
- die Überlagerung der Lastfälle durch Berechnung nachgewiesen wird (siehe Kapitel 9.1) und
- eine ausreichende Betriebserfahrung vorliegt. Dies ist nachvollziehbar zu begründen.

Unter den statischen Lastfällen, wie in Kapitel 8 festgelegt, muss das Verhältnis der zulässigen zur berechneten Spannung größer oder gleich S_1 sein:

$$\frac{R}{\sigma_{be}} \geq S_1$$

Dabei ist:

- R die Werkstoffstreckgrenze (R_{ei}) bzw. 0,2% - Dehngrenze (R_{p02}), in N/mm².
 σ_{be} die errechnete Spannung in N/mm²

Bei der Bestimmung der Spannungshöhen von duktilen Werkstoffen ist es nicht notwendig, Merkmale zu berücksichtigen, die eine lokale Spannungskonzentration erzeugen. Wenn die Berechnung dennoch lokale Spannungskonzentrationen umfasst, so darf die theoretische Spannung die Werkstoffstreck- bzw. 0,2% -Dehngrenze übersteigen. Diese Bereiche lokaler plastischer Verformung in Verbindung mit Spannungskonzentrationen müssen so klein sein, dass sie keine signifikante bleibende Verformung hervorrufen, wenn die Belastung entfernt wird.

7.3.1.1.2 Zugfestigkeit

Es ist notwendig, einen Sicherheitsabstand zwischen der maximalen Beanspruchung und der Beanspruchbarkeit vorzusehen. Dieses wird durch die Einführung eines Sicherheitsfaktors S_2 erreicht, wobei das Verhältnis zwischen Zugfestigkeit und berechneter Spannung größer oder gleich S_2 sein muss. (S_2 beinhaltet den Sicherheitsfaktor S_1)

$$\frac{R_m}{\sigma_{be}} \geq S_2$$

Dabei ist:

R_m die Zugfestigkeit des Werkstoffs in N/mm²,

σ_{be} die errechnete Spannung in N/mm².

In der Regel ist $S_2 = 1,5$, aber der Faktor kann vermindert werden, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Es existieren alternative, ausreichend tragfähige Elemente;
- Teile der Struktur sind derart konstruiert, dass diese in kontrollierter Weise versagt;
- die Berechnungen sind so genau, dass ein großes Vertrauen in die Tragfähigkeit der kritischen Strukturbereiche gegeben ist.

Die in Kapitel 7.3.1.1.1 beschriebene Behandlung von Spannungskonzentrationen findet auch für diesen Fall Anwendung. Für spröde Werkstoffe muss die Wirkung von Spannungskonzentrationen eingehender berücksichtigt werden, falls diese Spannungen nicht durch lokale plastische Verformungen abgebaut werden können.

Ein vermindertes Wert für S_2 muss projektspezifisch festgelegt werden.

7.3.1.2 Stabilitätsversagen

Lokale Instabilität in Form von elastischem Beulen ist unter der Voraussetzung zugelassen, dass alternative, ausreichend tragfähige Elemente vorhanden sind und das Streck- bzw. Dehnungsgrenzkriterium eingehalten wird.

Die Fahrzeugkonstruktion muss eine Sicherheit gegenüber einem globalen Versagen infolge Instabilität besitzen. Diese wird erreicht, indem sichergestellt wird, dass das Verhältnis zwischen kritischer Knick- oder Beulspannung und berechneter Spannung größer oder gleich S_3 ist:

$$\frac{\sigma_{kKB}}{\sigma_{be}} \geq S_3$$

Dabei ist:

σ_{kKB} die kritische Knick- oder Beulspannung in N/mm²,

σ_{be} die errechnete Spannung in N/mm².

In der Regel ist $S_3 = 1,5$. Der Faktor kann vermindert werden, wenn die Struktur so konstruiert ist, dass sie in kontrollierter Weise versagt. Ein vermindertes Wert für S_3 muss projektspezifisch festgelegt werden.

7.3.2 Nachweis der Steifigkeit

Die Steifigkeiten der Fahrzeugbaugruppen müssen die Übertragung der spezifizierten Lasten unter Einhaltung der erforderlichen Begrenzungslinien gewährleisten und unzulässige dynamische Reaktionen verhindern.

Die erforderliche Steifigkeit darf als maximale Verformung unter einer vorgeschriebenen Belastung oder als Mindesteigenfrequenz festgelegt werden. Die Anforderungen gelten für den kompletten Wagenkasten bzw. das Magnetfahrwerk, sowie für einzelne Komponenten oder Baugruppen.

Die erforderliche Wagenkastensteifigkeit wird durch die Mindesteigenfrequenz (Biegeeigenfrequenz) festgelegt.

Die erste Biegeeigenfrequenz für den voll ausgerüsteten, als frei schwebend angenommenen Wagenkasten muss bei betrieblicher Höchstgeschwindigkeit 500 km/h mindestens 7 Hz betragen (Erfahrungswert).

Dieser Wert resultiert aus dem Quotient der Fahrzeug-Höchstgeschwindigkeit 500 km/h und der Fahrweg - Trägerlänge 25 m zuzüglich Reserve.

Bei betrieblicher Höchstgeschwindigkeit kleiner als 500 km/h kann die Eigenfrequenz im linearen Verhältnis der betrieblichen Höchstgeschwindigkeit zu 500 km/h reduziert werden.

Bei betrieblicher Höchstgeschwindigkeit 400 km/h ist eine Biegeeigenfrequenz von 5,6 Hz ausreichend.

Die Anforderung gilt auch bei Verwendung von Fahrweg - Trägern mit einer Trägerlänge > 25 m.

Der Nachweis der Eigenfrequenz ist theoretisch zu führen.

Jede darüber hinausgehende Anforderung muss projektspezifisch festgelegt werden.

7.3.3 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

Durch Berechnung und Prüfung (siehe Kapitel 7.3.4) ist die geforderte Lebensdauer bzw. Dauerfestigkeit der Konstruktion unter den vorgeschriebenen Lastfällen nach Kapitel 8 und den Lastfallkombinationen nach Kapitel 9 nachzuweisen. Die Nachweise müssen die Anforderungen aus Kapitel 7.2.2 und Kapitel 7.2.3 erfüllen.

7.3.3.1 Allgemeines

Es muss berücksichtigt werden, dass der Wagenkasten des MSB-Fahrzeugs sowie das Magnetfahrwerk während ihrer Betriebslebensdauer einer sehr großen Anzahl von dynamischen Belastungen mit wechselnder Größe ausgesetzt wird.

Die Wirkung dieser Belastung wird am offensichtlichsten in kritischen Bereichen der Konstruktion. Beispiele für solche Bereiche sind:

- *Krafteinleitungsstellen (einschließlich Halterungen für Ausrüstungsgegenstände),*
- *Bauteilverbindungen (z.B. Schweißnähte, Schraubenverbindungen),*
- *Geometrieänderungen, die zu Spannungskonzentrationen führen (z.B. Tür- und Fensterecken).*

Diese kritischen Bereiche müssen ermittelt werden. Hierbei sind die Erfahrungen der Hersteller im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus Berechnung und Versuch zu berücksichtigen. Eingehende Untersuchungen der lokalen Bereiche können notwendig werden.

Der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit kann mit zwei verschiedenen Berechnungsverfahren durchgeführt werden:

- Dauerfestigkeitsnachweis (siehe Kapitel 7.3.3.2.1),
- Betriebsfestigkeitsnachweis (siehe Kapitel 7.3.3.2.2).

Es muss berücksichtigt werden, dass die Art und Qualität der verfügbaren Daten die Wahl der in Kapitel 7.3.3.2 beschriebenen Verfahren beeinflussen. Das angewandte Verfahren muss projektspezifisch festgelegt werden.

Sofern die untersuchten dynamischen Lastfälle in der Ermüdungsberechnung bereits Toleranzen für Unsicherheiten beinhalten, und unter der Voraussetzung, dass die minimalen Werkstoffkennwerte wie in Kapitel 7.2.2.2 beschrieben verwendet werden, ist kein weiterer Sicherheitsfaktor in dieser Berechnung notwendig.

Verfahren zum experimentellen Nachweis des Ermüdungsverhaltens oder zur Überprüfung der Rechenergebnisse werden in Kapitel 7.3.4.2 beschrieben.

7.3.3.2 Berechnungsverfahren

7.3.3.2.1 Dauerfestigkeitsnachweis

Dieser Nachweis ist zulässig, wenn die Werkstoffdaten zeigen, dass eine Dauerfestigkeitsgrenze vorhanden ist. Die Dauerfestigkeitsgrenze ist die Spannung, bei der keine Ermüdungsschäden eintreten werden, vorausgesetzt, dass alle dynamischen Belastungszyklen darunter bleiben.

Die erforderliche Ermüdungsfestigkeit ist nachgewiesen, wenn die Spannungen auf Grund aller geeigneten Kombinationen von Dauerbelastungsfällen, die in Kapitel 9.2.1 festgelegt sind, unter der Dauerfestigkeitsgrenze bleiben.

7.3.3.2.2 Betriebsfestigkeitsnachweis

Dieser Nachweis sollte verwendet werden, wenn es unzweckmäßig ist, die Beanspruchungshöhe für alle wesentlichen Belastungskombinationen unter der Dauerfestigkeit zu halten, oder wenn für den Werkstoff keine Dauerfestigkeit festgelegt werden kann.

Jeder in Kapitel 9.2 definierte Lastfall muss in Hinblick auf Amplitude und Zyklenzahl durch repräsentative Verläufe dargestellt werden. Gleichzeitig wirkende Belastungskombinationen müssen gebührend berücksichtigt werden. Die Schädigung auf Grund jedes derartigen Falles wird dann wiederum unter Verwendung eines geeigneten Werkstoff- S-N-Diagrammes (Wöhlerkurve) bewertet. Die Gesamtschädigung wird in Übereinstimmung mit einer bewährten Schadensakkumulationshypothese (wie z.B. Palmgren-Miner) bestimmt.

Belastungsverläufe und -kombinationen dürfen unter der Voraussetzung vereinfacht werden, dass dies in geeigneter Weise zu auf der sicheren Seite liegenden Resultaten führt.

7.3.4 Experimentelle Festigkeitsnachweise

Das Freigabeverfahren für die Festigkeit von Fahrzeugbaugruppen sieht neben den rechnerischen Nachweisen experimentelle Nachweise vor:

- statische Versuche,
- Dauerversuche,
- Streckenversuche.

Im Normalfall müssen Versuche durchgeführt werden, um einen vollständigen Nachweis der Festigkeit und der Stabilität nach den Anforderungen von Kapitel 6 zu führen. Es ist nicht notwendig, Versuche durchzuführen, wenn geprüfte Daten von früheren Versuchen an ähnlichen Strukturen zur Verfügung stehen und eine Übereinstimmung von Versuch und Berechnung gegeben ist. Sind dagegen signifikante Änderungen der Konstruktion oder der Betriebsbedingungen gegeben, müssen Versuche durchgeführt werden.

Das Versuchsprogramm muss projektspezifisch festgelegt werden.

Die spezifischen Ziele der statischen Versuche und Dauerversuche sind:

- Prüfung der Festigkeit der Konstruktion, wenn diese der maximalen Belastung ausgesetzt ist,
- Prüfung, dass keine bleibende Verformung nach Entfernen der maximalen Belastung vorhanden ist,
- Nachweis der Festigkeit der Konstruktion unter den Betriebslastfällen,
- Bestimmung des dynamischen Verhaltens der Konstruktion.

Die Versuche müssen, falls notwendig, siehe oben, folgendes umfassen:

- statische Simulation ausgewählter Lastfälle,
- Messung von Beanspruchungen mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen oder sonstigen geeigneten Verfahren,
- Messung der strukturellen Verformung unter Belastung,
- Messung des Eigenfrequenzverhaltens.

Die geprüften Bauteile bzw. Baugruppen müssen gleicher Art und Herstellung sein wie die danach im Betrieb verwendeten. Die Prüfstandausrüstung muss in einem vernünftigen und praktikablen Maß in der Lage sein, die gleiche Belastung aufzubringen, denen die Bauteile bzw. Baugruppen im späteren Betrieb im eingebauten Zustand ausgesetzt sind.

7.3.4.1 Statische Versuche

Der allgemeine Zweck von statischen Versuchen ist festzustellen, dass Bauteile bzw. Baugruppen bei außergewöhnlichen Lasten nicht dem Risiko übermäßiger Durchbiegungen oder bleibender Verformung ausgesetzt sind.

Versuche können zur Verifikation der rechnerischen Nachweise durchgeführt werden.

Im Allgemeinen werden bei den Versuchen Dehnungsmessungen in den stark beanspruchten Bereichen der Bauteile bzw. Baugruppen mit Hilfe von Widerstandsdehnungsmessstreifen durchgeführt, die bei Punkten, an denen die Beanspruchung nur in eine Richtung wirkt, in eine Richtung, bei allen anderen Punkten jedoch in mindestens zwei Richtungen messen.

Das Versuchsprogramm für statische Versuche muss folgende Angaben enthalten:

- Größe und Lage der anzuwendenden Kräfte,
- Kombination der anzuwendenden Kräfte,
- Bewertungs- und Interpretationsverfahren für die gemessenen Beanspruchungen,
- Beanspruchungsgrenzwerte,
- alle weiteren Freigabekriterien,
- Messstellenplan für Dehnungsmessungen.

Die durchzuführenden Messungen des gesamten Versuchs müssen so aufgezeichnet werden, dass eine Analyse aller Messpunkte bei jedem Lastfall möglich ist, d.h. die Bestimmung der minimalen und maximalen Spannung muss mindestens gewährleistet sein.

Der Maximalwert der Hauptspannung σ_{\max} und der Minimalwert der Hauptspannung σ_{\min} definieren den Mittelwert σ_m und die Amplitude σ_a .

Mittelwerte und Amplituden der Hauptspannung entsprechend nachfolgender Beziehung sind mit der Beanspruchbarkeit (z.B. Dauerfestigkeitsgrenzen) des Werkstoffes zu vergleichen und zu bewerten.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

Dabei ist:

- σ_m Mittelwert der Hauptspannung
- σ_a Amplitude der Hauptspannung
- σ_{\max} Maximalwert der Hauptspannung
- σ_{\min} Minimalwert der Hauptspannung

7.3.4.2 Betriebsfestigkeits- und Dauerfestigkeitsversuche

Dauerversuche bestehen aus einem Hauptversuch und möglicherweise zusätzlichen spezifischen Versuchen.

Ziel des Hauptversuchs ist die Bestätigung, dass die Festigkeit der Baugruppen bzw. -teile hinsichtlich der in ihnen wirkenden Hauptlasten ausreichend ist. Hauptlasten sind Lasten, die Beanspruchungen in der gesamten Konstruktion auslösen.

Weitere Versuche können, falls notwendig, durchgeführt werden, besonders hinsichtlich der Ergebnisse von Berechnungen oder statischen Versuchen. Diese Versuche beziehen sich auf Kräfte, die nur lokal wirken.

Ermüdungsprüfungen müssen an Fahrzeugteilen des primären Kraftflusses, die dynamischen Belastungen ausgesetzt sind, durchgeführt werden, falls die Berechnung Unsicherheiten beinhaltet oder Messergebnisse aus dem Betrieb für diese Detailart nicht vorliegen.

Für Bauteile des Magnetfahrwerks (Schwebegestelle und Sekundärfederung) sind Ermüdungsprüfungen durchzuführen. Für die Zelle des Wagenkastens muss mindestens die Verifikation der Rechenmodelle durch statische Versuche erfolgen.

Die folgenden Prüfarten können verwendet werden:

- Laborermüdungsprüfungen, in denen geeignete Belastungsverläufe für die gesamte Lebensdauer auf die Fahrzeugbaugruppen aufgebracht werden. Es dürfen keine Risse auftreten, welche die Sicherheit oder Verfügbarkeit der Konstruktion nachteilig beeinflussen würden;
- Ermüdungsberechnung auf Basis von Dehnungsmessungen unter Verwendung der Daten aus dem Versuch oder anderer statischer Prüfungen;
- Ermüdungsberechnung auf Basis von Dehnungsmessungen unter Verwendung der Daten repräsentativer Betriebsbedingungen.

Das Versuchsprogramm für Dauerversuche muss folgende Angaben enthalten:

- anzuwendende Kräfte und deren Lage (statische Grundlasten und dynamische Anteile),
- Kombination der verschiedenen Kräfte unter Berücksichtigung der Phasenbeziehungen unterschiedlicher zyklischer Kräfte und ihrer relativen Häufigkeit,
- Anzahl der Zyklen (Lastwechsel),
- Bewertungsverfahren,

- Freigabekriterien,
- Messstellenplan für Dehnungsmessungen.

Im Allgemeinen wird aus Kosten- und Zeitgründen nur eine Baugruppe bzw. ein Bauteil im Dauer- versuch untersucht. Sobald nachgewiesen ist, dass die Probe den anfänglichen Anforderungen entspricht, können die Versuchslasten schrittweise erhöht werden. Damit kann der Sicherheits- spielraum bestimmt werden, der die Streuung der Dauerfestigkeitswerte abdeckt.

Für Werkstoffe, die ähnliche Streuungen der Beanspruchbarkeiten aufweisen wie Schweißnähte an Stahlkonstruktionen, kann das Prüfverfahren und das Entscheidungskriterium in Anlehnung an /DIN EN 13749/, Anhang G angewendet werden.

7.3.4.3 Streckenversuche

Zum Nachweis der betrieblichen Anforderungen an das Fahrzeug sowie der Lastannahmen und Beanspruchungen im Fahrbetrieb sind Streckenversuche durchzuführen.

Sie werden in der Regel im Rahmen der Fahrzeuginbetriebnahme durchgeführt und sind projekt- spezifisch festzulegen.

Das Programm für Streckenversuche muss mindestens folgende Angaben enthalten:

- das zu verwendende Fahrzeug sowie Fahrweg - Trägertypen,
- Beschreibung der auszuführenden Fahrten (Lastfälle, Geschwindigkeiten usw.),
- Belastungsbedingungen des Fahrzeugs,
- Bewertungs- und Interpretationsverfahren für die Beanspruchungen,
- zulässige Belastungsgrenzwerte,
- alle weiteren Freigabekriterien,
- Messstellenplan für z.B. Weg-, Beschleunigungs-, Kraft und Dehnungsmessungen.

8 Lastfälle

Dieser Abschnitt legt die Lastfälle fest, die bei der Auslegung von MSB-Fahrzeugstrukturen (Wagenkästen, Magnetfahrwerk, Verkleidungsteile usw.) heranzuziehen sind. Er enthält die mindestens zu berücksichtigenden Lastfälle für den Nachweis der Lastaufnahmefähigkeit und der Ermüdungsfestigkeit.

Die zu den Lastfällen angegebenen Vorgaben repräsentieren Mindestanforderungen. Falls ein Betreiber höhere Werte zur Erzielung eines sicheren Betriebs für notwendig erachtet, muss er die Anforderung festlegen. Für bestimmte Betriebsbedingungen oder Konstruktionsmerkmale ist ein niedrigerer Wert annehmbar, wenn eine technische Begründung dieses nachweist. Zusätzlich zu den festgelegten Lastfällen und allen weiteren durch den Betreiber bestimmten Anforderungen oder Abweichungen liegt es in der Verantwortung des Herstellers, sicherzustellen, dass die Konstruktion jeder anderen relevanten statischen oder dynamischen Belastung, die beim Betrieb des MSB-Fahrzeugs auftritt, standhalten kann.

Die Lastfälle für mechanische Baugruppen werden entsprechend ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit folgendermaßen zugeordnet:

- Betrieb im ausfallfreien Zustand: ständiges Auftreten,
- außergewöhnliche Lasten (Betrieb mit Ausfällen bzw. unter außergewöhnlichen Einwirkungen): Auftretenshäufigkeit 10 pro Jahr je Bauteil bzw. 100 pro Jahr je Sektion.

Diese Werte stellen den aktuellen Kenntnisstand dar und sind durch Erfassung von Befundungen an mechanischen Baugruppen im Rahmen der Instandhaltung zu verifizieren. Basierend auf diesen Erfassungen sind ggf. die Nachweise anzupassen.

Entsprechend /MSB AG-GESAMTSYS/ werden Lastfälle aus Fehlfunktionen oder Störfällen, deren Auftretenswahrscheinlichkeit kleiner 10^{-6} pro Jahr ist, nicht nachgewiesen.

8.1 A-Lasten (Lastfälle für Ermüdungsfestigkeitsnachweis)

Die Angaben zu den A-Lasten gelten für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit als Dauerfestigkeitsnachweis. Für die Fälle, in denen ein Nachweis der Betriebsfestigkeit sinnvoller oder notwendig ist, sind Belastungskollektive, basierend auf den folgenden Angaben, abzuleiten.

8.1.1 Massenkräfte

8.1.1.1 Fahrzeuggewicht

Es sind die möglichen Beladungszustände (Fahrzeugeigengewicht, Fahrzeuggewicht mit Nutzlast) zu betrachten.

Für Fernverkehrsfahrzeuge mit Zugangsbeschränkung (keine Stehplätze) wird das mittlere Fahrzeuggewicht angesetzt. Lastungleichverteilungen infolge Nutzlastschwankungen (ungleiche Verteilung der Nutzlast in x- und y-Richtung) werden durch die Erhöhung der Tragmagnetkräfte abgedeckt. Als Erfahrungswert wird eine Erhöhung der mittleren Traglast je Tragmagnetanlenkung um 5 % angesetzt.

Für Fahrzeuge als Flughafenabroller mit Zugangsbeschränkung auf Anzahl Sitzplätze und 320 kg/m² Stehplatzfläche gelten folgende typischen Beladungszustände als *Richtwerte*:

Fall 1: 80 % der Fahrten mit vollständig belegten Sitzplätzen und einer Stehplatzdichte von einer Person/m² (Normalauslastung)

Fall 2: 15 % der Fahrten mit vollständig belegten Sitzplätzen und einer Stehplatzdichte von zwei Person/m² (Vollauslastung)

Fall 3: 5 % der Fahrten mit vollständig belegten Sitzplätzen und einer maximalen Stehplatzdichte von 320 kg/m² (Maximalauslastung).

Der Dauerfestigkeitsnachweis ist mit dem Beladungszustand Vollauslastung gemäß Fall 2 zu führen. Schneeansammlungen sind projektspezifisch nach Kapitel 8.1.1.3 zu berücksichtigen.

Bei Betrieb ohne Zugangsbeschränkung sind die Fahrgastzahlen betriebsbegleitend zu erfassen (z. B. statistische Auswertung) und ggf. geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

Wird mit dem Betreiber keine anders lautende Vereinbarung getroffen, werden für den Regionalverkehr die Angaben für Flughafenabroller verwendet.

8.1.1.2 Wannen- bzw. Kuppenfahrt

Die Massenkräfte beim Durchfahren der Trassierungselemente Wanne/Kuppe sind durch Ansatz der Vorgabe für die maximale freie Vertikalbeschleunigung zu berücksichtigen.

Vorgabe:

$$a_{z\max} (\text{Kuppe}) = -0,6 \text{ m/s}^2$$

$$a_{z\max} (\text{Wanne}) = 1,2 \text{ m/s}^2$$

8.1.1.3 Betriebliche Schneeansammlungen

Lasten aus Schneeansammlungen sind für den Wagenkasten und die Sekundärfederung nicht relevant.

Für die Nachweisführung müssen betrieblich erwartete Schneeansammlungen in Hohlräumen des Magnetfahrwerks berücksichtigt werden. Durch Schnee- und Eisbelag an der Verkleidung des Magnetfahrwerks - innen und außen - kann es zu einer Erhöhung der Massen im Magnetfahrwerk kommen. Zusätzliche Zwangskräfte durch Einschränkung der MSB-Fahrzeugkinematik oder eine Veränderung der MSB-Fahrzeugaerodynamik treten wegen der Verkleidung des Magnetfahrwerks nicht auf. Gegebenenfalls sind bis zum Vorliegen projektspezifischer Betriebserfahrungen ergänzende Maßnahmen mit dem Betreiber abzustimmen.

Die betrieblich anzusetzenden Schneemengen für den Lastfall Schneeansammlung im MSB-Fahrzeug richten sich nach der Klimazone der Anwendung und sind projektspezifisch festzulegen.

Wird keine abweichende Vereinbarung getroffen, erfolgt die Massenberechnung mit dem Zustand Nassschnee gem. Tabelle 3.

8.1.1.4 Beschleunigen / Bremsen mit Wechselschrittverfahren des Antriebs

Die Schubkräfte werden als quasistatische Kräfte zwischen Langstator und Tragsmagnet durch Wechselwirkung von Tragsmagnetfeld und synchronem Langstatorstrom übertragen.

Die beim Beschleunigen/ Bremsen mit dem Langstatorantrieb entstehenden Massenkräfte sind zu berücksichtigen.

Für den Motorabschnittwechsel stehen unterschiedliche, projektspezifische Verfahren zur Verfügung: Wechselschritt- (WSV), Dreischritt- (DSV), Bocksprung- und Zeitversatzverfahren.

Die folgenden Punkte müssen berücksichtigt werden:

- Während des Motorabschnittwechsels wirkt auf das MSB-Fahrzeug eine auf beiden MSB-Fahrzeug-Längsseiten unterschiedliche, orts- und zeitabhängige Schubkraftänderung ein. Um den Schubkräfteinbruch zu minimieren, kann die Antriebskraft der aktiven Motorseite erhöht werden. Die gegenüberliegende Seite ist zu diesem Zeitpunkt ohne Schubkraft.
- Für die Ableitung der Massenkräfte wird ausschließlich das Wechselschrittverfahren zum Zeitpunkt des Abschnittwechsels berücksichtigt, da die Beanspruchungen durch die unsymmetrische Lasteinleitung beim Wechselschrittverfahren am größten sind und dieses alle anderen Verfahren mit abdeckt.
- Projektspezifisch kann nach Vereinbarung mit dem Betreiber auch das Dreischrittverfahren (DSV) berücksichtigt werden, da in diesem Falle durch die symmetrische Krafteinleitung die Lasten niedriger sind.
- Die anzusetzende x-Kraft beim WSV entspricht der halben Schubkraft auf eine MSB-Fahrzeugsektion und wird auf einer Fahrzeugseite aufgebracht. Für den Betrieb im ausfallfreien Zustand wird die mittlere Antriebsbeschleunigung $a_{x\text{mitt}}$ angesetzt.

Vorgabe (Erfahrungswert TVE):

Beschleunigung:

$$a_{x\text{mitt}} = \pm 0,8 \text{ m/s}^2$$

Schubkraft der aktiven Motorseite:

73 % der Antriebskraft je Sektion

8.1.1.5 Beharrungsfahrt mit Wechselschrittverfahren des Antriebs

Es ist zu berücksichtigen, dass Kräfte aus Beharrungsfahrt abgedeckt werden, siehe Kapitel 8.1.1.4. Wird anstelle eines Dauerfestigkeitsnachweises ein Betriebsfestigkeitsnachweis geführt, ist die Fahrzeugschubkraft abhängig von den aerodynamischen Lasten und der Trassierung für $a_x = 0 \text{ m/s}^2$ zu ermitteln.

8.1.1.6 Freie Seitenbeschleunigung

Die Massenkräfte aus unausgeglichenen Seitenbeschleunigungen können durch Ansatz der maximalen betrieblichen freien Seitenbeschleunigung berücksichtigt werden.

Das heißt, konservativ wird vereinfachend angenommen, dass Kurven $\geq 1000 \text{ m}$ ausschließlich mit maximaler freier betrieblicher Seitenbeschleunigung durchfahren werden.

Maximalwert für Kurvenfahrt:

$$a_{y\text{max}} = \pm 1,5 \text{ m/s}^2.$$

8.1.1.7 Fahrdynamik

Die aus den langwelligen Lagetoleranzen der Funktionsflächen von Langstator und Seitenführschiene resultierenden dynamische Kräfte und Momente (Fahrdynamik) sind mit den statischen Reaktionskräften an den Schnittstellen zu überlagern.

Wechselkräfte, die aus der magnetische Wirkung der Langstatornuten auf die Tragemagnete und aus kurzwelligen Lagetoleranzen bzw. Versätzen von Statorpaketen und Seitenführschienen resultieren, wirken als hochfrequentes Rauschen und können in den Nachweisen vernachlässigt werden. Bei der Bewertung des Eigenschwingungs- und Resonanzverhaltens sind diese Wechselkräfte zu berücksichtigen und als mechanische Schwingungsbeanspruchung in den Umwelträumen des MSB-Fahrzeugs projektspezifisch festzuschreiben.

Wird die Fahrdynamik über Kräfte berücksichtigt, muss kein zusätzlicher Schwingfaktor angewendet werden.

8.1.1.7.1 Wagenkasten

Für die Bemessung der Wagenkästen ist als Vorgabe ein Schwingfaktor von $f = 1,0 \pm 0,12$ (Verifizierter Wert für Wagenkasten mit Luftfederungen) anzusetzen.

8.1.1.7.2 Struktur Trag-/Führsystem

Dynamische Lastanteile aus der Fahrdynamik sind für jedes Schwebegestell als quasistatisch wirkende Lasten ungünstigst auf die vorhandene Grundlast aus Antreiben / Bremsen, Tragen und Führen aufzuaddieren. Eine zusätzliche Korrektur über einen Schwingfaktor muss nicht berücksichtigt werden.

Vorgabe je Anlenkung: (verifizierte Werte für die Struktur des Trag- / Führsystems):

$\Delta F_{xTMA} = \pm 1,0 \text{ kN}$ Antreiben/Bremsen (beinhaltet WSV)

$\Delta F_{yFMA} = \pm 9,0 \text{ kN}$ Führen

$\Delta F_{zTMA} = \pm 4,0 \text{ kN}$ Tragen

8.1.1.7.3 Verkleidungen

Für die **Gestellaussen- und Gestellinnenverkleidungen** sind als Vorgaben folgende Beschleunigungswerte für den Umweltraum Schweberrahmen anzusetzen (Maximalwerte aus TVE-Erfahrungen):

$a_x = \pm 2,0 \text{ m/s}^2$

$a_y = \pm 15 \text{ m/s}^2$

$a_z = \pm 15 \text{ m/s}^2$

Vorgabe für die **gestellfeste Bugverkleidung**:

$a_x = \pm 8,0 \text{ m/s}^2$

$a_y = \pm 15,0 \text{ m/s}^2$

$a_z = +15,0 \text{ m/s}^2 / -10,0 \text{ m/s}^2$

Vorgabe für die Wagenkastenüberbrückungsblende:

$$a_x = \pm 3,5 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = \pm 10,0 \text{ m/s}^2$$

$$a_z = \pm 3,2 \text{ m/s}^2$$

Für andere Fahrzeugkonfigurationen bzw. Federungseigenschaften sind entsprechend angepasste Schwingfaktoren oder dynamische Lasten abzuschätzen und bei Inbetriebnahme zu verifizieren.

8.1.1.8 Abgesetztes MSB-Fahrzeug

Anheben/Absetzen bei $v_{FZG} = 0 \text{ km/h}$ an Stationen und Betriebshalteplätzen.

Lasten für das abgesetzte Fahrzeug sind in der Regel nur für das Magnetfahrwerk zu betrachten (Belastungsumkehr an den Tragsmagnetanlenkungen). Für den Wagenkasten können betriebliche Lasten vernachlässigt werden.

8.1.2 Zwangskräfte infolge Trassierung

Es ist zu berücksichtigen, dass bei einem Horizontalradius $R_H < 2000 \text{ m}$ und einer Fahrwegverwindung α' größer $0,1^\circ/\text{m}$ Rückstellkräfte im Magnetfahrwerk entstehen.

Für die Nachweisführung sind, sofern die projektspezifischen Parameter hiervon nicht abweichen, folgende Trassierungsparameter zu verwenden:

Die betrieblich relevanten Zwangskräfte können durch Überlagerung des Kurvenradius $R_H = 1000 \text{ m}$, der betrieblich trassierten Fahrwegneigung $\alpha = 12^\circ$ und der Fahrwegverwindung $\alpha' = 0,1^\circ/\text{m}$ berücksichtigt werden.

8.1.3 Vorspannung infolge Fühmagnetlasten

Liegen keine projektspezifischen Angaben vor, ist eine Vorspannkraft an den Fühmagnetanlenkungen zu berücksichtigen.

Vorgabe:

$$F_{yFM0} = 4,5 \text{ kN (ca. 50\% der Fahrdynamik)}$$

8.1.4 Aerodynamische Lasten

Aerodynamische Lasten sind für die einzelnen MSB-Fahrzeugbereiche (Wagenkastenbug, zylindrischer Bereich Wagenkasten, Bugeinläufe, Fahrzeugunterseite, Gestellverkleidungen) differenziert zu betrachten.

Folgende Punkte sind zu berücksichtigen:

- Bei der vorauslaufenden und nachlaufenden Sektion ergibt sich an der Oberfläche des Bugbereichs eine ortsabhängige, ungleichmäßige Druckverteilung.
- Im zylindrischen Bereich des MSB-Fahrzeugs sind die Drucklasten weitgehend konstant.

Daher kann die Endsektion in zwei Zonen aufgeteilt werden. Die Aufteilung der Zonen kann nachfolgender beispielhafter Abbildung entnommen werden.

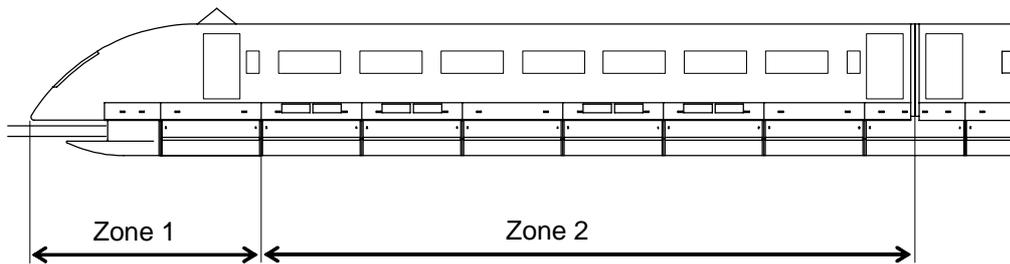


Abbildung 2: Zoneneinteilung der Endsektion in Bezug auf aerodynamische Einwirkungen

Zone 1 umfasst den Bugbereich bis zum Übergang zylindrischer Bereich Wagenkasten. Die Klappe der Gestellaussenverkleidung am Übergang Zone 1 zu Zone 2 wird noch komplett der Zone 1 zugeschlagen. Mittelsektionen werden mit Lasten der Zone 2 berechnet.

Sind die aerodynamischen Lasten nicht projektspezifisch angegeben, können bei vergleichbaren Kopfformen Daten ausgeführter Fahrzeuge verwendet werden.

Wird mit dem Betreiber keine abweichende Vereinbarung getroffen, können die Dauerfestigkeitsnachweise gegen aerodynamische Lasten für die Fahrzeughöchstgeschwindigkeit und für die Tunnelhöchstgeschwindigkeit geführt werden.

8.1.4.1 Aerodynamische Lasten aus Fahrtwind

Die geschwindigkeitsabhängige lokale Druckverteilung im Bugbereich (Zone 1) und die konstante Druckverteilung im zylindrischen Bereich des MSB-Fahrzeugs (Zone 2) sind als quasistatische, auf die MSB-Fahrzeugoberfläche wirkende Lasten zu berücksichtigen.

Lasten aus Fahrtwind auf die Gestellinnenverkleidungen und Wagenkastenunterbodenverkleidungen können ebenfalls als quasistatische Lasten angesetzt werden.

Die Lasten aus Fahrtwind decken die Einwirkungen aus Gegenwind mit ab. Der für A-Lasten zu berücksichtigende Wert der Windgeschwindigkeit $v_w = 10 \text{ m/s}$ ist kleiner 10 % der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit.

8.1.4.2 Aerodynamische Lasten aus Seitenwind

Werden keine abweichenden Festlegungen getroffen, gelten folgende Vorgaben (siehe auch /MSB AG-Umwelt/, Kapitel 5.1.5):

Als statisch anzusetzende Last wird ein permanent wirkender betrieblicher Seitenwind mit $v_w = 10 \text{ m/s}$ angenommen.

Abgeleitet aus bisherigen Erfahrungen beträgt die Einwirkdauer eines 10-Min.-Mittelwertes für Wind $> 10 \text{ m/s}$ in 10 m Höhe Fahrweg 74 h pro Jahr. Das bedeutet, dass in 99 % der jährlichen Betriebszeit ein Wind $\leq 10 \text{ m/s}$ zu erwarten ist.

Als maßgebliche Höhe bei der Ermittlung von Seitenwindkräften ist die Gesamthöhe des Fahrzeugs ohne Antenne anzusetzen.

8.1.4.2.1 Kräfte auf den Wagenkasten

Bei dem Wagenkasten ist die Wagenkastenüberbrückungsblende mit zu berücksichtigen (siehe Darstellung in /MSB AG-FZ GEN/).

Die resultierende Kraft aus dem Seitenwind kann als quasistatische, auf den Wagenkasten wirkende Flächenkraft berücksichtigt werden.

Diese Last wird vom Trag-/Führsystem abgetragen.

Es ist zu berücksichtigen, dass auf die vorlaufende Bugsektion bei Seitenwind wesentlich höhere aerodynamische Lasten wirken als auf die nachlaufende Bugsektion und dass diese somit bestimmend für die Ermittlung der Schnittstellenlasten sind.

8.1.4.2.2 Kräfte auf die Gestellaußenverkleidung

Es ist zu berücksichtigen, dass auf die Gestellaußenverkleidung der Zone 1 die maximalen Lasten wirken. Die resultierenden Kräfte auf die Gestellaußenverkleidung sind daher aus der Druckverteilung in Zone 1 abzuleiten und als quasistatische Last zu berücksichtigen.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Gestellinnenverkleidung und der Wagenkastenunterboden keine relevanten Belastungen durch Seitenwind erfahren.

8.1.4.3 Aerodynamische Lasten aus Zugbegegnung

Die Amplituden der Druckeinwirkung auf den Wagenkasten im Freifeld sind in Abhängigkeit der Geschwindigkeit, des Spurmittenabstands und der Fahrwegquerneigung projektspezifisch abzuleiten.

Für jede Zugbegegnung ist die bei der Fahrzeuggeschwindigkeit und der projizierten Fahrwegquerneigung einwirkende Druckamplitude anzusetzen.

Eine entsprechende Funktion ist in /MSB AG-GESAMTSYS/ enthalten.

Liegen keine abweichend spezifizierten Daten vor, kann mit dieser Funktion ein Nachweis geführt werden. Im Rahmen der Abnahme gemäß /MbBO/ sind diese Daten zu verifizieren.

Für die globalen und lokalen Beanspruchungen der Struktur bzw. einzelner Baugruppen ist beim Nachweis gegen Betriebslasten die maximale Amplitude der Wechseldruckwelle für die Fahrzeughöchstgeschwindigkeit v_{\max} anzuwenden.

Die Wechseldruckwelle kann als Treppenfunktion konservativ idealisiert werden. Es kann angenommen werden, dass die Lasten als quasistatische Wechselgrößen auf eine Fahrzeugseite wirken, wobei für eine Zugbegegnung zwei Wechseldruckwellen zu berücksichtigen sind (Einwirkung von Bug und Heck).

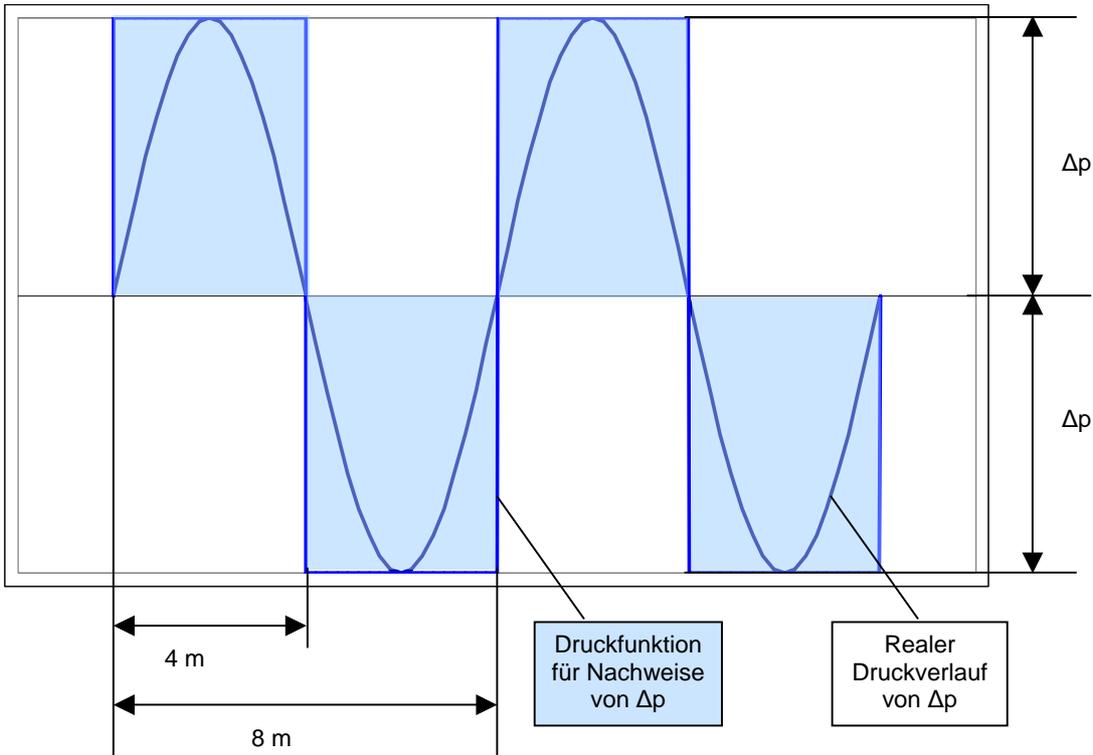


Abbildung 3: Wecheldruckwelle Bug-/Heckeinwirkung

Die folgenden Punkte sind zu berücksichtigen:

- Die Länge der nach Abbildung 3 angesetzten Druck/Soglast beträgt jeweils 4 m, die beider Druck/Sogamplituden 8 m.
- Die Wecheldruckwellen laufen entlang des gesamten Zuges.

Für die Nachweise sind die ungünstigsten Positionen in Fahrzeuglängsrichtung zu betrachten.

Zur Berücksichtigung der Strukturdynamik ist ein Schwingfaktor von 1,15 zu berücksichtigen. Die Annahmen sind im Rahmen der Inbetriebnahme zu verifizieren.

Bei der Bemessung des Führsystems sind zusätzliche Lasten infolge Zugbegegnung nicht zu berücksichtigen.

Für die A-Lasten ist die Fahrzeughöchstgeschwindigkeit v_{max} anzusetzen.

Beispiel für die Ableitung der Wecheldruckamplitude gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/:

	Zylindrischer Teil WK	Bug / Heck WK
Zugbegegnung ($v_{max} = 400 \text{ km/h}$)	$\Delta p = \pm 1900 \cdot 1,15$	$\Delta p = p(x, y, z) \pm 1900 \cdot 1,15$
Δp Druckänderung in [Pa] $p(x, y, z)$ Druck am Bug infolge c_p -Verteilung Abstand der Seitenwände sich begegnender Fahrzeuge 1,1 m Fahrwegquerneigung $\alpha = 12^\circ$		

Tabelle 2: Beispiel für Druckamplituden bei Zugbegegnung

Die Gestellverkleidungen können - soweit projektspezifisch keine anderen Vereinbarungen getroffen werden - wie der zylindrische Teil Wagenkasten behandelt werden.

8.1.4.4 Aerodynamische Lasten bei Tunnelfahrt und Fahrt in Trögen

Druckbeanspruchungen aus Tunnelfahrt mit / ohne Zugbegegnung in Einzel- und Doppelröhren sind projektspezifisch zu berücksichtigen.

Zugbegegnungen sind nur bei entsprechender Trassierung oder entsprechenden Betriebskonzepten zu berücksichtigen.

Für die A-Lasten ist die planmäßige Fahrzeuggeschwindigkeit $v_{\max(\text{Tunnel})}$ im Tunnel anzusetzen.

Infolge des Druckunterschiedes zwischen Außen- und Innendruck kommt es zu wechselnden Belastungen des druckdichten Wagenkastens. Die Amplitude und die Anzahl der relevanten Druckänderungen (Lastwechsel), die von der Fahrzeuggeschwindigkeit, der Tunnellänge, dem Versperrungsmaß und dem Druckdichtigkeitsbeiwert des Wagenkastens abhängen, sind projektspezifisch zu ermitteln bzw. können von vergleichbaren Anwendungen übernommen werden.

Es ist das Folgende zu berücksichtigen:

Bemessend ist der Differenzdruck zwischen „druckdichtem“ Innenraum und Fahrzeugaußenbereich. Dabei wird der stationäre maximale Differenzdruck für die Fahrzeughöchstgeschwindigkeit im Tunnel angesetzt. Die Druck-/Soglasten werden als konstante Größe auf den gesamten Wagenkasten aufgebracht. Die nicht druckdicht ausgeführten Bereiche des Magnetfahrwerks erfahren infolge des Druckausgleichs keine relevanten Beanspruchungen.

Die anzusetzenden Innen- und Außendruckwerte sind projektspezifisch durch geeignete Simulations- und Messverfahren zu ermitteln und anzusetzen.

Die Δp - Werte sind mit einem Dynamikfaktor 1,15 zu multiplizieren.

Die Druckwerte für die Zone 1 sind der Druckverteilung aus stationärer Fahrt außerhalb des Tunnels (Freifeldfahrt) zu überlagern.

Bei Vorliegen projektspezifischer Druckverläufe können diese verwendet werden.

Für die Berücksichtigung von Fahrten in Trögen gelten sinngemäß die Ansätze für Tunnelfahrten.

Die Annahmen zur Tunnelfahrt und Fahrten in Trögen sind projektspezifisch im Rahmen der Abnahme durch geeignete Messungen zu verifizieren.

8.1.4.5 Aerodynamische Lasten aus Auftrieb

Der aerodynamische Auftrieb des Wagenkastens ist der Schwerkraft entgegengerichtet und kann bei der Dimensionierung des Wagenkastens unberücksichtigt bleiben. Für das Magnetfahrwerk werden die Lasten über die Fahrdynamik, siehe Kapitel 8.1.4, erfasst.

8.1.5 Lasten infolge Temperaturänderungen

Beanspruchungen von Strukturen (z.B. Wagenkasten) infolge Temperaturänderungen sind zu berücksichtigen.

Einflüsse einer möglichen temperaturbedingten Längendehnung langer Fahrzeuge (*mehr als 8 Sektionen*) auf die Schubkraft des Antriebs sind projektspezifisch mit dem Teilsystem Antrieb abzustimmen.

8.2 S-Lasten im ausfallfreien Systemzustand für den Lastaufnahmefähigkeitsnachweis

Grundsätzlich gelten die Ausführungen nach Kapitel 8.1. Abweichungen, die vor allem die Berücksichtigung maximaler Betriebslasten betreffen, sind nachfolgend beschrieben.

8.2.1 Massenkräfte

8.2.1.1 Fahrzeuggewicht

Es ist das Gewicht bei 100 % Nutzlast (zulässiges Fahrzeuggewicht, siehe Kapitel 5.4.3) zu betrachten.

8.2.1.2 Wannens- bzw. Kuppenfahrt

Die Massenkräfte beim Durchfahren der Trassierungselemente Wanne/Kuppe sind mit den Beschleunigungen gemäß Kapitel 8.1.1.2 zu berücksichtigen.

8.2.1.3 Maximale Schneeanstimmungen

Für die Nachweisführung müssen die maximal zu erwartenden Schneeanstimmungen in Hohlräumen des Magnetfahrwerks berücksichtigt werden.

Durch geeignete Maßnahmen ist auszuschließen, dass unzulässige Zwangskräfte durch Einschränkung der Kinematik des Fahrzeugs infolge Schneeeablagen im Inneren des Magnetfahrwerks auftreten. Gegebenenfalls sind bei extremen Winterbedingungen betriebliche Maßnahmen vorzusehen und bis zum Vorliegen projektspezifischer Betriebserfahrungen die anzusetzenden Schneelasten und die ergänzenden Maßnahmen festzulegen.

Die maximal anzusetzenden Schneemengen für den Lastfall Schneeanstimmung im Fahrzeug richten sich nach der Klimazone der Anwendung und sind projektspezifisch festzulegen.

Für den Lastaufnahmefähigkeitsnachweis werden die Schneeanstimmungen durch das maximal mögliche Füllvolumen des Magnetfahrwerks bestimmt. Der Hersteller hat für das mögliche Füllvolumen und die Schneedichte realistische Annahmen zu treffen. Gegebenenfalls sind - bis zum Vorliegen projektspezifischer Betriebserfahrungen - ergänzende Maßnahmen festzulegen.

Für die Berechnung des Schneegewichtes sind die in Tabelle 3 angegebenen Schneedichten anzusetzen. Wird keine abweichende Vereinbarung getroffen, muss die Massenberechnung mit dem Zustand Nassschnee durchgeführt werden.

Schneezustand	Dichte Schnee [kg/m ³]
Neuschnee	100
Altschnee	300
Nassschnee	500

Tabelle 3: Schneedichten für unterschiedliche Aggregatzustände

8.2.1.4 Beschleunigen / Bremsen mit Wechselschrittverfahren des Antriebs

Wie unter Kapitel 8.1.1.4 ausgeführt, ist das Wechselschrittverfahren im Moment des Motorabschnittwechsels zum Nachweis der Beschleunigungs-/Bremslasten zu berücksichtigen.

Für den Betrieb im ausfallfreien Zustand mit S-Lasten ist die maximale Antriebsbeschleunigung gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/ $a_{x\max}$ anzusetzen.

Maximalwert: $a_{x\max} = \pm 1,5 \text{ m/s}^2$

Vorgabe:

Schubkraft der aktiven Motorseite: 73 % der Antriebskraft je Sektion

Dynamische Überhöhungen können unberücksichtigt bleiben, da mit der maximalen Schubkraft gerechnet wird.

8.2.1.5 Beharrungsfahrt mit Wechselschrittverfahren des Antriebs

Es ist zu berücksichtigen, dass die Massenkräfte den A-Lasten aus Kapitel 8.1.1.5 entsprechen und für den Nachweis der Lastaufnahmefähigkeit durch die Lasten aus Kapitel 8.2.1.4 abgedeckt sind.

8.2.1.6 Freie Seitenbeschleunigung

Zur Erfassung der maximalen betrieblichen Massenkräfte aus nicht ausgeglichenen Seitenbeschleunigungen ist die maximal spezifizierte freie Seitenbeschleunigung anzusetzen.

Maximalwert für Weichenfahrt:

$a_{y\max} = \pm 2,0 \text{ m/s}^2$

8.2.1.7 Fahrdynamik

8.2.1.7.1 Wagenkasten

Für die Bemessung gegen S-Lasten werden die gleichen Schwingfaktoren wie bei den A-Lasten nach Kapitel 8.1.1.7.1 angesetzt.

8.2.1.7.2 Magnetfahrwerk

Dynamische Lastanteile aus der Fahrdynamik sind für das Magnetfahrwerk als quasistatisch wirkende Lasten auf die vorhandene Grundlast aus Antreiben/Bremsen, Tragen und Führen aufzuaddieren. Eine zusätzliche Korrektur über einen Schwingfaktor ist nicht notwendig.

Vorgabe (verifizierte Werte für Magnetfahrwerk TR08):

$\Delta F_{xTMA} = \pm 1,2$ kN Antreiben/Bremsen (beinhaltet WSB)

$\Delta F_{yFMA} = \pm 9$ kN Führen

$\Delta F_{zTMA} = \pm 5$ kN Tragen

8.2.1.7.3 Verkleidungen

Für die Bemessung der **Gestellaußen- und Gestellinnenverkleidungen** werden die gleichen Werte wie bei den A-Lasten nach Kapitel 8.1.1.7.3 angesetzt.

Vorgabe für die **gestellfeste Bugverkleidung**:

$a_x = \pm 16,0$ m/s²

$a_y = \pm 25,0$ m/s²

$a_z = +21,0$ m/s² / $-10,0$ m/s²

Für die Bemessung der Wagenkastenüberbrückungsblende werden die gleichen Werte wie bei den A-Lasten nach Kapitel 8.1.1.7.3 angesetzt.

Für andere Fahrzeugkonfigurationen bzw. Federungseigenschaften sind analog zu Kapitel 8.1.1.7 entsprechend angepasste Schwingfaktoren oder dynamische Lasten abzuschätzen und bei Inbetriebnahme zu verifizieren.

8.2.1.8 Abgesetztes MSB-Fahrzeug

Für die Bemessung der Fahrzeugbaugruppen gegen S-Lasten werden die gleichen Werte wie bei den A-Lasten nach 8.1.1.8 angesetzt. Der Nachweis der Massenkräfte ist durch Kapitel 8.2.1.1 abgedeckt.

8.2.2 Zwangskräfte infolge Trassierung

Für die Ermittlung der maximalen betrieblichen Zwangskräfte sind die beiden Fälle „minimaler Horizontalradius ohne Fahrwegquerneigung“ sowie „max. Fahrwegverwindung“ zu berücksichtigen.

Werden zwischen Betreiber und Hersteller keine abweichenden Festlegungen getroffen, sind für die Nachweisführung folgende Trassierungsparameter zu verwenden:

Fall 1: Minimaler Horizontalradius Radius $R_H = 350 \text{ m}$, $\alpha = 0^\circ$ ($v_{Fzg} = 100 \text{ km/h}$)

Fall 2: Maximale Fahrwegverwindung Radius $R_H = R_V = \infty$, $\alpha' = 0,15^\circ/\text{m}$

8.2.3 Vorspannung infolge Führomagnetlasten

Für die Bemessung der Fahrzeugbaugruppen gegen S-Lasten sind die gleichen Werte wie bei den A-Lasten nach Kapitel 8.1.3 zu verwenden.

8.2.4 Aerodynamische Lasten

Die Ausführungen nach Kapitel 8.1.4 sind sinngemäß mit folgenden Vorgaben für die Fahrzeuggeschwindigkeit anzuwenden:

Streckenfahrt ohne Tunnel:

v_{grenz} = Fahrzeuggrenzgeschwindigkeit

Tunnelfahrt:

$v_{\text{grenz}}(\text{Tunnel})$ = spezifizierte Tunnelgrenzgeschwindigkeit des Fahrzeugs

8.2.4.1 Aerodynamische Lasten aus Fahrtwind

Es gelten die Ausführungen nach Kapitel 8.1.4.1. Abweichend von den A-Lasten ist die Fahrzeuggrenzgeschwindigkeit anzusetzen.

8.2.4.2 Aerodynamische Lasten aus Seitenwind

Es gelten die Ausführungen nach Kapitel 8.1.4.2.

Zur Berücksichtigung der maximalen Betriebslasten können folgende Lastfälle angesetzt werden, siehe auch /MSB AG-Umwelt/, Kapitel 5.1.5:

Fall 1: Permanent wirkender maximaler Seitenwind mit $v_W = 37,3 \text{ m/s}$ bei v_{mitt}

Fall 2: Permanent wirkender maximaler Seitenwind mit $v_W = 37,3 \text{ m/s}$ bei v_{max}

Fall 3: Permanent wirkender betrieblicher Seitenwind mit $v_W = 10,0 \text{ m/s}$ bei v_{max}

Die alle 10 Jahre auftretende 5-Sekunden-Böe mit $v_W = 37,3 \text{ m/s}$ in 20 m Höhe wird bei den Einwirkungskombinationen als Maximallast behandelt. Bei höheren Fahrwegabschnitten sind Primärtragwerke vorgesehen, die gegebenenfalls mit zusätzlichem Windschutz ausgeführt werden.

Bei den Fällen 2 und 3 wird als Fahrzeuggeschwindigkeit die Fahrzeughöchstgeschwindigkeit angesetzt.

8.2.4.3 Aerodynamische Lasten aus Zugbegegnung

Es gelten die Ausführungen nach Kapitel 8.1.4.3

Abweichend von den A-Lasten ist zur Festlegung der Druckwechselamplitude die Fahrzeuggrenzgeschwindigkeit anzusetzen.

8.2.4.4 Aerodynamische Lasten aus Tunnelfahrt

Es gelten die Ausführungen nach Kapitel 8.1.4.4.

Der Nachweis ist gegen die maximale statische Druckdifferenz bei Tunnelfahrt zu führen.

Maximalwert: $\Delta p = \pm 5500 \text{ Pa}$.

Für die Auslegung ist der Nachweis gegen einen Druck $\pm 6000 \text{ Pa}$ zu führen (Sicherheitszuschlag 500 Pa).

Die Berücksichtigung von Zugbegegnungen kann zu höheren Druck/Soglasten führen. Diese sind projektspezifisch festzulegen.

8.2.4.5 Aerodynamische Lasten aus Auftrieb

Siehe Kapitel 8.1.4.5.

8.2.5 Lasten infolge Temperaturänderungen

Siehe Kapitel 8.1.5.

8.3 S-Lasten bei Betrieb mit Ausfällen für den Lastaufnahmefähigkeitsnachweis

Aufgrund der geringen Auftretenswahrscheinlichkeit der außergewöhnlichen Lastfälle und der entsprechenden Lastfallkombinationen nach Kapitel 9.1 kann für die Nachweise mit einem Sicherheitsfaktor $S = 1,0$ gerechnet werden.

8.3.1 Zwangsbremung mit sicherer Bremse bei Ausfall eines Bremsregelkreises

Bei Zwangsbremung mit der Sicheren Bremse (Wirbelstrombremse) und abgeschaltetem Langstatorantrieb setzt das Fahrzeug mit der spezifizierten Absetzgeschwindigkeit geregelt ab. Der Lastfallgemäß Kapitel 8.3.1 behandelt den Zustand vor dem Absetzen. Lasten aus dem Zustand „abgesetztes Fahrzeug“ werden durch eigens spezifizierte Sonderlastfälle erfasst.

Für den Lastfall Zwangsbremse mit der Sicheren Bremse (Wirbelstrombremse) mit Ausfall eines Bremskreises sind folgende Einflüsse zu berücksichtigen:

- Magnetische Brems- und Anzugskräfte sowie mechanische Druck- und Reibkräfte an der Schnittstelle zwischen Bremsmagnet und Seitenführschiene.
- Der unterstellte gleichzeitige Ausfall eines Bremsregelkreises bewirkt infolge der ungleichen Bremskraft der einzelnen MSB-Fahrzeugsektionen zusätzlich eine quasistatische Übertragung von Bremskräften zwischen den MSB-Fahrzeugsektionen.
- Ungleiche Bremskräfte der einzelnen MSB-Fahrzeugsektionen entstehen ebenfalls bei lokaler Fahrwegvereisung (unterschiedlichen Reibwerten der an den Seitenführschiene anliegenden Bremsmagnete).

- Die unsymmetrischen Bremsmagnet-Anzugskräfte infolge des Ausfalls eines Bremskreises werden auf beiden Fahrwegseiten durch die benachbarten Führregelkreise abgetragen.

Projektspezifisch sind, soweit zutreffend, die Überlagerung der Antriebs- und Wirbelstrombremse und die Überlagerung der Wirbelstrom- und Kufenbremse (abgesetzte Kufe) zu betrachten, falls deren Auftretenswahrscheinlichkeit $> 10^{-6}$ pro Jahr ist.

Als Gegenstand weiterer Betriebsfälle unter außergewöhnlichen Einwirkungen sind folgende Einflüsse aus der Sicherer Bremse zu berücksichtigen:

- Ausgleiten des Fahrzeugs auf Tragkufen mit Fahrzeuggeschwindigkeit \leq Absetzgeschwindigkeit inklusive Halteruck (siehe Kapitel 8.3.4, 8.3.8),
- ungleiche Bremskräfte der einzelnen MSB-Fahrzeugsektionen infolge lokaler Fahrwegvereinerung (unterschiedliche Reibwerte an den Tragkufen beim Ausgleiten des Fahrzeugs, siehe Kapitel 8.3.7).

Die maximalen auftretenden Verzögerungen und die Kräfte an der Schnittstelle Fahrzeug/Fahrweg (Reibkräfte) sind projektspezifisch festzulegen und zu berücksichtigen.

8.3.2 Ausfall eines Bordnetzes

Mit dem Lastfall wird der Betrieb bei abgeschalteten Trag-/Führregelkreisen, einzeln oder in Kombination miteinander, erfasst. Der Ausfall eines Bordnetzes bewirkt den Ausfall einzelner Trag- und Führregelkreise, die über mehrere Schweberahmen verteilt sind. Die Trag-/Führregelkreise sind dabei nicht benachbart.

Der Lastfall betrachtet das berührungslos schwebende Fahrzeug, da Trag- und Führregelkreise redundant vorhanden sind und die Funktion Tragen/Führen erhalten bleibt. Die Lasten an den Schnittstellen zwischen Tragmagnet und Langstator sowie zwischen Führungsmagnet und Seitenführschiene werden entsprechend der Vorgabe der Magnetregelkreise übertragen.

Doppelausfälle benachbarter Trag- bzw. Führregelkreise führen zu einem mechanischen Lastabtrag über Kontaktkräfte (siehe mechanisches Tragen, Kapitel 8.3.4 bzw. mechanisches Führen, Kapitel 8.3.3.

Infolge des Ausfalls eines Tragregelkreises entstehen erhöhte magnetische quasistatische und dynamische Kräfte an der Schnittstelle Tragmagnet - Langstator, infolge des Ausfalls eines Führregelkreises an der Schnittstelle Führungsmagnet - Seitenführschiene.

Für Tragregelkreise ist der Augenblick des Ausfalls bis einschließlich Teilentlüftung der Luftfedern zu betrachten.

Die maximal auftretenden Verzögerungen sind projektspezifisch festzulegen und zu berücksichtigen.

8.3.3 Lokales mechanisches Führen

Beim lokalen mechanischen Führen werden die Führlasten durch mechanischen Kontakt des Führungsmagneten mit der Fahrweg- Seitenführschiene abgetragen.

Die an der Schnittstelle zwischen Führungsmagnet und Seitenführschiene entstehenden mechanischen Druckkräfte sind zu berücksichtigen.

Beim lokalen mechanischen Führen ist zu unterscheiden in:

- Anlaufen an die Seitenführschiene infolge Ausfalls zweier benachbarter Führregelkreise und Betrieb mit mechanisch geführtem Schweberahmen über eine projektspezifisch mit dem Betreiber festzulegende Strecke.
- Auflaufen auf lokale Eisschichten:
Die maximale Stoßlast ist projektspezifisch festzulegen. Liegen übertragbare Daten vergleichbarer Konstruktionen vor, können diese angesetzt werden. Ansonsten sind die Lasten und Beanspruchungen durch eine numerische Simulation oder/und einen experimentellen Nachweis zu ermitteln.

Die maximalen auftretenden Verzögerungen und die Kräfte an der Schnittstelle Fahrzeug- Fahrweg (Reibkräfte) sind projektspezifisch mit dem Betreiber festzulegen und zu berücksichtigen.

Das Auflaufen auf Eisschichten, deren Dicken die zulässigen Werte überschreiten, ist als Kollision mit einem Hindernis zu behandeln. Die dabei auftretenden Lasten sind nicht für die Dimensionierung zur Lastaufnahmefähigkeit heranzuziehen, es muss aber sichergestellt sein, dass keine Teile abreißen und das MSB-Fahrzeug verlassen können.

Die dynamischen Lasten beim Anlaufen Seitenführschiene sind mit einem Schwingbeiwert von 1,15 zu berücksichtigen. Ansonsten können dynamische Kräfte auf den Führungsmagnet, die beim Gleiten aus den Lagetoleranzen und Versätzen der Seitenführschiene resultieren und als hochfrequentes Rauschen wirken, in den Nachweisen vernachlässigt werden.

Der Nachweis der mechanischen Führungsfunktion über die spezifizierte Strecke und die Größenordnung des Schwingfaktors kann durch Erfahrungswerte mit ausgeführten Fahrzeugen erbracht werden. Kann nicht auf Erfahrungen ausgeführter Fahrzeuge und realisierter Gleitpaarungen zurückgegriffen werden, sind im Rahmen der Inbetriebnahme mit dem Betreiber abgestimmte versuchs-technische Überprüfungen durchzuführen.

8.3.4 Lokales mechanisches Tragen

Beim lokalen mechanischen Tragen werden die Tragkräfte an den Tragkufen durch mechanischen Kontakt mit der Fahrweg-Gleitebene abgetragen.

Die an der Schnittstelle zwischen Tragmagnet- und Gleitleiste entstehenden mechanischen Kräfte sind zu berücksichtigen.

Beim lokalen mechanischen Tragen ist zu unterscheiden:

- Absetzen einer Tragkufe infolge Doppelausfall zweier benachbarter Tragregelkreise mit/ohne Entlüftung der Luftfeder.
Anschließend Betrieb mit mechanisch getragenen Schweberahmen über eine projektspezifische, mit dem Betreiber abgestimmte Strecke unter Berücksichtigung des Mechanischen Tragens mit nicht-, teil- oder vollentlüfteten Luftfedern.
Die Kräfte bei geregelter Absetzen sind als statische Kräfte zu berücksichtigen.
Der Stoßfaktor für das geregelte Absetzen Fahrzeug beträgt 1,0 (Erfahrungswert).
- Auflaufen einer Tragkufe auf eine lokale, spezifizierte Eisschicht:
Die entstehenden Lasten in x- und z-Richtung sind über den Lastfall „ungeregeltes Absetzen“ (siehe 8.3.5) abgedeckt und werden nicht gesondert nachgewiesen.

Die maximalen auftretenden Verzögerungen und die Kräfte an der Schnittstelle Fahrzeug- Fahrweg (Reibkräfte) sind projektspezifisch festzulegen und zu berücksichtigen.

Dynamische Kräfte auf die Tragkufen, die beim Gleiten aus den Lagetoleranzen und Versätzen Gleitleiste resultieren, sind durch einen Schwingfaktor von 1,15 zu berücksichtigen.

Der Nachweis der mechanischen Tragfunktion eines Schweberahmens über die spezifizierte Strecke und der Nachweis des Schwingfaktors kann durch Erfahrungswerte mit ausgeführten Fahrzeugen erbracht werden. Kann nicht auf Erfahrungen ausgeführter Fahrzeuge und realisierter Gleitpaarungen zurückgegriffen werden, sind im Rahmen der Inbetriebnahme mit dem Betreiber abgestimmte versuchstechnische Überprüfungen durchzuführen.

Vorgabe für die maximal zulässige Stoßlast:

$F_z = 100 \text{ kN}$ (entspricht einem Stoßfaktor von ca. 2).

Zulässige Eisbelagdicken sind projektspezifisch mit dem Betreiber festzulegen.

Das Auflaufen auf Eisschichten, deren Dicken die zulässigen Werte überschreiten, ist als Kollision mit einem Hindernis zu behandeln. Liegen übertragbare Daten vergleichbarer Konstruktionen vor, können diese angesetzt werden. Ansonsten sind die Lasten und Beanspruchungen durch eine numerische Simulation und/oder einen experimentellen Nachweis zu ermitteln. Die bei Kollision auftretenden Lasten sind nicht für die Dimensionierung zur Lastaufnahmefähigkeit heranzuziehen.

8.3.5 Einseitig ungeregeltes Absetzen von Tragkufen

Der Lastfall behandelt das einseitig ungeregelte Absetzen des MSB-Fahrzeugs auf die Tragkufen (einer Fahrzeugseite) infolge fehlerhaften Kurzschlusses eines Langstator-Motorabschnitts. Die magnetische Rückwirkung der Kurzschlussströme im Langstator führen zu einer reversibel ausgelösten Abschaltung der Tragregelkreise.

Für die maximale Stoßlast / Tragkufe ist die Angabe in Kapitel 8.3.4 zu verwenden.

Vorgabe für den Reibbeiwert:

$\mu_R = 0,3$.

Für die Simulation des einseitig ungeregelten Absetzens sind die Fahrzeughöchstgeschwindigkeit und der maximale Tragkufenspalt (bei Absetzgeschwindigkeit) anzusetzen.

Der Tragkufenspalt setzt sich aus dem statischen Nominalwert und einer Spaltvarianz – resultierend aus der Regeldynamik und den Bauteiltoleranzen – zusammen.

Für die Verteilung der einzelnen Kufenspalte über das Fahrzeug ist ein Gleichzeitigkeitsfaktor von $\psi = 0,8$ anzusetzen.

8.3.6 Schlupf/Pendeln

Schlupf/Pendeln (nicht synchrone Bewegung des MSB-Fahrzeugs mit dem magnetischen Langstator-Wanderfeld) bedingt erhöhte magnetische quasistatische und dynamische Kräfte an der Schnittstelle Tragmagnet-Langstator.

Schlupf / Pendeln ist als Einwirkung zu berücksichtigen.

Vorgabe für Magnetkräfte:

$F_{zTM} = \pm 2,5 \text{ kN/m}$

$F_{xTM} = \pm 2,0 \text{ kN/m}$

Maximale Frequenz 538 Hz.

Der Nachweis des Lastfalls wird durch den Nachweis zum Wechselschrittverfahren gemäß Kapitel 8.2.1.4 abgedeckt.

8.3.7 Reibwertänderung bei gleitendem, abgesetzten MSB-Fahrzeug

Bei umweltbedingten Reibwertänderungen (Fahrwegvereisungen, nasse Fahrbahn usw.) sind lokale Reibwertunterschiede entsprechend der projektspezifisch festgelegten minimalen bzw. maximalen Reibbeiwerte zu berücksichtigen. Die durch die Ungleichverteilung der Schnittstellenlasten eingeleiteten Beanspruchungen sind zu berücksichtigen.

Die unterschiedlichen Reibwerte an den Tragkufen bzw. an den Bremsmagnetgleitplatten haben ungleiche Bremskräfte der einzelnen MSB-Fahrzeugsektionen zur Folge.

Vorgabe für die Reibbeiwertänderung:

$$\Delta\mu_R = 0,3.$$

8.3.8 Halteruck bei Zwangsbremung mit der Sicheren Bremse

Der Halteruck bei Ausgleiten des Fahrzeugs infolge Übergang Gleit- zu Haftreibung an der Schnittstelle Tragkufe / Gleitleiste ist zu berücksichtigen.

Vorgabe für Gleiten Tragkufe:

$$\mu_R = 0,3.$$

Vorgabe für Übergang Gleit- zu Haftreibung:

$$\mu_{TK-GL \rightarrow Haft} = 0,5.$$

Der Reibwert deckt die kurzzeitigen Kraftspitzen des Halteruckes (ca. 100 - 200 ms) ab.

8.3.9 Nutzlastüberschreitung in außergewöhnlichen Betriebssituationen

Stellvertretend für die Nutzlastüberschreitung im Falle außergewöhnlicher Betriebssituationen ist die Evakuierung einer Sektion im Brandfall zu betrachten.

Die Passagiere der zu evakuierenden Sektion werden in die benachbarte Sektion geleitet, so dass die maximale Nutzlast überschritten wird.

Die nachzuweisende erhöhte Gewichtskraft kann infolge der hohen Personendichte als gleichmäßig verteilt angenommen werden.

Vorgabe für MSB-Fahrzeuge:

Alle Sitzplätze belegt, Stehplatzdichte 500 kg/m².

Die Gewichtsvorgaben sind mit dem Betreiber abzustimmen.

8.3.10 Überschreiten der Streckenhöchstgeschwindigkeit

Der Lastfall berücksichtigt das fehlerhafte Überschreiten der Fahrweghöchstgeschwindigkeit durch einen Fehler der Antriebsregelung/-steuerung.

Zum Nachweis des Lastfalls sind die Werte der Beschleunigungen für Kurven- und Wannenfahrt zu erhöhen.

Vorgabe:

Erhöhung Beschleunigungen um 20 %.

Der Einfluss der aerodynamischen Lasten ist separat (keine Lastfallüberlagerung) zu untersuchen.

8.3.11 Schubkraftüberschreitung infolge Antriebsfehler

Folgende Fehler des Antriebs sind zu berücksichtigen:

- Ausfall der Antriebsfunktion einer Fahrwegseite (einseitiger Antrieb), Lasteinleitung in das Fahrzeug auf der gegenüberliegenden Seite; dieser Fehler wirkt wie der Antrieb über Wechselschrittverfahren im Moment des Motorabschnittwechsels.
- Überschreiten der Schubkraft durch den Langstatorantrieb infolge fehlerhafter Steuerung des Langstatorstroms bei gleichmäßiger Verteilung auf die linke und rechte Fahrzeugseite.

Vorgabe: Schubkraft $F_x = 250 \text{ kN}$ je MSB-Fahrzeug (siehe /MSB AG-GESAMTSYS/, Kapitel 9, Punkt 7).

Das infolge der einseitigen Schubkrafteinleitung entstehende Gierrmoment bewirkt eine erhöhte magnetische Kraft an der Schnittstelle Führungsmagnet – Seitenführschiene.

Wegen der geringen Auftretenswahrscheinlichkeit kann bei diesem Lastfall mit einem Sicherheitsfaktor $S = 1,0$ gerechnet werden.

8.3.12 Einfahren in die Kurzschlusswicklung

Bremsen des MSB-Fahrzeugs durch Einfahren in Bereiche des Langstatorsystems mit Kurzschlusswicklung am Streckenende.

Der Lastfall wird durch die anderen Lastfälle bei Betrieb mit Ausfall bzw. außergewöhnlicher Einwirkung bei Antrieb und Bremsen abgedeckt.

8.3.13 Stand des MSB-Fahrzeugs mit maximaler Querneigung

Zu berücksichtigen ist der Lastfall Anheben / Absetzen / Stehen des MSB-Fahrzeugs nach Worst-Case-Halt in Fahrweg mit maximaler Querneigung.

Der Lastfall „Stand des MSB-Fahrzeugs bei maximaler zu berücksichtigende Windgeschwindigkeit von 37,3 m/s (100-Jahreshöchstwert)“ wird nicht betrachtet. Lasten aus dieser Einwirkung sind für die Dimensionierung der MSB-Fahrzeugstruktur nicht maßgebend, da aus Erfahrung der seitenwindbedingte Staudruck für den 100-Jahre-Höchstwert in 20 m Höhe bei Windlastzone III deutlich unter dem statischen und dynamischen Auslegungsdruck des Wagenkastens liegt. Die je m auf den Fahrweg übertragene Kraft aus dem Staudruck auf das Magnetfahrwerk liegt bei einer betrachteten MSB-Fahrzeughöhe 4,16 m unter der Kraft, die bei stehendem MSB-Fahrzeug bei 16° Fahrwegquerneigung quer zur Längsachse übertragen wird.

Die Haltekräfte in x- und y-Richtung bei längs- und quergeneigtem Fahrweg sind als statische Kräfte zu berücksichtigen.

Maximalwerte: $\alpha = 16^\circ$

8.3.14 Anheben MSB-Fahrzeug bei angefrorenen Tragkufen

Der Lastfall ist nachzuweisen, wenn mit dem Betreiber keine spezifischen Vereinbarungen über zusätzliche Maßnahmen getroffen werden (beheizter Halteplatz usw.).

Die x- und z-Lasten beim Ablösen einer auf der Gleitleiste angefrorenen Tragkufe sind bei den Nachweisen der im Kraftfluss befindlichen Bauteile zu berücksichtigen.

Vorgabe je Tragkufe:

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

Zugkraft in z-Richtung $F_z = 50,0 \text{ kN}$,

Schubkraft in x-Richtung $F_x = 25,0 \text{ kN}$.

8.3.15 Ausfall Bugluftfeder

Im Betrieb im ausfallfreien Zustand wird der Wagenkasten über alle z-Abstützungen des Wagenkastens gelagert.

Die Lasten an der z-Abstützung (Pendel) ergeben sich aus dem Druck der zugehörigen Luftfeder. Nach Entlüftung einer Luftfeder werden von dem zugeordneten Pendel bei Teilentlüftung reduzierte Lasten, bei Vollentlüftung keine Lasten abgetragen. Die Differenzkräfte werden von den anderen Pendeln durch Lastumlagerung anteilig übernommen.

Für die Dimensionierung des Wagenkastens mit Einbaustruktur ist der Fall Vollentlüftung bei der Bugluftfedern (kraftlose Pendel am Bug) als ungünstigster Lastfall nachzuweisen.

8.4 Kollisionsfälle

Die repräsentativen Kollisionsfälle nach /MSB AG-GESAMTSYS/ bzw. /MSB AG-FZ GEN/ sind numerisch nachzuweisen.

Die Kollisionsfälle sind in den entsprechenden Spezifikationen der Baugruppen zu definieren, sie sind nicht bemessungsrelevant im Sinne dieses Dokumentes.

Zur Auslegung der kollisionsrelevanten Baugruppen ist ein gesondertes Nachweisdokument mit folgenden Zielen zu erstellen:

- Einhalten der in /MSB AG-GESAMTSYS/ genannten Beschleunigungswerte im Wagenkasten,
- keine Gefährdung der Spurführung oder der Standsicherheit des Fahrwegs,
- Fortsetzung der Fahrt nach Kollisionsereignis (kein „Verkeilen“ des Fahrzeugs), Beenden der Passagierfahrt und Fahrt in die Instandhaltung zur Inspektion und Reparatur / Tausch der betroffenen Bauteile,
- Deformationen des Wagenkastens müssen soweit begrenzt bleiben, dass Personen im Fahrgastraum nicht eingeklemmt werden,
- fallbezogene Bewertung wegfliegender Bauteile über eine Risikobetrachtung.

8.5 Transport

Berücksichtigt wird der Transport des MSB-Fahrzeugs ohne Magnetmodule, mit statischen Trag-/ Hebelasten und Stoßlastanteil beim Transport und Montage.

Folgende Einwirkungen sind für die zu transportierenden Fahrzeugkonfigurationen nachzuweisen:

- Anheben mit speziellen Hebevorrichtungen.
- Für den Nachweis Anheben ist ein Faktor 1,1 zu berücksichtigen. Die tatsächlich angehobenen Massen sind zu berücksichtigen.

Die Fahrzeugstruktur muss ohne Magnetmodule (Schweberahmen mit Trag- / Führ- / Bremsmagneten) transportiert werden können.

9 Überlagerung der Lastfälle

9.1 Lastaufnahmefähigkeitsnachweis

Die Lastfälle aus S-Lasten sind für die Nachweise entsprechend Tabelle 4 zu überlagern. Nachzuweisen sind nur die ungünstigsten Kombinationen:

Lasten aus Fahrbetrieb (S-Lasten)	Lastfallkombinationen S								
	1	2	3	4	5	6			
Massenkräfte aus:									
• Fahrzeuggewicht aus Kapitel 8.2.1.1	X	X	X	X	X	X			
• Beschleunigen/Bremsen mit Wechselschrittverfahren mit $a_{x\max} = 1,5 \text{ m/s}^2$	X	X	X	X	X				
• Wannen- bzw. Kuppenfahrt mit $a_{z\max} = +1,2 \text{ m/s}^2 / -0,6 \text{ m/s}^2$	X	X	X	X	X				
• Freie Seitenbeschleunigung mit $a_{y\max} = 2,0 \text{ m/s}^2$	X	X	X	X	X				
• Fahrdynamik	X	X		X	X				
• Abgesetztes MSB-Fahrzeug						X			
Zwangskräfte infolge Trassierung									
• Radius $R_H = 350 \text{ m}$, $\alpha = 0^\circ$ ($v_{Fzg} \leq 100 \text{ km/h}$)			X						
• Radius $R_H = R_V = \infty$, $\alpha' = 0,15^\circ/\text{m}$	X	X			X				
Vorspannung infolge Führomagnetlasten	X	X	X	X	X				
Aerodynamische Lasten aus									
• Fahrtwind v_{grenz}	X	X							
• Fahrtwind v_{max}					X				
• Seitenwind $v_W = 10,0 \text{ m/s}$ $v_W = 37,3 \text{ m/s}$	X		X		X				
• Zugbegegnung, Druckbelastung bei v_{grenz}		X							
• Tunnelfahrt, Druckbelastung bei v_{grenz} (Tunnel)				X					
Temperatur	X	X	X	X	X	X			
Schneeansammlung MSB-Fahrzeug (maximal)	X	X	X	X	X	X			

Tabelle 4: Überlagerung der S-Lasten aus Betrieb im ausfallfreien Zustand

Anmerkungen zu Tabelle 4:

Zugbegegnung und Seitenwind werden wegen des Abschattungseffektes nicht überlagert. Der Lastfall Beharrungsfahrt wird in der Überlagerungstabelle nicht berücksichtigt, da die Beanspruchungen aus den Lastfällen Antreiben/Bremsen mit Wechselschrittverfahren größer sind. Bei Fahrgeschwindigkeit $v < 100 \text{ km/h}$ bleiben die Fahrdynamik und die Einwirkungen aus Aerodynamik wegen des vernachlässigbaren Einflusses unberücksichtigt. Falls projektspezifisch relevant, sind Tunnelfahrt und Zugbegegnung zu überlagern.

Folgende Punkte sind zu berücksichtigen:

- Die Lastfallkombinationen aus Betrieb im ausfallfreien Zustand nach Tabelle 4 können in Kombination mit bestimmten Lastfällen bei Ausfall bzw. außergewöhnlicher Einwirkung aus Tabelle 5 auftreten.
- Die Überlagerung erfolgt dabei wegen der geringen Auftretenswahrscheinlichkeit immer mit höchstens einem der Lastfälle bei Ausfall bzw. außergewöhnlicher Einwirkung.

Die Überlagerungen sind projektspezifisch festzulegen.

Lasten bei Ausfall bzw. außergewöhnlicher Einwirkung (S-Lasten)	
<ul style="list-style-type: none"> - Zwangsbremmung mit sicherer Bremse bei unsymmetrischer Bremskräfteinleitung bei Ausfall eines Bremsregelkreises 	
Ausfall eines Bordnetzes	
<ul style="list-style-type: none"> - Lokales mechanisches Führen - Lokales mechanisches Tragen - Einseitig unregelmäßiges Absetzen von Tragkufen - Schlupf/Pendeln - Reibwertänderung bei gleitendem, abgesetzten MSB-Fahrzeug - Halteruck bei Zwangsbremmung - Nutzlastüberschreitung in außergewöhnlichen Betriebssituationen (maximales Fahrzeuggewicht gemäß Kapitel 5.4.4) - Überschreiten der Streckenhöchstgeschwindigkeit - Schubkraftüberschreitung infolge Antriebsfehler - Einfahren in die Kurzschlusswicklung - Ausfall Bugluftfeder 	
<ul style="list-style-type: none"> - Stand des MSB-Fahrzeugs mit Querneigung $\alpha = 16^\circ$ - Anheben MSB-Fahrzeug bei angefrorenen Tragkufen - Transport/Montagezustände: MSB-Fahrzeug ausgerüstet, ohne Magnetmodule 	

Tabelle 5: S-Lasten aus Lastfällen bei Ausfall bzw. außergewöhnlicher Einwirkung

Anmerkungen zu Tabelle 5:

Der Lastfall „Stand des MSB-Fahrzeugs mit Querneigung“ bei maximal trassierter Querneigung $\alpha = 16^\circ$ ist nur für die Tragkufe und ihre Befestigung, für Kräfte in y-Richtung, dimensionierend. Der Lastfall „Anheben MSB-Fahrzeug bei angefrorenen Tragkufen“ ist nur für die Befestigung der Tragkufenbeläge in x- und z-Richtung dimensionierend. Beide Einwirkungskombinationen werden daher gesondert berücksichtigt, ohne Kombination mit anderen Einwirkungen.

Die Kombination des Lastfalls „Reibwertänderung bei gleitendem, abgesetzten MSB-Fahrzeug“ mit Fahrgeschwindigkeit v_{max} tritt nicht auf, da betriebsmäßig das MSB-Fahrzeug nur bei $v_{Fzg} < \text{Absetzgeschwindigkeit}$ abgesetzt wird.

Ebenso tritt die Kombination des Lastfalls „Reibwertänderung bei gleitendem abgesetzten MSB-Fahrzeug“ mit Tunnelfahrt nicht auf, da davon ausgegangen wird, dass der Reibwert der Gleitleiste im Tunnel im Rahmen der üblichen Toleranz konstant bleibt.

9.2 Ermüdungsfestigkeitsnachweis

9.2.1 Dauerfestigkeitsnachweis

Die Lastfälle aus A-Lasten sind für die Nachweise entsprechend Tabelle 6 zu überlagern. Nachzuweisen sind nur die ungünstigsten Kombinationen:

Lasten aus Fahrbetrieb (A-Lasten)	Lastfallkombinationen A					
	1	2	3	4	5	6
Massenkräfte aus:						
• Gesamtgewicht gem. Kapitel 8.1.1.1	X	X	X	X	X	X
• Beschleunigen / Bremsen mit Wechselschrittverfahren, $a_{x\text{mitt}}$	X	X			X	
• Beharrungsfahrt mit Wechselschrittverfahren			X	X		
• Wannen- bzw. Kuppenfahrt mit $a_{z\text{max}} = + 1,2 \text{ m/s}^2 / - 0,6 \text{ m/s}^2$	X	X	X	X	X	
• Freie Seitenbeschleunigung mit $a_{y\text{max}} = 1,5 \text{ m/s}^2$	X	X	X	X	X	
• Fahrdynamik/Schwingfaktor	X	X	X	X	X	
• Abgesetztes MSB-Fahrzeug						X
Zwangskräfte infolge Trassierung						
• Radius $R_H = 1000 \text{ m}$, $\alpha = 12^\circ$, $\alpha' = 0,1^\circ/\text{m}$	X	X	X	X		
Aerodynamische Lasten aus						
• Fahrtwind mit v_{max}	X	X	X	X		
• Seitenwind $v_W = 10,0 \text{ m/s}$	X		X			
• Zugbegegnung, Druckbelastung bei v_{max}		X		X		
• Tunnelfahrt, Druckbelastung bei v_{max} (Tunnel)					X	
Schneeansammlung MSB-Fahrzeug (betrieblich)	X	X	X	X	X	X

Tabelle 6: Überlagerung der A-Lasten aus Betrieb im ausfallfreien Zustand

Anmerkungen zu Tabelle 6:

Zugbegegnung und Seitenwind werden wegen des Abschattungseffektes nicht überlagert. Die Überlagerung A3 und A4 sind durch A1 und A2 abgedeckt. Falls projektspezifisch relevant, sind Tunnelfahrt und Zugbegegnung zu überlagern.

9.2.2 Betriebsfestigkeitsnachweis

Lastkollektive für den Betriebsfestigkeitsnachweis sind - soweit keine übertragbaren Daten früherer Anwendungen zur Verfügung stehen - auf Basis der projektspezifischen Daten mit dem Betreiber bzw. der Zulassungsbehörde abzustimmen.

Der Nachweis ist für die vom Betreiber geforderte Nutzungsdauer zu führen. Dabei sind nicht in allen Fällen die Fahrzeugnutzungsdauer und die Lebensdauer einzelner Baugruppen identisch. Für Baugruppen, deren Lebensdauer geringerer ist als die Fahrzeugnutzungsdauer, sind in Abstimmung mit dem Betreiber Instandhaltungsmaßnahmen (Inspektionsintervalle, Reparatur- und Austauschmaßnahmen, Angaben zur Fehleroffenbarung) abzustimmen. Zur Beurteilung von Bauteilausfällen können bei Bedarf zusätzliche Nachweismethoden wie Ausfalleffektanalysen (FMEA) herangezogen werden.

10 Anlage Beanspruchung von Einbau- und Anbauteilen

Die Prüfkriterien für die Qualifikation der Einbau- und Anbauteile in Bezug auf die Beanspruchbarkeit gegen Einwirkungen „Schwingen/Schocken“ wird mit Bezug auf /DIN EN 61373/ und /MSB AG-UMWELT/ nachfolgend angegeben.

10.1 Definition der Umwelträume

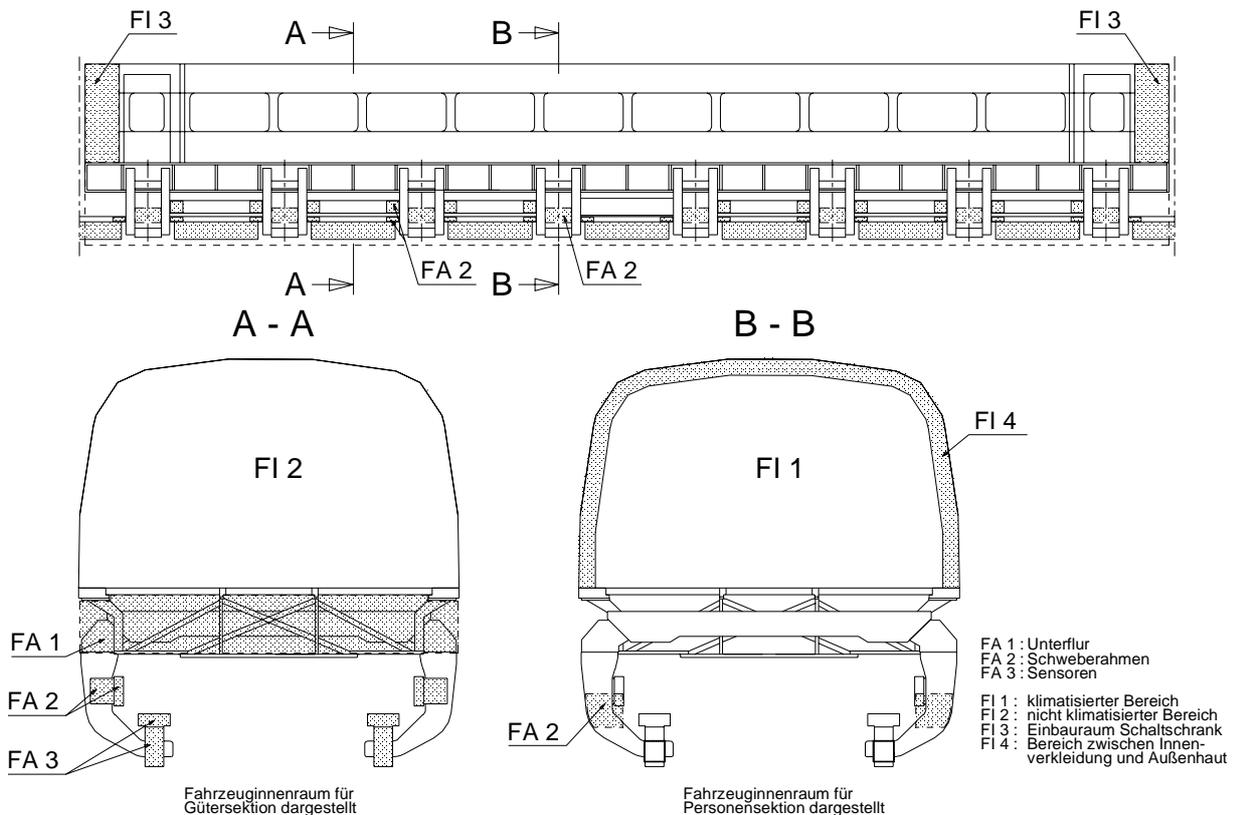
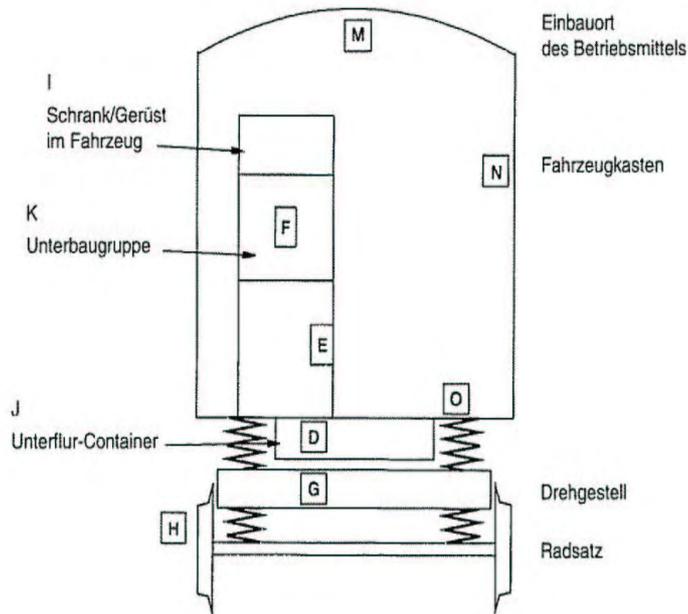


Abbildung 4: Umwelträume aus /MSB AG-UMWELT/



Kategorie	Lage	Beschreibung des Einbauortes des Betriebsmittels
1 Klasse A	M, N, O, I und J	Beschreibt Bauteile/Betriebsmittel, die unmittelbar auf oder im Fahrzeugkasten befestigt sind.
1 Klasse B	D	Beschreibt Bauteile/Betriebsmittel, eingebaut in einem Container, der im Untergestell am Fahrzeugkasten befestigt ist.
1 Klasse B	K und E	Beschreibt Bauteile/Betriebsmittel, eingebaut in einem großen Schränk/Gerüst, der am Fahrzeugkasten befestigt ist.
1 Klasse B	F	Beschreibt Bauteile/Betriebsmittel als Bestandteil einer Unterbaugruppe, eingebaut in einem Schränk/Gerüst, der am Fahrzeugkasten befestigt ist.
2	G	Kästen, Bauteile/Betriebsmittel, die am Drehgestell eines Bahnfahrzeuges befestigt sind.
3	H	Kästen, Bauteile/Betriebsmittel, die am Radsatz eines Bahnfahrzeuges befestigt sind.

Abbildung 5: Umwelträume (Kategorien) aus /DIN EN 61373/

MSB-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Anlage 3 MSB – Umwelträume /MSB AG-UMWELT/	/DIN EN 61373/
Umweltraum	Kategorie
FA 3	Kategorie 3
FA 2	Kategorie 2
FA 1	Kategorie 1 Klasse B
FI 1 – FI 4	Kategorie 1 Klasse A bzw. Klasse B

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Einbauräume

10.2 Prüfpegel

Die für die Beanspruchung der Einbau- und Anbauteile durch „Schwingen/Schocken“ relevanten Einwirkungen auf den Umweltraum resultieren aus Messungen an den Fahrzeugen TR07, TR08 und Transrapid Shanghai.

Die auf Grundlage der Ergebnisse dieser Messungen ermittelten Einwirkungen sind in Tabelle 8 angegeben. Die Werte in Tabelle 8 sind als Prüfpegel für die Funktionsprüfung der Baugruppen heranzuziehen. Die Prüfpegel und die Prüfdauer für die Lebensdauerprüfung sind auf Basis der /DIN EN 61373/ abzuleiten.

Bei modifizierten Komponenten bzw. Konfigurationen der Fahrzeug- und Fahrwegtechnik sind die in der folgenden Tabelle angegebenen Werte zu verifizieren.

Umwelt- raum Kategorie	Richtung	Beschleuni- gungspegel (FRTL-Pegel gemäß /DIN EN 61373/) [m/s ²]	Prüfpegel der Lebensdauer- prüfung als Ef- fektivwert [m/s ²]	Prüf- dauer [h]	Prüf- frequenz [Hz]
FA 1 Kat 1/ KI B	Längs (x)	0,20	1,6	5	10 – 150
	Quer (y)	0,45	3,6	5	
	Vertikal (z)	0,75	6,0	5	
FA 2 Kat 2	Längs (x) ¹⁾	1,0	8	5	10 - 1600
	Quer (y) ¹⁾	4,0	32	5	
	Vertikal (z) ¹⁾	5,0	40	5	
FA 3 Kat 3	Längs (x) ¹⁾	25,0	100	73	10 – 1600
	Quer (y) ¹⁾	30,0	100	152	
	Vertikal (z) ¹⁾	30,0	100	152	
FI 1-4 Kat 1/ KI A Kat 1/ KI B	Längs (x)	0,20	1,6	5	10 -150
	Quer (y)	0,45	3,6	5	
	Vertikal (z)	0,75	6,0	5	
Spitzenbeschleunigung					
			[m/s²]	Schock- dauer [ms]	
Alle	senkrecht	300		11	
	quer	300		11	
	längs	300		11	

¹⁾ Prüffrequenz für gesamten Trag- bzw. Führmagnet entsprechend DIN EN 61373

Tabelle 8: Prüfpegel Schwingen/Schocken

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

Teil III

Kinematische Begrenzungslinie

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

1 Verteiler:

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Fahrzeug zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007; Weißdruck, Fachausschuss Fahrzeug.

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler:.....	2
2	Änderungsübersicht	3
3	Inhaltsverzeichnis.....	4
4	Allgemeines	6
4.1	Zweck und Anwendungsbereich	6
4.2	Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen.....	7
4.3	Abkürzungen und Definitionen.....	8
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien.....	8
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit der Anforderungen	8
4.6	Referenzen	8
5	Definitionen (Teilsystemspezifisch).....	9
5.1	Koordinatensystem	9
5.2	Begriffe.....	10
5.3	Abkürzungen.....	11
5.4	Definitionen und Bezeichnungen	14
5.5	Trassierungsparameter	17
5.6	Begrenzungslinie	17
6	Nachweisverfahren	19
7	Kinematische Freiheitsgrade Wagenkasten.....	21
7.1	Rollen Wagenkasten.....	21
7.1.1	Begriffe zum Rollen Wagenkasten.....	21
7.1.2	Zu untersuchende Lastfälle Rollen.....	23
7.2	Z-Verschiebungen / Nicken Wagenkasten.....	24
7.2.1	Begriffe zu z-Verschiebungen / Nicken Wagenkasten.....	24
7.2.2	Zu untersuchende Lastfälle z-Verschiebung / Nicken.....	26
7.3	Y-Verschiebung / Gieren Wagenkasten.....	27
7.3.1	Begriffe zu y-Verschiebungen / Gieren Wagenkasten	27
7.3.2	Zu untersuchende Lastfälle y-Verschiebung / Gieren.....	29
8	Kinematik zwischen Schwebegestell und Fahrweg	30
8.1	Kinematische Freiheitsgrade Schwebegestell	30
8.2	Verschiebungen Schwebegestell.....	31
8.2.1	Trag- und Tragkufenspalt.....	31
8.2.2	Führspalt	33

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

8.3	Verdrehungen Schwebegestell	34
9	Nachweis der kinematischen Begrenzungslinie Fahrzeug.....	35
9.1	Führungsquerschnitte	35
9.2	Zu betrachtende Lastfälle / Geometrischen Situationen	36
9.2.1	Betriebslastfälle.....	36
9.2.2	Sonderbetriebsfälle	38
10	Anhang (informativ).....	39
10.1	Ableitung der kinematischen Freiheitsgrade Wagenkasten	39
10.1.1	Rollwinkel Wagenkasten.....	39
10.1.2	z-Verschiebungen und Nickwinkel Wagenkasten	40
10.1.3	y-Verschiebungen und Gierwinkel Wagenkasten	44
10.2	Führspaltkorrektur bei gekrümmtem Fahrweg	45

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Fahrzeugkoordinatensystem.....	9
Abbildung 2:	<i>Seitenansicht und Querschnitt eines Fahrzeugs (Prinzipdarstellung)</i>	14
Abbildung 3:	Relevante geometrische Definitionen von Maßen des Fahrwegs.....	15
Abbildung 4:	Kennzeichnende Größen für die Kinematik von MSB-Fahrzeugen	16
Abbildung 5:	Begrenzungslinie MSB-Fahrzeuge Gerade	17
Abbildung 6:	Begrenzungslinie MSB-Fahrzeuge Kurvenradius 350 m bis 3500 m.....	18
Abbildung 7:	Fahrzeugkinematik - Rollen Wagenkasten	22
Abbildung 8:	Fahrzeugkinematik - z-Verschiebungen / Nicken Wagenkasten	25
Abbildung 9:	Fahrzeugkinematik - y-Verschiebungen / Gieren Wagenkasten.....	28
Abbildung 10:	Fahrzeugkinematik - Spaltbilanz Tragen (z-Richtung)	31
Abbildung 11:	Fahrzeugkinematik - Spaltbilanz Führen (y-Richtung)	33
Abbildung 12:	Positionierung Fahrzeug auf Fahrweg	35
Abbildung 13:	Führspaltkorrektur bei Kurvenfahrt	46

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Betriebsfälle Fahrzeugkinematik	36
Tabelle 2:	Einfluss Kurvenradius auf Führungsmagnetluftspalt.....	46

4 Allgemeines

4.1 Zweck und Anwendungsbereich

Die vorliegende „Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug Teil III – kinematische Begrenzungslinie“ legt das Nachweisverfahren für die Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf von MSB-Fahrzeugen gemäß /MSB AG-FZ GEN/ fest.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

Die Ausführungsgrundlage beschreibt allgemein den Nachweis des kinematischen Raumbedarfs des Fahrzeugs. Sie ist bei der Nachweisführung für das Fahrzeug mit anzuwenden.¹

Das vorliegende Dokument beinhaltet die

- Definition der zu berücksichtigenden Fahrzeugkinematik,
- Definition der relevanten Einwirkungen,
- Verfahren zum Nachweis der Begrenzungslinie.

Nachfolgende Punkte sind zu beachten:

- Abweichend von /DIN EN 27505/ wird nicht die notwendige Begrenzungslinie berechnet, sondern die Einhaltung der vorgegebenen Begrenzungslinie über eine Hüllraumbetrachtung gemäß /MbBO/, Bild 1 geprüft. Dazu sind die geometrisch möglichen Fahrzeugzustände zu ermitteln und es ist nachzuweisen, dass zur Umgrenzung des lichten Raumes ein Abstand bleibt bzw. die Hülllinie nicht verletzt wird.
- Es gilt die Begrenzungslinie gemäß /MbBO/, Bild 1 (s. auch Kapitel 5.6). Die Ausführungsgrundlage beschreibt die Mindestanforderungen an das Nachweisverfahren. Von der Ausführungsgrundlage darf nur abgewichen werden, wenn ein Nachweis gleicher Sicherheit geführt werden kann.
- Der Nachweis beschränkt sich auf das fahrende Fahrzeug, sowie auf das stehende Fahrzeug mit geschlossenen Einstiegstüren. Geöffnete Einstiegstüren dürfen das Profil der Begrenzungslinie gem. /MbBO/, Bild 1 (s. auch Kap 5.6) nur während des Fahrgastwechsels sowie während des Reinigens und der Instandhaltung überschreiten. Zum Nachweis der kinematischen Begrenzungslinie werden in Anlehnung an /UIC 505-1/ nur betrieblich relevante Fahrzeugzustände und keine Worst-Case-Fälle betrachtet. Gewisse Störfälle, die dazu führen, dass die MSB-Fahrzeuge die Begrenzungslinie überschreiten, müssen vom Hersteller untersucht werden, ihre Auswirkungen müssen ggf. Gegenstand besonderer Maßnahmen (betriebliche Regelungen, Störungsanzeigen usw.) sein, die vom Betreiber festzulegen sind.

¹ Zum allgemeinen Verständnis werden zur Erläuterung des Nachweisverfahrens teilweise ausführungsspezifische Merkmale des Transrapid herangezogen. Projektspezifisch gelten die entsprechenden Merkmale.

4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentationsbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordnete Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, mit den Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

Die Dokumentation zum Fahrzeug beinhaltet folgende Unterlagen:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil I: Generelle Anforderungen, Dok.-Nr: 67698, /MSB AG-FZ GEN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil II: Bemessung, Dok.-Nr: 67694, /MSB AG-FZ BEM/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil III: Kinematische Begrenzungslinie, Dok.-Nr: 67650, /MSB AG-FZ KIN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil IV: Trag- /Führtechnik, Dok.-Nr: 73388, /MSB AG-FZ TRAFÜ/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil V: Bremstechnik, Dok.-Nr: 73389, /MSB AG-FZ BREMS/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit der Anforderungen

Bei der Erstellung dieses Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln dieses Dokuments sind gemäß /MSB AG-FZ GEN/

- Anforderungen in Standardschriftart
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in *Kursiv-Schrift*

gekennzeichnet.

Werden in diesem Dokument Hinweise auf projektspezifische Regelungen im Einzelfall gegeben, bedeutet dies, dass eine Vereinbarung zwischen Hersteller und Unternehmer (z.B. *in einem Lastenheft bzw. einer vertraglichen Regelung*) unter Hinzuziehung der Genehmigungsbehörde zu treffen ist.

4.6 Referenzen

Dokument	Beschreibung
/DIN 27505/	Schienenfahrzeuge - Fahrzeugbegrenzung und Grenzlinie für feste Anlagen Stand: Entwurf 01.01.1999
/UIC 505-1/	Eisenbahnfahrzeuge - Fahrzeugbegrenzungslinien Stand: November 2003 (9. Ausgabe)

5 Definitionen (Teilsystemspezifisch)

5.1 Koordinatensystem

Koordinatensystem, siehe Abbildung 1:

- x-Richtung : in Richtung Endsektion 1 des Fahrzeugs
- y-Richtung : quer zur Fahrtrichtung in der Gleitebene nach rechts
- z-Richtung : vertikal zur Fahrtrichtung, positive Achse nach unten gerichtet

Ursprung des Koordinatensystems ist die Gerade des Fahrwegs und in x-Richtung für das Fahrzeug die Fahrzeugmitte, siehe /MSB AG-GESAMTSYS/, Abbildung 3 und Abbildung 4. Für die Betrachtung einzelner Sektionen liegt der Ursprung in x-Richtung in der Mitte der Sektionskupplung.

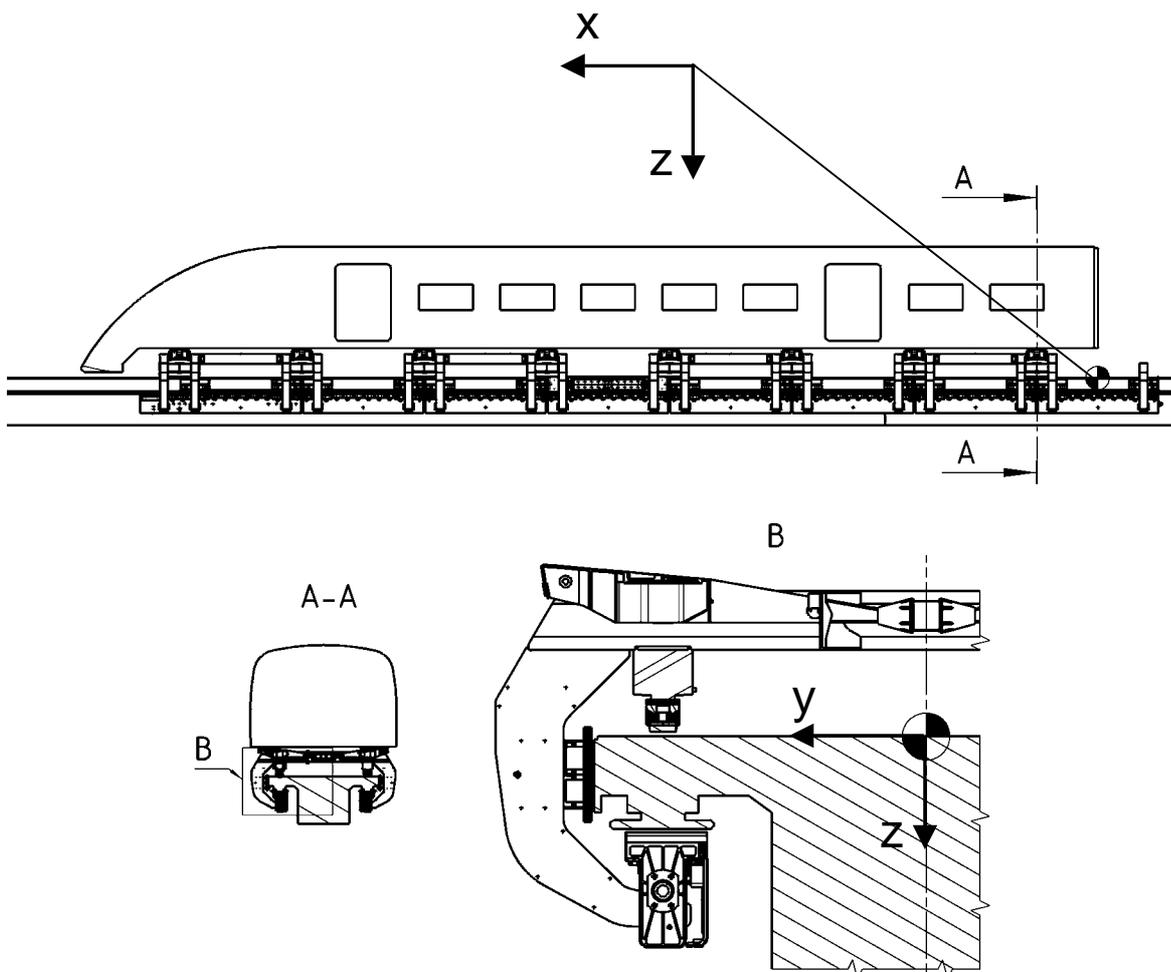


Abbildung 1: Fahrzeugkoordinatensystem

5.2 Begriffe

Es gelten die Begriffsbestimmungen in /MSB AG-ABK&DEF/. Die in diesem Kapitel erläuterten Begriffe sind zum Verständnis des vorliegenden Dokuments erforderlich. Sie ergänzen die Begriffe in /MSB AG-ABK&DEF/.

Normalkoordinaten	Zueinander rechtwinklige Koordinaten in einer Ebene senkrecht zur Längsmittellinie des in Soll-Lage liegenden Fahrwegs. Waagrechte Achse (y-Achse): Schnittlinie vorgenannter Ebene mit der Gleitebene (Laufebene bei Schienenfahrzeugen). Vertikale Achse (z-Achse): Senkrecht zu waagrechter Achse, in der Mitte zwischen den Gleitleisten (Schiene bei Schienenfahrzeugen).
Fahrzeugbegrenzungslinie	Umrisslinie, bezogen auf den zu untersuchenden Querschnitt, die von keinem Fahrzeugteil überschritten werden darf (Fahrzeugkontur)
Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf des Fahrzeugs (Kinematische Begrenzungslinie)	Ist die auf die Normalkoordinaten bezogene theoretische Hülllinie eines Fahrzeugs unter Berücksichtigung der ungünstigsten Einstellungen der Schwebegestelle zum Fahrweg und der quasistatischen Verschiebungen des Wagenkastens. Nicht berücksichtigt werden zufallsbedingte Faktoren (Schwingungen, Unsymmetrien).
Rollen	Drehbewegung des Wagenkastens bzw. Schwebegestells um die x-Achse
Nicken	Drehbewegung des Wagenkastens bzw. Schwebegestells um die y-Achse
Gieren	Drehbewegung des Wagenkastens bzw. Schwebegestells um die z-Achse

5.3 Abkürzungen

Es gelten die Abkürzungen gem. /MSB AG-ABK&DEF/. Die in diesem Kapitel erläuterten Abkürzungen sind zum Verständnis des vorliegenden Dokuments erforderlich. Sie ergänzen die Begriffe in /MSB AG-ABK&DEF/.

GE	Gleitebene
GL	Gleitleiste
GLM	Gleitebene Mittenabstand
a_y	Freie y-Seitenbeschleunigung (Kurvenfahrt)
a_z	z-Beschleunigung (g + Wannens- /Kuppenfahrt)
C	Drehpol der Wagenkastenverrollung
c	Federkonstante
c_{piE}	Steifigkeit der z-Absetzfeder i, bezogen auf die Pendelachse
c_{ZF}	Steifigkeit y-Zusatzfeder
c_{1WK}	Rollsteifigkeit Wagenkasten, bezogen auf Pendel
d	Abstand Führomagnetpaltsensoren
F_{Kz1}	z-Kupplungskraft Sektionskupplung Endsektion 1 zu Mittelsektion
F_{Kz2}	z-Kupplungskraft Sektionskupplung Endsektion 2 zu Mittelsektion
F_{mWKy}	y-Massenkraft Wagenkasten (Überhöhungsfehlbetrag)
F_{mWKz}	z-Massenkraft Wagenkasten
F_{piy}	y-Pendelkraft Schweberahmen i
F_{piz}	z-Pendelkraft Schweberahmen i
F_{p1z}	z-Pendelkraft Bugschweberahmen Endsektion
ΔF_{pz}	Abweichung z-Pendelkraft von Nennlast
F_{pzLfi}	z-Pendelkraft Luftfederkreis i
F_{ZFiy}	y-Kraft an y-Zusatzfeder Schweberahmen i
F_{ySW}	Seitenwindkraft auf Endsektion E, Mittelsektion M
F_{zWK}	z-Kräfte Wagenkasten Endsektion E, Mittelsektion M
F_{yWK}	y-Kräfte Wagenkasten Endsektion E, Mittelsektion M
Δf_y	Kraftabhängige statische y-Einfederung der Gestellstruktur bei erregtem Führomagnet und Abweichung von der Nennlast
Δf_z	Kraftabhängige statische Ein- bzw. Ausfederung bei Abweichungen von der Nennlast
Δf_{zG}	Kraftabhängige statische Ein- bzw. Ausfederung der Gestellstruktur bei Abweichungen von der Nennlast
Δf_{zTM}	Kraftabhängige statische Ein- bzw. Ausfederung der Tragmagnetanlenkung bei Ab-

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

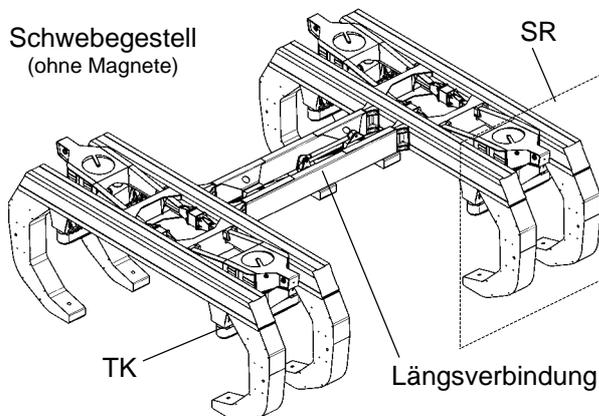
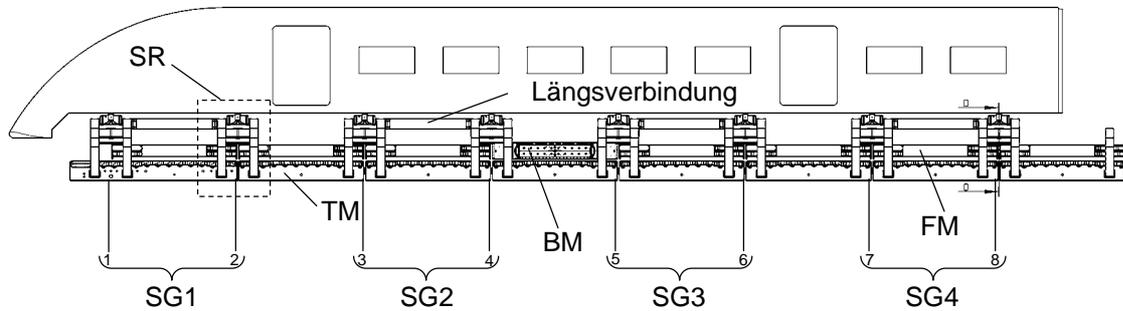
	weichungen von der Nennlast
Δf_{zTK}	Statische Einfederung der Tragkufe bei abgesetztem Fahrzeug
F	Nennspalt Führen
F_R	Führspalt bei Kurvenfahrt (Nennspalt)
f_z	z-Verschiebungen
L_{FM}	Magnetlänge Führungsmagnet
l_p	Länge Pendel
m_{WK}	Masse Wagenkasten
M_T	Rollmoment Wagenkasten
ΔP	Verschleiß Polleiste Führungsmagnet
P	Maximaler Polleistenverschleiß
R	Krümmungsradius Fahrweg (R_{xz} oder R_{xy})
R_{xz}	Radius Kuppe / Wanne
R_{xy}	Radius Kurve
S	Ausladung bei Kurvenfahrt
s_0	Nennluftspalt Tragmagnet / Führungsmagnet
Δs	Dynamische Spaltabweichung Luftspalt Tragen / Führen
Δs_1	Spaltdifferenz in Führungsmagnetmitte bei Kurvenfahrt
Δs_2	Spaltdifferenz am Führungsmagnetende bei Kurvenfahrt
T	Tragkufenspalt
ΔV	Verschleiß Tragkufenbelag
W_z	Nennzangenmaß des Fahrwegs zwischen Oberkante Gleitebene und Unterkante Startpaket
ΔW_z	z-Bautoleranzen Fahrwegzangenmaß
W_y	Spurweite Fahrweg (Abstand Seitenführschiene)
ΔW_y	y-Bautoleranzen Spurweite Fahrweg
x_{iE}	Abstand der z-Absetzfeder i zur Sektionskupplung
x_{NiE}	Abstand der z-Absetzfeder i zum Drehpunkt Wagenkastennicken
x_{Si}	Abstand resultierender Kraftangriffspunkt Luftfederkreis i zu Sektionskupplung
x_{sE}	x-Abstand Schwerpunkt Endsektion zu Sektionskupplung
x_{SWE}	Abstand Seitenwindkraft Endsektion zu Sektionskupplung
x_{ZFi}	Abstand y-Zusatzfeder i zu Sektionskupplung
x_{2E}	Abstand Schweberahmen 2 Endsektion zu Sektionskupplung
y_K	y-Verschiebung der Sektionskupplung
y_{sWK}	y-Schwerpunktkoordinate Wagenkasten

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

y_{piE}	y-Verschiebung Pendel i Endsektion
Δy_i	y-Verschiebung Schweberahmen i
Y	Spurweite Fahrzeug
Y_A	Spurweite Fahrzeug bei Ausfallsituationen bzw. bei mechanischem Führen
Y_0	Nennspurweite Fahrzeug bei nicht erregten Führmagneten (abgesetztes Fahrzeug)
Δy	y-Bautoleranzen Spurweite Fahrzeug
y_p	y-Koordinate Wagenkastenpendelkraftangriffspunkt
z_K	z-Verschiebung der Sektionskupplung
z_{sE}	z-Abstand Schwerpunkt Endsektion zu Sektionskupplung
z_{piE}	z-Verschiebung Pendel i Endsektion
z_{sWK}	z-Schwerpunktkoordinate Wagenkasten
z_C	z-Koordinate Drehpunkt Wagenkastenverrollung
Δz_i	z-Verschiebung Schweberahmen i
Z	Zangenmaß zwischen Unterkante Tragkufe und Oberkante Tragma- gnet
Z_0	Nennzangenmaß Fahrzeug zwischen Unterkante Tragkufe und Oberkante Tragma- gnet bezogen auf die Nennlast am Tragma- gnet (schwebendes Fahrzeug)
ΔZ	z-Bautoleranzen Fahrzeug-Zangenmaß
α	Fahrweg - Querneigungswinkel
γ bzw. γ_{xz}	Nickwinkel (Drehung um y-Achse)
γ_{0xz}	Statischer Nickwinkel aus Unsymmetrie Beladung
δ bzw. δ_{xy}	Gierwinkel (Drehung um die z-Achse)
δ_{0xy}	Statischer Gierwinkel aus Unsymmetrie Beladung
η bzw. η_{yz}	Rollwinkel (Drehung um x-Achse)
η_{0yz}	Statischer Rollwinkel aus Unsymmetrie Beladung
η_{yzFy}	Rollwinkel Wagenkasten aus Fliehkraft und Seitenwind
$\eta_{yz\alpha'}$	Rollwinkel Wagenkasten aus Fahrwegüberhöhung

5.4 Definitionen und Bezeichnungen



- SG = Schwebegestell
- SR = Schweberahmen
(2 Gestellbügel + Verbindungsteile)
- TM = Tragmagnet
- FM = Führmagnet
- BM = Bremsmagnet
- TK = Tragkufe
- WK = Wagenkasten

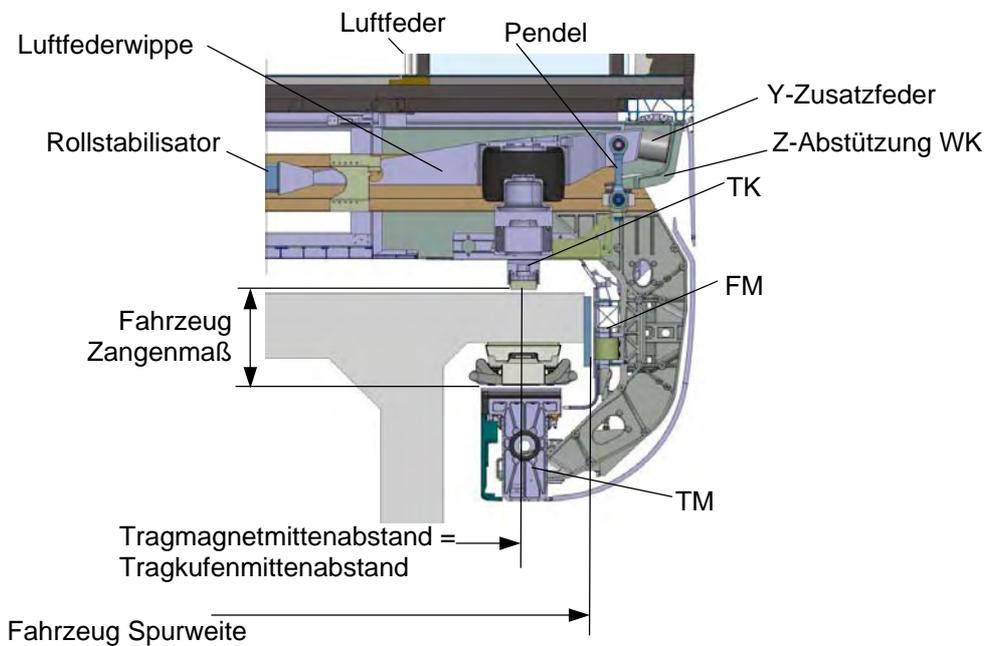


Abbildung 2: Seitenansicht und Querschnitt eines Fahrzeugs (Prinzipdarstellung)

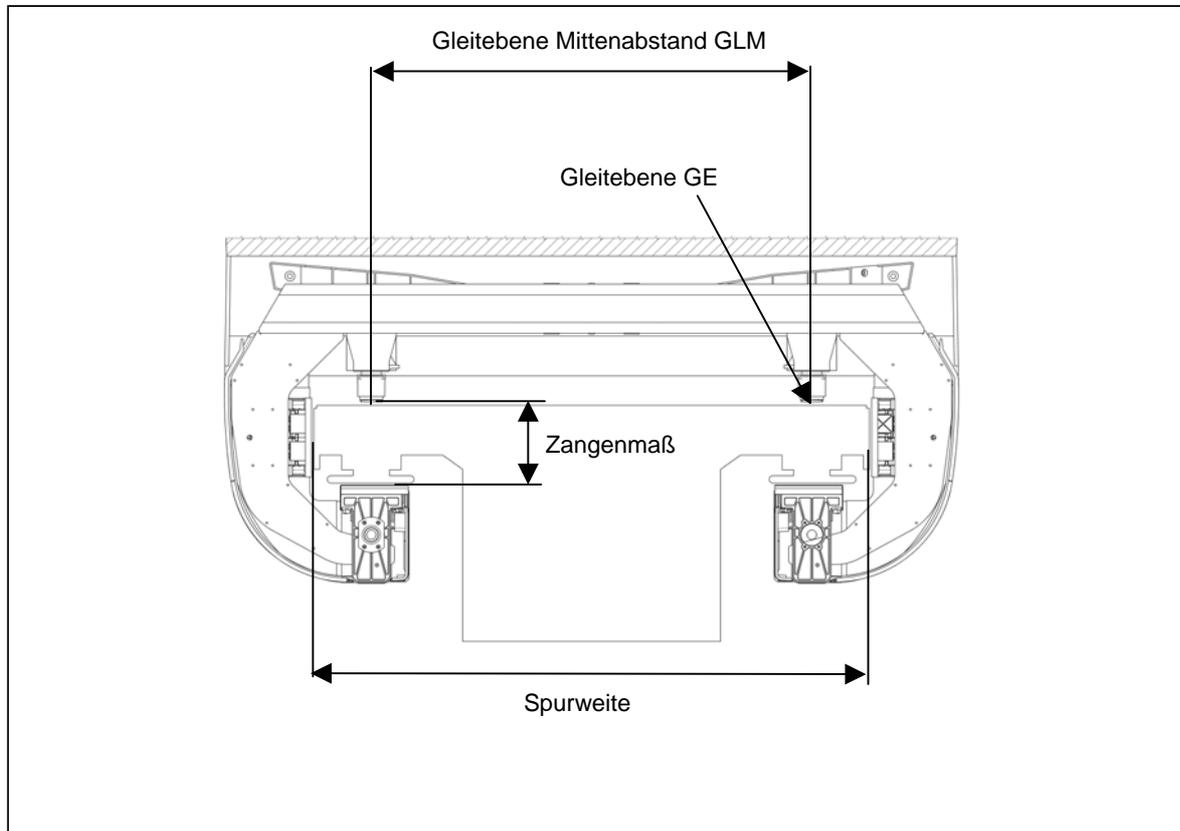


Abbildung 3: Relevante geometrische Definitionen von Maßen des Fahrwegs

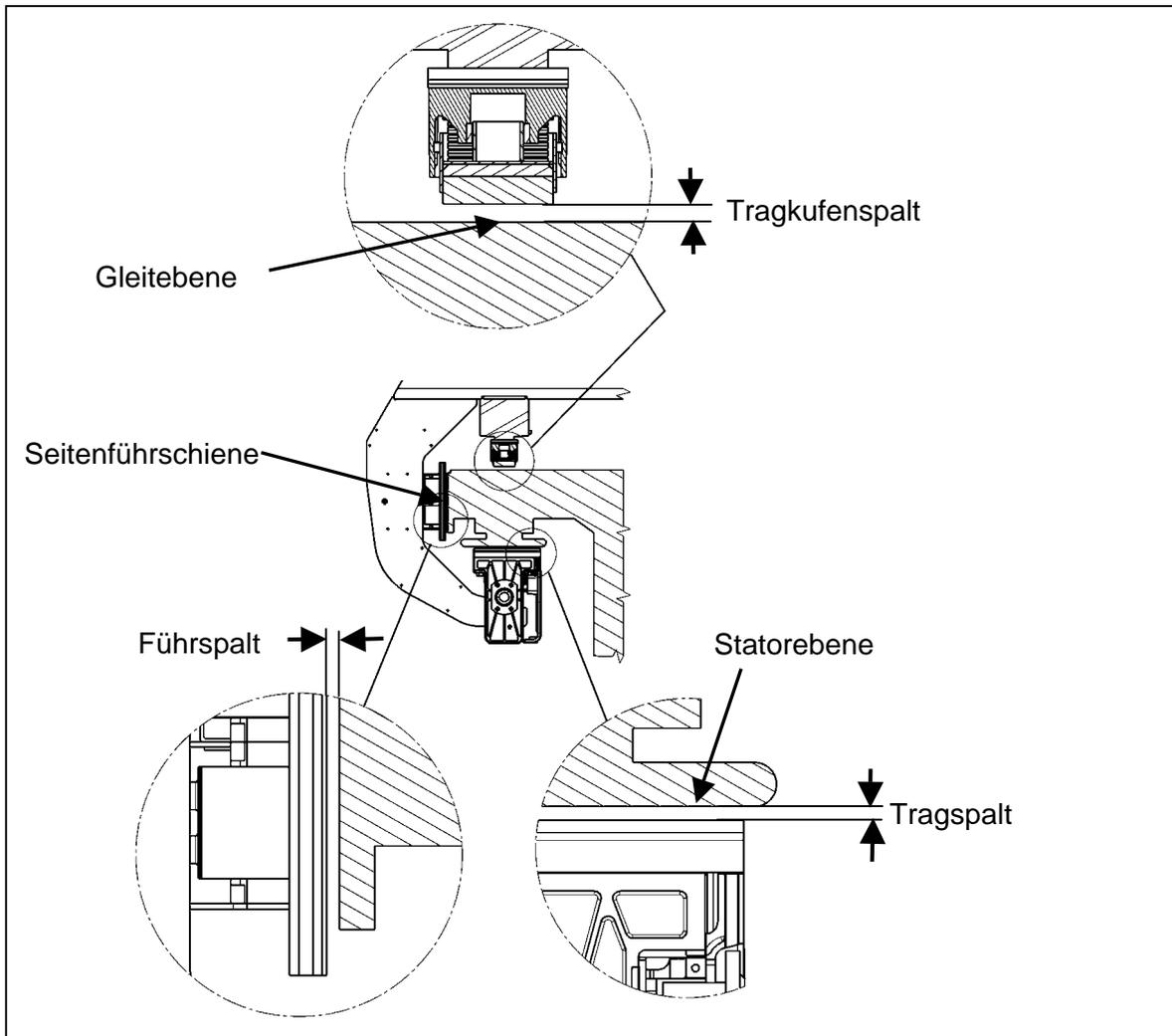


Abbildung 4: Kennzeichnende Größen für die Kinematik von MSB-Fahrzeugen

5.5 Trassierungsparameter

Folgende Trassierungsparameter sind zu betrachten:

- Wanne: Vertikalradius R_{xz} 530 m
- Kuppe: Vertikalradius R_{xz} 530 m
- Kurve: Horizontalradius R_{xy} 1000 m

Abweichende Werte können projektspezifisch vereinbart werden. Kleinere spezifizierte Trassierungsparameter sind durch den Hersteller unter dem Gesichtspunkt der Berührungsfreiheit zwischen Fahrweg und Fahrzeug nachzuweisen.

Diese Untersuchungen sind nicht Bestandteil der Nachweise zur kinematischen Begrenzungslinie.

5.6 Begrenzungslinie

Die in Abbildung 5 angegebene Begrenzungslinie entspricht der Begrenzungslinie Linie C /MbBO/ für Geraden. Abbildung 6 zeigt die Begrenzungslinie für Kurvenradien < 3500 m. In /MbBO/ nicht angegebene Maße der Fahrwegbegrenzung sind ohne Angabe von Toleranzen ergänzt.

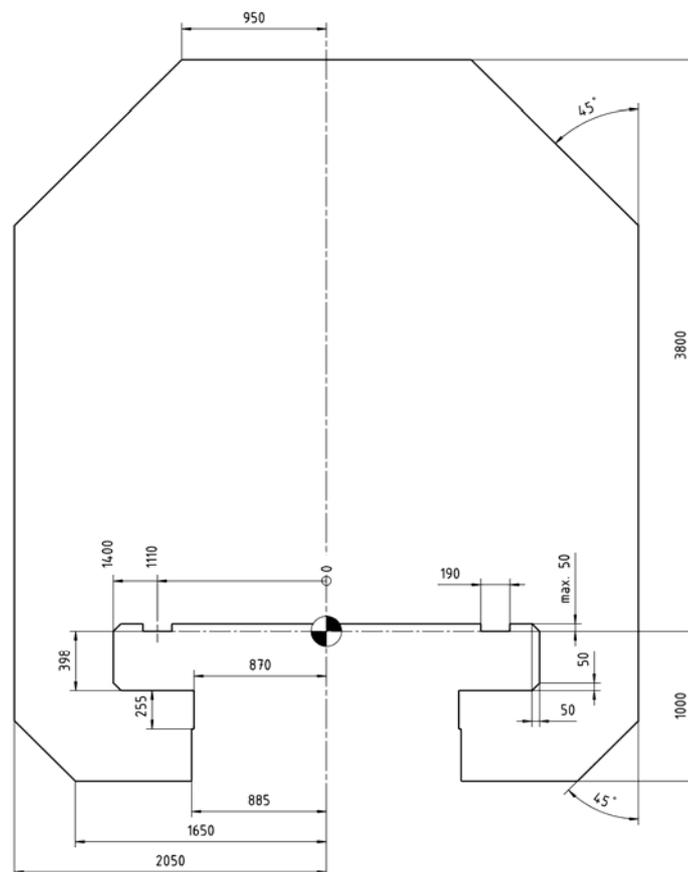


Abbildung 5: Begrenzungslinie MSB-Fahrzeuge Gerade

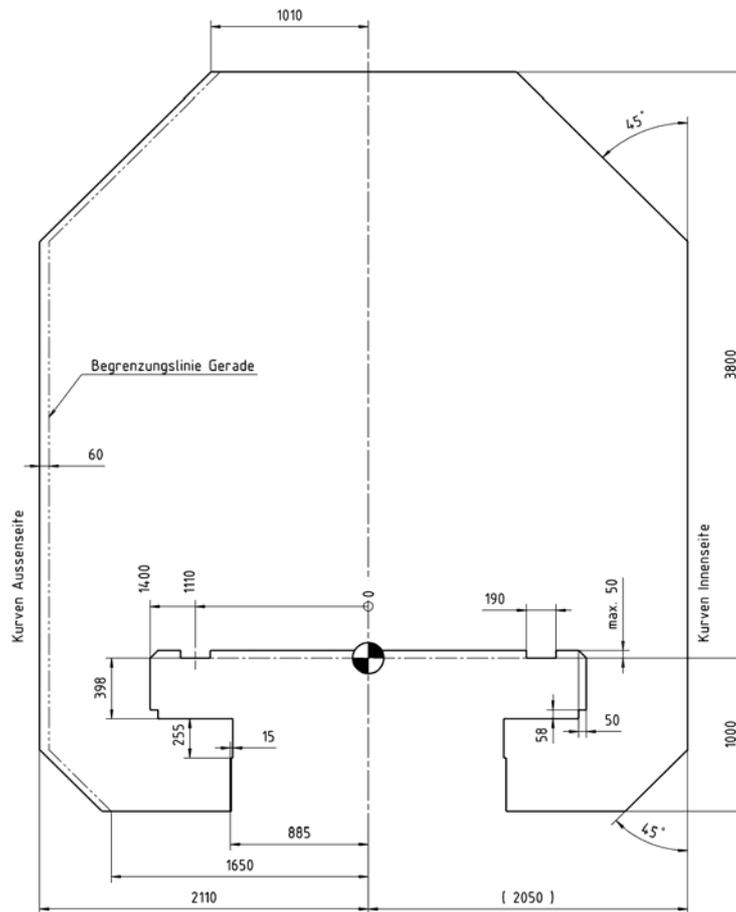


Abbildung 6: Begrenzungslinie MSB-Fahrzeuge Kurvenradius 350 m bis 3500 m

6 Nachweisverfahren

Für den Nachweis der Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf des MSB-Fahrzeugs, nachfolgend als kinematische Begrenzungslinie bezeichnet, sollte nachfolgende Vorgehensweise angewendet werden. Abweichungen müssen projektspezifisch vereinbart werden.

Die Verschiebungen sowie Verdrehungen des Wagenkastens und die Verschiebungen der Schwebestelle sind auf den Fahrweg zu beziehen.

Die Überlagerung der Wagenkastenverschiebungen mit den Verschiebungen der Schwebestelle ergibt die Gesamtverschiebungen des Wagenkastens.

Die Gesamtverschiebung des Wagenkastens ist aus der Überlagerung der Wagenkastenverschiebung mit den Verschiebungen der Schwebestelle zu bestimmen.

Die resultierenden Verschiebungen der Fahrzeugaußenkontur sind gegen die Begrenzungslinie der /MbBO/ zu prüfen.

Der Wagenkasten ist dabei als Starrkörper zu betrachten. Die zu berücksichtigenden Elastizitäten der Schwebestelle sind dabei in die entsprechenden Verschiebungen der Schwebestelle einzurechnen.

Die Verschiebungen / Verformungen des Wagenkastens und der Schwebestelle sind getrennt zu ermitteln und abschließend zu überlagern.

Die Ableitung der Verschiebungen erfolgt für den Wagenkasten im Kapitel 7, für die Schwebestelle im Kapitel 8.

Für diese abschließende Überprüfung der Begrenzungshülle können analytische Verfahren oder geeignete Softwareanwendungen (z.B. CAD-Softwareprodukte) eingesetzt werden.

Folgende Randbedingungen sind für das Nachweisverfahren, soweit anwendbar, zugrunde zu legen:

- Zur Ableitung der Verschiebungen aus Rollen / Nicken / Gieren werden Drehpole angenommen. Durch Überlagerung der Verschiebungen verschiebt sich der resultierende Drehpol. Die Lage des resultierenden Drehpols schließt aufgrund der kinematischen Zwangsbedingungen gewisse Überlagerungen aus.
Die Lage des resultierenden Drehpols muss geprüft werden. Ggf. muss bei Überlagerung der Einzelverschiebungen eine nachträgliche Korrektur der Einzelbewegungen erfolgen.
- Bautoleranzen des Wagenkastens sind zu berücksichtigen. Die Bautoleranzen der Schwebestelle sind zu vernachlässigen, da Trag- und Führspalte auf das spezifizierte Maß eingestellt werden.
- Der spezifizierte fahrzeugseitige Verschleiß an den Tragkufenbelägen und den Polleisten der Führungsmagnete ist zu berücksichtigen.
- *Fahrwegseitiger Verschleiß und fahrwegseitige Bautoleranzen bleiben unberücksichtigt. Diese werden über den Bereich B /MbBO/ Bild 1 erfasst.*
- Durchbiegungen und Elastische Verformungen (Biegung, Torsion) für den Wagenkasten müssen nicht berücksichtigt werden.
Für die Schwebestelle müssen die elastischen Verformungen aus Tragen (z-Lasten) und Führen (y-Lasten) berücksichtigt werden.

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

- Luftfederung:
Die Fälle druckbeaufschlagte bzw. entleerte Luftfederbälge sind zu differenzieren. Bei drucklosen Luftfedern ist die Abfederung über die Absetzfedern zu berücksichtigen.
- Gummi- und Stahlfedern:
Einfedern unter statischer Last ist zu berücksichtigen, ggf. Berücksichtigung zusätzlicher Einfederung aus dynamischen Beanspruchungen. Einfederungen aufgrund von Federungstoleranzen können vernachlässigt werden. *Diese sind in den Einstelltoleranzen der Magnetanlenkungen enthalten.*
- *Die Trag-/Führefunktion des MSB-Fahrzeugs ist als aktives System realisiert, die Funktion einzelner Systeme wird bei Versagen auf Grund der redundanten Ausführung durch benachbarte Systeme übernommen. Entsprechende Nachweise werden u.a. über FMEA-Analysen bei der Entwicklung der Transrapid-Fahrzeuge erbracht. Das ausreichende Tragverhalten wird zusätzlich über die Nachweisführung abgesichert.*
Ein Bauteilversagen von Strukturbaugruppen des Trag- / Führsystems (Bauteile im primären Kraftfluss, z.B. Gestellbügel) darf nicht dazu führen, dass die Begrenzungslinien gemäß Kapitel 5.6 verletzt werden.
- *Bei spezifiziertem Ausfall der magnetischen Trag- bzw. Führefunktion werden die Lasten mechanisch über die Tragkufen bzw. Führungsmagnete abgetragen.*
Dieser Zustand ist bei der Ableitung der Trag- bzw. Führspalte zu berücksichtigen.
- Seitenwindeinfluss ist zu berücksichtigen. Der Auftrieb auf den Wagenkasten kann vernachlässigt werden. Lokale aerodynamische Lasten aus Zugbegegnung und Tunnelfahrt können ebenfalls vernachlässigt werden.²
- Die verschiedenen Beladungszustände sind zu berücksichtigen (Fahrzeugeigengewicht, mittleres und zulässiges Fahrzeuggewicht sowie maximales Fahrzeuggewicht, siehe auch /MSB AG-FZ BEM/).
Maximale Wagenkastenzuladung: Ansatz des größeren Wertes von
 - a. 30 % Überlast bezogen auf die maximale Nutzlast bei Maximalauslastung,
 - b. Zuladung bei Evakuierungslastfall (maximales Fahrzeuggewicht), falls für die Anwendung zutreffend.
- Ein zusätzlicher Freiraumbedarf für Anbauten an den Wagenkasten (z.B. Funkantennen, Abbildung 12) ist projektspezifisch zu berücksichtigen.

² Lokale Auswirkungen werden auf Grund der Starrkörperbetrachtung des Wagenkastens nicht berücksichtigt. Die erforderliche Fahrzeugsteifigkeit wird in /MSB AG-FZ BEM/ behandelt.

7 Kinematische Freiheitsgrade Wagenkasten

Der Wagenkasten verfügt über folgende Starrkörperfreiheitsgrade:

- z-Verschiebung Wagenkasten (ein-, ausfedern),
- y-Verschiebungen (Querverschiebungen),
- Rollen um die Längsachse (Wanken bei Schienenfahrzeugen),
- Nicken um die Querachse (ungleiche z-Verschiebung),
- Gieren um die Hochachse (ungleiche y-Verschiebung).

Die z-Verschiebungen werden nachfolgend zusammen mit dem Nicken Wagenkasten, die y-Verschiebungen zusammen mit dem Gieren Wagenkasten betrachtet.

Um die absoluten Wagenkastenverschiebungen zu erhalten, sind die Verschiebungen der Schwebestelle den folgend abgeleiteten Verschiebungen zu überlagern.

Die Ausführungen in den Unterkapiteln zu Kapitel 7 sind zu beachten.

7.1 Rollen Wagenkasten

Betrachtet wird das quasistatische Rollen des Wagenkastens aufgrund der Eigenschaften der Sekundärfederung. Anschläge, die die Bewegung des Wagenkastens zu den Schwebestellen begrenzen, werden berücksichtigt. Kennzeichnende Größe ist der Rollwinkel η_{yz} .

7.1.1 Begriffe zum Rollen Wagenkasten

7.1.1.1 Drehpunkt Wagenkastenverrollung

Der Drehpol der Wagenkastenverrollung C (Wankpol C bei Schienenfahrzeugen) ist aufgrund der Pendeleigenschaften nicht ortsfest. Für reines Rollen liegt er in Fahrzeugmitte in der Sektionskupplung (Abbildung 7). Infolge der durch das Schwerkraftpendel bedingten Seitenverschiebung des Wagenkastens wandert der Drehpol C nach oben.

Da Infolge der Drehpunktverschiebung nach oben der Rollwinkel reduziert würde, wird für den Nachweis der Drehpol C in die Sektionskupplung gelegt und als ortsfest angenommen.

7.1.1.2 Unsymmetrie η_{0yz}

Unsymmetrie η_{0yz} heißt der statische Rollwinkel des Wagenkastens bei waagrechtem Fahrweg infolge der Außermittigkeit der Belastung. Die Außermittigkeit wird durch die Lage des Wagenkastenschwerpunktes x_{SE} erfasst.

7.1.1.3 Fahrwegüberhöhung

Unter Fahrwegüberhöhung (Querneigung α) wird die Höhendifferenz der Statorebenen Innenbogen zu Außenbogen verstanden.

7.1.1.4 Rollen infolge Überhöhungsfehlbetrag

Der Überhöhungsfehlbetrag ist das Maß, um den die tatsächliche Fahrwegüberhöhung von der ausgleichenden Überhöhung abweicht. Für die Untersuchungen wird die maximale Seitenbeschleunigung a_y angesetzt.

7.1.1.5 Rollen infolge Schwerkraft

Wenn das Fahrzeug auf einem überhöhten Fahrweg steht, dessen Gleitebene mit der Waagrecht einen Winkel α bildet, verrollt der Wagenkasten und bildet mit der Senkrechten zum Fahrweg einen Winkel η_{yz} .

Der Rollwinkel ist abhängig vom Beladungszustand des Fahrzeugs. Es wird der größte Beladungswert im ungünstigsten Beladungszustand berücksichtigt.

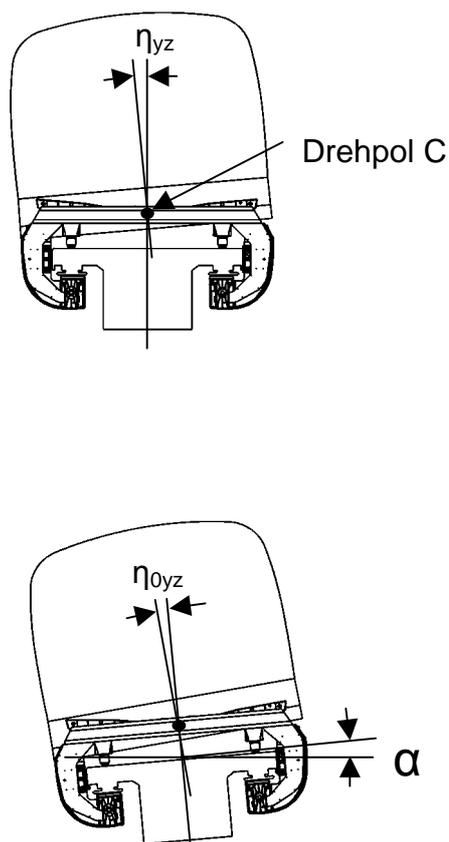


Abbildung 7: Fahrzeugkinematik - Rollen Wagenkasten

7.1.2 Zu untersuchende Lastfälle Rollen

Der **Rollwinkel** kann nach Kapitel 10.1.1 berechnet werden. Die Berechnungsmethode gilt für MSB-Fahrzeuge gemäß /MSB AG-FZ GEN/.

Bei der Ermittlung der Rollsteifigkeit werden die Absetzfedern vernachlässigt. Im Falle druckloser Luftfedern, d.h. bei Abstützung des Wagenkastens auf den 16 Absetzfedern, ergibt sich eine höhere Rollsteifigkeit und damit ein reduzierter Rollwinkel. Durch die gleichzeitige Niveauabsenkung des Wagenkastens entfernt sich die Struktur von der Begrenzungslinie. Daher wird für das Rollen eine intakte Luftfederung (sofern vorhanden) betrachtet.

Folgende Fälle sind zu prüfen:

- Fahrzeug steht auf maximal überhöhtem Fahrweg – Rollen durch Schwerkraft
- Fahrzeug fährt auf Fahrweg mit Überhöhungsfehlbetrag – Rollen durch Fliehkraft

Für beide Fälle ist der Einfluss aus Seitenwind und Unsymmetrie η_{0yz} zu berücksichtigen.

Die Eingabeparameter zur Ableitung der Rollwinkel Wagenkasten sind unter Kapitel 9 angegeben. Abhängig von der Lastfallüberlagerung sind in dem Kapitel die zu berücksichtigende Daten wie Fahrwegtrassierung, anzusetzenden Querschleunigungen, Wagenkastenmassen, Unsymmetrien der Beladung und Seitenwindgeschwindigkeiten angegeben.

7.2 Z-Verschiebungen / Nicken Wagenkasten

Betrachtet wird das quasistatische Ein-/Ausfedern und Nicken des Wagenkastens aufgrund der Sekundärfederungseigenschaften.

Anschläge, die die Bewegung des Wagenkastens zu den Schwebegestellen begrenzen, werden berücksichtigt. Kennzeichnende Größe: Verschiebung z und Nickwinkel γ_{xz} .

7.2.1 Begriffe zu z-Verschiebungen / Nicken Wagenkasten

7.2.1.1 Drehpunkt Wagenkastennicken

Bei aktiver Luftfederung liegt der Drehpunkt in der Sektionskupplung (Abbildung 8).

Bei Vollentlüftung eines Luftfederkreises liegt der Drehpunkt der Wagenkastennickbewegung idealisiert in dem Niveauerfassungspunkt des benachbarten aktiven Luftfederkreises der Sektion. Die Niveauerfassungspunkte sind fahrzeugspezifisch und liegen für MSB-Fahrzeuge gemäß /MSB AG-FZ GEN/ im ersten und letzten Schweberrahmen der Sektion (Abbildung 8).

7.2.1.2 Fahrzeughöhe

Betrachtet werden die Fahrzeughöhen für das leere (unbeladene) und volle (beladene) Fahrzeug.

7.2.1.3 Senkrechte Verschiebungen f_1 nach unten

Die senkrechte Verschiebung f_1 ³ setzt sich zusammen aus der Einfederung Δf_z sowie den zusätzlichen Verschiebungen f_z (siehe 7.2.1.5). Bei schwebendem Fahrzeug setzt sich die Einfederung Δf_z aus dem Federweg der Sekundärfederung, dem Federweg der Tragsmagnetanlenkung und der Gestellelastizität der Schwebegestelle zusammen. Bei abgesetztem Fahrzeug setzt sich die Einfederung Δf_z aus dem Federweg der Sekundärfederung und der Einfederung der Tragkufe zusammen. Die Federwege der Sekundärfederung entsprechen den abgeleiteten Wagenkastenverschiebungen.

Die Einfederung der Schwebegestelle wird unter 8.1 getrennt betrachtet.

Es wird das senkrechte Einfedern bei max. betrieblicher Zuladung berücksichtigt.

7.2.1.4 Senkrechte Verschiebung f_2 nach oben

Die senkrechte Verschiebung f_2 ergibt sich aus der Ausfederung Δf_z der Sekundärfederung und der Schwebegestelle.

Bei schwebendem Fahrzeug setzt sich die Ausfederung Δf_z aus dem Federweg der Sekundärfederung, dem Federweg der Tragsmagnetanlenkung und der Gestellelastizität der Schwebegestelle zusammen.

Bei abgesetztem Fahrzeug entspricht die Ausfederung Δf_z dem Federweg der Sekundärfederung, d.h. den abgeleiteten Wagenkastenverschiebungen.

Die Ausfederung der Schwebegestelle wird unter 8.1 getrennt betrachtet.

Es wird das senkrechte Ausfedern bei unbesetztem Wagenkasten unter Berücksichtigung der dynamischen Verschiebungen und des Neuzustands berücksichtigt.

³ Bezeichnung siehe /DIN 27505/

7.2.1.5 Zusätzliche vertikale Verschiebungen f_z

Zusätzliche senkrechte Verschiebungen infolge einer Längs- und Querneigung des Wagenkastens.

- Querabsenkung einer Wagenkastenseite: Einfederung phasengleich an allen Schweberahmen zur gleichen Fahrwegseite hin. Die Verschiebungen werden unter dem Kapitel Rollen 7.1 erfasst.
- Längsabsenkung eines Wagenkastenendes: Einfederung phasengleich an den gegenüberliegenden Schweberahmen der Schwebegestelle (Nicken), z.B. bei Ausfall eines Luftfederkreises.
- Zusätzliche senkrechte Verschiebung aus der Tragspaltregelung der Schwebegestelle. Die Verschiebungen der Schwebegestelle werden unter Kapitel 8.1 bei der Kinematik Schwebegestell berücksichtigt.

7.2.1.6 Unsymmetrie γ_{0xz}

Unsymmetrie γ_{0xz} heißt der statische Nickwinkel des Wagenkastens bei waagrechtem Fahrweg infolge Außermittigkeit der Belastung in Fahrzeuginnenrichtung. Der Einfluss wird über die Lage des Wagenkastenschwerpunktes berücksichtigt.

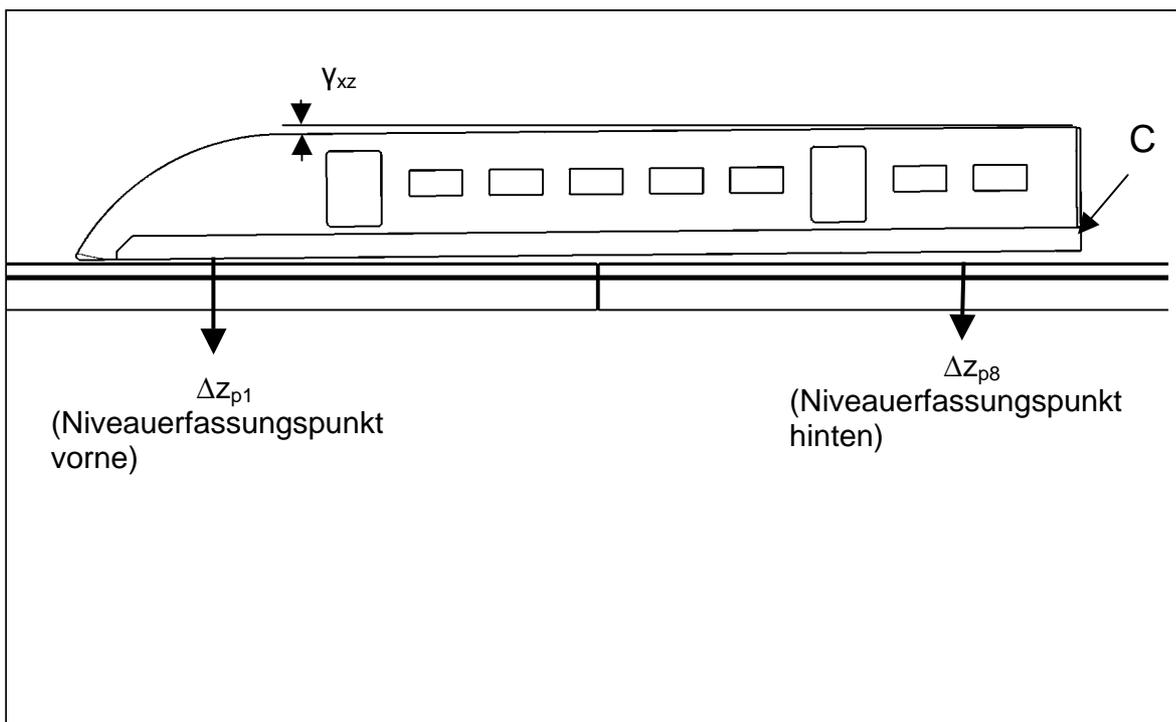


Abbildung 8: Fahrzeugkinematik - z-Verschiebungen / Nicken Wagenkasten

7.2.2 Zu untersuchende Lastfälle z-Verschiebung / Nicken

Das höchste z-Niveau Wagenkasten stellt sich bei aktiver Luftfederung (druckbeaufschlagte Luftfedern) ein. Bei Ausfall einzelner Luftfedern wird durch die Niveauregelung das Niveau gehalten, es treten vernachlässigbare Nickbewegungen auf. Die betrieblichen Nickbewegungen werden unter Berücksichtigung des aktiven Luftfedersystems abgeleitet.

Die maximalen Nickbewegungen ergeben sich für den „theoretisch konstruierbaren“ Störbetriebsfall eines drucklosen Luftfederkreises.

Die Ausführung der Luftfederkreise und die Zuordnung der Luftfedern zu den Luftfederkreisen muss so erfolgen, dass die Auftretenswahrscheinlichkeit einer unzulässigen Nickbewegung vernachlässigbar ist.

Die maximalen Nickwinkel einer Sektion ergeben sich für den Fall eines aktiven Luftfederkreises (z-Niveau im Niveauerfassungspunkt in Nennlage) und eines drucklosen Luftfederkreises (z-Niveau abgesenkt auf die Absetzfedern). Informativ sind die Beziehungen zur Ableitung der Nickwinkel im Anhang mit aufgeführt. Der Fall einer Ausfederung nach oben (Druck Luftfederkreise über Nenndruck) wird nicht betrachtet, da für diesen Fall der Nickwinkel gegenüber den genannten Störbetriebssituationen deutlich kleiner ist und über den Lastfall Leergewicht bzw. Beladungsunsymmetrie ohnehin erfasst ist.

Der **Nickwinkel und die z-Verschiebungen Wagenkasten** können nach Kapitel 10.1.2 berechnet werden.

- Fahrzeug im Nennbetrieb (zwei aktive Luftfederkreise) mit max. z-Niveau nach Kapitel 10.1.2.1
- Fahrzeug auf drucklosen Luftfedern nach Kapitel 10.1.2.4 mit minimalem z-Niveau
- Fahrzeug im Störbetrieb bei drucklosem Bugluftfederkreis nach Kapitel 10.1.2.2 mit maximalem negativem Nickwinkel (Bugabsenkung)
- Fahrzeug im Störbetrieb bei drucklosem Heckluftfederkreis nach Kapitel 10.1.2.3 mit maximalem positivem Nickwinkel (Heckabsenkung)

Folgende Fälle sind zu untersuchen:

- Ein-/Ausfedern Wagenkasten durch einzelne Beladungszustände (Leergewicht, max. Gewicht nach Kapitel 6)
- Fahrzeug fährt auf Fahrweg mit vertikalem Radius R_{xz}
- Ein-/Ausfedern eines Wagenkastenendes durch Anfahren / Bremsen bei maximaler Beschleunigung / Verzögerung

Für die Fälle ist der Einfluss aus Seitenwind und Unsymmetrie γ_{0xz} zu berücksichtigen.

Zusätzlich ist durch den Hersteller der Fehlerfall „Absenken eines Wagenkastenendes durch Ausfall eines Luftfederkreises“ zu bewerten und eine ggf. notwendige betriebliche Zusatzmaßnahme zu definieren.

Bei allen Nachweisen ist ausschließlich die Endsektion zu betrachten. Durch die Nachweise werden die Mittelsektionen mit abgedeckt.

Die Eingabeparameter zur Ableitung der Nickwinkel und z-Verschiebungen des Wagenkastens sind unter Kapitel 9 angegeben. Abhängig von der Lastfallüberlagerung sind in dem Kapitel die zu berücksichtigende Daten wie anzusetzenden Beschleunigungen / Verzögerungen, Wagenkastenmassen und Unsymmetrien der Beladung angegeben.

7.3 Y-Verschiebung / Gieren Wagenkasten

Betrachtet wird das quasistatische Gieren des Wagenkastens aufgrund der Eigenschaften Sekundärfederung.

Die Querverschiebungen bzw. das Gieren Wagenkasten hängen von den Federungseigenschaften der Sekundärfederung (Schwerkraftpendel, Anordnung der y-Zusatzfedern) ab.

Kennzeichnende Größe: Querverschiebung y , Gierwinkel δ_{xy} (siehe Abbildung 9).

7.3.1 Begriffe zu y-Verschiebungen / Gieren Wagenkasten

7.3.1.1 Drehpunkt Gierbewegung

Der Drehpunkt liegt in der Sektionskupplung.

7.3.1.2 Geometrische Ausragung

Außermittigkeit eines Fahrzeugteils infolge Kurvenfahrt

Auf ein und derselben Seite der Fahrwegmitte wird unterstellt, dass alle Punkte des gleichen Wagenkastenquerschnitts die gleiche geometrische Ausragung haben (Betrachtung als Starrkörper).

7.3.1.3 Ausladung S

Außermittigkeit der Fahrzeugendquerschnitte infolge Kurvenfahrt.

7.3.1.4 Unsymmetrie δ_{0xy}

Unsymmetrie δ_{0xy} heißt der statische Gierwinkel des Wagenkastens bei geradem Fahrweg infolge Außermittigkeit der Belastung in Fahrzeuginnenrichtung. Der Einfluss wird über die Lage des Wagenkastenschwerpunktes berücksichtigt.

7.3.1.5 Querverschiebungen

Die Querverschiebung Wagenkasten setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

- Geometrische Verschiebung infolge der Fahrzeugstellung im Bogen und in der Gerade bei senkrecht zum Fahrweg stehender Fahrzeughochachse;
- Quasistatische Verschiebung y der Sekundärfederung;
- Quasistatische laterale Verschiebung der Schwebegestelle. Die Verschiebungen der Schwebegestelle werden unter Kapitel 8.1 bei der Kinematik Schwebegestell berücksichtigt.

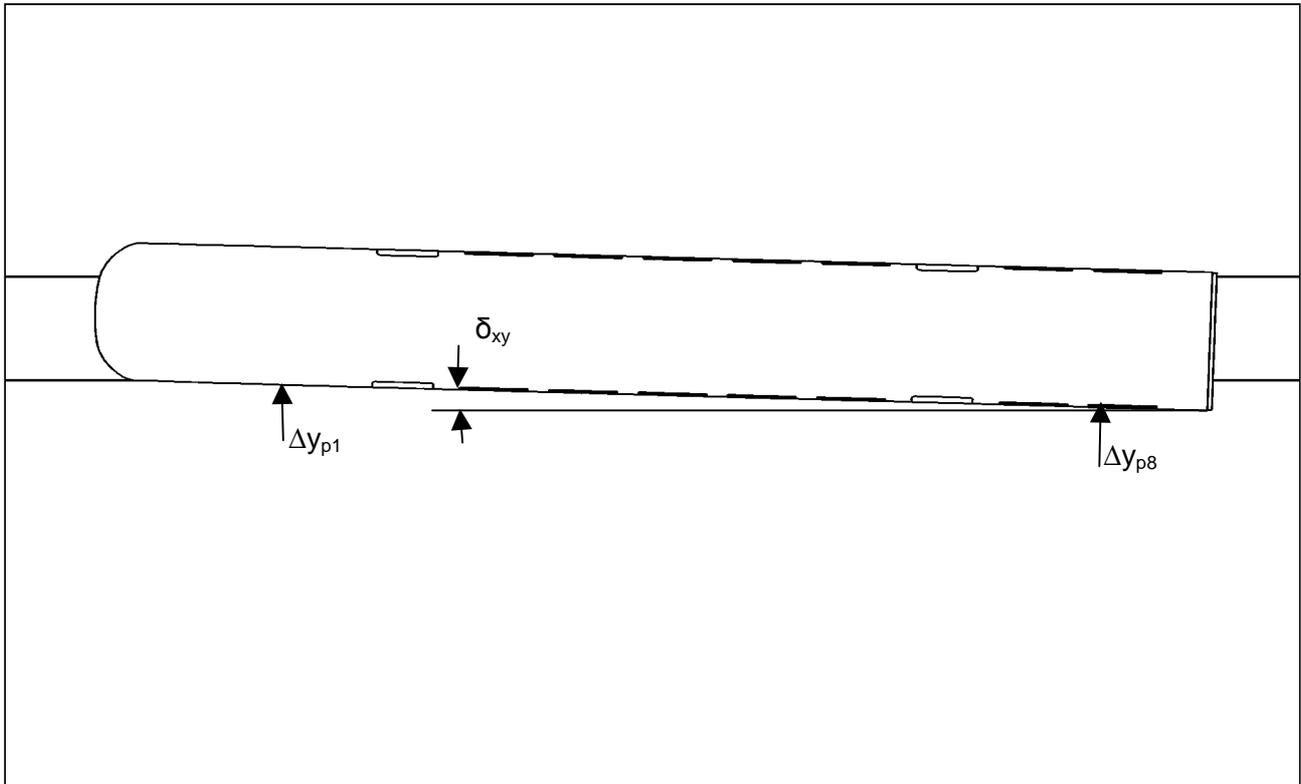


Abbildung 9: Fahrzeugkinematik - y-Verschiebungen / Gieren Wagenkasten

7.3.2 Zu untersuchende Lastfälle y-Verschiebung / Gieren

Die **Gierwinkel und y-Verschiebungen Wagenkasten** können nach Kapitel 10.1.3 berechnet werden.

Folgende Fälle sind zu untersuchen:

- Fahrzeug fährt auf Fahrweg mit Überhöhungsfehlbetrag – Verschiebung und Gieren durch Fliehkraft
- Fahrzeug fährt auf Fahrweg mit horizontalem Radius R_{xy} .

Für beide Fälle ist der Einfluss aus Seitenwind und Unsymmetrie δ_{0xy} zu berücksichtigen.

Die geometrische Ausragung und die Ausladung S bei Überlagerung aller Verschiebungen (Wagenkasten und Fahrwerk) können durch geeignete Berechnungsverfahren (z.B. CAD-Modelle) ermittelt werden.

Die Eingabeparameter zur Ableitung der Gierwinkel und y-Verschiebungen sind unter Kapitel 9 angegeben. Abhängig von der Lastfallüberlagerung sind in dem Kapitel die zu berücksichtigenden Daten wie Fahrwegtrassierung, anzusetzenden Querschleunigungen, Wagenkastenmassen, Unsymmetrien der Beladung und Seitenwindgeschwindigkeiten angegeben.

8 Kinematik zwischen Schwebegestell und Fahrweg

Die Ausführungen in den Unterkapiteln zu Kapitel 8 sind zu beachten.

8.1 Kinematische Freiheitsgrade Schwebegestell

Das berührungsfreie Tragen und Führen ermöglicht folgende Starrkörperfreiheitsgrade der Schwebestelle:

- *z-Verschiebung Schwebegestell durch Tragspaltregelung*
- *y-Verschiebung Schwebegestell durch Führspaltregelung (Spurmittenregelung)*
- *Rollen um die Längsachse infolge ungleicher Tragspalte links / rechts (ungleiche z-Verschiebungen)*
- *Nicken um die Querachse infolge ungleicher Tragspalte vorne / hinten (ungleiche z-Verschiebung)*
- *Gieren um die Hochachse infolge ungleicher Führspalte vorne / hinten (ungleiche y-Verschiebung)*

Bei Normalbetrieb ergeben sich die Relativbewegungen der Schwebestelle zum Fahrweg aus den dynamischen Spaltabweichungen an den Trag- und Führungsmagneten.

Bei Störungen im elektromagnetischen Trag-/Führsystem treten die maximalen Verschiebungen auf. Diese möglichen Bewegungen sind wie folgt eingegrenzt:

- *In z-Richtung nach oben durch die Minimalspaltüberwachung bzw. im Grenzfall durch Touchieren Tragmagnet an Stator, nach unten mechanisch durch die Tragkufe.*
- *In y-Richtung mechanisch durch den Spurkanal der Führungsmagnete (Anlaufen Führungsmagnet an Seitenführschiene).*

Die Trag- bzw. Führspalte werden an der Position der Spaltsensoren gemessen.

Folgende Betriebszustände müssen berücksichtigt werden:

- Geregelt absetzen des Gesamtfahrzeugs im Stand
- Normalbetrieb mit Tragspalt und Spurmittenregelung

Neben den Betriebszuständen sind folgende Sonderbetriebsfälle zu berücksichtigen:

- Absetzen einzelner Schweberrahmen nach Ausfall zweier zugeordneter Tragregelkreise (lokales mechanisches Tragen auf Tragkufe)
- Ausfall zweier zugeordneter Führungsmagnetregelkreise (lokales mechanisches Führen mit Führungsmagnet)
- Geregelt absetzen des Gesamtfahrzeugs aus niedriger Geschwindigkeit nach Zwangsbremmung mit Wirbelstrombremse
- Ungeregeltes einseitiges Absetzen bei Kurzschluss in der Antriebswicklung

8.2 Verschiebungen Schwebegestell

Nachfolgend werden die Luftspalte zwischen Schwebegestellen und Fahrweg abgeleitet.

Diese bestimmen die möglichen Verschiebungen der Schwebegestelle und deren Stellung zum Fahrweg.

8.2.1 Trag- und Tragkufenspalt

Im Nennzustand schwebt das Fahrzeug bei einem definierten Tragspalt s_0 . Eine Verschiebung des Fahrzeugs nach oben wird durch das Anliegen des Tragsmagnets an der Statorebene, nach unten durch das Berühren der Tragkufe mit der Gleitebene begrenzt.

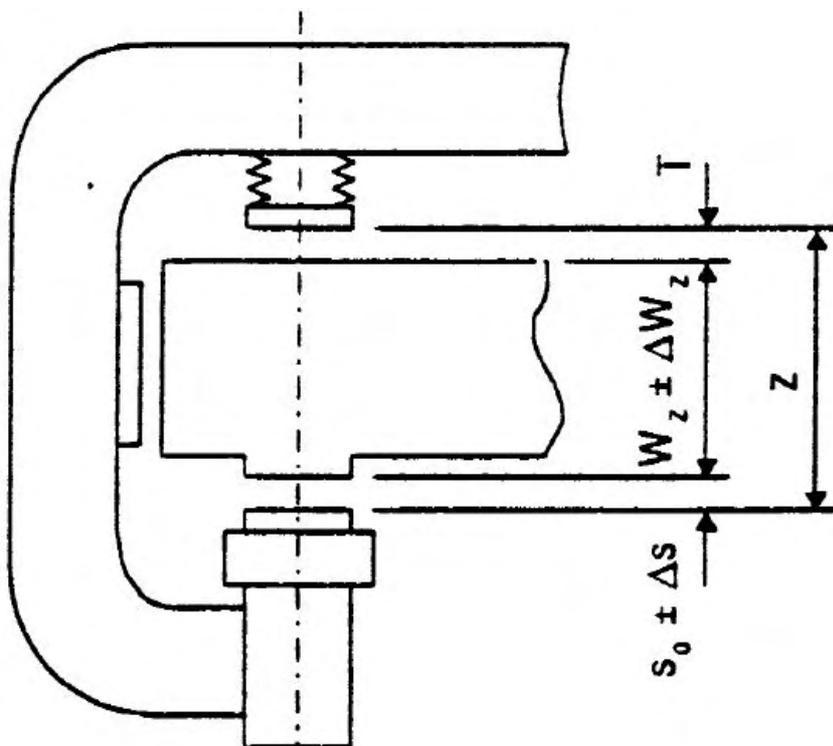


Abbildung 10: Fahrzeugkinematik - Spaltbilanz Tragen (z-Richtung)

Ausführungsgrundlage

Das **Ist-Zangenmaß des Fahrzeugs** zwischen Tragmagnetoberkante und Tragkufenunterkante berechnet sich bei Berücksichtigung des Kufenverschleißes ΔV allgemein zu

$$Z = Z_0 \pm \Delta z + \Delta f_z + \Delta V \quad \text{Gl. 1}$$

Die Toleranzen ΔW_z Fahrweg werden bei Nachweis der Begrenzungslinie 5.6 zu Null gesetzt.

Für das **schwebende Fahrzeug** ist bei Abweichung von der Nennlast die Ein-/Ausfederung des der Schwebestelle sowie der Tragmagnetanlenkung einzurechnen.

$$\Delta f_z = \Delta f_{zG} + \Delta f_{zTM} \quad \text{Gl. 2}$$

Für das **abgesetzte Fahrzeug** ist das Ausfedern der Schwebestelle und der Tragmagnetanlenkung sowie das Einfedern der Tragkufe zu berücksichtigen.

$$\Delta f_z = \Delta f_{zG} + \Delta f_{zTM} + \Delta f_{zTK} \quad \text{Gl. 3}$$

In den Bauunterlagen wird das schwebende Fahrzeug in Nennlage dargestellt.

$$\Delta f_z = 0$$

Der **Tragspalt** legt die maximale Verschiebung des Schweberahmens nach oben fest. Er ergibt sich bei Berücksichtigung der Tragdynamik nach

Abbildung 10 zu

$$s = s_0 \pm \Delta s \quad \text{Gl. 4}$$

Für die Untersuchungen entspricht der Spalt s_0 dem max. Verschiebungswert nach oben.

Der **Tragkufenspalt** legt die maximale Verschiebung des Schweberahmens nach unten fest. Er ergibt sich bei Berücksichtigung der Tragdynamik nach

Abbildung 10 zu

$$T = Z_0 + \Delta z + \Delta V - W_z - (s_0 \pm \Delta s) \quad \text{Gl. 5}$$

8.2.2 Führspalt

Im Nennzustand schwebt das Fahrzeug bei einem definierten Führspalt F . Eine laterale Verschiebung des Fahrzeugs wird in beiden Richtungen \pm durch das Anliegen Führungsmagnet an der Seitenführschiene des Fahrwegs begrenzt.

Die Spurweite des Fahrzeugs zwischen den Führungsmagneten beträgt bei Spurmittenregelung

$$Y = Y_0 \pm \Delta y - \Delta f_y \quad \text{Gl. 6}$$

Für das **schwebende Fahrzeug** kommt es bei Abweichung von der Nennlast zur Ein-/ Ausfederung der Schwebegestelle Δf_y . Dieser Wert ist in der Regel vernachlässigbar.

Der maximale Führspalt tritt bei mechanischem Führen auf. Der Führungsmagnet einer Schweberrahmenseite liegt an der Seitenführschiene an und ist kraftlos. Der gegenüberliegende Führungsmagnet ist kraftbelastet.

Die Fahrzeugspurweite beträgt dann

$$Y_A = Y_0 \pm \Delta y + \Delta P \quad \text{Gl. 7}$$

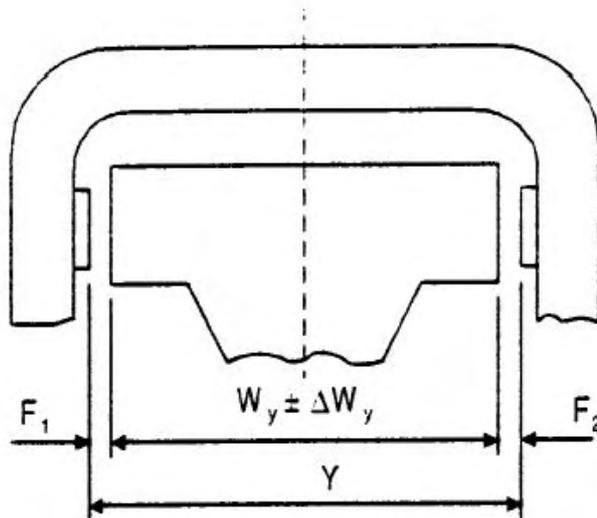


Abbildung 11: Fahrzeugkinematik - Spaltbilanz Führen (y-Richtung)

P stellt den maximalen Abrieb der Polleisten dar.

Da es sich um einen ungünstig spezifizierten Verschleißzustand handelt, ist der Verschleiß nicht für alle Führungsmagnete gleichzeitig anzusetzen. Daher wird der volle Verschleiß nur für eine Fahrzeugseite angesetzt.

$$\Delta P = P$$

Damit berechnet sich die Summe beider Führspalte zu

$$F_{A_{\max}} = Y_0 + \Delta y + P - W_y \quad \text{Gl. 8}$$

Die Toleranzen ΔW_y Fahrweg werden bei Nachweis der Begrenzungslinie 5.6 zu Null gesetzt.

Der Wert der Verschiebung des Schwebegestells aus der Nennlage heraus beträgt für die am Fahrweg anliegende Schweberrahmenseite

$$dy = F_{A_{\max}} - F$$

wobei F dem Nennspalt der Ausgangssituation entspricht.

Die Reduzierung der Führspalte bei Kurvenfahrt nach 10.2 kann bei Kurvenradien < 1000 m berücksichtigt werden.

8.3 Verdrehungen Schwebegestell

Die z- und y-Verschiebungen der Schwebegestelle (Trag- und Führspalt, Tragkufenspalt) bewirken Roll-, Nick- und Gierbewegungen des Schwebegestells.

Für die kinematische Begrenzungslinie Fahrzeug stellen sich die ungünstigen Wagenkastenpositionen bei Ansatz von Verschiebungen (Trag- und Führspalt) ein.

Die Verdrehungen Nicken und Gieren reduzieren die Verschiebungen Wagenkasten und müssen nicht betrachtet werden.

Das Rollen der Schwebegestelle muss berücksichtigt werden, da sich der Rollwinkel Fahrzeug vergrößert.

9 Nachweis der kinematischen Begrenzungslinie Fahrzeug

9.1 Führungsquerschnitte

Nachfolgende Ausführungen zur Behandlung der Führungsquerschnitte sind zu beachten:

Die Einstellung des Fahrzeugs zum Fahrweg wird über die Fahrzeugquerschnitte festgelegt.

MSB-Fahrzeuge verfügen über 4 Schwebegestelle je Sektion.

Für den Nachweis der kinematischen Begrenzungslinie werden die Führungsquerschnitte in das erste und letzte Schwebegestell gelegt.

Die Positionierung des Wagenkastens zu den beiden Schwebegestellen erfolgt über die Lage der Anlenkkonsolen der x-Anlenkung Wagenkasten (x- und y-Position Mitte Schwebegestell, y-Position Mitte Wagenkasten).

Die Stellung der beiden mittleren Schwebegestelle ist für diese definierte Wagenkastenposition zu prüfen.

Die beiden mittleren Gestelle stehen sowohl zum Fahrweg als auch zum Wagenkasten in einer festen Beziehung. Fahrwegseitig über die Trag- und Führspalte, wagenkastenseitig über die Pendel (y- und z-Wege).

Kommt es infolge dieser Gestelle zu einer geometrischen Zwangsbedingung, so ist die Stellung des Wagenkastens zu korrigieren, ansonsten bleiben die mittleren Schwebegestelle unberücksichtigt.

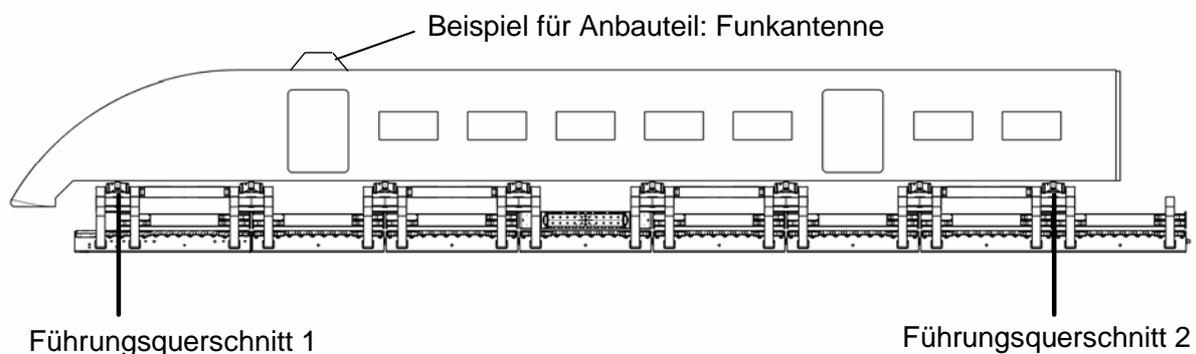


Abbildung 12: Positionierung Fahrzeug auf Fahrweg

9.2 Zu betrachtende Lastfälle / Geometrischen Situationen

Als Mindestanforderung müssen die Betriebslastfälle gem. Kapitel 9.2.1 nachgewiesen werden.

Die Sonderbetriebsfälle, siehe Kapitel 9.2.2 müssen durch den Hersteller bezüglich möglicher Auswirkungen untersucht werden. Ggf. notwendige betriebliche Maßnahmen müssen benannt und mit dem Betreiber und der Genehmigungsbehörde abgestimmt und festgelegt werden.

9.2.1 Betriebslastfälle

Die folgende Tabelle enthält die zu betrachtenden Lastfallkombinationen A bis D des fahrenden Zuges. Zusätzlich ist der Tabelle zu entnehmen, welche Einwirkungen bei der Ermittlung der Fahrzeugkinematik überlagert werden. Die für den Nachweis der kinematischen Begrenzungslinie in Instandhaltungsanlagen zu beachtenden Einwirkungen sind mit dem Betreiber abzustimmen.

Betriebsfälle Fahrzeugkinematik	Fall			
	A	B	C	D
Massenkräfte aus:				
• Leergewicht		X		X
• Maximale betriebliche Zuladung (1,3 fache maximale Nutzlast)	X		X	
• Maximale Verzögerung / Beschleunigung a_x	X	X	X	X
• Maximale Seitenbeschleunigung a_y	X	X		
• Maximale Vertikalbeschleunigung aus Wanne / Kuppe a_z			X	X
• Unsymmetrie der Zuladung	X		X	
Trassierung				
• Fahrzeug in der Kurve	X	X		
• Fahrzeug in der Geraden, Wanne / Kuppe incl. Fahrdynamik			X	X
Seitenwind				
• Betrieblich dauernd wirkender Seitenwind	X	X	X	X

Tabelle 1: Betriebsfälle Fahrzeugkinematik

Die anzusetzenden Werte für Windgeschwindigkeiten, Gewichte und Trassierung, sowie die Unsymmetrie der Zuladung sind projektspezifisch festzulegen. Die Lastfallüberlagerung kann ebenfalls projektspezifisch abweichend festgelegt werden.

Werden projektspezifisch keine abweichenden Vereinbarungen getroffen, gelten folgende Werte:

- Trassierungsparameter nach Kapitel 5.5
Die anzusetzende Fahrdynamik Wagenkasten aus Fahrwegfolgen beträgt $\Delta z = \pm 10\text{mm}$ (Erfahrungswert).
- Betrieblicher Seitenwind $v_w = 10\text{ m/s}$.

- Da die maximalen **Schwebegestellverschiebungen** nicht von Federungseigenschaften abhängen, wird konservativ eine „Extremstellung“ des ersten Schwebegestells (Führungsquerschnitt Bug der Sektion nach Kapitel 9.1) bei gleichzeitiger Nennlage des zweiten Schwebegestells (Führungsquerschnitt Heck der Sektion nach Kapitel 9.1) angenommen. Diese Vorgehensweise ist sinnvoll, da nur das erste bzw. letzte Schwebegestell betrachtet wird und die beiden dazwischen liegenden mittleren Schwebegestelle unberücksichtigt bleiben. Bei Berücksichtigung dieser dazwischen liegenden mittleren Gestelle ergeben sich kleinere Nick- und Gierwinkel.

Schwebegestellposition Führungsquerschnitt Bug:

Die Führungsmagnete der Führungsquerschnitte liegen bei Kurvenfahrt kurveninnenseitig an, der betrieblich zulässige Verschleiß der Polleisten wird berücksichtigt.

Für die z-Lage der Schweberahmen werden zwei Fälle unterschieden:

- a) der Tragsmagnet des ersten Gestells liegt an der Fahrwegunterkante an (Maximales Nicken Wagenkasten infolge Schwebegestellverschiebungen nach oben)
- b) die Tragkufe des ersten Gestells liegt unter Ansatz der statischen Einfederung und des zulässigen betrieblichen Verschleißes auf der Gleitleiste (Maximales Nicken Wagenkasten infolge Schwebegestellverschiebungen nach unten)

Schwebegestellposition Führungsquerschnitt Heck:

Nennmaße für Trag-, Führ- und Kufenspalte.

- Beispiele für die Spaltmaße:

Tragspalt	10 mm
Führspalt	11 mm
Tragkufenspalt	16 mm.

- Beispiele für Verschleißwerte:

Für die Tragkufenbeläge und Polleisten wird der betriebliche Verschleiß, nicht der maximal mögliche Verschleiß angesetzt. Die Verschleißparameter sind projektspezifisch festzulegen.

Kufenbeläge:

CFC:	1,5 mm
GKB 5:	5 mm
Polleisten Führungsmagnet:	1,0 mm.

9.2.2 Sonderbetriebsfälle

Im Rahmen der Untersuchung von Störfällen sollten folgende Fälle durch den Hersteller bewertet werden. Die Fälle werden nicht mit anderen Lastfällen überlagert. Worst case Lastfälle: Störfälle im Sinne einer Grenzbetrachtung, die von ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit her vernachlässigbar sind:

- Ausfall einzelner Luftfederkreise
- Wagenkasten auf Absetzfedern (leere Luftfedern)

Sonderlastfälle: spezifizierte Sonderbetriebsfälle:

- Maximaler Seitenwind 37 m/s
- maximale Wagenkastenzuladung (Evakuierungsfall)
- einseitig ungeregeltes Absetzen bei Wicklungskurzschluss
- maximaler Tragkufenverschleiß

Der maximale Verschleiß darf nur bei dem als Sonderbetriebsfall geltenden mechanischen Tragen eines Schweberrahmens bis zu einem projektspezifisch festzulegenden Halteplatz (s. auch /MSB AG-BLT/, Kapitel 6.3.3.1) ausgenutzt werden. Nach Eintreten dieses Ereignisses wird eine Instandhaltungsmaßnahme durchgeführt.

Die Schwebegestelle (Führungsquerschnitte) sind in Nennlage anzuordnen.

10 Anhang (informativ)

10.1 Ableitung der kinematischen Freiheitsgrade Wagenkasten

10.1.1 Rollwinkel Wagenkasten

Die Pendelkräfte ΔF_{pz} aus y-Wagenkastenkräften F_{yWK} berechnen sich zu

$$\Delta F_{pz} = 0,5 \cdot F_{yWK} \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{y_p} \quad \text{Gl. 9}$$

mit $F_{yWK} = F_{ySW} + F_{mWKy}$ Gl. 10

$F_{mWKy} = m_{WK} \cdot a_y$ Gl. 11

Der Rollwinkel Wagenkasten aus Seitenwind- und Fliehkraft η_{yzFy} ergibt sich zu

$$\eta_{yzFy} = \frac{M_T}{c_{\eta WK}} = \frac{2 \cdot \Delta F_{pz} \cdot y_p}{c_{\eta WK}} = F_{yWK} \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{c_{\eta WK}}$$

$$\eta_{yzFy} = (m_{WK} \cdot a_y + F_{ySW}) \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{c_{\eta WK}} \quad \text{Gl. 12}$$

Der Rollwinkel Wagenkasten aus Fahrwegüberhöhung $\eta_{yz\alpha'}$ ergibt sich mit dem Rollmoment $M_{T\alpha'}$

$$M_{T\alpha'} = (z_{sWK} - z_C) \cdot \sin \alpha' \cdot F_{mWKz}$$

mit $F_{mWKz} = m_{WK} \cdot a_z$ z-Massenkraft Wagenkasten

$$\eta_{yz\alpha'} = \frac{M_T}{c_{\eta WK}} = F_{mWKz} \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{c_{\eta WK}} \cdot \sin \alpha'$$

$$\eta_{yz\alpha'} = \frac{M_T}{c_{\eta WK}} = m_{WK} \cdot a_z \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{c_{\eta WK}} \cdot \sin \alpha' \quad \text{Gl. 13}$$

10.1.2 z-Verschiebungen und Nickwinkel Wagenkasten

10.1.2.1 Aktive Luftfederung

Die folgende Ableitung der z-Pendelkräfte erfolgt für ein 3 Sektionenfahrzeug unter dem Ansatz der 5 + 3 Luftfederverschaltung der Endsektion. Da für die Untersuchung die Endsektion relevant ist, spielt die Anzahl der Sektionen keine Rolle. Eine Änderung der Luftfederverschaltung erfordert eine Anpassung der Gleichungen.

Ein Wagenkasten wird statisch bestimmt über zwei Luftfederkreise abgestützt. Dabei werden die Schweberahmen 1 bis 5 der Endsektion (Bug) durch den Luftfederkreis 1, die Schweberahmen 6 bis 8 der Endsektion und Schweberahmen 1 – 4 der Mittelsektion über den Luftfederkreis 2 versorgt. Die Luftfedern eines Kreises verfügen über den gleichen Druck p_1 bzw. p_2 mit den Pendelkräften F_{pzLF1} (Luftfederkreis 1) und F_{pzLF2} (Luftfederkreis2).

Die Pendelkraft des ersten Schweberahmens beträgt aufgrund der eingebauten Luftfeder

$$F_{p1z} = 0,5 \cdot F_{pzLF1} \quad \text{Bug Schweberahmen} \quad \text{Gl. 14}$$

Die restlichen Pendelkräfte ergeben sich zu

$$F_{piz} = F_{pzLF1} \quad i = 2,5 \text{ Endsektion} \quad \text{Gl. 15}$$

$$F_{piz} = F_{pzLF2} \quad i = 6,8 \text{ Endsektion} \quad \text{Gl. 16}$$

$$F_{piz} = F_{pzLF2} \quad i = 1,4 \text{ Mittelsektion} \quad \text{Gl. 17}$$

Die Pendelkräfte F_{pzLF1} und F_{pzLF2} sowie die Kupplungskraft F_{Kz} berechnen sich über das z.B. mittels Determinanten zu lösende Gleichungssystem.

$$A \cdot \bar{x} = b \quad \text{zu}$$

$$\begin{bmatrix} 18 & 28 & 0 \\ 9 & 6 & 1 \\ 9x_{s1} & 6x_{s2} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{pzLF1} \\ F_{pzLF2} \\ F_{Kz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \cdot F_{zWKE} + F_{zWKM} \\ F_{zWKE} \\ F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE} \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 18}$$

10.1.2.2 Bugluftfederkreis drucklos

Bei drucklosem Bugluftfederkreis stützt sich der Wagenkasten Endsektion auf die den Schweberrahmen 1 bis 5 über die Absetzfedern ab.

Für die Ableitung der Pendelkräfte und den Nickwinkel wird unterstellt, dass die restlichen Pendelasten über die Luftfederung abgestützt werden.

Die auf die Pendelachse bezogenen Kräfte der Absetzfedern betragen

$$F_{piZE} = c_{piE} \cdot z_{piE}$$

Mit dem Abstand x_{NiE} der Absetzfeder zum angenommenen Nickdrehpunkt des Wagenkastens (Niveaumesspunkt des benachbarten Luftfederkreises) ergibt sich für den Nickwinkel η eine Einfederung der Absetzfedern von

$$z_{piE} = \tan \eta \cdot x_{NiE} \quad \text{Gl. 19}$$

Die Pendelkräfte berechnen sich zu

$$F_{piZE1} = c_{piE} \cdot z_{piE} \quad i = 1,5 \text{ Endsektion 1 (Bugluftfederkreis drucklos)} \quad \text{Gl. 20}$$

$$F_{piZE1} = F_{pzLF2} \quad i = 6,8 \text{ Endsektion 1} \quad \text{Gl. 21}$$

$$F_{piZE1} = F_{pzLF2} \quad i = 1,4 \text{ Mittelsektion} \quad \text{Gl. 22}$$

$$F_{piZE2} = 0,5 \cdot F_{pzLF1} \quad \text{Bugschweberahmen Endsektion 2} \quad \text{Gl. 23}$$

$$F_{piZE2} = F_{pzLF1} \quad i = 2,5 \text{ Endsektion 2} \quad \text{Gl. 24}$$

Der Nickwinkel η , die Luftfederkreiskräfte F_{pzLF1} und F_{pzLF2} sowie die Kupplungskräfte F_{Kz1} (Endsektion 1) und F_{Kz2} (Endsektion 2) ergeben sich durch Lösen des folgenden Gleichungssystems:

$$A \cdot \bar{x} = \bar{b} \text{ zu}$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^5 (c_{piE} \cdot x_{NiE}) & 9 & 28 & 0 & 0 \\ \sum_{i=1}^5 (c_{piE} \cdot x_{NiE}) \cdot x_{iE} & 0 & 6 \cdot x_{s2} & 0 & 0 \\ \sum_{i=1}^5 (c_{piE} \cdot x_{NiE}) & 0 & 6 & 1 & 0 \\ 0 & 9 & 6 & 0 & 1 \\ 0 & 9 \cdot x_{s1} & 6 \cdot x_{s2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tan \eta \\ F_{pzLF1} \\ F_{pzLF2} \\ F_{Kz1} \\ F_{Kz1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \cdot F_{zWKE} + F_{zWKM} \\ F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE} \\ F_{zWKE} \\ F_{zWKE} \\ F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE} \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 25}$$

Für nichtlineare Kennlinien c_{iE} bzw. c_{piE} muss die Lösung des Gleichungssystems ggf. iterativ erfolgen.

10.1.2.3 Luftfederkreis Sektionsübergang E/M drucklos

Bei drucklosem Luftfederkreis am Sektionsübergang E/M stützt sich der Wagenkasten Endsektion auf die Schweberahmen 1 bis 5 über die Luftfedern des Bugluftfederkreises und die Absetzfedern der Schweberahmen 6 bis 8 ab.

Für die Ableitung der Pendelkräfte und den Nickwinkel wird nur die Endsektion betrachtet, d.h. die Stützwirkung der Mittelsektion bleibt unberücksichtigt. Der Niveaufassungspunkt (z-Verschiebung Null) befindet sich am Schweberahmen 2. Dieser Punkt ist zugleich Drehpunkt.

Die auf die Pendelachse bezogenen Kräfte der Absetzfedern betragen

$$F_{pizE} = c_{piE} \cdot z_{piE}$$

Mit dem Abstand x_{NiE} der Absetzfeder zum angenommenen Nickdrehpunkt des Wagenkastens (Niveaumesspunkt des Bugluftfederkreises) ergibt sich für den Nickwinkel η eine Einfederung der Absetzfedern von

$$z_{piE} = \tan \eta \cdot x_{NiE} \quad \text{Gl. 26}$$

Die Pendelkräfte berechnen sich zu

$$F_{p1z} = 0,5 \cdot F_{pzLF1} \quad \text{Bugschweberahmen} \quad \text{Gl. 27}$$

$$F_{piz} = F_{pzLF1} \quad i = 2,5 \text{ Schweberahmen 2 bis 5} \quad \text{Gl. 28}$$

$$F_{pizE1} = c_{piE} \cdot z_{piE} \quad i = 6,8 \text{ (Luftfederkreis 2 drucklos)} \quad \text{Gl. 29}$$

Der Nickwinkel η und die Luftfederkreiskräfte F_{pzLF1} ergeben sich durch Lösen des folgenden Gleichungssystems:

$$A \cdot \bar{x} = b \text{ zu} \quad \text{Gl. 30}$$

$$\begin{bmatrix} 9 & \sum_{i=6}^8 [c_{iE} \cdot (x_{2E} - x_{iE})] \\ 9 \cdot x_{s1} & \sum_{i=6}^8 [c_{iE} \cdot (x_{iE} \cdot x_{2E} - x_{iE}^2)] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{pzLF1} \\ \tan \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{zWKE} \\ F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE} \end{bmatrix}$$

10.1.2.4 Alle Luftfederkreise drucklos - Abstützung auf Absetzfedern

Bei drucklosen Luftfedern stützt sich der Wagenkasten ausschließlich auf die Absetzfedern ab. Die auf die Pendelachse bezogenen Kräfte der Absetzfedern betragen

$$F_{\text{pizE}} = c_{\text{piE}} \cdot z_{\text{piE}}$$

Der Nickdrehpunkt Wagenkasten liegt in der Sektionskupplung. Mit der Verschiebung z_0 der Sektionskupplung ergeben sich für die z-Wege der Absetzfedern folgende Werte

$$z_{\text{piE}} = z_K + \Delta z_{\text{piE}} \quad \text{Gl. 31}$$

und mit dem Abstand x_{iE} der Absetzfeder zur Sektionskupplung der Nickwinkel η zu

$$\eta = \arctan \frac{z_{\text{piE}}}{x_{iE}} \quad \text{Gl. 32}$$

Die Pendelkräfte berechnen sich zu

$$F_{\text{pizE1}} = c_{\text{piE}} \cdot z_{\text{piE}} \quad \text{Endsektion} \quad \text{Gl. 33}$$

Der Nickwinkel η und die statische Grundeinfederung z_K ergeben sich aus folgendem Gleichungssystem:

$$A \cdot \bar{x} = b \quad \text{zu}$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^8 c_{\text{piE}} + \sum_{i=1}^4 c_{\text{piM}} & \sum_{i=1}^8 (c_{\text{piE}} \cdot x_{iE}) \\ \sum_{i=1}^8 (c_{\text{piE}} \cdot x_{iE}) & \sum_{i=1}^8 (c_{\text{piE}} \cdot x_{iE}^2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_0 \\ \tan \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5F_{zWKE} + 0,25F_{zWKM} \\ 0,5(F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE}) \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 34}$$

10.1.3 y-Verschiebungen und Gierwinkel Wagenkasten

Analog zu den z-Pendellasten und dem Nickwinkel lassen sich die y-Pendellasten und der Gierwinkel Wagenkasten ableiten. Es wird ebenfalls eine 5 + 3 Luftfederverschaltung der Endsektion zugrunde gelegt.

Parallel zu den Pendeln sind an den Schweberahmen 2 und 3 sowie 6 und 7 y-Zusatzfedern angeordnet.

Wie bereits erwähnt, erfordert die Änderung der Luftfederverschaltung bzw. der Anordnung der y-Zusatzfedern eine Anpassung der Gleichungen.

Die statische Grundverschiebung in lateraler Richtung beträgt y_0 , diese entspricht der y-Verschiebung der Sektionskupplung y_K .

Die y-Zusatzverschiebung aus Gieren Δy_i für die Schweberahmen $i = 1,8$ resultiert aus dem Gierwinkel δ_{xy}

$$\tan \delta_{xy} = \frac{\Delta y_i}{x_{ZF_i}} \quad \text{Gl. 35}$$

Die y-Verschiebung der Angriffspunkte Pendel der Endsektion beträgt

$$y_{pi} = y_K + \Delta y_i \quad \text{mit } i = 1,8 \quad \text{Gl. 36}$$

Die Pendelkräfte berechnen sich zu

$$F_{piy} = \frac{y_{pi}}{l_p} \cdot F_{piz} \quad i = 1,8 \quad \text{Gl. 37}$$

Die Kräfte an der y-Zusatzfeder erhält man aus der Beziehung

$$F_{ZFiy} = c_{ZF} \cdot y_{pi} \quad \text{Gl. 38}$$

Der Gierwinkel δ_{xy} und die statische Grundeinfederung y_K ergeben sich aus folgendem Gleichungssystem:

$A \cdot \bar{x} = b$ mit

$$f_1 = 2 \sum_{i=1}^8 (F_{pizE} \cdot \frac{x_{iE}}{l_p}) + c_{ZF} \cdot (x_{2E} + x_{3E} + x_{6E} + x_{7E})$$

$$f_2 = 2 \sum_{i=1}^8 (F_{pizE} \cdot \frac{x_{iE}^2}{l_p}) + c_{ZF} \cdot (x_{2E}^2 + x_{3E}^2 + x_{6E}^2 + x_{7E}^2)$$

$$f_3 = \frac{2}{l_p} \sum_{i=1}^8 F_{pizE} + \frac{2}{l_p} \sum_{i=1}^4 F_{pizM} + 6 c_{ZF}$$

$$f_4 = \frac{2}{l_p} \sum_{i=1}^8 (F_{pizE} \cdot x_{iE} + c_{ZF} + x_{2E} \cdot (x_{2E} + x_{3E} + x_{6E} + x_{7E}))$$

$$\begin{bmatrix} f_1 & f_2 \\ f_3 & f_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_0 \\ \tan \delta_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{yWKE} \cdot x_{sE} + F_{ySWE} \cdot x_{SWE} \\ F_{yWKE} + 0,5F_{yWKM} + F_{ySWE} + 0,5F_{ySWM} \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 39}$$

10.2 Führspaltkorrektur bei gekrümmtem Fahrweg

Bei gekrümmtem Fahrweg ergeben sich aufgrund der Seitenführschienenkrümmung über die Magnetlänge ortsabhängige Abweichungen des realen Luftspalts vom Sollspalt. Die Größe dieser Abweichung ist abhängig vom Kurvenradius R und von der Lage der Spaltsensoren (Abstand d). Die Fahrwegkrümmung reduziert den freien Luftspalt. Nach Abbildung 13 liegt an der Messposition der Spaltsensoren der Sollluftspalt vor, zwischen den Sensoren wird der Luftspalt um Δs_1 reduziert, am Magnetende um Δs_2 erhöht. Relevant ist der Spalt Δs_1 .

Der Summenspalt bei Kurvenfahrt beträgt

$$F_R = \Delta s_1 + \Delta s_2 \quad \text{Gl. 40}$$

$$F_R = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{L_{FM}}{2}\right)^2} \quad \text{Gl. 41}$$

Die Spaltdifferenz in Führungsmagnetmitte berechnet sich zu

$$\Delta s_1 = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}, \quad \text{Gl. 42}$$

die Spaltdifferenz am Führungsmagnetende zu

$$\Delta s_2 = F_R - \Delta s_1 \quad \text{Gl. 43}$$

Korrekturwerte für eine ausgeführte Magnetlänge $L_{TM} = 3050$ mm und einem Sensorabstand von ca. 2300 mm.

Radius [m]	F_R [mm]	Δs_1 [mm]	Δs_2 [mm]
350	3,3	1,8	1,5
1000	1,2	0,7	0,5
2000	0,6	0,3	0,3
Gerade	0	0	0

Tabelle 2: Einfluss Kurvenradius auf Führmagnetluftspalt

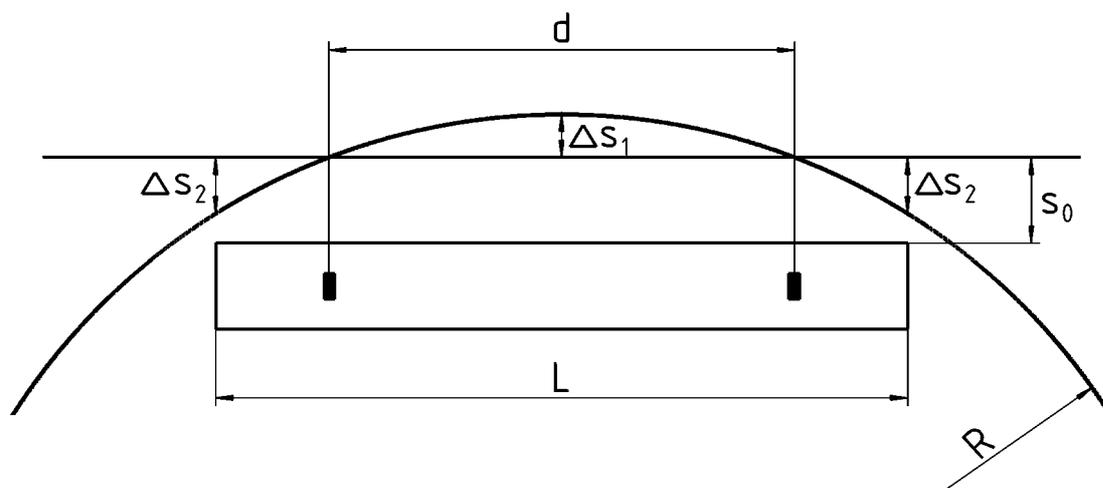


Abbildung 13: Führspaltkorrektur bei Kurvenfahrt

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Fahrzeug Teil IV Trag- / Führtechnik

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Fahrzeug zur Veröffentlichung freigegeben.

2 **Änderungsübersicht**

Datum der Freigabe: 15.02.2007; Weißdruck, Fachausschuss Fahrzeug.

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler.....	2
2	Änderungsübersicht	3
3	Inhaltsverzeichnis.....	4
4	Allgemeines	7
4.1	Zweck und Anwendungsbereich	7
4.2	Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen.....	7
4.3	Abkürzungen und Definitionen.....	8
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien.....	8
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen	8
5	Definitionen (fahrzeugspezifisch).....	9
6	Generelle Anforderungen an die Trag- / Führtechnik.....	12
6.1	Funktion	12
6.2	Bemessung	12
6.3	Sicherheitsanforderungen.....	13
6.3.1	Allgemeines	13
6.3.2	Anforderungen an die Bordenergieversorgung.....	13
6.3.3	Anforderungen an die Ausführung eines Absetzbefehles.....	15
6.3.4	Systematische Fehler in den Magnetregleinrichtungen	15
6.3.5	Erhalt der sicherheitsrelevanten Eigenschaft von Magnetregelkreisen	15
6.3.6	Blitzübertritt	16
6.3.7	ESD.....	16
7	Anforderungen an die Baugruppen des Trag- / Führsystems	17
7.1	Strukturbaugruppen des Trag- / Führsystems	17
7.1.1	Gestellstruktur und Gestellverkleidung	17
7.1.2	Wagenkastenanlenkung / Sekundärfederung.....	17
7.1.3	Magnetanlenkung.....	19
7.1.4	Tragkufe.....	19
7.2	Funktionsbaugruppen des Trag- / Führsystems	20
7.2.1	Tragfunktion	20
7.2.2	Führfunktion	22
7.2.3	Bordenergieversorgung.....	23
7.2.4	Sicherheitsrelevante Steuerung / Überwachung.....	25
8	Einwirkungen des Trag- / Führsystems auf den Fahrweg.....	26

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

8.1	Allgemein	26
8.2	Einwirkungsarten und Einwirkungskombinationen.....	26
8.3	Charakteristische Werte und Lastbilder	27
8.3.1	Allgemeines	27
8.3.2	Eigengewicht und Nutzlast des Fahrzeugs	28
8.3.3	Quasistatische Lasten aus Fahrdynamik	29
8.3.4	Quasistatische Lasten aus Seitenwind (ohne Auftrieb).....	29
8.3.5	Quasistatische Lasten aus Rückstellkräften bei kleinem Kurvenradius	30
8.3.6	Lasten aus Antreiben und Bremsen mit dem Langstator	31
8.3.7	Maximale Lasten an der Nahtstelle Tragmagnet – Statorpaket	32
8.3.8	Maximale Lasten an der Nahtstelle Führungsmagnet – Seitenführschiene.....	35
8.3.9	Maximale Lasten an der Nahtstelle Tragkufe – Gleitebene	38

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Seitenansicht und Querschnitt (Prinzipdarstellung).....	9
Abb. 2: Magnetmodul (Ausführungsbeispiel)	10
Abb. 3: Trag- / Führungsmagnet (Ausführungsbeispiel).....	10
Abb. 4: Tragkufe (Ausführungsbeispiel).....	11
Abb. 5: Typische Verlauf von stat $p_z \pm \Delta$ stat p_z	28
Abb. 6: Typischer Verlauf von $p_{y, SW}$ bei $v_{Fzg} = 400$ km/h und $SW = 37$ m/s.....	30
Abb. 7: Typischer Verlauf von $p_{y, ZWIG}$	31
Abb. 8: Typisches Lastbild Tragmagnet ohne technische Störungen und Ausfälle (Beispiel)	33
Abb. 9: Typisches Lastbild Tragmagnet bei Ausfall Magnetregelkreis Tragen (Beispiel)	34
Abb. 10: Typische Lastbilder von Führungsmagneten (Beispiel)	37
Abb. 11: Lastbilder Tragkufe (Beispiel).....	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenstellung der Beladungszustände des Fahrzeugs	27
Tabelle 2: Charakteristische statische Streckenlasten des Fahrzeugs (gemittelt).....	28
Tabelle 3: Einwirkungen infolge Seitenwind auf Fahrzeug	29
Tabelle 4: Maximale lokale Zwangskraft.....	30
Tabelle 5: Antriebs- / Bremskräfte mit dem Langstator.....	31
Tabelle 6: Maximale Tragmagnetlasten.....	32
Tabelle 7: Maximale Streckenlasten	35
Tabelle 8: Maximale Stoßkraft	36
Tabelle 9: Maximale Tragkufenkräfte.....	38

4 Allgemeines

4.1 Zweck und Anwendungsbereich

Die vorliegende „Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug Teil IV - Trag- / Führtechnik“ legt die Anforderungen an die Trag- / Führtechnik der MSB-Fahrzeuge projektunabhängig fest.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

Der Teil IV ist bei der Spezifikation, Ausführung und Nachweisführung des Trag-/Führsystems von MSB-Fahrzeugen anzuwenden und umfasst:

- Definition des Trag- / Führsystems,
- Anforderungen an die Funktionen des Trag- / Führsystems,
- Einwirkungen des Trag- / Führsystems auf den Fahrweg.

4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentationsbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordnete Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, mit den Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

Die Dokumentation zum Fahrzeug beinhaltet folgende Unterlagen:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil I: Generelle Anforderungen, Dok.-Nr: 67698, /MSB AG-FZ GEN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil II: Bemessung, Dok.-Nr: 67694, /MSB AG-FZ BEM/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil III: Kinematische Begrenzungslinie, Dok.-Nr: 67650, /MSB AG-FZ KIN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil IV: Trag- /Führtechnik, Dok.-Nr: 73388, /MSB AG-FZ TRAFÜ/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil V: Bremstechnik, Dok.-Nr: 73389, /MSB AG-FZ BREMS/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

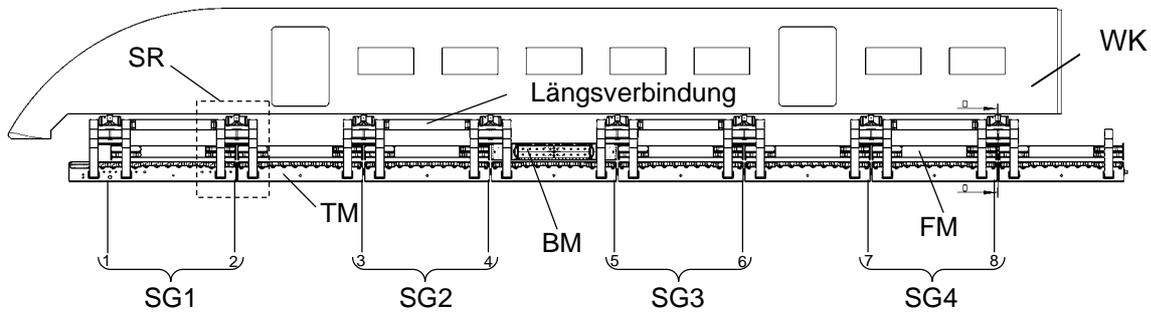
In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokuments sind

- Anforderungen in Standard-Schrift,
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in Kursiv-Schrift

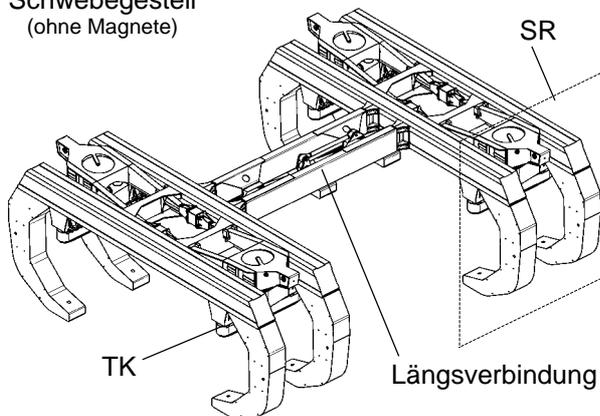
gekennzeichnet.

Werden in diesem Dokument Hinweise auf projektspezifische Regelungen im Einzelfall gegeben, bedeutet dies, dass eine Vereinbarung zwischen Hersteller und Unternehmer (*z.B. in einem Lastenheft bzw. einer vertraglichen Regelung*) unter Hinzuziehung der Genehmigungsbehörde zu treffen ist.

5 Definitionen (fahrzeugspezifisch)



Schwebegestell
(ohne Magnete)



- SG = Schwebegestell
- SR = Schweberrahmen
(2 Gestellbügel + Verbindungsteile)
- TM = Tragmagnet
- FM = Führungsmagnet
- TK = Tragkufe
- WK = Wagenkasten

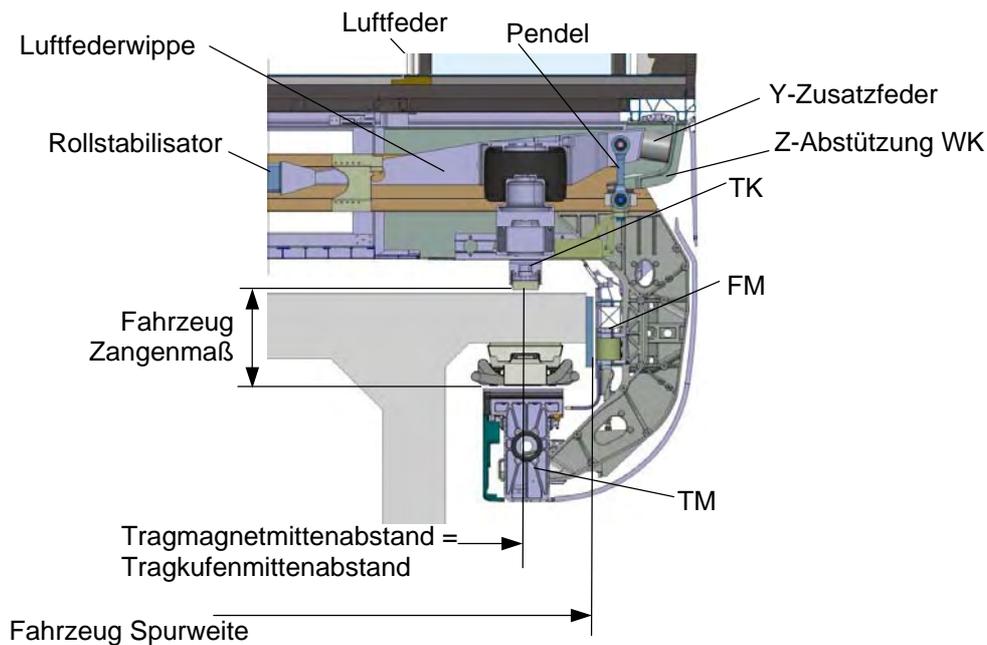


Abb. 1: Seitenansicht und Querschnitt (Prinzipdarstellung)

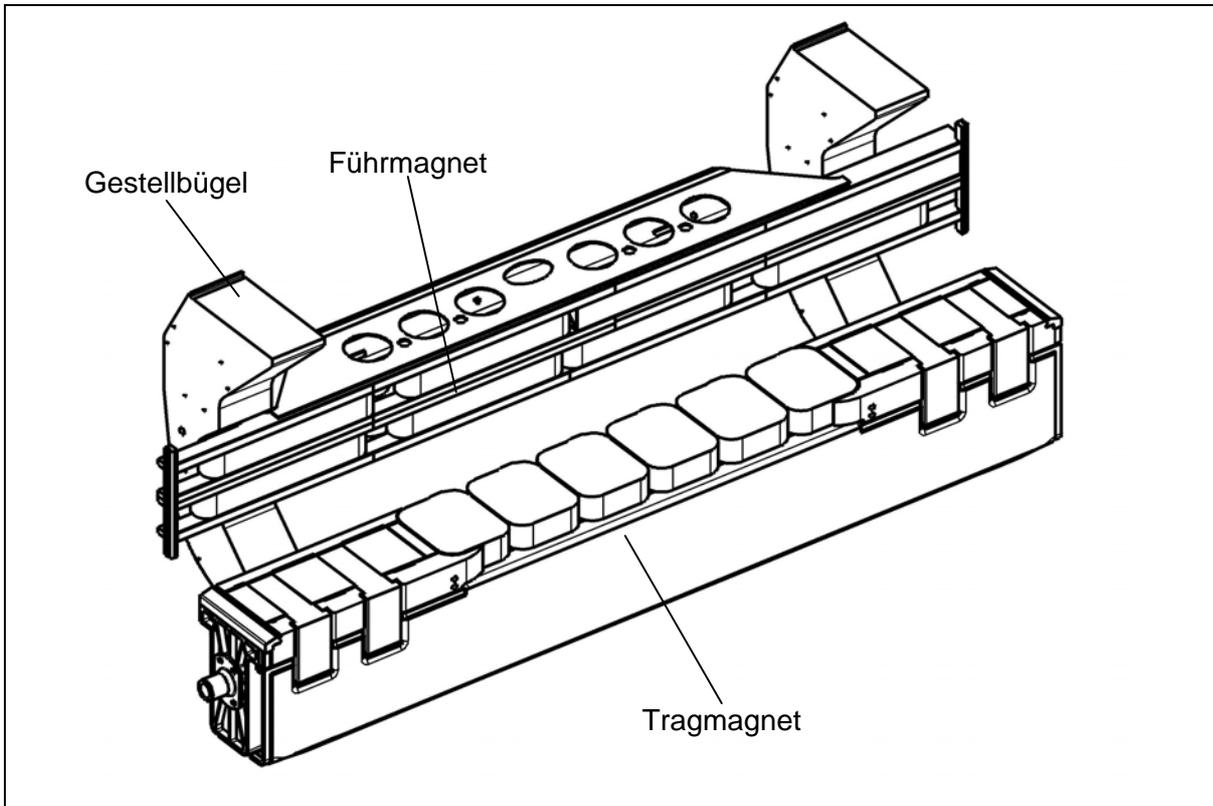


Abb. 2: Magnetmodul (Ausführungsbeispiel)

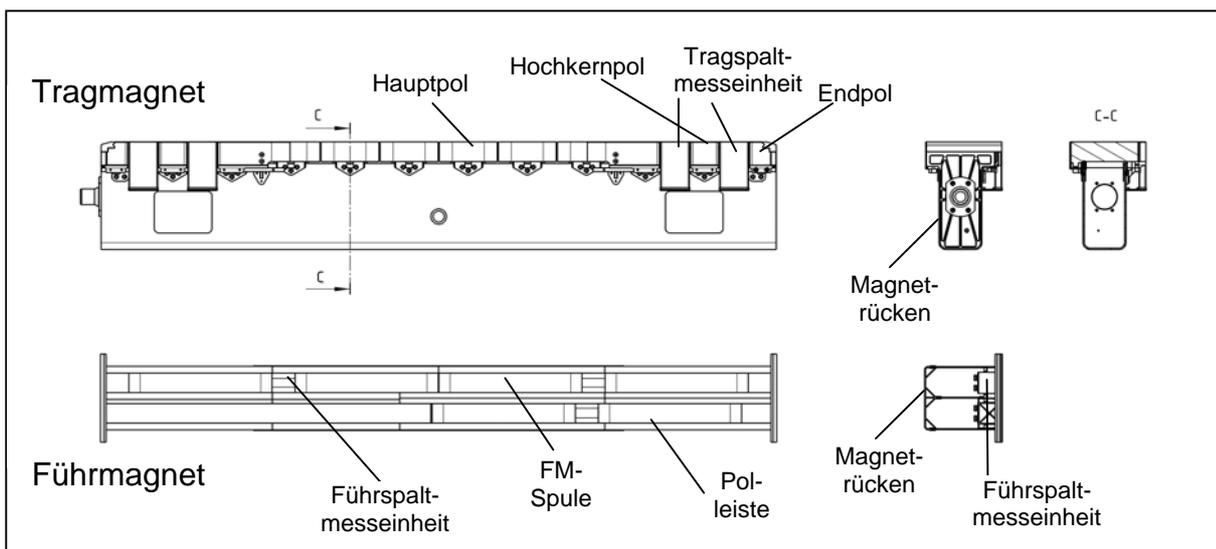


Abb. 3: Trag- / Führmagnet (Ausführungsbeispiel)

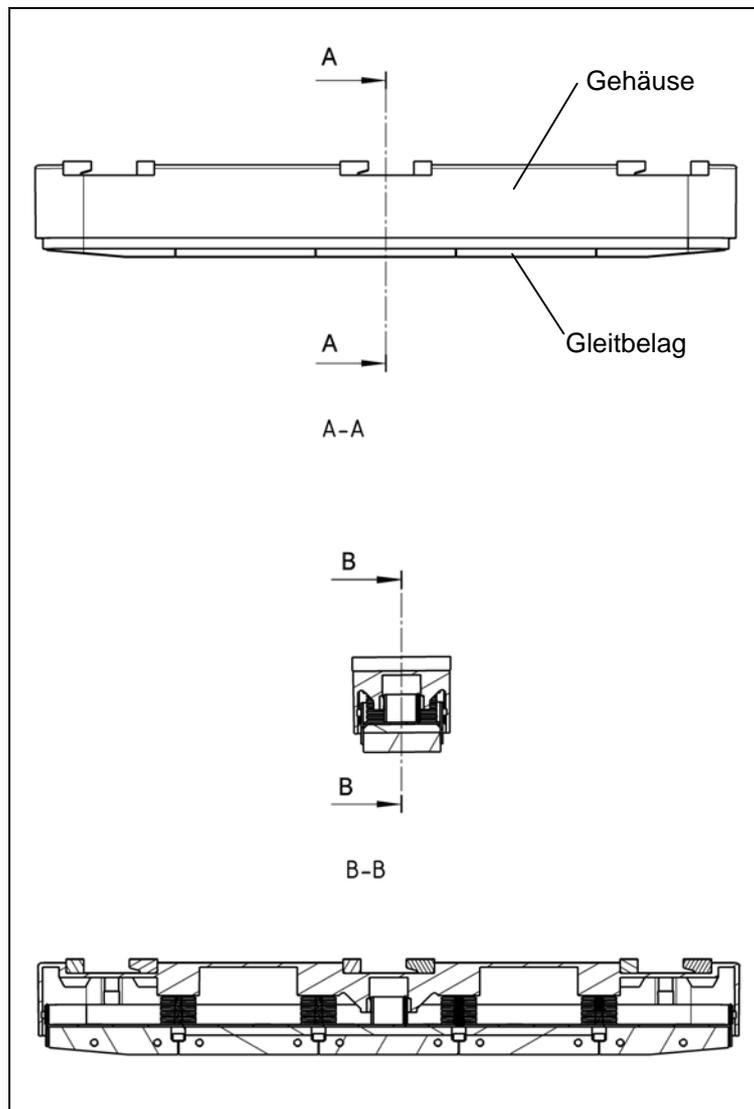


Abb. 4: Tragkufe (Ausführungsbeispiel)

6 Generelle Anforderungen an die Trag- / Führtechnik

6.1 Funktion

Siehe Beschreibung in /MSB AG-GESAMTSYS/.

Die Trag-/Führtechnik der MSB-Fahrzeuge muss im gesamten spezifizierten Geschwindigkeits- und Trassierungsbereich folgende Funktionen erbringen:

- Magnetisches Tragen und Führen mittels geregelt gespeister Trag- und Führungsmagnete.
- Mechanisches Tragen mittels Tragkufen bei außergewöhnlichen Situationen oder Ausfällen und bei stehendem (abgesetztem) Fahrzeug, Häufigkeit vgl. /MSB AG-FZ BEM/, Kap. 8.
- Mechanisches Führen z. B. mittels Gleitelementen an den Führungsmagneten bei seltenen technischen Störungen oder Ausfällen und bei außergewöhnlichen Betriebssituationen (Überlagerung der Einwirkungen von extremen betrieblichen Situationen).
Bei engen Radien ($R_H < 600$ m) ist gegebenenfalls eine Begrenzung der Geschwindigkeit zur Erreichung der Berührungsfreiheit erforderlich.

6.2 Bemessung

Unter Anwendung von /MSB AG-FZ BEM/ müssen die Lasten, die über die Strukturbauteile und Anlenkungen der Trag-/Führtechnik übertragen werden, ermittelt und bei deren Bemessung berücksichtigt werden.

Die Lasten müssen in einem Lastenheft (Bemessungslasten) dokumentiert werden.

Für die Last übertragenden Bauteile ist der Nachweis der Lastaufnahmefähigkeit (allgemeiner Spannungsnachweis) und der Ermüdungsfestigkeit entsprechend den Vorgaben in /MSB AG-FZ BEM/ zu erbringen.

Die Spalte zwischen Tragmagneten und Statorpaket, zwischen Führungsmagneten und Seitenführschiene und zwischen Tragkufen und Gleitebene müssen unter Berücksichtigung von Baulerlangen, belastungsabhängiger Verformung, relevanten betrieblichen Einflussgrößen (z.B. Trassierung, Geschwindigkeit, Gleitbelagverschleiß, etc.) und Umweltbedingungen ermittelt und in einer Spaltbilanz dokumentiert werden.

6.3 Sicherheitsanforderungen

Für das Trag- / Führsystem, bestehend aus den magnetischen und mechanischen Einrichtungen, sind die Sicherheitsanforderungen gem. § 19, /MbBO/ zu beachten.

6.3.1 Allgemeines

Die Trag- / Führfunktion ist lebensdauersicher auszuführen.

Diese Eigenschaft muss durch einen Sicherheitsnachweis gemäß /EN 50126/ nachgewiesen werden. Grundlage des Sicherheitsnachweises ist eine Risikoanalyse. Die Risikoanalyse muss folgende Elemente enthalten:

- Beschreibung des Trag- / Führsystems und der Schutzfunktionen,
- Beschreibung der am Trag- / Führsystem beteiligten Baugruppen, deren Funktionen, Verknüpfungen und wechselseitigen Einflüsse,
- Identifikation von Baugruppen und Funktionen, die Sicherheitsverantwortung übernehmen.

Methodische Hinweise zur Durchführung der Risikoanalyse finden sich in /prEN 50126-2/ und /prR009-004/.

Die Anforderungen und Nachweise zu den Strukturbaugruppen des Trag- / Führsystems werden in Kap.7.1 angegeben.

Die Anforderungen und Nachweise zu den Funktionalen Baugruppen des Trag- / Führsystems werden in Kap.7.2 angegeben.

Auf Grundlage der Risikoanalyse muss für die elektronischen Einrichtungen des Trag- / Führsystems die SIL-Stufe gemäß /EN 50129/ festgelegt und bei der Nachweisführung für die Hardware berücksichtigt werden.

Für Software im Trag- / Führsystem muss die auf Grundlage der Risikoanalyse festgelegte Software-Sicherheitsanforderungsstufe bei der Nachweisführung gemäß /EN 50128/ berücksichtigt werden.

Fehlermöglichkeiten sind durch eine geeignete Analyse zu identifizieren und beim Sicherheitsnachweis zu berücksichtigen.

Mindestens nachfolgende Fehler sind in einer geeigneten Analyse zu berücksichtigen:

- Fehler in der Bordenergieversorgung,
- Unzeitiges Ausführen eines Absetzbefehles,
- Systematische Fehler (Software, Hardware).

Der Nachweis der lebensdauersicheren Trag- / Führeigenschaft ist vor der Inbetriebnahme des Systems anhand einer geeigneten Analyse zu führen. Der theoretische Nachweis ist nach Betriebsaufnahme mittels Auswertung der Lebenslaufdaten der Baugruppen zu verifizieren.

6.3.2 Anforderungen an die Bordenergieversorgung

Die Anforderungen an die Bordenergieversorgung ergeben sich insbesondere aus den Anforderungen des Trag- / Führsystems und der sicheren Bremse und der übrigen sicherheitsrelevanten Fahrzeugsysteme. Nachfolgende Ausführungen beziehen sich auf das Trag- / Führsystem.

Es muss sichergestellt sein, dass die Verfügbarkeit der Bordenergieversorgung als Ganzes den Anforderungen des Sicherheitskonzepts entspricht (z.B. *Ausfall der Sammelschienenspannung von mehr als einem Teilnetz*), wenn als Folge hieraus das Fahrzeug ganz oder teilweise absetzen würde oder die sichere Bremse versagen würde.

Da einzelne Fehler in elektrischen Systemen nicht mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden können, ergibt sich zwangsläufig die Forderung nach Redundanz, d.h. es ist je Sektion eine hinreichende Anzahl voneinander unabhängiger und elektrisch / mechanisch getrennter Netze vorzusehen, so dass ein fehlerbehaftetes Netz die verbleibenden Netze nicht beeinträchtigt und die Trag- / Führungsfunktion erhalten bleibt.

Zur Erhöhung der Verfügbarkeit sollten diese Netze potentialfrei, d.h. nicht mit der Fahrzeugmasse direkt galvanisch verbunden sein, damit sie bei einem Masseschluss nicht abgeschaltet werden.

Es sind weiterhin Einrichtungen vorzusehen, durch welche die erforderliche Leistungsfähigkeit der Netze zum Aufrechterhalten der Trag-/Führungsfunktion gewährleistet wird (z. B. Batterien) und nach Abfahrt eines Fahrzeugs das Schweben und das Sichere Bremsen eines Fahrzeugs gewährleistet ist (s. auch /MSB AG-BLT/, Kap. 6.3.3.1 und Kap. 6.3.3.3).

Die Möglichkeit der unzeitigen Abschaltung aller Netze, die zur Aufrechterhaltung der Trag-/ Führungsfunktion und Bremsfunktion während einer Mission erforderlich sind, z.B. durch Auslösung eines zentralen Abrüstbefehls, muss durch eine geeignete technische Einrichtung verhindert werden. Ein Abrüstbefehl darf nur bei stehendem und abgesetztem Fahrzeug wirksam werden.

Fehler bzw. Ausfälle in der Abrüstansteuerung dürfen nicht zu einer ungewollten Abrüstung führen. Falls durch einen Fehler oder Ausfall die Abrüststeuerung nicht mehr wirksam ist, muss trotzdem ein Abrüsten möglich sein. Der Zugang zu den entsprechenden Abrüsteinrichtungen muss derart erschwert sein, dass nur eingewiesene Betriebsbedienstete die Auslösung bewirken können.

Es ist folgendes zu berücksichtigen:

Der Nachweis, dass ein Ausfall der Bordenergieversorgung hinreichend unwahrscheinlich ist, gilt dann als erbracht, wenn für die Bordenergieversorgung die Nachweise gemäß Kap. 7.2.3 erbracht worden sind und die folgenden Nachweise vorliegen:

1) Hinreichende Redundanz

Hinreichende Redundanz bedeutet, dass die Zahl der voneinander unabhängigen, elektrisch und mechanisch getrennten Netze so groß ist, dass trotz anzunehmender Netzausfälle immer noch soviel Bordenergie zur Verfügung steht, dass die Funktionen Tragen und Führen entsprechend den Anforderungen aus dem Sicherheitskonzept aufrecht erhalten bleiben.

2) Elektrische und mechanische Trennung der Netze

Die elektrische und mechanische Trennung der Netze gilt dann als nachgewiesen, wenn die Einhaltung der Anforderungen nach /EN 50124-1/ "Bahnanwendungen-Isolationskoordination" nachgewiesen ist. Zum Nachweis müssen Typprüfungen der Baugruppen, Fertigungsprüfungen beim Bau des Fahrzeuges und Inbetriebnahmeprüfungen an einem Fahrzeug durchgeführt werden.

3) Leistungsfähigkeit der Netze

Durch rechnerischen und praktischen Nachweis ist zu belegen, dass die vorgesehenen und vorhandenen Einrichtungen zur Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit der Netze bei teilweisem oder vollständigem Ausfall der externen Bordenergieversorgung ihre Aufgabe erfüllen. Der Nachweis ist für die unter den projektspezifischen Einsatzbedingungen repräsentativen Fahrprofile zu führen.

4) Abrüstung

Anhand der Schaltungsunterlagen und durch praktische Versuche ist nachzuweisen, dass der zentrale Abrüstbefehl nur bei stehendem und abgesetztem Fahrzeug wirksam wird.

Für die Abrüstansteuerung ist ein Sicherheitsnachweis auf Basis einer geeigneten Analyse zu führen. Es ist nachzuweisen, dass jeder anzunehmende Ausfall zur sicheren Seite, d.h. zum Nicht-Auslösen der Abrüstung führt.

Weiterhin ist durch Überprüfung der Konstruktionspläne und der Bedieneinrichtungen der Fahrzeuge der Nachweis zu führen, dass der Zugang zu manuell bedienbaren Abrüsteinrichtungen derart erschwert ist, dass nur eingewiesene Betriebsbedienstete die Auslösung des Abrüstbefehls bewirken können.

6.3.3 Anforderungen an die Ausführung eines Absetzbefehles

Der zentrale Absetzbefehl muss so erzeugt und in jeder Trag-/Führeinheit mit der dort autark ermittelten Geschwindigkeit logisch so UND - verknüpft werden, dass erst dann, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit kleiner als die zugelassene Absetzgeschwindigkeit ist, der Befehl zum Absetzen dezentral wirksam werden kann.

Für die Absetzsteuerung ist ein Nachweis zu führen, dass der Absetzbefehl auch bei allen anzunehmenden Ausfällen mit hinreichender Wahrscheinlichkeit nur unterhalb der Absetzgeschwindigkeit wirksam werden kann.

6.3.4 Systematische Fehler in den Magnetregleinrichtungen

Es ist der Nachweis nach EN 50128 und EN 50129 zu führen, dass systematische Fehler in der Hardware und - falls vorhanden - der Software der sicherheitsrelevanten Einrichtung zum Messen, Steuern, Regeln und Überwachen der Magnetregelkreise hinreichend unwahrscheinlich sind.

Diagnose- und Regeleinrichtungen sollten hardwareseitig getrennt ausgeführt werden.

6.3.5 Erhalt der sicherheitsrelevanten Eigenschaft von Magnetregelkreisen

Das elektromagnetische Schweben stellt einen geregelten Zustand dar, bei dem ein vorgegebener Luftspalt zwischen Statorpaket bzw. Seitenführschiene und den Trag- bzw. Führungsmagneten mit definierten Toleranzen gemäß einer projektspezifischen Spaltbilanz eingehalten wird.

Durch Ausfälle im Leistungsteil oder in der Einrichtung zum Messen, Steuern, Regeln und Überwachen der Magnetregelkreise kann sich die Magnetkraft derartig vergrößern, dass der Spalt zu Null wird und unzulässige Kräfte auf die Fahrzeug- und Fahrwegstruktur einwirken. Diese Ausfallart muss daher durch eine geeignete fail-safe - Überwachungseinrichtung mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden.

Tritt ein dauerhafter Ausfall in der Überwachungseinrichtung auf, so muss dies ebenfalls zum Aufheben des Magnetfeldes führen. Die Überwachungseinrichtung ist autonom jedem Magnetregelkreis zuzuordnen.

Für die in fail-safe – Technik auszuführenden Überwachungseinrichtungen der Magnetregelkreise ist der Nachweis durch Ausfalleffektanalyse zu führen, dass diese bei Ausfällen mit hinreichender Wahrscheinlichkeit unmittelbar den Abschaltvorgang einleiten.

Durch Prüfung der Schaltpläne und praktische Prüfung an den kompletten Magnetregelkreisen ist nachzuweisen, dass die Überwachungseinrichtungen zwangsläufig mit dem Einschalten der Magnetspaltregelung aktiviert werden und von außen unbeeinflussbar sind.

6.3.6 Blitzübertritt

Für den Blitzübertritt sind fahrzeugseitig für schwebende Fahrzeugsektionen Pfade und Blitzübertrittsstellen zum Fahrweg zu definieren.

6.3.7 ESD

Elektrostatiche Aufladungen des Fahrzeugs müssen in allen Betriebszuständen abgeleitet werden, in denen ein Berühren des Fahrzeugs durch mit dem Erdpotential verbundene Personen möglich ist.

Es gilt /MbBO/, §17 Absatz 4.

7 Anforderungen an die Baugruppen des Trag- / Führsystems

7.1 Strukturbaugruppen des Trag- / Führsystems

Die Strukturbaugruppen des Trag- / Führsystems sind nach /MSB AG-FZ BEM/ zu bemessen.

7.1.1 Gestellstruktur und Gestellverkleidung

7.1.1.1 Gestellstruktur

Die für die Fahrdynamik und Fahrt in Kurven, Kuppen und Wannen erforderliche Funktionalität von Bauteilen und die entsprechenden Freiräume sind so zu gestalten, dass keine Beeinträchtigung des Fahrverhaltens des Fahrzeugs bei gem. /MSB AG-UMWELT/ oder projektspezifisch definierten Umweltbedingungen eintritt.

Befestigungen und Verbindungen müssen für Inspektionen zugänglich sein.

Es sind Maßnahmen gegen das Verlieren von Teilen vorzusehen.

Die Gestellstruktur ist so auszuführen, dass der Ausfall eines Bauteils keinen sicherheitskritischen Zustand auslöst. Diese Eigenschaft ist mit Hilfe einer Ausfalleffektanalyse (FMEA) nachzuweisen.

Die Gestellstruktur ist so auszuführen, dass das spezifizierte Verhalten bei den in Kap.8.4, /MSB AG-FZ BEM/ beschriebenen Kollisionsfällen gewährleistet ist.

7.1.1.2 Gestellverkleidung

Die Verkleidungsteile müssen unter Berücksichtigung der dimensionierenden Lasten gem. /MSB AG-FZ BEM/ und unter Berücksichtigung von Eigenschwingungsformen und Resonanzverhalten sowie unter Berücksichtigung der Beanspruchungen aus der Handhabung bei der Instandhaltung betriebsfest bemessen werden.

Sofern Teile der Außenverkleidungen zwecks Zugänglichkeit der Einbauräume im Unterflurbereich für die Instandhaltung entfernbar sein müssen, sind Verschlüsse vorzusehen, die den betätigten, aber noch verriegelten und den nicht verriegelten Zustand offenbaren (z.B. optisch).

7.1.2 Wagenkastenanlenkung / Sekundärfederung

7.1.2.1 Z-Federung

Die Abstützung der Wagenkästen ist statisch bestimmt und gegenüber dem Trag-/ Führsystem dynamisch entkoppelt (*vorzugsweise durch Luftfedern*) auszuführen.

Der Federweg zwischen Schwebegestellen und Wagenkasten nach oben und unten ist zu begrenzen.

7.1.2.2 Niveauregelung / Luftfedersteuerung

Luftzufuhr und Luftabfuhr im Luftfederbalg darf nur bei aktiv angesteuerter Steuereinheit möglich sein.

Eine einstellbare, teilweise Absenkung des Drucks im Luftfederbalg muss möglich sein.

Es ist eine Überwachung der Drücke in den Verteilerleitungen und den einzelnen Luftfedern vorzusehen. Ein Ausfall sollte durch die Fahrzeugdiagnose zum Zweck der Instandsetzung offenbart werden. Die Diagnoseinformation sollte die betroffene Baugruppe eindeutig identifizieren und lokalisieren. Eine Systemreaktion ist projektspezifisch festzulegen.

7.1.2.3 Y-Federung

Auslenkungen in Y-Richtung müssen in /MSB AG-FZ KIN/ berücksichtigt werden.

7.1.2.4 Rollstabilisator

Die mögliche Wagenkastenverrollung muss in /MSB AG-FZ KIN/ berücksichtigt werden.

Aus Komfortgründen muss die Wagenkastenverrollung gegenüber dem Schweberrahmen begrenzt und projektspezifisch festgelegt werden.

Bei Seitenwind oder max. Seitenbeschleunigung ist als Vorgabe für die Wagenkastenverrollung ein Wert von max. $1,5^\circ$ zu berücksichtigen.

7.1.2.5 Ausfallverhalten

Ausfälle einzelner pneumatischer und elektrischer Baugruppen der Z-Federung im Zusammenwirken mit den mechanischen Baugruppen der Sekundärfederung dürfen nicht zu einer Fahrtunterbrechung führen. Diese Eigenschaft ist mit Hilfe einer geeigneten Analyse nachzuweisen, siehe Kap. 6.3.1.

Die Funktion und das Ausfallverhalten der pneumatischen und elektrischen Baugruppen der Z-Federung im Zusammenwirken mit den mechanischen Baugruppen der Sekundärfederung müssen im Rahmen der Inbetriebnahme des Fahrzeugs verifiziert werden.

Bei Unterschreiten eines definierten Druckwertes der Luftfedern muss eine Abtrennung des betroffenen Luftfederbalgs von der Sammelleitung erfolgen.

7.1.3 Magnetanlenkung

Die Magnetanlenkung ist so auszuführen, dass das Versagen eines Einzelteils nicht die Sicherheit und Verfügbarkeit der Trag- / Führungsfunktion beeinträchtigt. Diese Eigenschaft ist mit einer geeigneten Analyse nachzuweisen.

Das heißt, dass bei einem Ausfall der Betrieb fortgesetzt werden kann und der sichere Zustand beibehalten wird.

Ausfälle müssen durch Inspektionen erkannt werden.

7.1.4 Tragkufe

Die Grenzwerte für statische und dynamische Kräfte sind projektspezifisch zu verifizieren.

Die Tragkufen und ihre Aufhängungen müssen so gefedert und gedämpft ausgeführt sein, dass die Grenzlasten beim unregelmäßigen Absetzen nicht überschritten werden.

Beschädigungen des Gleitbelags oder der Tragkufenabfederung dürfen nicht zum Verlust der mechanischen Tragfähigkeit führen.

Beschädigungen oder Verschleiß müssen durch Inspektionen erkannt werden.

Das Ausfallverhalten ist mit Hilfe einer geeigneten Analyse nachzuweisen, siehe Kap.6.3.1.

Das Gleitverhalten ist in Bezug auf die Kriterien Verschleiß und Erwärmung mit Prototypen und/oder in einem repräsentativen Fahrzeug nachzuweisen.

Das Stoßlastverhalten ist durch Versuche oder numerische Simulationen nachzuweisen.

7.2 Funktionsbaugruppen des Trag- / Führsystems

7.2.1 Tragfunktion

7.2.1.1 Tragregelung

Es ist eine dezentrale Regelung des Tragspalts in autonomen, redundanten Baugruppen zu realisieren. Bei Verletzen von projektspezifischen Grenzwerten (z.B. Minimalspalt) muss der Regelkreis so schnell abschalten, dass eine Überschreitung der projektspezifischen Auslegungslasten für Fahrzeug und Fahrweg ausgeschlossen ist. Dieser Vorgang muss reversibel sein.

7.2.1.2 Tragspaltmessung

Der Tragspalt zwischen der Poloberfläche der Tragsmagnete und der dem Tragsmagnet zugewandten Fläche der Statorpakete muss durch ein Tragspaltmesssystem berührungsfrei gemessen werden.

Bei der Auslegung des Tragspaltmesssystems sind die Dehnspalte an den Enden der Fahrwegträger, Spurwechseleinrichtungen, Übergängen von Trägern auf Primärtragwerke sowie zwischen benachbarten Statorpaketen zu berücksichtigen.

Einflüsse auf die Messgenauigkeit der Tragspaltmessung sind zu berücksichtigen.

Anforderungen der Tragspaltmessung an die Eigenschaften der Statorpakete sind projektspezifisch festzulegen, siehe /MSB AG-FW ÜBG/.

7.2.1.3 Krafterzeugung

Die Ausrüstung der Schwebegestelle mit Tragsmagneten ist beispielhaft in Abb. 2 dargestellt.

Eine Verrollung des Tragsmagneten um die X-Achse im schwebenden Zustand ist projektspezifisch zu begrenzen. Der Einfluss einer möglichen Verrollung auf die Kraftverteilung und die Spaltmessung ist zu berücksichtigen.

Es muss eine elektrische Aufteilung der Pole eines Tragsmagneten auf mindestens zwei unabhängige Regelkreise möglich sein.

Die Regelkreise sollten eine translatorische Bewegung in z-Richtung und eine Drehung um die y-Achse ermöglichen.

7.2.1.4 Ausfallverhalten

Die Tragregelkreise müssen Überwachungseinrichtungen aufweisen, die bei Ausfall eines funktionsrelevanten Bauteils mit Redundanzverlust den Regelkreis so schnell abschalten, dass eine Überschreitung der projektspezifischen Auslegungslasten für Fahrzeug und Fahrweg ausgeschlossen ist.

Bei Ausfall eines einzelnen Tragregelkreises muss die Tragfunktion des Schweberahmens durch einen redundanten Tragregelkreis aufrechterhalten werden.

Bei Ausfällen, die den Ausfall der magnetischen Tragfunktion an einem Schweberahmen zur Folge haben, muss die Fahrstrecke nach Maßgabe des zulässigen Gleitwegs von Tragkufe / Gleitebene automatisch durch die Betriebsleittechnik begrenzt werden. Die Tragfunktion des Schweberah-

mens muss in diesem Fall durch eine Tragkufe übernommen werden. Betriebliche Reaktion und Instandsetzung sind projektspezifisch festzulegen.

Bei Kurzschluss der Langstatorwicklung an einer Seite des Fahrwegträgers kann toleriert werden, dass die magnetische Tragfunktion der entsprechenden Fahrzeuglängsseite reversibel ausfällt und das Fahrzeug einseitig ungeregelt absetzt. Die magnetische Tragfunktion muss sich selbsttätig wiederherstellen, wenn das Fahrzeug den Bereich der kurzgeschlossenen Wicklung verlassen hat.

Die Schwebefunktion muss bei Blitzeinschlag ins Fahrzeug gewährleistet sein. Dabei dürfen einzelne Regelkreise kurzzeitig abschalten, es dürfen jedoch keine bleibenden Ausfälle an den einzelnen Baugruppen der Regelkreise auftreten. Danach müssen sich die abgeschalteten Regelkreise selbsttätig reaktivieren.

7.2.1.5 Ausfaltoffenbarung, Diagnose

Zum Zweck der Instandsetzung muss ein Redundanzverlust wegen Baugruppenausfall durch die Fahrzeugdiagnose erkannt und offenbart werden.

Die Diagnoseinformation sollte die betroffene Baugruppe eindeutig identifizieren und lokalisieren.

Bei sicherheitsrelevanten Einrichtungen, die keine selbsttätige Ausfaltoffenbarung aufweisen, muss die Offenbarung von Ausfällen durch periodisch durchzuführende Funktionsprüfungen / Inspektionen erfolgen. Die Prüfkriterien und Intervalle sind mittels geeigneter Analyse zu ermitteln.

7.2.1.6 Nachweise

Für die Baugruppen des Magnetregelkreises muss eine Qualifikationsprüfung mit Prototypen erbracht werden, mit denen die Merkmale Funktion, Ausfallverhalten, Ausfaltoffenbarung, Umweltbeständigkeit nachgewiesen werden.

Zum Nachweis der lebensdauersicheren Trag- / Führfunktion ist eine geeignete Analyse durchzuführen, siehe. Kap. 6.3.1.

Das Ausfallverhalten muss durch stimulierte Bauteilausfälle an einzelnen Schweberrahmen an einem Prüfstand und im Fahrbetrieb versuchstechnisch nachgewiesen werden.

Die Zuverlässigkeit der elektronischen Baugruppen des Magnetregelkreises muss durch Ermittlung der MTBF aus der Auswertung von Lebenslaufdaten mit repräsentativen Baugruppen nach Betriebsaufnahme verifiziert werden.

Die Kompatibilität der aus Lebenslaufdaten verifizierten MTBF mit den Prognose-Ansätzen der Analyse ist nachzuweisen.

Die stabile Funktion der Magnetregelkreise bei statischer und dynamischer Nennbeanspruchung ist an einem Prüfstand nachzuweisen.

7.2.2 Führungsfunktion

7.2.2.1 Führregelung

Es ist eine dezentrale Regelung des Führspalts in autonomen, redundanten Baugruppen zu realisieren.

7.2.2.2 Führspaltemessung

Der Führspalt zwischen der Poloberfläche der Führungsmagnete und der Oberfläche der Seitenführschiene muss durch ein Führspaltemesssystem berührungsfrei gemessen werden.

Bei der Auslegung des Führspaltemesssystems sind die Dehnspalte an den Enden der Fahrwegträger, Spurwechseleinrichtungen und Übergängen von Trägern auf Primärtragwerke sowie zwischen benachbarten Führschienelementen zu berücksichtigen.

Einflüsse auf die Messgenauigkeit der Führspaltemessung sind zu berücksichtigen.

Anforderungen der Führspaltemessung an die Eigenschaften der Seitenführschienen sind projektspezifisch festzulegen.

7.2.2.3 Krafterzeugung

Die Ausrüstung der Schwebegestelle mit Führungsmagneten ist beispielhaft in Abb. 2 dargestellt.

Eine Verrollung des Führungsmagneten um die X-Achse im schwebenden Zustand ist projektspezifisch zu begrenzen. Der Einfluss einer möglichen Verrollung auf die Kraftverteilung und die Spaltemessung ist zu berücksichtigen.

Es muss eine elektrische Aufteilung der Spulen eines Führungsmagneten auf mindestens zwei unabhängige Regelkreise möglich sein.

Die Regelkreise sollten eine translatorische Bewegung in y-Richtung und eine Drehung um die z-Achse ermöglichen.

7.2.2.4 Ausfallverhalten

Die einzelnen Führregelkreise müssen über Überwachungseinrichtungen verfügen, die bei Ausfall eines funktionsrelevanten Bauteils den Regelkreis sicher abschalten.

Bei Ausfall eines einzelnen Führregelkreises muss die Führungsfunktion des Schweberahmens durch einen redundanten Führregelkreis aufrechterhalten werden.

Bei Ausfällen, die zu einem Verlust der elektromagnetischen Führung eines Schweberahmens führen, muss die Fahrstrecke nach Maßgabe des zulässigen Gleitwegs der mechanischen Gleitelemente auf der Seitenführschiene automatisch durch die Betriebsleittechnik begrenzt werden. Die Führungsfunktion ist nach Ausfall der magnetischen Führungsfunktion an einem Schweberahmen durch ein mechanisches Führelement zu realisieren. Grenzwerte der dabei auftretenden Lasten sowie der zulässige Verschleiß müssen projektspezifisch festgelegt werden.

Die Reaktionen bei Blitzeinschlag müssen analog Kap. 7.2.1.4 erfolgen.

7.2.2.5 Ausfaltoffenbarung, Diagnose

Die Ausfaltoffenbarung muss sinngemäß wie Kap. 7.2.1.5 erfolgen.

7.2.2.6 Nachweise

Die Nachweisführung muss analog Kap. 7.2.1.6 gemäß Kap. 6.3.1 erfolgen.

7.2.3 Bordenergieversorgung

7.2.3.1 Funktionen und Eigenschaften

Zur Realisierung der lebensdauersicheren Funktionen „Tragen und Führen“ sowie „Sichere Bremsen“ und der übrigen sicherheitsrelevanten Fahrzeugsysteme ist eine lebensdauersichere Bordenergieversorgung vorzusehen.

Umweltbedingungen sind gemäß /MSB AG-UMWELT/ oder projektspezifisch zu berücksichtigen.

Die lebensdauersichere Funktion muss auch bei/nach Blitzeinwirkung vorhanden sein.

Die Bordnetze müssen so ausgeführt sein, dass das Fahrzeug dauernd aufgerüstet abgestellt werden kann, ohne dass eine sicherheitsgerichtete Überwachung durch Personal erforderlich ist.

7.2.3.2 Elektrische Sicherheit

Die Einrichtungen zur Bordenergieversorgung müssen die Anforderungen

- Schutz gegen gefährliche Körperströme,
- Herstellen und Sicherstellen des spannungsfreien Zustands in der Instandhaltung,
- Überlast- und Kurzschlussschutz,

gemäß Bestimmungen /EN 50153/ und /EN 50207/ erfüllen.

7.2.3.3 Unterbrechungsfreie Stromversorgung

Für die Durchführung einer Zwangsbremung mit der sicheren Bremse muss eine unterbrechungsfreie Stromversorgung vorgesehen werden. Dabei müssen die ungünstigsten spezifizierten Umwelt- und Betriebsbedingungen berücksichtigt werden.

Es muss eine zusätzliche projektspezifische Bordenergiereserve im Störbetrieb vorhanden sein.

Projektspezifisch muss eine ausreichende gespeicherte Bordenergiemenge für den Betrieb der Notbeleuchtung, Notbelüftung und Kommunikationseinrichtungen nach einem Halt infolge Störung festgelegt werden.

Bei Einsatz von Batterien müssen in Abhängigkeit vom Batterietyp und in Übereinstimmung mit dem Sicherheitskonzept Maßnahmen zum Explosionsschutz realisiert werden (*z.B. Batteriebelüftung mit Ausfaltoffenbarung sowie Temperaturüberwachung und Lüfternachlauf nach dem Abrüsten*).

7.2.3.4 Steuerungs- und Überwachungsfunktionen

Bei Ausfall eines oder mehrerer für den sicheren Zustand des Fahrzeugs relevanten Einrichtungen (z.B. Bordnetze oder Batteriebelüftung) in einer Fahrzeugsektion muss eine automatische sicherheitsgerichtete Systemreaktion erfolgen.

Falls im Energiespeicher für die unterbrechungsfreie Stromversorgung die für die Durchführung eines Zwangshalts mit der Sicherer Bremse und anschließende Mindestbetriebsdauer der im Stillstand notwendigen sicherheitsrelevanten Verbraucher (z.B. *Notbeleuchtung, Notbelüftung, Kommunikation*) erforderliche Mindestenergiemenge unterschritten wird, muss eine automatische sicherheitsgerichtete Systemreaktion erfolgen.

7.2.3.5 Ausfallverhalten

Der Ausfall von einzelnen Bordnetzbaugruppen bzw. der Ausfall eines einzelnen Bordnetzes darf keine betriebliche Auswirkung haben. Es muss eine Fahrtfortsetzung zur nächsten planmäßigen Station möglich sein.

Eine Fehlertoleranz gegen Erdschlüsse muss z.B. durch IT-Netze mit Isolationsüberwachung realisiert werden, s. auch Kap. 6.3.2.

7.2.3.6 Ausfalloffenbarung, Diagnose

Ein Redundanzverlust durch Baugruppenausfall muss durch die Fahrzeugdiagnose zum Zweck der Instandsetzung offenbart werden.

Die Diagnoseinformation sollte die betroffene Baugruppe eindeutig identifizieren und lokalisieren.

7.2.3.7 Nachweise

Für die MSB-spezifischen Baugruppen der Bordenergieversorgung muss eine Qualifikationsprüfung mit Prototypen erbracht werden, mit denen die Funktion, das Ausfallverhalten, die Ausfalloffenbarung und die Umweltbeständigkeit nachgewiesen werden.

Zum Nachweis der lebensdauersicheren Funktion ist eine geeignete Analyse durchzuführen, siehe Kap. 6.3.1.

Das Ausfallverhalten muss z.B. durch stimulierte Bauteilausfälle an einem repräsentativen Fahrzeug versuchstechnisch nachgewiesen werden.

Die Zuverlässigkeit der elektronischen Baugruppen für die Versorgung sicherheitsrelevanter Funktionen muss durch Ermittlung der MTBF aus der Auswertung von Lebenslaufdaten mit repräsentativen Baugruppen nach Betriebsaufnahme verifiziert werden.

Die Kompatibilität der aus Lebenslaufdaten verifizierten MTBF mit den Prognose-Ansätzen der Analyse ist nachzuweisen.

7.2.4 Sicherheitsrelevante Steuerung / Überwachung

7.2.4.1 Allgemeines

Sicherheitsrelevante Steuerungsfunktionen des Trag- / Fährsystems umfassen:

- Übertragung von Steuerkommandos der Betriebsleittechnik an Einrichtungen zur Regelung, Steuerung und Überwachung der Trag- / Fährfunktion und der Bordenergieversorgung,
- Generierung sicherheitsrelevanter Statusinformationen der Trag-/ Fährfunktion und der Bordenergieversorgung und Übergabe an die Betriebsleittechnik.

7.2.4.2 Ausfallverhalten

Die sicherheitsrelevante Steuerung- und Überwachung ist redundant auszuführen.

Ein Einzelausfall darf nicht zum Verlust oder zu einer Einschränkung der Steuerungs- / Überwachungsfunktionen führen. Bei Ausfall der Steuerungs- und Überwachungsfunktionen muss eine automatische Reaktion zur sicheren Seite erfolgen.

7.2.4.3 Ausfalloffenbarung, Diagnose

Ein Redundanzverlust muss durch die Fahrzeugdiagnose zum Zweck der Instandsetzung offenbart werden.

Die Diagnoseinformation sollte die betroffene Baugruppe eindeutig identifizieren und lokalisieren.

7.2.4.4 Nachweise

Eine Qualifikation der Steuerungs- und Überwachungseinrichtungen ist mit Prototypen oder mit einem repräsentativen Fahrzeug durchzuführen.

Der Sicherheitsnachweis der Steuerung und Überwachung für die Trag/Fährfunktion und Bordenergieversorgung muss gemäß Kap. 6.3.1 durchgeführt werden.

8 Einwirkungen des Trag- / Führsystems auf den Fahrweg

8.1 Allgemein

Die nachfolgend angegebenen Kräfte entsprechen den charakteristischen Werten¹ der fahrzeugseitigen Einwirkungen an den Schnittstellen Fahrzeug-Fahrweg auf den Fahrweg.

8.2 Einwirkungsarten und Einwirkungskombinationen

Die Einwirkungen des Trag-/Führsystems auf den Fahrweg treten an folgenden Nahtstellen auf:

- *Tragmagnet – Statorpaket,*
- *Führmagnet – Seitenführschiene,*
- *Tragkufe – Gleitebene.*

Die auf den Fahrweg einwirkenden Kräfte entstehen aus den Funktionen:

- *Magnetisches und mechanisches Tragen,*
- *Magnetisches und mechanisches Führen,*
- *Antreiben und Bremsen mit dem Langstatorantrieb.*

Die Kräfte werden beeinflusst aus den folgenden Einwirkungen:

- *Betrieb mit variierender Nutzlast und variierenden Umweltbedingungen,*
- *Betrieb in Folge von Ausfallsituationen und außergewöhnlichen Betriebssituationen,*
- *Betrieb bei Einsatz der „Sicheren Bremse“ mit den hieraus wirkenden Lasten.*

Die Einwirkungen auf die Struktur des Trag-/Führsystems müssen gemäß Kap. 6.2 bei der Bemessung der Baugruppen berücksichtigt werden.

Die veränderlichen Einwirkungen des Fahrzeugs auf den Fahrweg müssen bei der Bemessung des Fahrwegs auf Basis /MSB AG-FW BEM/ berücksichtigt werden.

Damit die in /MSB AG-FW BEM/ unterstellten charakteristischen Werte der Einwirkungen aus dem Betrieb des Fahrzeugs mit den tatsächlich auftretenden Einwirkungen hinreichend übereinstimmen, dürfen die in Kap. 8.3 genannten Werte der fahrzeugseitig in den Fahrweg eingeleiteten Kräfte nicht überschritten werden (zulässige Toleranz bei der Verifikation der Einwirkungsgrößen 5 %).

Die angegebenen Größen der charakteristischen Werte der Einwirkungen müssen in jedem Anwendungsfall in einer projektspezifischen Spezifikation verbindlich festgelegt werden.

Die angegebenen Größen der charakteristischen Werte der Einwirkungen sind durch Messung mit einem repräsentativen Fahrzeug zu verifizieren.

¹⁾ Wichtigster repräsentativer Wert einer Einwirkung, von dem angenommen wird, dass er mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit im Bezugszeitraum unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer des Tragwerks und der entsprechenden Bemessungssituation nicht überschritten oder unterschritten wird. Bei einer veränderlichen Einwirkung entspricht der charakteristische Wert entweder einem oberen Wert, der während der festgelegten Bezugsdauer mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird, oder einem festgelegten Nennwert, wenn eine Wahrscheinlichkeitsverteilung unbekannt ist (Siehe auch DIN EN 1990).

8.3 Charakteristische Werte und Lastbilder

8.3.1 Allgemeines

Als Bezugsgröße für die über die Tragsmagnete und Führungsmagnete in den Fahrweg eingeleiteten globalen Einwirkungen in x-, y- und z-Richtung ist die typische Systemlänge einer Fahrzeugsektion (Mittelsektion) $L_{MS} = 24,768 \text{ m}$ (Tragsmagnetbelegungslänge) anzusetzen.

Bei der Ermittlung der Bezugsgröße für die über die Tragsmagnete und Führungsmagnete in den Fahrweg eingeleiteten lokalen Einwirkungen in x-, y- und z-Richtung ist die halbe Tragsmagnetsystemlänge $L_{SYS, TM} / 2$ zu berücksichtigen.

Für die Nachweisführung sind die in der nachfolgenden Tabelle 1 angegebenen maßgebenden Beladungszustände zu definieren. Projektspezifisch ist ggf. eine Erhöhung des Fahrzeuggewichts infolge einer Schneeansammlung in der Fahrzeugstruktur zusätzlich zu berücksichtigen.

Größe	Definition
Fahrzeugeigengewicht	Gewicht der Fahrzeugsektion ohne Nutzlast ¹⁾
Mittleres Fahrzeuggewicht	Gewicht der Fahrzeugsektion bei Normalauslastung ²⁾
Zulässiges Fahrzeuggewicht	Gewicht der Fahrzeugsektion bei Maximalauslastung ³⁾
Maximales Fahrzeuggewicht	Gewicht der Fahrzeugsektion bei außergewöhnlichen Betriebssituationen ⁴⁾

1) Die Nutzlast ist das Gewicht der Fahrgäste mit Gepäck bzw. Fracht / Frachtbehälter
 2) Das mittlere Gewicht kann z.B. definiert werden für eine Nutzlast, die in 80 % der Fahrten nicht überschritten wird. Die Festlegung muss projektspezifisch erfolgen.
 3) Nutzlast bei maximaler geplanter Auslastung, die nur in außergewöhnlichen Betriebssituationen überschritten wird; diese muss projektspezifisch festgelegt werden, z. B. alle Sitzplätze besetzt mit 90 kg pro Fahrgast plus 320 kg pro m² Stehplatzfläche
 4) In außergewöhnlichen Betriebssituationen maximal mögliche Nutzlast; diese muss projektspezifisch festgelegt werden, z. B. alle Sitzplätze besetzt mit 90 kg pro Fahrgast plus 500 kg pro m² Stehplatzfläche

Tabelle 1: Zusammenstellung der Beladungszustände des Fahrzeugs

8.3.2 Eigengewicht und Nutzlast des Fahrzeugs

Die charakteristischen Werte der statischen Einwirkungen infolge der Beladungszustände des Fahrzeugs sind als über die Fahrzeuglänge gemittelte Streckenlasten in Tabelle 2 angegeben.

Die in Tabelle 2 angegebenen statischen Streckenlasten sind als Basis für die Ermittlung der charakteristischen Werte der fahrzeugseitigen Einwirkungen anzuwenden.

Statische Streckenlast je m Fahrzeuglänge (Tragmagnetbelegungslänge) ohne Schnee in [kN/m]	Fahrzeu- eigengewicht	Mittleres Fahrzeug- gewicht	Zulässiges Fahrzeug- gewicht	Maximales Fahrzeug- gewicht
stat p_z	19 ¹ (21)	26	29	31
¹ gilt für leichte Güterfahrzeuge, bei Personenzugfahrzeugen kann eine mittlere Streckenlast von 21 kN/m angenommen werden.				

Tabelle 2: Charakteristische statische Streckenlasten des Fahrzeugs (gemittelt)

Das zulässige Gewicht $G_{\text{Sekt zul}}$ einer Fahrzeugsektion ist mit Hilfe nachfolgender Gleichung zu berechnen:

$$G_{\text{Sekt zul}} = \text{stat } p_z \cdot L_{\text{MS}} / g \text{ mit } g = 9,81 \text{ m/s}^2.$$

Eine mögliche lokale Erhöhung der Streckenlast $\Delta \text{stat } p_z$ infolge einer Ungleichverteilung des Fahrzeuggewichtes über die Fahrzeuglänge ist zu minimieren.

Ein typischer Verlauf von $\text{stat } p_z \pm \Delta \text{stat } p_z$ ist in Abb. 5 dargestellt.

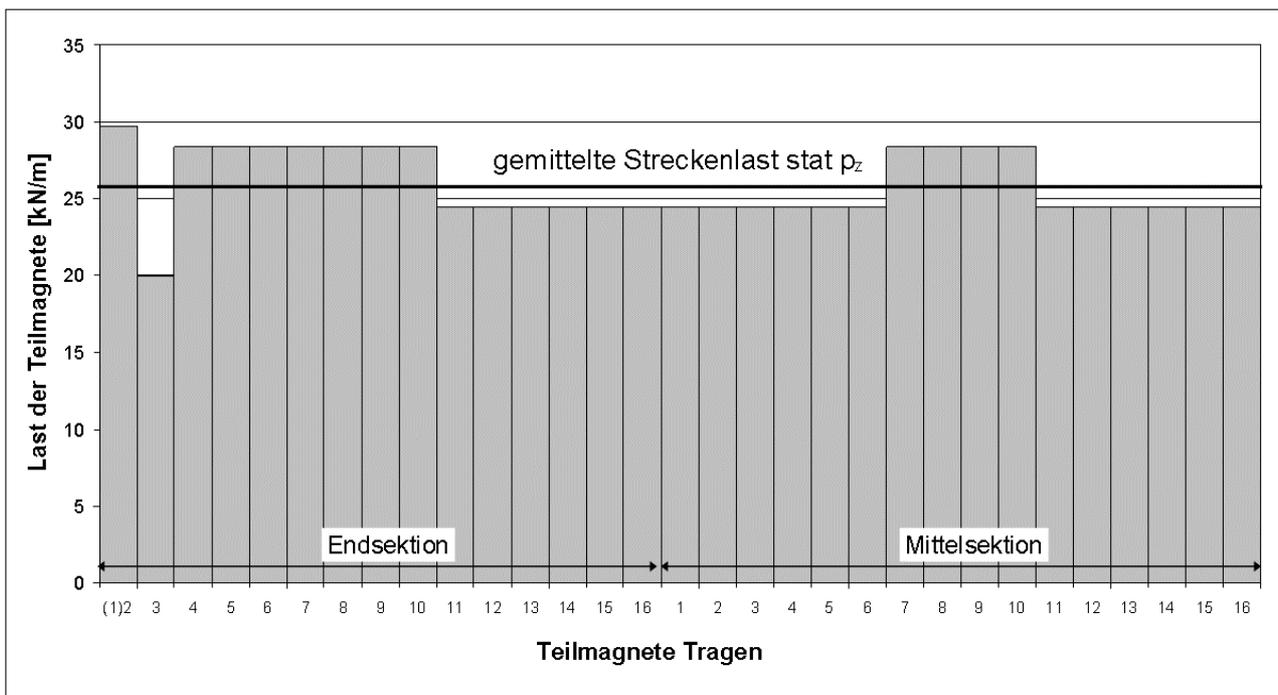


Abb. 5: Typische Verlauf von $\text{stat } p_z \pm \Delta \text{stat } p_z$

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

Der Nachweis von $\text{stat } p_z$ und $\Delta \text{ stat } p_z$ für die maßgebenden Beladungszustände muss durch Wägung erfolgen. Die Werte von $\text{stat } p_z$ und $\Delta \text{ stat } p_z$ für das Fahrzeug mit Nutzlast können dabei ggf. auf Grundlage der Wägung im unbeladenen Zustand berechnet werden.

8.3.3 Quasistatische Lasten aus Fahrdynamik

Durch die bei Fahrt über die Trassierungselemente Kurven, Kuppen und Wannen entstehenden Beschleunigungen in y- und z-Richtung sowie durch Antreiben und Bremsen des Fahrzeugs treten zeitlich veränderliche quasistatische Lasten in x-, y- und z-Richtung sowie Momente um die x-, y und z-Achse auf, die durch die Lage des Schwerpunkts der Fahrzeugsektionen in z-Richtung beeinflusst werden.

Diese Einwirkungen sind als Massenkkräfte in x-, y- und z-Richtung gemäß /MSB AG-FW BEM/ fahrwegseitig zu berücksichtigen.

Der Schwerpunkt einer Fahrzeugsektion in z-Richtung darf folgende Werte nicht überschreiten²:

- bei Fahrzeug-Eigengewicht: 600 mm über Gleitebene,
- bei mittlerem Fahrzeuggewicht: 700 mm über Gleitebene,
- bei zulässigem Fahrzeuggewicht: 850 mm über Gleitebene,
- bei maximalem Fahrzeuggewicht: 950 mm über Gleitebene.

8.3.4 Quasistatische Lasten aus Seitenwind (ohne Auftrieb)

In Folge quasistationärer Einwirkung von Seitenwind (Mittelwert über 5 s gemäß /MSB AG-UMWELT/) auf das Fahrzeug überträgt das Fahrzeug quasistatische Lasten auf den Fahrweg. Die Höhe der Lasten wird bestimmt durch die Höhe der Seitenwindgeschwindigkeit, die Höhe der Fahrzeuggeschwindigkeit und durch die Höhe und Geometrie des Fahrzeugbugs.

Diese Einwirkungen infolge Seitenwind auf Fahrzeug sind gemäß /MSB AG-FW BEM/ fahrwegseitig zu berücksichtigen.

Die in den Bemessungsgrundlagen Fahrweg angegebenen Einwirkungen und die zugehörige Verteilung über die Fahrzeuglänge werden eingehalten, wenn die maximale lokale Streckenlast durch Seitenwind in y-Richtung $p_{y, SW}$ die in Tabelle 3 angegebenen Werte nicht überschreitet.

Maximale lokale Streckenlast aus Seitenwind in [kN/m]	Fahrzeuggeschwindigkeit			
	200 km/h	300 km/h	400 km/h	500 km/h
$p_{y, SW}$	11,0	14,1	24,4	32,4
$p_{z, SW}$	± 5,4	± 6,4	± 6,9	± 7,4
Die Lasten gelten für eine Seitenwindgeschwindigkeit von 37 m/s gemäß Windlastzone II in 20 m Höhe über Grund.				

Tabelle 3: Einwirkungen infolge Seitenwind auf Fahrzeug

Der Nachweis der Lasten kann durch Berechnung und Simulation des Strömungsverhaltens mit einem verifizierten Simulationsmodell erfolgen.

²⁾ Die Angaben sind in dieser Form für die Bemessung des Fahrwegs erforderlich.

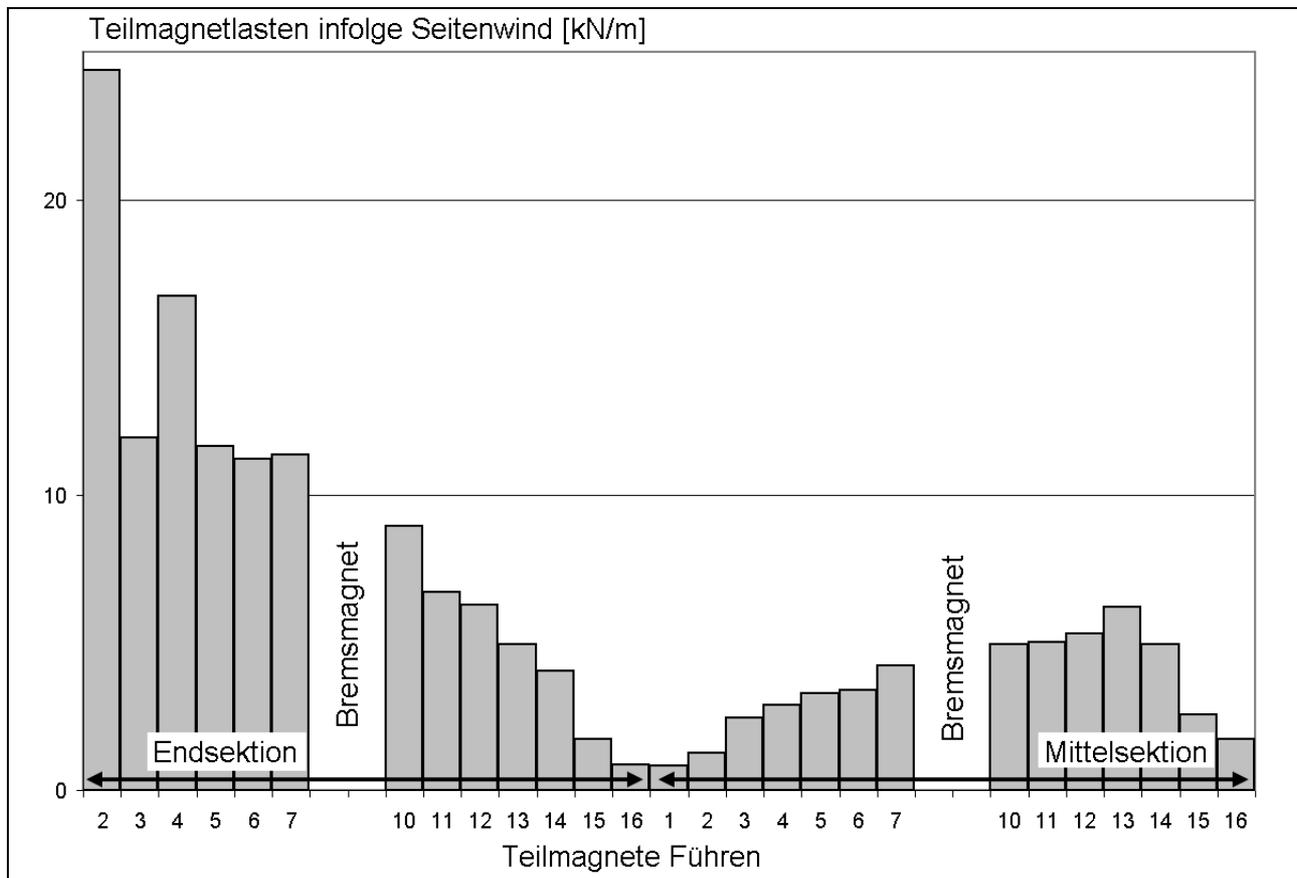


Abb. 6: Typischer Verlauf von $p_{y, SW}$ bei $v_{Fzg} = 400 \text{ km/h}$ und $SW = 37 \text{ m/s}$

8.3.5 Quasistatische Lasten aus Rückstellkräften bei kleinem Kurvenradius

In Kurven mit kleinem Kurvenradius entstehen Rückstellkräfte zwischen den Schwebegestellen des Trag-/Führsystems und dem Wagenkasten (Zwangskräfte), die als quasistatische Lasten in y -Richtung auf den Fahrweg übertragen werden. Die maximalen Lasten werden jeweils von den Führmagneten an den Enden und im Bereich der Sektionsmitte übertragen.

Die in den Bemessungsgrundlagen Fahrweg angegebenen Einwirkungen und deren Verteilung über die Fahrzeuglänge (siehe Abb. 7) werden eingehalten, wenn die maximale lokale Zwangskraft in y -Richtung $p_{y, ZWG}$ die in Tabelle 4 enthaltenen Werte nicht überschreitet.

Charakteristische Werte der maximalen Kraft aus Zwang in Kurven in [kN/m]	Kurvenradius $R_H = 350 \text{ m}$	Kurvenradius $R_H = 1000 \text{ m}$	Kurvenradius $R_H \geq 2000 \text{ m}$
$p_{y, ZWG}$	21	7	0

Tabelle 4: Maximale lokale Zwangskraft

Die Bestimmung der Kräfte kann durch Berechnung erfolgen.

Die Berechnung muss durch Messung einzelner Werte der Rückstellkraft in einem repräsentativen Fahrzeug und Kurvenabschnitt verifiziert werden.

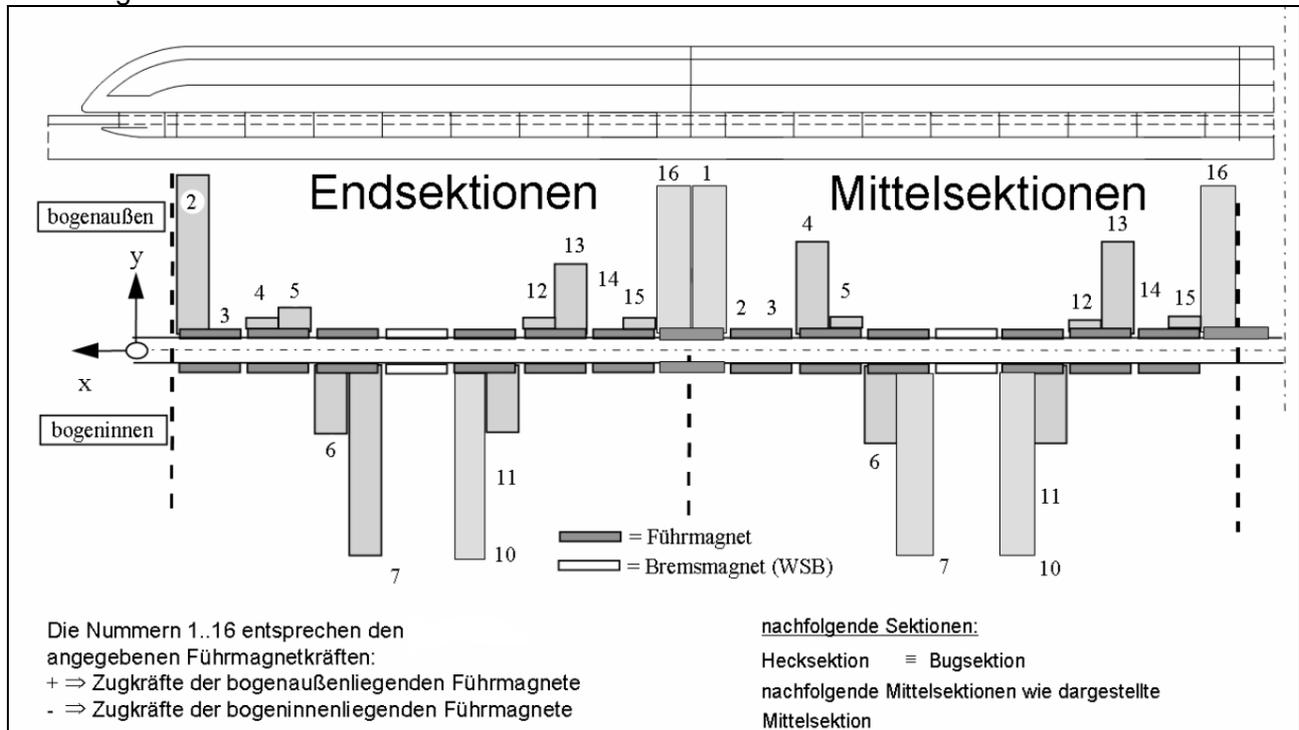


Abb. 7: Typischer Verlauf von p_y, ZWG

8.3.6 Lasten aus Antreiben und Bremsen mit dem Langstator

Für die maximale globale Einwirkung einer Fahrzeugsektion auf den Fahrweg ist als regelmäßig wiederkehrende Einwirkung eine maximale Kraft in x-Richtung anzusetzen, die sich aus dem Produkt des zulässigen Fahrzeuggewichts mit der maximal zulässigen Beschleunigung bzw. Bremsverzögerung von ($a_x = 1,5 \text{ m/s}^2$) ergibt (siehe Tabelle 5).

Dieser deckt auch die Situationen Antreiben/Bremsen in Steigungs-/Gefällebereichen ab.

Für die maximale globale Einwirkung einer Fahrzeugsektion auf den Fahrweg ist als außergewöhnliche Einwirkung eine maximale Kraft in x-Richtung von 250 kN / Sektion anzusetzen (siehe Tabelle 5).

Charakteristische Werte der maximalen Kräfte infolge Antreiben und Bremsen mit dem Antrieb	
Regelmäßig wiederkehrende Einwirkung bei zulässigem Fahrzeuggewicht ($a_x \leq 1,5 \text{ m/s}^2$)	$F_x = 110 \text{ kN / Sektion}$
Außergewöhnliche Einwirkung z.B. bei fehlerhafter Antriebsfunktion	Fall 1: $F_x = 185 \text{ kN / Sektion}$ (Verteilungsverhältnis von 0,73 / 0,27 auf rechte und linke Fahrzeugseite)
	Fall 2: $F_x = 250 \text{ kN / Sektion}$ (gleichmäßige Verteilung auf rechte und linke Fahrzeugseite)

Tabelle 5: Antriebs- / Bremskräfte mit dem Langstator

Ausführungsgrundlage

Es ist folgender Zusammenhang zwischen der lokalen Einwirkung in z-Richtung p_z und der lokalen Einwirkung in x-Richtung p_x zu beachten:

$$p_x \pm \Delta p_x = (p_z \pm \Delta p) \cdot a_x / g$$

8.3.7 Maximale Lasten an der Nahtstelle Tragmagnet – Statorpaket

8.3.7.1 Eingeleitete Lasten

An der Nahtstelle zwischen Tragmagnet (TM) und Statorebene erfolgt eine magnetische Übertragung von quasistatischen und dynamischen Zugkräften in z-Richtung und über die Antriebfunction des Langstators eine magnetische Übertragung von Schubkräften in x-Richtung.

Als charakteristische Werte für die maximalen Lasten je m Halbmagnetlänge sind zu berücksichtigen:

Bemessungssituationen	Richtung der Einwirkung	Last je m Tragmagnet
Max. statische Zugkraft aus - zulässigem Gesamtgewicht	z-Richtung	16 kN/m
Max. dynamische Zugkraft infolge - zulässigem Gesamtgewicht - $a_y = 1,5\text{m/s}^2$, $a_z = 1,2\text{m/s}^2$, Seitenwind 10m/s bei 400 km/h	z-Richtung	20 kN/m
Max. lokale Zugkraft bei Teilmagnetbetrieb und - zulässigem Gesamtgewicht - $a_y = 1,5\text{m/s}^2$, $a_z = 1,2\text{m/s}^2$, - Seitenwind 37m/s bei 400 km/h, $F_{z_dyn_max}$	z-Richtung	45 kN/m
Max. Schubkraft des Antriebs ohne technische Ausfälle oder Störungen (max $a_x = 1,5\text{ m/s}^2$) aus - zulässigem Gesamtgewicht (inkl. Ungleichverteilung)	x-Richtung	2,25 kN/m
Max. Schubkraft im Fehlerfall des Antriebs (siehe Tabelle 5)	x-Richtung	Fall 1: 5,5 kN/m
		Fall 2: 5,0 kN/m
Max. lokale Schubkraft bei Ausfall einer Tragregel- einrichtung	x-Richtung	4 kN/m

Die maximale Tragkraft des Tragemagneten ist auf 45 kN/m zu begrenzen.

Tabelle 6: Maximale Tragemagnetlasten

Lokale Lastverteilung siehe Abb. 8 und Abb. 9.

8.3.7.2 Dynamische Anregungen

Die lokale Kraftverteilung der Tragemagnete in x-Richtung weist eine Periodizität der Polteilung auf, die auf den Fahrweg als Kraftwelle einwirkt, welche sich mit der Fahrzeuggeschwindigkeit v entlang des Fahrwegs bewegt. Im Fahrweg wirkt die vom Fahrzeug ausgehende Kraftwelle als lokale pulsierende Gleichkraft mit einer Einwirkungsfrequenz f_e , die von der Wellenlänge der Kraft λ_e bzw. deren Harmonische und der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängt.

$$f_e = v / \lambda_e$$

Ausführungsgrundlage

Die folgenden Einwirkungen müssen in Bezug auf dynamische Anregung des Fahrwegs berücksichtigt werden:

Bei Fahrzeugüberfahrt ständig wirkende veränderliche Kräfte:

- Geometrie der Tragmagnetpole
magnetische Wirkung der Polgeometrie an der Polfläche, z. B. aus Nuten für Lineargeneratoren
- Geometrie der Anordnung der Tragmagnetpole im Verlauf eines Tragmagnetens,
lokaler Verlauf des Kraft entlang der Tragmagnete
- Geometrie der Anordnung der Tragmagnetpole an den Enden eines Tragmagnetens,
lokaler Verlauf des Kraft im Bereich zwischen zwei Tragmagnetens, resultierend aus einer im Endbereich vom Mittelbereich abweichenden Geometrie der Magnetpole
- Kraft in Folge Nicken des Tragmagnetens aufgrund der übertragenen Antriebskräfte,
Verdrehung der einzelnen Tragmagnete um die y-Achse, „Schiefstellung“ (Abb. 8)

Bei Fahrzeugüberfahrt selten wirkende veränderliche Kräfte:

- Kräfte im Bereich zweier Tragmagnete nach Ausfall einer Magnetregleinrichtung (Abb. 9)

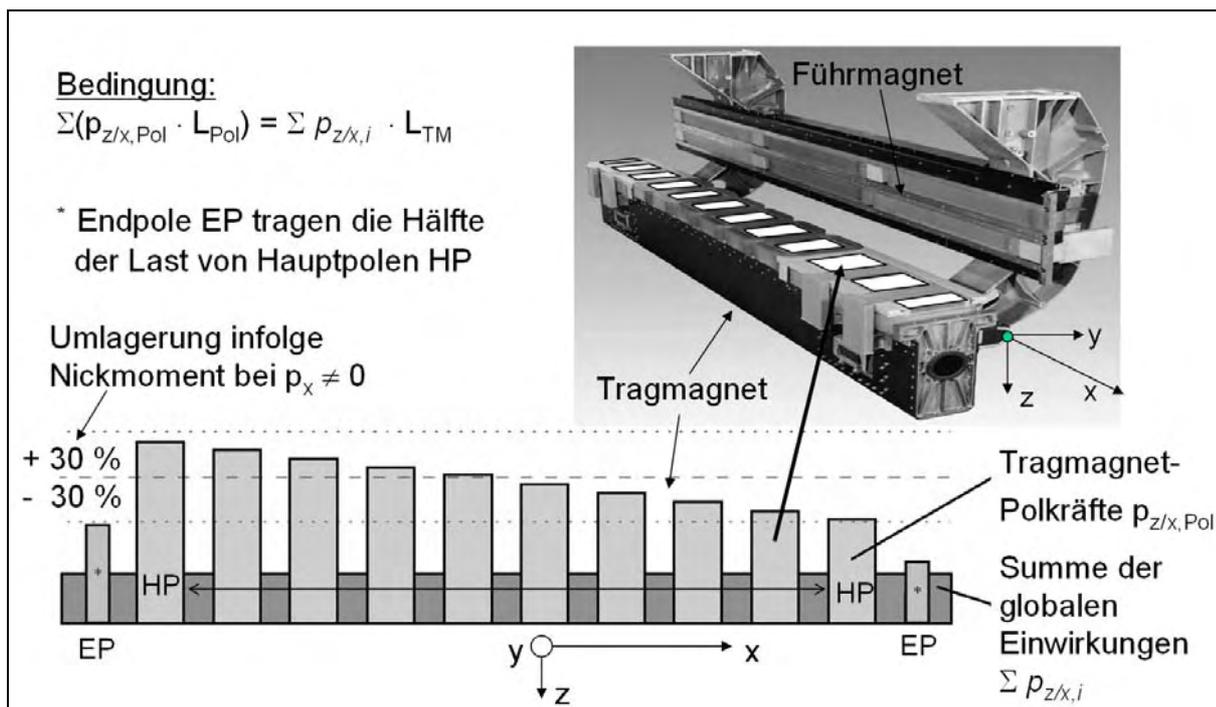


Abb. 8: Typisches Lastbild Tragmagnet ohne technische Störungen und Ausfälle (Beispiel)

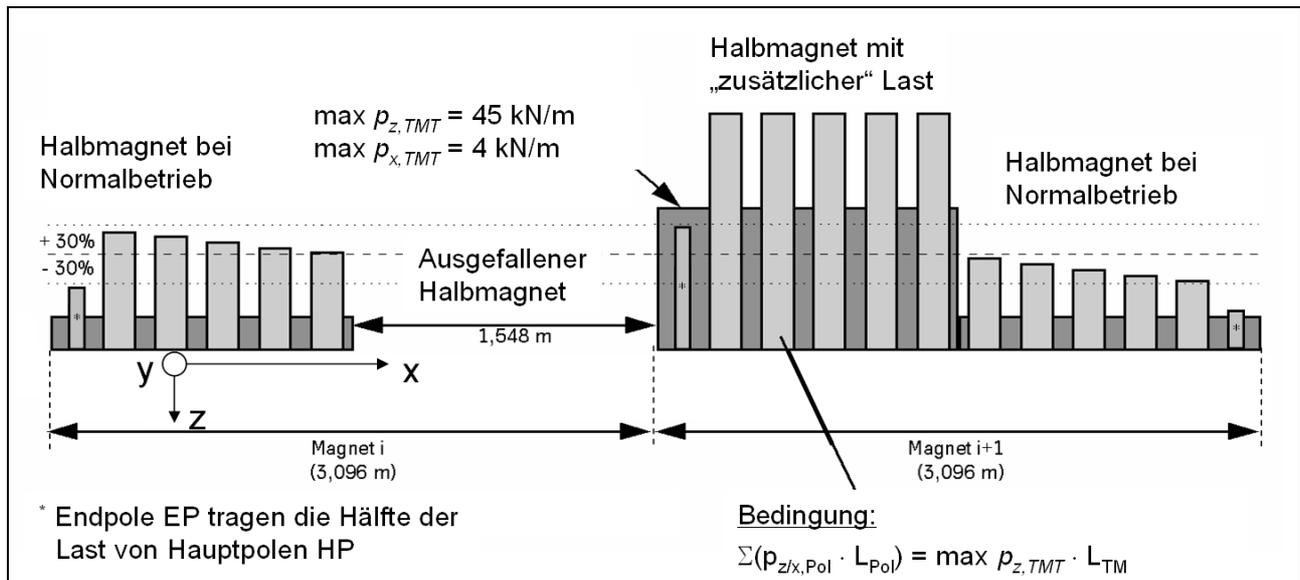


Abb. 9: Typisches Lastbild Tragmagnet bei Ausfall Magnetregelkreis Tragen (Beispiel)

8.3.8 Maximale Lasten an der Nahtstelle Führmagnet – Seitenführschiene

8.3.8.1 Eingeleitete Lasten

An der Nahtstelle zwischen Führmagnet (FM) und Seitenführschiene (SFS) erfolgt eine Übertragung folgender Lasten:

- magnetische quasistatische und dynamische Zugkräfte in y-Richtung bei Betrieb ohne technische Ausfälle oder Störungen,
- mechanische quasistatische und dynamische Druckkräfte in y-Richtung bei Betrieb mit technischen Ausfällen oder Störungen,
- Reibkräfte in x-Richtung in Folge mechanischer Druckkräfte im Sonderbetrieb.

Als charakteristische Werte für die maximalen Lasten je m Teilmagnetlänge sind zu berücksichtigen:

Bemessungssituationen	Richtung der Einwirkung	Last je m Führmagnet
Max. Zugkraft aus - zulässigem Gesamtgewicht - $a_y = 1,5 \text{ m/s}^2$, $a_x = 1,1 \text{ m/s}^2$ (WSV), - Seitenwind 10 m/s bei 400 km/h, $R_H = 1000 \text{ m}$	y-Richtung	25 kN/m
Max. Zugkraft bei Teilmagnetbetrieb und - zulässigem Gesamtgewicht - $a_y = 1,5 \text{ m/s}^2$, $a_x = 1,1 \text{ m/s}^2$ (WSV), $R_H = 1000 \text{ m}$ - Seitenwind 37 m/s bei 400 km/h, $F_{z_dyn_mittel}$	y-Richtung	32 kN/m ³
- Max. quasistationäre Druckkraft bei ausgefallener magnetischer Führungsfunktion an einem einzelnen Schweberahmen	y-Richtung	25 kN/m
- Reibkraft aus quasistationärer Druckkraft	x-Richtung	7,5 kN/m
<i>Der Schwerpunkt der Lasteinleitung in z-Richtung variiert mit Ausführung des Führmagneten und bei Ausfall von Führgeleinrichtungen</i>		

Die maximale Führkraft eines Führmagneten ist beim Einzelpol auf 16 kN/m, beim Doppelpol auf 32 kN/m zu begrenzen.

Tabelle 7: Maximale Streckenlasten

Lokale Lastverteilung und Definition Einzelpol / Doppelpol siehe Abb. 10.

³⁾ Die Überschreitung der maximalen Führkraft von 32 kN/m führt zu einer mechanischen Seitenführung (siehe Kap. 6.1).

Als charakteristische Werte für die maximale Stoßkraft sind zu berücksichtigen:

Bemessungssituationen	Richtung der Einwirkung	Last je Führmagnet
- Max. dynamische Stosskraft bei Ausfall der magnetischen Fühfunktion an einem einzelnen Schweberahmen und bei Seitenwindböe	y-Richtung	115 kN
- Reibkraft aus dynamische Stoßkraft	x-Richtung	34,5 kN
<i>Der Schwerpunkt der Lasteinleitung in z-Richtung variiert mit Ausführung des Fühmagneten und bei Ausfall von Führregeleinrichtungen</i>		

Tabelle 8: Maximale Stoßkraft

8.3.8.2 Dynamische Anregung

Fahrwegseitig sind mögliche Anregungen aus der Anordnung der Führungsmagnete zu berücksichtigen.

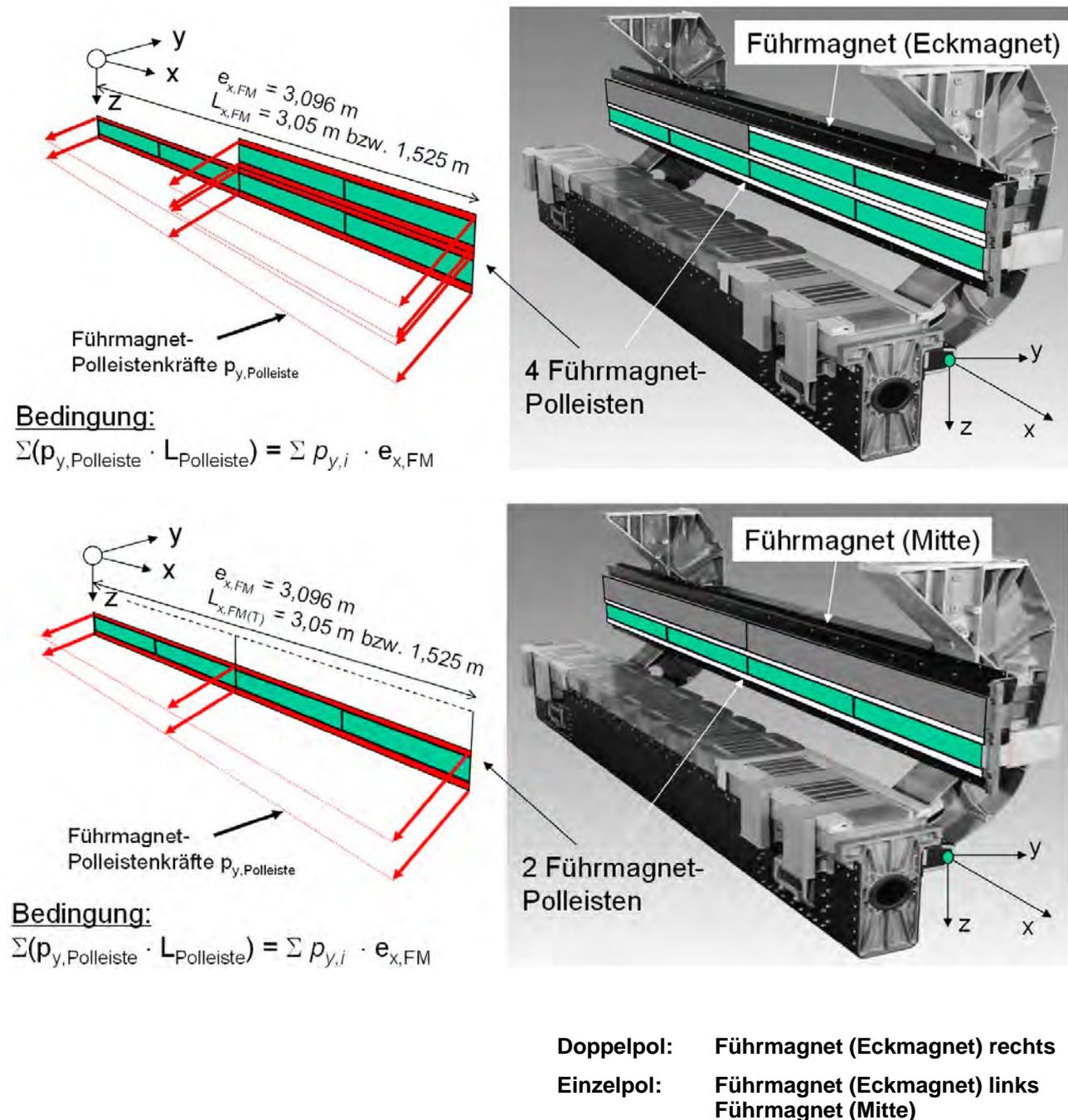


Abb. 10: Typische Lastbilder von Führungsmagneten (Beispiel)

8.3.9 Maximale Lasten an der Nahtstelle Tragkufe – Gleitebene

8.3.9.1 Eingeleitete Lasten

An der Nahtstelle zwischen Tragkufe und Gleitebene (GL) erfolgt bei Ausfällen des Tragsystems eine Beanspruchung der Gleitebene mit folgenden Lasten:

in z-Richtung (Druckbeanspruchung):

- anteilige quasistatische und dynamische Last eines gleitenden Schweberahmens
- transiente Stoßlast eines ungeregelt absetzenden Schweberahmens

in x-Richtung:

- aus Last in z-Richtung und Reibbeiwert resultierende Kraft.

Als charakteristische Werte für die maximalen Lasten durch eine einzelne Tragkufe sind zu berücksichtigen:

Charakteristische Werte der maximalen Kufenkräfte in [kN]		Richtung der Einwirkung	Last je Tragkufe
Stehendes Fahrzeug bei 16° Querneigung		y	14
Schwebendes Fahrzeug	quasistatische und dynamische Druckkraft	z	50
		x	15 bzw. 25 bei Haftreibung
	Grenzwert der Stoßkraft	z	100
		x	30
Angefrorene Tragkufen		z	-50
		x	25

Tabelle 9: Maximale Tragkufenkräfte

Lokale Lastverteilung siehe Abb. 11.

8.3.9.2 Dynamische Anregung

Anregungen in Folge der lokalen Einwirkungen der Tragkufen sind fahrwegseitig vernachlässigbar.

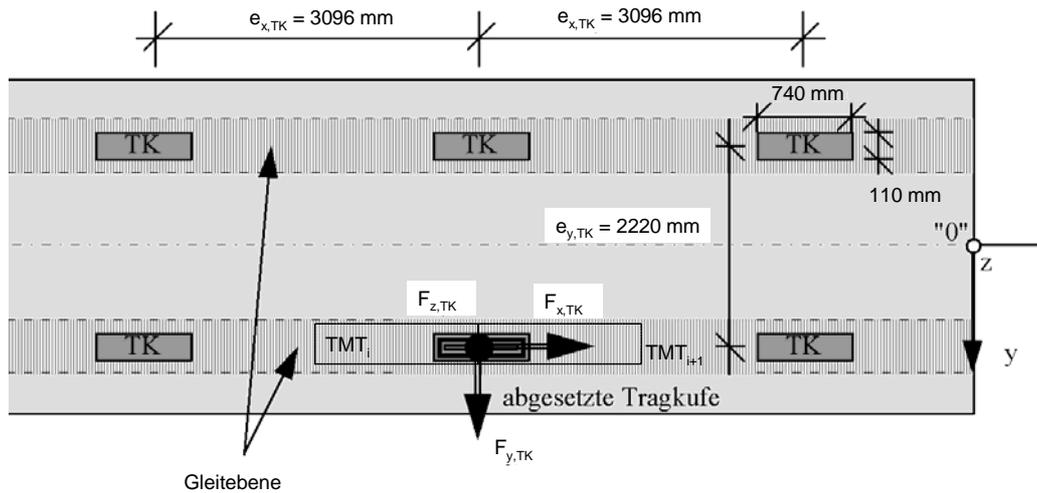


Abb. 11: Lastbilder Tragkufe (Beispiel)

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Fahrzeug Teil V Bremstechnik

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Fahrzeug, Teil V, Bremstechnik

Dok.-Nr.: 73389 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 1 von 26

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Fahrzeug zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007; Weißdruck, Fachausschuss Fahrzeug.

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler.....	2
2	Änderungsübersicht:	3
3	Inhaltsverzeichnis.....	4
4	Allgemeines	6
4.1	Zweck und Anwendungsbereich	6
4.2	Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen.....	6
4.3	Abkürzungen und Definitionen	7
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien.....	7
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen	8
5	Definitionen (fahrzeugspezifisch).....	9
6	Generelle Anforderungen an die Bremstechnik	12
6.1	Teilsysteme und Einrichtungen	12
6.2	Funktion	14
6.3	Bemessung	16
6.4	Sicherheitsanforderungen	16
6.4.1	Anforderungen an die Bordenergieversorgung	17
6.4.2	Anforderungen an die Ausführung eines Absetzbefehles	17
6.4.3	Systematische Fehler in den Bremseinrichtungen.....	17
6.5	Berücksichtigung der Reibpaarungen	18
6.5.1	Bremsmagnet / Seitenführschiene	18
6.5.2	Tragkufen / Gleitebene.....	18
7	Anforderungen an die Bremseinrichtungen.....	19
7.1	Bremskrafterzeugung.....	19
7.1.1	Funktionen und Eigenschaften.....	19
7.1.2	Ausfallauswirkung	19
7.1.3	Ausfalloffenbarung	19
7.1.4	Nachweise	20
7.2	Steuerung und Überwachung der Bremswirkung	21
7.2.1	Funktionen und Eigenschaften.....	21
7.2.2	Ausfallverhalten	21
7.2.3	Nachweise	21
8	Einwirkungen der Bremseinrichtungen auf den Fahrweg	22
8.1	Allgemein	22

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

8.2	Einwirkungsarten und Einwirkungskombinationen.....	22
8.3	Kräfte und Lastbilder	23
8.3.1	Globale Einwirkungen auf den Fahrweg	23
8.3.2	Nahtstelle Bremsmagnet – Seitenführschiene	23
8.3.3	Nahtstelle Tragkufe – Gleitebene.....	24

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	<i>Seitenansicht und Querschnitt eines Fahrzeugs mit Kennzeichnung der Bremsanlagen (Prinzipdarstellung)</i>	9
Abb. 2:	<i>Magnetmodul (Ausführungsbeispiel)</i>	10
Abb. 3:	<i>Ansicht eines Bremsmagneten (Ausführungsbeispiel), Definition der wesentlichen Bauteile</i>	10
Abb. 4:	<i>Tragkufe (Ausführungsbeispiel).....</i>	11
Abb. 5:	<i>An der Sicheren Bremse beteiligte Teilsysteme und Einrichtungen (Ausführungsbeispiel)</i>	13
Abb. 6:	<i>Bremskennlinie Sichere Bremse für eine Fahrzeugsektion (Abbildung 10 aus /MSB AG-GESAMTSYS/, Kapitel 8.5)</i>	15
Abb. 7:	<i>Struktur der Projektierung sicherheitstechnisch relevanter Systeme (Teil I / projektspezifisches Beispiel)</i>	25
Abb. 8:	<i>Struktur der Projektierung sicherheitstechnisch relevanter Systeme (Teil II / projektspezifisches Beispiel)</i>	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Charakteristische Werte für die maximalen quasistatischen Lasten durch einen einzelnen Bremsmagneten.....	23
Tabelle 2:	Charakteristische Werte für die maximalen quasistatischen Lasten durch eine einzelne Tragkufe.....	24

4 Allgemeines

4.1 Zweck und Anwendungsbereich

Die vorliegende „Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug Teil V - Bremstechnik“ legt die Anforderungen an die im Fahrzeug installierten sicheren Bremseinrichtungen fest.

Sie gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

Das Regelbremssystem „Langstator“ ist nicht Inhalt dieses Dokuments (siehe hierzu /MSB AG-GESAMTSYS/).

Teil V ist bei der Spezifikation, Ausführung und Nachweisführung der Bremseinrichtungen von MSB-Fahrzeugen anzuwenden.

Abweichungen von den Anforderungen und Festlegungen in diesem Dokument bedürfen gemäß /MbBO/ des Nachweises gleicher Sicherheit.

Teil V der „MSB- Ausführungsgrundlagen Fahrzeug“ umfasst:

- Definition der Bremseinrichtungen;
- Anforderungen an die Bremseinrichtungen;
- Einwirkungen der Bremseinrichtungen auf den Fahrweg;
- Beschreibung der Schnittstellen zu anderen Systemen (BLT, Bordenergieversorgung).

Es werden die Anforderungen an die sichere Bremstechnik des Fahrzeugs zusammengestellt. Das Dokument enthält keine Beschreibung der Bremssteuerung und Bremsüberwachung durch die BLT. Diese ist in /MSB AG-BLT/ enthalten.

4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentationsbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordnete Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, mit den Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

Die Dokumentation zum Fahrzeug beinhaltet folgende Unterlagen:

Titel	Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil V, Bremstechnik
-------	--

Dok.-Nr.:	73389	Version	Weißdruck	Ausg. Datum	15.02.2007
-----------	-------	---------	-----------	-------------	------------

Seite 6 von 26

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil I: Generelle Anforderungen, Dok.-Nr: 67698, /MSB AG-FZ GEN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil II: Bemessung, Dok.-Nr: 67694, /MSB AG-FZ BEM/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil III: Kinematische Begrenzungslinie, Dok.-Nr: 67650, /MSB AG-FZ KIN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil IV: Trag- /Führtechnik, Dok.-Nr: 73388, /MSB AG-FZ TRAFÜ/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil V: Bremstechnik, Dok.-Nr: 73389, /MSB AG-FZ BREMS/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

Nachfolgende Abkürzungen gelten ergänzend zu /MSB AG-ABK&DEF/:

a	Bremsverzögerung (Momentanwert)
F_G	Bremskraft des Fahrzeugs
F_{Brems}	Bremskraft des Fahrzeugs durch Wirkung der Bremseinrichtungen
F_W	Fahrwiderstand des Fahrzeugs
F_H	Haltebremskraft
m	Fahrzeugmasse
m_b	abgesetzter Anteil der Fahrzeugmasse
s	Ortsvariable
v	Geschwindigkeit (Momentanwert)
v_0	Bremsausgangsgeschwindigkeit
μ_H	Reibbeiwert für die Haltebremsfunktion
$\mu_{H \text{ min}}$	Minimaler Reibbeiwert für die Haltebremsfunktion auf vereistem Fahrweg

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

Titel	Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil V, Bremstechnik
-------	--

Dok.-Nr.:	73389	Version	Weißdruck	Ausg. Datum	15.02.2007
-----------	-------	---------	-----------	-------------	------------

Seite 7 von 26

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

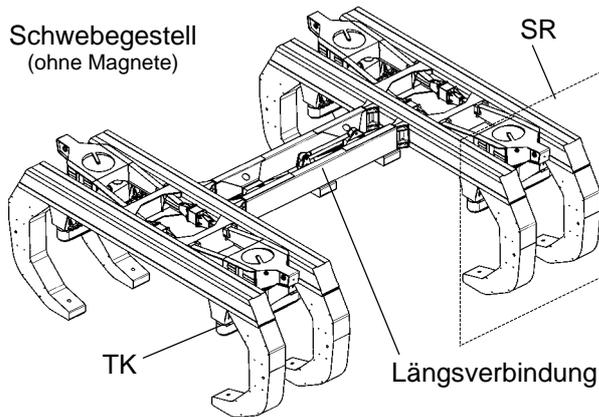
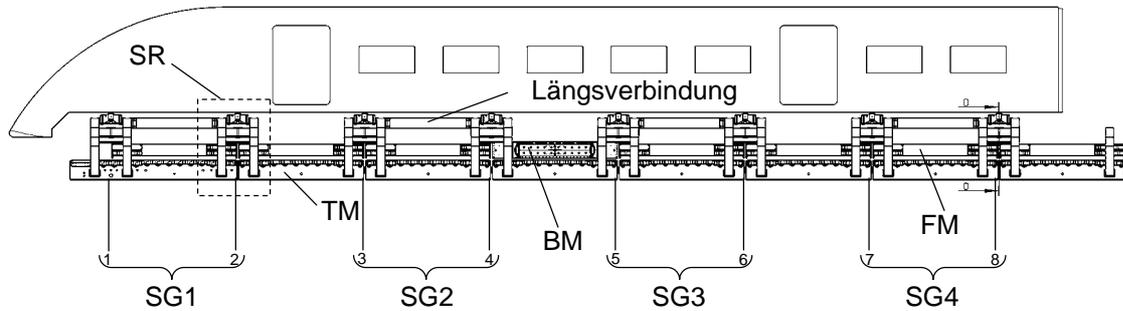
In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokuments sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in *Kursiv-Schrift*

gekennzeichnet.

Werden in diesem Dokument Hinweise auf projektspezifische Regelungen im Einzelfall gegeben, bedeutet dies, dass eine Vereinbarung zwischen Hersteller und Unternehmer (z.B. *in einem Lastenheft bzw. einer vertraglichen Regelung*) unter Hinzuziehung der Genehmigungsbehörde zu treffen ist.

5 Definitionen (fahrzeugspezifisch)



- SG = Schwebegestell
- SR = Schweberrahmen (2 Gestellbügel + Verbindungsteile)
- TM = Tragemagnet
- FM = Führungsmagnet
- BM = Bremsmagnet
- TK = Tragkufe
- WK = Wagenkasten

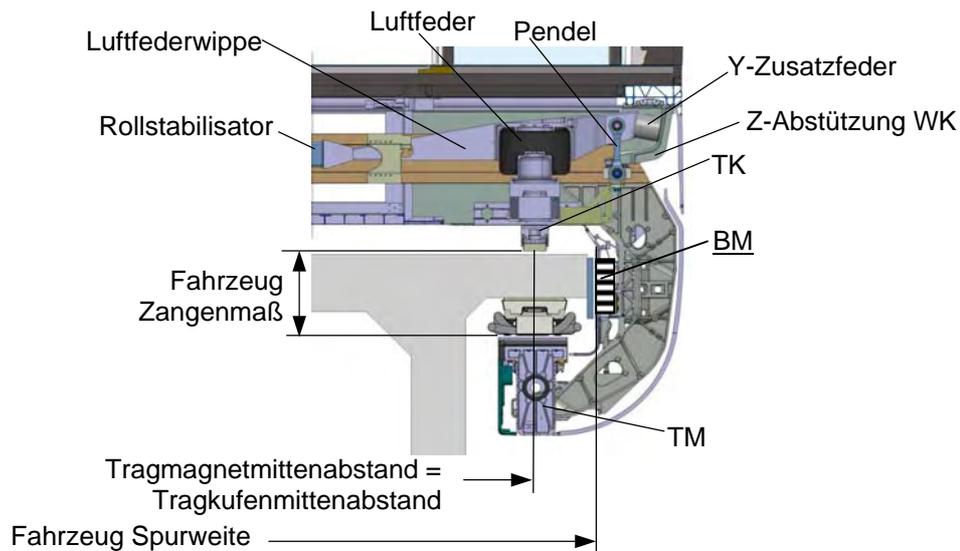


Abb. 1: Seitenansicht und Querschnitt eines Fahrzeugs mit Kennzeichnung der Bremseinrichtungen (Prinzipdarstellung)

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrzeug, Teil V, Bremstechnik

Dok.-Nr.: 73389 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 9 von 26

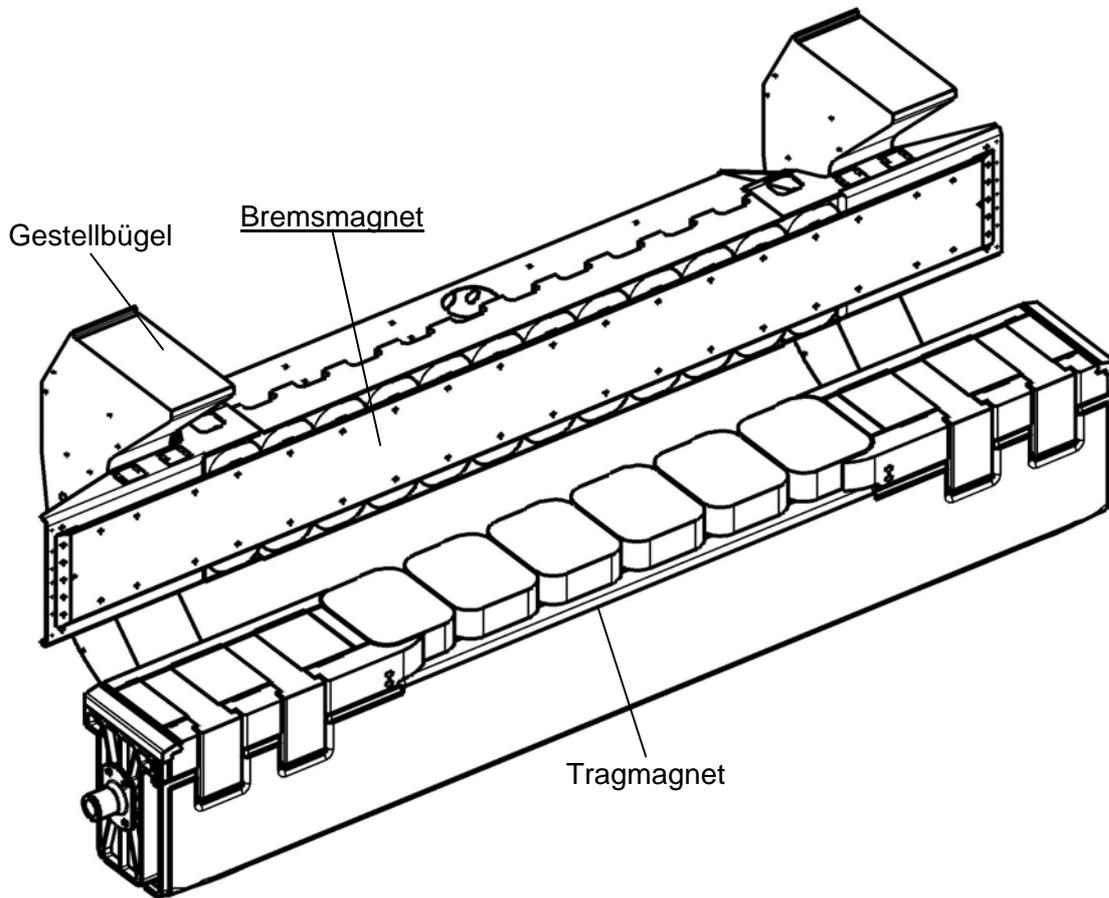


Abb. 2: Magnetmodul (Ausführungsbeispiel)

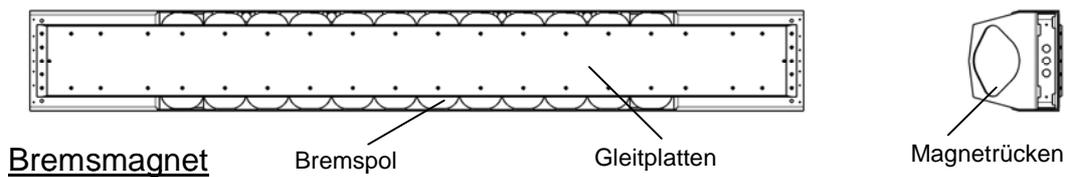


Abb. 3: Ansicht eines Bremsmagneten (Ausführungsbeispiel), Definition der wesentlichen Bauteile

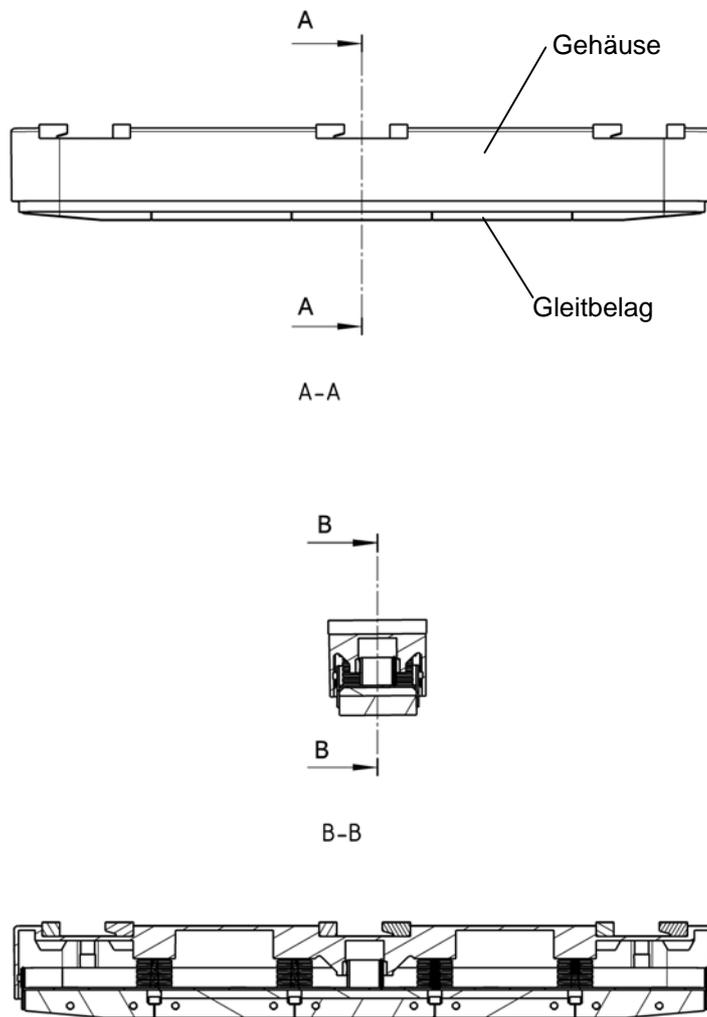


Abb. 4: *Tragkufe (Ausführungsbeispiel)*

6 Generelle Anforderungen an die Bremstechnik

6.1 Teilsysteme und Einrichtungen

Es gilt die Beschreibung in /MSB AG-GESAMTSYS/.

Für das Fahrzeug stehen folgende Bremsen zur Verfügung:

- *Bremsfunktion des Langstatorantriebs, eingesetzt im ausfallfreien Zustand (Betriebsbremse);*
- *Sichere Bremse, gesteuert durch fahrzeugseitige Einrichtungen der BLT.*

Die Bremsfunktion des Langstatorantriebs ist nicht Inhalt dieses Dokuments (siehe hierzu /MSB AG-GESAMTSYS/).

Diese Ausführungsgrundlage regelt die Anforderungen an die Bremseinrichtungen des Fahrzeuges (Sichere Bremse) und deren Einwirkungen auf den Fahrweg. Die Ansteuerung der Antriebsabschaltung und der fahrzeugeigenen Bremseinrichtungen sowie die Vermeidung von unzulässigen Überlagerungseffekten erfolgt durch die Betriebsleittechnik und ist nicht Gegenstand dieser Ausführungsgrundlage¹.

Die an der Sicheren Bremse beteiligten Teilsysteme und Einrichtungen sind in Abb. 5 beispielhaft definiert. Die Umsetzung der durch die BLT zu realisierenden Steuerung und Überwachung der Sicheren Bremse erfolgt in diesem Ausführungsbeispiel fahrzeugseitig unter Einbindung folgender Teilsysteme und Einrichtungen:

- *Die Steuersignale der BLT zur Aktivierung der Bremsfunktion und zur Steuerung der Bremswirkung werden an die Magnetregleinrichtungen Bremsen übertragen.*
- *Die Magnetregleinrichtungen Bremsen regeln den Strom der Bremsmagnete und überwachen dezentral die jeweiligen Bremseinrichtungen.*
- *Die Überwachungssignale der Magnetregleinrichtungen Bremsen werden an die BLT übertragen.*
- *Die Bremsmagnete erzeugen in den Seitenführschiene des Fahrwegs geschwindigkeitsabhängig Wirbelströme, die verzögernde Kräfte auf die Bremsmagnete zur Folge haben. Zusätzlich erzeugen die Bremsmagnete anziehende Kräfte auf die Seitenführschiene. Im unteren Geschwindigkeitsbereich legen sich die Bremsmagnete aufgrund der anziehenden Kräfte an die Seitenführschiene an und erzeugen Reibkräfte zwischen den Gleitplatten der Bremsmagnete und der Seitenführschiene.*
- *Die an der Bremse wirkenden Kräfte werden über die Anlenk- und Strukturteile der Bremse in das Fahrzeug geleitet.*
- *Unmittelbar vor Erreichen des Stillstandes des Fahrzeugs wird die Bremse durch die BLT abgeschaltet und das Fahrzeug durch Steuersignale der BLT an die Magnetregleinrichtungen Tragen über die Tragkufen auf die Gleitebene abgesetzt.*
- *Die Tragkufen übernehmen die Haltebremsfunktion.*
- *Die Überwachungssignale der Bordnetze und der Magnetregleinrichtungen Tragen werden an die BLT übertragen.*

¹ Die Ausführungsgrundlage beschreibt auf Basis ausführungsspezifischer Merkmale des Transrapids projektunabhängige Ausführungsanforderungen an die Sichere Bremse.

Die

- Bremskrafterzeugung gemäß Kap. 7.1 (in Abb. 5 Bremsmagnet, Struktur-Anlenkteile Bremse, Magnetregel-einrichtungen Bremsen und die
- Steuerung und Überwachung der Bremswirkung gemäß Kap. 7.2 (in Abb. 5 Übertragung der Steuersignale und Überwachungssignale der Bremse von und zur BLT, Generierung sicherheitsrelevanter Statusinformationen in den Magnetregel-einrichtungen)

sind Bestandteil dieser Ausführungsgrundlage (/MSB AG-FZ BREMS/).

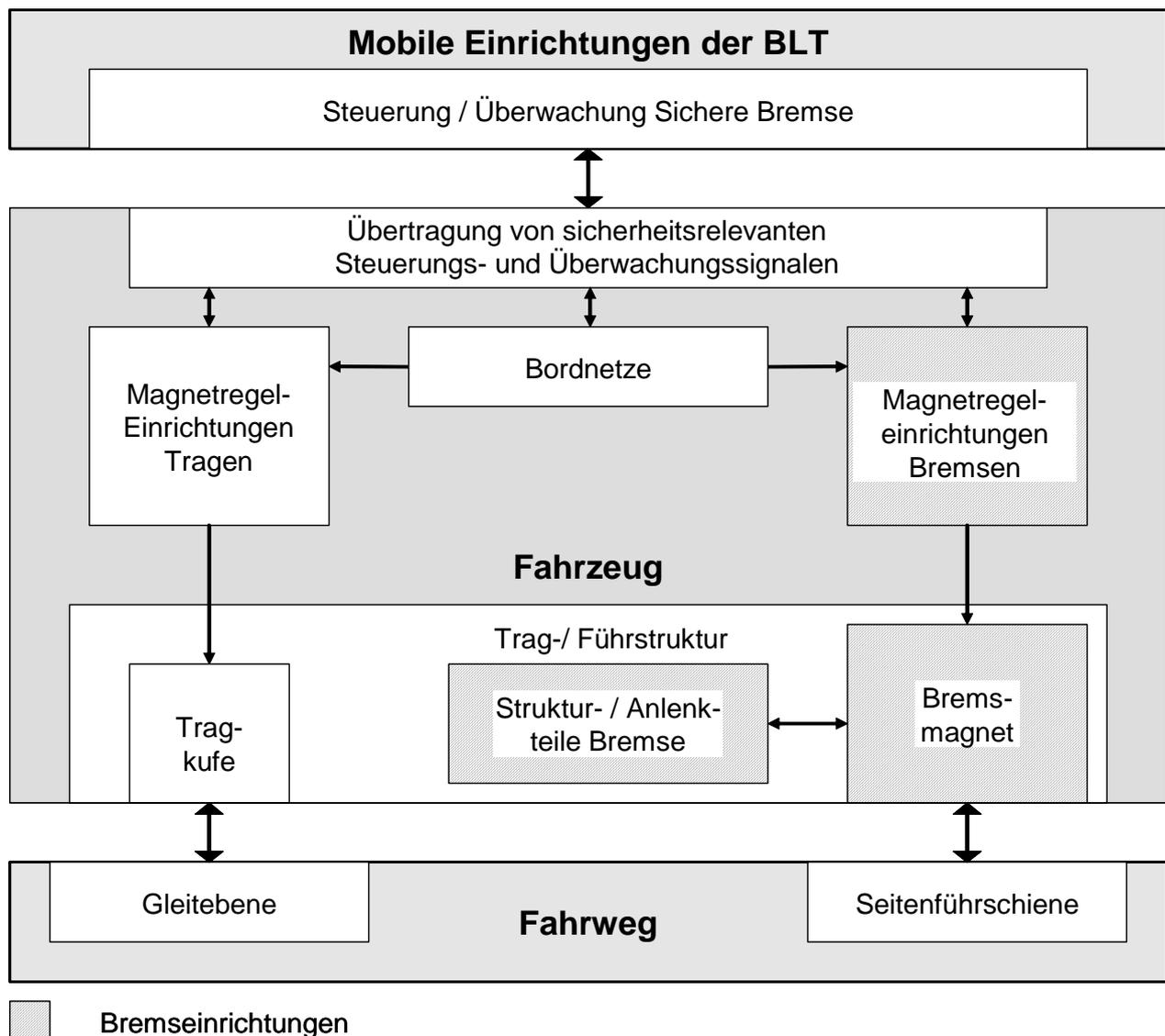


Abb. 5: An der Sicheren Bremse beteiligte Teilsysteme und Einrichtungen (Ausführungsbeispiel)

Die für den Einsatz der Sicheren Bremse erforderlichen Funktionen der BLT

- Steuerung und Überwachung der Bremsprüfung,
- Steuerung und Überwachung Sichere Bremse,
- Überwachung Maximalprofil,
- Überwachung Minimalprofil,
- Sichere Ortung,
- Sichere Antriebsabschaltung,

sind Bestandteile der Ausführungsgrundlage BLT (/MSB AG-BLT/).

Die Trag-/Führstruktur sowie die Magnetregleinrichtungen Tragen und Führen sind Bestandteile der Ausführungsgrundlage Trag-/Führtechnik (/MSB AG-FZ TRAFÜ/).

Die Bemessung der Strukturteile Bremse ist in /MSB AG-FZ BEM/ enthalten.

6.2 Funktion

Die fahrzeugeigene Sichere Bremse muss so ausgeführt werden, dass das Fahrzeug mit den in ihm eingebauten Einrichtungen der Betriebsleittechnik autark eine Bremsung zu einem definierten Halteplatz durchführen kann.

Die fahrzeugeigene sichere Bremse muss folgende Funktionen aufweisen:

- durch die BLT jederzeit aktivierbare Bremswirkung,
- durch die BLT steuerbare Höhe der Bremswirkung,
- Haltebremsfunktion.

Für die Haltebremsfunktion gilt § 13 und § 20 der MbBO. Die Umsetzung muss projektspezifisch nachgewiesen werden. Dabei sind die Anforderungen aus /MSB AG-GESAMTSYS/ zu berücksichtigen. Eine eingenommene Halteposition muss beibehalten werden.

Das Bremsvermögen wird bestimmt durch die geschwindigkeitsabhängig wirksame Bremskraft des Fahrzeugs F_G bei abgeschaltetem Langstatorantrieb und durch die Bremsentwicklungszeit t_b nach Aktivierung durch die BLT.

Allgemein gilt für F_G :

$$F_G = F_{Brems} + F_W$$

mit F_{Brems} : Bremskraft des Fahrzeugs durch Wirkung der Bremseinrichtungen

F_W : Fahrwiderstand des Fahrzeugs

Das Bremsvermögen ist versuchstechnisch zu verifizieren.

Die geschwindigkeitsabhängige Bremskraft berechnet sich bei gegebener Fahrzeugmasse m zu

$$F_G(v) = a(v) \cdot m.$$

Der Fahrwiderstand F_W muss versuchstechnisch durch geeignete Ausschwebeversuche mit dem nicht angetriebenen und nicht gebremsten Fahrzeug in gleicher Weise wie F_G verifiziert werden.

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

Die Haltebremsfunktion kann durch das Absetzen des Fahrzeugs auf Tragkufen realisiert werden.

Die Haltebremskraft F_H wird bestimmt durch den abgesetzten Anteil der Fahrzeugmasse m_b und den Reibbeiwert μ_H , der auf der Kontaktfläche zwischen dem Fahrweg und dem Fahrzeug wirksam ist.

Die Haltebremsfunktion ist gegeben, wenn die Haltebremskraft höher ist als die auf das stehende Fahrzeug einwirkende Kraft in x-Richtung. Diese besteht aus der Hangabtriebskraft bei Längsneigung und aus der aerodynamischen Kraft durch Wind in x-Richtung.

Beim Nachweis der Haltebremsfunktion ist projektspezifisch ein Sicherheitsfaktor > 1 zu berücksichtigen.

Die mit der Sicheren Bremse erreichbare maximale und minimale Bremskennlinie ist für eine Fahrzeugsektion beispielhaft in Abb. 6 dargestellt.

Die Grenzwerte müssen projektspezifisch mit den Anforderungen der BLT und der Bemessung Fahrweg abgestimmt werden. Die projektspezifisch festgelegten Werte müssen eingehalten werden.

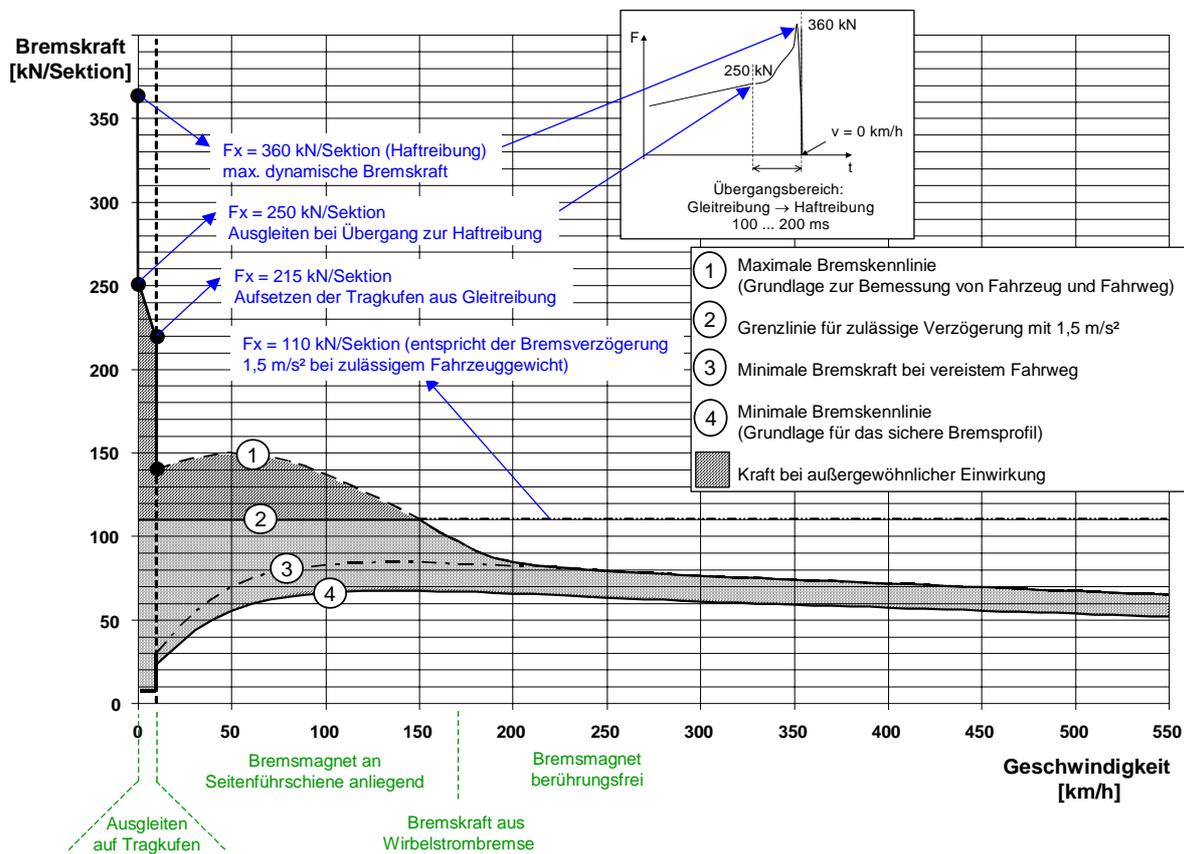


Abb. 6: Bremskennlinie Sichere Bremse für eine Fahrzeugsektion (Abbildung 10 aus /MSB AG-GESAMTSYS/, Kapitel 8.5)

6.3 Bemessung

Unter Anwendung der Ausführungsgrundlagen Fahrzeug Teil II (/MSB AG-FW BEM/) müssen die Lasten, die über die Strukturbauteile und Anlenkungen der die Bremskraft erzeugenden Einrichtungen übertragen werden, bei der Bemessung berücksichtigt werden.

Die Lasten müssen projektspezifisch dokumentiert werden.

Für die lastübertragenden Bauteile ist der Nachweis der Lastaufnahmefähigkeit (allgemeiner Spannungsnachweis) und der Ermüdung entsprechend den Vorgaben in Teil II (/MSB AG-FW BEM/) zu erbringen.

Die Bremsen müssen die geometrischen Randbedingungen gemäß /MSB AG-FW GEO/ vollumfänglich berücksichtigen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die zugelassenen Oberflächenabweichungen die Bremswirkung nicht systemkritisch beeinflussen dürfen.

6.4 Sicherheitsanforderungen

Die sicherheitstechnisch relevanten Systeme sind im Allgemeinen gemäß /DIN EN 50126/ zu projektieren und nachzuweisen.

Eine Struktur der Aufgabe wird in Abb. 7 und Abb. 8 beispielhaft dargestellt.

Die Steuerung und Funktion der sicheren Bremse mit Zielbremsung muss im gesamten Geschwindigkeitsbereich über ihre Lebensdauer sicher (Safe-Life) sein. Die zulässige Ausfallrate der sicheren Bremse in einer angenommenen Betriebszeit (Fahrbetrieb und Stillstand) ist durch eine Risikoanalyse zu bestimmen.

Methodische Hinweise zur Durchführung der Risikoanalyse finden sich in /prEN 50 126-2/ und /prR009-004/.

Der Geschwindigkeitsbereich muss die maximal erreichbare Geschwindigkeit entsprechend dem Maximalfahrprofil bis zum Stillstand umfassen. Der Geschwindigkeitsbereich kann von einem oder mehreren Bremssystemen abgedeckt werden, z. B. ein Wirbelstrombremssystem in Verbindung mit einer Reibbremse.

Die Safe-life-Anforderung muss die ungünstigsten spezifizierten Randbedingungen, wie maximale Zuladung, Rückenwind, Gefälle, Einwirkungen aus der Primärumwelt, insbesondere winterliche Witterung und Blitz, sowie technische Störungen und Ausfälle abdecken.

Zur Erreichung der geforderten Ausfallrate kann die sichere Bremse mit redundanten Bremseinrichtungen ausgeführt werden. Ausfälle in der redundant ausgeführten Sicheren Bremse bzw. ein Rückgang der Bremskraft aufgrund technischer Störungen oder Ausfälle dürfen die Safe-life-Eigenschaften der sicheren Bremse nicht beeinflussen.

Der Nachweis der Safe-life-Eigenschaft ist vor der Inbetriebnahme des Systems anhand einer geeigneten Analyse wie z.B. einer Fehlerbaumanalyse darzulegen. Dieser theoretische Nachweis ist durch experimentelle Verifizierung der in der Analyse angenommenen Baugruppen-Ausfallraten sowie durch praktische Versuche zum Nachweis des Ausfallverhaltens bei Ausfall von Baugruppen zu ergänzen. Im Rahmen der Analyse ist eine Common-Cause-Fehleranalyse durchzuführen.

Für die Sichere Bremse muss ein Sicherheitsnachweis inkl. Risikoanalyse gemäß /DIN EN 50126/ durchgeführt werden.

Die Anforderungen und Nachweise zu den Einrichtungen für die Bremskrafterzeugung werden in Kap. 7.1 angegeben.

Die Anforderungen und Nachweise zu den Einrichtungen für die Steuerung und Überwachung der Bremswirkung werden in Kap. 7.2 angegeben.

Auf Grundlage der Risikoanalyse muss für die elektronischen Einrichtungen zur Bremskrafterzeugung sowie zur Steuerung und Überwachung der Bremswirkung die SIL-Stufe gemäß DIN EN 50129 festgelegt und bei der Nachweisführung berücksichtigt werden.

Für Software in den Bremseinrichtungen muss die auf Grundlage der Risikoanalyse festgelegte Software-Sicherheitsanforderungsstufe bei der Nachweisführung gemäß /DIN EN 50128/ berücksichtigt werden.

Mindestens nachfolgende Fehler sind in einer geeigneten Analyse zu berücksichtigen:

- Fehler in der Bordenergieversorgung,
- vorzeitiges oder verspätetes Ausführen eines Absetzbefehles,
- systematische Fehler (Hard- und Software),
- unzeitiges Anheben des Fahrzeugs.

6.4.1 Anforderungen an die Bordenergieversorgung

Aus den Systemeigenschaften der Sicheren Bremse werden funktionale und sicherheitsrelevante Anforderung an die Bordenergieversorgung gestellt, deren Erfüllung nachgewiesen werden muss, siehe / MSB AG-FZ TRAFÜ/.

Für die Durchführung einer Zwangsbremung mit der sicheren Bremse muss eine unterbrechungsfreie Stromversorgung vorgesehen werden. Dabei müssen die ungünstigsten spezifizierten Umwelt- und Betriebsbedingungen berücksichtigt werden.

6.4.2 Anforderungen an die Ausführung eines Absetzbefehles

Der Absetzbefehl muss so erzeugt und in jeder Trag-/Führeinheit mit der dort autark ermittelten Geschwindigkeit logisch so UND-verknüpft werden, dass erst dann, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit kleiner als die zugelassene Absetzgeschwindigkeit ist, der Befehl zum Absetzen dezentral wirksam werden kann.

Für die Absetzsteuerung ist ein Nachweis zu führen, dass der Absetzbefehl auch bei allen anzunehmenden Ausfällen mit hinreichender Wahrscheinlichkeit nur unterhalb der Absetzgeschwindigkeit wirksam werden kann.

6.4.3 Systematische Fehler in den Bremseinrichtungen

Es ist der Nachweis nach /DIN EN 50129/ zu führen, dass systematische Fehler in der Hardware und - falls vorhanden - der Software der sicherheitsrelevanten Einrichtung zum Messen, Steuern, Regeln und Überwachen der Magnetregelkreise der Sicheren Bremse hinreichend unwahrscheinlich sind oder in ihren Auswirkungen beherrscht werden.

Diagnose- und Regeleinrichtungen sollten hard- und softwareseitig getrennt ausgeführt werden.

6.5 Berücksichtigung der Reibpaarungen

6.5.1 Bremsmagnet / Seitenführschiene

Durch die gegenseitige Krafteinwirkung der Baukomponenten Bremsmagnet und Seitenführschiene wird die Bremswirkung der Sicherer Bremsen garantiert. Die Bremswirkung wird erzeugt durch Wirbelstromwirkung und im unteren Geschwindigkeitsbereich durch mechanische Reibung.

Die zwischen SFS und Gleitplatte wirkenden Normalkräfte, Reibeigenschaften und Flächenpressung sind bei der Dimensionierung zu berücksichtigen.

Im Instandhaltungsprogramm muss der Verschleiß der Gleitplatten berücksichtigt werden.

Die Eigenschaften der Reibpaarung Gleitplatte / Seitenführschiene sind projektspezifisch zu definieren und nachzuweisen. Hierfür können geeignete Prüfstandsnachweise erbracht werden.

6.5.2 Tragkufen / Gleitebene

Tragkufen und Gleitebene kommen bei Unterbrechung der magnetischen Tragfunktion in mechanischen Kontakt.

Dies erfolgt

- *beim Absetzen des Fahrzeuges,*
- *bei Notlaufeigenschaft Tragsystem,*
- *als anteilige Bremsfunktion der Sicherer Bremsen bei kleinen Geschwindigkeiten z.B. ≤ 10 km/h (Festlegung projektspezifisch),*
- *als Haltebremsfunktion.*

Im Instandhaltungsprogramm muss der Verschleiß der Tragkufen berücksichtigt werden.

Die Eigenschaften der Reibpaarung Tragkufen / Gleitebene sind projektspezifisch zu definieren und nachzuweisen. Hierfür können geeignete Prüfstandsnachweise erbracht werden.

7 Anforderungen an die Bremseinrichtungen

7.1 Bremskraftherzeugung

7.1.1 Funktionen und Eigenschaften

Die Bremskräfte der Sicheren Bremse werden erzeugt durch:

- *Bremseinrichtungen, die Bremskräfte über die Schnittstelle zum Fahrweg hervorrufen,*
- *Bremseinrichtungen, die im Stillstand eine Haltebremskraft über die Schnittstelle zum Fahrweg hervorrufen.*

7.1.2 Ausfallauswirkung

Der Ausfall einer Bremseinrichtung darf keine Beeinträchtigung der Funktion der anderen Brems-einrichtungen bewirken.

Die folgenden Ausfälle innerhalb der Bremseinrichtungen dürfen eine Eintrittswahrscheinlichkeit, deren Größe pro Jahr und pro Fahrzeug zuvor in einer Risikoanalyse zu ermitteln ist, nicht überschreiten:

- Ausfälle, die dazu führen, dass die Sichere Bremse ohne Kommando durch die BLT ganz oder teilweise aktiviert wird,
- Ausfälle, die dazu führen, dass die festgelegte maximale Bremskraft überschritten wird,
- Ausfälle, die dazu führen, dass die geforderte minimale Bremskraft unterschritten wird.

Ausfälle von Bremseinrichtungen müssen, soweit sie eine Rückwirkung auf das Trag-/ Führsystem haben, bei der Bemessung und Ausführung des Trag-/Führsystems berücksichtigt werden.

Ausfälle im Trag-/Führsystem müssen, soweit sie eine Rückwirkung auf die Funktion der Sicheren Bremse haben, bei der Bemessung und Ausführung der Bremseinrichtungen berücksichtigt werden.

7.1.3 Ausfaltoffenbarung

Ausgefallene Bremseinrichtungen einschließlich Signalübertragung von / zur BLT müssen sich fail-safe offenbaren.

Bei sicherheitsrelevanten Überwachungseinrichtungen, die keine selbsttätige Ausfaltoffenbarung aufweisen, muss die Offenbarung von Ausfällen durch periodisch durchzuführende Funktionsprüfungen / Inspektionen erfolgen.

Die Ausfaltoffenbarungszeiten, die zur Einhaltung der gemäß Risikoanalyse vorgegebenen Rate für Ausfälle erforderlich sind, müssen eingehalten werden.

Die Prüfkriterien und Prüfintervalle sind mittels einer geeigneten Analyse, z.B. Fehlerbaumanalyse und Ausfalleffektanalyse zu ermitteln.

7.1.4 Nachweise

Für die Bremseinrichtungen muss eine Qualifikationsprüfung mit Prototypen erbracht werden, mit denen die Funktion, das Ausfallverhalten, die Ausfalloffenbarung und die Umweltbeständigkeit nachgewiesen werden.

Die geschwindigkeitsabhängigen Verläufe der Bremskraft F_{Brems} , sowohl bei voller Verfügbarkeit als auch bei spezifizierter max. Anzahl ausgefallener Bremskreise, und des Fahrwiderstandes F_W müssen mit einem repräsentativen Fahrzeug unter definierten Umwelt- und Nutzlastbedingungen versuchstechnisch nachgewiesen werden.

Der geschwindigkeitsabhängige Verlauf der unter den zu berücksichtigenden ungünstigst wirkenden Umwelt-, Nutzlast- und Ausfallbedingungen mindestens wirksamen Bremskraft F_{Brems} kann durch Berechnung erfolgen.

Der Nachweis der Bremskraft muss diejenigen Ausfälle berücksichtigen, die innerhalb der akzeptablen Ausfallrate gemäß der Risikoanalyse (siehe Kap. 6.4) liegen.

Zum Nachweis der Safe-Life-Funktion ist eine geeignete Analyse, z.B. Fehlerbaumanalyse durchzuführen. Im Rahmen der Analyse ist eine Common-Cause-Fehleranalyse durchzuführen.

Mit einer geeigneten Analyse, z.B. einer Fehlerbaumanalyse, ist nachzuweisen, dass folgende Ereignisse nur mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit, deren Größe pro Jahr und pro Fahrzeug zuvor in einer Risikoanalyse zu ermitteln ist, auftreten:

- Ganz oder teilweise wirkende Bremse ohne Ansteuerung bzw. Regelung durch die BLT,
- Unterschreiten einer geforderten Bremskraft oder Überschreitung der maximal zulässigen Bremskraft im gesamten Geschwindigkeitsbereich einschließlich Stillstand.

Das Ausfallverhalten muss durch stimulierte Bauteilausfälle versuchstechnisch nachgewiesen werden.

Die Zuverlässigkeit der elektronischen Bremseinrichtungen muss durch Ermittlung der MTBF aus der Auswertung von Lebenslaufdaten mit repräsentativen Baugruppen im Betrieb verifiziert werden.

Die Kompatibilität der aus Lebenslaufdaten verifizierten MTBF mit den Prognose-Ansätzen der Analyse ist nachzuweisen.

7.2 Steuerung und Überwachung der Bremswirkung

7.2.1 Funktionen und Eigenschaften

Die sicherheitsrelevanten Steuerungs- und Überwachungsfunktionen der sicheren Bremse umfassen:

- *Die Übertragung von Steuerkommandos der BLT an die Bremseinrichtungen zur Aktivierung der Bremsfunktion und zur Steuerung der Bremswirkung.*
- *Die Generierung sicherheitsrelevanter Statusinformationen zur Überwachung der Bremseinrichtungen und deren Übertragung an die BLT.*

Nichtsicherheitsrelevante Statusinformationen (z.B. Diagnosemeldungen) sind nicht Bestandteil dieser Ausführungsgrundlage.

7.2.2 Ausfallverhalten

Ein Einzelausfall der Steuerungs- / Überwachungseinrichtungen darf nicht zum Verlust oder zu einer Einschränkung einer sicherheitsrelevanten Steuerungs- / Überwachungsfunktion führen.

Der Ausfall einer sicherheitsrelevanten Steuerungs- / Überwachungsfunktion durch Mehrfachausfall redundanter Baugruppen muss zu einer automatischen sicherheitsgerichteten Systemreaktion führen.

Das Auslösen dieser sicherheitsgerichteten Systemreaktion wird durch die Betriebsleittechnik gewährleistet und ist nicht Gegenstand dieser Ausführungsgrundlage.

7.2.3 Nachweise

Eine Qualifikation der Baugruppen ist mit Prototypen oder mit einem repräsentativen Fahrzeug durchzuführen.

Die Steuerungs- und Überwachungseinrichtungen müssen in der Analyse zum Nachweis der Auftretenswahrscheinlichkeit einer nicht ausreichenden oder nicht beabsichtigten Bremswirkung (siehe Kap. 6.1) berücksichtigt werden. Im Rahmen der Analyse ist eine Common-Cause-Fehleranalyse durchzuführen.

8 Einwirkungen der Bremseinrichtungen auf den Fahrweg

8.1 Allgemein

Die nachfolgend angegebenen Kräfte entsprechen den charakteristischen Werten der fahrzeugseitigen Einwirkungen an den Schnittstellen Fahrzeug/Fahrweg auf den Fahrweg.

8.2 Einwirkungsarten und Einwirkungskombinationen

Die Einwirkungen der Bremseinrichtungen auf den Fahrweg treten an folgenden Nahtstellen auf:

- *Bremsmagnet-Seitenführschiene,*
- *Tragkufe-Gleitebene.*

Die auf den Fahrweg einwirkenden Kräfte resultieren aus den Funktionen:

- *magnetische Bremswirkung durch vom Bremsmagnet in der Seitenführschiene induzierte Wirbelströme,*
- *magnetische Zugkraft auf die Seitenführschiene als Reaktionsschiene der Bremsmagnete,*
- *mechanische Bremswirkung durch Reibung zwischen Bremsmagnet und Seitenführschiene,*
- *mechanische Bremswirkung durch Reibung zwischen Tragkufe und Gleitebene.*

Die Beeinflussung der magnetischen Bremswirkung durch Witterung kann vernachlässigt werden.

Die mechanische Bremswirkung wird über den effektiven Reibbeiwert durch variierende Umweltbedingungen beeinflusst.

Die Einwirkungen auf die Struktur der Bremseinrichtungen und die Krafteinleitung in das Trag-/Führsystem müssen gemäß Kap. 6.3 bei der Bemessung der Baugruppen berücksichtigt werden.

Die Einwirkungen auf den Fahrweg müssen in den Bemessungsgrundlagen des Fahrwegs als veränderliche bzw. außergewöhnliche Einwirkungen aus dem Fahrzeug berücksichtigt werden.

Damit die in den Bemessungsgrundlagen Fahrweg unterstellten Einwirkungen aus dem Betrieb des Fahrzeugs mit den tatsächlich auftretenden Einwirkungen hinreichend übereinstimmen, dürfen die in Kap. 8.3 genannten Werte der fahrzeugseitig übertragenen Kräfte nicht überschritten werden (zulässige Toleranz bei der Verifikation der Einwirkungsgrößen 5%).

Die angegebenen Größen der charakteristischen Werte der Einwirkungen müssen in jedem Anwendungsfall in einer projektspezifischen Spezifikation verbindlich festgelegt werden.

Die Höhe der Einwirkungen muss durch Berechnung oder durch Messung mit einem repräsentativen Fahrzeug nachgewiesen werden.

8.3 Kräfte und Lastbilder

8.3.1 Globale Einwirkungen auf den Fahrweg

Als charakteristischer Wert für die maximale globale Bremswirkung einer Fahrzeugsektion auf den Fahrweg ist eine Kraft in x-Richtung von 250 kN bei zulässigem Gesamtgewicht gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/, Kap. 9, und Geschwindigkeit $v > 0$ km/h einzuhalten.

Beim Übergang von $v > 0$ km/h auf $v = 0$ km/h ist der Effekt des Übergangs von Gleit- auf Haftreibung zu berücksichtigen. Hierbei kann eine transiente maximale Kraft in x-Richtung von 360 kN mit einer Einwirkungsdauer in der Größenordnung von 100 ms bis 200 ms auftreten.

8.3.2 Nahtstelle Bremsmagnet – Seitenführschiene

An der Nahtstelle zwischen Bremsmagnet (BM) und Seitenführschiene (SFS) erfolgt eine magnetische Übertragung von Zugkräften in y-Richtung sowie eine magnetische und mechanische Übertragung von Bremskräften in x-Richtung.

Das Material der Seitenführschiene muss die Anforderungen gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/, Kap. 6.1.4.3.6, erfüllen. Zusätzlich ist auch der Energieeintrag durch die Bremsrichtungen der Sicherer Bremsen in die SFS, der in Wärme umgesetzt wird, zu berücksichtigen.

Magnetische Bremskräfte in x-Richtung entstehen durch vom Bremsmagneten in der SFS induzierte Wirbelströme.

Mechanische Bremskräfte in x-Richtung entstehen durch Reibkräfte in Folge magnetischer Anzugkräfte zwischen BM und SFS.

Als charakteristische Werte für die maximalen quasistatischen Lasten durch einen einzelnen Bremsmagneten sind zu berücksichtigen:

Art der Einwirkung	Richtung der Einwirkung	Last je Bremsmagnet	Last je m SFS
Zugkraft	y-Richtung	50 kN	25 kN/m ¹⁾
Längskraft	x-Richtung	75 kN	37,5 kN/m

¹⁾ Die Last kann lokal um 50 % höher sein

Tabelle 1: Charakteristische Werte für die maximalen quasistatischen Lasten durch einen einzelnen Bremsmagneten

8.3.3 Nahtstelle Tragkufe – Gleitebene

An der Nahtstelle zwischen Tragkufe und Gleitebene (GE) erfolgt eine Übertragung der quasistatischen Gewichtskraft in z-Richtung und eine aus Gewichtskraft und Reibbeiwert resultierende Kraft in x-Richtung.

Als charakteristische Werte für die maximalen quasistatischen Lasten durch eine einzelne Tragkufe sind zu berücksichtigen:

Art der Einwirkung	Richtung der Einwirkung	Last je Tragkufe
Druckkraft	z-Richtung	50 kN
Längskraft	x-Richtung	15 kN quasistationär bei $v > 0$ km/h max. 25 kN transient bei $v \rightarrow 0$ km/h

Tabelle 2: Charakteristische Werte für die maximalen quasistatischen Lasten durch eine einzelne Tragkufe



Abb. 7: Struktur der Projektierung sicherheitstechnisch relevanter Systeme (Teil I / projektspezifisches Beispiel)

Magnetschwebbahn Teilsystem „Sichere Bremse“	
Nachweis der funktionalen und technischen Sicherheit	
1.	Einleitung
1.1	Rechtliche Grundlage
1.2	Normen
1.3	Anforderungen
2.	Nachweis des korrekten funktionalen Verhaltens des Teilsystems „Sichere Bremse“
2.1	Beschreibung des Teilsystems „Sichere Bremse“ in der Systemarchitektur
2.2	Definition der Schnittstellen
2.2.1	Schnittstellen innerhalb des Teilsystems „Sichere Bremse“
2.2.2	Schnittstellen aus dem Teilsystem „Sichere Bremse“ in das System Fahrzeug/Fahrweg
2.2.3	Schnittstelle zum Betrieb
2.2.4	Schnittstellen zum Fahrzeug
2.2.5	Schnittstellen zur Regelbremse
2.3	Erfüllung der Anforderungen an das Teilsystem „Sichere Bremse“
2.3.1	Konzept, Berechnungen
2.3.2	Testspezifikationen
2.3.4	Verifikation, Validation
2.4	Erfüllung der Sicherheitsanforderung an die „Sichere Bremse“
2.4.1	Nachweis der definierten Sicherheitsziele
2.4.2	Nachweis über Sicherheitsanalysen
	- Analyse gemeinsamer Fehler
	- Fehlerausfallanalyse
	- Fehlerbaumanalyse
	- ...
2.4.3	Nachweis der Sicherheitsfunktionen
	- Testspezifikation und Testreport
2.5	Nachweis der korrekten Funktionalität der Mechanik (TK, Befestigung, Träger und Halter, GL)
2.5.1	Sicherheit
2.5.2	Zuverlässigkeit
2.5.3	Verfügbarkeit
2.5.4	Instandhaltung
2.6	Nachweis der korrekten Funktion der Leittechnik, Betriebsleitzentrale, Betriebsleittechnik
2.6.1	Erfüllung der Sicherheitsintegrität an die Software
2.6.2	Fehleroffenbarung
2.6.3	Entwicklungsprozess nach Modell mit Bewertung
2.6.4	Zusammenwirken zw. Software/Hardware und Leittechnik bzw. Mechanik
3.	Ausfall des Teilsystems „Sichere Bremse“ und deren Auswirkungen nach innen und außen
3.1	Einzelausfälle (Redundanzen, Ausfallreaktion, Unverlierbare Eigenschaften)
3.1.1	Ausfälle im Teilsystem „Sichere Bremse“
3.1.2	Ausfälle des Teilsystems „Sichere Bremse“
3.2	Unabhängigkeit der Module im Teilsystem „Sichere Bremse“
	- Physikalische und funktionale interne Einflüsse
	- Physikalische und funktionale externe Einflüsse
3.3	Offenbarung von Einzelfehlern im Teilsystem „Sichere Bremse“
3.4	Umgang und Aktionen nach der Offenbarung des Einzelfehlers
3.5	Auswirkungen von Mehrfachfehlern
	- Nachweis von safe-life
	- ...
3.6	Maßnahmen zum Schutz gegen systematische Fehler
	- Qualitätsmanagement
	- Sicherheitsmanagement
4.	Externe Einflüsse auf das Teilsystem „Sichere Bremse“
	- Physikalische und funktionale Einflüsse
	- Betriebliche Einflüsse
	- Sicherheitsrelevante Einflüsse
5.	Sicherheitsbezogene Anwendungsbedingungen aus dem Teilsystem „Sichere Bremse“ an andere Teilsysteme und Systeme, laut 2.2.
6.	Sicherheitserprobung

Abb. 8: Struktur der Projektierung sicherheitstechnisch relevanter Systeme (Teil II / projektspezifisches Beispiel)

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Antrieb und Energieversorgung

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Antrieb und Energieversorgung zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007; Weißdruck, Fachausschuss Antrieb und Energieversorgung.

3 Inhaltsverzeichnis

1 Verteiler	2
2 Änderungsübersicht	3
3 Inhaltsverzeichnis	4
4 Allgemeines	5
4.1 Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich	5
4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen	5
4.3 Abkürzungen und Definitionen	5
4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien.....	5
4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen	6
5 Systemanforderungen	7
5.1 Struktur und Aufbau.....	7
5.2 Ausfallverhalten	8
5.3 Sicherheitsanforderungen	8
5.4 Regelung / Steuerung.....	9
6 Anforderungen an die Energieversorgung	10
7 Anforderungen an den Antrieb	11
7.1 Umrichter	11
7.2 Antriebsregelung/-steuerung	11
7.2.1 Antriebssteuerung	11
7.2.2 Fahrzeugführung	11
7.2.3 Streckensteuerung	12
7.2.4 Stromregelung	13
7.2.5 Umrichterregelung/-steuerung.....	14
7.3 Antriebsstrecke.....	14
7.3.1 Schaltstellen	14
7.3.2 Streckenkabel.....	14
7.3.3 Schnittstelle Langstatorwicklung	14
7.3.4 Ortsfeste Pollageerfassung	15
8 Betrieb	16
8.1 Betriebsablauf.....	16
8.2 Betriebspersonal.....	16
8.3 Instandhaltung	16

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Antrieb und Energieversorgung

4 Allgemeines

4.1 Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich

Die vorliegende Ausführungsgrundlage spezifiziert die allgemeingültigen technischen und betrieblichen Eigenschaften eines Magnetschnellbahnteilsystems Antrieb und Energieversorgung. Diese bilden die Grundlagen für die Auslegung, Planung und Genehmigung sowie für die Realisierung und den Betrieb von Anwendungsprojekten der Magnetschnellbahn.

Diese Ausführungsgrundlage gilt nur in Verbindung mit /MSB AG-GESAMTSYS/. Dort sind die grundlegenden Funktionen des Gesamtsystems und der Teilsysteme im Zusammenhang definiert.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentenbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordnete Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, mit den Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR&IH/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Antrieb und Energieversorgung

Dok.-Nr.: 50998 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 5 von 16

Insbesondere müssen für Antrieb und der Energieversorgung folgende Normen beachtet werden:

- /DIN VDE 0100/ Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V
 - /DIN VDE 0101/ Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV
 - /DIN VDE 0105/ Betrieb von elektrischen Anlagen
 - /DIN EN 62305/ Blitzschutz
 - /DIN EN 50121/ Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit
 - /DIN EN 60071/ Isolationskoordination (für Nennwechselspannungen über 1 kV)
 - /DIN EN 60228/ Leiter für Kabel und isolierte Leitungen
 - /DIN VDE 0276/ Starkstromkabel mit extrudierter Isolierung
 - /DIN EN 60664/ Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen
 - /DIN EN 60909-0/ Kurzschlussströme in Drehstromnetzen - Teil 0: Berechnung der Ströme
 - /DIN VDE 0888/ Lichtwellenleiter-Kabel für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen
 - /DIN EN 60076/ Leistungstransformatoren
 - /DIN EN 60694/, Gemeinsame Bestimmungen für Hochspannungs-Schaltgeräte-Normen
 - /DIN EN 62271/, Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen
 - /DIN EN 61642/ Industrielle Wechselstromnetze - Anwendung von Filtern und Parallelkondensatoren
 - /DIN EN 62040/ Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV)
 - /DIN EN 61378-1/ Stromrichtertransformatoren
 - /DIN EN 50178/ Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln
- Sicherheitsnachweise für Funktionen des Teilsystems Antrieb und Energieversorgung müssen grundsätzlich entsprechend der gültigen Norm /DIN EN 61508/ geführt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokuments sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in *Kursiv-Schrift*

gekennzeichnet.

Der Verbindlichkeitsgrad der Anforderungen wurde in Anlehnung an /DIN 820-2/ Anhang G festgelegt und in der Formulierung der Anforderungen jeweils berücksichtigt.

5 Systemanforderungen

5.1 Struktur und Aufbau

Zur Struktur siehe /MSB AG GESAMTSYS/, Kap. 6.1.2. Dort sind Struktur, Funktionen und Konfigurationsparameter übergeordnet erläutert.

Weiterhin befinden sich im /MSB AG GESAMTSYS/ Kap. 8, die Abb. 13, 14 und 15, welche Aufbau und Struktur von Antrieb und Energieversorgung darstellen.

Antrieb und Energieversorgung müssen projektspezifisch ausgelegt werden.

Basis für die Auslegung sind u.a. Betriebsprogramm, Zugfolge, Zugkonfiguration, Entwurfsgeschwindigkeit.

Weitere Basisdaten gemäß /MSB AG GESAMTSYS/, Kap. 9 (Anhang 1) werden projektspezifisch festgelegt.

Das Teilsystem Antrieb und Energieversorgung sollte so konfiguriert werden, dass Funktionseinheiten weitestgehend unabhängig voneinander projektiert, gefertigt, installiert, in Betrieb genommen und getestet werden können.

Zur funktionalen Redundanz mit Toleranz von Baugruppen-Einzelausfällen müssen die Statorabschnitte auf mindestens zwei unabhängige Motorsysteme verteilt und so angeordnet werden, dass ein MSB-Fahrzeug immer mindestens zwei Motorsystemen zugeordnet ist.

In einem Antriebsbereich darf sich nur ein schwebendes Fahrzeug befinden.

In einem Antriebsbereich müssen sich mehrere abgesetzte MSB-Fahrzeuge befinden können.

Ein Antriebsbereich kann Streckenbereichen fest oder bestimmten Streckenbereichen wahlweise zugeordnet werden (Bereichsüberlappung).

Antriebsbereiche sind betriebsleittechnisch gesicherten Bereichen zuzuordnen.

In der Regel sollten Antriebsbereiche identisch zu betriebsleittechnisch gesicherten Bereichen sein. Es können jedoch auch mehrere Antriebsbereiche einem einzigen betriebsleittechnisch gesicherten Bereich zugeordnet sein oder umgekehrt. Es darf jedoch nie Antriebsbereiche geben, die keinem betriebsleittechnisch gesicherten Bereich zugeordnet sind.

Abschnittswechselverfahren

Der Antrieb muss das projektspezifisch festzulegende Abschnittswechselverfahren beherrschen.

Beispiele für Abschnittswechselverfahren sind Wechselschrittverfahren und Dreischrittverfahren.

An Stellen, an denen mit Sprüngen im elektrischen Winkel des Langstators von $>90^\circ$ (entspricht 1/2 Polteilung) zu rechnen ist (z.B. Primärtragwerken), sollten Statorabschnittswchsel projektiert werden. Ausnahmen können projektspezifisch festgelegt werden, wenn der betroffene Bereich wesentlich kleiner als die Fahrzeuglänge ist.

Speiseverfahren

Der Antrieb muss das projektspezifisch festzulegende Speiseverfahren beherrschen.

Beispiele für Speiseverfahren sind Einfachspeisung (Einspeisung der Antriebsenergie in ein Motorssystem von einem Unterwerk) und Doppelspeisung (gleichzeitige Einspeisung der Antriebsenergie in ein Motorsystem von zwei verschiedenen Unterwerken).

Ausführung der Antriebsstrecke

Die Antriebsstrecke ist als System mit isoliertem Sternpunkt mit Erdschlußüberwachung auszuführen.

Bei einem geerdeten Netz würden Erdströme infolge der Potenziälsprünge der Umrichter auftreten. Das IT-System ermöglicht somit die Prüfung der Antriebsstrecke einschließlich des Langstators auf Fehlerfreiheit. Ein einfacher Erdfehler führt beim IT-System noch nicht zu einem Kurzschluss.

Die Leiter der Langstatorwicklung müssen Vorrichtungen zur Schirmung aufweisen, welche in geeigneter Weise so zu erden sind, dass sich darin keine unzulässigen Spannungen durch die vorbeifahrenden Tragmagnete des MSB-Fahrzeugs aufbauen können.

Die Vorrichtung zur Schirmung entspricht funktional einem Kabelschirm, muss aber nicht als Schirm im klassischen Sinne ausgeführt werden. Z.B. sind auch hochohmig leitende Außenmäntel möglich. Durch Fahrzeugüberfahrt entstehen durch die Tragmagnete wechselnde Magnetfelder, welche Spannungen in den Schirmvorrichtungen induzieren können. Dadurch können unzulässige Potenziale sowohl innerhalb der Schirmvorrichtungen als auch gegen Erden entstehen. Um dies zu vermeiden erfolgt vorzugsweise eine quasi durchgehende Schirmerdung, z.B. durch Kontaktierung der Schirmvorrichtung in den Statornuten. Die Erdung der Schirmvorrichtung ist Voraussetzung für die Erfassung von Erdfehlern der Leiter der Langstatorwicklung.

5.2 Ausfallverhalten

Kurzunterbrechungen des speisenden Netzes in Anlehnung an /DIN EN 50160/ mit einer Dauer von <1s dürfen im Regelfall nicht zu einer Fahrtunterbrechung oder Fahrplanverspätung führen.

5.3 Sicherheitsanforderungen

Das Teilsystem Antrieb und Energieversorgung sollte keine Sicherungsfunktionen für den Fahrbetrieb im Sinne signaltechnischer Sicherheit übernehmen.

Ausfälle oder Fehlverhalten der Antriebsfunktion, die zur Verletzung des Minimal- oder Maximalfahrprofils führen, lösen eine sichere Antriebsabschaltung durch die BLT aus. Neben der Fahrprofilverletzung wird der Abschaltbefehl für den Antrieb auch bei Mehrfachausfall von einigen Baugruppen der Betriebsleittechnik generiert, z.B. bei Funkausfall.

Im Teilsystem Antrieb und Energieversorgung müssen Einrichtungen zur sicheren Antriebsabschaltung (SIAB) vorgesehen werden, mit denen der Traktionsenergiefluss mit hinreichender Sicherheit unterbunden wird.

Der Antrieb muss über Schutzeinrichtungen verfügen, die unzulässige Krafteinwirkungen auf den Fahrweg und das MSB-Fahrzeug verhindern. Entsprechende Schutzwertgrenzen sind projektspezifisch geeignet festzulegen.

Darüber hinaus darf die Differenz der Traktionskräfte zwischen rechtem und linkem Stator nicht größer werden als in der /MSB AG GESAMTSYS/ Kap. 9, Nr. 7 angegeben.

Kurzschlusswicklungen (Statorwicklung mit Sternpunkt an beiden Enden zur Erzeugung von Bremskräften) müssen hinreichend sicher ausgeführt werden, wenn sie in der Ermittlung des sicheren Bremsprofils berücksichtigt werden.

Die zulässigen Ausfallwahrscheinlichkeiten für SIAB, Schutzeinrichtungen und Kurzschlusswicklungen werden aus einer projektspezifischen Risikoanalyse abgeleitet, siehe /MSB AG-GESAMTSYS/, Kap. 5.4.1 und Kap. 6.1.3.

5.4 Regelung / Steuerung

Die Regelung und Steuerung des Antriebs muss vollautomatisch gemäß den Steuerbefehlen und Sollwerten der BLT arbeiten.

Die BLT überträgt die für die Antriebsregelung und -steuerung erforderlichen Ortungsdaten an den Antrieb.

Die Anforderungen an die Genauigkeit der Orts- und Pollageinformationen für den Antrieb sind projektspezifisch festzulegen.

Für alle Regelungs- und Steuerungsparameter und die Software des Antriebs muss ein geeignetes Konfigurationsmanagement etabliert werden.

Die korrekte Implementierung sicherheitsrelevanter Regelungs- und Steuerungsparameter (Schutzgrenzwerte) muss im Rahmen der Zulassung/Abnahme nachgewiesen werden.

Diese Projektierungsparameter gehen z.B. in die Berechnung der sicherheitsrelevanten Anschlussfahrwege ein.

Bei Baugruppentausch muss die Übergabe/Übernahme des gesamten regelungstechnischen Parametersatzes erfolgen. Die Notwendigkeit einer individuellen Einstellung einzelner Regelungs- und Steuerungsparameter muss beim Baugruppentausch ausgeschlossen werden.

Der Antrieb muss unter Berücksichtigung der Regelgenauigkeit die Geschwindigkeitsvorgaben der BLT einhalten.

Der Antrieb bewegt das MSB-Fahrzeug dabei unter Einhaltung der von der BLT vorgegebenen Beschleunigungsgrenzwerte (siehe 7.2.2) so schnell wie mit der verfügbaren Leistung möglich.

Die Regelgenauigkeit der Geschwindigkeit muss projektspezifisch festgelegt werden.

Diese Genauigkeit beeinflusst die erzielbaren Geschwindigkeiten und damit Fahrzeiten.

Der Antrieb muss den Zielhalt mit einer projektspezifisch zu definierenden Genauigkeit regeln.

Die Statorabschnittswchsel müssen so erfolgen, dass die Norm /ISO 2631/ hinsichtlich der komfortrelevanten Beschleunigungen und Rucke in x-Richtung eingehalten wird.

Zur Inbetriebnahme muss eine spezielle Betriebsart vorgesehen werden, bei der die BLT und der Antrieb getestet werden können, ohne dass ein MSB-Fahrzeug bewegt wird. In diesem Fall müssen die simulierten Fahrzeug-Istwerte an die BLT übertragen werden.

Projektspezifische Daten und Software müssen so hinterlegt werden, dass sie bei Ausfall der Versorgungsspannung nicht verloren gehen und bei Spannungswiederkehr der Betrieb ohne Vor-Ort-Bedienung wieder aufgenommen werden kann.

6 Anforderungen an die Energieversorgung

Die Energieversorgung dient der Bereitstellung von elektrischer Energie gemäß den Anforderungen der MSB-Teilsysteme. Die Anforderungen sind im wesentlichen durch die einschlägigen Normen der Elektrotechnik (siehe /MSB AG-NORM&RILI/) abgedeckt. Darüber hinaus ergeben sich die in Kapitel 5 genannten MSB-spezifischen Anforderungen.

Es sind die Normen gemäß Kap. 4.4 zu beachten.

7 Anforderungen an den Antrieb

7.1 Umrichter

Funktion

Die Umrichter müssen die elektrische Energie von der gegebenen Netzspannung und Frequenz in Drehstromsysteme kontinuierlich geregelter Spannung und Frequenz zur Speisung der Langstatorwicklungen umformen.

Umrichter und Streckenkabel müssen über Schaltgeräte miteinander verbunden und voneinander getrennt werden können.

Konfiguration

Die Umrichter müssen zum Antreiben und Bremsen motorseitig für 4-Quadrantenbetrieb konzipiert werden.

Die Umrichter müssen so ausgeführt werden können, dass Netzurückspeisung möglich ist.

Aufstellung

Die Umrichter müssen zum Schutz gegen unbefugten Zugang in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten aufgestellt werden.

7.2 Antriebsregelung/-steuerung

Die Funktionen der Antriebsregelung / -steuerung sind in /MSB AG-GESAMTSYS/, Kap. 6.1.2 beschrieben. Im Folgenden werden Anforderungen an die Funktionen z.T. weiter detailliert.

7.2.1 Antriebssteuerung

Als Eingangsgröße muss beachtet werden:

- Antriebsfreigabebefehl von der BLT.

Folgende Ausgangsgröße muss geliefert werden:

- Zustandsmeldung der Störklassen (d.h. Anteil der noch verfügbaren Leistung von der Gesamtleistung) mit hoher Zuverlässigkeit an die BLT.

Folgende Steuerfunktion muss erfüllt werden:

- Automatisches Auf- und Abrüsten des Teilsystems Antrieb und Energieversorgung.

7.2.2 Fahrzeugführung

Der Antrieb muss ein Fahrzeug nach den Vorgaben der BLT innerhalb eines Antriebsbereiches führen.

Folgende Eingangsgrößen (gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/) müssen verarbeitet werden: von der BLT:

- Zielort,
- Geschwindigkeitsvorgabeprofile (obere und untere Grenzen),

- Streckendaten (zur Erkennung der Stellung der Spurwechseleinrichtungen),
- Sollfahrtrichtung,
- Beschleunigungsgrenzwerte,
- Betriebsart (siehe /MSB AG-GESAMTSYS/, Abb. 15),
- Fahrzeugkennung;

von der Ortserfassung im MSB-Fahrzeug, Direktübertragung über Funk:

- Fahrzeugort,
- Fahrzeuglagesignal,
- Fahrzeugkennung.

Der Antrieb muss die Zielbremskurven $v_{\text{sol}}(x)$ zum Erreichen der gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/ Kap. 5.4.1.2.4.2 vorgegebenen Zielpunkte unter Berücksichtigung des Maximalfahrprofils berechnen.

Bei der Berechnung der Zielbremskurve $v_{\text{sol}}(x)$ für die Zielpunkte gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/ Kap. 5.4.1.2.4.2 muss die aktuell verfügbare Bremsleistung des Antriebs berücksichtigt werden, damit bei zu geringer verfügbarer Antriebsleistung das Maximalfahrprofil nicht verletzt wird und die Sichere Bremse nicht aktiviert werden muss.

Gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/ Kap. 5.4.1.2.4.2 ist es auch möglich, dass es in einem Projekt Zielpunkte gibt, für welche die beiden oben genannten Anforderungen vom Antrieb nicht erfüllt werden müssen. Dabei handelt es sich um Zielpunkte von Betriebshalteplätzen, die nicht aus betrieblichen Gründen sondern aus technischen Gründen genutzt werden. Solche technischen Gründe sind z.B. Totalausfälle im Ortungssystem, im Datenübertragungssystem, in der BLT oder im Antrieb selbst, d.h. dass der Antrieb in diesen Fällen aus Sicherheitsgründen i.d.R. ohnehin abgeschaltet wird. Diese Zielpunkte werden dann im Bedarfsfall mit der sicheren Bremse erreicht.

Ausfälle des Antriebs, die nach abgeschlossener Zielbremsberechnung auftreten, können zur Profilverletzung führen. Zum Systemverhalten bei Profilverletzung siehe /MSB AG-GESAMTSYS/, Kap. 6.1.3.2.

Weiterhin müssen folgende Funktionen bereitgestellt werden:

- Stillstandsregelung (Ortsregelung beim Absetzen/Anheben)
- Begrenzung der Geschwindigkeit, der Beschleunigung und des Rucks gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/, Kap. 9.

7.2.3 Streckensteuerung

Die Streckensteuerung muss die Einspeise- und Sternpunktschalter ortsgenau ein-/ausschalten und die Rückmeldungen überwachen.

Langstatorschutz

Erdschlüsse und Unterbrechungen müssen erfasst werden. Der betroffenen Statorabschnitt ist abzuschalten.

Ein Wicklungskurzschluss muss durch statorabschnittsweise Erdschlussüberwachung und Abschaltung hoher Erdschlussströme mit hoher Zuverlässigkeit verhindert werden, siehe /MSB AG GESAMTSYS/, Kap. 5.4.

Da die Kabel der Langstatorwicklung einen geerdeten Schirm besitzen, bzw. über ihre Oberfläche geerdet sind, tritt vor einem Kurzschluss zunächst ein Erdschluss auf. Aufgrund des ungeerdeten Netzes ist erst ein zweiter Erdschluss gleichbedeutend mit einem Kurzschluss. Kurzschlüsse der Langstatorwicklung können Rückwirkungen auf die Tragfunktion des MSB-Fahrzeugs haben und in Sternpunktnähe das einseitige Absetzen des Fahrzeugs bewirken. Das einseitige Absetzen ist ein nicht-sicherheitsrelevanter Lastfall, der in der Dimensionierung von Fahrweg und Fahrzeug berücksichtigt ist.

Bei einem erkannten Erdschluss muss der Erdschlussstrom abgeschaltet werden. Dazu ist die Langstatorwicklung an der Einspeise- und Sternpunktstelle über geeignete Schalteinrichtungen (Einspeise- bzw. Sternpunktschalter) galvanisch zu öffnen. Die Wiedereinschaltung muss bis zur erfolgten Wicklungsreparatur gesperrt werden.

Der Fahrbetrieb muss mit einseitigem Antrieb in dem betroffenen Abschnitt fortgeführt werden können. Dabei darf keine Erdung des defekten Statorabschnitts erfolgen, da dies einen Kurzschluss der Wicklung zur Folge hätte.

Hinsichtlich der Verriegelung, Erdung, Reparatur und Wiedereinschaltung müssen entsprechende Betriebs- und Instandhaltungsvorschriften erstellt werden.

Falls während des Fahrbetriebs nicht alle Erdschlüsse erkannt werden können, muss zusätzlich eine tägliche Erdschlussprüfung außerhalb des Fahrbetriebs vorgesehen werden.

Die Funktion der Erdfehlererfassung muss prüfbar sein. Die Prüfintervalle sind projektspezifisch festzulegen.

Schutz Antriebsstrecke

Alle Anlagenteile der Antriebsstrecke müssen gemäß den gültigen Normen (siehe /MSB AG-NORM&RILI/) geschützt werden. Hierbei muss insbesondere für die Erdfehlererfassung beachtet werden, dass ein IT-System vorliegt.

7.2.4 Stromregelung

Ein Betrieb des Linearmotors entweder mit maximalem Wirkungsgrad oder maximalem Schub muss möglich sein.

In der Regel ist der Statorstrom in Phase mit der Polradspannung einzustellen.

Blindleistungssteuerung/Stromschwenkung (Statorstrom gegenüber Polradspannung voreilend) zur Schubkraftmaximierung bei Spannungsbegrenzung muss möglich sein.

Falls Stromschwenken zur Anwendung kommt, müssen Dauer und Höhe der dem Tragmagnetfeld des MSB-Fahrzeugs entgegenwirkenden Stromkomponente in einer Schnittstellenspezifikation mit dem Teilsystem Fahrzeug projektspezifisch festgelegt werden.

Umrichter- und Statorstrom müssen gemäß den dynamischen und thermischen Grenzwerten der Umrichter, Streckenkabel und Statorwicklung begrenzt werden (Anlagenschutz).

Der maximale Schub muss durch Einstellung geeigneter Stromgrenzwerte begrenzt werden können, (siehe /MSB AG GESAMTSYS/, Kap. 9).

Die Unterwerksausgangsspannung muss auf die zulässigen Werte zum Zwecke des Anlagenschutzes begrenzt werden.

In ein Motorsystem müssen zwei Umrichter gleichzeitig geregelt einspeisen können (Doppelspeisung gemäß Kap. 5.1).

7.2.5 Umrichterregelung/-steuerung

Der Umrichter muss gegen Überspannung, Überstrom, Übertemperatur und Erdschluss geschützt werden (Anlagenschutz).

Nach störungsbedingter Abschaltung der Umrichter muss nach Beseitigung oder Entfall der Störungsursache eine automatische Wiedereinschaltung möglich sein.

7.3 Antriebsstrecke

Die Energieübertragung vom Unterwerk zum Langstator muss über die Streckenkabel und Schaltstellen erfolgen.

Bei der Betriebsmittelauslegung muss die tatsächlich auftretende, MSB-spezifische Last berücksichtigt werden (variable Frequenz und Amplitude, intermittierender Betrieb, Oberschwingungen).

7.3.1 Schaltstellen

Die Schaltstellen müssen ferngesteuert eine schaltbare Verbindung der Streckenkabel mit den Statorabschnitten realisieren.

Funktional muss zwischen Einspeise- und Sternpunktschaltern unterschieden werden. Diese müssen bei Bedarf räumlich in einem Gebäude integriert werden können.

Auch die Sternpunktschalter müssen ferngesteuert schaltbar sein, damit eine Phasentrennung des Statorabschnitts zur Prüfung auf Erdfehlerfreiheit sowie zum weiteren Betrieb im Erdfehlerfall erfolgen kann.

Die Schalterstellungen müssen zurückgemeldet werden.

7.3.2 Streckenkabel

Zur Übertragung der Traktionsenergie von den Unterwerken zu den Schaltstellen müssen Streckenkabel vorgesehen werden.

Die besonderen Anforderungen an die Kabelverlegung im Tunnel müssen gemäß /Leitfaden MSB-Tunnel/ berücksichtigt werden.

Fehleroffenbarung

Erdschlüsse und Unterbrechungen müssen erfasst werden. Zur schnellen Instandhaltung muss der Fehlerort auf einen Kabel-Bereich zwischen den beiden in Nachbarschaft zum Fehlerort liegenden Einspeisestellen (Schaltstellen) des Langstators eingegrenzt werden können.

Ausfallverhalten

Offenbarte Fehler müssen zur automatischen Abschaltung der Kabeleinspeisung in einer Ausgangsschaltanlage (Schaltanlage am Streckenkabelanschluss im Unterwerk) und zur Abschaltung der Schalter in den Schaltstellen führen.

7.3.3 Schnittstelle Langstatorwicklung

Die in /MSB AG-GESAMTSYS/ Kap. 6.1.2.3 genannten Daten müssen beachtet bzw. projektspezifisch festgelegt werden.

7.3.4 Ortsfeste Pollageerfassung

Für Sonderauslegungen muss eine ortsfeste Pollageerfassung (Erfassung der Fahrzeuglage relativ zur Langstatorwicklung) realisiert werden können, die eine Erfassung der relativen Fahrzeuglage unabhängig von den fahrzeugseitigen Ortungseinrichtungen ermöglicht. Dabei muss die Schnittstelle zum Teilsystem Fahrweg berücksichtigt werden.

Diese Einrichtung fällt unter "Sonstige Anbauten" gem. /MSB AG-FW/ Teil 1.

8 Betrieb

8.1 Betriebsablauf

Der Betrieb muss vollautomatisch ablaufen können gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/.

Das Aufrüsten (Überführen in den betriebsbereiten Zustand) und das Abrüsten (Überführen in den energielosen Zustand) des Antriebs muss durch die BLT erfolgen können.

Das Auf- und Abrüsten der Energieversorgung muss fernbedient erfolgen können.

Der Antrieb muss die MSB-Fahrzeuge entsprechend den Vorgaben der BLT automatisch bewegen.

8.2 Betriebspersonal

Da die betriebsnotwendigen Antriebsfunktionen nach den Vorgaben der BLT automatisch ablaufen, darf im regulären Fahrbetrieb für Antrieb und Energieversorgung kein Betriebspersonal erforderlich sein.

8.3 Instandhaltung

Die Instandhaltung des Teilsystems Antrieb und Energieversorgung muss in die Instandhaltung des Gesamtsystems integriert werden. In diesem Rahmen muss ein Instandhaltungsprogramm erstellt werden.

Jede Baugruppe muss separat tausch- und prüfbar sein.

Magnetschnellbahn

Ausführungsgrundlage

Betriebsleittechnik

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Betriebsleittechnik

Dok.-Nr.: 53328 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 1 von 33

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Betriebsleittechnik zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007; Weißdruck, Fachausschuss Betriebsleittechnik

3 Inhaltsverzeichnis

1 Verteiler	2
2 Änderungsübersicht	3
3 Inhaltsverzeichnis	4
4 Allgemeines	6
4.1 Zweck und Anwendungsbereich.....	6
4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen.....	6
4.3 Abkürzungen und Definitionen.....	6
4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien.....	7
4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen.....	7
5 Übersicht Betriebsleittechnik	8
6 Systemanforderungen	10
6.1 Grundsätzliche Anforderungen.....	10
6.2 Funktionsübersicht.....	11
6.3 Funktionsanforderungen.....	11
6.3.1 Fahrablaufsteuerung.....	12
6.3.1.1 Sichere Bedienung und Anzeige.....	12
6.3.1.2 Generierung von Fahrtvorgaben.....	12
6.3.1.3 Fahrwegeinstellung.....	13
6.3.1.4 Generierung und Übertragung von Steuerungsdaten für das Fahrzeug.....	14
6.3.1.5 Automatischer Betrieb.....	14
6.3.2 Fahrwegsicherung.....	15
6.3.2.1 Reservieren von Fahrwegen.....	15
6.3.2.2 Besetzen von Fahrwegen.....	15
6.3.2.3 Auflösen der Reservierung von Fahrwegen.....	16
6.3.2.4 Sperren von Fahrwegen.....	16
6.3.2.5 Freigeben von Fahrwegsperrern.....	17
6.3.2.6 Sicherung Spurwechseinrichtungen.....	17
6.3.2.7 Sicherung Bahnsteigtüranlage.....	18
6.3.3 Fahrzeugsicherung.....	19
6.3.3.1 Überwachung der Redundanz sicherheitsrelevanter Fahrzeugfunktionen.....	19
6.3.3.2 Steuerung und Überwachung Bremsprüfung.....	19
6.3.3.3 Steuerung und Überwachung Bordenergieversorgung.....	20
6.3.3.4 Steuerung und Überwachung Sichere Bremse.....	21

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Betriebsleittechnik

6.3.3.5	Sicherung von Fahrzeugaußentüren	22
6.3.3.6	Steuerung und Überwachung Schweben	22
6.3.3.7	Zwangshalt.....	23
6.3.4	Fahrprofilüberwachung	24
6.3.4.1	Überwachung Maximalfahrprofil	24
6.3.4.2	Überwachung Minimalfahrprofil	24
6.3.5	Sichere Antriebsabschaltung	25
6.3.6	Sichere Ortung	26
6.3.7	Datenübertragung	28
6.3.7.1	Übertragung Sicherungsdaten	28
6.3.7.2	Übertragung Antriebsdaten	29
6.3.7.3	Übertragung Diagnosedaten	29
6.3.7.4	Übertragung Fahrgastnotruf.....	29
6.3.7.5	Übertragung Brandmeldung.....	29
6.3.7.6	Betriebliche Sprachübertragung	30
6.4	Umweltanforderungen	30
6.5	BLT-Diagnose	30
6.6	Ausfalloffenbarung an Schnittstellen zu anderen Teilsystemen	31
7	Betrieb	32
7.1	Betriebsarten der BLT	32
7.1.1	Betriebsart "Normalbetrieb".....	32
7.1.2	Betriebsart "Abweichung vom Normalbetrieb"	32
7.2	Instandhaltung Magnetschwebefahrzeug	33
Abbildungsverzeichnis		
Abbildung 1: Einordnung und Schnittstellen der Betriebsleittechnik		8
Abbildung 2: Übersicht über BLT-Funktionen und Datenflüsse		11
Abbildung 3: Struktur der Ortung.....		26

4 Allgemeines

4.1 Zweck und Anwendungsbereich

Die vorliegende Ausführungsgrundlage spezifiziert die betriebsleittechnischen Eigenschaften eines Magnetschnellbahnsystems. Diese bildet, in Verbindung mit den anderen Ausführungs- und Bemessungsgrundlagen, die Grundlage für die Auslegung, Planung und Genehmigung sowie für die Realisierung und den Betrieb von Anwendungsprojekten der Magnetschnellbahn.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus verschiedenen Ausführungsgrundlagen.

Die übergeordneten Dokumente Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/ mit den Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung) Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR&IH/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

Definitionen der BLT

Die folgenden Definitionen stellen spezifische Ausprägungen der Begriffe für die BLT dar.

Betrieb	Betrieb ist die Gesamtheit aller technischen und nichttechnischen Maßnahmen, die der Vorbereitung und Durchführung von Zugfahrten mittels der dafür zugelassenen Magnetschnellbahn dienen.
Fahrweg (sicherungstechnisch)	Ununterbrochene und unverzweigte Folge von Fahrwegabschnitten, die zur Steuerung, Überwachung und Sicherung von Zugfahrten temporär gebildet wird. Ein sicherungstechnischer Fahrweg besteht mindestens aus einem Fahrwegabschnitt und hat stets eine Fahrtrichtung.
Fahrwegabschnitt	Der bautechnische Fahrweg ist längs der Fahrwegachse, lückenlos und nicht überlappend, nach betriebsleittechnischen

	Gesichtspunkten in sicherungstechnische Fahrwegabschnitte eingeteilt. Der Fahrwegabschnitt ist die kleinste Einheit zur Bildung von sicherungstechnischen Fahrwegen.
Fahrwegelement (sicherungstechnisch)	Eine stationäre Einrichtung, die einem Fahrwegabschnitt zur Steuerung, Überwachung und Sicherung von Zugfahrten fest zugeordnet ist. Dazu gehören Spurwechseleinrichtungen, Bahnsteigtüren und lichtraumverletzende Einrichtungen.
Fahrzeug (sicherungstechnisch)	MSB-Fahrzeuge und Sonderfahrzeuge mit betriebsleittechnischer Ausrüstung. Sonderfahrzeuge ohne betriebsleittechnische Ausrüstung sind somit keine Fahrzeuge im Sinne der AG BLT.
Zugfahrten	Eine Zugfahrt ist eine gesteuerte, technisch überwachte und technisch gesicherte Bewegung eines Zuges zwischen einem Startpunkt und einem Zielpunkt. Eine Zugfahrt beginnt mit dem Erreichen aller technischen und betrieblichen Fahrtvoraussetzungen. Eine Zugfahrt endet planmäßig mit dem Erreichen des Zielpunktes und stillstands-gesichertem Zug.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokuments sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in *Kursiv-Schrift*

gekennzeichnet.

Anforderungen, die durch andere Teilsysteme erfüllt werden (müssen), sind auch kursiv dargestellt.

Der Verbindlichkeitsgrad der Anforderungen wurde in Anlehnung an /DIN 820/, Teil 2, E festgelegt und in der Formulierung der Anforderungen jeweils berücksichtigt.

5 Übersicht Betriebsleittechnik

Diese Übersicht beschreibt die gängige Einordnung der „Betriebsleittechnik“ in ein spurgeführtes Bahnsystem, konkret der Magnetschnellbahn vom Typ Transrapid. Andere Strukturen oder funktionale Aufteilungen sind möglich und sollen durch diese Übersicht nicht verhindert werden.

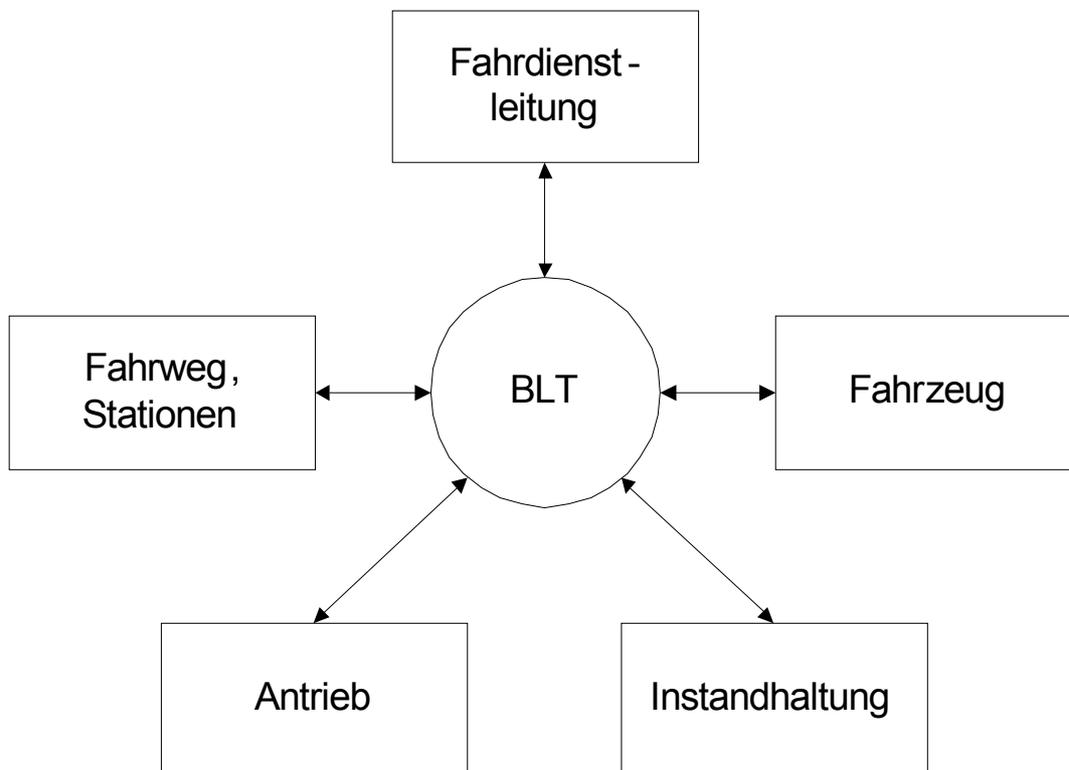


Abbildung 1: Einordnung und Schnittstellen der Betriebsleittechnik

Die Betriebsleittechnik muss die Komponenten und Funktionen zur Sicherung, Überwachung und Steuerung des Fahrbetriebs umfassen.

Nicht zur Betriebsleittechnik im Sinne dieser Ausführungsgrundlage gehört die Infrastrukturleittechnik, u.a. bestehend aus:

- *Gebäudeleittechnik, z.B. zur Steuerung von Beleuchtung oder Belüftung von Gebäuden, Stationen, Tunnel usw.*
- *Technischen Leitständen, z.B. zur Steuerung und Überwachung von Fahrtreppen oder Aufzügen*
- *Informationseinrichtungen für Fahrgäste*
- *Telekommunikationseinrichtungen.*

Die Betriebsleittechnik muss die Teilsysteme der Magnetschnellbahn funktional zu einem betriebsbereiten Gesamtsystem verbinden.

Die benachbarten Teilsysteme sowie operative Ebenen der BLT sind:

- *Fahrdienstleitung*
- *Fahrweg und Stationen (einschl. Spurwechseleinrichtungen und Referenzorten für die Ortung)*
- *Fahrzeug (alle technisch gesicherten Fahrzeuge)*
- *Antrieb und Energieversorgung (Unterwerke mit Antriebseinheiten)*
- *Instandhaltung.*

Die BLT enthält die Möglichkeit zur Steuerung des Zugverkehrs in einem Automatikbetrieb gemäß eines zuvor erstellten Fahrplans. Manuelle Vorgaben in die BLT durch den Fahrdienstleiter müssen ebenfalls möglich sein.

Die Komponenten der Betriebsleittechnik können mobil, z.B. Sicherungsrechner für ein Fahrzeug, oder ortsfest, z.B. Sicherungsrechner für einen Fahrwegbereich, sein.

Die ortsfesten Komponenten können sich weiter in zentrale Komponenten einer Betriebszentrale und in dezentrale Komponenten unterteilen.

Die zentralen Komponenten unterteilen sich in Bereiche für Bedienung und Anzeige, das Fahrplansystem und das Diagnosesystem, wobei die Integration dieser Komponenten in eine gemeinsame Bedienoberfläche projektabhängig vorgesehen werden kann.

Die Konfiguration muss im Rahmen der Projektierung nach den Vorgaben des Betreibers erfolgen.

6 Systemanforderungen

Die BLT muss den Anforderungen der /DIN EN 50126/, /DIN EN 50128/ und /DIN EN 50129/ genügen.

Der Sichere Systemzustand der Magnetschnellbahn ist dadurch gekennzeichnet, dass jedes technisch gesicherte Fahrzeug bei allen anzunehmenden Ausfall- und Notsituationen innerhalb eines technisch gesicherten Streckenabschnittes mit definierten Gefährdungsraten eine ortsabhängige Grenzgeschwindigkeit nicht überschreitet und einen definierten Gefahrenpunkt nicht überfährt und einen Halteplatz schwebend erreicht.

Der vollständig technisch gesicherte Systemzustand ist dadurch gekennzeichnet, dass die Durchführung von Zugfahrten vollständig technisch gesichert und ohne Personalverantwortung erfolgt.

Die BLT muss außer dem vollständig technisch gesicherten Systemzustand auch Rückfallebenen ermöglichen.

Eine Rückfallebene kann z. B. eine Betriebsart sein, die Personalverantwortung erfordert.

Die sich daraus ergebenden Anforderungen an die BLT werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

6.1 Grundsätzliche Anforderungen

Die Steuerung des Betriebs muss nach den Vorgaben eines projektspezifisch zu erstellenden Betriebskonzepts erfolgen.

Dem Fahrdienstleiter muss es möglich sein, Fahrtvorgaben automatisch ablaufen zu lassen.

Zur Steuerung des Fahrbetriebes muss es dem Fahrdienstleiter möglich sein, manuelle Vorgaben einzugeben.

Bedienhandlungen unter Personalverantwortung, z.B. *Eingriffe des Fahrdienstleiters in die Sicherungsebene*, müssen durch betriebliche und technische Verfahren gesichert erfolgen.

Die betrieblichen und technischen Verfahren beziehen sich auf das betriebliche Regelwerk und die technische Verfahrenssicherung.

Im Betrieb unter Sicherheitsverantwortung der BLT darf bei Regelbedienung des Personals der sichere Systemzustand der BLT nicht verlassen werden.

Bedienungsfehler von Betriebszentralen- und Fahrpersonal dürfen sich nicht auf die Funktionsfähigkeit der BLT auswirken.

Z. B. dürfen falsche Eingaben des Fahrdienstleiters nicht zu einem Systemabsturz der BLT führen.

Nicht situationsgerechte Bedienhandlungen können zur Beeinträchtigung des Betriebs führen. Nicht regelgerechte Bedienhandlungen unter Personalverantwortung können zur Beeinträchtigung der Sicherheit führen.

Die Reaktion der BLT auf Einzelfehler einer Komponente muss fehlertolerant sein, sie darf nicht zum Verlassen des Normalbetriebs führen.

6.2 Funktionsübersicht

Die *Abbildung 2* zeigt eine Übersicht der wichtigsten betriebsleittechnischen Funktionen und Datenflüsse. BLT-Funktionen werden in ovalen und externe Komponenten in rechteckigen Feldern dargestellt.

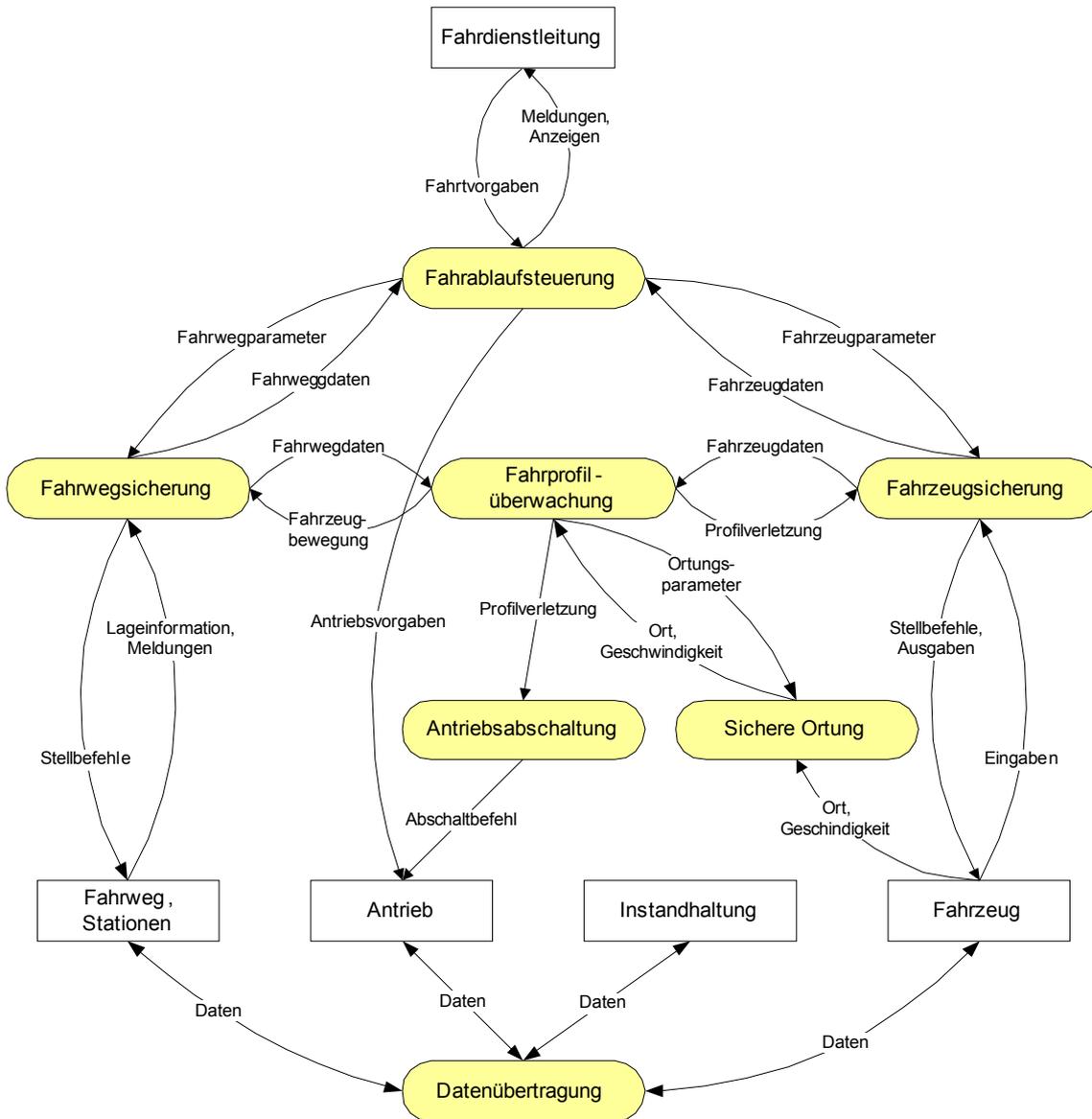


Abbildung 2: Übersicht über BLT-Funktionen und Datenflüsse

6.3 Funktionsanforderungen

Gemäß /DIN EN 50126/ müssen in Verantwortung des Betreibers die Sicherheitsanforderungen an die Funktionen der Magnetschnellbahn in einer Risikoanalyse ermittelt und die Ergebnisse den Funktionen der BLT zugeordnet werden.

In Abhängigkeit des bei einem Funktionsausfall entstehenden Risikos werden die Funktionen der BLT in sicherheitsrelevante und nicht sicherheitsrelevante Funktionen aufgeteilt. Die

Aufteilung muss im Rahmen der projektspezifisch erstellten Risikoanalyse und der daraus resultierenden Sicherheitsanforderungen an die jeweiligen Funktionen erfolgen.

Zu den sicherheitsrelevanten Funktionen der BLT werden i.d.R. die Funktionen der Fahrzeugsicherung, Fahrwegsicherung, der Sicheren Ortung, der Fahrprofilüberwachung und der Sicheren Antriebsabschaltung zählen.

Bei Ausfall von sicherheitsrelevanten Funktionen muss der Sichere Systemzustand beibehalten werden.

Der Ausfall einer Funktion zur gefährlichen Seite muss entsprechend der jeweils projektspezifisch ermittelten Sicherheitsanforderungen hinreichend unwahrscheinlich sein.

Die sicherheitsrelevanten Funktionen sind entsprechend den jeweils spezifizierten Sicherheitsanforderungen zu realisieren und nachzuweisen.

Die sicherheitsrelevanten Funktionen der BLT müssen in aufeinander aufbauenden Schritten abnehmbar sein.

6.3.1 Fahrablaufsteuerung

6.3.1.1 Sichere Bedienung und Anzeige

Die sicherheitsrelevanten Bedienhandlungen stützen sich auf die fehlerfreie Zustandsanzeige des Prozesses während der Bedienungen ab.

Die Zustände von beweglichen Anlagen und Einrichtungen in Fahrbereich, in denen technisch gesicherte Fahrten stattfinden, müssen sicherungstechnisch angezeigt werden. Dazu gehören z.B.:

- Spurwechseleinrichtungen
- Bahnsteigtüren.

Projektspezifisch können Bereiche (z.B. Instandhaltungsanlagen) festgelegt werden, in denen keine vollständig technisch gesicherten Fahrten stattfinden.

Von einem Fahrzeug besetzte und für ein Fahrzeug reservierte Fahrbereichabschnitte müssen sicherungstechnisch angezeigt werden.

Bei einer Antriebsabschaltung muss dieser Schaltzustand der Fahrdienstleitung angezeigt werden.

Für Bedienhandlungen unter Personalverantwortung muss eine verfahrensgesicherte Kommandoingabe vorgesehen werden, z. B. zum Freigeben gesperrter Fahrbereichabschnitte oder zum Einsetzen von Fahrzeugen.

6.3.1.2 Generierung von Fahrtvorgaben

Projektspezifisch muss ein Betriebsprogramm erstellt werden, das die für den Automatischen Betrieb relevanten Daten enthält. Aus dem Betriebsprogramm werden die Fahrplanvorgaben abgeleitet.

Fahrpläne müssen automatisch auf Basis von Fahrplanvorgaben erstellt werden können.

Fahrpläne müssen auch manuell erstellt werden können.

Fahrpläne müssen in einer Form vorliegen, dass sie als Eingangsdaten für den automatischen Betrieb dienen können.

Fahrpläne müssen so erstellt werden, dass ein Betrieb möglichst ohne Halt an Betriebshalteplätzen durchgeführt werden kann.

Im Fahrplan können z.B. folgende Daten relevant sein: Liniennummer, Kursnummer, Zielort, Abfahrtort und Abfahrtszeit.

Aus den Fahrplänen müssen automatisch Fahrtvorgaben für Magnetschwebefahrzeuge und den Fahrweg generiert werden können.

Fahrtvorgaben müssen auch manuell in der Betriebszentrale eingegeben werden können.

Alternativ müssen Fahrtvorgaben für das Magnetschwebefahrzeug manuell im Fahrzeug eingegeben werden können.

Das können Fahrtvorgaben wie Geschwindigkeit und Fahrtrichtung sein.

Die BLT muss real ablaufende Fahrtverläufe protokollieren können.

Die protokollierten Fahrtverläufe können in Fahrpläne umgesetzt werden.

Externe Schnittstelle:

Antriebsvorgaben müssen an den Antrieb übertragen werden.

Zu den Antriebsvorgaben gehören Angaben zum reservierten Fahrweg, Fahrprofile und Grenzwerte für die Fahrt.

Projektspezifisch müssen weitere Steuerungsdaten zum Aktivieren bzw. Deaktivieren von Antriebsfunktionen, z. B. Freigabebefehle und Auf- und Abrüsten, generiert und übertragen werden können.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Beim Ausfall der automatisch generierten Fahrtvorgaben muss die Eingabe von manuellen Fahrtvorgaben in der Betriebszentrale weiterhin möglich sein.

Beim Ausfall der automatisch generierten Fahrtvorgaben kann ggf. der fahrplanmäßige Betrieb durch den Fahrdienstleiter nicht aufrecht erhalten werden, da alle Fahrtvorgaben zeitaufwendig manuell durchgeführt werden müssen.

6.3.1.3 Fahrwegeinstellung

Die Eingabe eines Umstellkommandos für einzelne bewegliche Fahrwegelemente mittels Bedienhandlung muss möglich sein.

Die Einstellung aller beweglichen Fahrwegelemente einer vorgegebenen Start-Ziel-Verbindung sollte möglich sein.

Die Umsetzung von Fahrwegreservierungsanforderungen und Fahrwegeinstellungen aus Start-Ziel-Vorgaben muss unter Berücksichtigung der Bedingungen der Fahrwegsicherung erfolgen.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Wenn Umstellkommandos für einzelne bewegliche Fahrwegelemente nicht mehr möglich sind, lassen sich Fahrwegelemente nicht mehr fernverstellen.

Wenn Umstellkommandos für einzelne bewegliche Fahrwegelemente nicht mehr möglich sind, müssen Fahrten auf dem eingestellten Fahrweg weiterhin durchgeführt werden können.

Wenn die Vorgabe einer Start-Ziel-Verbindung nicht mehr möglich ist, kann der Fahrweg nicht mehr automatisch eingestellt werden.

Wenn die Vorgabe einer Start-Ziel-Verbindung nicht mehr möglich ist, müssen Umstellkommandos für einzelne bewegliche Fahrwegelemente weiterhin möglich sein.

6.3.1.4 Generierung und Übertragung von Steuerungsdaten für das Fahrzeug

Projektspezifisch können Steuerungsdaten zum Aktivieren bzw. Deaktivieren von Fahrzeugfunktionen, z.B. Klimaanlage, Fahrzeugscheinwerfer, Innenbeleuchtung, generiert und übertragen werden.

Orts- oder zeitabhängig müssen Steuerungsdaten automatisch generiert werden können.

Die Steuerungsdaten müssen auch manuell eingegeben werden können.

Die Übertragung von Steuerungsdaten von der Betriebszentrale zum Fahrzeug muss möglich sein.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Unterbrechungen der Übertragung von Steuerungsdaten dürfen nicht zu Fehlfunktionen der BLT führen.

Ein Ausfall der Übertragung von Steuerungsdaten darf nicht zu einer unmittelbaren sicherungstechnischen Reaktion der BLT führen.

6.3.1.5 Automatischer Betrieb

Automatischer Betrieb heißt, dass keine Bedienhandlungen des Personals für die Durchführung einer Zugfahrt notwendig sind. Der Fahrdienstleiter startet einmalig ein festgelegtes Programm für Zugfahrten, das als Fahrplan vorliegt. Der Fahrplan wird dann automatisch abgefahren.

Grundlage für die automatische Steuerung von Zugfahrten sind Fahrpläne, die in der BLT speicherbar und wieder abrufbar sein müssen.

Die aus den Fahrplänen generierten Fahrtvorgaben für Magnetschwebefahrzeuge und den Fahrweg müssen automatisch, ohne manuelle Bedienhandlungen, ausgeführt werden.

Hierzu gehört auch z.B. das Auflösen der Reservierung von Fahrwegen (Kap. 6.3.2.3) und das Verstellen von Weichen (Kap. 6.3.2.6).

Die automatische Steuerung von Zugfahrten muss unabhängig und rückwirkungsfrei von der technischen Sicherung erfolgen.

Im automatischen Betrieb muss die Ausführung von Fahrtvorgaben unter Berücksichtigung der Bedingungen der vollständigen technischen Sicherung erfolgen.

Im automatischen Betrieb dürfen nur Regelbedienungen, d.h. Bedienhandlungen ohne Personalverantwortung, automatisch ausgeführt werden.

Im automatischen Betrieb müssen manuelle Bedienhandlungen des Fahrdienstleiters möglich sein.

Der automatische Betrieb muss so ausgelegt werden, dass das Abfahren der Magnetschwebefahrzeuge im störungsfreien Betrieb pünktlich erfolgt.

Fahrplanabweichungen, z.B. Verspätungen, müssen automatisch erkannt und angezeigt werden.

Bei Fahrplanabweichungen sollte automatisch der planmäßige Zustand wieder hergestellt werden.

Dies kann z.B. durch das Verkürzen von Haltezeiten erreicht werden. Die hierzu notwendigen oder zulässigen Maßnahmen werden projektspezifisch festgelegt.

6.3.2 Fahrwegsicherung

In die Fahrwegsicherung müssen alle Fahrwege einbezogen werden, auf denen Zugfahrten unter technischer Sicherungsverantwortung durchgeführt werden sollen.

Das können Fahrwege der freien Strecke, der Stationen, der Abstell- und Instandhaltungsanlagen sein.

Informationen über die Fahrwegsicherung müssen für die Betriebszentrale bereitgestellt werden.

Zustände der Fahrwegsicherung werden in der Betriebszentrale visualisiert.

Stationäre Einrichtungen, die den Lichtraum verletzen, müssen in die Fahrwegsicherung einbezogen werden.

Stationäre Einrichtungen in diesem Sinne können u. a. Hallentore und Waschanlagen sein.

Ausnahmen sind projektspezifisch bei Fahrten unter Personalverantwortung zulässig.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Bei vollständigem Ausfall der Fahrwegsicherung muss ein Zwangshalt zu einem Halteplatz durchgeführt werden.

6.3.2.1 Reservieren von Fahrwegen

Zur Durchführung einer Fahrt muss ein Fahrweg reserviert werden.

Die Reservierung eines Fahrweges für eine Zugfahrt besteht darin, dass die beweglichen Fahrwegelemente eingestellt werden, der zu befahrende Fahrweg lückenlos und vollständig technisch gesichert und dieser Fahrweg ausschließlich einem Fahrzeug zugeordnet wird.

In einem reservierten Fahrweg darf sich nur das Fahrzeug befinden, dem diese Reservierung zugeordnet ist.

Fahrwegabschnitte von reservierten Fahrwegen dürfen nicht für weitere Fahrten reserviert werden.

Damit wird gewährleistet, dass kein anderes, technisch gesichertes Fahrzeug in einen reservierten Fahrweg einfahren kann.

Die BLT muss sicherstellen, dass ein technisch gesichertes Fahrzeug den für dieses Fahrzeug reservierten Fahrweg nicht verlässt.

In reservierten Fahrwegabschnitten darf das Verstellen von Spurwechseleinrichtungen nicht möglich sein.

Das gilt für das Verstellen von Spurwechseleinrichtungen entweder technisch durch das System oder durch manuelle Eingriffe.

6.3.2.2 Besetzen von Fahrwegen

Die BLT muss einen Fahrwegabschnitt als besetzt anzeigen und führen, wenn sich ein technisch gesichertes Fahrzeug in diesem Fahrwegabschnitt befindet.

Ein Fahrwegabschnitt darf nur dann als nicht mehr besetzt angezeigt und geführt werden, wenn das technisch gesicherte Fahrzeug diesen Abschnitt vollständig verlassen hat.

Durch ein Fahrzeug besetzte Fahrwegabschnitte dürfen nur in eine Fahrwegreservierung für dieses technisch gesicherte Fahrzeug einbezogen werden.

Regelbedienungen dürfen nicht zur Veränderung des Besetzungszustands führen.

6.3.2.3 Auflösen der Reservierung von Fahrwegen

Nachdem das technisch gesicherte Fahrzeug einen reservierten Fahrwegabschnitt vollständig verlassen hat, sollte die Reservierung für diesen Abschnitt automatisch aufgelöst werden.

Diese Anforderung kann projektspezifisch Voraussetzung zur Durchführung eines automatischen Betriebes sein.

Bei einer Steigung, bei dem die kinetische Energie des Fahrzeugs nicht ausreicht, um den in Fahrtrichtung nächsten Halteplatz zu erreichen, muss der Fahrweg bis zu dem in Fahrtrichtung zurückliegenden Halteplatz (einschließlich dieses Halteplatzes) solange reserviert bleiben, bis der in Fahrtrichtung nächste Halteplatz aufgrund der kinetischen Fahrzeugenergie erreichbar ist.

Reservierte Fahrwege müssen manuell aufgelöst werden können.

Reservierte Fahrwege sollten durch automatische Fahrtvorgaben (Kap. 6.3.1.2) aufgelöst werden können.

Fahrwegreservierungen dürfen aufgelöst werden, wenn kein Fahrzeug im reservierten Fahrweg ist.

Fahrwegreservierungen dürfen aufgelöst werden, wenn das im reservierten Fahrweg befindliche Fahrzeug stillstandsgesichert ist.

Fahrwegreservierungen dürfen aufgelöst werden, wenn dieser reservierte Fahrweg nicht zum Erreichen eines Halteplatzes benötigt wird.

6.3.2.4 Sperren von Fahrwegen

Es muss möglich sein, manuell Fahrwegabschnitte zu sperren.

Fahrwegreservierungen über gesperrte Fahrwegabschnitte dürfen nur unter Personalverantwortung erfolgen.

Eine Fahrwegsperrung darf nicht in einem reservierten Fahrweg vorgenommen werden können.

Damit soll z.B. vermieden werden, dass eine Fahrwegsperrung zu einem Fahrzeughalt außerhalb eines Halteplatzes führt.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Nach Ausfall und Wiederkehr der Fahrwegsicherung sollten die Fahrwegsperrungen automatisch wieder hergestellt werden.

Projektspezifisch kann in Abhängigkeit von der Risikoanalyse oder der Komplexität der Anlage diese automatische Wiederherstellung gefordert sein.

Wenn keine automatische Wiederherstellung der Fahrwegsperrungen nach Ausfall der Fahrwegsicherung erfolgt, muss der Fahrdienstleitung angezeigt werden, dass die Wiederherstellung der Fahrwegsperrungen unter Personalverantwortung erfolgen muss.

6.3.2.5 Freigeben von Fahrwegsperrern

Eine manuelle Fahrwegsperrung muss unter Personalverantwortung freigegeben werden. Manuell gesperrte Fahrwegabschnitte dürfen nur einzeln wieder freigegeben werden.

6.3.2.6 Sicherung Spurwechseleinrichtungen

Generell wird zwischen Spurwechseleinrichtungen die keine Fahrtunterbrechung erfordern (Weichen) und Spurwechseleinrichtungen, die ggf. eine Fahrtunterbrechung erfordern (Schwenkbühne und Schiebebühnen) unterschieden.

Eine Spurwechseleinrichtung in gesicherter Endlage muss eine Endlage erreicht haben, verriegelt und gegen das Verstellen gesichert sein.

Die Spurwechseleinrichtungen dürfen nur in Fahrwegreservierungen einbezogen werden, wenn sie sich in gesicherter Endlage befinden.

Die Spurwechseleinrichtungen dürfen nur befahren werden, wenn sie sich in gesicherter Endlage befinden.

Eine Spurwechseleinrichtung in einem reservierten Fahrweg darf nicht verstellt werden können.

Eine Weiche mit einem darauf befindlichen Fahrzeug darf nicht verstellt werden können.

Das Verstellen einer Schiebebühne bzw. einer Schwenkbühne mit einem darauf befindlichen Fahrzeug ist nur zulässig, wenn sich dieses vollständig auf der Schiebebühne bzw. auf der Schwenkbühne befindet und stillstandsgesichert ist.

Eine manuelle Freigabe der Vor-Ort-Bedienung der Spurwechseleinrichtung muss möglich sein.

Die Freigabe der manuellen Vor-Ort-Bedienung darf nur möglich sein, wenn die Spurwechseleinrichtung nicht in eine Fahrwegreservierung einbezogen ist.

Nach Freigabe der manuellen Vor-Ort-Bedienung, darf die Spurwechseleinrichtung nicht in die Fahrwegreservierung einbezogen werden.

Eine Spurwechseleinrichtung muss manuell gegen das Verstellen gesperrt werden können.

Eine gegen Verstellen gesperrte Spurwechseleinrichtung darf nur unter Personalverantwortung wieder zum Verstellen freigegeben werden.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Der Ausfall der Sicherungsfunktion darf nicht zur Freigabe des Verstellvorgangs führen.

Es muss durch die Konstruktion der Spurwechseleinrichtungen sichergestellt werden, dass ein selbständiges Verlassen der gesicherten Endlage ohne Freigabe durch die Sicherungseinrichtung nicht möglich ist.

Wurde nach einem Verstellvorgang eine gesicherte Endlage erreicht und keine weitere Verstellfreigabe erteilt, sollte die Spurwechseleinrichtung auch nach Ausfall der Endlagenrückmeldung bzw. der Sicherungseinrichtung weiter befahren werden können.

Nach Erreichen der gesicherten Endlage muss die Spurwechseleinrichtung unabhängig von Ausfällen der Steuerung, Überwachung oder Energieversorgung ihre gesicherte Endlage beibehalten.

Sind Spurwechseleinrichtungen gegen Verstellen gesperrt, sollten diese Sperren nach Ausfall und Wiederkehr der Sicherung der Spurwechseleinrichtung automatisch wieder hergestellt werden.

Projektspezifisch kann in Abhängigkeit von der Risikoanalyse oder der Komplexität der Anlage diese automatische Wiederherstellung gefordert sein.

Wenn keine automatische Wiederherstellung dieser Sperren nach Ausfall der Sicherung erfolgt, muss der Fahrdienstleitung angezeigt werden, dass die Wiederherstellung dieser Sperren unter Personalverantwortung erfolgen muss.

6.3.2.7 Sicherung Bahnsteigtüranlage

Bahnsteigtüren in gesicherter Endlage müssen geschlossen, verriegelt und gegen das Öffnen gesichert sein.

Ein Fahrwegabschnitt mit Bahnsteigtüren darf nur befahren werden, wenn alle Bahnsteigtüren sich in gesicherter Endlage befinden.

Die Betriebsleittechnik darf Bahnsteigtüren nur zum Öffnen freigeben, wenn das Magnetschwebefahrzeug den Bahnsteigtüren gegenübersteht, stillstandsgesichert ist.

Eine Bahnsteigtür darf nur automatisch öffnen, wenn der Bahnsteigtür eine Fahrzeugtür gegenübersteht und eine Mindestbreite des Durchgangs durch Bahnsteig- und Fahrzeugtür gewährleistet ist.

Das Magnetschwebefahrzeug darf nur anheben und abfahren, wenn alle Bahnsteigtüren sich in gesicherter Endlage befinden.

Zur Instandhaltung der Bahnsteigtüren bzw. der Stationen kann projektspezifisch eine Vor-Ort-Bedienung der Bahnsteigtüren vorgesehen werden.

Wenn eine Vor-Ort-Bedienung der Bahnsteigtüren projektspezifisch realisiert ist, muss eine manuelle Freigabe der Vor-Ort-Bedienung der Bahnsteigtüren möglich sein.

Die Freigabe der manuellen Vor-Ort-Bedienung darf nur möglich sein, wenn der Fahrweg mit Bahnsteigtüren nicht in eine Fahrwegreservierung einbezogen ist.

Nach Freigabe der manuellen Vor-Ort-Bedienung darf der Fahrweg mit Bahnsteigtüren nicht in die Fahrwegreservierung einbezogen werden.

Sofern neben den Bahnsteigtüren weitere Zu- oder Abgänge vorgesehen sind, können z.B. in Abhängigkeit von der Risikoanalyse projektspezifische Anforderungen definiert werden.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Der Ausfall der Sicherungsfunktion darf nicht zur Freigabe des Öffnens führen.

Durch die Konstruktion der Bahnsteigtüren wird sichergestellt, dass ein selbsttätiges Verlassen der gesicherten Endlage ohne Freigabe durch die Sicherungseinrichtung nicht möglich ist.

Durch die BLT muss der Ausfall der Meldung der gesicherten Endlage erkannt werden.

Bei Ausfall der Meldung der gesicherten Endlage einer Bahnsteigtür muss projektspezifisch eine technische Reaktion erfolgen. Dabei kann die Betriebssituation, z.B. Einfahrt, Ausfahrt oder Halt, berücksichtigt werden.

Bahnsteigtüren mit defekter Ansteuerung bzw. Rückmeldung müssen einzeln, manuell vor Ort verriegelt werden können (außerhalb der BLT, unter Personalverantwortung).

Die Ansteuerung und -überwachung der betreffenden Bahnsteigtür wird damit überbrückt.

6.3.3 Fahrzeugsicherung

Die Fahrzeugsicherung muss die im folgenden beschriebenen sicherheitsrelevante Funktionen und Zustände der Magnetschwebfahrzeuge überwachen und steuern.

Dazu muss sie z. B. das Anheben, das Absetzen, die Überwachung der Bordenergie und die Ansteuerung der Sicheren Bremse über die Fahrzeugsteuerung abwickeln.

Für andere technisch gesicherte Fahrzeuge kann eine Untermenge dieser Funktionen und Zustände projektspezifisch erforderlich sein.

6.3.3.1 Überwachung der Redundanz sicherheitsrelevanter Fahrzeugfunktionen

Das Teilsystem Fahrzeug meldet an die BLT, dass keine Ausfälle oder Redundanzverluste von sicherheitsrelevanten Fahrzeugfunktionen wie z.B. Tragen/Führen, Sichere Bremse und Bordenergieversorgung vorhanden sind.

Die BLT muss permanent die Meldung des Teilsystems Fahrzeug über den ausfallfreien Zustand und die vollständige Redundanz der sicherheitsrelevanten Fahrzeugfunktionen überwachen.

Die Prüfung der sicherheitsrelevanten Fahrzeugfunktionen selbst wird von dem Teilsystem Fahrzeug ohne Anstoß durch die BLT durchgeführt.

Die BLT muss bei Rücknahme der Meldung eine sicherungstechnische Reaktion auslösen.

Die sicherungstechnische Reaktion sollte schrittweise in mehreren Stufen ablaufen.

Ein möglicher Ablauf der mehrstufigen sicherungstechnischen Reaktion ist:

- 1. Zwangshalt Servicestation (Weiterfahrt über Betriebshalteplätze und Stationen)*
- 2. Hemmung (Weiterfahrt über Betriebshalteplätze)*
- 3. Zwangshalt auf den aktuellen Halteplatz (keine Weiterfahrt)*

Die Stufen und der Ablauf der sicherungstechnischen Reaktion der BLT müssen projektspezifisch festgelegt werden.

Die konkreten Abläufe und Zeiten müssen an der Schnittstelle zwischen BLT und dem Teilsystem Fahrzeug definiert werden.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Wird beim Aufrüsten des Fahrzeugs der Ausfall bzw. der Redundanzverlust sicherheitsrelevanter Fahrzeugfunktionen gemeldet, muss die BLT sofort mit einer Hemmung des betreffenden Magnetschwebfahrzeugs reagieren.

Der vollständige Verlust der Redundanzüberwachung der Fahrzeugfunktionen führt maximal zu einem Zwangshalt auf den aktuellen Halteplatz.

6.3.3.2 Steuerung und Überwachung Bremsprüfung

Die folgenden Anforderungen gelten nur, wenn die technisch gesicherten Fahrzeuge mit einer aktiven Sicheren Bremse ausgerüstet sind, z. B. mit Wirbelstrombremskreisen.

Die BLT muss überwachen, dass in festgelegten Intervallen die Funktionsprüfung bestimmter Komponenten der Sicheren Bremse angestoßen wird (Bremsprüfung).

Die BLT muss sicherstellen, dass die Bremsprüfung nicht während der Fahrt durchgeführt wird.

Die BLT muss sicherstellen, dass die Bremsprüfung nach jedem Aufrüsten des Fahrzeugs und bis zum Ablauf der Ausfalloffenbarungszeit durchgeführt wird.

Wird die Bremsprüfung nach dem Aufrüsten des Fahrzeugs oder bis zum Ablauf der Ausfalloffenbarungszeit nicht angestoßen, muss eine sicherungstechnische Reaktion eingeleitet werden.

Die sicherungstechnische Reaktion sollte vor Ablauf der Ausfalloffenbarungszeit mehrstufig ausgeführt werden.

Die BLT muss sicherstellen, dass das Fahrzeug erst nach erfolgreicher Bremsprüfung anhebt und abfährt.

Die Bremsprüfung muss manuell angestoßen werden können.

Dies ist z.B. erforderlich nach Instandsetzungsarbeiten an den Komponenten der Sicherer Bremse.

Die Bremsprüfung sollte automatisch nach Fahrplan angestoßen werden können.

Zum Erhalt der betrieblichen Verfügbarkeit sollte die Bremsprüfung rechtzeitig vor Ablauf der Ausfalloffenbarungszeit durchgeführt werden.

6.3.3.3 Steuerung und Überwachung Bordenergieversorgung

Ladezustand Bordenergieversorgung

Das Teilsystem Fahrzeug muss eine Meldung an die BLT übermitteln, dass der für die Durchführung einer Fahrt einschließlich eines Halts mit Sicherer Bremse erforderliche Ladezustand gewährleistet ist.

Die BLT muss den vom Magnetschwebefahrzeug signalisierten Ladezustand der Bordenergieversorgung überwachen.

Damit wird sichergestellt, dass sicherheitsrelevante Funktionen, wie z. B. das Schweben und die Sichere Bremse, spezifikationsgemäß ausgeführt werden können.

Die BLT muss bei Rücknahme der Meldung eine sicherungstechnische Reaktion auslösen.

Abhängig von der Auslegung der Bordenergieversorgung muss projektspezifisch festgelegt werden, ob diese sicherungstechnische Reaktion als Zwangshalt oder Soforthalt durchgeführt wird.

Die BLT muss verhindern, dass das stehende Fahrzeug bei Rücknahme der Meldung anhebt und abfährt.

Redundanzverlust Bordenergieversorgung

Bei Redundanzverlust der Bordenergieversorgung übermittelt das Teilsystem Fahrzeug eine Meldung an die BLT.

Die BLT muss den vom Magnetschwebefahrzeug signalisierten Redundanzzustand der Bordenergieversorgung überwachen.

Dabei muss die Bordenergieversorgung nach einer Abfahrt eines Fahrzeugs das Schweben und das Sichere Bremsen bis zum nächsten Halt gewährleisten.

Die BLT muss bei Meldung des Redundanzverlustes verhindern, dass ein stehendes Magnetschwebefahrzeug anhebt und abfährt.

Externe Bordenergieversorgung

Projektspezifisch müssen Komponenten der Magnetschwebefahrzeuge zur externen Bordenergieversorgung in die Steuerung und Überwachung durch die BLT einbezogen werden.

Beim Einsatz von Stromabnehmern ist z. B. ein sicherheitsrelevantes Freigabesignal für die Stromabnehmer zu erzeugen.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Bei Verlust der Funktionen Steuerung und Überwachung Bordenergieversorgung bzw. bei Verlust von Teilen der Funktionen muss die BLT bei abgesetztem Magnetschwebefahrzeug mit einer Hemmung des betreffenden Magnetschwebefahrzeuges reagieren.

Der Verlust der Funktionen Steuerung und Überwachung Bordenergieversorgung bzw. der Verlust von Teilen der Funktionen muss während der Fahrt zu einem Zwangshalt auf den aktuellen Halteplatz führen.

Dabei muss die Bordenergieversorgung nach einer Abfahrt eines Fahrzeugs das Schweben und das Sichere Bremsen bis zum nächsten Halt gewährleisten.

6.3.3.4 Steuerung und Überwachung Sichere Bremse

Das Fahrzeug muss mit einer Sicheren Bremse ausgestattet sein. Mit der Sicheren Bremse kann es bei Antriebsstörungen oder bestimmten Ausfällen der BLT sicher angehalten werden.

Die Sichere Bremse muss von der BLT gesteuert und überwacht werden.

Grundsätzlich muss bei einem Zwangshalt mit der Sicheren Bremse der Antrieb vor Ausgabe des Bremsbefehls abgeschaltet werden.

Ortsabhängig muss das gleichzeitige Wirken von Sicherer Bremse und Antrieb in Ausnahmefällen möglich sein.

Entsprechende Orte sind projektspezifisch festzulegen.

Diese Ausnahmefälle sind erlaubt, wenn z.B. die Fahrweglasten, Fahrzeuglasten und die vorgegebenen Beschleunigungswerte nicht überschritten werden.

Das Teilsystem Fahrzeug überwacht die Bremskreise des Magnetschwebefahrzeugs und übermittelt an die BLT eine Meldung, dass eine ausreichende Funktion der Bremskreise gewährleistet ist.

Die BLT muss bei Rücknahme dieser Meldung einen Zwangshalt auf die nächste Servicestation auslösen.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Bei Ausfall der Funktion „Steuerung und Überwachung Sichere Bremse“ muss die Sichere Bremse maximal angesteuert werden.

Dies führt zu einem unregelmäßigen Halt des Fahrzeuges ohne Halteplatzanfahrt.

Bei vollständigem Ausfall der Ortung oder bestimmten Ausfallkombinationen (Mehrfachausfälle) der BLT-Hardware wird die Sichere Bremse maximal angesteuert, dies kann zu einer kurzzeitigen Überlagerung der Traktions- oder Bremskräfte des Antriebs mit der Sicheren Bremse führen.

Die Auftretenswahrscheinlichkeit und die maximale Dauer der Überlagerung der Bremskräfte von Antrieb und Sicherer Bremse müssen projektspezifisch ermittelt werden.

Diese Überlagerung muss in Abhängigkeit von ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit und maximalen Dauer bei der Dimensionierung des Fahrwegs und des Fahrzeugs als Sonderlast berücksichtigt werden.

Redundanzausfälle dürfen nicht zum unzeitigen Ein- bzw. Ausschalten der Sicherer Bremse führen.

6.3.3.5 Sicherung von Fahrzeugaußentüren

Fahrzeugaußentüren in gesicherter Endlage müssen geschlossen, verriegelt und gegen das Öffnen gesichert sein.

Das Magnetschwebefahrzeug darf nur anheben und abfahren, wenn alle Fahrzeugaußentüren sich in gesicherter Endlage befinden.

Die Betriebsleittechnik darf Fahrzeugaußentüren nur zum Öffnen freigeben, wenn das Magnetschwebefahrzeug stillstandsgesichert ist.

Diese Türfreigabe darf ausschließlich an projektierten Orten für die dort zulässigen Seiten erfolgen.

Der Anstoß für die Türfreigabe muss automatisch oder manuell mindestens durch die Fahrdienstleitung erfolgen können.

Der Zustand der gesicherten Endlage der Fahrzeugaußentüren muss an die Betriebszentrale übertragen werden.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Der Ausfall der Funktion Sicherung von Fahrzeugaußentüren muss dazu führen, dass die Türen von der BLT als nicht verriegelt angenommen werden und die BLT muss mit einer Hemmung des betreffenden Magnetschwebefahrzeugs reagieren.

Der Ausfall der Sicherungsfunktion darf nicht zur Freigabe des Öffnens führen.

Durch die Konstruktion der Fahrzeugaußentüren wird sichergestellt, dass ein selbsttätiges Verlassen der gesicherten Endlage ohne Freigabe durch die Sicherungseinrichtung nicht möglich ist.

Durch die BLT muss der Ausfall der Meldung der gesicherten Endlage erkannt werden.

Bei Ausfall der Meldung der gesicherten Endlage einer Fahrzeugaußentür muss projektspezifisch eine technische Reaktion erfolgen. Dabei kann die Betriebssituation, z.B. fahrend oder haltend, berücksichtigt werden.

Türen mit defekter Ansteuerung bzw. Rückmeldung müssen einzeln, manuell vor Ort verriegelt werden können (außerhalb der BLT, unter Personalverantwortung).

Die Ansteuerung und -überwachung der betreffenden Fahrzeugaußentür wird damit überbrückt.

6.3.3.6 Steuerung und Überwachung Schweben

Die Funktion Steuerung und Überwachung Schweben ist der betriebsleittechnische Anteil an der Schwebefunktion.

Die BLT muss das Anheben und Absetzen des Magnetschwebefahrzeugs steuern und überwachen.

Die BLT muss sicherstellen, dass die Freigabe zum Anheben des Magnetschwebefahrzeugs erst gegeben werden darf, wenn alle sicherungstechnischen Fahrtvoraussetzungen erfüllt sind und der Abfahrauftrag erteilt ist.

Zu den sicherungstechnischen Fahrtvoraussetzungen gehört z. B. die Verriegelung der Fahrzeugaußentüren. Projektspezifisch können weitere sicherungstechnische Fahrtvoraussetzungen festgelegt werden.

Die BLT muss sicherstellen, dass die Rücknahme der Freigabe zum Anheben des Magnetschwebefahrzeugs erst gegeben werden darf, wenn alle sicherungstechnischen Voraussetzungen zum Absetzen erfüllt sind.

Zu den sicherungstechnischen Voraussetzungen zum Absetzen gehört z. B., dass die Fahrzeuggeschwindigkeit kleiner als eine für die BLT definierte Absetzgeschwindigkeit ist. Projektspezifisch können weitere sicherungstechnische Voraussetzungen zum Absetzen festgelegt werden.

Für die Rücknahme der Freigabe zum Anheben sollten auch steuerungstechnische Voraussetzungen erfüllt sein.

Zu den steuerungstechnischen Voraussetzungen zum Absetzen gehört z. B. eine Meldung vom Antrieb, dass die Fahrt beendet ist.

Nach Freigabe zum Anheben des Magnetschwebefahrzeugs durch die BLT muss die Fahrzeugfunktion Schweben bis zum folgenden Absetzen fortlaufend überwacht werden.

Sofern der BLT gemeldet wird, dass die Fahrzeugfunktion Schweben nicht mehr aufrechterhalten werden kann, muss von der BLT ein Zwangshalt zur nächsten Servicestation eingeleitet werden. Wird innerhalb einer projektspezifisch zu definierenden Zeit kein Halteplatz mit dem Merkmal Servicestation erreicht, muss automatisch ein Zwangshalt eingeleitet werden.

Dabei wird vorausgesetzt, dass bis zum Abschluss des Zwangshalts Servicestation die Fahrzeugfunktion Schweben erhalten bleibt.

Magnetschwebefahrzeuge müssen während des Fahrgastwechsels abgesetzt sein.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Der vollständige Verlust der Funktion Ansteuerung Schweben muss zur Rücknahme der Freigabe zum Anheben führen.

Das Absetzen des Fahrzeugs muss dann in Verantwortung der Fahrzeugfunktion Schweben erfolgen.

6.3.3.7 Zwangshalt

Zwangshalte werden automatisch durch die BLT-Funktionen generiert.

Zwangshalte müssen manuell ausgelöst werden können.

Ein manueller Zwangshalt muss durch Personal in der Betriebszentrale und im Magnetschwebefahrzeug ausgelöst werden können.

Ein manueller Zwangshalt kann projektspezifisch an anderen Orten, z.B. an Stationen ausgelöst werden.

Manuelle Zwangshalte können als Zwangshalt auf den aktuellen Halteplatz oder als Soforthalt ausgeführt werden.

Automatische Zwangshalte können als Zwangshalt Servicestation oder Zwangshalt auf den aktuellen Halteplatz oder als Soforthalt ausgeführt werden.

Der Zwangshalt auf den aktuellen Halteplatz kann auch als reversibler Zwangshalt ausgeführt werden.

Projektspezifisch muss festgelegt werden, ob nach Rücknahme eines manuellen Zwangshalts und stehendem Magnetschwebefahrzeug eine unmittelbare Wiederanfahrt zulässig ist oder diese durch erneute Fahrtvorgaben initiiert werden muss.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Ausfälle in der Funktion Zwangshalt müssen zu einer sicherungstechnischen Reaktion führen.

6.3.4 Fahrprofilüberwachung

Die BLT muss überwachen, dass die Fahrzeuggeschwindigkeit in einem zulässigen Geschwindigkeitsband liegt.

Das zulässige Geschwindigkeitsband liegt zwischen dem Maximalfahrprofil entsprechend der ortsabhängig zulässigen Maximalgeschwindigkeit und dem Minimalfahrprofil entsprechend der ortsabhängigen Mindestgeschwindigkeit zum Erreichen des aktuellen Halteplatzes.

Das zulässige Geschwindigkeitsband muss auch unter Berücksichtigung der aktuellen Betriebssituation, z.B. aus Weichenlagen und Langsamfahrstellen, von der BLT berechnet werden.

6.3.4.1 Überwachung Maximalfahrprofil

Die BLT muss sicherstellen, dass Gefahrenpunkte nicht überfahren und das Grenzfahrprofil eingehalten werden.

Dazu muss in der BLT je Gefahrenpunkt ein ortsabhängiges Maximalfahrprofil festgelegt werden.

Zur Ermittlung des Maximalfahrprofils muss die BLT die relevanten Systemeigenschaften, wie z.B. Reaktionszeiten, Charakteristik der Sicheren Bremse und Trassierung, berücksichtigen.

Bei Verletzung des Maximalfahrprofils muss der Antrieb sicher abgeschaltet werden und eine reversible Zwangsbremse mit der Sicheren Bremse zum aktuellen Halteplatz ausgelöst werden.

Ein Abbruch der Zwangsbremse darf nur erfolgen, wenn das Maximalfahrprofil nicht mehr überschritten ist.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Ausfälle in der Maximalfahrprofilüberwachung müssen zu einem Zwangshalt führen.

Bei vollständigem Ausfall der Maximalfahrprofilüberwachung muss ein Soforthalt ausgeführt werden.

6.3.4.2 Überwachung Minimalfahrprofil

Die BLT muss sicherstellen, dass das Magnetschwebefahrzeug den aktuellen Halteplatz auch ohne Antrieb schwebend erreichen kann.

Dazu muss in der BLT je Halteplatz ein ortsabhängiges Minimalfahrprofil festgelegt werden.

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Betriebsleittechnik

Dok.-Nr.: 53328 Version Weißdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 24 von 33

Zur Ermittlung des Minimalfahrprofils muss die BLT die relevanten Systemeigenschaften, wie z.B. Sicheres Schwebeprofil, Reaktionszeiten und Trassierung, berücksichtigen.

Bei Verletzung des Minimalfahrprofils muss eine sichere Abschaltung der bremsenden Kräfte des Antriebs durch die BLT ausgelöst werden.

Zum Anhalten des Magnetschwebefahrzeuges bei Erreichen des Halteplatzes kann die Sichere Bremse verwendet werden.

Die BLT muss sicherstellen, dass bei Erreichen des Halteplatzes das Magnetschwebefahrzeug abgesetzt wird.

Eine Rücknahme der Antriebsabschaltung darf nur erfolgen, wenn das Minimalfahrprofil nicht mehr unterschritten ist.

Nach Anfahrt von einer Station ist die Überwachung des Minimalfahrprofils nicht sofort möglich. Für die betrieblich genutzten Anfahrbereiche sollten projektspezifisch Evakuierungsmöglichkeiten und eine externe Bordenergieversorgung vorgesehen werden.

Die Minimalfahrprofilüberwachung muss automatisch aktiviert werden, wenn das Minimalfahrprofil des auf den Anfahrbereich folgenden Halteplatzes überschritten wird.

Die Minimalfahrprofilüberwachung muss manuell ausgeschaltet werden können.

Das Ausschalten der Minimalfahrprofilüberwachung ist notwendig, wenn z.B. aus betrieblichen Gründen unterhalb der jeweiligen Minimalfahrprofile gefahren werden soll.

6.3.5 Sichere Antriebsabschaltung

Der Antrieb im Magnetschnellbahnsystem setzt sowohl Traktions- als auch Bremsenergie um.

Das Teilsystem Antrieb und Energieversorgung muss mit Einrichtungen zur sicheren Antriebsabschaltung ausgestattet sein, mit denen der Traktionsenergie- als auch der Bremsenergiefluss sicher unterbunden werden kann.

Die BLT muss die sichere Abschaltung des Antriebsenergieflusses auslösen:

- Bei Verletzung des Maximal- oder Minimalfahrprofils (Kapitel 6.3.4)
- Vor Durchführung einer Zwangsbremung mit der Sicheren Bremse (Kapitel 6.3.3.4)
- Bei Ausfall der Übertragung von Sicherungsdaten (Kapitel 6.3.7.1)
- Bei Soforthalt.

Abhängig vom Abschaltgrund muss die Antriebsenergie in dem abzuschaltenden Streckenbereich innerhalb einer definierten Zeit nach Eintreten des Abschaltgrundes sicher abgeschaltet werden.

Liegt ein Abschaltgrund vor und befindet sich ein Magnetschwebefahrzeug

- gleichzeitig in mehreren Antriebsbereichen, z.B. während des Bereichswechsels, oder
- in einem Antriebsbereich, in den mehrere Umrichter einspeisen können,

so muss sichergestellt werden, dass keiner der Umrichter in diese Bereiche einspeisen kann.

Die sichere Antriebsabschaltung kann reversibel oder nicht reversibel sein.

Liegt bei einer reversiblen Antriebsabschaltung der Abschaltgrund nicht mehr vor, muss der Antrieb automatisch von der BLT wieder freigegeben werden.

Abschaltgründe für reversible Antriebsabschaltungen sind z.B. Zwangsbremungen bei Fahrprofilverletzung und der zeitweise Ausfall der Übertragung von Sicherungsdaten.

Nach irreversiblen Antriebsabschaltungen darf der Antrieb von der BLT nicht automatisch freigegeben werden.

Irreversible Antriebsabschaltungen erfolgen beim Soforthalt, z.B. nach vollständigem Ausfall der Funktion sichere Ortung (Kapitel 6.3.6) oder vollständigen Ausfall der Maximalfahrprofilüberwachung (Kapitel 6.3.4.1)

Nach irreversiblen Antriebsabschaltungen muss der Antrieb manuell vom Fahrdienstleiter freigegeben werden.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Bei vollständigem Ausfall der Funktion Sichere Antriebsabschaltung muss die Abschaltung des Antriebsenergieflusses ausgelöst werden.

Wie diese Auslösung erfolgt, muss an der Schnittstelle zwischen BLT und Antrieb festgelegt werden.

Tritt der vollständige Ausfall der Funktion Sichere Antriebsabschaltung während des Bremsvorganges des Antriebes ein, hält das Fahrzeug unter Umständen vor dem aktuellen Halteplatz, jedoch innerhalb des reservierten Fahrwegs.

6.3.6 Sichere Ortung

Die sichere Ortung besteht gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/ aus der Komponente Sichere Ortung der BLT und ihren Schnittstellen zur Steuerungstechnisch relevanten Ortung und zu den BLT-Funktionen.

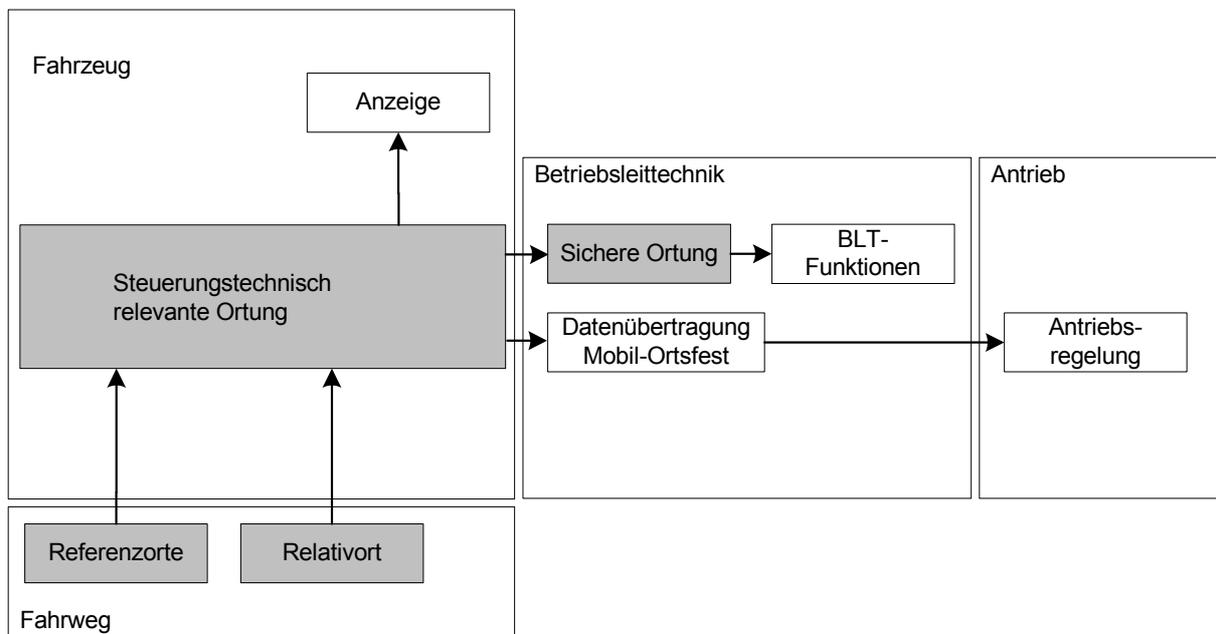


Abbildung 3: Struktur der Ortung

Für die Durchführung eines Fahrbetriebs unter vollständiger technischer Sicherung müssen der Ort und die Geschwindigkeit und die Fahrtrichtung jedes Fahrzeugs zu jeder Zeit der BLT sicherungstechnisch bekannt sein (Sicherer Ort).

Der Sichere Ort beinhaltet das Vorliegen der sicheren Orts-, Geschwindigkeits- und Fahrtrichtungsinformation.

Nach einer erfolgreich durchgeführten Einsetzfahrt gelten die Orts-, Geschwindigkeits- und Fahrtrichtungsinformationen als sicher.

Die von der Steuerungstechnisch relevanten Ortung gelieferten Ortsinformationen werden von der BLT, z.B. durch Plausibilitätsprüfungen, durch Spiegelung an Vorgabedaten und Vergleich der einzelnen Ortsinformationen, geprüft.

Bestimmte Fehlfunktionen, z.B. der Fahrtrichtungserkennung, können nur während der Fahrt erkannt werden.

Nach dem Aufrüsten des Magnetschwebfahrzeuges, nach Ausfall der Funktion Sichere Ortung oder wenn die Stillstandszeit die Ausfalloffenbarungszeit überschritten hat, muss eine Einsetzfahrt durchgeführt werden.

Die zulässigen Toleranzen für die Ortsinformation müssen aufgrund der spezifischen Eigenschaften des gewählten Ortungsverfahrens und der projektspezifischen Auslegungen festgelegt werden.

Die zulässigen Toleranzen für die Fahrzeuggeschwindigkeit müssen aufgrund der spezifischen Eigenschaften des gewählten Ortungsverfahrens und der projektspezifischen Auslegungen festgelegt werden.

Die zulässigen Toleranzen für die Fahrzeugrichtungserkennung müssen aufgrund der spezifischen Eigenschaften des gewählten Ortungsverfahrens und der projektspezifischen Auslegungen festgelegt werden.

Jedes Ortungsverfahren hat physikalisch bedingte Toleranzen. Diese sind bedingt durch die Struktur und das gewählte Ortungsverfahren. Diese Toleranzen wirken sich auf die Systemauslegung bzw. andere Systemfunktionen, z.B. Haltegenauigkeit, aus. Deren Anforderungen werden bei der Auswahl des Ortungsverfahrens berücksichtigt.

Bei vollständigem Ausfall der Funktion Sichere Ortung muss die für dieses Fahrzeug bestehende Fahrwegreservierung erhalten bleiben.

Eine nach einem vollständigen Ausfall der Funktion Sichere Ortung für dieses Fahrzeug bestehende Fahrwegreservierung darf nur aufgelöst werden, wenn für dieses Fahrzeug wieder ein Sicherer Ort bekannt ist.

Ein Sicherer Ort kann z.B. auch bekannt sein, wenn er unter Personalverantwortung ermittelt und durch eine Bedienhandlung unter Personalverantwortung eingegeben wurde.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Der Redundanzverlust in der Funktion Sichere Ortung oder in deren Teilfunktionen darf maximal zu einem Zwangshalt führen.

Bei vollständigem Ausfall der Funktion Sichere Ortung muss die BLT einen Soforthalt ausführen.

6.3.7 Datenübertragung

Die Datenübertragung zwischen den Komponenten der BLT ist durch Datenmenge, Wiederholrate, Verfügbarkeit, Bitfehlerrate und die Einteilung in sicherheitsrelevante und nicht sicherheitsrelevante Übertragung gekennzeichnet.

Die Datenübertragung findet

- *zwischen ortsfesten und ortsfesten sowie*
- *zwischen ortsfesten und mobilen*

Komponenten der BLT statt.

Projektspezifisch müssen die Anforderungen an die Datenübertragung definiert werden.

Zu den projektspezifischen Anforderungen gehört z.B. Anzahl der gleichzeitig zu versorgenden Fahrzeuge

6.3.7.1 Übertragung Sicherungsdaten

Auf Basis der Anforderungen an die Datenübertragung von sicherheitsrelevanten Daten müssen geeignete Übertragungsverfahren für die sicherheitsrelevante Kommunikation in geschlossenen bzw. offenen Übertragungssystemen festgelegt werden.

Es muss projektspezifisch für jede Datenübertragung festgelegt werden, ob es sich im Sinne der /DIN EN 50159/ um ein geschlossenes oder ein offenes Übertragungssystem handelt.

Aus dieser Festlegung ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Sicherheitsmaßnahmen im Übertragungssystem.

Bei Übertragung von sicherheitsrelevanten Daten müssen mindestens verfälschte Information (Verfälschung der Senderidentität, Typfehler, verfälschter Wert) und Zeitfehler (Datenverzögerung zu lang, Sequenzfehler) sicher erkannt werden.

Bei gemeinsamer Übertragung von sicherheitsrelevanten und nicht sicherheitsrelevanten Daten muss die Rückwirkungsfreiheit auf die sicherheitsrelevanten Daten gewährleistet sein.

Aus dem Vorrang der Übertragung sicherheitsrelevanter Daten können sich Restriktionen für die Übertragung nicht sicherheitsrelevanter Daten ergeben.

Die nicht sichere Datenübertragung der BLT sollte für die Nutzung durch andere Teilsysteme offen sein.

Projektspezifisch können die Übertragungsfunktionen der BLT z.B. für die Übertragung von Daten der Fahrgastinformation und -kommunikation zwischen Betriebszentrale und Magnetschwebefahrzeug genutzt werden.

Aus dem Vorrang der Übertragung betriebsnotwendiger Daten zwischen den BLT-Komponenten können sich Restriktionen für die Nutzung durch andere Teilsysteme ergeben.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Bei Ausfall der Übertragung sicherheitsrelevanter Daten ortsfest-mobil beim fahrenden Fahrzeug muss die Sichere Antriebsabschaltung erfolgen.

Tritt zusätzlich eine Profilverletzung auf, so muss eine reversible Zwangsbremmung zum aktuellen Halteplatz gemäß Kapitel 6.3.3.4 erfolgen.

6.3.7.2 Übertragung Antriebsdaten

Die Datenübertragung der BLT sollte Daten der Steuerungstechnisch relevanten Ortung an die Antriebsregelung übertragen können.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Ein Ausfall der Übertragung der steuerungstechnisch relevanten Daten der Ortung an die Antriebsregelung darf nicht zu einer unmittelbaren sicherungstechnischen Reaktion der BLT führen.

Die steuerungstechnische Zielhaltgenauigkeit des Antriebs kann dadurch beeinträchtigt werden.

6.3.7.3 Übertragung Diagnosedaten

Die Datenübertragung der BLT sollte Diagnosedaten der ortsfesten und mobilen Teilsysteme an zentrale Diagnoseeinrichtungen übertragen können.

Projektspezifisch müssen die Anforderungen an die Übertragung von Diagnosedaten festgelegt werden.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Ein Ausfall der Übertragung der Diagnosedaten darf nicht zu einer sicherungstechnischen Reaktion der BLT führen.

6.3.7.4 Übertragung Fahrgastnotruf

Jedes Magnetschwebfahrzeug ist mit Fahrgastnotrufeinrichtungen ausgerüstet.

Ein im Magnetschwebfahrzeug betätigter Fahrgastnotruf muss in der Betriebszentrale gemeldet werden.

Es muss gemeldet werden, aus welchem Magnetschwebfahrzeug der Fahrgastnotruf kommt.

Die Aufgabe der BLT besteht lediglich in der Übertragung des Notrufs.

Neben dem Fahrgastnotruf muss eine Gegensprechverbindung zwischen dem Auslöser des Notrufs und dem für Notrufe zuständigen Personal der Betriebszentrale vorgesehen werden.

Diese Gegensprechverbindung muss gleichzeitig und unabhängig zur betrieblichen Sprachübertragung (Kap. 6.3.7.6) nutzbar sein.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Die Reaktion der BLT auf einen Ausfall der Funktion Fahrgastnotruf muss projektspezifisch geregelt werden.

Ein Ausfall der betriebsleittechnischen Datenübertragung mobil - ortsfest führt auch zu einem Ausfall der Funktion Fahrgastnotruf.

6.3.7.5 Übertragung Brandmeldung

Jedes Magnetschwebfahrzeug ist mit einer automatischen Brandmeldeeinrichtung ausgerüstet.

Eine im Fahrzeug ausgelöste Brandmeldung muss in der Betriebszentrale gemeldet werden.

Es muss angezeigt werden, aus welchem Fahrzeug die Brandmeldung kommt.

Projektspezifisch kann festgelegt werden, ob z.B. eine sektionsspezifische Brandmeldung notwendig ist.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Die Reaktion der BLT auf einen Ausfall der Funktion Brandmeldung muss projektspezifisch geregelt werden.

Ein Ausfall der betriebsleittechnischen Datenübertragung mobil - ortsfest führt auch zu einem Ausfall der Funktion Brandmeldung.

6.3.7.6 Betriebliche Sprachübertragung

Jedes Magnetschwebefahrzeug ist mit einer bidirektionalen Sprachübertragung zwischen dem Fahrzeug und der Betriebszentrale ausgerüstet.

Diese kann zur Kommunikation mit dem Fahrer bei Instandhaltungsfahrten oder bei der Inbetriebsetzung des Systems Magnetschnellbahn genutzt werden.

Diese betriebliche Sprachübertragung muss gleichzeitig und unabhängig zur Gegensprechverbindung des Fahrgastnotrufes (Kap. 6.3.7.4) nutzbar sein.

Die Qualität der Sprachübertragung muss für fahrdienstliche Zwecke, z. B. hinsichtlich Sprachverständlichkeit bei Nebengeräuschen, ausreichen.

Ausfallverhalten, Ausfallauswirkung

Ein Ausfall der betrieblichen Sprachübertragung darf die Funktionen der BLT nicht beeinträchtigen.

Ein Ausfall der betriebsleittechnischen Datenübertragung mobil - ortsfest führt auch zu einem Ausfall der betrieblichen Sprachübertragung.

Bei Ausfall der Sprachverbindung besteht die Möglichkeit der Kommunikation zwischen Fahrpersonal und Betriebszentrale über ein diversitäres kommerzielles Funksystem.

6.4 Umweltaforderungen

Die Umweltbedingungen sind mit ihren Grenzwerten in der Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Anlage 3 /MSB AG-UMWELT/ festgelegt.

Die BLT muss innerhalb der in der /MSB AG-UMWELT/ angegebenen Grenzwerte funktionsfähig sein.

6.5 BLT-Diagnose

Ausfälle von Komponenten der BLT müssen offenbart und in der Betriebszentrale angezeigt werden.

Das betrifft auch Ausfälle von redundanten Funktionseinheiten und Kommunikationskanälen, auch wenn noch keine Verfügbarkeitseinschränkungen gegeben sind.

Die Diagnose muss die Lokalisierung von ausgefallenen Einheiten ermöglichen, soweit diese die dafür benötigten Informationen liefern.

Werden Ausfälle von Komponenten, die nicht zur BLT gehören, erkannt, sollten diese durch die Diagnose der BLT offenbart werden.

Ob die Anzeige der Diagnosemeldungen beim Fahrdienstleiter oder auf der zentralen Diagnoseeinrichtung erfolgt, ist projektspezifisch festzulegen.

6.6 Ausfalloffenbarung an Schnittstellen zu anderen Teilsystemen

Projektspezifisch kann es sinnvoll sein, Ausfälle von Einrichtungen anderer Teilsysteme teilweise oder ganz mit Mitteln der Betriebsleittechnik zu behandeln, wenn eine entsprechende Schnittstelle ohnehin besteht.

An jeder Schnittstelle zwischen Betriebsleittechnik und einer anderen Einrichtung muss festgelegt werden, welche funktionalen Anteile die Betriebsleittechnik an der Ausfalloffenbarung der anderen Einrichtung hat.

Gemäß dem Grundsatz, dass Funktionen ohne Sicherheitsverantwortung getrennt von denen mit Sicherheitsverantwortung aufgebaut werden sollten, darf die Ausfalloffenbarung einer anderen Einrichtung nur im begründeten Einzelfall an die Betriebsleittechnik übertragen werden.

Bei der Ausfalloffenbarung anderer Einrichtungen durch die Betriebsleittechnik muss definiert werden, ob die Ausfallmeldung

- verfügbarkeitsrelevant oder
- sicherheitsrelevant ist.

Hat die Ausfalloffenbarung einer anderen Einrichtung durch die Betriebsleittechnik Sicherheitsrelevanz, so müssen an der Schnittstelle die erwartete Ausfallrate der anderen Einrichtung und eine maximale Ausfalloffenbarungszeit projektspezifisch festgelegt werden.

Mit der Zuweisung von erwarteter Ausfallrate und maximaler Ausfalloffenbarungszeit soll eine weitgehend unabhängige Führung des Sicherheitsnachweises auf Seite der Betriebsleittechnik und auf Seite der anderen Einrichtung ermöglicht werden.

Das andere Teilsystem muss die Einhaltung der maximalen Ausfalloffenbarungszeit garantieren. Dies kann z.B. durch automatische Selbsttests oder durch betriebliche Regelungen oder Nachweise erfolgen, die die regelmäßige Beanspruchung der anderen Einrichtung, z.B. der Endlagensensorik einer Spurwechseleinrichtung, sicherstellen.

7 Betrieb

7.1 Betriebsarten der BLT

Betriebsarten sind definierte und eindeutig voneinander abgegrenzte Arten des Betriebes, die sich in ihren technischen und nichttechnischen Maßnahmen zur Durchführung von Zugfahrten unterscheiden.

Die BLT muss folgende Betriebsarten für Magnetschwebefahrzeuge ermöglichen:

Normalbetrieb

Abweichungen vom Normalbetrieb

Eine Ausnahme bilden Bereiche, die nicht durch BLT-Einrichtungen gesichert sind und in denen Fahrzeugbewegungen ausschließlich unter Personalverantwortung durchgeführt werden.

Die BLT muss Betriebsarten für Sonderfahrzeuge ermöglichen.

Die Betriebsarten für Sonderfahrzeuge müssen projektspezifisch festgelegt werden.

7.1.1 Betriebsart "Normalbetrieb"

Der Normalbetrieb muss vollständig durch die BLT gesichert werden.

Im Normalbetrieb müssen die erforderlichen Fahrtvorgaben für den Fahrweg entweder automatisch erfolgen oder manuell vom Fahrdienstleiter vorgegeben werden können.

Im Normalbetrieb müssen die erforderlichen Fahrtvorgaben für das Fahrzeug entweder automatisch erfolgen oder manuell vom Fahrdienstleiter oder von einer Bedieneinrichtung des Fahrzeugs vorgegeben werden können.

7.1.2 Betriebsart "Abweichung vom Normalbetrieb"

In der Betriebsart "Abweichung vom Normalbetrieb" ist eine vollständige technische Sicherung des Fahrwegs vorhanden, dabei sind die BLT-Funktionen Fahrablaufsteuerung, Fahrwegsicherung, Fahrprofilüberwachung, Antriebsabschaltung und Sichere Ortung nicht beeinträchtigt. Die Überwachung sicherheitsrelevanter fahrzeugseitiger Zustandsignale (überwacht durch die BLT-Funktion Fahrzeugsicherung) ist nicht vollständig vorhanden. Diese Betriebsart kann z.B. bei Überführungsfahrten in eine Instandhaltungsanlage notwendig sein. Die Verantwortung für das Fahrzeugmaterial sowie für die Einwahl dieser Betriebsart und die Fahrtvorgaben trägt das Betriebs- bzw. Instandhaltungspersonal gemäß der zu erstellenden Vorschriften.

In der Betriebsart "Abweichung vom Normalbetrieb" müssen die erforderlichen Fahrtvorgaben für den Fahrweg entweder automatisch erfolgen oder manuell vom Fahrdienstleiter vorgegeben werden können.

In der Betriebsart "Abweichung vom Normalbetrieb" müssen die erforderlichen Fahrtvorgaben für das Fahrzeug entweder manuell vom Fahrdienstleiter oder von einer Bedieneinrichtung des Fahrzeugs vorgegeben werden können.

In der Betriebsart "Abweichung vom Normalbetrieb" müssen die (projektspezifisch festgelegten) Hemmnisse, die eine Fahrt des Fahrzeugs im vollständig technisch gesicherten

Betrieb verhindern, durch die Betriebsleittechnik ignoriert und soweit erforderlich geeignete projektspezifisch zu definierende Sicherungsmaßnahmen getroffen werden.

In der Betriebsart "Abweichung vom Normalbetrieb" muss die BLT z. B. die fehlende Verriegelungsmeldung der Fahrzeugtüren ignorieren

Sonderregelungen für Instandhaltungsbereiche müssen projektspezifisch festgelegt werden.

7.2 Instandhaltung Magnetschwebefahrzeug

Die BLT muss für das Magnetschwebefahrzeug einen Instandhaltungsmodus bereitstellen.

Im Instandhaltungsmodus ist die technische Sicherung nicht vollständig vorhanden. Die Verantwortung für das Fahrzeugmaterial sowie für die Einwahl in den Instandhaltungsmodus und die Fahrtvorgaben trägt das Betriebs- bzw. Instandhaltungspersonal gemäß der zu erstellenden Vorschriften.

Während des Zustandes „Instandhaltungsmodus" muss eine sichere Abschaltung des Antriebs durch die BLT ausgelöst sein.

Das Anheben des Magnetschwebefahrzeugs muss im Zustand Instandhaltungsmodus trotz anstehender Hemmung möglich sein.

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Fahrweg

Teil I

Übergeordnete Anforderungen

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

1 Verteiler:

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Fahrweg zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht:

Datum der Freigabe: 15.02.2007, Weißdruck, Fachausschuss Fahrweg.

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler:.....	2
2	Änderungsübersicht:	3
3	Inhaltsverzeichnis	4
4	Allgemeines	9
4.1	Zweck und Anwendungsbereich	9
4.2	Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen.....	9
4.3	Abkürzungen und Definitionen	11
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien	11
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen	12
5	Betriebsanlagen	14
6	Übergeordnete Anforderungen	15
6.1	Allgemeines	15
6.2	Funktionale Anforderungen.....	15
6.3	Konstruktive Anforderungen	15
6.4	Nachweisführung	19
6.5	Handhabung, Transport und Montage	21
6.6	Allgemeine Anforderungen an die Instandhaltbarkeit	21
7	Fahrwegüberbauten	23
7.1	Allgemeines	23
7.2	Funktionale Anforderungen.....	24
7.3	Konstruktive Anforderungen	24
7.4	Nachweisführung	25
7.5	Handhabung, Transport und Montage	25
8	Fahrwegunterbauten.....	26
8.1	Allgemeines	26
8.2	Funktionale Anforderungen.....	27
8.3	Konstruktive Anforderungen	27
8.4	Nachweisführung	28
8.5	Handhabung, Transport und Montage	28
9	Magnetschnellbahn-spezifische Fahrwegausrüstung	29
9.1	Allgemeines	29
9.2	Langstator	30
9.2.1	Allgemeines	30

Ausführungsgrundlage**Fahrweg**

9.2.2	Funktionale Anforderungen.....	30
9.2.3	Konstruktive Anforderungen	31
9.2.4	Nachweisführung	33
9.2.5	Handhabung, Transport und Montage	35
9.3	Seitenführschiene / Seitenführebenen.....	36
9.3.1	Allgemeines	36
9.3.2	Funktionale Anforderungen.....	36
9.3.3	Konstruktive Anforderungen	36
9.3.4	Nachweisführung	37
9.3.5	Handhabung, Transport und Montage	38
9.4	Gleitleisten / Gleitebenen.....	38
9.4.1	Allgemeines	38
9.4.2	Funktionale Anforderungen.....	38
9.4.3	Konstruktive Anforderungen	38
9.4.4	Nachweisführung	39
9.4.5	Handhabung, Transport und Montage	39
9.5	Bauteile der externen Bordenergieversorgung	40
9.5.1	Allgemeines	40
9.5.2	Stromschienen	40
9.5.3	Induktive Energieübertragung.....	42
9.6	Bauteile zum Ortungssystem	43
9.6.1	Allgemeines	43
9.6.2	Funktionale Anforderungen.....	43
9.6.3	Konstruktive Anforderungen	43
9.6.4	Nachweisführung	44
9.6.5	Handhabung, Transport und Montage	44
10	Bauartspezifische Fahrwegausrüstung.....	45
10.1	Allgemeines	45
10.2	Fahrweglager	45
10.2.1	Funktionale Anforderungen.....	45
10.2.2	Konstruktive Anforderungen	45
10.2.3	Nachweisführung	46
10.2.4	Handhabung, Transport und Montage	47
10.3	Erdung / Blitzschutz	48

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

10.3.1	Allgemeines	48
10.3.2	Funktionale Anforderungen.....	48
10.3.3	Konstruktive Anforderungen	48
10.3.4	Nachweisführung	49
10.3.5	Handhabung, Transport und Montage	49
10.4	Trägerspaltabdeckungen	50
10.4.1	Allgemeines	50
10.4.2	Funktionale Anforderungen.....	50
10.4.3	Konstruktive Anforderungen	50
10.4.4	Nachweisführung	50
10.4.5	Handhabung, Transport und Montage	50
11	Sonstige Anbauten.....	51
11.1	Allgemeines	51
11.2	Funktionale Anforderungen.....	51
11.3	Konstruktive Auslegung	51
11.4	Nachweisführung	52
11.5	Handhabung, Transport und Montage	52
12	Spurwechseleinrichtungen.....	53
12.1	Allgemeines	53
12.2	Funktionale Anforderungen.....	54
12.3	Konstruktive Anforderungen	54
12.4	Nachweisführung	56
12.5	Handhabung, Transport und Montage	56
13	Sonderbauwerke.....	57
13.1	Tunnel	57
13.1.1	Allgemeines	57
13.2	Primärtragwerke.....	57
13.2.1	Allgemeines	57
13.2.2	Funktionale Anforderungen.....	57
13.2.3	Konstruktive Anforderungen	57
13.2.4	Nachweisführung	57
13.2.5	Handhabung, Transport und Montage	58
14	Streckenperipherie.....	59
14.1	Allgemeines	59

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

14.2	Funktionale Anforderungen.....	59
14.3	Konstruktive Anforderungen	59
14.4	Nachweisführung	59
14.5	Handhabung, Transport und Montage	60
15	Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung	61
15.1	Allgemeines	61
15.2	Nachweis des Fahrweges bezüglich der Kompatibilität zum Gesamtsystem	62
16	Dokumentation	65
16.1	Allgemeines	65
16.2	Nachweisführung der Baugruppen/Bauteile	65
16.3	Projektspezifische Anforderungen	65
16.4	Technischen Unterlagen zur Bauausführung.....	65
16.5	Systemtechnisches Fahrwegausstattungsverzeichnis.....	66
16.6	Unterlagen für die Instandhaltung	67
17	Anhang I-A Maximale Abmessungen für Fahrwegüberbauten	68
18	Anhang I-B Anordnung der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung (informativ)	71
19	Anhang I-C Statorpaket und Motorwicklung (informativ).....	72
20	Anhang I-D Diversitäre redundante Statorpaketbefestigungen (Beispiele).....	73
21	Anhang I-E Lagerungssysteme von Fahrwegüberbauten.....	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht der Betriebsanlagen.....	14
Abbildung 2:	Lokales und globales Koordinatensystem	16
Abbildung 3:	Übersicht zu den Einbauräumen der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung	17
Abbildung 4:	Typen von Fahrwegüberbauten	23
Abbildung 5:	Typen von Fahrwegunterbauten	26
Abbildung 6:	Magnetschnellbahn-spezifische Fahrwegausrüstung	29
Abbildung 7:	Bauarten/Typen von Spurwechseinrichtungen	53
Abbildung 8:	Maximale Querschnittsabmessungen für Regelfahrwegtyp I (Beispiel).....	68
Abbildung 9:	Maximale Querschnittsabmessungen für Regelfahrwegtyp II (Beispiel).....	69
Abbildung 10:	Maximale Querschnittsabmessungen für Regelfahrwegtyp III (Beispiel).....	70
Abbildung 11:	Anordnung der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung am Fahrwegträger.....	71
Abbildung 12:	Beispiel eines ausgeführten Statorpaketes.....	72
Abbildung 13:	Beispiel einer 3-phasigen Motorwicklung	72
Abbildung 14:	Beispiel einer diversitär redundanten Statorpaketbefestigung an einem Betonkragarm	73
Abbildung 15:	Beispiel einer diversitär redundanten Statorpaketbefestigung an einem Stahlkragarm.....	74
Abbildung 16:	Beispielhafte Lageranordnung für Ein- und Zweifeldträgersysteme	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Verwendete Verbformen	13
------------	-----------------------------	----

4 Allgemeines

4.1 Zweck und Anwendungsbereich

Die vorliegende "Ausführungsgrundlage Fahrweg Teil I - Übergeordnete Anforderungen" enthält die allgemeinen projektunabhängigen Anforderungen an das Teilsystem "Fahrweg" und beschreibt auf Basis der Ausführungsgrundlage Gesamtsystem /MSB AG-GESAMTSYS/ dessen Schnittstellen zu den übrigen Teilsystemen der Magnetschnellbahn.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

Die allgemeinen systemtechnischen Anforderungen an den Fahrweg basieren im Wesentlichen auf den Erfahrungen mit bisher erprobten Fahrwegbauweisen. Bei neuartigen Bauweisen ist die uneingeschränkte Einhaltung dieser Anforderungen nachzuweisen oder es sind geeignete mit dem Gesamtsystem kompatible Anforderungen in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde vorzugeben.

Der Teil I der Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen Fahrweg umfasst:

- (1) die funktionalen Anforderungen;
- (2) die konstruktiven Anforderungen;
- (3) die Anforderungen an die Nachweisführungen;
- (4) die Anforderungen an Handhabung, Transport und Montage;
- (5) die Anforderungen an Qualitätssicherung und Dokumentation.

Der Fahrweg muss nach der MbBO (für die Anwendung in Deutschland) und den sonstigen einschlägigen Vorschriften so beschaffen sein, dass er den Anforderungen an Sicherheit und Ordnung genügt. Diese Anforderungen sind erfüllt, wenn der Fahrweg den Vorschriften der MbBO oder, soweit diese keine entsprechenden Vorschriften enthält, den übertragbaren einschlägigen allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht (siehe hierzu § 3 Absatz (1) der MbBO).

Darüber hinaus muss er die systemspezifischen funktionalen Anforderungen - beschrieben in den Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen Fahrweg - erfüllen.

Alle Abweichungen von den Anforderungen der Ausführungsgrundlage Fahrweg bedürfen eines Nachweises der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem und der Zustimmung der zuständigen Aufsichtsbehörde.

4.2 Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentenbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordnete Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr.: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/, mit seinen Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr.: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr.: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr.: 67285, /MSB AG-UMWELT/
- Anlage 4: Regeln für den Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr.: 69061, /MSB AG-BTR&IH/
- Anlage 5: Schall, Dok.-Nr.: 72963, /MSB AG-SCHALL/

sowie den nachgeordneten, mitgeltenden Dokumenten:

- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil I: Generelle Anforderungen, Dok.-Nr.: 67698, /MSB AG-FZ GEN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil II: Bemessung, Dok.-Nr.: 67694, /MSB AG-FZ BEM/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil III: Kinematische Begrenzungslinie, Dok.-Nr.: 67650, /MSB AG-FZ KIN/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil IV: Trag- /Führtechnik, Dok.-Nr.: 73388, /MSB AG-FZ TRAFÜ/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug, Teil V: Bremstechnik, Dok.-Nr.: 73389, /MSB AG-FZ BREMS/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Antrieb und Energieversorgung, Dok.-Nr.: 50998, /MSB AG-ANT/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Betriebsleittechnik, Dok.-Nr.: 53328, /MSB AG-BLT/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil I: Übergeordnete Anforderungen, Dok.-Nr.: 57284, /MSB AG-FW ÜBG/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil II: Bemessung, Dok.-Nr.: 57288, /MSB AG-FW BEM/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil III: Geometrie, Dok.-Nr.: 41727, /MSB AG-FW GEO/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil IV: Trassierung, Dok.-Nr.: 60640, /MSB AG-FW TRAS/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil V: Vermessung, Dok.-Nr.: 60641, /MSB AG-FW VERM/
- Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrweg, Teil VI: Instandhaltung, Dok.-Nr.: 63842, /MSB AG-FW IH/

Nachfolgend sind die Inhalte der Teile I bis VI der Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlage Fahrweg stichpunktartig zusammengefasst:

Teil I Übergeordnete Anforderungen

- (1) Beschreibung der Struktur des Teilsystems Fahrweg und seiner Baugruppen;
- (2) Definition der funktionalen und konstruktiven Anforderungen an die einzelnen Bauteile/Baugruppen;
- (3) Definition der Anforderungen an die Nachweisführung;
- (4) Definition der erforderlichen QS-Maßnahmen;
- (5) Beispielhafte Darstellung systemtechnisch erprobter Ausführungsvarianten;

Ausführungsgrundlage

Teil II Bemessung

- (1) Definition der Einwirkungen auf den Fahrweg (einschl. der Wechselwirkungen Fahrzeug / Fahrweg);
- (2) Definition der Grenzwerte zur Nachweisführung des Fahrwegs (Tragsicherheit, Werkstoffermüdung und Gebrauchstauglichkeit);
- (3) Definition der zulässigen Verformungen;
- (4) Vorgaben zur Nachweisführung;

Teil III Geometrie

- (1) Definition der Soll-Geometrie des Fahrwegs und der zulässigen Abweichungen von der Soll-Geometrie (Toleranzen in Form von Versätzen, Neigungsänderungen und Spalte der Funktionsebenen);
- (2) Definition der Messpunkte für die Vermessung der Funktionsebenen;

Teil IV Trassierung

- (1) Vorgaben zur Trassierung des Fahrweges;
- (2) Definition der zulässigen Trassierungselemente und der Trassierungsparameter;

Teil V Vermessung

- (1) Beschreibung der Nutzung vorhandener Koordinatensysteme;
- (2) Anforderungen an das Magnetschnellbahn-Koordinaten-System;
- (3) Anforderungen an Messverfahren;

Teil VI Instandhaltung

- (1) Allgemeine Anforderungen an die Fahrweginstandhaltung;
- (2) Grundlegende Anforderungen an die Abläufe von Instandhaltungsvorgängen;
- (3) Grundlegende Anforderungen an Erstellung und Inhalt von Instandhaltungsprogrammen der Fahrwegbaugruppen (inkl. Anforderungen an Instandhaltungspersonal);
- (4) Definition der Anforderungen an fahrweggebundene Sonderfahrzeuge;

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen werden.

Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem Magnetschnellbahn-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokuments sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in *Kursiv*-Schrift

gekennzeichnet.

Der Verbindlichkeitsgrad der Anforderungen wurde in Anlehnung an /DIN 820/, Teil 2, Anhang G festgelegt und in der Formulierung der Anforderungen jeweils berücksichtigt.

In Tabelle 1 sind die hierfür verwendeten Verbformen aus /DIN 820/, Tabellen G1 bis G4 dargestellt. Ergänzend wurde die zusätzliche Verbform „soll“ / „soll nicht“ eingeführt.

Bedeutung	Verbform	Umschreibung (Anwendung nur in Ausnahmefällen)	Anwendung
Anforderung: Gebot	muss	ist zu... ist erforderlich es ist erforderlich, dass ... hat zu lediglich ... zulässig es ist notwendig	... für Anforderungen, die verbindlich, d.h. ohne Abweichung eingehalten werden müssen.
Anforderung: Verbot	darf nicht	ist nicht zulässig, [erlaubt], [gestattet] es ist unzulässig ist nicht zu es hat nicht zu	
Anforderung: geringfügig eingeschränk- tes Gebot	soll		Die Anforderung ist zunächst verbindlich. In begründeten Ausnahmefällen kann jedoch abgewichen werden. Notwendige Abweichungen in Einzelfällen sind vom Anwender aktenkundig zu begründen und es muss der Nachweis der gleichen Sicherheit sowie der Nachweis der Systemverträglichkeit erbracht werden.
Anforderung: geringfügig eingeschränk- tes Verbot	soll nicht		
Empfehlung	sollte	es wird empfohlen, dass ... ist in der Regel ...	wenn von mehreren Möglichkeiten eine besonders empfohlen wird, ohne andere Möglichkeiten zu erwähnen oder auszuschließen, oder wenn (in

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

	sollte nicht	wird nicht empfohlen sollte vermieden werden	negativer Form) von einer bestimmten Möglichkeit abgeraten wird, diese jedoch nicht verboten ist.
Zulässigkeit	darf	ist zugelassen ist zulässig ... auch um eine zulässige Handlung anzugeben.
	braucht nicht ... zu ...	ist nicht erforderlich keine ... nötig	
Möglichkeit	kann	vermag es ist möglich, dass ... lässt sich ... in der Lage (sein), zu zur Angabe von Möglichkeiten und Vermögen.
	kann nicht	vermag nicht es ist nicht möglich, dass lässt sich nicht ...	

Tabelle 1: Verwendete Verbformen

5 Betriebsanlagen

Die ortsfesten Anlagen der Magnetschnellbahn werden als Betriebsanlagen bezeichnet. Sie umfassen den Fahrweg sowie die sonstigen baulichen Anlagen und die ortsfesten Einrichtungen wie z.B. Unterwerke und Stationen.

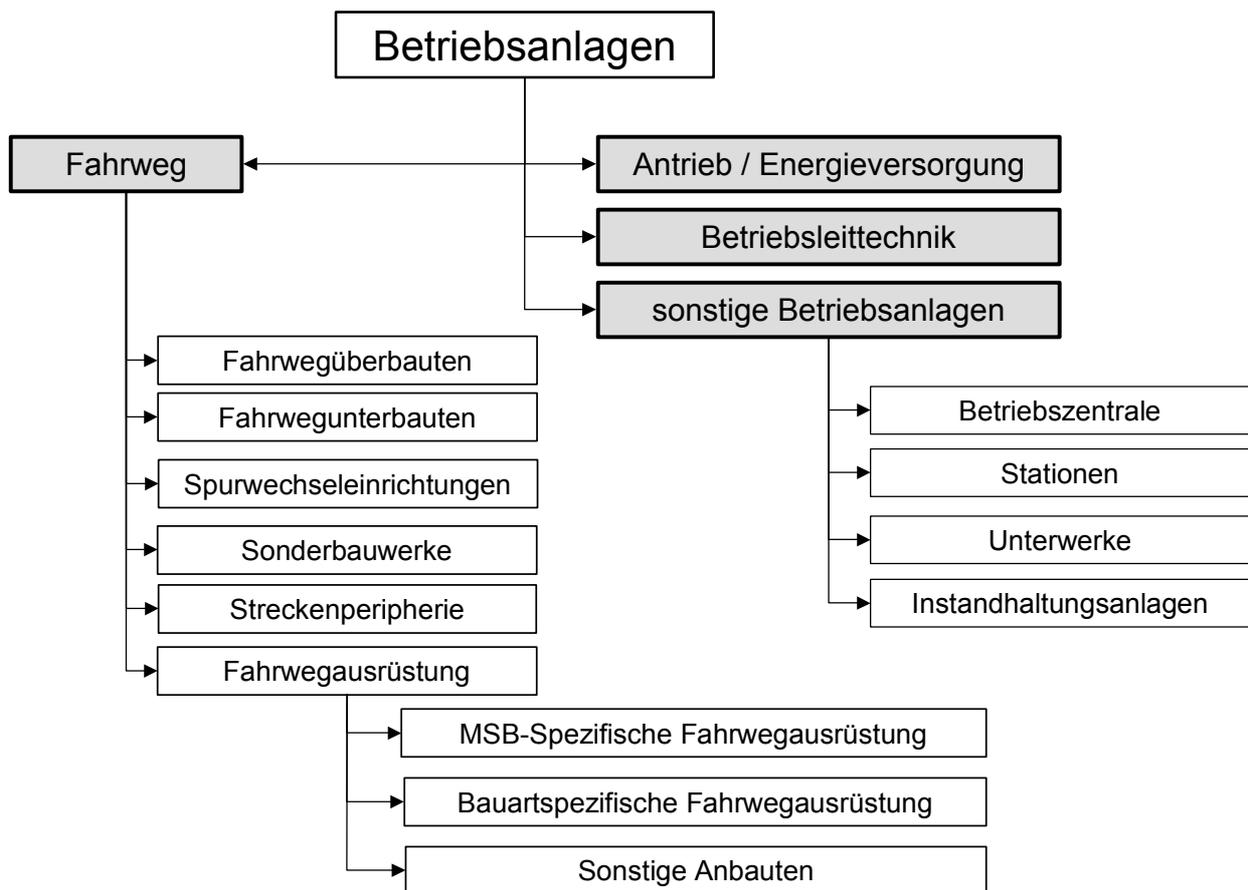


Abbildung 1: Übersicht der Betriebsanlagen

6 Übergeordnete Anforderungen

6.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die für alle Baugruppen und Bauteile des Fahrwegs für das MSB-System übergeordnet gültigen Anforderungen definiert. Die übergeordneten Elemente des Fahrwegs als Teil der Betriebsanlagen sind aus Abbildung 1 ersichtlich.

6.2 Funktionale Anforderungen

Die für alle Bauteile/Baugruppen des Fahrwegs übergeordnet zutreffenden funktionalen Anforderungen sind:

- (1) Der Fahrweg muss alle aus dem Betrieb und der Umwelt resultierenden Einwirkungen zuverlässig aufnehmen und in den Baugrund einleiten.
- (2) Es sollen im MSB-Betrieb nur erprobte Bauteile/Baugruppen verwendet werden. Andernfalls ist die Kompatibilität zum Gesamtsystem nachzuweisen.
- (3) Der Fahrweg muss zuverlässig die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit während der geforderten Nutzungsdauer unter den spezifizierten Randbedingungen einhalten. Die Nutzungsdauer ist projektspezifisch festzulegen. Als Richtwert kann von 80 Jahren ausgegangen werden.
- (4) Der spontane Ausfall des Fahrwegs und/oder seiner Elemente ist auszuschließen.
- (5) Die Konstruktionen sollen fehlertolerant und fehleroffenbarend oder redundant und fehleroffenbarend ausgebildet werden.
- (6) Freiraumverletzungen durch Versagen/Ausfall eines Bauteils oder einer Baugruppe (Bruch, unzulässige Verformung) und damit der Verlust der Funktionalität sind auszuschließen.
- (7) Verformungs-, Neigungs- und/oder Versatzänderungen in den Funktionsebenen als Folge von Ausfällen (z.B. von Befestigungselementen) müssen durch betriebsbegleitende Prüfungen erkennbar sein, bevor die zulässigen Verformungen, Neigungen und/oder Versätze überschritten werden.

6.3 Konstruktive Anforderungen

Die bei der Auslegung und Ausführung aller Bauteile/Baugruppen des Fahrwegs zu berücksichtigenden übergeordneten konstruktiven Anforderungen sind:

- (1) Sämtliche Bauteile/Baugruppen sind so auszuführen, dass sie den spezifizierten Beanspruchungen bei den projektspezifischen Umweltbedingungen während der gesamten Nutzungsdauer der einzelnen Baugruppen / Bauteile zuverlässig und sicher standhalten.
- (2) Der Fahrweg ist so zu konstruieren, dass die Funktionsebenen unter gleichzeitigem Einfluss der Einwirkungen aus dem Fahrzeug und der Umwelt keine unzulässigen Abweichungen vom Verlauf der Raumkurve aufweisen.
- (3) Der Fahrbetrieb darf durch mögliche Schwingungen des Fahrwegs - bestimmt durch die dynamischen Eigenschaften (Steifigkeit, Massenbelegung, Dämpfung) - nicht unzulässig beeinträchtigt werden.
- (4) Anforderungen aus der Umwelt sind projektspezifisch in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde zu berücksichtigen. Hierzu gehören u.a. Einwirkungen aus Wind, Temperatur, Niederschlägen, Eis und Erdbeben.
- (5) Alle Bauteile/Baugruppen des Fahrwegs sind so zu konstruieren, dass umweltrelevante Emissionen die zulässigen Werte (siehe einschlägige Vorschriften und Gesetzgebung einschl. MbB0) nicht überschreiten. Wenn zulässige Immissionsgrenzwerte entlang einer Trasse nicht eingehalten werden können, sind zusätzliche Maßnahmen durchzuführen.

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- (6) Die Eignung der vorgesehenen Materialien und Herstellungsverfahren ist durch entsprechende Untersuchungen und/oder Zeugnisse/Bescheinigungen/Zulassungsbescheide zu belegen.
- (7) Bei Einsatz des Fahrweges in Tunneln und geschlossenen Räumen sind bei der Wahl der Materialien die aktuellen Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an Fahrwege in Tunneln oder in geschlossenen Räumen zu beachten. Die Anforderungen im Einzelnen sind projektspezifisch festzulegen.
- (8) Die Lage des Fahrweges ist definiert durch die im Rahmen der projektspezifischen Trassierung festgelegten Raumkurven der einzelnen Fahrspuren und die zugehörigen Angaben der Fahrwegquerneigung α . Die für die Lage dieser Raumkurven und der Ausführung (Herstellung und Montage) des Fahrweges definierten Fahrwegkoordinatensysteme (lokal und global) sind in Abbildung 2 dargestellt. Das lokale Koordinatensystem (Trägerfertigungskoordinatensystem) wird in der Ausführungsgrundlage Fahrweg Teil III "Geometrie" /MSB AG-FW GEO/ erläutert. Das globale Koordinatensystem (Magnetschnellbahnkoordinatensystem) wird in der Ausführungsgrundlage Fahrweg Teil V "Vermessung" /MSB AG-FW VERM/ erläutert.
- (9) Die Nummerierung der Bauteile/Baugruppen des Fahrwegs und sonstige relevante Details (Lageranordnung, Typ, etc) sind in die Instandhaltungsdokumentation und das Bauwerksverzeichnis zu übernehmen.
- (10) Die Instandhaltung des Fahrwegs und speziell der Fahrwegüberbauten und der Fahrwegausrüstung muss von der Fahrwegoberseite (z.B. mittels Sonderfahrzeugen) aus möglich sein. Die Konstruktion des Fahrwegs soll wartungsfrei und instandsetzungsarm sein und eine weitestgehend automatisierte Inspektion ermöglichen.

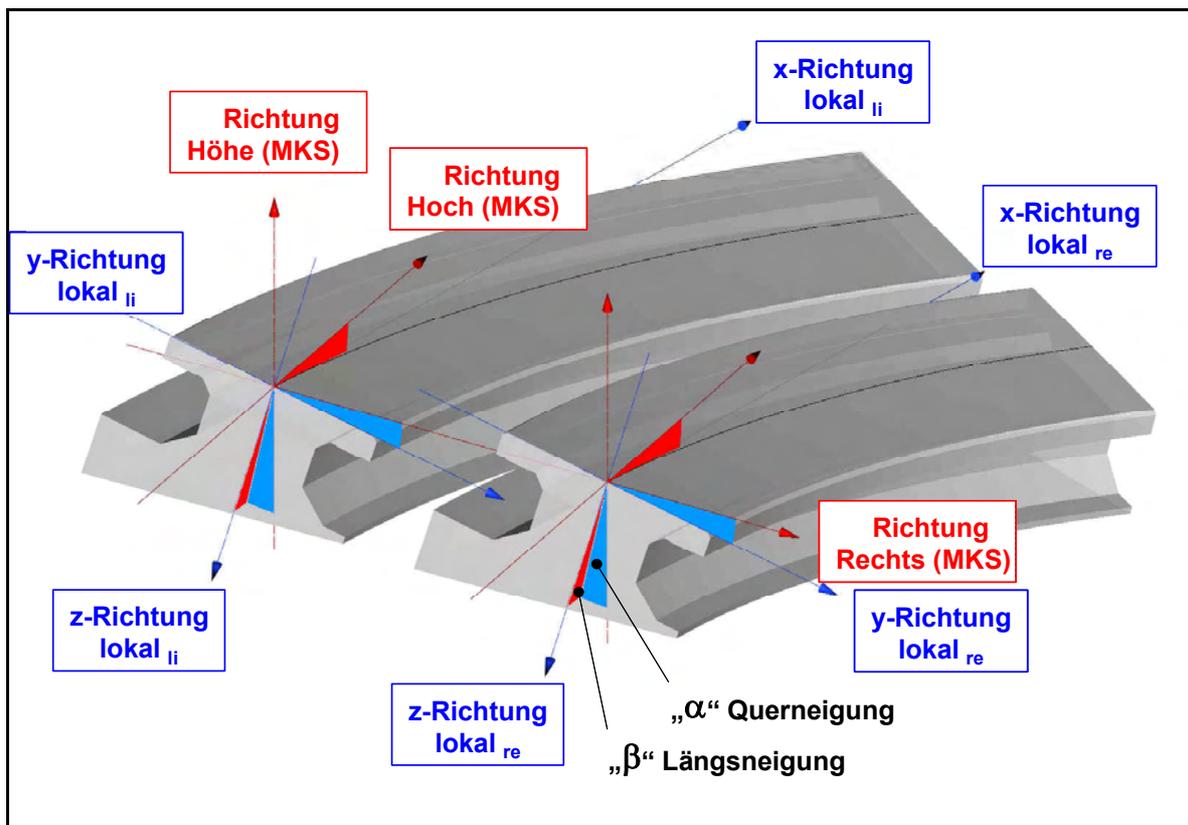


Abbildung 2: Lokales und globales Koordinatensystem

- (11) Der Lichtraum (die Lichtraumumgrenzung, die kinematische Fahrzeugbegrenzung, die Grenzlinie zu festen Einbauten und der Spurmittenabstand) ist übergeordnet in /MSB AG-GESAMTSYS/ definiert.

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

Abweichungen hiervon sind ggf. durch die zuständigen Aufsichtsbehörde zu genehmigen. Die Einbau-räume der Fahrwegausrüstung sind in /MSB AG-GESAMTSYS/ definiert.

- (12) Die Einbau-räume der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung sind in der nachfolgenden Abbildung 3 dargestellt. Die Abmessungen der Einbau-räume sind in /MSB AG-FW GEO/ auf Basis von /MSB AG-GESAMTSYS/ festgelegt.
- (13) Die im Anhang für Regelfahrwegtypen als Richtmaße angegebenen maximalen Abmessungen der Fahrwegüberbauten sollen eingehalten werden.

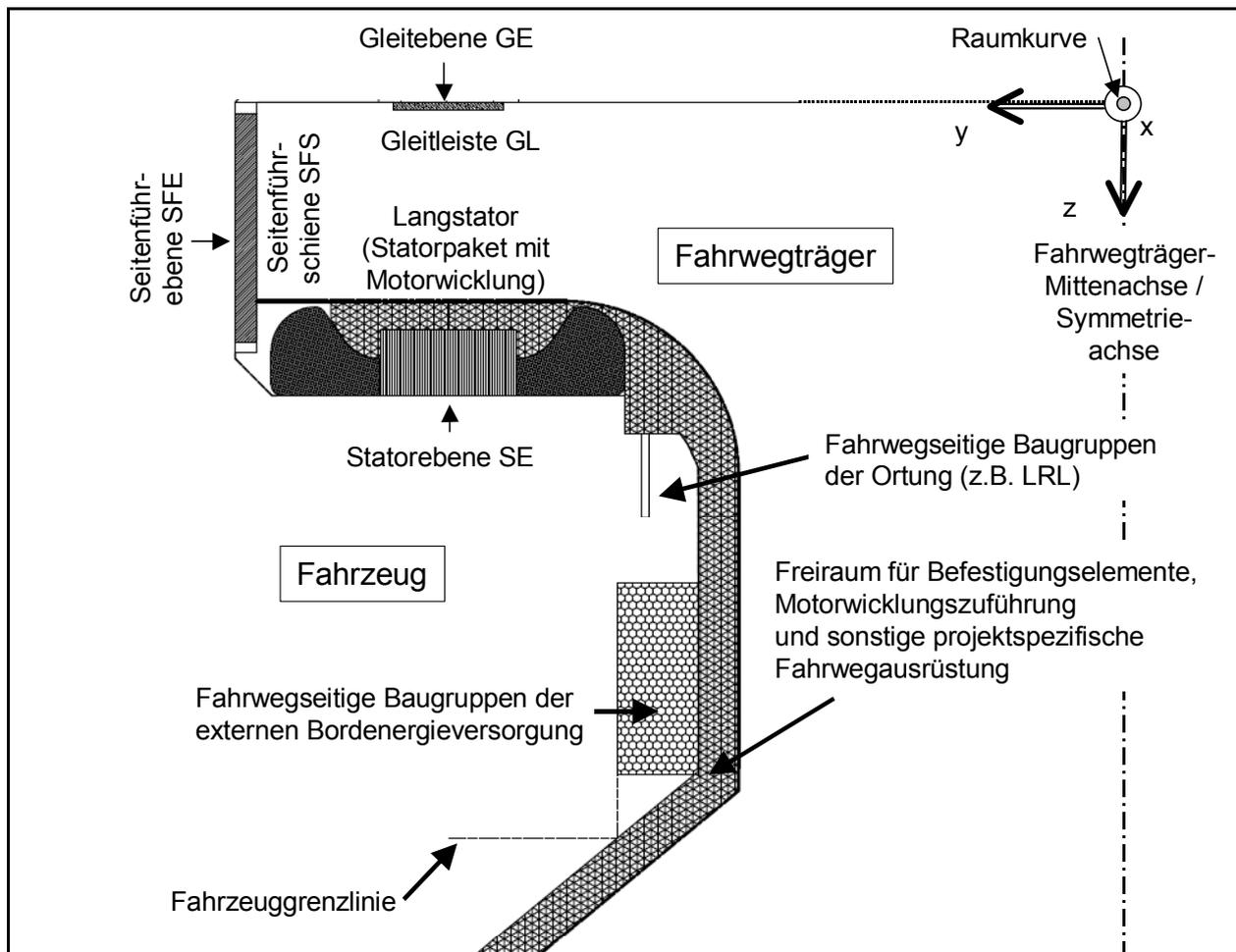


Abbildung 3: Übersicht zu den Einbau-räumen der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung

- (14) Die Systemlängen von Fahrwegüberbauten sind abzuleiten aus dem Abstand der einzelnen Phasen der Motorwicklung von 86 mm, der sich aus der Polteilung des Langstatormotors von 258 mm ($3 \cdot 86$ mm) ergibt, und der daraus beispielhaft entstandenen Systemlänge eines Standard-Statorpaketes von 1032 mm aus $12 \cdot 86$ mm ($n \cdot 86$ mm).

Daraus ergeben sich beispielhaft folgende mögliche Regelsystemfeldlängen (vgl. Abbildung 8, Abbildung 9, Abbildung 10) der Fahrwegüberbauten:

- Fahrwegtyp I: $n \cdot 24,768$ m bzw. $n \cdot 30,960$ m (24 bzw. $30 \cdot 1,032$ m);
- Fahrwegtyp II: $n \cdot 12,384$ m ($12 \cdot 1,032$ m);

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- *Fahrwegtyp III:* 6,192 m (6 · 1,032 m);
(mit $n = 1$ für Einfeldträger und $n \geq 2$ für Zwei- und Mehrfeldträger)

(15) Die Systemlängen müssen sich auf die Raumkurve beziehen. Bei Fahrwegen in Kurven, Kuppen und Wannen sind abweichende Längen, die sich geometriebedingt an den Funktionsebenen ergeben /MSB AG-FW GEO/ und /MSB AG-FW TRA/, zu berücksichtigen.

(16) Ein Fahrweg, dessen Gradienten mindestens 3,5 m über dem Gelände liegt, ist als "aufgeständerter Fahrweg" zu bezeichnen.

Für diesen Fahrweg wird in der Regel Fahrwegtyp I verwendet.

(17) Ein Fahrweg, dessen Gradienten zwischen 1,25 m und 3,50 m über Gelände liegt, wird als "ebenerdiger Fahrweg" bezeichnet.

Für diesen Fahrweg wird in der Regel Fahrwegtyp II oder III verwendet. Die minimale Gradientenhöhe des ebenerdigen Fahrwegs ist abhängig von der vorhandenen Querneigung, dem Einbaubereich und projektspezifischen Randbedingungen (z.B. mögliche Schneeansammlungen).

6.4 Nachweisführung

Die nachfolgenden Anforderungen an die Nachweisführung gelten übergeordnet für alle Bauteile/Baugruppen des Fahrwegs:

- (1) Basis für die Nachweisführung der baulichen Anlagen sind die im Eurocode EN 1990 und in DIN 1055-100 zusammengestellten "Grundlagen der Tragwerksplanung".
- (2) Basis für die Nachweisführung elektrischer Bauteile und Baugruppen sind DIN VDE 0100 und DIN VDE 0101.
- (3) Die in der "Eisenbahnspezifischen Liste Technischer Baubestimmungen (ELTB)" des EisenbahnBundesamtes enthaltenen Anmerkungen sind zu berücksichtigen.
- (4) Für alle Bauteile und Baugruppen des Fahrweges ist die Nachweisführung unter Berücksichtigung der in /MSB AG-FW BEM/ spezifizierten Einwirkungen aus Umwelt und Betrieb, der zusätzlichen projektspezifischen Randbedingungen (Nutzungsdauer, Betriebsparameter usw.) sowie unter Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik mit Hilfe folgender Methodik durchzuführen:
 - theoretische Nachweisführung (Berechnungen);
 - versuchstechnische Nachweisführung (Beanspruchungsmessungen/Prüfstandsversuche).
- (5) Falls in vorhandenen Vorschriften (z.B. Ausführungsgrundlagen Fahrweg, Normen, Richtlinien usw.) nicht geregelt, sind Verfahren zur Nachweisführung und deren Parameter zu ermitteln und mit der zuständigen Aufsichtsbehörde abzustimmen.
- (6) Bei der Nachweisführung projektunabhängiger typisierter Bauteile/ Baugruppen sind die Anforderungen der Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen einzuhalten. Wenn diese Anforderungen in begründeten Ausnahmefällen nicht eingehalten werden können, so ist ein Nachweis gleicher Sicherheit und der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zu führen.
- (7) Besonderes zu beachten ist bei der Nachweisführung des Fahrweges die aus dem Fahrzeug resultierende dynamische Anregung des Fahrweges (siehe /MSB AG-FW BEM/).
- (8) Die Umweltbeständigkeit und weitere Eigenschaften wie z.B. Auswirkungen auf Aerodynamik, Auswirkungen auf den Schall usw. sind zu verifizieren.
- (9) Mögliche zeitabhängige Einflüsse (z.B. Setzungen von Korrosionsschutzbeschichtungen bei vorgespannten Schraubverbindungen, Kriechen von verspannten Elementen) sind bei der Nachweisführung auf der sicheren Seite liegend zu berücksichtigen.
- (10) Bei Bauteilen/Baugruppen, für die keine zuverlässigen Grenzwerte der Beanspruchbarkeiten vorliegen, sind diese durch Prüfstandsversuche (z.B. Bauteilversuche, Werkstoffversuche) zu ermitteln.
- (11) Nicht erprobte Bauweisen, Bauteile/Baugruppen dürfen erst nach Prüfung und der Qualifikation in einem Testbetrieb unter anwendungsnahen Randbedingungen für den kommerziellen Betrieb eingesetzt werden.
- (12) Bei nicht erprobten Materialien, Bauweisen, Bauteile/Baugruppen, bzw. nicht erprobten Kombinationen derselben ist der Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem zu erbringen.
- (13) Die durch theoretische Untersuchungen ermittelten maßgebenden Beanspruchungen und Beanspruchungskollektive sollen durch Messungen nachvollziehbar verifiziert werden.
- (14) Die in der Nachweisführung verwendeten theoretischen Annahmen, insbesondere die ggf. im Testbetrieb noch nicht nachgewiesenen Einwirkungen, sind im Rahmen der Inbetriebnahme durch Messungen zu verifizieren.

Ausführungsgrundlage**Fahrweg**

-
- (15) Das Sicherheitsniveau des Fahrwegs soll mindestens dem Sicherheitsniveau vergleichbarer spurgeführter öffentlicher Verkehrssysteme entsprechen.
- (16) Projektspezifisch können aus der auf Basis der DIN EN 50126 erstellten projektspezifischen Risikoanalyse weitergehende sicherheitsrelevante Anforderungen an den Fahrweg und seine Bauteile/Baugruppen resultieren.
- (17) Bei der Nachweisführung sind alle Bauteile/Baugruppen des Fahrwegs im Hinblick auf das Ausfallfolgeverhalten zu untersuchen (z.B. durch eine FMEA).
- (18) Ein Ausfall von Bauteilen/Baugruppen ist unter Berücksichtigung der Ausfallfolgen und der Wirtschaftlichkeit mit ausreichender Zuverlässigkeit auszuschließen.
Für ausfallsichere Konstruktionen (Fehlerrückmeldung) sind in der Regel zusätzlich nachfolgende Anforderungen an die Nachweisführung zu berücksichtigen:
- Die durch theoretische Untersuchungen ermittelten maßgebenden Beanspruchungen und in der Nachweisführung angesetzten Beanspruchungskollektive sind vor Aufnahme des kommerziellen Betriebs versuchstechnisch zu verifizieren.
 - Eigenschaften, welche für die Funktion der Bauteile/Baugruppen entscheidend sind (z.B. Werkstoff, Rissfreiheit, Festigkeit, Einhaltung bestimmter Abmessungen, Vorspannung von Schrauben) müssen als kritische Merkmale bekannt sein. Für diese Merkmale ist eine vom Umfang her an die Wichtigkeit des Bauteils angepasste Prüfung durchzuführen.
- (19) Fehlertolerante Konstruktionen können durch eine robuste Ausführung erzielt werden, d.h. zum Beispiel:
- Bauteile/Baugruppen versagen nicht schlagartig und/oder kündigen den Verlust eines ausreichenden Tragwiderstandes durch "große"/rechtzeitig erkennbare Verformungen oder Rissbildung an.
- (20) Fehlertolerante Konstruktionen können durch Fehlereffektanalysen (Ausfallverhalten bei Bauteilversagen) nachgewiesen werden, zum Beispiel:
- Bei einem theoretisch anzunehmenden (z.B. schlagartigen) Ausfall eines Bauteiles ist nachzuweisen, dass durch Lastumlagerung die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit aller im Kraftfluss liegenden Bauteile und Baugruppen während der restlichen Nutzungsdauer bzw. während der Dauer bis zur Instandsetzung zuverlässig erhalten bleiben.
 - Die Lastumlagerung kann dabei durch diversitäre oder homogene redundante Lastpfade erfolgen. Es ist zulässig, dass die Kräfte bei Ausfall eines Bauteiles über Lastpfade weitergeleitet werden, die auch bei intaktem Zustand betrieblich beansprucht werden ("heiße" Redundanz).
 - Bei redundanten Lastpfaden, die im intakten Zustand nicht direkt betrieblich beansprucht werden ("kalte" Redundanz), sind in diesem Zustand nur die Einwirkungen aus der Umwelt und die indirekten Einwirkungen aus dem Betrieb (z.B. Trägerschwingungen) zu berücksichtigen.
 - Die nachzuweisenden Ausfallsituationen sind in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde für alle betroffenen Bauteile/Baugruppen unter Berücksichtigung der Instandhaltung (Ausfallerkennbarkeit, Inspektionsintervalle usw.) festzulegen.
 - Im Falle einer zuverlässigen Fehleroffenbarung ist für ein projektspezifisches Nutzungsprofil eine betriebsfeste Auslegung der bei der jeweils zu berücksichtigenden Ausfallsitu-

tion im Kraftfluss liegenden Bauteile/Baugruppen mit Angabe der zulässigen Lastwechsel (Fahrzeugüberfahrten) ausreichend. Die zuverlässige Fehleroffenbarung/-erkennung im Rahmen der Fahrweginstandhaltung ist nachzuweisen.

- (21) Die im Hinblick auf die geforderte Qualität der Bauteile/Baugruppen zu erfüllenden Anforderungen sind vollständig und eindeutig zu definieren.
- (22) Wenn die Beurteilungsmethoden zur Überprüfung der geforderten Qualität der Bauteile/Baugruppen nicht bereits in zutreffenden vorhandenen Normen usw. vorgegeben sind, so sind sie in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde festzulegen. Die Beurteilungsmethoden sind bei der Beurteilung nachweislich anzuwenden.
- (23) Die Herstellung/Montage ist so durchzuführen, dass die der Nachweisführung zugrunde gelegten Randbedingungen nachweislich eingehalten werden. Hierzu sind Herstellungs-/Montageanweisungen zu erstellen, in denen die anzuwendenden Verfahren und Werkzeuge, alle einzuhaltenden Werte der Parameter und die Angaben der zulässigen Toleranzen der Parameter festzulegen sind.
- (24) Die korrekte Lage der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung des Fahrwegs ist vor Inbetriebnahme des Fahrwegs durch eine Freiraumüberprüfung und eine Überprüfung der lang- und kurzweiligen Abweichungen und der Versätze nachzuweisen.
- (25) Die Einhaltung der nachfolgenden allgemeinen Forderungen sind darüber hinaus die Voraussetzung dafür, dass die erforderliche Zuverlässigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Fahrwegs erreicht werden können:
 - Für Entwicklung, Konstruktion und Nachweisführung sind qualifizierte Personen beauftragt.
 - Die Ausführung erfolgt durch sorgfältig ausgebildetes und qualifiziertes Personal.
 - In den Herstellwerken, den Produktionsstätten und auf der Baustelle ist eine sachgerechte Aufsicht und Überwachung sichergestellt.
 - Der Fahrweg wird den Planungsannahmen entsprechend genutzt.
 - Die Fahrwegelemente werden sachgerecht instand gehalten. Voraussetzung hierfür ist ein vom Hersteller zu erstellendes Instandhaltungsprogramm.

6.5 Handhabung, Transport und Montage

Die Hersteller sollen für alle Fahrwegelemente detaillierte Anweisungen für die Handhabung, den Transport, die Montage und Demontage erstellen. Diese müssen die spezifischen Randbedingungen (Auslegung, Einwirkungen infolge Transport usw.) berücksichtigen.

Bei bewährten untergeordneten Bauteilen/Baugruppen kann auf die Erstellung detaillierter Anweisungen für die Handhabung, den Transport, die Montage und die Demontage verzichtet werden.

Alle Herstellungs-/Montagevorgänge sind als Bestandteil der Nachweisführung zu dokumentieren.

6.6 Allgemeine Anforderungen an die Instandhaltbarkeit

Folgende grundlegende Anforderungen an die Instandhaltbarkeit von Bauteilen und Baugruppen des Fahrwegs sind einzuhalten:

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

Alle Baugruppen und Bauteile des Fahrweges sind so auszubilden, dass der Instandhaltungsaufwand minimiert wird. Dafür sind fehlertolerante, robuste und möglichst redundante Konstruktionen zu bevorzugen.

- (1) Die Baugruppen und Bauteile des Fahrweges sollen wartungsfrei und instandsetzungsarm ausgeführt werden.
- (2) Die Wartung ist nur vorzusehen wenn sie unvermeidlich ist (z.B. bei beweglichen Teilen der Spurwechseleinrichtungen) oder wenn die Wartung im Vergleich zu Inspektion / Instandsetzung wirtschaftliche und / oder betriebliche Vorteile aufweist.
- (3) Bereits bei der Konstruktion von Baugruppen und Bauteilen des Fahrweges sind hinsichtlich der Instandhaltung die Anforderungen aus Kapitel 5.3.3 in /MSB AG-GESAMTSYS/ und /MSB AG-BTR&IH/ zu berücksichtigen.
- (4) Schäden müssen sich so offenbaren, dass sie durch entsprechende Inspektionsverfahren zuverlässig erkannt werden können.
- (5) Ausfälle von Bauteilen/Baugruppen müssen unter Berücksichtigung der individuellen Konstruktion im Rahmen von Überwachungsmaßnahmen gemäß /MSB AG-BTR&IH/ zuverlässig erkennbar und der Normalzustand durch Instandsetzungsmaßnahmen wiederherstellbar sein.
- (6) Der Ausfall eines einzelnen Bauteils oder einer einzelnen Baugruppe darf nicht zu Behinderungen oder zu der Einstellung des Fahrbetriebes führen.

Hinweis: Beim nicht völlig auszuschließenden Fall des Austausches ganzer Fahrwegträger ist eine Einschränkung des Fahrbetriebes möglich.

- (7) Wichtiges Ziel der Fahrwegentwicklung und -herstellung ist die Verringerung, im Idealfall Vermeidung von Instandsetzungsmaßnahmen.
- (8) Durch sorgfältige, mängel- und fehlerfreie Herstellung (mit Unterstützung durch ein Qualitätssicherungssystem) ist eine hohe Qualität des Fahrweges zu erreichen.
- (9) Alle Baugruppen und Bauteile sind unter Berücksichtigung der Einwirkungen aus Betrieb und Umwelt für die jeweils geplante Nutzungsdauer betriebsfest auszulegen.
- (10) Konstruktive Ausbildungen, die eine betriebsbegleitende, weitgehend automatisierte Inspektion ermöglichen, sind zu bevorzugen.
- (11) Ist die direkte Erkennung eines Ausfalls nicht gegeben, so ist nachzuweisen, dass sich ein möglicher Fehler indirekt (z.B. durch Versatzänderungen an den Funktionsebenen) nachweisen lässt, bevor ein unzulässiger Zustand entsteht.
- (12) Die Baugruppen und Bauteile des Fahrweges sind so zu realisieren, dass eine aufwandsarme Inspektion möglich ist.
- (13) Baugruppen und Bauteile sind so zu kennzeichnen, dass eine eindeutige Zuordnung im Rahmen der Auswertung automatischer Inspektionsverfahren möglich ist und Arbeitsaufträge eindeutig erfolgen können.
- (14) Der für die Instandhaltung zur Verfügung stehende Zeitraum ist projektspezifisch zu definieren.

7 Fahrwegüberbauten

7.1 Allgemeines

Die Fahrwegüberbauten bilden die Fahrspuren des Fahrweges. Die Untergliederung der Fahrwegüberbauten ist in Abbildung 4 dargestellt.

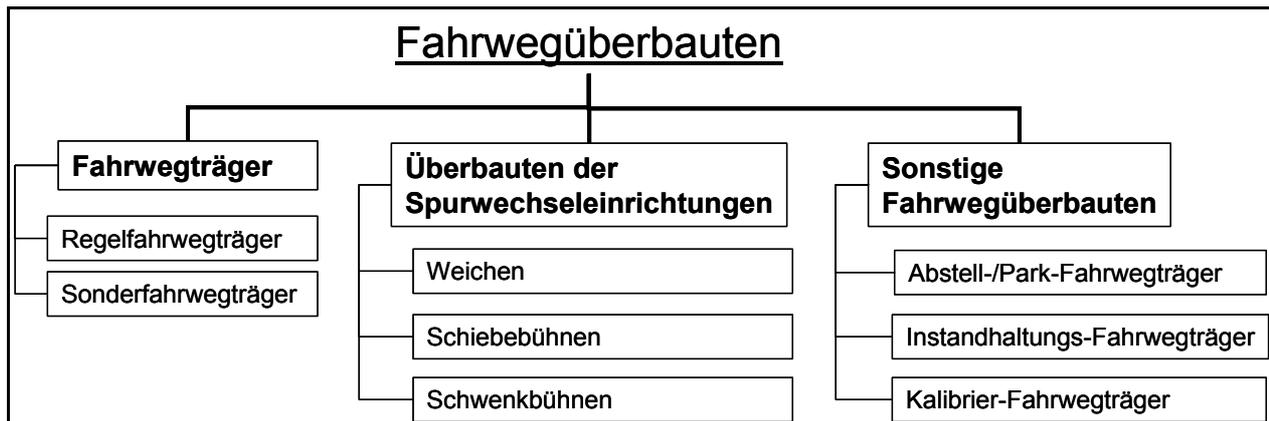


Abbildung 4: Typen von Fahrwegüberbauten

- (1) Bei der Planung von Magnetschnellbahn-Strecken soll mit folgenden Regelfahrwegträger-Typen (vgl. Abbildung 8, Abbildung 9, Abbildung 10) gearbeitet werden:
 - Fahrwegträgertyp I: Ein- /Mehrfeldträger mit Systemlängen von $> \approx 16$ m;
 - Fahrwegträgertyp II: Ein- /Mehrfeldträger mit Systemlängen von $\leq \approx 16$ m;
 - Fahrwegträgertyp III: Mehrfeldplatten mit geringen Systemlängen von z.B. ≈ 6 m;
- (2) Die Festlegung des jeweiligen Regelfahrwegträgertyps und der Systemlänge erfolgt projektspezifisch.
- (3) Die Fahrwegträgertypen I und II sind in der Regel diskret auf Stützen mit Einzelfundamenten gelagert. Die Auflagerungskräfte des Fahrwegträgertyps III werden in der Regel über Streifenfundamente in den Baugrund weitergeleitet.
- (4) Für die Fahrwegträger sind folgende „Bauweisen“ gegenwärtig erprobt:
 - Betonbauweise (Betonträger/-platte mit integrierten (Beton-)Kragarmen);
 - Stahlbauweise (Stahlträger/-platte mit integrierten (Stahl-)Kragarmen);
 - Hybridbauweise (Betonträger/-platten mit daran befestigten Modulen aus Stahl als Kragarme).

Darüber hinaus sind jedoch auch weitere Bauweisen, wie z.B. die Verbundbauweise möglich.
- (5) Mögliche „Bauarten“ beziehen sich auf die konstruktive Ausführung der Fahrwegüberbauten (\Rightarrow bauartspezifisch).

7.2 Funktionale Anforderungen

Die maßgebenden funktionalen Anforderungen an die Fahrwegüberbauten sind:

- (1) zuverlässige Aufnahme der Einwirkungen aus Betrieb und Umwelt und Weiterleitung in die Fahrwegunterbauten;
- (2) zuverlässige Aufnahme der MSB - spezifischen Fahrwegausrüstung;
- (3) zuverlässige Aufnahme der sonstigen bauart- und bauweisenabhängigen Fahrwegausrüstung;
- (4) Gewährleistung der erforderlichen Lagegenauigkeit der MSB - spezifischen Fahrwegausrüstung (Toleranzen und Verformungen).

7.3 Konstruktive Anforderungen

Die konstruktiven Anforderungen an die Fahrwegüberbauten sind:

- (1) Der Querschnitt der Fahrwegüberbauten soll die Vorgaben aus Abbildung 3, Abbildung 8, Abbildung 9 und Abbildung 10 sowie die definierten Einbauträume der systemtechnischen Fahrwegausrüstung gemäß /MSB AG-FW GEO/ einhalten, wobei alle Anschlüsse der Fahrwegausrüstung entsprechend deren konstruktiver Auslegung zugänglich und instandhaltbar sein sollen.
- (2) Die in Abbildung 3, Abbildung 8, Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellten Querschnitte dürfen überschritten werden, wenn die Kompatibilität zum Gesamtsystem nachgewiesen wird. Die angegebenen Trägerlängen sind nur beispielhaft (vgl. Kapitel 6.3 (14)).
- (3) Die Wahl der Materialien (inkl. Korrosionsschutz) ist unter Berücksichtigung der geforderten Nutzungsdauer entsprechend dem Stand der Technik zu treffen.
- (4) Durch eine optimierte Querschnitts- und Oberflächengestaltung sollen der Instandhaltungsaufwand und ungünstige akustische Auswirkungen (Schallemissionen) minimiert werden.
- (5) Zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit und zur Minimierung des Instandhaltungsaufwandes sind die allgemeinen Anforderungen an den konstruktiven Korrosionsschutz zu beachten.
- (6) Eine einfache Zugänglichkeit aller tragenden Bauteile zur Instandhaltung soll gewährleistet werden.
- (7) Hohlkästen/Hohlräume sollen so gestaltet werden, dass eine Inspektion im Inneren dieser Hohlkästen/Hohlräume nicht erforderlich wird (z.B. geschlossene Stahlhohlkastenträger).
- (8) Die Entwässerung der Oberseite der Fahrwegüberbauten soll so gestaltet werden, dass das gesamte Niederschlagswasser von der Fahrwegoberseite ablaufen kann. Eine Entwässerung über die Seitenführschiene ist zulässig. In geraden Fahrwegbereichen sollte eine Fahrwegquerneigung von $1,15^\circ$ (entspricht 2 %) zur Entwässerung ausgebildet werden.
- (9) Querspalte zwischen aufeinanderfolgenden Fahrwegträgern sollen geschlossen werden (z.B. durch eine Trägerspaltabdeckung), wenn sie größer als 20 mm werden können (Einflussgrößen: Verformung der Unterbauten, Längenänderung des Überbaus infolge Temperatur und Schwinden und Kriechen des Betons) und in Streckenabschnitten mit Überfahrgeschwindigkeiten gemäß örtlichem Istfahrprofil von > 150 km/h liegen. Die Notwendigkeit der Ausführung und der davon betroffenen Bereiche sind projektspezifisch zu definieren.
- (10) Längsspalte und sonstigen Öffnungen auf der Fahrwegoberseite sollen vermieden werden.
- (11) Um den Anbau von Bauteilen an den Fahrwegüberbauten zu ermöglichen, sind geeignete Anschlussstellen einzuplanen (z.B. durch Freiräume im Bewehrungskorb). Falls diese Anschlüsse die projektunabhängigen statischen Nachweise der Fahrwegüberbauten (Tragsicherheit und Ermüdungsfestigkeit)

keit) der Typzulassung beeinflussen, sind diese Anschlüsse bereits bei der Erstellung dieser Nachweise zu berücksichtigen.

- (12) Die Fahrwegüberbauten sind nach projektspezifischen Vorgaben eindeutig zu nummerieren. Die Nummerierungen einer Fahrspur haben dabei kontinuierlich zu erfolgen. Die Nummern sind dauerhaft und gut lesbar auf der Oberseite der Fahrwegüberbauten (ggf. über dem zugehörigen Stützort) anzubringen. Es wird empfohlen, die Nummerierung zusätzlich auch seitlich anzubringen. Die Nummerierung von Fahrwegüberbauten und -unterbauten ist aufeinander abzustimmen.
- (13) Die konstruktive Ausführung ist so zu gestalten, dass Inspektionen der Fahrwegüberbauten weitestgehend mit Hilfe von automatisierten Verfahren (z.B. Auswertung von Videoaufzeichnungen) durchgeführt werden können.
- (14) Die konstruktive Ausführung soll so gestaltet werden, dass nicht langfristig planbare Instandsetzungsmaßnahmen (Vorlaufzeit < 3 Monate) unter allen projektspezifisch möglichen Umweltbedingungen in der dafür zur Verfügung stehenden Zeit durchgeführt werden können.

7.4 Nachweisführung

Es sind die in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs zu beachten.

Besonders zu beachten sind dabei nachfolgende Anforderungen:

- (1) In Ergänzung zu den theoretischen Nachweisen sind Fahrwegüberbauten im Hinblick auf folgende Eigenschaften versuchstechnisch zu qualifizieren:
 - Nachweis des dynamischen Verhaltens und der dynamischen Beanspruchungen bei Fahrzeugüberfahrt von $v = 0$ km/h (bei schwebendem Fahrzeug) bis $v = v_{\max}$;
 - Nachweis ausreichender Tragfähigkeit und Betriebsfestigkeit;
 - Nachweis der Gebrauchstauglichkeit;
 - Einhaltung der Grenzwerte der Schallemission nach /MSB AG-GESAMTSYS/;
 - Nachweis der Instandhaltbarkeit (Inspizierbarkeit, Zugänglichkeit usw.).
- (2) Erfahrungen und Erkenntnisse aus bisherigen Qualifikationen (z.B. aus einem Testbetrieb, aus dem Betrieb von Anwendungsprojekten) sind bei der Nachweisführung neuer Fahrwegüberbauten heranzuziehen.

7.5 Handhabung, Transport und Montage

- (1) Für den Transport und die Montage der Fahrwegüberbauten sind an die jeweilige Bauart angepasste Vorrichtungen zur Vermeidung von mechanischen Beschädigungen und bleibenden Verformungen zu verwenden.
- (2) Der Vorgang der Montage und der Feinpositionierung der Fahrwegüberbauten ist im Hinblick auf Genauigkeit, Witterungsunabhängigkeit und Schnelligkeit, zu optimieren. Hierzu sind eine Montage- und eine Positionieranweisung mit allen erforderlichen Vorgaben zu erstellen.

8 Fahrwegunterbauten

8.1 Allgemeines

Die Fahrwegunterbauten sind erforderlich, um:

- den Höhenunterschied zwischen den Fahrwegüberbauten und dem Gelände zu überbrücken (Fahrwegstützen);
- die Kräfte aus den Fahrwegüberbauten unter Berücksichtigung der systemtechnischen Anforderungen in den Baugrund weiter zu leiten.

Für die Stützen sind gegenwärtig die Beton- und die Stahlbauweise erprobt. Darüber hinaus sind jedoch auch weitere Bauweisen möglich.

Die Fahrweggründungen werden in der Regel in Betonbauweise hergestellt.

Die Gestaltung der Fahrwegunterbauten ist primär abhängig von den Steifigkeitsanforderungen, die durch die zulässigen Verformungen und Verdrehungen nach /MSB AG-FW BEM/ festgelegt sind. Die ästhetische Gestaltung der Unterbauten hat sich den nachfolgenden funktionalen und konstruktiven Anforderungen unterzuordnen.

Die Untergliederung der Fahrwegunterbauten ist in Abbildung 5 zusammengestellt.

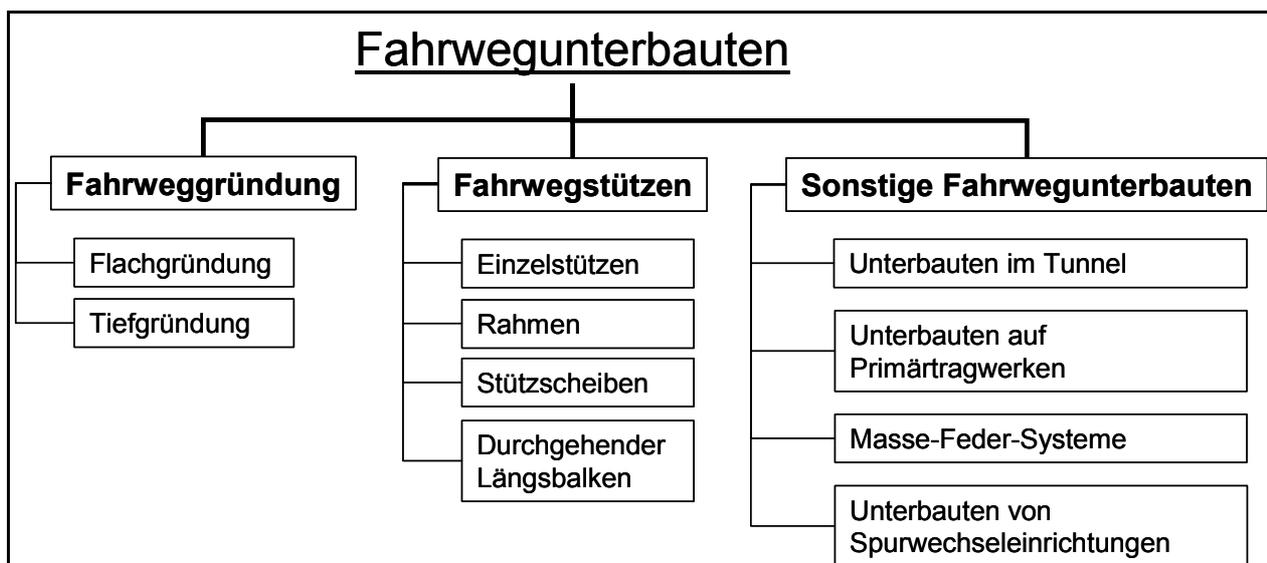


Abbildung 5: Typen von Fahrwegunterbauten

8.2 Funktionale Anforderungen

Die maßgebenden funktionalen Anforderungen an die Fahrwegunterbauten sind:

- (1) Die Fahrwegunterbauten müssen die Einwirkungen aus den Fahrwegüberbauten direkt über die Fahrwegauflager aufnehmen und zuverlässig in den Baugrund weiterleiten (zuverlässige Aufnahme der Fahrwegüberbauten).
- (2) Bauteile/Baugruppen der Fahrwegausrüstung (z.B. Zuleitungen der Motorwicklung und der externen Bordenergieversorgung) sind zuverlässig aufzunehmen.
- (3) Die Fahrwegunterbauten müssen die erforderliche Lagegenauigkeit der Fahrwegüberbauten dauerhaft gewährleisten.

8.3 Konstruktive Anforderungen

Nachfolgende konstruktive Anforderungen sind bei der Auslegung von Fahrwegunterbauten zu berücksichtigen:

- (1) Zur Sicherung vor Anprall von Fahrzeugen und Geräten bei kreuzenden und parallelen Verkehrswegen sind in der Regel Schutzeinrichtungen gemäß projektspezifischem Sicherheitskonzept vorzusehen.
- (2) Getrennte Unterbauten für aufeinanderfolgende Fahrwegüberbauten sollen vermieden werden.
- (3) Zum Anschluss des Blitzschutzsystems der Fahrwegüberbauten an die Bewehrung der Fahrwegunterbauten sind nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik dimensionierte Befestigungspunkte vorzusehen.
- (4) Die Ausbildung der Übergänge zwischen:
 - Sonderbauwerken und anschließendem Regelfahrweg,
 - diskret und kontinuierlich gelagerten Fahrwegen und
 - Fahrwegen auf Masse-Feder-Systemen und anschließendem Fahrweg

bedarf eines individuellen Nachweises der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem.

- (5) Um ggf. den nachträglichen Anbau von Bauteilen an die Fahrwegunterbauten zu ermöglichen, sind entsprechende konstruktive Maßnahmen vorzusehen (z.B. durch Freiräume im Bewehrungskorb). Diese sind projektspezifisch abzustimmen.
- (6) Für die Leitungsführung zum Langstator und zur externen Bordenergieversorgung sind an allen Stützen Befestigungsmöglichkeiten vorzusehen.
- (7) Die Fahrwegüberbauten der zwei Fahrspuren des Doppelspurfahrweges sollen auf gemeinsamen, radial zur Trassierungsachse angeordneten Fahrwegunterbauten lagern.
Abweichungen hiervon sind z.B. bei Aufweitungen des Spurmittenabstandes oder bei Einsatz des Fahrwegträgertyps III zulässig.
- (8) Sensible Bereiche der Fahrwegunterbauten (z.B. das Umfeld der Fahrweglager) sind so zu gestalten, dass Schäden im Rahmen der Auswertung einer automatisierten Fahrweginspektion erkannt werden können.

8.4 Nachweisführung

Es sind die in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs zu beachten.

Besonders hingewiesen wird dabei auf nachfolgende Anforderungen:

- (1) Bei der Bemessung der Fahrwegunterbauten sind projektspezifisch folgende Punkte zu beachten:
 - Einwirkungen aus den Fahrwegüberbauten, Umwelt und Betrieb;
 - zulässige Verformungen;
 - jeweiliges statisches System der Fahrwegüberbauten;
 - lokal vorhandene Baugrundverhältnisse;
 - lokale Gradientenhöhen der Fahrspuren.
- (2) Bei der Bemessung der Gründung sind auch die (hohe) Belastungsgeschwindigkeit und die dynamischen Kräfte (Frequenz, Amplituden) aus den Fahrwegüberbauten zu beachten.
- (3) Wenn keine Erfahrungen mit einer Bauart der Unterbauten vorliegen, sind vertiefte theoretische und/oder versuchstechnische Nachweise zu erbringen.

8.5 Handhabung, Transport und Montage

In der Regel werden die Fahrwegunterbauten in Ortbetonbauweise erstellt. Bei Verwendung von Fertigteilen (Betonfertigteile, Stahlstützen, Verbundstützen) sind entsprechende Anweisungen für Handhabung, Transport und Montage zu erstellen.

9 Magnetschnellbahn-spezifische Fahrwegausrüstung

9.1 Allgemeines

Unter der Bezeichnung "Magnetschnellbahn-spezifische Fahrwegausrüstung" werden alle Bauteile und Baugruppen zusammengefasst, die zum Betrieb der Magnetschnellbahn unabhängig von der Bauart des Fahrwegs erforderlich sind (siehe Abbildung 6 und Abbildung 11).

Die Elemente der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung sind:

- Langstator;
- Seitenführschienen;
- Gleitleisten;
- fahrwegseitige Bauteile der externen Bordenergieversorgung;
- fahrwegseitige Bauteile der Ortung;
- Blitzschutz und Erdung der Fahrwegausrüstung.

Nachfolgend werden die allgemeinen Anforderungen an die Elemente der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung beschrieben.

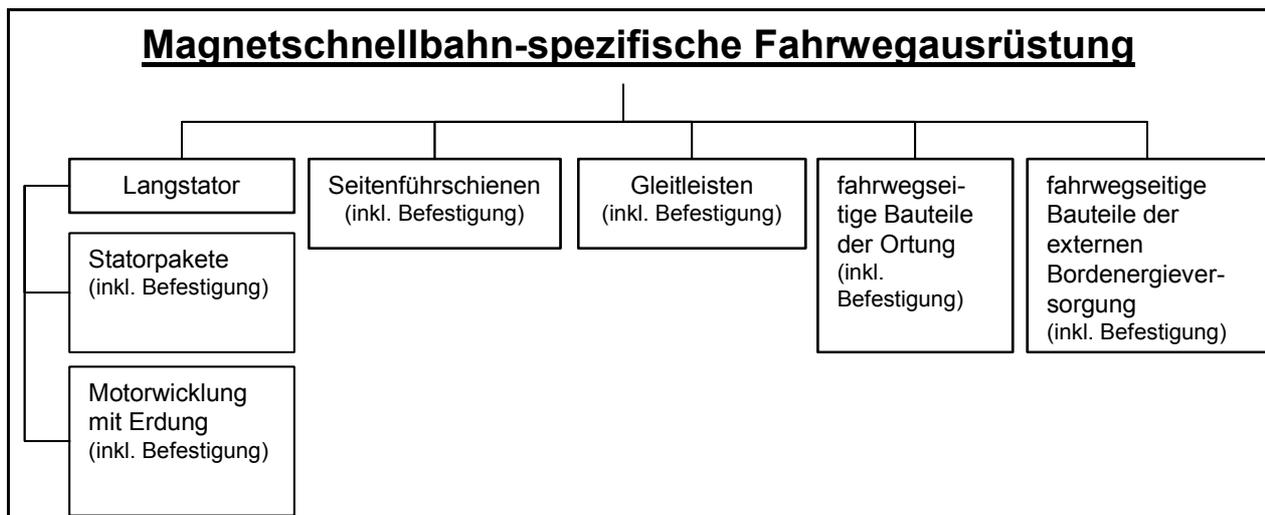


Abbildung 6: Magnetschnellbahn-spezifische Fahrwegausrüstung

9.2 Langstator

9.2.1 Allgemeines

Der Langstator ist Teil des Fahrwegs und dient dem Antrieb von MSB-Fahrzeugen.

Er besteht aus folgenden Elementen:

- (1) *Statorpaket, bestehend aus:*
 - *einem Elektroblechpaket mit Nuten zur Aufnahme der Motorwicklung und zur Aufnahme von integrierten Elementen zur Befestigung am Fahrwegüberbau (Abbildung 12 im Anhang zeigt beispielhaft ein Statorpaket);*
 - *den integrierten Elementen zur Befestigung des Statorpaketes am Fahrwegüberbau (z.B. Nuttraversen);*
 - *Schutzbeschichtung (Korrosionsschutz).*
- (2) *Elemente zur Befestigung der Statorpakete an den Fahrwegüberbauten (z.B. Schrauben);*
- (3) *3-phasige Motorwicklung (Abbildung 13 zeigt beispielhaft einen Langstatorabschnitt mit einer Motorwicklung, deren Kabel einzeln nacheinander verlegt wurden);*
- (4) *Erdung der Motorwicklung und zusätzliche Halterung der Motorwicklung in den Statorpaketnuten (z.B. Erdungsmanschetten und zugehöriges Erdungskabel).*

Abbildung 14 und Abbildung 15 im Anhang zeigen beispielhaft ausgeführte Lösungen von redundanten Statorpaketbefestigungen.

Auf Grund der Anordnung an der Fahrwegunterseite ist der Langstator gegen direkten Blitzeinschlag geschützt. Zur Vermeidung von Schäden aus indirekten Einwirkungen von Blitzschlägen muss jedoch die Weiterleitung von Blitzströmen über die Befestigung in das Erdungssystem des Tragwerks gewährleistet sein.

9.2.2 Funktionale Anforderungen

9.2.2.1 Statorpaket

Die Schnittstelle zwischen Statorpaket und Motorwicklung ist so auszubilden, dass die Motorwicklung unter allen zu berücksichtigenden Einwirkungen gemäß /MSB AG-FW BEM/ sicher in ihrer Lage gehalten wird.

Das Statorpaket hat folgende Funktionen zu erfüllen:

- (1) Führung des durch die Tragsmagnete des Fahrzeuges erzeugten magnetischen Flusses mit Aufnahme und Weiterleitung der durch den magnetischen Fluss erzeugten Kräfte (Tragkräfte);
- (2) Aufnahme und Weiterleitung der Beschleunigungs- und Bremskräfte;
- (3) Bildung der Referenzfläche (Statorebene) zur Messung des Luftspaltes zwischen Statorpaket und Tragsmagnet;
- (4) Bildung der Referenzfläche zur Fahrwegüberwachung (z.B. Lageüberwachung durch Versatzmessung);
- (5) Bildung der Zahn-Nut-Folge zur Ortung des Fahrzeuges;
- (6) Bildung der Zahn-Nut-Geometrie für Flussmodulation zur Induktion einer elektrischen Spannung in den Lineargeneratoren des Fahrzeuges (Bordenergieversorgung).

9.2.2.2 Statorpaketbefestigung

Für die Befestigung der Statorpakete an den Fahrwegüberbauten sind folgende Anforderungen zu berücksichtigen:

- (1) Die Statorpaketbefestigung muss das Statorpaket über die Dauer der projektspezifisch geforderten Nutzungsdauer unter Berücksichtigung aller Einwirkungen aus Umwelt und Betrieb nach /MSB AG-FW BEM/ zuverlässig in definierter Lage (siehe /MSB AG-FW GEO/) halten.
- (2) Falls der Ausfall eines und / oder mehrerer Befestigungselemente nicht auszuschließen ist, so ist ein uneingeschränkter sicherer Fahrbetrieb für einen projektspezifisch zu definierenden Zeitraum sicherzustellen.
- (3) Der Ausfall von Befestigungselementen muss im Rahmen der Überwachungsmaßnahmen gemäß /MSB AG-BTR&IH/ zuverlässig erkennbar und der Normalzustand durch eine Instandsetzungsmaßnahme wiederherstellbar sein.
- (4) Eine Überschreitung der zulässigen Lageabweichungen des Statorpaketes gemäß /MSB AG-FW GEO/ ist zuverlässig zu verhindern.

9.2.2.3 Motorwicklung

- (1) *Mittels der Motorwicklung wird ein elektrisches Wanderfeld erzeugt, aus dem in Wechselwirkung mit dem magnetischen Feld der Fahrzeug-Tragmagnete eine Schubkraft zur Beschleunigung und Verzögerung des Fahrzeugs erzeugt werden kann.*
- (2) *Die Schubkräfte werden über die Statorpakete und deren Befestigung auf das Tragwerk übertragen.*

9.2.3 Konstruktive Anforderungen**9.2.3.1 Statorpaket**

- (1) Die Bauteile des Statorpaketes (Blechkpakete, Beschichtung und die integrierten Elemente zur Befestigung) sind so auszuführen und zusammenzufügen, dass unter Berücksichtigung der Einwirkungen aus Umwelt und Betrieb die geforderte Nutzungsdauer gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/ zuverlässig gesichert ist.
- (2) Die Konstruktion ist im Hinblick auf eine Minimierung des Instandhaltungsaufwandes wartungsfrei zu gestalten.
- (3) Die Qualität des verwendeten Elektrobleches muss die Anforderungen nach /MSB AG-GESAMTSYS/ erfüllen.
- (4) Der Stapelfaktor des Blechkpaketes darf 0,97 gemäß EN 10106 nicht unterschreiten.
- (5) Maßgebende Abmessungen des Blechkpaketes gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/ sind zu berücksichtigen;
- (6) Statorpaketlänge:

Die Systemlänge eines Statorpaketes beträgt 1032 mm.

Im Hinblick auf die unterschiedlichen Längen zwischen Kurveninnenseite und Kurvenaußenseite sind zur Realisierung der Fahrweggeometrie unterschiedliche physische Statorpaketlängen erforderlich.

Die mechanischen Abstände an den Stirnflächen der Statorpakete sollten im Trägerfeld 0,5 mm bis 2 mm betragen. Im Bereich kleiner Horizontalradien und bei Spurwechseleinrichtungen sollte eine maximale Bandbreite von 0 bis 10 mm eingehalten werden.

Die Festlegung der erforderlichen Längen der einzelnen Statorpakete und deren Anordnung am Fahrweg erfolgt projektspezifisch und muss mit dem Trag-Führsystem des Fahrzeugs kompatibel sein.

- (7) Die Geometrie des montierten Statorpaketes hat (unter Berücksichtigung der projektspezifisch zu definierenden Toleranzen der Befestigungsflächen am Fahrweg) die in /MSB AG-FW GEO/ definierten Toleranzanforderungen an die Statorebene zu erfüllen.
- (8) Eine einheitliche Zahn-Nut Geometrie ist im Raster von 86 mm einzuhalten.
- (9) Das Material der Beschichtung (Korrosionsschutz) ist unter Berücksichtigung der geforderten Nutzungsdauer und unter Berücksichtigung der projektspezifischen Umweltbedingungen zu wählen. Durch geeignete Konstruktion und Fertigung ist sicherzustellen, dass die zulässige Schichtdicke auf der Statorebene nicht überschritten und dadurch der mechanische Spalt nicht unzulässig reduziert wird. Die Beschichtung darf die elektrischen und elektromagnetischen Eigenschaften des Blechpaketes nicht verändern. Der Korrosionsschutz hat das Statorpaket vollständig zu umschließen. Er soll außerdem dauerhaft duktil und abrasionsarm sein.
- (10) Die max. zulässige Dicke des Korrosionsschutzes an der Statorebene darf 1,8 mm (inkl. aller Toleranzen, Formschrägen, usw.) nach nicht überschreiten.
- (11) Der zulässige Einbauraum der Statorpakete ist in Abbildung 3 und in /MSB AG-FW GEO/ dargestellt.
- (12) Die Abmessungen der integrierten Befestigungselemente sind nach Art der Befestigung, nach den statischen Erfordernissen und unter Berücksichtigung der Instandhaltungsaspekte zu definieren.
- (13) Die Kontaktflächen zwischen Fahrwegträgerkragarm und integrierten Elementen zur Statorpaketbefestigung (z.B. Nuttraverse) sind so auszubilden, dass die Kräfte aus Umwelt und Betrieb nicht zu einer unzulässigen Verschiebung der Statorpakete führen können.
- (14) Für die Übertragung von Kräften aus den zu berücksichtigenden Einwirkungen müssen die Kontaktflächen zwischen der Statorpaketbefestigung und der Anschlussfläche am Tragwerk die Reibparameter erfüllen, die der Dimensionierung zugrunde gelegt wurden.

9.2.3.2 Statorpaketbefestigung

- (1) Die Befestigung muss mit vertretbarem Aufwand und ohne Beschädigung der benachbarten Strukturen lösbar sein.
- (2) Projektspezifisch ist festzulegen, ob ein Herabfallen von ausgefallenen Befestigungselementen mit der Folge einer Gefährdung Dritter an projektspezifisch zu definierenden Fahrwegabschnitten (z.B. an Kreuzungen mit anderen Verkehrswegen) durch Schutzmaßnahmen zu verhindern ist.
- (3) Befestigungselemente, bei denen ein Versagen nicht ausgeschlossen werden kann, müssen im Versagensfall einfach (innerhalb einer Betriebspause) ersetzbar sein.
- (4) Bei der Entwicklung und Dimensionierung der Befestigungselemente ist die jeweilige bauartspezifische Anschlusskonstruktion (Fahrwegkragarm und integrierte Elemente zur Statorpaketbefestigung) zu berücksichtigen.
- (5) Der für die Statorpaketbefestigung zur Verfügung stehende Freiraum (siehe Abbildung 3 und /MSB AG-FW GEO/) ist in Abstimmung mit dem Lieferanten der Statorpakete und dem Lieferanten der Fahrwegträger zu definieren. Ein individueller Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem ist zu erbringen.
- (6) Es müssen Werkstoffe und Fertigungsverfahren verwendet werden, bei denen systematische Fehler, die zu einem Versagen der Verbindung führen können (z.B. Wasserstoffversprödung), mit vertretbarem Aufwand ausgeschlossen werden können.
- (7) Bei der Wahl der Werkstoffe sind im Zusammenhang mit der geforderten Nutzungsdauer die vorhandenen Umwelteinflüsse zu berücksichtigen (Korrosions- und Alterungsverhalten).

9.2.3.3 Motorwicklung

- (1) Die Motorwicklung ist so auszulegen, dass die geforderte Nutzungsdauer unter Berücksichtigung der spezifizierten Einwirkungen aus Umwelt und Betrieb erreicht wird.
- (2) Eine Verletzung des zulässigen Freiraumes während der geforderten Nutzungsdauer ist auszuschließen (unter Berücksichtigung der spezifizierten Einwirkungen aus Umwelt und Betrieb).
- (3) Die mechanischen und geometrischen Eigenschaften der verwendeten Kabel der Motorwicklung sind bei der projektspezifischen Auslegung der Befestigung und der Montage zu berücksichtigen (Befestigung in den Statorpaketnuten unter Berücksichtigung der Erdung der Motorwicklung und der Zahn-Nut-Geometrie).
- (4) Der zulässige minimale Biegeradius der Kabel der Motorwicklung und der zulässige Einbauraum der Motorwicklung nach Abbildung 3, /MSB AG-FW GEO/ und /MSB AG-GESAMTSYS/ sind einzuhalten.
- (5) Die Anforderungen an die elektrische Funktion der Motorwicklung sind in /MSB AG-GESAMTSYS/ definiert.
- (6) Die Anforderungen an die Erdung der Motorwicklung resultieren aus dem Langstatorschutz und sind der MSB-Ausführungsgrundlage Antrieb und Energieversorgung /MSB AG-ANT/ zu entnehmen.
- (7) Das Kabel der Motorwicklung muss aus Gründen des Brandschutzes selbstverlöschend ausgeführt werden.
- (8) Projektspezifisch können zusätzliche Anforderungen an das Material der Motorwicklung in Tunneln und in Stationen (geschlossene Räume) definiert werden (Toxizität im Brandfall).
- (9) Die Ausführung der Erdung und der Anschlusspunkte für die Motorwicklung sind projektspezifisch festzulegen, wobei die Anschlusspunkte für die Erdung der Motorwicklung in die Erdungs-/Blitzschutzanlage des Fahrwegs zu integrieren sind.
- (10) An Trägerstößen ist durch eine formstabile Anordnung der Motorwicklung sicher zu stellen, dass die Bewegung der Träger in x-, y- und z-Richtung - resultierend aus Betrieb und Umwelt - während der geforderten Nutzungsdauer nicht zur Verletzung des zulässigen Einbauraumes und zum Verlust der Gebrauchstauglichkeit führt.
- (11) Die Festlegung der ortsbezogenen Phasenlage der Motorwicklung hat den Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem zu beinhalten. (siehe hierzu /AG MSB-GESAMTSYS/ Kap. 8.2 Abb. 5)
- (12) Im Anhang ist ein Beispiel einer 3-phasigen Motorwicklung angegeben (Abbildung 13).
- (13) Die Schnittstelle zwischen Statorpaket und Motorwicklung ist so auszubilden, dass die Motorwicklung unter allen zu berücksichtigenden Einwirkungen gem. /MSB AG-FW BEM/ sicher in ihrer Lage gehalten wird.

9.2.4 Nachweisführung**9.2.4.1 Statorpaket**

Neben den in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs sind die nachfolgenden bauteil-/baugruppenspezifische Anforderungen an das Statorpaket besonders zu beachten:

- (1) Der Schwerpunkt der Nachweisführung hat dabei auf folgenden Nachweisen zu liegen:
 - Nachweis der Dauerfestigkeit unter Berücksichtigung der dynamischen Beanspruchungen;
 - Nachweis der Maßhaltigkeit, Qualität und Dauerhaftigkeit der Beschichtung;
 - Nachweis der elektrischen und elektromagnetischen Eigenschaften.

- (2) Zur Sicherstellung der Qualität jedes einzelnen Statorpaketes ist eine Prüfanweisung zu erstellen, die alle nachzuweisenden Abnahmekriterien mit Angabe der zulässigen Toleranzen enthält. Die Abnahmeprüfungen sind zu protokollieren.
- (3) Zur Nachverfolgbarkeit sind alle Statorpakete eindeutig, individuell und dauerhaft zu kennzeichnen.

9.2.4.2 Statorpaketbefestigung

Neben den in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs sind die nachfolgenden bauteil-/baugruppenspezifischen Anforderungen an die Statorpaketbefestigung besonders zu beachten:

- (1) Die Nachweise sind auch für die Ausfallsituationen zu erstellen, sofern der Ausfall von Befestigungselementen nicht auszuschließen ist. Die im Zusammenhang mit dem Detektionssystem zu berücksichtigenden Ausfallsituationen sind dabei nach Nachweis der Kompatibilität und in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde festzulegen.
- (2) Es ist nachzuweisen, dass für die zu berücksichtigenden Ausfallsituationen alle im Kraftfluss liegenden Bauteile und Baugruppen für die gesamte projektspezifische Nutzungszeit ausgelegt sind.
- (3) Im Falle einer zuverlässigen Fehleroffenbarung ist eine betriebsfeste Auslegung der bei der jeweils zu berücksichtigenden Ausfallsituation im Kraftfluss liegenden Bauteile/Baugruppen mit Angabe der zulässigen Lastwechsel (Fahrzeugüberfahrten) ausreichend. Die zuverlässige Fehleroffenbarung/-erkennung ist im Rahmen der Fahrweginstandhaltung nachzuweisen.

9.2.4.3 Motorwicklung

Neben den in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs sind die nachfolgenden bauteil-/baugruppenspezifischen Anforderungen an die Motorwicklung besonders zu beachten:

- (1) Die Einhaltung des spezifizierten thermischen Verhaltens des Langstators ist im Betrieb messtechnisch nachzuweisen.
- (2) Die theoretischen Lastannahmen und die Gebrauchstauglichkeit sind durch Messungen sowohl in der Entwicklung an Prototypen als auch bei der Inbetriebnahme am realisierten System nachzuweisen.
- (3) Die Stromtragfähigkeit der Leitung, des Schirms sowie die Spannungsfestigkeit der Wicklung müssen nachgewiesen werden.
- (4) Die Dauerfestigkeit der Wicklungsbefestigung einschließlich Formstabilität des Wickelkopfes ist versuchstechnisch nachzuweisen.
- (5) Die Material- und Strukturfestigkeit der Motorwicklung durch die mechanische Beanspruchung am Trägerstoß ist nachzuweisen.
- (6) Die Einhaltung der Blitz–Stoßspannungsfestigkeit gemäß /MSB AG-UMWELT/ sowie ggf. projektspezifischer Vorgaben sind nachzuweisen.
- (7) Der zulässige Dauerstromeffektivwert sowie der zulässige Strommaximalwert unter Berücksichtigung der projektspezifischen Parameter Zykluszeit und Einschaltzeit sind versuchstechnisch nachzuweisen.
- (8) Die Funktion des Langstatorschutzes (Erdschlussüberwachung) ist nachzuweisen.

9.2.5 Handhabung, Transport und Montage**9.2.5.1 Statorpaket**

Für das Statorpaket ist eine Anweisung zur Handhabung (Transport und Lagerung) sowie zur Montage zu erstellen. Dabei sind vor allem nachfolgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- (1) Durch geeignete stoßgesicherte Transport- und Verpackungsmittel sind mechanische Beschädigungen zu verhindern.
- (2) Die Zwischenlagerflächen sind so zu gestalten, dass die Statorpakete bzw. deren Transportverpackung mit den Statorpaketen ordnungsgemäß abgesetzt und wieder aufgenommen werden können, ohne beschädigt zu werden.
- (3) Die Statorpakete sollen werkseitig an die Fahrwegüberbauten angebracht werden.
- (4) Bei nachträglichem Anbau der Statorpakete auf der Baustelle sind ggf. zusätzliche Ausführungsunterlagen (Montageanleitung und Abnahmespezifikationen) zu erstellen, durch Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem zu belegen und zur Prüfung an die zuständige Aufsichtsbehörde einzureichen.

9.2.5.2 Statorpaketbefestigung

- (1) Der Montagevorgang und die Montageparameter sind in einer Anweisung zu Transport, Lagerung und Montage zu spezifizieren.
- (2) Die Montageparameter wie z.B. Anzugsmoment/-drehwinkel sind zu definieren, zu überwachen und zu dokumentieren.
- (3) Bereits einmal verwendete Verbindungsteile (z.B. Schrauben, Unterlegscheiben, Muttern) sollen nicht wiederverwendet werden. In Ausnahmefällen (z.B. Verwendung von einbetonierten Inserts mit eingeschnittenem Gewinde siehe Abbildung 14) ist vor Tausch von Statorpaketen oder Befestigungselementen deren Wiederverwendbarkeit nachzuweisen.

9.2.5.3 Motorwicklung

- (1) Die detaillierten Vorgaben für die Montage, den Transport und die Zwischenlagerung sind projekt- und bauartspezifisch in Form einer Montageanweisung festzulegen.
- (2) Für die Wicklungsfertigung und/oder -verlegung vom Fahrweg aus, stehen die Freiräume innerhalb der Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf des Fahrzeuges gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/ (nach projektabhängiger Abstimmung ggf. auch darüber hinaus) zur Verfügung.
- (3) Vorrichtungen zur Montage der Langstatorwicklung haben die Anforderungen an Sonderfahrzeuge zu erfüllen.

9.3 Seitenführschiene / Seitenführebenen

9.3.1 Allgemeines

Die Seitenführschiene als Elemente der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung sind erforderlich zur Aufnahme der mechanischen und elektromagnetischen Einwirkungen aus den Fahrzeugen und aus Sonderfahrzeugen.

Die prinzipielle Anordnung der Seitenführschiene an den Kragarmen der Fahrwegüberbauten ist aus Abbildung 3 und /MSB AG-FW GEO/ zu entnehmen.

9.3.2 Funktionale Anforderungen

9.3.2.1 Seitenführschiene

Die Seitenführschiene haben folgende funktionale Anforderungen zu erfüllen:

- (1) Führung des magnetischen Flusses der Führ- und Bremsmagnete;
- (2) Ermöglichung der Erzeugung von elektrischen Wirbelströmen im Zusammenwirken mit den Bremsmagneten;
- (3) Aufnahme der durch die Führ- und Bremsmagnete erzeugten magnetischen Kräfte und Weiterleitung in die Kragarmstruktur;
- (4) Aufnahme der durch Sonderfahrzeuge eingeleiteten Kräfte und Weiterleitung dieser Kräfte in die Kragarmstruktur;
- (5) mechanisches Führen bei Ausfall der magnetischen Führungsfunktion der Führungsmagnete;
- (6) mechanisches Führen der an der Seitenführschiene anliegenden Bremsmagnete, Aufnahme und Ableitung der Kräfte;
- (7) Bildung einer Referenzfläche zur Messung des Luftspaltes zwischen Führungsmagnet und Seitenführschiene;
- (8) Bildung einer Referenzfläche zur Fahrwegüberwachung (z.B. zur Erkennung von Versätzen und/oder Versatzänderungen);
- (9) Ableitung von aus Blitzeinwirkung auf das Fahrzeug resultierenden Überspannungen;
- (10) Blitzschutzfunktion für die Motorwicklung.

9.3.2.2 Befestigung der Seitenführschiene

- (1) Die Befestigungselemente müssen die Kräfte aus den Seitenführschiene zuverlässig in die Kragarme der Fahrwegüberbauten weiterleiten.

9.3.3 Konstruktive Anforderungen

9.3.3.1 Seitenführschiene

- (1) Die Seitenführschiene sollen dem Verlauf der Raumkurve (Querneigung, Kuppen/Wannen, Kurven) folgen.
 - (2) Die Möglichkeit einer polygonalen Anordnung der Seitenführschiene ist bei Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem unter Berücksichtigung der jeweiligen Trägerbauart gegeben.
-

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- (3) Die Erkennung von Geometrieänderungen und/oder Versätzen durch Inspektionseinrichtungen ist zu gewährleisten, bevor die zulässigen Grenzwerte dieser Verformungen überschritten werden.
- (4) Die Materialauswahl für die Seitenführschienen ist in /MSB AG-GESAMTSYS/ vorgegeben.
- (5) Geometrie:
 - Dicke: $t_{SFS} \geq 30 \text{ mm}$
 - Höhe: $h_{SFS} \geq 300 \text{ mm}$
 - Länge: Systembedingt weisen trägerlange Seitenführschienen Vorteile auf.
Projektspezifisch können kürzere Längen ausgeführt werden.
- (6) Seitenführschienen mit kürzerer Segmentlänge als ca. 3,0 m bedürfen eines Nachweises der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem. An den Stößen innerhalb eines Trägerfeldes oder am Trägerstoß sind die Kanten der Seitenführschienen entsprechend den Vorgaben in /MSB AG-FW GEO/ abzurunden.
- (7) Die Anforderungen an die Ebenheit und Lagegenauigkeit der Seitenführschienen sind in /MSB AG-FW GEO/ zusammengestellt.
- (8) Die Seitenführschienen sind mit einer Beschichtung zu versehen, die durch die möglichen mechanischen Beanspruchungen möglichst wenig beschädigt wird und ausreichenden Widerstand gegenüber den korrosiven Angriffen aus der Umwelt gewährleistet (siehe DIN EN ISO 12 944 Teil 1 - 8 und TL 918300, Blatt 87).
- (9) Die Eignung der Beschichtung ist im Hinblick auf die fahrzeugseitige Führspaltmessung (Führspaltsensoren) nachzuweisen.
- (10) Die Reibbeiwerte gemäß /MSB AG-FW BEM/ sind einzuhalten.
- (11) Die Seitenführschienen sind an das Blitzschutzsystem des Fahrwegs anzuschließen.

9.3.3.2 Befestigung der Seitenführschienen

- (1) Die Befestigungselemente der Seitenführschiene sind abhängig von der gewählten Bauart so auszuwählen, dass sie allen zu berücksichtigenden Beanspruchungen aus Umwelt und Betrieb während der geforderten Nutzungsdauer (siehe /MSB AG-GESAMTSYS/) zuverlässig und sicher standhalten.
- (2) Die Befestigung der Seitenführschienen darf die Funktion der Führspaltsensoren nicht unzulässig beeinträchtigen. Die Bereiche der Führspaltmessung sind in /MSB AG-FW GEO/ dargestellt. Sind Befestigungselemente in diesen Bereichen zwingend erforderlich, so ist die Eignung der Konstruktion im Hinblick auf die Führspaltmessung nachzuweisen.
- (3) Die Befestigung ist im Hinblick auf Instandhaltbarkeit zu optimieren (Zugänglichkeit für Inspektion und Instandsetzung).

9.3.4 Nachweisführung

9.3.4.1 Seitenführschienen

Es sind die in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs zu beachten.

9.3.4.2 Befestigung der Seitenführschienen

Neben den in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs sind analog die Anforderungen gemäß Kapitel 9.2.4.2 (Statorpaketbefestigung) besonders zu beachten.

9.3.5 Handhabung, Transport und Montage

- (1) Die Seitenführschiene und deren bauartspezifische Befestigungselemente sind sachgerecht zu handhaben.
- (2) Als in die Tragstruktur der Fahrwegüberbauten oder der Kragarme integrierte Bauteile werden die Seitenführschiene in der Regel werkseitig an den Fahrwegträger bzw. Fahrwegplatten befestigt.
- (3) Bei nachträglichem Anbau sind Ausführungsunterlagen (Montageanleitung, Abnahmespezifikation) zu erstellen, durch Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem zu belegen und zur Prüfung an die zuständige Aufsichtsbehörde einzureichen.

9.4 Gleitleisten / Gleitebenen**9.4.1 Allgemeines**

Die Gleitleisten als Elemente der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung sind im Normalbetrieb erforderlich zur Abtragung der mechanischen Kräfte des stehenden abgesetzten Fahrzeuges über die Tragkufen und zur Aufnahme der mechanischen Einwirkungen aus Sonderfahrzeugen. Im Störbetrieb sind die Tragkufenkräfte aus den sich bewegenden Fahrzeugen in die Fahrwegüberbauten weiter zu leiten.

9.4.2 Funktionale Anforderungen

Die Gleitleiste hat folgende funktionale Anforderungen zu erfüllen:

- (1) Die Gleitleiste und ihre Befestigungselemente müssen so beschaffen sein, dass sie den spezifizierten mechanischen und thermischen Beanspruchungen bei den projektspezifischen Umweltbedingungen während der geforderten Nutzungsdauer gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/ zuverlässig standhalten.
- (2) Bildung einer fehlertoleranten Gleitebene mit projektspezifisch zu definierender Oberflächenbeschaffenheit für das mechanische Tragen/Gleiten durch die Tragkufen des Fahrzeuges;
- (3) Aufnahme der aus den Tragkufen resultierenden Kräfte in x-, y- und in z-Richtung inkl. der aus Temperaturänderungen durch Tragkufenreibung resultierenden Spannungen sowie deren Weiterleitung in die Fahrwegüberbauten;
- (4) Aufnahme der aus Sonderfahrzeugen resultierenden Kräfte in x-, y- und in z-Richtung sowie deren Weiterleitung in die Fahrwegüberbauten.

9.4.3 Konstruktive Anforderungen**9.4.3.1 Gleitleiste / Gleitebene**

- (1) Die Gleitleiste kann wie folgt ausgebildet sein:
 - als integrierter Teil des Trägers bzw. der Platte (z.B. Teil des Deckblechs);
 - durch Verguss, Verschraubung oder Verdübelung auf dem Kragarm befestigt;
 - indirekt am Kragarm (z.B. als integrierter Bestandteil eines Funktionsmoduls) befestigt.

Die Lage der Gleitebene ist in Abbildung 3 und in /MSB AG-FW GEO/ dargestellt.

- (2) Die Gleitebene muss dem Verlauf der Raumkurve unter Berücksichtigung der Querneigung folgen.
- (3) Die Möglichkeit einer polygonalen Anordnung der Gleitebenenelemente ist bauartabhängig durch Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem zu belegen.
- (4) Für die Gleitleiste sollte Stahl verwendet werden. Bei Verwendung anderer Materialien ist deren Eignung nachzuweisen.

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- (5) Gleitebenen sind dabei mit einer Beschichtung zu versehen, die durch die mechanischen Beanspruchungen möglichst wenig beschädigt werden und einen großen Widerstand gegenüber den korrosiven Angriffen aus der Umwelt - auch im mechanisch beanspruchten Zustand - gewährleisten (für metallische Gleitebenen siehe DIN EN ISO 12 944 Teil 1 - 8 und TL 918300 Blatt 87).
- (6) Geometrie:
 - Dicke: nach statischen Erfordernissen
 - Breite: $b_{GL} \geq 150 \text{ mm}$
 - Länge: Systembedingt weisen trägerlange Gleitebenenelemente Vorteile auf. Projektspezifisch können kürzere Längen ausgeführt werden.
- (7) Gleitebenenelemente mit kürzerer Segmentlänge als ca. 3,0 m bedürfen eines vertieften Nachweises der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem.
- (8) Die Anforderungen an die Ebenheit und Lagegenauigkeit der Gleitebene sind in /MSB AG-FW GEO/ zusammengestellt.
- (9) Die Erkennung von Geometrieänderungen und/oder Versätzen durch Inspektionseinrichtungen (gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/) ist zu gewährleisten, bevor die zulässigen Grenzwerte dieser Verformungen überschritten werden.
- (10) Die in /MSB AG-FW BEM/ angegebenen Maximalwerte der Reibbeiwerte sind einzuhalten. Einzuhalten Minimalwerte der Reibbeiwerte sind projektspezifisch abzustimmen.
- (11) Metallische Gleitebenenelemente sind sachgerecht an das Blitzschutzsystem des Fahrwegs anzuschließen.

9.4.3.2 Gleitleistenbefestigung

- (1) Die Befestigung ist abhängig von der gewählten Bauart auszuführen.
- (2) Die Befestigung ist im Hinblick auf Instandhaltbarkeit zu optimieren (Zugänglichkeit für Inspektion und Instandsetzung).

9.4.4 Nachweisführung

9.4.4.1 Gleitleiste / Gleitebene

Es sind die in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs zu beachten.

9.4.4.2 Gleitleistenbefestigung

Neben den in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs sind bei Nachweisführung der Gleitebenenbefestigung analog die Anforderungen gemäß Kapitel 9.2.4.2 (Statorpaketbefestigung) besonders zu beachten.

9.4.5 Handhabung, Transport und Montage

- (1) Die Gleitleisten und deren bauartspezifische Befestigungselemente sind sachgerecht zu handhaben.
- (2) Als in die Tragstruktur der Fahrwegüberbauten oder der Kragarme integrierte Bauteile werden sie in der Regel werkseitig an den Fahrwegträgern bzw. Fahrwegplatten befestigt.
- (3) Bei nachträglichem Anbau sind gesonderte Ausführungsunterlagen (Montageanleitung, Abnahmespezifikation) durch Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem zu belegen und zur Prüfung an die zuständige Aufsichtsbehörde einzureichen.

9.5 Bauteile der externen Bordenergieversorgung

9.5.1 Allgemeines

Die externe Bordenergieversorgung dient der elektrischen Energieübertragung in das Fahrzeug in Fahrwegbereichen, in denen im unteren Geschwindigkeitsbereich gefahren wird (z.B. in Stationen einschließlich angrenzender Beschleunigungsbereiche, an ausgewählten Betriebshalteplätzen, Evakuierungshalteplätzen, Abstellanlagen und in Instandhaltungsanlagen).

Die Festlegung der Streckenabschnitte mit externer Bordenergieversorgung erfolgt projektspezifisch.

Mögliche Ausbildungen der externen Bordenergieversorgung sind:

- (1) Stromübertragung über Kontakt: Stromschiene (Fahrweg) / Stromabnehmer (Fahrzeug) als Stromschienenanlage;
- (2) berührungslose Energieübertragung durch Induktion.
- (3) Der Einbauraum für die fahrwegseitigen Baugruppen der externen Energieversorgung ist in Abbildung 3 und in /MSB AG-FW GEO/ dargestellt.

Die im vorliegenden Dokument definierten Anforderungen an die externe Bordenergieversorgung sind projektspezifisch durch die bauartabhängigen Anforderungen der Teilsysteme Fahrweg, Fahrzeug, und Antrieb zu ergänzen (Lasten, Geometrie, elektrische Eigenschaften, konstruktive Details).

9.5.2 Stromschienen

9.5.2.1 Funktionale Anforderungen

Die Stromschienen und ihre Befestigungselemente müssen so beschaffen sein, dass sie den spezifizierten mechanischen und ggf. thermischen Beanspruchungen bei den projekt-spezifischen Umweltbedingungen während der geforderten Nutzungsdauer gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/ zuverlässig standhalten.

Die Stromschienen müssen dabei folgende funktionale Anforderungen erfüllen:

- (1) Bildung einer Kontaktfläche für den Stromabnehmer des Fahrzeugs;
- (2) Aufnahme der aus den Stromabnehmern resultierenden Kontaktkräfte in y-, x- und in z-Richtung sowie deren Weiterleitung in das Tragwerk;
- (3) Energieübertragung für die abrissfreie Energieversorgung des Fahrzeugs;
- (4) Eine Erkennung von unzulässigen Geometrieänderungen und/oder Versätzen ist sicher zu stellen.

9.5.2.2 Konstruktive Anforderungen

- (1) Die Stromschienen am Fahrwegträger sollen aus über Fest- und Dehnverbinder miteinander verbundene Stromschienenprofilen bestehen, welche mittels Stromschienenhalter am Fahrwegträger befestigt werden.

Hinweis: Die Verbinder sollten Bestandteil des Lieferumfangs Stromschienenprofile sein. Die Stromschienenhalter sollten Bestandteil des Lieferumfangs des Fahrwegträgers sein.

- (2) Die Befestigung der Stromschienenprofile am Stromschienenhalter soll durch eine Verbindungsstruktur (Isolator) erfolgen.

Hinweis: Diese Verbindungsstruktur sollte Bestandteil des Lieferumfangs Stromschienenprofile sein;

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- (3) Stromschienenhalter sind für jede einzelne Trägerbauart und Spurwechseleinrichtung anzuordnen, zu konstruieren und nachzuweisen.
- (4) Fahrwegüberbaubewegungen (in x-, y- und z-Richtung) sind bei der Bemessung und Anordnung der Fest- und Dehnverbinder zu berücksichtigen.
- (5) Stromschienen, Verbindungsstrukturen und deren Befestigungen an den Stromschienenhaltern sind spielfrei und dauerhaft auszulegen.
- (6) Die Stromschienenhalter und deren Befestigungen am Fahrweg sind spielfrei und dauerhaft auszubilden.
- (7) Es ist eine ausreichende Isolation der stromführenden Bauteile vorzusehen.
- (8) Die Lage der Einspeisepunkte des Stromschienensystems ist mit den Einspeisepunkten für die Motorwicklung nach Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem abzustimmen.
- (9) An den Einspeisepunkten sind für die Kabelführung Befestigungsstrukturen (z.B. Ankerschienen) an den Fahrwegüber- und -unterbauten vorzusehen.
- (10) Eine Verletzung des für das Fahrzeug reservierten Freiraums durch die Stromschiene (z.B. durch das Versagen der Stromschienenbefestigung) ist auszuschließen.
- (11) Das Versagen einzelner Befestigungselemente darf nicht zum Verlust der Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit führen und muss erkennbar sein.
- (12) Lage und Abmessungen des Freiraumes für die Stromschienen und deren Befestigungselemente sind aus Abbildung 3 und /MSB AG-FW GEO/ zu entnehmen.

9.5.2.3 Nachweisführung

Neben den in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs sind analog die Anforderungen gemäß Kapitel 9.2.4.2 (Statorpaketbefestigung) besonders zu beachten.

Zusätzlich zu beachten sind folgende Anforderungen:

- (1) Die Bemessung erfolgt unter Verwendung der jeweils projektspezifischen Festlegungen zu der Schnittstelle Stromabnehmer / Stromschiene auf Basis der in /MSB AG-FW BEM/ spezifizierten übergeordneten Einwirkungen aus Umwelt und Betrieb.
- (2) Das Schwingungsverhalten der Fahrwegüberbauten (abhängig von der Fahrwegbauart, dem Fahrzeug und der Überfahrgeschwindigkeit) und das Eigenschwingungsverhalten der Stromschienenhalter, sowie der Stromschienenbaugruppen/-bauteile sind bei der Bemessung und Anordnung der Stromschienenhalter und der Stromschienenbaugruppen/-bauteile zu berücksichtigen.
- (3) Die Lastannahmen und die Gebrauchstauglichkeit sind durch Messungen sowohl in der Entwicklung am Prototypen als auch bei der Inbetriebnahme am realisierten System nachzuweisen;
- (4) Temperaturbedingte Verformungen der Fahrwegüberbauten (Längsdehnungen, vertikale und laterale Verformungen) sind zu berücksichtigen.

9.5.2.4 Handhabung, Transport und Montage

Die detaillierten Vorgaben für die Montage, den Transport und die Zwischenlagerung sind projekt- und bauartspezifisch in Form einer Montageanweisung festzulegen.

9.5.3 Induktive Energieübertragung

Die induktive Energieübertragung befindet sich zur Zeit noch in der Entwicklung. Die spezifischen Anforderungen an diese Baugruppe werden nach Abschluss der Entwicklung nachgetragen.

9.6 Bauteile zum Ortungssystem

9.6.1 Allgemeines

Die am Fahrweg angebauten Baugruppen stellen den im Fahrzeug eingebauten Baugruppen des Ortungssystems eine eindeutige Information über den Absolutort und die Fahrzeugorientierung zur Verfügung.

Die Informationsübertragung vom Fahrweg in das Fahrzeug kann durch verschiedenartige Systeme erfolgen. Eine realisierte Lösung ist die Datenübertragung über fahrwegseitige Lagereferenzleisten (LRL) und fahrzeugseitige Sensoren (INKREFA-Leseeinheiten).

Die LRL besteht aus einer Kunststoffplatte, mit derzeitigen Abmessungen von ca. 260 mm x 150 mm x 5 mm (L x H x T).

Sie wird durch Halterungen am Träger befestigt.

9.6.2 Funktionale Anforderungen

- (1) Bereitstellung einer kodierter Referenzinformation (Referenzort) zur fahrzeugseitigen Bestimmung des Absolutortes und der Fahrzeugorientierung gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/ (z.B. durch Lagereferenzleisten);
- (2) Bei der Festlegung der genauen Position der Referenzorte müssen die Phasenordnung der Motorwicklung und die Anforderungen aus der Betriebsleittechnik berücksichtigt werden (siehe auch /MSB AG-GESAMTSYS/).

9.6.3 Konstruktive Anforderungen

- (1) Die konstruktiven Anforderungen an die fahrwegseitigen Baugruppen der Ortung ergeben sich aus der Wahl der Übertragungstechnik.
Dabei kann (bei Verwendung von Lagereferenzleisten) von einer berührungslosen Informationsübertragung in das Fahrzeug ausgegangen werden.
- (2) Die Positionen der fahrwegseitigen Baugruppen des Ortungssystems in Fahrweglängsrichtung sind projektspezifisch vorzugeben.
- (3) Ein Referenzort ist in der Regel, je Fahrwegseite durch drei Lagereferenzleisten zu markieren (d.h. jeder Referenzort ist durch 6 Lagereferenzleisten markiert).
- (4) Die Befestigung der fahrwegseitigen Baugruppe am Fahrweg erfolgt durch spezielle Halterungen z.B. Lagereferenzleistenhalter (LRL-Halter), die durch den Hersteller des Fahrwegüberbaus bauartspezifisch zu konstruieren sind.
- (5) Der Freiraum für fahrwegseitige Baugruppen ist in Abbildung 3 und /MSB AG-FW GEO/ angegeben.
- (6) Der Ausfall von Befestigungselementen (Halterungen) muss nachweislich ausgeschlossen sein oder rechtzeitig erkennbar sein.
- (7) Temperaturbedingte Verformungen der Fahrwegüberbauten (Längsdehnungen, vertikale und laterale Verformungen) sind zu berücksichtigen.
- (8) Sowohl die bauartspezifischen, dynamischen Anregungen der Halterungen und ihrer Befestigungen als auch die durch das überfahrende Fahrzeug angeregten Schwingungen müssen bei der Konstruktion beachtet werden.

9.6.4 Nachweisführung

- (1) Neben den in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs sind analog die Anforderungen gemäß Kapitel 9.2.4.2 (Statorpaketbefestigung) besonders zu beachten.
- (2) Das Schwingungsverhalten der Fahrwegüberbauten und das Eigenschwingungsverhalten der fahrwegseitigen Ortungsbaugruppen/ -bauteile sowie deren Befestigung sind bei der Bemessung der fahrwegseitigen Baugruppen/Bauteile der Ortung und deren Befestigungselemente zu berücksichtigen.

9.6.5 Handhabung, Transport und Montage

- (1) Die detaillierten Vorgaben für die Montage, den Transport und die Zwischenlagerung sind projekt- und ausführungsspezifisch in Form einer Montageanweisung festzulegen.
- (2) Die fahrwegseitigen Baugruppen und Bauteile der Ortung sollten erst nach abgeschlossener Montage der Fahrwegüberbauten montiert werden.
- (3) Projektspezifisch ist festzulegen, ob die fahrwegseitigen Baugruppen und Bauteile der Ortung und welche Baugruppen und Bauteile der Ortung vor oder nach Verlegung der Motorwicklung anzubringen sind.

10 Bauartspezifische Fahrwegausrüstung

10.1 Allgemeines

Die Baugruppen/-teile der Fahrwegausrüstung, deren Erfordernis und konstruktive Ausbildung abhängig von der jeweiligen Bauart und Bauweise des Fahrweges ist und die nicht Magnetschnellbahn-spezifisch sind, werden nachfolgend als bauartspezifische Fahrwegausrüstung bezeichnet.

Die wesentlichen Elemente/Baugruppen der bauartspezifischen Fahrwegausrüstung sind:

- (1) Fahrweglager/Auflagerungen;
- (2) Einrichtungen der Erdung und des Blitzschutzes;
- (3) Trägerspaltabdeckungen;
- (4) Sonstige Anbauten.

10.2 Fahrweglager

10.2.1 Funktionale Anforderungen

Die äußeren und inneren Kräfte und Momente aus den Fahrwegüberbauten sind zuverlässig und unter Berücksichtigung aller spezifizierter Randbedingungen (z.B. Verformung der Fahrwegunterbauten) über Fahrweglager/Auflagerungen in die Fahrwegunterbauten weiterzuleiten.

10.2.2 Konstruktive Anforderungen

Die wesentlichen Anforderungen an die konstruktive Auslegung der Fahrweglager sind:

- (1) Die konstruktive Ausbildung der Fahrweglager ist in Abhängigkeit von der statischen Auslegung des Gesamtsystems Fahrwegüberbauten/Fahrwegunterbauten zu wählen.
- (2) Dem statischen System der Fahrwegüberbauten entsprechend sind geeignete Lagerungssysteme zu wählen (in Abbildung 16 sind als Beispiel bewährte Lageranordnungen von Ein- und Zweifeldträger-systemen angegeben).
- (3) Die Festlegung der Lageranordnung im Trassenverlauf (Abfolge Fest-/ Loslager aufeinanderfolgender Träger und im Zusammenhang mit der Lagerung von Primärtragwerken und anderen Fahrwegüberbauten (z.B. Spurwechseleinrichtungen)) bedarf eines Nachweises der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem.
- (4) Die Fahrweglager und insbesondere die Verankerungen sind robust auszuführen.
- (5) Es ist auszuschließen, dass die Funktion des betroffenen Fahrweglagers durch das Versagen einzelner Teile der Fahrweglager unzulässig beeinträchtigt wird.
- (6) Die Fahrweglager müssen eindeutig identifiziert werden können. Dieses muss ohne Demontage von Anbauteilen erfolgen können.
- (7) Bei diskret gelagerten Fahrwegträgern sind zusätzliche Abspannungselemente nicht zulässig. Zur Gewährleistung der Lagesicherheit ist dafür der Abstand der Fahrweglager in y-Richtung („Lagerspreizung“) ausreichend groß zu wählen, wobei alle projektspezifischen Trassierungsparameter und Einwirkungen zu berücksichtigen sind.
- (8) Für den Fall von seltenen Einwirkungen und Einwirkungskombinationen ist es möglich, die erforderliche Lagesicherheit über zusätzliche Haltevorrichtungen, die bei Normalbetrieb gemäß /MSB AG-FW BEM/ aus dem Betrieb nicht beansprucht werden (d.h. inaktiv sind), zu gewährleisten.

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- (9) Durch sachgerechte Wahl der Materialien ist der Verschleiß/die Abnutzung bei den beweglichen Fahrweglagern zu minimieren.
- (10) Mängel, Schädigungen sowie der Verschleiß an Lagern sollen visuell von außen, ohne Öffnen von Verkleidungen erkennbar und diagnostizierbar sein (z.B. Automatisierung).
- (11) Die Fahrweglager sind so auszubilden, dass im Falle von Bauwerkssetzungen die Fahrwegüberbauten mit möglichst geringem Aufwand und in möglichst kurzer Zeit nachjustiert werden können. Die Nachjustierbarkeitsmaße sind projektspezifisch festzulegen. Bei der Wahl der Abstufung der Justageschritte sind die zulässigen Versätze zwischen den Fahrwegüberbauten nach /MSB AG-FW GEO/ zu berücksichtigen.
- Als Richtwerte können in Abhängigkeit von den Fahrwegtypen, in y- und x-Richtung Werte von ± 10 mm (ebenerdiger Fahrweg) bis ± 20 mm (aufgeständerter Fahrweg mit ca. 5 m Stützhöhe) angesetzt werden. In z-Richtung kann der Richtwert zu -20 mm angesetzt werden.*
- (12) Bei Überschreitung der zulässigen Grenzwerte der Verformungen und Versätze ist ein Ausgleich durch Nachstellen der Fahrweglager anzustreben. Ist dies nicht möglich, muss ein einfacher Austausch der Verschleißteile gewährleistet sein.
- (13) Sind Einwirkungen aus Erdbeben oder aus Anprall kreuzenden Verkehrs an den Fahrweg nicht auszuschließen, so ist eine unzulässige Verschiebung der Fahrwegüberbauten durch geeignete zusätzliche Sicherungselemente an den Fahrweglagern zu verhindern.
- (14) Die Position von beweglichen Fahrweglagern muss in x- Richtung (z.B. automatisch) prüfbar sein.
- (15) Die Unterkante der Fahrweglager soll über Oberkante Gelände liegen.
- Richtwert für den Mindestabstand Gelände zu Unterkante Lager: 20 cm*
- (16) Bei unmittelbarem Anschluss der Fahrwegüberbauten an die Fahrwegunterbauten (z.B. bei direkten Verguss von Fahrwegplatten und Fahrwegunterbauten) ist die Dauerhaftigkeit und Sicherheit durch eine robuste und fehlertolerante Konstruktion zu gewährleisten.
- (17) Zur Durchführung von Lagerinstandsetzungen sollen die Fahrwegüberbauten nicht mehr als 5 mm angehoben werden. Der Ansatzort von Pressen zum Anheben der Fahrwegüberbauten ist zu definieren und am Träger zu kennzeichnen.
- (18) Sekundärmaßnahmen bei der Instandhaltung von Fahrweglagern wie z.B. Wicklungsdemontage sollen vermieden werden.
- (19) Die Instandhaltung (Inspektion und ggf. der Tausch von Verschleißteilen) muss bei aufgeständerten Fahrwegen von den Fahrwegüberbauten aus möglich sein (Sonderfahrzeug).

10.2.3 Nachweisführung

Es sind die in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs zu beachten.

Besonders zu beachten sind dabei nachfolgende Anforderungen:

- (1) Die bei der Dimensionierung der Fahrwegüber- und Fahrwegunterbauten angenommenen Reibbeiwerte der beweglichen Fahrweglager sind mit Angabe ihrer Abhängigkeiten und Grenzwerte anzugeben.
- (2) Die angenommenen Reibbeiwerte der Fahrweglager sind nachzuweisen. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Lager ist bei der theoretischen Abschätzung der Abnutzung der Fahrweglager (Gebrauchstauglichkeitsnachweis) zu berücksichtigen.

10.2.4 Handhabung, Transport und Montage

- (1) Es wird empfohlen, die Fahrweglager diskret gelagerter Fahrwegträger werkseitig an den Fahrwegüberbauten komplett zu montieren und die Verankerung der Lager im Rahmen der Feinpositionierung der Fahrwegüberbauten in den dafür vorzusehenden Aussparungen der Fahrwegunterbauten zu vergießen.
- (2) Die Lager sind beim Transport der Fahrwegüberbauten vor Beschädigungen zu schützen.
- (3) Es ist eine Montageanweisung für die Befestigung der Fahrweglager an den Fahrwegüber- und Fahrwegunterbauten zu erstellen.

10.3 Erdung / Blitzschutz

10.3.1 Allgemeines

Zur Gewährleistung eines störungsfreien und zuverlässigen Betriebes sind wirksame Erdungs- und Potenzialausgleichsanlagen vorzusehen.

Die Ableitung von aus Blitzeinwirkung auf das Fahrzeug resultierenden Überspannungen wird über die Funktionsebenen des Fahrweges vorgenommen.

Neben den allgemeinen Vorschriften zur Auslegung von Erdungs- und Blitzschutzanlagen der DIN VDE 0100, DIN 18014, DIN VDE 0101 und DIN VDE 0185 sind nachfolgende Anforderungen zu beachten.

10.3.2 Funktionale Anforderungen

- (1) Zum Schutz von Personen und gegen die Auswirkungen elektrostatischer Aufladungen sowie im Hinblick auf die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) sind die elektrischen Einwirkungen aus:
 - Blitzeinschlägen,
 - Potentialunterschieden und
 - systembedingten Erdungs- und Fehlerströmen aller Bauteile und Baugruppen des Fahrweges über eine Erdungs- und Blitzschutzanlage der Fahrwegüber- und Fahrwegunterbauten in das Erdreich abzuleiten. Dabei sind alle elektrisch leitenden Bauteile und Baugruppen des Fahrweges mit einzubeziehen.
- (2) Sämtliche elektrische Verbindungen sind so auszuführen, dass sie den spezifizierten Beanspruchungen bei den projektspezifischen Umweltbedingungen während der gesamten Nutzungsdauer zuverlässig standhalten.
- (3) Für die Schnittstelle Fahrweg/Fahrzeug ist der Fahrweg so auszuführen, dass über die Funktionsebenen des Fahrweges:
 - die Erdung des Fahrzeugs im abgesetzten Zustand
 - die Ableitung von aus Blitzeinwirkung auf das Fahrzeug resultierenden Überspannungen sichergestellt ist.

10.3.3 Konstruktive Anforderungen

- (1) Als Fangeinrichtung des Blitzschutzes müssen die an den Kragarmen der Fahrwegüberbauten befestigten Seitenführschiene und ggf. vorhandenen metallischen Gleitleisten in das Blitzschutzsystem einbezogen werden.
- (2) Fahrwegausrüstung, für welche gemäß geltenden Normen Erdungs- und Blitzschutzanschlüsse vorzusehen ist, soll in das Blitzschutzsystem der Fahrwegüberbauten integriert werden. Das Erdungskabel der Motorwicklung ist am Trägeranfang und –ende und auf beiden Seiten des Fahrwegträgers in das Erdungs- und Blitzschutzsystem zu integrieren. Für Fahrwegträger Typ III sollten die Abstände zwischen zwei Anschlusspunkten in Fahrweglängsrichtung 30 m nicht überschreiten. *Hinweis: Entsprechende Anschlusspunkte an das Erdungs-/ Blitzschutzsystem sind projektspezifisch bereits bei der Trägerkonstruktion zu berücksichtigen.*
- (3) Das Erdungs-/ Blitzschutzsystem der Fahrwegüberbauten ist mit dem Erdungs-/ Blitzschutzsystem der Fahrwegunterbauten zu verbinden. Hierfür sind an jedem Stützenort die Erdungsleiter der Fahrwegüber- und Fahrwegunterbauten an außenliegende Anschlussstellen herauszuführen, so dass eine elektrisch leitende Verbindung hergestellt werden kann. Für Fahrwegträger-Typ III ist dies an jeder ersten und letzten Stützscheibe vorzusehen.

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- (4) Für Prüf- und Messaufgaben, aber auch für in das Erdungssystem einbezogene externe Einrichtungen, die in das Erdungssystem einzubeziehen sind, sind im unteren Bereich der Stützen Anschlussstellen an das Erdungs-/ Blitzschutzsystem vorzusehen. Genaue Lage und Anzahl dieser Anschlusspunkte sind projektspezifisch festzulegen.
- (5) Die Bewehrungsstähle mit der Funktion der Ableitung von Blitzströmen sind in den Bewehrungsplänen zu kennzeichnen.
- (6) Die Bewehrungsstähle mit der Funktion der Ableitung von Blitzströmen sind entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik miteinander dauerhaft und elektrisch leitend zu verbinden.
- (7) Die in /MSB AG-GESAMTSYS/ und /MSB AG-FW GEO/ definierten Freiräume sind zu berücksichtigen.
- (8) Die außen liegenden Anschluss- und/oder Verbindungsstellen müssen ohne Demontage von Verkleidungen visuell inspizierbar sein (z.B. mit Hilfe automatischer Bildverarbeitung).
- (9) Sämtliche elektrische Verbindungen sind so auszuführen, dass sie den spezifizierten Beanspruchungen bei den projektspezifischen Umweltbedingungen während der gesamten Nutzungsdauer zuverlässig standhalten.
- (10) Bei der Dimensionierung ist ein ausreichender mechanischer Schutz der außenliegenden elektrischen Verbindungsleiter sicher zu stellen.

10.3.4 Nachweisführung

Es sind die in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs zu beachten.

Besonders zu beachten sind dabei nachfolgende Anforderungen:

- (1) Die Auslegung des Erdungs- und Blitzschutzsystems ist dem Stand der Technik entsprechend sachgerecht durchzuführen und zu dokumentieren (Dimensionierung und Ausführung / Konstruktion).
- (2) Die Eignung der geplanten Maßnahmen ist durch die zuständige Aufsichtsbehörde und ggf. deren Sachverständige prüfen zu lassen.
- (3) Für die Ausführungsplanung ist der Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem zu erbringen.
- (4) Nach Fertigstellung des Fahrwegs sind der Erdungswiderstand der Fahrwegunterbauten (Fundament-erder) und der Durchgangswiderstand zwischen Fahrwegüberbau- und Fahrwegunterbau stichprobenartig und in Abstimmung mit der Aufsichtsbehörde zu messen und zu protokollieren.

10.3.5 Handhabung, Transport und Montage

- (1) Vor Ort sind die elektrischen Verbindungen zwischen den Fahrwegüberbauten und zwischen den Fahrwegunterbauten herzustellen.
- (2) Die Zugänglichkeit der Anschlussstellen ist bei der konstruktiven Auslegung zu berücksichtigen.
- (3) Es wird empfohlen, vorkonfektionierte Verbindungsleitungen zu verwenden.

10.4 Trägerspaltabdeckungen

10.4.1 Allgemeines

Die Querspalte zwischen aufeinander folgenden Fahrwegträgern sind gemäß Kapitel 7.3 (9) zu schließen, da diese Spalte zu unzulässigen aerodynamischen Belastungen für das Fahrzeug (Druckschwankungen im Unterbugbereich) führen können.

Nachfolgend werden die systemtechnischen Anforderungen an eine hierfür erforderliche Trägerspaltabdeckung spezifiziert.

10.4.2 Funktionale Anforderungen

- (1) Die Druckschwankungen zwischen Fahrwegoberseite und Fahrzeugboden bei Überfahrt von Trägerspalten mit dem Fahrzeug sind zu reduzieren/verhindern.

10.4.3 Konstruktive Anforderungen

Die konstruktiven Anforderungen an Trägerspaltabdeckungen sind:

- (1) Sachgerechte Wahl des Materials und der Verbindungen;
- (2) Sachgerechte Wahl des Korrosionsschutzes;
- (3) Berücksichtigung der Bewegungen des Fahrweges (Temperatur und Unterbautenverformungen);
- (4) Robuste und fehlertolerante Konstruktion aller Bauteile und Baugruppen;
- (5) Minimierung des Instandhaltungsaufwandes;
- (6) Optimierung der Inspizierbarkeit;
- (7) Minimierung möglicher negativer Auswirkungen auf Aerodynamik und Schall;
- (8) Berücksichtigung von Schwingungen des Fahrwegs;
- (9) Berücksichtigung möglicher mechanischer und funktionaler Rückwirkungen auf den Fahrweg;
- (10) Mögliche Einbauräume sind bauartspezifisch festzulegen;
- (11) Ausschluss von Freiraumverletzungen infolge von Bauteilausfällen;
- (12) Minimierung von Niederschlagsansammlungen;
- (13) Berücksichtigung von aerodynamischen Einwirkungen aus der Fahrzeugüberfahrt (Druck/Sog);
- (15) die Oberseite der Fahrwegüberbauten soll eben ausgeführt werden.

10.4.4 Nachweisführung

Es sind die in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs zu beachten.

10.4.5 Handhabung, Transport und Montage

Bei besonderen Anforderungen an die Montage und Handhabung sind diese im Rahmen einer Montage- und Abnahmevorschrift festzulegen.

11 Sonstige Anbauten

11.1 Allgemeines

Unter der Bezeichnung "Sonstige Anbauten" werden alle zusätzlichen Baugruppen/Bauteile zusammengefasst, die an den Fahrwegüberbauten und/oder Fahrwegunterbauten befestigt werden und nicht bereits in den vorigen Kapiteln der Fahrwegausrüstung behandelt wurden.

Beispiele dieser sonstigen Anbauten sind:

- (1) *Vorrichtungen zur Instandhaltung (z.B. Steigleitern und Schutzgeländer);*
- (2) *Temporäre Anbauten zur Erprobung neuer Baugruppen/Bauteile;*
- (3) *Vorrichtungen zur Evakuierung von Fahrgästen.*

11.2 Funktionale Anforderungen

- (1) Die Anbauten müssen so beschaffen sein, dass sie allen Beanspruchungen bei den projektspezifischen Betriebs- und Umweltbedingungen während der geforderten Nutzungsdauer zuverlässig standhalten.
- (2) Die Anbauten müssen so beschaffen sein, dass sie keine unzulässigen Rückwirkungen auf den Betrieb haben.
- (3) Die spezifischen funktionalen Anforderungen an die Baugruppen und Bauteile der sonstigen Anbauten sind im Einzelnen zu definieren.

11.3 Konstruktive Auslegung

Die konstruktive Auslegung der Anbauten ist abhängig von den spezifischen Erfordernissen unter Berücksichtigung nachfolgender allgemeiner Gesichtspunkte zu gestalten:

- (1) Sachgerechte Wahl des Materials und der Verbindungen;
- (2) Sachgerechte Wahl des Korrosionsschutzes;
- (3) Robuste und fehlertolerante Konstruktion;
- (4) Minimierung des Instandhaltungsaufwandes;
- (5) Minimierung möglicher negativer Auswirkungen auf Aerodynamik und Schall;
- (6) Berücksichtigung von Schwingungen des Fahrwegs infolge von dynamischen Lastenwirkungen aus dem Betrieb und der Umwelt;
- (7) Berücksichtigung möglicher mechanischer und funktionaler Rückwirkungen auf den Fahrweg;
- (8) Berücksichtigung von möglichen plastischen und elastischen Verformungen des Fahrwegs;
- (9) Berücksichtigung möglicher funktionaler Rückwirkungen auf das Gesamtsystem (z.B. Funksystem);
- (10) mögliche Einbauräume, Geometrie und zulässigen Toleranzen im Bereich des Fahrwegs sind projektspezifisch festzulegen;
- (11) Freiraumverletzungen infolge von Bauteilausfällen sind konstruktiv auszuschließen.

11.4 Nachweisführung

Es sind allgemein die in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs zu beachten.

Besonders zu beachten sind dabei nachfolgende Anforderungen:

- (1) Für alle Konstruktionen muss der Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem erbracht werden.
- (2) Abhängig von der Art und Konstruktion der sonstigen Anbauten sind ggf. weitere Anforderungen an die Nachweisführung zu berücksichtigen.
- (3) Die Lastannahmen und die Gebrauchstauglichkeit sind durch Messungen sowohl in der Entwicklung an Prototypen als auch bei der Inbetriebnahme am realisierten System nachzuweisen.

11.5 Handhabung, Transport und Montage

- (1) Die sonstigen Anbauten sind sachgerecht zu handhaben und zu montieren.
- (2) Bei besonderen Anforderungen an die Montage und Handhabung sind diese im Rahmen einer Montage- und Abnahmevorschrift festzulegen.

12 Spurwechseleinrichtungen

12.1 Allgemeines

Die möglichen Bauarten/Typen von Spurwechseleinrichtungen sind in Abbildung 7 zusammengestellt.

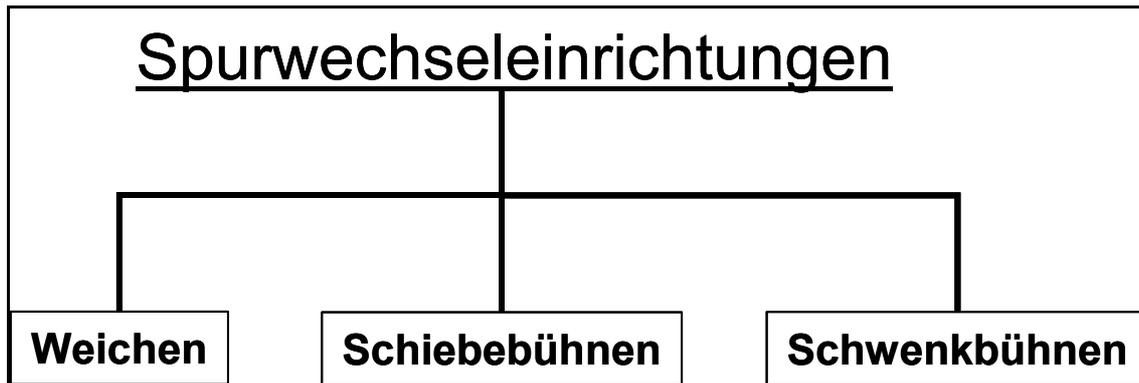


Abbildung 7: Bauarten/Typen von Spurwechseleinrichtungen

Der Einsatz der einzelnen Typen von Spurwechseleinrichtungen ist abhängig von den betrieblichen Anforderungen.

Diese lassen sich in

- (1) Spurwechseleinrichtungen, die keine Fahrtunterbrechung erfordern (Weichen und Überleitverbindungen als Kombinationen von Weichen) und
- (2) Spurwechseleinrichtungen, die eine Fahrtunterbrechung erfordern (Schiebebühnen, Schwenkbühnen),

unterteilen.

Abhängig von der Geometrie (Biegelinie) können Weichen in Abbiegestellung mit verschiedenen Geschwindigkeiten befahren werden (übliche Einteilung: Langsamfahrweiche und Schnellfahrweiche, siehe /MSB AG-FW TRAS/).

Durch Kombination von Weichen können Überleitverbindungen, die den Wechsel auf eine parallel verlaufende Fahrspur ermöglichen, realisiert werden (siehe /MSB AG-FW TRAS/).

Die Spurwechseleinrichtungen setzen sich in der Regel aus folgenden Hauptbaugruppen zusammen:

- Fahrwegüberbau (z.B. Biegeträger mit Fahrquerträger und Widerlager);
- Stellelemente (i.d.R. elektromechanische Antriebe);
- Verriegelungseinrichtungen;
- Dehnpaltüberbrückungen;
- Sensorik und Steuerung;
- Energieversorgung;
- Schalthäuser;
- Fahrwegausrüstung.

12.2 Funktionale Anforderungen

Im Hinblick auf die betriebliche Sicherheit (Einbindung in die Betriebsleittechnik) und die Verfügbarkeit sind nachfolgende funktionale Anforderungen zu berücksichtigen:

- (1) Die Spurwechseleinrichtungen müssen einen sicheren, zuverlässigen Fahrspurwechsel für Fahrzeuge und Sonderfahrzeuge ermöglichen.
- (2) *Die Information über den Status „Spurwechseleinrichtung sicher befahrbar“ wird von der Betriebsleittechnik BLT zur Prüfung benötigt.*

Dazu muss die Spurwechseleinrichtung für die BLT die geforderten Signale bereitstellen.

- (3) Nach Erreichen einer sicheren Endlage muss die Spurwechseleinrichtung unabhängig von Ausfällen in der Sensorik, Überwachung oder Energieversorgung ihre sichere Endlage beibehalten.
- (4) Es muss durch die Konstruktion der Spurwechseleinrichtung sichergestellt werden, dass ein Verlassen der gesicherten Endlage ohne Freigabe durch die BLT nicht möglich ist.
- (5) Der Ausfall einer einzelnen elektrischen, elektronischen oder elektromechanischen Baugruppe in Stell- und Verriegelungseinrichtungen, Steuerung, Überwachung bzw. Stromversorgung muss ohne Auswirkung auf die Verstellbarkeit und die richtige Meldung über den Zustand (sichere Endlage) und die Lage der Spurwechseleinrichtung (z.B. Geradeausstellung) an die BLT bleiben.
- (6) Auch bei Ausfall einer einzelnen mechanischen Baugruppe muss die richtige Meldung über den Zustand (sichere Endlage) und die Lage der Spurwechseleinrichtung (z.B. Geradeausstellung) an die BLT erfolgen.
- (7) Eine Diagnoseeinrichtung zur Online-Diagnose ist zu integrieren.
- (8) Eine Einrichtung zur Vor-Ort-Verstellung der Spurwechseleinrichtungen ist vorzusehen (Ortsstellbetrieb).

12.3 Konstruktive Anforderungen

- (1) Der Austausch der Konstruktion ist bereits bei der Planung zu berücksichtigen, wenn die Nutzungsdauer der Spurwechseleinrichtung nicht der Nutzungsdauer der Strecke entspricht, .
- (2) Der Zeitaufwand für den Tausch von Baugruppen/Bauteilen der Spurwechseleinrichtung muss den betrieblichen Randbedingungen entsprechen. Festlegungen hierzu müssen projektspezifisch erfolgen.
- (3) Bei der Dimensionierung der Antriebs Elemente der Spurwechseleinrichtungen sind die projektspezifisch festzulegenden Verstellzeiten zu berücksichtigen.
- (4) Durch die Steuerung und Überwachung ist auszuschließen, dass infolge des Fehlverhaltens einzelner Stellantriebe die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Spurwechseleinrichtungen oder seiner Bauteile und Baugruppen unzulässig beeinträchtigt werden (z.B. durch eine Gleichlaufüberwachung). Die Einwirkungen aus dem Fehlverhalten sind in die Nachweisführung der Spurwechseleinrichtungen aufzunehmen.
- (5) Die Einrichtungen zum Verstellen und Verriegeln der Spurwechseleinrichtungen sind mit robusten, möglichst wartungsarmen und fehlertoleranten Baugruppen auszuführen.
- (6) Eine unterbrechungsfreie Stromversorgung ist für die Sicherung der Spurwechseleinrichtungen zu gewährleisten.
- (7) Alle Baugruppen/-teile sollen so ausgebildet/integriert werden, dass der Instandhaltungsaufwand minimiert wird.

Ausführungsgrundlage**Fahrweg**

-
- (8) Zur Erreichung hoher Verfügbarkeit der Spurwechseleinrichtungen ist funktionale Redundanz der Antriebe zu realisieren.
 - (9) Die Fahrwegunterbauten von ebenerdigen Spurwechseleinrichtungen bestehen aus Gründung mit Elementen zur Auflagerung und Verriegelung der Fahrquerträger.
 - (10) Die Fahrwegunterbauten von aufgeständerten Spurwechseleinrichtungen bestehen aus Gründung, Stützen und Stützenkopfplatten mit Elementen zur Auflagerung und Verriegelung der Fahrquerträger.
 - (11) Das statische System der Spurwechseleinrichtungen ist in Abhängigkeit von den statischen und systemtechnischen Anforderungen (z.B. Biegelinie) zu definieren. Die Festlegung des statischen Systems bedarf eines Nachweises der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem.
 - (12) Die trassierungstechnischen Anforderungen an Spurwechseleinrichtungen sind in /MSB AG-FW TRAS/ festgelegt.
 - (13) Die Anforderungen an die Geometrie der Funktionsebenen sind in /MSB AG-FW GEO/ festgelegt.
 - (14) Auflagerungen sind zur Abtragung der Auflagerkräfte mit Halte-/Abhebesicherungen und Verriegelungen auszurüsten, welche die Spurwechseleinrichtung unter Berücksichtigung aller Einwirkungen aus Betrieb und Umwelt zuverlässig in der geforderten Lage halten.
 - (15) Als Zwischenelemente zwischen den beweglichen Fahrwegüberbauten der Spurwechseleinrichtungen und den Fahrwegüberbauten des anschließenden Fahrweges bzw. dem beweglichen Ende einer anschließenden Spurwechseleinrichtung sollen kurze Fahrwegelemente (Widerlager; $L \geq 1,032$ m) verwendet werden. In diese Widerlager sind die Baugruppen zur Verriegelung und ggf. zur Spaltüberbrückung zu integrieren.
 - (16) Für die Baugruppen und Bauteile der Spurwechseleinrichtungen sind möglichst robuste Produkte zu verwenden.
 - (17) Zur Gewährleistung eines störungsfreien Winterbetriebs sind ggf. schnee- und eisempfindliche Stellrichtungen zu beheizen und gegen Schneeansammlung und -verdichtung zu schützen.
 - (18) Niederschlagswasser ist generell so abzuführen, dass eine Vereisung zwischen sich bewegenden Teilen ausgeschlossen werden kann.
 - (19) Die Struktur der Steuerung der Spurwechseleinrichtung und die Struktur der Schnittstellen zur Sicherung der Spurwechseleinrichtungen sind projektspezifisch, in Abstimmung mit der Betriebsleittechnik zu definieren. Geeignete Einbau Räume sind vorzusehen.
 - (20) Die Ansteuerung und Überwachung der Stell- und Verriegelungseinrichtungen (zum Anfahren der von der BLT vorgegebenen Stellposition) erfolgt in der Regel nach Veranlassung durch die BLT. Eine Einrichtung zum manuellen Verstellen der Spurwechseleinrichtungen ist vorzusehen.
 - (21) Für die Steuerungs-, Sicherungs- und Stromversorgungseinrichtungen sind (möglichst standardisierte) Gebäude (ggf. Räumlichkeiten in bestehenden Gebäuden) in direkter Nähe der Spurwechseleinrichtungen vorzusehen.
Diese Gebäude zählen zur Streckenperipherie.
 - (22) Für die Rückführung der Kabel der Langstatorwicklung vom beweglichen zum festen Weichenende sind geeignete Aufnahmevorrichtungen vorzusehen.
 - (23) Es wird empfohlen für Spurwechseleinrichtungen eine Beleuchtungsmöglichkeit vorzusehen. Bei aufgeständerten Spurwechseleinrichtungen kann die Montage einer Arbeitsfläche (z.B. Gitterrost) unter den Durchlaufträgern sinnvoll sein. Beides dient der Beschleunigung von Instandhaltungsmaßnahmen während der Betriebspausen.
 - (24) Die Kompatibilität der am beweglichen Weichenende entstehenden Querspalte (zum angrenzenden Fahrweg) mit den Anforderungen des Gesamtsystems ist nachzuweisen.
-

12.4 Nachweisführung

Es sind allgemein die in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs zu beachten.

Besonders zu beachten sind dabei nachfolgende Anforderungen:

- (1) Besonderes Augenmerk bei der Erprobung und Inbetriebnahme von Spurwechseinrichtungen hat dem Nachweis der Einbindung der Spurwechseinrichtungen in die BLT zu gelten.
- (2) Die Einhaltung der geforderten Stellzeiten einer jeden eingebauten Spurwechseinrichtung ist nachzuweisen.
- (3) Die der Dimensionierung zu Grunde zu legende Verstellhäufigkeit ist projektspezifisch festzulegen.
- (4) Vorgaben für die geforderte Zuverlässigkeit der Baugruppen/Bauteile (z.B. MTBF-Werte) haben projektspezifisch zu erfolgen.
- (5) Die zum Betrieb der Spurwechseinrichtungen erforderliche elektrische Leistung ist projektspezifisch für die Dimensionierung der Energieversorgung zu ermitteln.
- (6) Bei Spurwechseinrichtungen ist der Nachweis der korrekten Lage der Magnetschnellbahnspezifischen Fahrwegausrüstung für jeden möglichen zu betrachtenden Betriebszustand (z.B. Abbiege- und Geradeausstellungen bei Weichen) zu erbringen.

12.5 Handhabung, Transport und Montage

- (1) Für den sachgerechten Transport und die fehlerfreie Montage der Spurwechseinrichtungen sind jeweils Anweisungen zu erstellen.

13 Sonderbauwerke

13.1 Tunnel

13.1.1 Allgemeines

Die Anforderungen an Tunnel sind in /MSB AG-GESAMTSYS/ zu entnehmen.

13.2 Primärtragwerke

13.2.1 Allgemeines

Unter dem Begriff "Primärtragwerk" werden alle Bauwerke zusammengefasst, die als Zwischenkonstruktion anstelle der üblichen Fahrwegunterbauten die Fahrwegüberbauten aufnehmen und deren Lasten über eine eigene Gründung in den Baugrund ableiten. In der Regel werden Primärtragwerke eingesetzt, um große Spannweiten zu überbrücken (z.B. Talbrücken).

13.2.2 Funktionale Anforderungen

- (1) Die funktionalen Anforderungen an die Primärtragwerke entsprechen den Anforderungen an die Fahrwegunterbauten (siehe Kapitel 8).
- (2) Darüber hinaus kann die Berücksichtigung orts- und/oder projektspezifischer Anforderungen zur Aufnahme einzelner Baugruppen der Streckenperipherie erforderlich sein.

13.2.3 Konstruktive Anforderungen

- (1) Die erforderliche Aufnahme von Elementen/Baugruppen der sonstigen Fahrwegausrüstung oder Streckenperipherie ist unter Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem projektspezifisch festzulegen.
- (2) Die Notwendigkeit, Begleitstege zur Evakuierung von Personen und sonstige Rettungseinrichtungen vorzusehen, ist individuell in Abhängigkeit vom projektspezifischen Sicherheits- und Betriebskonzept festzulegen.
- (3) Bei Primärtragwerken in Zwei- oder Mehrfeldbauweise soll das Festlager im mittleren Primärtragwerkbereich angeordnet werden.
- (4) Bei großen Spannweiten sind die am Übergang zum anschließenden Fahrweg entstehenden Spalte durch projektspezifisch zu definierenden Maßnahmen so zu begrenzen, dass die in /MSB AG-FW BEM/ und /MSB AG-FW GEO/ angegebenen Grenzwerte nicht überschritten werden. Dabei sind im Wesentlichen die temperaturbedingten Verschiebungen und/oder Verformungen des Fahrwegs auf dem Primärtragwerk in x- und y-Richtung und die unterschiedlichen Setzungen in z-Richtung in Bezug auf den anschließenden Fahrweg zu berücksichtigen.
- (5) Die projektspezifischen Anforderungen für den Winterdienst sind einzuhalten (z.B. herabfallender Schnee bei Räumung über Kreuzungsbereichen).

13.2.4 Nachweisführung

Es sind allgemein die in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs zu beachten.

Besonders zu beachten sind dabei nachfolgende Anforderungen:

- (1) Das dynamische Verhalten des Primärtragwerkes ist nachzuweisen.
- (2) Setzungen, Dehnspalte und Neigungsänderungen am Übergang zum anschließenden Fahrweg sind nachzuweisen.

- (3) Die Beanspruchungen und die Gebrauchstauglichkeit sind durch Messungen bei der Inbetriebnahme am realisierten System nachzuweisen. Der Umfang ist mit der Aufsichtsbehörde abzustimmen.
- (4) Die zur Berechnung der aus unterschiedlichen Bauwerkstemperaturen resultierenden Abweichungen in der Geometrie der Funktionsebenen (zwischen Primärtragwerk und anschließendem Fahrweg) angesetzten theoretischen Annahmen sind messtechnisch nachzuweisen.

13.2.5 Handhabung, Transport und Montage

Für den sachgerechten Transport und die fehlerfreie Montage der einzelnen Bauteile und Baugruppen auf dem Primärtragwerk sind projektspezifische Anweisungen zu erstellen.

14 Streckenperipherie

14.1 Allgemeines

Die Streckenperipherie umfasst

- (1) *systemtechnisch erforderliche kleinere bauliche Anlagen, die im näheren Umfeld der Trasse benötigt werden (z.B. Funkmaste, Schaltstellen), und*
- (2) *sonstige erforderliche bauliche Anlagen, die in ihrer Lage dem Fahrweg folgen (z.B. Schallschutzwand, Sichtschutz, Abkommensschutz, etc.).*

Zur Streckenperipherie zählen z.B.:

- Schalthäuser des Antriebs;*
- Schalthäuser der Spurwechseleinrichtungen;*
- Funkmaste;*
- Kabelkanäle;*
- Einfriedungen;*
- Anprallschutzbauwerke;*
- Schallschutzbauwerke;*
- Sichtschutzbauwerke;*
- Stützwände, Tröge.*

14.2 Funktionale Anforderungen

Die funktionalen Anforderungen an die Anlagen der Streckenperipherie ergeben sich aus ihren Aufgaben und sind daher individuell verschieden.

Die Anlagen müssen jedoch alle so beschaffen sein, dass sie

- (1) allen Beanspruchungen bei den projektspezifischen Betriebs- und Umweltbedingungen (wie z.B. den Beanspruchungen infolge aerodynamischer Einwirkungen, Erschütterungen, Berücksichtigung des Eigenschwingungsverhaltens) zuverlässig während der geforderten Nutzungsdauer standhalten und
- (2) keine unzulässigen Rückwirkungen auf den Betrieb haben.

14.3 Konstruktive Anforderungen

- (1) Die konstruktiven Anforderungen an die Baugruppen/Bauteile der Streckenperipherie sind projektspezifisch festzulegen.
- (2) Für Bauteile der Streckenperipherie ist ein Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem zu führen.

Dies betrifft insbesondere auch die Anordnung der Bauteile und Baugruppen in der Planung.

14.4 Nachweisführung

- (1) Die Nachweise für die Anlagen der Streckenperipherie sind nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung möglicher Magnetschnellbahn-spezifischer Einwirkungen zu führen.

- (2) Dabei sind allgemein die in Kapitel 6.4 angegebenen übergeordneten Anforderungen an die Nachweisführung des Fahrwegs zu beachten.

14.5 Handhabung, Transport und Montage

- (1) Für die einzelnen Anlagen der Streckenperipherie sind, soweit in der Ausführungsplanung noch nicht festgelegt, Anweisungen für Handhabung, Transport und Montage zu erstellen. Darauf kann bei bewährten untergeordneten Bauteilen/Baugruppen verzichtet werden.

15 Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung

15.1 Allgemeines

Um die Einhaltung der Anforderungen an den Fahrweg sicherstellen zu können, ist eine umfassende Qualitätssicherung in allen Phasen von der Planung bis zur Herstellung und Nutzung des Fahrweges erforderlich.

Diese Phasen sind:

- Entwicklung;*
- Planung (Entwurfs-/Ausführungsplanung der Streckenführung und baulichen Anlagen);*
- Nachweisführung (Bemessung und Qualifikation);*
- Herstellung (Fertigung, Ausrüstung, Transport und Montage);*
- Inbetriebnahme und Probetrieb;*
- Instandhaltung (Inspektion, Wartung, Instandsetzung).*

Die Maßnahmen zur Sicherstellung der erforderlichen Qualität des Fahrweges sind in einem übergreifenden Qualitätsmanagementsystem (QS) - angelehnt an die DIN ISO 9000ff - festzulegen. Dieses System hat alle Aspekte der Qualitätssicherung zu berücksichtigen und ist durch den Lieferanten direkt nach Projektbeginn (z.B. in Form von Prüfspezifikationen, Prüfanweisungen oder Arbeitsanweisungen) mit den zuständigen Aufsichtsbehörden abzustimmen.

Der Lieferant/Hersteller muss durch Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung sicherstellen, dass

- (1) die Einhaltung der systemtechnischen und sicherheitstechnischen Anforderungen entwicklungs- und fertigungsbegleitend sichergestellt, nachgewiesen und dokumentiert wird. Ziel der Qualitätssicherung ist, die Einhaltung der Mindestanforderungen durch Prüfung der geforderten Nachweise sicherzustellen und zu dokumentieren. Dies ist die Voraussetzung für die ordnungsgemäße Integration des Teilsystems Fahrweg in das Gesamtsystem.
- (2) die entsprechende Qualitätsdokumentation für seinen Lieferanteil bereitgestellt wird.
- (3) die projektabhängigen Qualitätsrisiken analysiert werden und geeignete Maßnahmen individuell festgelegt werden.

Die Analyse sollte vor Projektbeginn und in Zusammenarbeit zwischen den Teilsystemen (Fahrweg, Fahrzeug, Antrieb/Energieversorgung und BLT), zuständiger Aufsichtsbehörde und Bauherrn erfolgen. Hierbei sind nochmals alle Schnittstellen des Teilsystems Fahrweg mit denen der anderen Teilsysteme abzugleichen.

- (4) in festzulegenden Abständen (z.B. am Ende einzelner Projektphasen) oder beim Auftreten unerwarteter Sachverhalte eine Bewertung und ggf. eine Anpassung der festgelegten Maßnahmen durchgeführt wird.
- (5) die Ergebnisse der Qualitätssicherung in geeigneter Form (Prüfberichte, Ergebnisprotokolle, etc.) dokumentiert, nachvollziehbar archiviert und für die Instandhaltung bei der späteren Nutzung in geeigneter Form bereitgestellt werden.
- (6) die Nutzung des Fahrweges in Übereinstimmung mit den projektspezifischen Anforderungen stattfinden kann.

Im Detail wird hierzu empfohlen, dass

- (1) *alle erforderlichen Anforderungen spezifiziert werden.*
- (2) *die erforderlichen Designregeln und -methoden aufgestellt und auf die Projekttechniken und -technologien abgestimmt werden.*
- (3) *Methoden, Verfahren und Werkzeuge festgelegt und eingesetzt werden, um nachzuweisen, dass alle Anforderungen verifiziert wurden (z.B. durch Analyse, Prüfung, Test, Design-Review, Audit).*
- (4) *es für jede Baugruppe/Bauteil eine festgelegte Qualifikationsanforderung gibt, die den Nachweis ermöglicht, dass die Einheit so ausgelegt und ausgeführt wurde, dass sie alle projektspezifischen Anforderungen aus Betrieb und Umwelt zuverlässig erfüllt.*
- (5) *das Design herstellbar und wiederholbar und das daraus resultierende Produkt verifizierbar und innerhalb der vorgegebenen Einsatzgrenzen einsetzbar ist.*
- (6) *angemessene Überwachungsmaßnahmen für die Beschaffung von Komponenten, Materialien, Software- und Hardwareelementen und Dienstleistungen getroffen werden.*
- (7) *Fertigung, Integration, Test und Instandhaltung nachweislich so durchgeführt werden, dass das Endprodukt der gültigen Konfiguration entspricht.*
- (8) *ein Überwachungssystem für Nichtkonformitäten eingeführt und aufrechterhalten wird, um diese systematisch zu verfolgen und ihr wiederholtes Auftreten zu verhindern.*
- (9) *Qualitätsaufzeichnungen geführt und analysiert werden, um Trends rechtzeitig für Vorbeugungs-/Korrekturmaßnahmen zu erfassen und zu berichten.*
- (10) *alle erforderlichen Prüfmittel und Werkzeuge zum Prüfen, Messen und Testen von Baugruppen/Bauteilen vorhanden sind und regelmäßig kalibriert werden, um ihre Genauigkeit sicherzustellen.*
- (11) *Verfahren und Anweisungen für Kennzeichnung, Getrennthaltung, Handhabung, Verpackung, Konservierung, Lagerung und Transport aller Baugruppen/Bauteile eingeführt werden.*

15.2 Nachweis des Fahrweges bezüglich der Kompatibilität zum Gesamtsystem

Der Nachweis der Kompatibilität der Bauteile und Baugruppen des Fahrweges mit dem Gesamtsystem ist projektspezifisch zu planen und durchzuführen.

Die Verantwortung hierfür obliegt dem Lieferanten des Fahrweges bzw. des jeweiligen Bauteils oder der jeweiligen Baugruppe.

Der Nachweis dient sowohl der Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit (Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Funktionalität) des jeweiligen Bauteils / der Baugruppe bei Verwendung innerhalb des Gesamtsystems, als auch der Sicherstellung der Funktion des Gesamtsystems bei Verwendung des jeweiligen Bauteils / der Baugruppe.

Der Nachweis der Kompatibilität mit dem Gesamtsystem beinhaltet die Prüfung der Einhaltung der systemtechnischen Mindestanforderungen

- (1) von Entwicklungs- und Konstruktionsunterlagen.
- (2) an die Trassierung (fahrdynamische Prüfung, geometrische Trassenprüfung, Prüfung der Stützenteilung und damit verbunden die magnetschnellbahn-spezifische Fahrwegausrüstung).
- (3) an projektspezifische Planungs- und Ausführungsunterlagen inkl. der geplanten Anordnung der Fahrwegausrüstung und Streckenperipherie.

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- (4) an die Herstellungs- und Montageprozesse.
- (5) an die realisierten Baugruppen und Bauteile des Fahrwegs.
- (6) an die projektspezifisch zu definierenden Messungen (z.B. Schall, Fahrkomfort, Aerodynamik, Erschütterungen, Interaktion Fahrweg/Fahrzeug).

Für die Prüfung der Einhaltung der systemtechnischen Mindestanforderungen an realisierten Baugruppen und Bauteilen des Fahrwegs sind zumindest folgende Nachweise zu erbringen:

- (7) Nachweis Qualitätssicherung im Werk (z.B. der geometrischen Kontrolle von Fahrwegträgern);
- (8) Nachweis der Durchführung der Zwischeninspektion des Fahrwegs nach der Feinpositionierung als Voraussetzung für eine Freigabe für das Befahren mit fahrweggebundenen Sonderfahrzeugen (und der anschließenden baustellenseitigen Installation der Fahrwegausrüstung);

Die Zwischeninspektion des Fahrwegs muss zumindest folgendes umfassen:

- die Feststellung positiver Ergebnisse der Güteprüfungen der Baustoffe bzw. Bauteile im Rahmen der Bauausführung;
- eine Sichtprüfung auch schwer zugänglicher Bauteile, schwerpunktmäßig die Befestigung der tragenden und lastabtragenden Bauteile und Baugruppen (z.B. Lager, Kragarm);
- die Dokumentation der Prüfung und aller festgestellten Abweichungen vom Soll-Zustand.

- (9) Nachweis der Durchführung der abschließenden systemtechnischen Inspektion des Fahrweges nach abgeschlossener Installation der Fahrwegausrüstung als Voraussetzung für eine Freigabe für das Befahren mit Fahrzeugen;

Die abschließende systemtechnische Inspektion muss zumindest folgendes umfassen:

- die Feststellung und Dokumentation der Beseitigung aller Mängel und Schäden und Abweichungen von den Planungsunterlagen;
- die geodätische dreidimensionale Erfassung der Raumkurve der Trasse mit Abweichungen gegenüber dem „Sollzustand“ (wenn nicht bereits im Anschluss an die Montage erfolgt);
- die geodätische dreidimensionale Erfassung der Lage der Fundamente und der Lageebene der Träger/Platten (wenn nicht bereits im Anschluss an die Montage erfolgt);
- den Nachweis über die Einhaltung der systemtechnischen Mindestanforderungen (gemäß /MSB AG-FW ÜBG/ und /MSB AG-FW GEO/);
- die Dokumentation der Prüfung und aller festgestellten Abweichungen vom Soll-Zustand;
- die Dokumentation der Ergebnisse einer ggf. wiederholten Überprüfung nach Abstellung von Abweichungen.

Die abschließende systemtechnische Inspektion dient unter anderem auch der Feststellung des „Nullzustandes“ (Zustand des Fahrweges vor Inbetriebnahme). Dieser Zustand ist Grundlage für die Beurteilung der Auswirkungen aller später auftretenden Änderungen.

Im Anschluss an diese Prüfung und nach der Inbetriebnahme der Fahrzeuge sind zeitnah die Referenzfahrten der automatisierten Messsysteme durchzuführen und diese den geodätischen Messdaten zuzuordnen.

Die in diesem Kapitel geforderten Maßnahmen sind aus systemtechnischer Sicht erforderlich. Sie bilden einen Teil der gesamten Abnahmeprüfung.

Im Zuge der Erstellung der Bauteile durchgeführte Überwachungen und Prüfungen können als Teil der bauaufsichtlichen Abnahme gewertet werden, wenn vorausgesetzt werden kann, dass zwischenzeitlich keine wesentlichen Veränderungen eingetreten sind.

16 Dokumentation

16.1 Allgemeines

Die Dokumentation des Fahrwegs umfasst:

- (1) technische Unterlagen der Fahrwegbauteile und -baugruppen;
- (2) Dokumentation der projektspezifischen Randbedingungen;
- (3) technische Unterlagen zur Bauausführung (inkl. QS-Dokumentation);
- (4) Unterlagen zur Fahrweginstandhaltung.

16.2 Nachweisführung der Baugruppen/Bauteile

- (1) Die Standsicherheitsnachweise (Tragsicherheitsnachweis, Werkstoffermüdungsnachweis), Gebrauchstauglichkeitsnachweis und die zugehörigen Zeichnungen sind unter Berücksichtigung der allgemein anerkannten Regeln der Technik aufzustellen. Für EDV-unterstützte Standsicherheitsnachweise gilt dabei die "Richtlinie für das Aufstellen und Prüfen EDV-unterstützter Standsicherheitsnachweise" /Ri-EDV-AP-2001/.

16.3 Projektspezifische Anforderungen

Die projektspezifischen Randbedingungen (Anforderungen und Vorgaben) für den Fahrweg sind in einer Projektspezifikation für den Fahrweg festzulegen.

Diese Spezifikation soll zumindest folgendes beinhalten:

- (1) projektspezifische Ergänzung der Ausführungsgrundlage Fahrweg;
- (2) projektspezifisches systemtechnisches Fahrwegausstattungsverzeichnis;
- (3) Instandhaltungskonzept / -programm Fahrweg mit Schnittstelle zum übergeordneten Instandhaltungskonzept / -programm des Gesamtsystems;
- (4) Definitionen zur Fahrwegausrüstung (Lage und Kodierung der Lagereferenzleisten, Lage und Anordnung der Statorpakete, Lage und Anordnung der Motorwicklung, Definition der Bereiche mit externer Bordenergieversorgung);
- (5) Definition der Halteplätze;
- (6) Erstellung eines Höchst- und Grenzgeschwindigkeitsprofils aus Fahrwegdimensionierung;
- (7) Untersuchung der Einwirkungen aus der Umwelt (z.B. von Schnee und Eis auf die minimale Gradientenhöhe und / oder Querungen von Infrastruktur).

16.4 Technischen Unterlagen zur Bauausführung

Die technischen Unterlagen zur Bauausführung sollen neben den Konstruktionsunterlagen und Nachweisen von Baugruppen/Bauteilen des Fahrweges und benachbarter Bauten (zeichnerische Darstellung des Bauteils mit entsprechender Vermaßung, Nachweis der Gebrauchstauglichkeit, Nachweis der Dauerfestigkeit, etc.) insbesondere umfassen:

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- (1) Unterlagen zu Anlagen der Streckenperipherie und streckenbegleitender Bauwerke (bezüglich der Einhaltung der systemtechnischen Anforderungen);
- (2) Unterlagen zu Übergängen zwischen Sonderbauten/Sonderkonstruktionen und dem Regelfahrweg (bezüglich der Einhaltung der systemtechnischen Anforderungen);
- (3) Unterlagen zu Schnittstellen des Fahrwegs mit Stationen und Haltestellen (zur Sicherstellung der Einhaltung der systemtechnischen Anforderungen);
- (4) Unterlagen zur Ausführung des gesamten Blitzschutz- und Erdungssystems inkl. aller unzugänglichen Leitungen und Anschlüsse innerhalb der Fahrwegüber- und Fahrwegunterbauten;
- (5) QS-Programme des Fahrwegherstellers zur Realisierung eines Fahrweges (Vorgehensweise zur Sicherstellung, dass die systemtechnischen und sicherheitstechnischen Anforderungen eingehalten werden);
- (6) Ergebnisse der Qualitätssicherung im Werk (z.B. der geometrischen Kontrolle von Fahrwegträgern im Herstellwerk);
- (7) Ergebnisse der Feinpositionierung;
- (8) Trassierung (Grundriss, Gradiente, Querneigung);
- (9) Instandhaltungsprogramme für die einzelnen Bauteile und Baugruppen des Fahrweges;
- (10) Unterlagen über Anbauten am Fahrweg im projektspezifischen systemtechnischen Fahrwegausrüstungsverzeichnis.

16.5 Systemtechnisches Fahrwegausrüstungsverzeichnis

Im Rahmen der Ausführungsplanung ist ein systemtechnisches Fahrwegausrüstungsverzeichnis zu erstellen.

Dieses Dokument soll mindestens folgende Informationen in aufsteigender Kilometrierung einer jeden Spur enthalten:

- Trassierungsdaten (Raumkurve, Radien, Halbmesser, Querneigung, Gradientenhöhe über Gelände, etc.);
- Unterbauten (mit Bauteilnummerierung, Ortsbezug zur Raumkurve, sowie Angaben zu Sonderbauwerken, Spurwechseinrichtungen und Masse-Feder-Systemen);
- Träger (mit Bauteilnummerierung, Ortsbezug zur Raumkurve, Angabe der exakten Systemlänge des Trägers und Lageranordnung);
- Statorpaketanordnung (für jeden Träger, mit Angabe der Nennspalte am Trägerübergang, Typbezeichnung der verwendeten Statorpakete und ggf. ergänzt um Modulanordnung);
- phasenbezogene Lage der Motorwicklung (in Bezug zur Nutung der Statorpakete) und Definition der Kabelein- und Ausführungen (in Bezug auf die Unterbauten);
- der fahrwegseitigen Baugruppen des Ortungssystems mit Ortsbezug zur Lage der Motorwicklung (z.B. Anordnung und Kodierung der Lagereferenzleisten);
- Halteplatzbereiche;
- Bereiche mit externer Bordenergieversorgung (mit Definition der Kabelaufführungen an den Unterbauten).

Das systemtechnische Fahrwegausstattungsverzeichnis sollte projektspezifisch um zusätzliche Angaben zur Streckenperipherie (wie z.B. Funkantennen, Kabeltrassen, Schutzbauwerke, etc.) ergänzt werden.

16.6 Unterlagen für die Instandhaltung

siehe /MSB AG-FW IH/

17 Anhang I-A Maximale Abmessungen für Fahrwegüberbauten

In den nachfolgenden Abbildungen sind maximale Abmessungen für die Fahrwegüberbauten der Regelfahrtwegtypen I, II und III angegeben. Diese Abmessungen sollen neben den Anforderungen an die Freiräume nach Abbildung 3 bei der Entwicklung neuer Fahrwegüberbauten berücksichtigt werden.

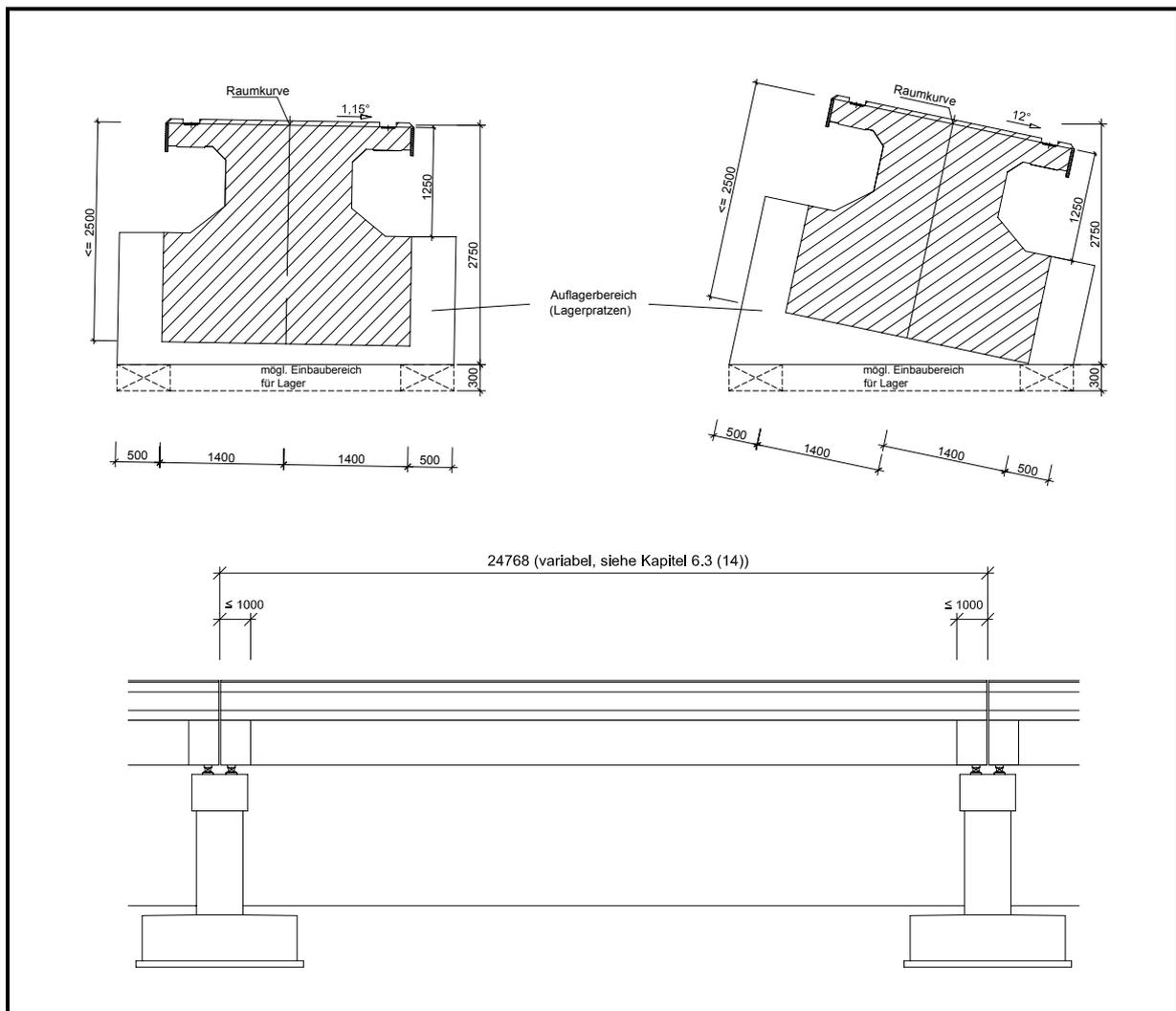


Abbildung 8: Maximale Querschnittsabmessungen für Regelfahrtwegtyp I (Beispiel)

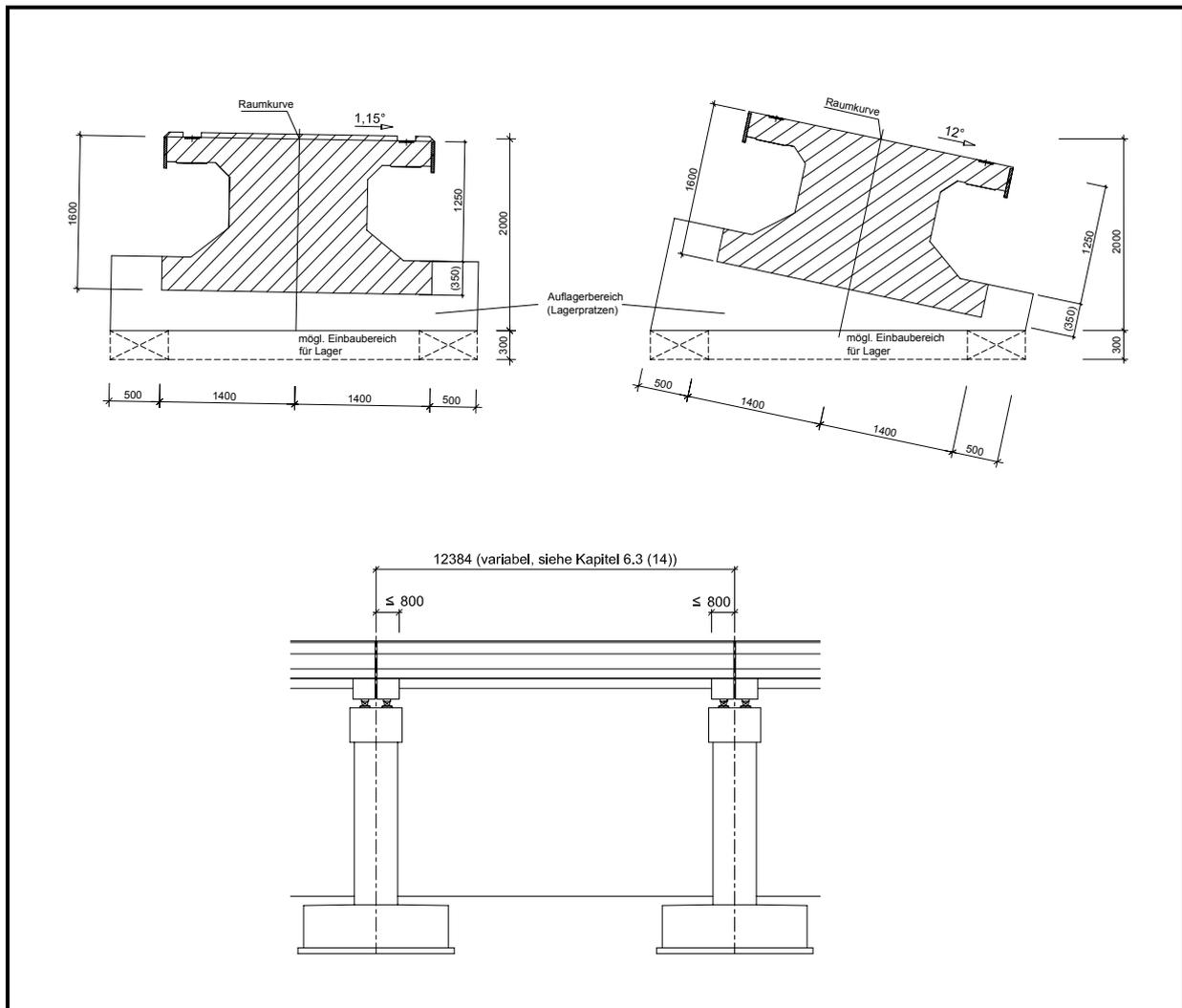


Abbildung 9: Maximale Querschnittsabmessungen für Regelfahrttyp II (Beispiel)

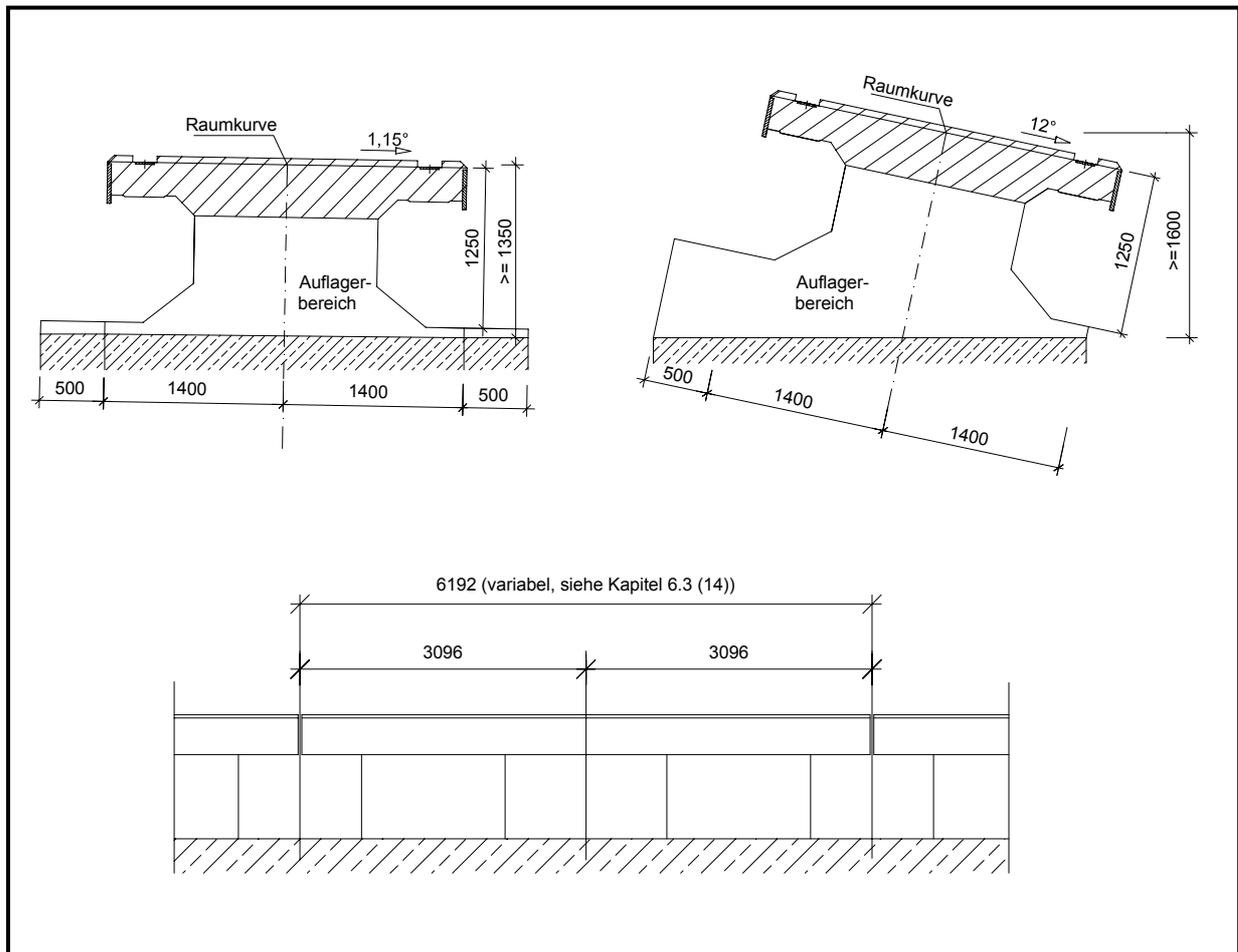


Abbildung 10: Maximale Querschnittsabmessungen für Regelfahrttyp III (Beispiel)

18 Anhang I-B Anordnung der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegaus-rüstung (informativ)

In Abbildung 11 ist beispielhaft die Anordnung der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegaus-rüstung am Fahrwegträger dargestellt.

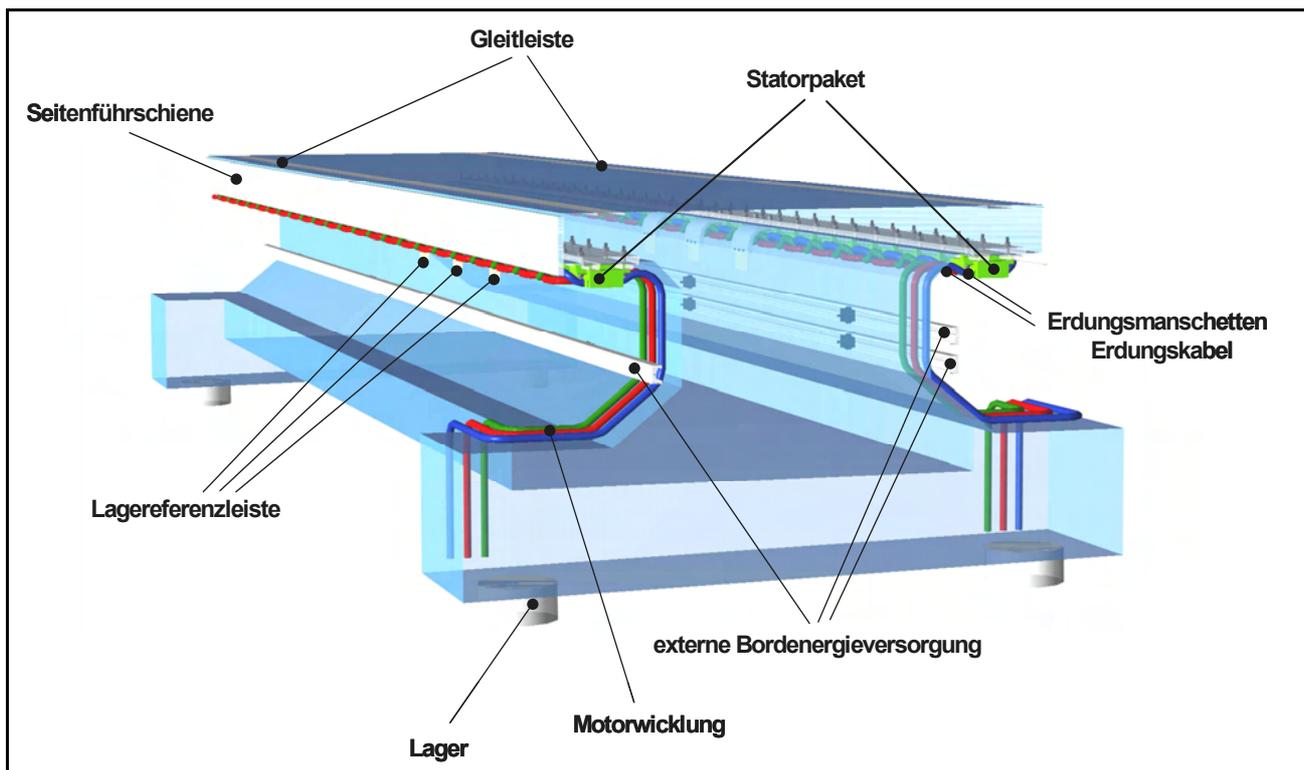


Abbildung 11: Anordnung der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegaus-rüstung am Fahrwegträger

19 Anhang I-C Statorpaket und Motorwicklung (informativ)

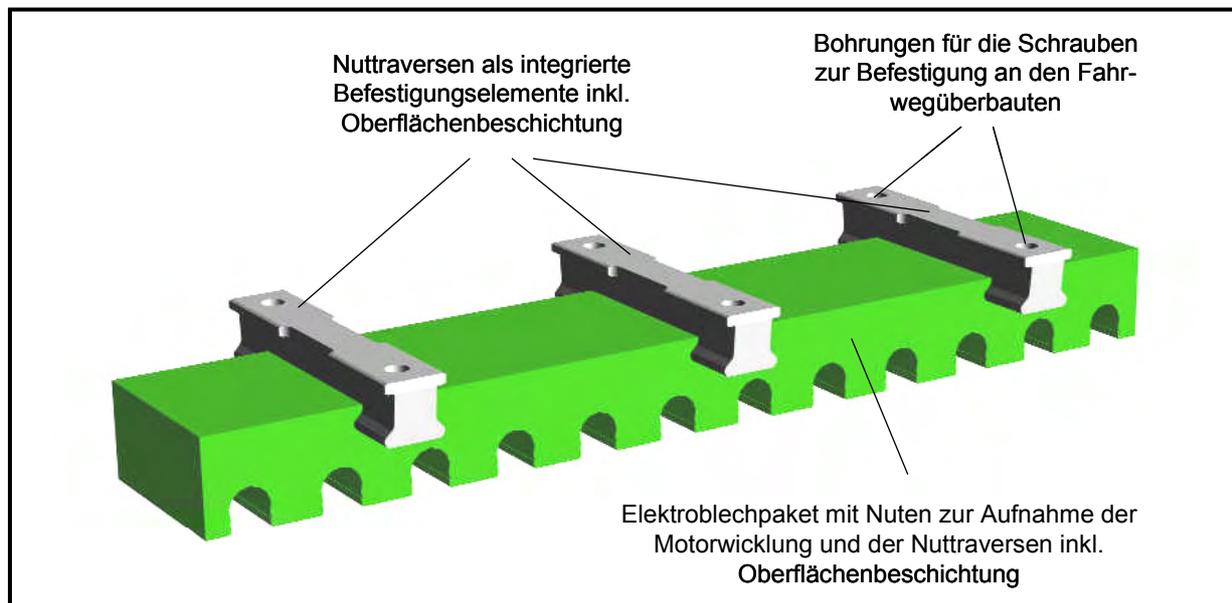


Abbildung 12: Beispiel eines ausgeführten Statorpaketes

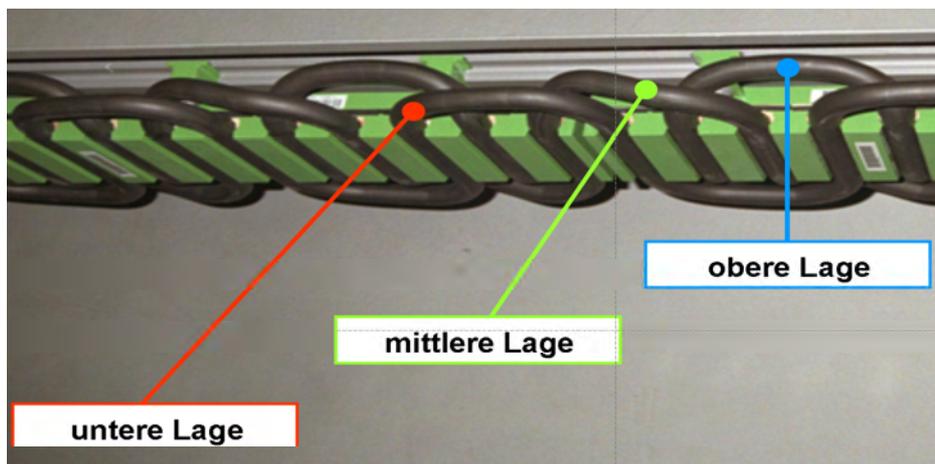


Abbildung 13: Beispiel einer 3-phasigen Motorwicklung

20 Anhang I-D Diversitäre redundante Statorpaketbefestigungen (Beispiele)

In den nachfolgenden Abbildungen sind Beispiele für ausgeführte diversitäre redundante Statorpaketbefestigungen dargestellt. Die dargestellten Lösungen (Abbildung 14 und Abbildung 15) sind bei Prototypen der Transrapid Versuchsanlage Emsland (TVE) bzw. bei der Anwendungsstrecke Shanghai angewendet worden.

Die primäre Befestigung besteht bei diesen Lösungen aus einer vorgespannten Verschraubung (Primärbefestigung). Die Redundanz besteht aus den kragarmseitigen Nuten und den statorpaketseitigen Kragarmen der Nuttraversen. Bei Ausfall von Verschraubungen setzt sich das Statorpaket auf die kragarmseitigen Nuten ab. Das Spiel zwischen den Kragarmen der Nuttraversen und den Oberflächen der trägerseitigen Befestigungen ist so groß, dass eine automatische Detektion gemäß "Ausführungsgrundlage Fahrweg Teil III" /MSB AG-FW GEO/ und "Ausführungsgrundlage Fahrweg Teil VI" /MSB AG-FW IH/ möglich ist.

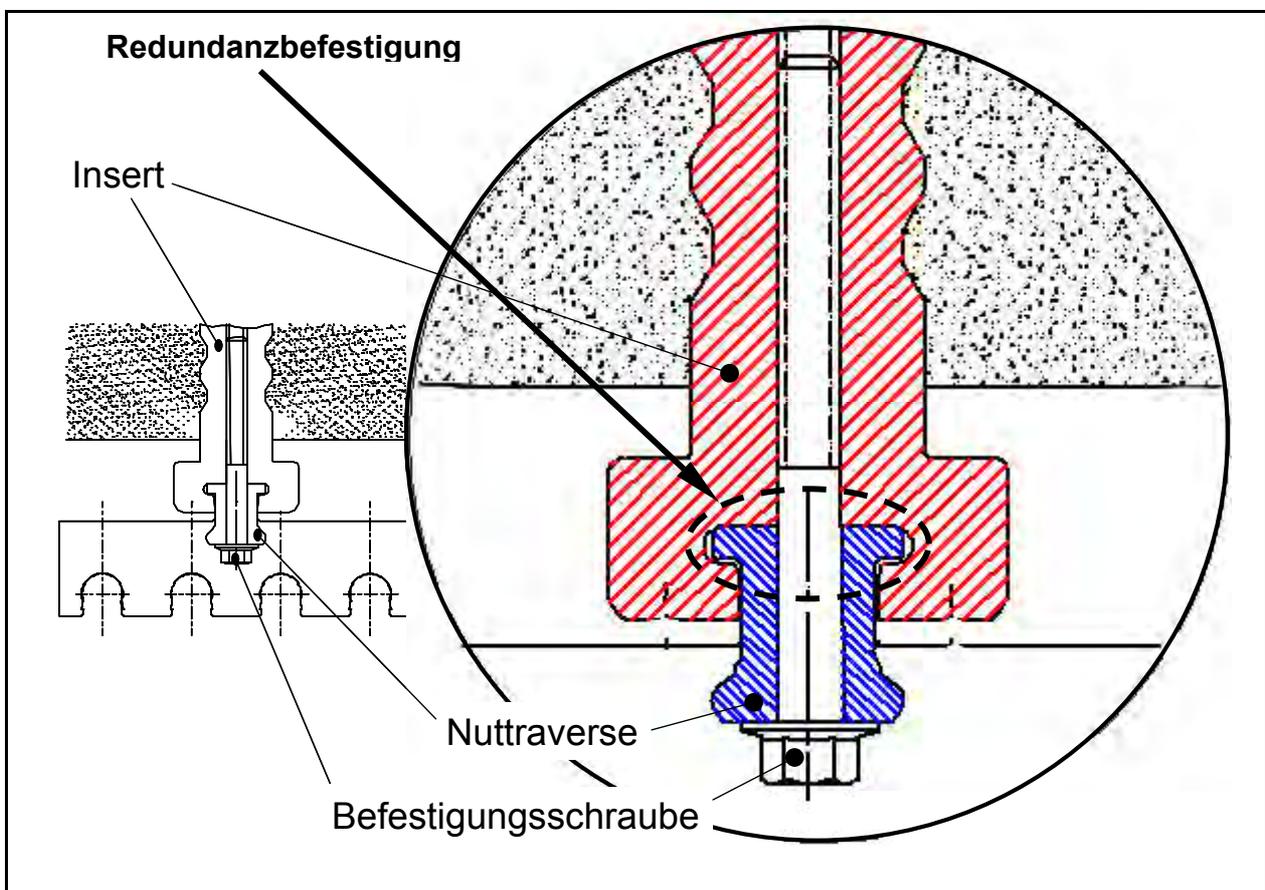


Abbildung 14: Beispiel einer diversitär redundanten Statorpaketbefestigung an einem Betonkragarm

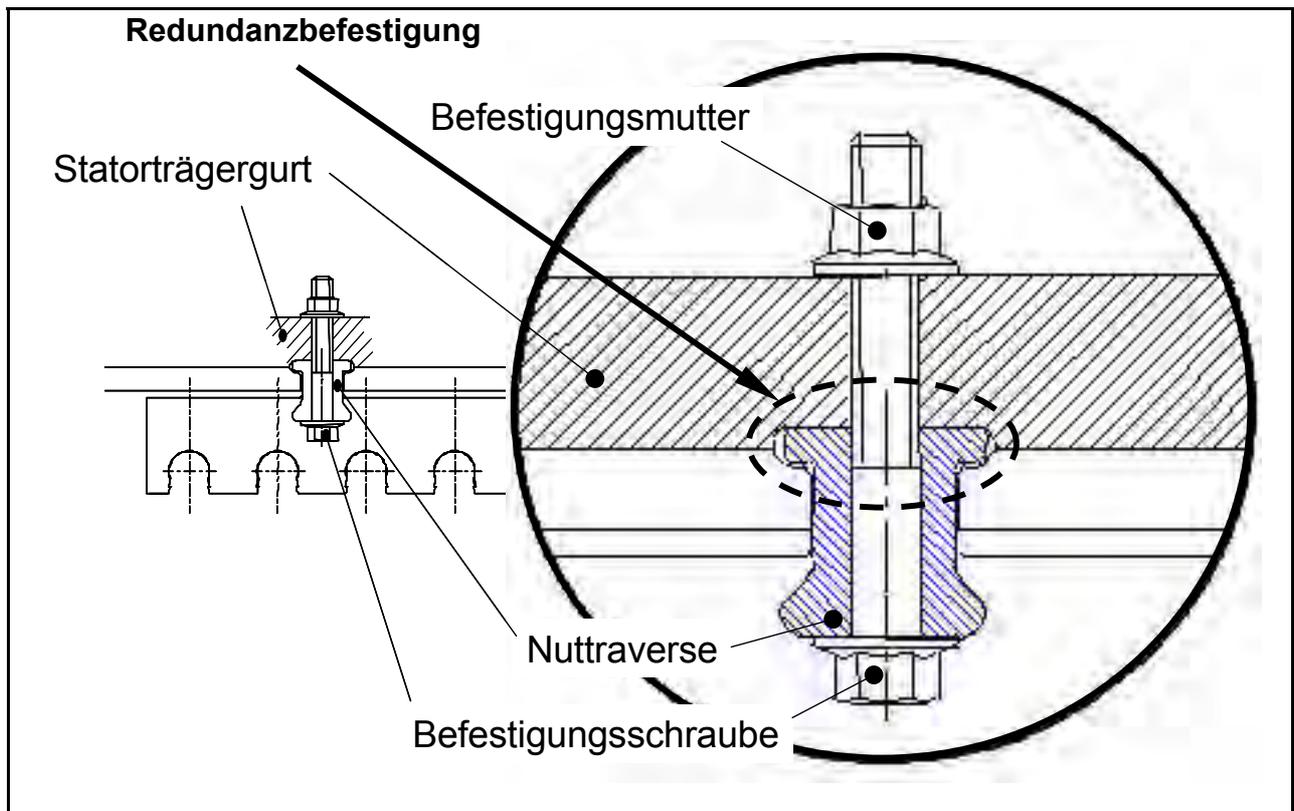


Abbildung 15: Beispiel einer diversitär redundanten Statorpaketbefestigung an einem Stahlkragarm

21 Anhang I-E Lagerungssysteme von Fahrwegüberbauten

In Abbildung 16 sind Beispiele für mögliche Lagerungssysteme von Ein- und Zweifeldträgern angegeben.

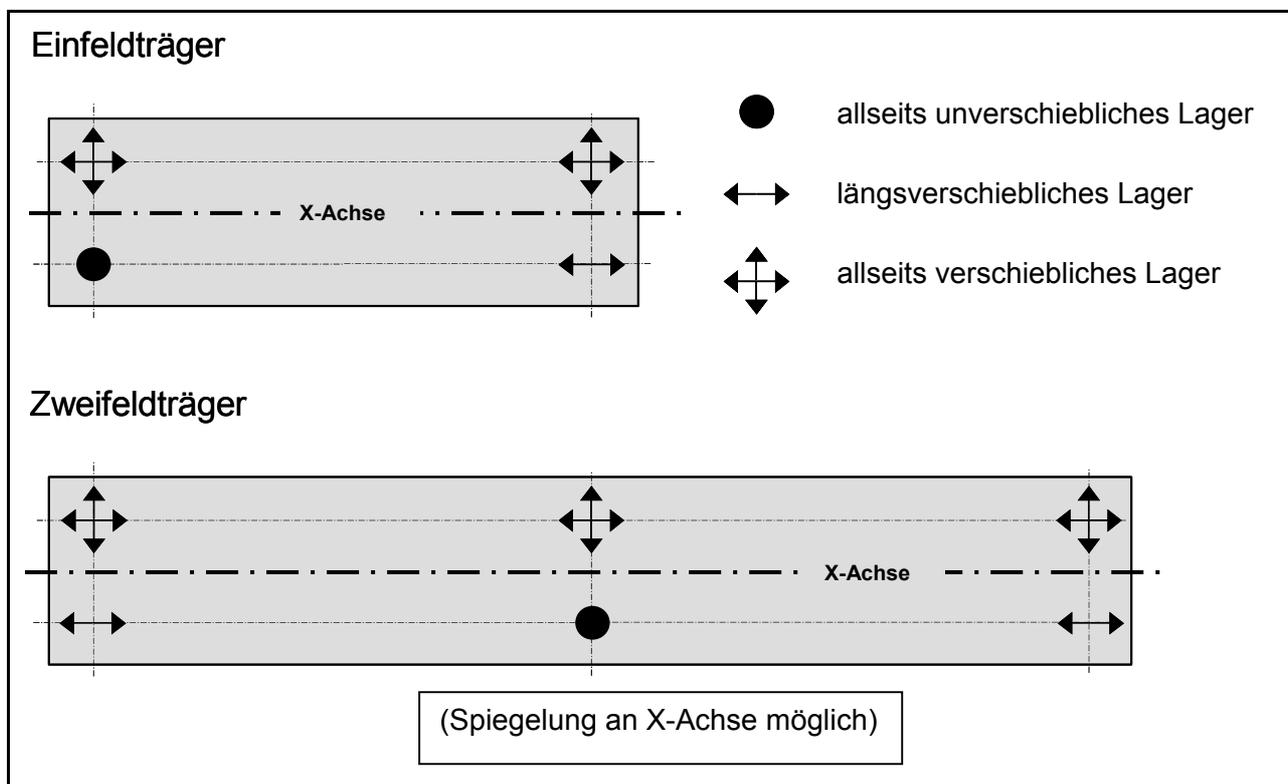


Abbildung 16: Beispielhafte Lageranordnung für Ein- und Zweifeldträgersysteme

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Fahrweg Teil II Bemessung

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Fahrweg zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007, Weißdruck, Fachausschuss Fahrweg.

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler.....	2
2	Änderungsübersicht.....	3
3	Inhaltsverzeichnis	4
4	Allgemeines	14
4.1	Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich	14
4.2	Ausführungsgrundlagen.....	15
4.3	Abkürzungen und Definitionen.....	15
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien	16
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit.....	16
4.6	Referenzen	17
5	Bemessungssituationen.....	18
5.1	Allgemeines	18
5.2	Fahrzeugbedingte Bemessungssituationen.....	18
5.2.1	Häufige Bemessungssituationen	18
5.2.2	Nicht häufige und außergewöhnliche Bemessungssituationen	18
5.3	Fahrwegbedingte Bemessungssituationen	19
5.4	Umweltbedingte Bemessungssituationen	19
5.5	Umgebungsbedingte Bemessungssituationen.....	19
6	Geschwindigkeiten und Beschleunigungen	20
6.1	Grenzwerte der Fahrgeschwindigkeiten	20
6.2	Grenzwerte der Beschleunigungen.....	21
7	Einwirkungen auf den Fahrweg	22
7.1	Einteilung der Einwirkungen	22
7.1.1	Ständige Einwirkungen	22
7.1.2	Veränderliche Einwirkungen	23
7.1.3	Außergewöhnliche Einwirkungen.....	24
7.2	Kombinationen der Einwirkungen	25
7.3	Kraftübertragende Schnittstellen Fahrzeug - Fahrweg	26
7.3.1	Allgemeines	26
7.3.2	Bezeichnung und Nummerierung der Teilmagnete	27
7.3.3	Schnittstelle Tragsmagnet - Langstator	28
7.3.3.1	Funktionen	28
7.3.3.2	Geometrie	28

Ausführungsgrundlage**Fahrweg**

7.3.4	Schnittstelle Führmagnet - Seitenführschiene	29
7.3.4.1	Funktionen	29
7.3.4.2	Geometrie	29
7.3.5	Schnittstelle Bremsmagnet - Seitenführschiene	31
7.3.5.1	Funktionen	31
7.3.5.2	Geometrie	31
7.3.6	Schnittstelle Tragkufe - Gleitleiste	32
7.3.6.1	Funktionen	32
7.3.6.2	Geometrie	32
7.3.7	Sonstige Schnittstellen.....	32
7.4	Dynamische Überhöhung der Beanspruchungen	33
7.4.1	Allgemeines	33
7.4.2	Einflussgrößen auf die dynamische Überhöhung	33
7.4.2.1	Allgemeines	33
7.4.2.2	Einflussgrößen des Fahrwegs	33
7.4.2.3	Einflussgrößen des Fahrzeugs	33
7.4.2.4	Maßgebliche Anregemechanismen	34
7.4.2.4.1	Anregemechanismus I	34
7.4.2.4.2	Anregemechanismus II	34
7.4.2.4.3	Anregemechanismus III	34
7.4.2.4.4	Anregemechanismus IV	34
7.4.2.4.5	Anregemechanismus V	35
7.4.2.4.6	Anregemechanismus VI	35
7.4.3	Dämpfungseigenschaften	35
7.4.4	Ermittlung der dynamischen Beanspruchungen	35
7.4.4.1	Allgemeines	35
7.4.4.2	Dynamische Überhöhungen infolge Magnetregelung	36
7.4.4.2.1	Zeitveränderlichkeit der Magnetkräfte	36
7.4.4.2.2	Anregung von Eigenformen durch die Magnetregelung	37
7.4.4.3	Dynamische Überhöhungen infolge Fahrbetrieb	37
7.4.4.3.1	Rechnerische Ermittlung der dynamischen Beanspruchungen.....	37
7.4.4.3.2	Ermittlung der dynamischen Beanspruchungen mit Hilfe von Schwingbeiwerten	38
7.4.4.3.2.1	Allgemeines	38
7.4.4.3.2.2	Rechnerisch ermittelte Schwingbeiwerte.....	38
7.4.4.3.2.3	Versuchstechnisch nachgewiesene Schwingbeiwerte	39
7.4.5	Begrenzung der dynamischen Überhöhungen	39
8	Charakteristische Werte der Einwirkungen	40
8.1	Ständige Einwirkungen	40
8.1.1	Eigenlasten (G1)	40
8.1.2	Planmäßige Vorspannungen/Zwang (G2)	40
8.1.3	Kriechen und Schwinden des Betons (G3)	40
8.1.4	Ständige Wasserdruckkräfte (G4).....	40
8.1.5	Wahrscheinliche Baugrundbewegungen (G5)	41
8.1.5.1	Fahrwegüberbauten.....	41
8.1.5.2	Fahrwegunterbauten.....	41
8.1.6	Erddruck (G6)	41

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrweg Teil II - Bemessung

Dok.-Nr.: 57288 Version Weissdruck Ausg. Datum 15.02.2007

Seite 5 von 151

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

8.2	Veränderliche Einwirkungen	42
8.2.1	Veränderliche Einwirkungen infolge Fahrzeug	42
8.2.1.1	Koordinatensystem der Einwirkungen	42
8.2.1.2	Fahrzeuggewicht (Eigengewicht und Nutzlast) (Q1, Q2)	43
8.2.1.3	Fahrzeugschwerpunkt	44
8.2.1.3.1	Lage des Fahrzeugschwerpunktes in x-Richtung (Q3)	44
8.2.1.3.2	Lage des Fahrzeugschwerpunktes in y-Richtung (Q4)	44
8.2.1.3.3	Lage des Fahrzeugschwerpunktes in z-Richtung	44
8.2.1.4	Häufige veränderliche Einwirkungen (Q1...Q10)	45
8.2.1.4.1	Allgemeines	45
8.2.1.4.2	Einwirkungen infolge Bremsen und Beschleunigen (Q1/Q2)	46
8.2.1.4.3	Einwirkungen in y-Richtung	47
8.2.1.4.3.1	Allgemeines	47
8.2.1.4.3.2	Führmagnetvorspannung.....	47
8.2.1.4.3.3	Freie Seitenbeschleunigung (Q1, Q2).....	48
8.2.1.4.3.4	Seitenkräfte aus der Führdynamik (Q5)	49
8.2.1.4.3.5	Zwangskräfte bei kleinen Horizontalradien R_H (Q6)	49
8.2.1.4.3.6	Führmagnetkräfte aus einseitigem Antrieb.....	50
8.2.1.4.4	Einwirkungen in z-Richtung (Q1 .. Q3)	52
8.2.1.4.4.1	Beschleunigung in z-Richtung	52
8.2.1.4.4.2	Bremsen und Beschleunigen.....	53
8.2.1.4.5	Spezielle Betriebssituationen.....	54
8.2.1.4.5.1	Geregeltes Absetzen des Fahrzeugs bei $v = 0$ km/h (Q1, Q2)	54
8.2.1.4.5.2	Abgesetztes Fahrzeug (Q1, Q2).....	54
8.2.1.4.5.3	Aufschwebenes Fahrzeug und Standschweben (Q1, Q2)	54
8.2.1.4.6	Aerodynamische Einwirkungen aus dem Fahrzeug (Q7, Q8)	55
8.2.1.4.6.1	Zugbegegnung (Q7a)	55
8.2.1.4.6.2	Tunnelfahrt (Q7b)	55
8.2.1.4.6.3	Einwirkungen auf trassennahe bauliche Anlagen / Tunnel (Q7c)	55
8.2.1.4.6.4	Auftrieb (Q8a)	56
8.2.1.4.6.5	Direkte Druck-/Sog-Einwirkung auf den Fahrweg (Q8b)	56
8.2.1.4.7	Wind auf das Fahrzeug (Q9)	57
8.2.1.4.7.1	Allgemeines	57
8.2.1.4.7.2	Einwirkung infolge Seitenwind auf Fahrzeug (Q9a)	58
8.2.1.4.7.3	Aerodynamischer Auftrieb infolge Wind (Q9b)	59
8.2.1.4.7.4	Wind bei ungünstigen aerodynamischen Einflüssen	61
8.2.1.4.8	Temperatureinwirkung infolge Antrieb (Q10).....	61
8.2.1.5	Nicht häufige veränderliche Einwirkungen (Q11a...Q11k)	62
8.2.1.5.1	Allgemein	62
8.2.1.5.2	Nutzlastüberschreitung (Q11a).....	62
8.2.1.5.3	Ausfall eines Tragsmagnetregelkreises (Q11b)	62
8.2.1.5.4	Ausfall benachbarter Tragsmagnetregelkreise (Q11c)	63
8.2.1.5.5	Ausfall eines Führmagnetregelkreises (Q11d)	64
8.2.1.5.6	Ausfall benachbarter Führmagnetregelkreise (Q11e)	64
8.2.1.5.7	Einsatz der fahrzeugseitigen „Sicheren Bremse“ (Q11f).....	65
8.2.1.5.7.1	Regelfall	65
8.2.1.5.7.2	Sonderfall.....	66
8.2.1.5.8	Geschwindigkeitsabweichungen (Q11g)	67
8.2.1.5.9	Fehlfunktionen des Antriebs (Q11h).....	68
8.2.1.5.9.1	Einseitiger Antriebsausfall	68
8.2.1.5.9.2	Sonstige Fehlfunktionen des Antriebs	68
8.2.1.5.10	Einseitiges Absetzen des Fahrzeuges (Q11i)	69
8.2.1.5.10.1	Allgemeines	69
8.2.1.5.10.2	Bemessungssituation 1.....	69
8.2.1.5.10.3	Bemessungssituation 2.....	69
8.2.1.5.11	Anlaufen/Touchieren von Magneten (Q11j).....	70

Ausführungsgrundlage**Fahrweg**

8.2.1.5.11.1	Tragmagnete.....	70
8.2.1.5.11.2	Führmagnete.....	70
8.2.1.5.12	Anheben von festgefrorenen Tragkufen (Q11k).....	70
8.2.1.5.13	Erhöhtes Fahrzeuggewicht infolge Schnee im Fahrzeug (Q11l).....	70
8.2.2	Einwirkungen aus Instandhaltung (Q30).....	70
8.2.3	Temperatur aus Umwelt (Q50)	71
8.2.3.1	Allgemeines	71
8.2.3.2	Temperaturschwankungen in den Fahrwegüberbauten (Q50a).....	71
8.2.3.3	Lineare Temperaturunterschiede (Q50b)	71
8.2.3.3.1	Allgemeines	71
8.2.3.3.2	Fahrwegüberbauten.....	72
8.2.3.3.3	Fahrwegunterbauten.....	72
8.2.3.4	Ungleiche Erwärmung von Bauteilen aus Umwelt (Q50c)	72
8.2.4	Wind auf Tragwerk (Q51).....	74
8.2.4.1	Wind auf Tragwerk mit Verkehr	74
8.2.4.2	Wind auf Tragwerk ohne Verkehr	74
8.2.5	Schnee und Eislasten (Q52)	74
8.2.6	Veränderliche Wasserdruckkräfte (Q53).....	74
8.2.7	Windlast in Bauzuständen (Q54)	75
8.2.8	Instandhaltungszustände (Q55).....	75
8.2.9	Bauzustände (Q56).....	75
8.2.10	Einwirkungen bei Spurwechseleinrichtungen (Q57)	75
8.2.10.1	Elastische Verformung von Biegeweichen (Q57a).....	75
8.2.10.2	Einwirkungen aus dem Antrieb (Q57b).....	75
8.2.11	Verschiebungswiderstände der Lager (Q58)	75
8.2.12	Ausfall von Tragwerkselementen (Q59).....	75
8.2.13	Erddruck aus veränderlichen Einwirkungen (Q60)	75
8.3	Außergewöhnliche Einwirkungen.....	76
8.3.1	Allgemeines	76
8.3.2	Außergewöhnliche Einwirkungen aus Fahrzeug.....	76
8.3.2.1	Einwirkungen als Folge von Lichtraumverletzungen (A1)	76
8.3.2.2	Sicherheitswind auf Fahrzeug (A2)	76
8.3.3	Außergewöhnliche Einwirkungen aus Instandhaltung (A3)	77
8.3.4	Sicherheitswind auf Tragwerk (A4)	77
8.3.5	Mögliche Baugrundbewegungen (A5).....	77
8.3.6	Anprall.....	77
8.3.6.1	Allgemein	77
8.3.6.2	Anprall von spurgeführten Fahrzeugen (A6)	77
8.3.6.3	Anprall von Straßenfahrzeugen (A7).....	78
8.3.7	Eisstoß, thermischer Eisdruck, Anprall von Wasserfahrzeugen (A8).....	78
8.3.8	Erdbeben (A9).....	78
9	Lastbilder des Fahrzeugs.....	79

Ausführungsgrundlage**Fahrweg**

9.1	Allgemeines	79
9.2	Globale Lastbilder	79
9.2.1	Massenkräfte	79
9.2.2	Wind auf Fahrzeug.....	83
9.3	Lokale Lastbilder	85
9.3.1	Schnittstelle Tragmagnet-Langstator (Statorpaket)	85
9.3.1.1	Einwirkungen aus häufigen Bemessungssituationen (Q1...Q10).....	85
9.3.1.2	Einwirkungen aus nicht häufigen Bemessungssituationen	86
9.3.1.2.1	Ausfall eines Magnetregelkreises Tragen (Q11b)	86
9.3.1.2.2	Doppelausfall von Magnetregelkreisen Tragen (Q11c).....	86
9.3.1.2.3	Sonstige nicht häufige Bemessungssituationen (Q11a, Q11d bis Q11i)	86
9.3.1.3	Lokale Bauteildynamik.....	86
9.3.2	Schnittstelle Führungsmagnet - Seitenführschiene	87
9.3.2.1	Einwirkungen aus häufigen Bemessungssituationen (Q1...Q10).....	87
9.3.2.2	Einwirkungen aus nicht häufigen Bemessungssituationen	88
9.3.2.2.1	Ausfall eines Magnetregelkreises Führen (Q11d)	88
9.3.2.2.2	Doppelausfall von Magnetregelkreisen Führen (Q11e).....	89
9.3.2.3	Lokale Bauteildynamik.....	89
9.3.3	Schnittstelle Bremsmagnet - Seitenführschiene	90
9.3.3.1	Nicht häufige Bemessungssituation (Q11f)	90
9.3.3.2	Lokale Bauteildynamik.....	90
9.3.4	Schnittstelle Tragkufe - Gleitleiste	91
9.3.4.1	Einwirkungen aus häufigen Bemessungssituationen (Q1...Q10).....	91
9.3.4.2	Einwirkungen aus nicht häufigen Bemessungssituationen	91
9.3.4.2.1	Doppelausfall von Magnetregelkreisen Tragen (Q11c).....	91
9.3.4.2.2	Einsatz der fahrzeugseitigen „Sicheren Bremse“ (Q11f).....	91
9.3.4.2.3	Einseitiges Absetzen des Fahrzeugs (Q11i)	91
9.3.4.3	Lokale Bauteildynamik.....	92
9.3.5	Sonstige Schnittstellen.....	92
10	Nachweise	93
10.1	Allgemeines	93
10.2	Nachweis der Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	95
10.2.1	Allgemeines	95
10.2.2	Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen.....	95
10.2.3	Kombinationsbeiwerte.....	98
10.3	Nachweis der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	100
10.3.1	Allgemeines	100
10.3.2	Globale Verformungen diskret gelagerter Fahrwegüberbauten	100
10.3.2.1	Allgemein	100
10.3.2.2	Verformungen in z-Richtung.....	101
10.3.2.2.1	Einwirkungen aus dem Fahrzeug	101
10.3.2.2.1.1	Allgemeines	101
10.3.2.2.1.2	Einfeldträger N = 1	101
10.3.2.2.1.3	Zweifeldträger mit gleichen Stützweiten N = 2	102
10.3.2.2.1.4	Zweifeldträger mit ungleichen Stützweiten	102

Ausführungsgrundlage**Fahrweg**

10.3.2.2.1.5	Mehrfeldträger $N > 2$	102
10.3.2.2.2	Temperaturunterschied.....	103
10.3.2.2.2.1	Einfeldträger $N = 1$	103
10.3.2.2.2.2	Zweifeldträger mit gleichen Stützweiten $N = 2$	103
10.3.2.2.2.3	Zweifeldträger mit ungleichen Stützweiten.....	103
10.3.2.2.2.4	Mehrfeldträger $N > 2$	103
10.3.2.2.3	Baustoffspezifische Verformungen.....	103
10.3.2.3	Verformungen in y-Richtung.....	104
10.3.2.3.1	Einwirkungen aus dem Fahrzeug.....	104
10.3.2.3.1.1	Allgemeines.....	104
10.3.2.3.1.2	Einfeldträger $N = 1$	104
10.3.2.3.1.3	Zweifeldträger mit gleichen Stützweiten $N = 2$	104
10.3.2.3.1.4	Zweifeldträger mit ungleichen Stützweiten $N = 2$	104
10.3.2.3.1.5	Mehrfeldträger $N > 2$	104
10.3.2.3.2	Temperaturunterschied.....	104
10.3.2.3.2.1	Allgemeines.....	104
10.3.2.3.2.2	Einfeldträger $N = 1$	104
10.3.2.3.2.3	Zweifeldträger mit gleichen Stützweiten $N = 2$	104
10.3.2.3.2.4	Zweifeldträger mit ungleichen Stützweiten $N = 2$	105
10.3.2.3.2.5	Mehrfeldträger $N > 2$	105
10.3.2.3.3	Baustoffspezifische Verformungen.....	105
10.3.2.3.4	Wind.....	105
10.3.2.4	Verformungen in x-Richtung.....	105
10.3.2.4.1	Verkehr.....	105
10.3.2.4.2	Temperatur.....	105
10.3.2.4.3	Kriechen und Schwinden.....	105
10.3.2.4.4	Wind.....	105
10.3.2.5	Verformungen infolge Torsion um die x-Achse.....	106
10.3.3	Zulässige lokale Verformungen der Fahrwegträger.....	106
10.3.4	Zulässige Verformungen von Fahrwegplatten.....	106
10.3.5	Dynamische Verformungen bei Anregung von Eigenfrequenzen.....	106
10.3.6	Zulässige Versätze der Funktionsebenen.....	107
10.3.6.1	Anzusetzende veränderliche Einwirkungen.....	107
10.3.6.2	Zulässige Versätze in der Statorebene und Gleitebene.....	107
10.3.6.3	Zulässige Versätze in der Seitenführschienenebene.....	107
10.3.7	Nachweis der Spalte in x-Richtung an Trägerstößen.....	107
10.3.7.1	Anzusetzende veränderliche Einwirkungen.....	107
10.3.7.2	Regelspalte.....	107
10.3.7.2.1	Elastische Spaltänderungen aus Verkehr.....	107
10.3.7.2.2	Grenzwerte für die Spalte in x-Richtung.....	107
10.3.7.2.3	Nachweis der Zwängungsfreiheit.....	108
10.3.7.3	Sonderspalte.....	108
10.3.8	Elastische und plastische Verformungen der Unterbauten.....	108
10.3.8.1	Allgemeines.....	108
10.3.8.2	Verformungen der Unterbauten in x-Richtung.....	108
10.3.8.3	Verformungen der Unterbauten in y-Richtung.....	109
10.3.8.3.1	Plastische Verformungen der Unterbauten.....	109
10.3.8.3.2	Elastische Verformungen der Unterbauten.....	109
10.3.8.4	Verformungen der Unterbauten in z-Richtung.....	111
10.3.8.4.1	Plastische Verformungen der Unterbauten.....	111
10.3.8.4.2	Elastische Verformungen der Unterbauten.....	111
10.3.9	Verformungen von durchgehenden Streifenfundamenten.....	111

Ausführungsgrundlage**Fahrweg**

10.3.10	Verformungen von Primärtragwerken	111
10.3.11	Verformungen bei Anprall an den Fahrweg	112
10.4	Werkstoffermüdung.....	112
10.4.1	Allgemeines	112
10.4.2	Magnetschnellbahn-spezifische Randbedingungen	112
10.4.3	Schnittstelle Langstator-Tragmagnet	113
10.4.4	Schnittstelle Seitenführschiene-Führmagnet	113
11	Anhang.....	114
11.1	Anhang II-A: Zuordnung der Einwirkungen zu den Schnittstellen.....	115
11.2	Anhang II-B: Rechnerisch ermittelte Schwingbeiwerte	116
11.2.1	Allgemeines	116
11.2.2	Anwendungsbereich	117
11.2.3	Anwendungsbeispiele	118
11.2.4	Beispielhafte Schwingbeiwertdiagramme	119
11.2.4.1	Allgemeines	119
11.2.4.2	Schwingbeiwertdiagramme für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m.....	120
11.2.4.2.1	Schwingbeiwerte für 2-Sektionen-Fahrzeuge.....	120
11.2.4.2.2	Schwingbeiwerte für 4-Sektionen-Fahrzeuge.....	121
11.2.4.2.3	Schwingbeiwerte für 6-Sektionen-Fahrzeuge.....	122
11.2.4.2.4	Schwingbeiwerte für 10-Sektionen-Fahrzeuge.....	123
11.2.4.3	Schwingbeiwertdiagramme für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m	124
11.2.4.3.1	Schwingbeiwerte für 2-Sektionen-Fahrzeuge.....	124
11.2.4.3.2	Schwingbeiwerte für 4-Sektionen-Fahrzeuge.....	125
11.2.4.3.3	Schwingbeiwerte für 6-Sektionen-Fahrzeug.....	126
11.2.4.3.4	Schwingbeiwerte für 10-Sektionen-Fahrzeug.....	127
11.3	Anhang II-C: Grenzwerte von Trassierungselementen	128
11.4	Anhang II-D: Allgemeine Grenzwerte der Verformungen	128
11.5	Anhang II-E: Tabellen der Magnetkräfte infolge Seitenwind (Q9a).....	128
11.6	Anhang II-F: Berechnung der Tragmagnet-Polkräfte	149

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Schnittstellen Fahrzeug – Fahrweg	27
Abbildung 2 - Bezeichnung der Teilmagnete (Tragen und Führen)	28
Abbildung 3 - Typische Geometrie der Einwirkungen Tragmagnet – Langstator.....	29
Abbildung 4 - Typische Geometrie der Einwirkungen Führmagnet - Seitenführschiene.....	30
Abbildung 5 - Typische Geometrie der Einwirkungen Bremsmagnet - Seitenführschiene.....	31
Abbildung 6 - Typische Geometrie der Einwirkungen Tragkufe - Gleitleiste.....	32
Abbildung 7 - Koordinatensysteme der Einwirkungen	42
Abbildung 8 - Zusammenhang zwischen Beschleunigungen und Trassierungsparametern	46
Abbildung 9 - Überlagerungen mit der Führmagnetvorspannung.....	47
Abbildung 10 - Typische Verteilung der Zwangskräfte in engen Horizontalradien R_H	50
Abbildung 11 - Typische Verteilung der Führmagnetkräfte aus $a_{x,WSV}$	51
Abbildung 12 - Typische Zusatzlasten in z-Richtung infolge Bremsen/Beschleunigen.....	53
Abbildung 13 - Typische Verteilung der Druck-/Sog-Einwirkung auf die Fahrwegoberseite.....	57
Abbildung 14 - Typisches Lastbild für den aerodynamischen Auftrieb	59
Abbildung 15 - Typischer Kraft-Zeitverlauf der dynamischen Tragkufenkraft	63
Abbildung 16 – Typische, vereinfachte Zeitfunktion des geregelten Absetzens des Fahrzeugs	66
Abbildung 17 - Typische Beschleunigungs-Zeit-Funktion beim Ausgleiten auf den Tragkufen	66
Abbildung 18 - Bremskraftverlauf der „Sicheren Bremse“	67
Abbildung 19 - Geschwindigkeitsabhängigkeit der x-Kräfte infolge Fehlfunktion des Antriebs.....	68
Abbildung 20 - Globales Lastbild des schwebenden Fahrzeugs	79
Abbildung 21 - Typisches Lastbild der Kraftverteilung von $p_{z,az}$ nach Gleichung (15).....	80
Abbildung 22 - Typisches Lastbild der Kraftverteilung von $p_{y,ay}$ nach Gleichung (10).....	81
Abbildung 23 - Typisches Lastbild der Kraftverteilung von $p_{z,ay}$ nach Gleichung (11).....	81
Abbildung 24 - Globales Lastbild des absetzenden / stehenden Fahrzeugs	82
Abbildung 25 - Globales Lastbild für die Bemessungssituation Q11i	82
Abbildung 26 - Globales Lastbild "Wind" und "Auftrieb" bei schwebendem Fahrzeug.....	83
Abbildung 27 - Typisches Lastbild für $p_{y,W}$ bei $v_W = 25$ m/s und $v_{Fzg} = 500$ km/h	84
Abbildung 28 - Typisches Lastbild für $p_{z,W}$ bei $v_W = 25$ m/s und $v_{Fzg} = 500$ km/h	84
Abbildung 29 - Typisches Lastbild Tragmagnet bei Betrieb ohne technische Ausfälle.....	85
Abbildung 30 - Typisches Lastbild bei Ausfall eines Magnetregelkreises Tragen (Q11b)	86
Abbildung 31 - Typisches Lastbild eines Führmagneten (Eckmagnet).....	87
Abbildung 32 - Typisches Lastbild eines Führmagneten (Mittelmagnet)	87
Abbildung 33 - Typisches Lastbild bei Ausfall eines Magnetregelkreises Führen (Q11d)	88
Abbildung 34 - Typisches Lastbild bei Doppelausfall von Magnetregelkreisen Führen (Q11e).....	89
Abbildung 35 - Typisches Lastbild der Bremsmagnete (berührungslos bzw. anliegend).....	90
Abbildung 36 - Typisches Lastbild der Tragkufen	91
Abbildung 37 - Zulässige Verformung in z-Richtung infolge Fahrzeug bei Einfeldträgern.....	101
Abbildung 38 - Durchbiegung in z-Richtung bei Zweifeldträgern mit gleicher Stützweite	102
Abbildung 39 - Plastische Verformungen der Unterbauten in y-Richtung (Beispiel).....	109
Abbildung 40 - Elastische Verformungen der Unterbauten in y-Richtung (Beispiel 1).....	110
Abbildung 41 - Elastische Verformungen der Unterbauten in y-Richtung (Beispiel 2).....	110
Abbildung 42 – Fahrzeugüberfahrt am Einfeldträger mit Bewertungsgröße w in Feldmitte.....	116
Abbildung 43 - Beanspruchungs-Zeit-Verlauf infolge Fahrzeugüberfahrt am Einfeldträger.....	116
Abbildung 44 - Fahrwegträger für Anwendungsbeispiel – Querschnitte im Feldbereich	118
Abbildung 45 - $\varphi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 2 Sektionen-Fahrzeug	120
Abbildung 46 - $\varphi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 2 Sektionen-Fahrzeug	120
Abbildung 47 - $\varphi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 4 Sektionen-Fahrzeug	121
Abbildung 48 - $\varphi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 4 Sektionen-Fahrzeug	121
Abbildung 49 - $\varphi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 6 Sektionen-Fahrzeug	122

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

Abbildung 50 - $\varphi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 6 Sektionen-Fahrzeug	122
Abbildung 51 - $\varphi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 10 Sektionen-Fahrzeug	123
Abbildung 52 - $\varphi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 10 Sektionen-Fahrzeug	123
Abbildung 53 - $\varphi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 2 Sektionen-Fahrzeug	124
Abbildung 54 - $\varphi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 2 Sektionen-Fahrzeug	124
Abbildung 55 - $\varphi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 4 Sektionen-Fahrzeug	125
Abbildung 56 - $\varphi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 4 Sektionen-Fahrzeug	125
Abbildung 57 - $\varphi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 6 Sektionen-Fahrzeug	126
Abbildung 58 - $\varphi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 6 Sektionen-Fahrzeug	126
Abbildung 59 - $\varphi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 10 Sektionen-Fahrzeug	127
Abbildung 60 - $\varphi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 10 Sektionen-Fahrzeug	127
Abbildung 61 - Tragmagnet-Polkräfte; Beispiel für Regel-Tragmagnete	151
Abbildung 62 - Tragmagnet-Polkräfte; Beispiel für Bug-/Heck-Tragmagnete	151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Grenzwerte der Beschleunigungen in x-, y- und z-Richtung	21
Tabelle 2 - Ständige Einwirkungen	22
Tabelle 3 - Veränderliche (häufige / nicht häufige) Einwirkungen aus dem Fahrzeug	23
Tabelle 4 - Sonstige veränderliche Einwirkungen	24
Tabelle 5 - Außergewöhnliche Einwirkungen	24
Tabelle 6 - Typische Einwirkungssituationen zur Bildung der maßgebenden Kombinationen	25
Tabelle 7 - Typische Reibbeiwerte Bremsmagnet – Seitenführschiene (trockener Fahrweg)	31
Tabelle 8 - Typische Reibbeiwerte Tragkufe – Gleitleiste (trockener Fahrweg)	32
Tabelle 9 - Dämpfungsmaße D in % der kritischen Dämpfung	35
Tabelle 10 - Typische gemittelte, statische Einwirkungen aus dem Fahrzeuggewicht	43
Tabelle 11 - Maximale Kräfte in x-Richtung aus Antreiben und Bremsen	46
Tabelle 12 - Typische Verteilung der Magnetkräfte aus a_y über die Fahrzeuglänge	48
Tabelle 13 - Typische Zwangskräfte $p_{y,ZWG,i}$ bei kleinen Horizontalradien	49
Tabelle 14 - Typische Verteilung der Führungsmagnetkräfte aus $a_{x,Wsv}$	51
Tabelle 15 - Typische Verteilung der Tragmagnetkräfte aus a_z über die Fahrzeuglänge	52
Tabelle 16 - Typische Auftriebskräfte Bug-/Hecksektion	56
Tabelle 17 - Typische Druck- (+) und Sogkräfte (-) auf die Fahrwegoberseite	56
Tabelle 18 - Windgeschwindigkeiten [m/s] bei relevanten Fahrweghöhen	59
Tabelle 19 - Typische seitenwindbedingte Auftriebskräfte der Bugsektion	60
Tabelle 20 - Temperaturschwankungen und lineare Temperaturunterschiede	73
Tabelle 21 - Staudruck $q_{W,Tragwerk}$ auf Tragwerk	74
Tabelle 22 - Typische Einwirkungen aus Auftrieb des Fahrzeugs infolge Sicherheitswind	76
Tabelle 23 - Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen	96
Tabelle 24 - Kombinationsfaktoren ψ_i der Einwirkungen	98
Tabelle 25 - Zuordnung der Einwirkungen zu den Funktionsebenen	115
Tabelle 26 - Stützweiten und Fahrzeuglängen der beispielhaften Schwingbeiwertdiagramme	119
Tabelle 27 - Grenzwerte der Kombination von Trassierungselementen	128
Tabelle 28 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 500$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s	129
Tabelle 29 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 500$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s	130
Tabelle 30 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 500$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s	131
Tabelle 31 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 500$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s	132
Tabelle 32 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 400$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s	133
Tabelle 33 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 400$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s	134

Ausführungsgrundlage**Fahrweg**

Tabelle 34 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 400$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s..	135
Tabelle 35 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 400$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s..	136
Tabelle 36 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 300$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s....	137
Tabelle 37 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 300$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s....	138
Tabelle 38 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 300$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s..	139
Tabelle 39 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 300$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s..	140
Tabelle 40 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 200$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s....	141
Tabelle 41 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 200$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s....	142
Tabelle 42 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 200$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s..	143
Tabelle 43 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 200$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s..	144
Tabelle 44 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 0$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s.....	145
Tabelle 45 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 0$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s.....	146
Tabelle 46 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 0$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s.....	147
Tabelle 47 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 0$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s.....	148
Tabelle 48 - Tragmagnet-Polkräfte ohne Umlagerung.....	149
Tabelle 49 - Tragmagnet-Polkräfte bei 30 % Umlagerung (Regel-Tragmagnet)	149
Tabelle 50 - Tragmagnet-Polkräfte bei 30 % Umlagerung (Bug-/Heck-Tragmagnet).....	150

4 Allgemeines

4.1 Zweck des Dokuments und Anwendungsbereich

- (1) Die in der vorliegenden Ausführungsgrundlage beschriebenen systemspezifischen Grundlagen zur Bemessung und Nachweisführung des Fahrwegs der Magnetschnellbahn (inkl. trassennaher baulicher Anlagen¹) sind projektunabhängig².
- (2) Diese Grundlagen sind als Dimensionierungsvorgaben im Sinne einer Rechenvorschrift für den Fahrweg anzuwenden (siehe auch /MSB AG-FW ÜBG/).
- (3) Basis dieser Grundlagen sind die allgemeinen Systemanforderungen in /MSB AG-GESAMTSYS/ und die übergeordneten Anforderungen an den Fahrweg /MSB AG-FW ÜBG/.
- (4) Ein ggf. vorhandenes Potential bezüglich einer Sonderauslegung für z.B. höhere Transportkapazität³ ist hier nicht berücksichtigt. Hierfür sind die erforderlichen bautechnischen Nachweise in jedem Einzelfall in Absprache mit der zuständigen Aufsichtsbehörde zu erbringen.
- (5) Die Festlegung der systemspezifischen Anforderungen an den Fahrweg (z.B. Grenzwerte der Verformungen) basiert im Wesentlichen auf den Erfahrungen mit bisher erprobten Fahrwegbauweisen.
- (6) Bei neuartigen Bauweisen ist die uneingeschränkte Anwendbarkeit dieser Anforderungen zu überprüfen. Gegebenenfalls sind geeignete Anforderungen in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde vorzugeben.
- (7) Die systemspezifischen Grundlagen zur Auslegung von Fahrwegen der Magnetschnellbahn umfassen die Angaben über:
 - die anzuwendenden Unterlagen;
 - die Beschreibung der zu berücksichtigenden Einwirkungen;
 - die charakteristischen und repräsentativen Werte der Einwirkungen;
 - die Geometrie (Einwirkungsbilder und Angriffspunkte) der Einwirkungen;
 - die Grundlagen zum Nachweis des dynamischen Verhaltens des Fahrwegs;
 - die Vorgaben zur Nachweisführung der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Werkstoffermüdung mit den zugehörigen Anforderungen und Grenzwerten;
- (8) Die Grundlagen zur Ermittlung der charakteristischen und repräsentativen Werte der Einwirkungen sind übergeordnet in /MSB AG-GESAMTSYS/ enthalten.
- (9) Alle Bauteile und Baugruppen des Fahrwegs, auch jene, für die in der vorliegenden Ausführungsgrundlage keine Angaben zur Auslegung vorgegeben sind, sind nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde zu dimensionieren und nachzuweisen.
- (10) Für nachfolgende Bauteile und Baugruppen der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung sind projekt- und bauartspezifisch zusätzliche Anforderungen an deren Nachweisführung festzulegen:
 - Langstatorwicklung inkl. Befestigung;
 - Fahrwegausrüstung zur Erfassung der Fahrzeugposition inkl. Befestigung;
 - Fahrwegausrüstung zur externen Bordenergieversorgung inkl. Befestigung;

¹ Soweit systemspezifische Einwirkungen zu berücksichtigen sind (z.B. aerodynamische Einwirkungen).

² Gilt für Anwendungen als Regionalverkehr und Fernverkehr in Deutschland nach /MSB AG-GESAMTSYS/. Projektabhängige Randbedingungen wie örtliche klimatische (Wind, Temperatur usw.), geologische Verhältnisse (Erdbeben, Baugrund usw.) und betriebliche Anforderungen sind entsprechend projektspezifisch festzulegen.

³ Erhöhung z.B. durch Vergrößerung der Nutzlast oder Erhöhung der Sektionszahl ($n > 10$).

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- (11) Der Fahrweg muss nach der MbBO⁴ oder anderen vergleichbaren, nationalen Vorschriften so beschaffen sein, dass er den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügt. Diese Anforderungen sind erfüllt, wenn der Fahrweg den Vorschriften der MbBO oder, soweit diese keine entsprechenden Vorschriften enthält, den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht (siehe hierzu § 3 Absatz (1) der MbBO).
- (12) Die Bemessung und die Konstruktion sind auf Basis der nachfolgenden Angaben so durchzuführen, dass während der geforderten Nutzungsdauer die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit wirtschaftlich und umweltverträglich sichergestellt ist. Die Konstruktion ist dabei so zu gestalten, dass der erforderliche Instandhaltungsaufwand zur Gewährleistung dieser Anforderungen minimiert wird (Anforderungen hierzu siehe /MSB AG-FW ÜBG/).
- (13) Wenn mindestens die gleiche Sicherheit wie bei der Beachtung der allgemein anerkannten Regeln der Technik nachgewiesen wird, darf von den allgemein anerkannten Regeln der Technik abgewichen werden. Der Nachweis mindestens gleicher Sicherheit ist gegenüber der zuständigen Aufsichtsbehörde zu führen (siehe hierzu § 3 Absatz (2) der MbBO).
- (14) Alle Abweichungen von den Anforderungen des vorliegenden Dokumentes bedürfen der Zustimmung der zuständigen Aufsichtsbehörde und eines Nachweises der Kompatibilität innerhalb des Gesamtsystems und zu den jeweiligen Teilsystemen durch den Lieferanten.
- (15) Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnet-schwebebahngesetz /AMbG/.

4.2 Ausführungsgrundlagen

- (1) Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen, bestehend aus verschiedenen Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentenbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.
- (2) Die übergeordneten Dokumente Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:
 - MSB-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/
 - Anlage 1: MSB-Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: MSB-Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: MSB-Umwelt, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: MSB-Regeln Betrieb und Instandhaltung, Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR/
 - Anlage 5: MSB-Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

- (1) Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

⁴ Gilt für die Anwendung in Deutschland.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

- (1) Es müssen die in der /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien beachtet werden.
- (2) Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der MSB-Ausführungsgrundlagen werden.
- (3) Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.
- (4) Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit

- (1) Alle in der vorliegenden Ausführungsgrundlage enthaltenen Zahlenwerte (z.B. charakteristische Werte der Einwirkungen aus dem Fahrzeug, Abmessungen usw.) basieren auf der in /MSB AG-GESAMTSYS/ enthaltenen Tabelle der Systemkenngößen bzw. beschreiben typische Ausführungen. In dieser Tabelle sind die Größenangaben in Systemkonstanten/Systemgrenzwerte und projektspezifisch variable Kenngrößen unterteilt.
- (2) Für jedes Anwendungsprojekt ist zu prüfen, ob die im vorliegenden Dokument enthaltenen Angaben zu typischen Ausführungen zutreffend sind.
- (3) Die anzuwendenden projektspezifischen variablen Werte sind in jedem Fall in einer projektspezifischen Spezifikation der anzusetzenden Werte zu dokumentieren.
- (4) Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.
- (5) In den nachfolgenden Kapiteln sind
 - die Anforderungen in Standard-Schrift und die
 - Erläuterungen und Beispiele in *Kursiv-Schrift* gekennzeichnet.

Ausführungsgrundlage**4.6 Referenzen**

(1) MSB-Ausführungsgrundlagen

/MSB AG-GESAMTSYS/	MSB-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr. 50630
/MSB AG-ABK&DEF/	MSB-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Anlage 1: MSB-Abkürzungen und Definitionen Dok.-Nr. 67536
/MSB AG-NORM&RILI/	MSB-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem Anlage 2: MSB-Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien Dok.-Nr. 67539
/MSB AG-FW ÜBG/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrweg Teil I: Übergeordnete Anforderungen Dok.-Nr. 57284
/MSB AG-FW GEO/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrweg Teil III: Geometrie Dok.-Nr. 41727
/MSB AG-FW TRAS/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrweg Teil IV: Trassierung Dok.-Nr. 60640
/MSB AG-FW VERM/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrweg Teil V: Vermessung Dok.-Nr. 60641
/MSB AG-FW IH/	MSB-Ausführungsgrundlage Fahrweg Teil VI: Instandhaltung Dok.-Nr. 63842

(2) Sonstige Referenzen

- /R 1/ Mangerig; Zapfe: WEP Projekt 28 - Studie zum temperaturoptimierten Einfeld-Fahrwegträger im Weiterentwicklungsprogramm Magnetschwebbahntechnologie - September 2002
- /R 2/ Lutzenberger, S.; Lutzens J.: Grundsatzuntersuchungen zur Bestimmung des vertikalen globalen Schwingbeiwert $\varphi_{Bg,z}$ von Transrapid Fahrwegträgern, Endbericht, Statisches System Einfeldträger mit $L_{St} = L_{Sys} = 24,768$ m. Im Auftrag der Transrapid International GmbH, 2005.
- /R 3/ Lutzenberger, S.; Lutzens J.: Grundsatzuntersuchungen zur Bestimmung des vertikalen globalen Schwingbeiwert $\varphi_{Bg,z}$ von Transrapid Fahrwegträgern, Endbericht, Statisches System Einfeldträger mit $L_{St} = L_{Sys} = 12,384$ m. Im Auftrag der Transrapid International GmbH, 2006.
- /R 4/ Lutzenberger, S.; Lutzens J.: Weiterführende Grundsatzuntersuchungen zur Bestimmung des vertikalen globalen Schwingbeiwert $\varphi_{Bg,z}$ von Transrapid Fahrwegträgern für Lastbild NEU, Endbericht, Statisches System Einfeldträger mit $L_{St} = L_{Sys} = 24,768$ bzw. $12,384$ m. Im Auftrag der Transrapid International GmbH, 2006.

5 Bemessungssituationen

5.1 Allgemeines

- (1) *Nachfolgend werden die für die Bemessung des Fahrweges zu berücksichtigenden Magnetschnellbahn-spezifischen Bemessungssituationen angegeben.*
- (2) *Einzelheiten zu den fahrzeugseitigen Kombinationsmöglichkeiten der Einwirkungen sind in Kapitel 7.2 und in den Kapiteln 8 und 10 angegeben.*

5.2 Fahrzeugbedingte Bemessungssituationen

5.2.1 Häufige Bemessungssituationen

- (1) Die häufigen Bemessungssituationen des Fahrzeugs beinhalten alle fahrzeugbedingten Situationen ohne Ausfälle bzw. Störungen von Baugruppen. Sie sind nachfolgend zusammengestellt und bei der Nachweisführung zu berücksichtigen.
- (2) Anheben und Absetzen des Fahrzeugs bei $v_{Fzg} = 0$ km/h (inkl. kurzzeitiges Standschweben für eine Dauer von ca. 30 s) \Rightarrow 8.2.1.4.5;
- (3) nebeneinander stehende Fahrzeuge in dafür vorgesehenen Streckenabschnitten (Stationen mit $|\alpha| \leq 3^\circ$ und $|s| \leq 0,5\%$);
- (4) maximale Verzögerung auf einer Spur und maximale Beschleunigung auf der anderen Spur an jeder Stelle des Fahrwegs bei entgegengesetzter Fahrtrichtung (hierdurch ist auch Fahrbetrieb in gleicher Richtung wie Parallelbetrieb abgedeckt);
- (5) Auslegung der einzelnen Fahrspuren (z.B. bei Doppelspurfahrwegen) für beide Fahrtrichtungen;
- (6) projektunabhängig sind Fahrzeuge mit $n = 2 \dots 10$ Sektionen (≈ 50 m ... 250 m) zu berücksichtigen;
- (7) Gewicht des Fahrzeuges ohne oder mit Nutzlast (Fahrzeuggewicht) aus /MSB AG-GESAMTSYS/ (siehe auch Kapitel \Rightarrow 8.2.1.2);
- (8) Geradeausfahrt mit Kuppen und Wannen bzw. Kurvenfahrt mit Kuppen und Wannen für die Betriebszustände "Stationärer Betrieb", "Beschleunigen" und "Verzögern" jeweils inkl. Fahrtwind und dynamischer Seitenkräfte⁵) \Rightarrow 8.2.1.4.1 ... 8.2.1.4.6;
- (9) Betrieb bei stationärem und böigem Wind \Rightarrow 8.2.1.4.7;
- (10) Vorbeifahrt an trassennahen Bauwerken und sonstigen baulichen Anlagen \Rightarrow 8.2.1.4.6.3;
- (11) Tunnelfahrt mit "Tunneleinfahrt", "Fahrt im Tunnel" und "Tunnelausfahrt" \Rightarrow 8.2.1.4.6.2;
- (12) Zugbegegnung bei gegensätzlichen Fahrtrichtungen an jeder Stelle des Fahrwegs \Rightarrow 8.2.1.4.6.1;

5.2.2 Nicht häufige und außergewöhnliche Bemessungssituationen

- (1) Nachfolgende fahrzeugbedingte Bemessungssituationen resultieren aus Ausfällen bzw. Störungen von Baugruppen und sind - bezogen auf einzelne Fahrwegelemente - in der Regel als nicht häufige oder außergewöhnliche Situationen zu berücksichtigen.
- (2) Worst-Case-Halt nach /MSB AG-GESAMTSYS/: stehende oder nebeneinander stehende Fahrzeuge bzw. langsam fahrende Fahrzeuge an jeder Stelle des Fahrwegs außerhalb dafür vorgesehener Halteplätze (die Fahrgeschwindigkeit ist kleiner als die für häufige Bemessungssituationen projekt- und trassenabhängig festgelegte Auslegungsgeschwindigkeit);

⁵ Beinhaltet auch das Überfahren von unstetigen und stetigen Abweichungen (Versätze und "Wellen").

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- (3) Stehende oder nebeneinander stehende Fahrzeuge außerhalb von Stationen in dafür vorgesehenen Streckenabschnitten (Betriebshalteplätze und definierte Streckenbereiche im Anschluss an Bahnsteigbereiche nach /MSB AG-GESAMTSYS/) mit $|\alpha| \leq 12^\circ$ und $|s| \leq 0,5\%$ (bei Vereisungsmöglichkeit) und $|s| \leq 5\%$ (ohne Vereisungsmöglichkeit);
- (4) Absetzen des gesamten Fahrzeugs auf die Tragkufen bei $v_{Fzg} > 0$ km/h \Rightarrow 8.2.1.5.7;
- (5) Abbremsen mit der fahrzeugeigenen sicheren Bremse (bei Kurven- und Geradeausfahrt, Kuppen oder Wann) nach Ausfall des Langstatorantriebs oder anderen Störungen nach /MSB AG-GESAMTSYS/ (in außergewöhnlich seltenen Fällen auf beiden Fahrspuren gleichzeitig in gleicher Richtung) \Rightarrow 8.2.1.5.7;
- (6) Abschaltung bzw. Ausfall von Magneten \Rightarrow 8.2.1.5.3 ... 8.2.1.5.6;
- (7) Gleichzeitiger Einsatz des Regelbremssystems (Antrieb) und der sicheren Bremse;
- (8) Unterschiedlicher Antrieb (Beschleunigung/Verzögerung) auf den beiden Seiten einer Fahrspur außerhalb von Bereichen der Motorabschnittwechsel bei Wechselschrittverfahren \Rightarrow 8.2.1.5.9;
- (9) "Außertrittfallen" des Antriebs (Schlupf/Pendeln) \Rightarrow abgedeckt durch die dynamischen Kräfte in 8.2.1.4.2;
- (10) Bremsen durch Kurzschlusswicklung vor Gefahrpunkten (z.B. im Anschlussbereich von Bahnsteigen bei Endbahnhöfen oder vor Spurwechseleinrichtungen) \Rightarrow abgedeckt durch 8.2.1.5.7;
- (11) Einseitiges Absetzen des Fahrzeugs \Rightarrow 8.2.1.5.10;
- (12) Touchieren/Anlaufen von Magneten \Rightarrow 8.2.1.5.11;

5.3 Fahrwegbedingte Bemessungssituationen

- (1) *Es wird nach /MSB AG-FW ÜBG/ vorausgesetzt, dass durch die Auslegung und Instandhaltung des Fahrwegs (lebensdauersicher; safe life) keine unerwarteten fahrwegbedingten Ausfälle /Störungen auftreten, die zu erhöhten Einwirkungen führen können.*
- (2) Die Einwirkungen/Beanspruchungen infolge möglicher fahrwegseitiger Ausfälle/Störungen (z.B. modifizierte Lastabtragung bei aktivierten Redundanzen) sind zu berücksichtigen.

5.4 Umweltbedingte Bemessungssituationen

- (1) Umweltbedingte Betriebssituationen mit Einwirkungen infolge Wind (auf Fahrzeug und Fahrweg), Temperatur und Erdbeben sind entsprechend den projektspezifischen Anforderungen zu berücksichtigen.
- (2) Treten gegenüber den in /MSB AG-GESAMTSYS/ festgelegten Grenzwerten der Einwirkungen aus der Umwelt in Anwendungsprojekten höhere Einwirkungen auf, so sind diese entsprechend zu berücksichtigen.

5.5 Umgebungsbedingte Bemessungssituationen

- (1) Projektspezifische Umfeldbedingungen wie z.B. kreuzende Verkehrswege sind zu berücksichtigen.

6 Geschwindigkeiten und Beschleunigungen

6.1 Grenzwerte der Fahrgeschwindigkeiten

- (1) Bei der Auslegung des Fahrwegs sind nach /MSB AG-GESAMTSYS/ die projektspezifisch festzulegende ortsabhängige Fahrwegbegrenzgeschwindigkeit $v_{Fzg,FW,grenz}(x)$ und die projektspezifisch festzulegende ortsabhängige Fahrweghöchstgeschwindigkeit $v_{Fzg,FW,höchst}(x)$ zu berücksichtigen. Die Magnetschnellbahn-spezifischen Maximalwerte hierfür sind:
- max ortsabhängige Fahrwegbegrenzgeschwindigkeit : $\max v_{Fzg,FW,grenz}(x) \leq 530 \text{ km/h}$;
 - max ortsabhängige Fahrweghöchstgeschwindigkeit : $\max v_{Fzg,FW,höchst}(x) \leq 500 \text{ km/h}$;
- (2) *Die ortsabhängige Fahrwegbegrenzgeschwindigkeit $v_{Fzg,FW,grenz}(x)$ definiert den ortsabhängigen Verlauf der maximal zulässigen Geschwindigkeit einer trassierten Strecke, abgeleitet aus den bei der Fahrbemessung angesetzten maximalen Einwirkungen infolge nicht häufiger oder außergewöhnlicher Bemessungssituationen.*
- (3) *Die ortsabhängige Fahrweghöchstgeschwindigkeit $v_{Fzg,FW,höchst}(x)$ definiert den ortsabhängigen Verlauf der maximal zulässigen Geschwindigkeit einer trassierten Strecke, abgeleitet aus den bei der Fahrbemessung angesetzten maximalen Einwirkungen häufiger Situationen.*
- (4) Die örtliche Fahrwegbegrenzgeschwindigkeit darf unter bestimmten Randbedingungen (z.B. Beschränkung der zulässigen Windgeschwindigkeit) zu Demonstrations- und Qualifikationszwecken in Einzelfällen überschritten werden. Hierfür ist jedoch ein gesonderter projektspezifischer Nachweis, der von der zuständigen Aufsichtsbehörde zu genehmigen ist, erforderlich.
- (5) *Die örtliche maximale Geschwindigkeit $\max v_{Fzg,häufig}(x)$ darf als häufige Bemessungssituation unter Berücksichtigung aller Geschwindigkeitstoleranzen und der örtlichen Trassierung die Fahrweghöchstgeschwindigkeit nicht überschreiten.*
- (6) *Die örtliche minimale Geschwindigkeit $\min v_{Fzg,häufig}(x)$ darf als häufige Situation unter Berücksichtigung aller Geschwindigkeitstoleranzen und der projektabhängigen Komfortanforderungen nicht unterschritten werden.*
- (7) *Die örtlichen maximalen und minimalen Geschwindigkeiten ergeben sich projektspezifisch auf Basis der Ist-Fahrprofile.*
- (8) *In seltenen Situationen kann die örtliche minimale Geschwindigkeit $\min v_{Fzg,häufig}(x)$ unterschritten bzw. die örtliche maximale Geschwindigkeit $\max v_{Fzg,häufig}(x)$ überschritten werden ($v_{Fzg,selten}(x) < \min v_{Fzg,häufig}(x)$ bzw. $v_{Fzg,selten}(x) > \max v_{Fzg,häufig}(x)$).*

6.2 Grenzwerte der Beschleunigungen

- (1) Die Grenzwerte der Beschleunigungen für häufige und nicht häufige Bemessungssituationen sind der nachfolgenden Tabelle 1 zu entnehmen.

Richtung	Bezeichnung	Grenzwerte
x	Beschleunigen und Bremsen	$- 1,5 \text{ m/s}^2 \leq \mathbf{a_x} \leq + 1,5 \text{ m/s}^2$
y	freie Seitenbeschleunigung	$- 1,5 \text{ m/s}^2 \leq \mathbf{a_y} \leq + 1,5 \text{ m/s}^2$
z	Normalbeschleunigung (inkl. $g = 9,81 \text{ m/s}^2$)	$+ 9,21 \text{ m/s}^2 \leq \mathbf{a_z} \leq + 11,01 \text{ m/s}^2$ (aus $g - 0,6 \text{ m/s}^2$ bzw. $g + 1,2 \text{ m/s}^2$)
Davon abweichende Beschleunigungen sind bei folgenden Bemessungssituationen zu berücksichtigen:		
a) Bei Weichen ist die maximale freie Seitenbeschleunigung mit $a_y = 2,0 \text{ m/s}^2$ anzusetzen, wenn nicht projektspezifisch eine abweichende Festlegung erfolgt.		
b) Bei einem in $\alpha = 12^\circ$ Querneigung stehendem Fahrzeug ($v_{Fzg} = 0 \text{ km/h}$) ergibt sich z.B. eine freie Seitenbeschleunigung von $a_y = -2,04 \text{ m/s}^2$ bzw. in Sonderfällen $a_y = -2,70 \text{ m/s}^2$ bei $\alpha = 16^\circ$ (Q11g).		
c) Erhöhung der Längsbeschleunigung bei Fehlfunktionen des Antriebs (Q11h) und bei Einsatz der „Sicheren Bremse“ (Q11f)		

Tabelle 1 - Grenzwerte der Beschleunigungen in x-, y- und z-Richtung

7 Einwirkungen auf den Fahrweg

7.1 Einteilung der Einwirkungen

- (1) Die zu berücksichtigenden Einwirkungen (F) sind in den nachfolgenden Tabellen in Anlehnung an /EN 1990/ in ständige (G), veränderliche (Q) und außergewöhnliche Einwirkungen (A) eingeteilt. Basis für die Einwirkungen ist /MSB AG-GESAMTSYS/. Gegebenenfalls sind projektspezifisch Ergänzungen nötig bzw. Streichungen zulässig.
- (2) Die veränderlichen Einwirkungen sind in häufige (in der Regel: Häufigkeit > 1/Woche) und nicht häufige (in der Regel: Häufigkeit < 1/Jahr) Einwirkungen eingeteilt.

7.1.1 Ständige Einwirkungen

Definition:

Eine ständige Einwirkung (G) ist nach /EN 1990/ eine Einwirkung, von der vorausgesetzt wird, dass sie während der gesamten Nutzungsdauer wirkt und deren zeitliche Größenänderung gegenüber dem Mittelwert vernachlässigbar ist oder bei der die Änderung bis zum Erreichen eines bestimmten Grenzwertes immer in der gleichen Richtung (gleichmäßig) stattfindet.

Nr.	Ständige Einwirkungen	Kapitel
G1	Eigenlasten der Bauteile	8.1.1
G2	Planmäßige Vorspannung/Zwang	8.1.2
G3	Kriechen und Schwinden (z.B. des Betons)	8.1.3
G4	Ständige Wasserdruckkräfte	8.1.4
G5	Wahrscheinliche Baugrundbewegungen	8.1.5
G6	Ständiger Erddruck	8.1.6

Tabelle 2 - Ständige Einwirkungen

7.1.2 Veränderliche Einwirkungen

Definition:

Eine veränderliche Einwirkung (Q) ist nach /EN 1990/ eine Einwirkung, deren zeitliche Größenänderung nicht vernachlässigbar ist oder bei der die Änderung nicht immer in der gleichen Richtung stattfindet.

Nr.	Einwirkungen	Kapitel
<u>Häufige Einwirkungen</u>		
Q1	Massenkräfte inkl. Dynamik aus Fahrzeugeigengewicht	8.2.1.4.1
Q2	Massenkräfte inkl. Dynamik aus Nutzlast	8.2.1.4.1
Q3	Ungleichverteilung des Fahrzeuggewichts in x-Richtung	8.2.1.3.1
Q4	Ungleichverteilung des Fahrzeuggewichts in y-Richtung	8.2.1.3.2
Q5	Fühdynamik (dynamische Kräfte aus der Spurführung)	8.2.1.4.3.4
Q6	Zwangskräfte in engen Radien	8.2.1.4.3.5
Q7a	Aerodynamische Kräfte aus Zugbegegnung	8.2.1.4.6.1
Q7b	Aerodynamische Kräfte aus Tunnelfahrt	8.2.1.4.6.2
Q7c	Aerodynamische Kräfte auf trassennahe bauliche Anlagen	8.2.1.4.6.3
Q8a	Einwirkungen aus Fahrtwind: Auftrieb	8.2.1.4.6.4
Q8b	Einwirkungen aus Fahrtwind: Druck / Sog	8.2.1.4.6.5
Q9a	Seitenkräfte infolge Wind aus Umwelt	8.2.1.4.7.2
Q9b	Auftrieb infolge Wind aus Umwelt	8.2.1.4.7.3
Q10	Temperatur infolge Antrieb	8.2.1.4.8
<u>Nicht häufige Einwirkungen</u>		
Q11a	Erhöhtes Fahrzeuggewicht	8.2.1.5.2
Q11b	Ausfall eines Magnetregelkreises Tragen	8.2.1.5.3
Q11c	Doppelausfall Magnetregelkreise Tragen	8.2.1.5.4
Q11d	Ausfall eines Magnetregelkreises Führen	8.2.1.5.5
Q11e	Doppelausfall Magnetregelkreise Führen	8.2.1.5.6
Q11f	Einsatz der „Sicheren Bremse“	8.2.1.5.7
Q11g	Geschwindigkeitsabweichung	8.2.1.5.8
Q11h	Fehlfunktionen des Antriebs	8.2.1.5.9
Q11i	Einwirkungen infolge Wicklungskurzschluss	8.2.1.5.10
Q11j	Anlaufen/Touchieren von Magneten	8.2.1.5.11
Q11k	Abheben von Tragkufen, die auf der Gleitebene angefroren sind	8.2.1.5.12
Q11l	Erhöhtes Fahrzeuggewicht infolge Schnee im Fahrzeug	8.2.1.5.13

Tabelle 3 - Veränderliche (häufige / nicht häufige) Einwirkungen aus dem Fahrzeug

Nr.	Einwirkungen	Kapitel
Q30	Einwirkungen aus Instandhaltung	8.2.2
Q50a	Temperatur aus Umwelt: Temperaturschwankungen	8.2.3.2
Q50b	Temperatur aus Umwelt: lineare Temperaturunterschiede	8.2.3.3
Q50c	Temperatur aus Umwelt: ungleiche Erwärmung von Bauteilen	8.2.3.4
Q51	Wind auf Tragwerk	8.2.4
Q52	Schnee- und Eislasten	8.2.5
Q53	Veränderliche Wasserdruckkräfte	8.2.6
Q54	Windlast in Bauzuständen	8.2.7
Q55	Instandhaltungszustände	8.2.8
Q56	Bauzustände	8.2.9
Q57a	Spurwechseleinrichtungen: elastische Biegung von Weichen	8.2.10.1
Q57b	Spurwechseleinrichtungen: Massenkräfte aus dem Verstellen	8.2.10.2
Q58	Verschiebungswiderstände der Lager	8.2.11
Q59	Ausfall von Tragwerkselementen	8.2.12
Q60	Erddruck aus veränderlichen Einwirkungen	8.2.13

Tabelle 4 - Sonstige veränderliche Einwirkungen

7.1.3 Außergewöhnliche Einwirkungen

Definition:

Eine außergewöhnliche Einwirkung (A) ist nach /EN 1990/ eine Einwirkung, die in der Regel von kurzer Dauer, aber von bedeutender Größenordnung ist, und die während der geplanten Nutzungsdauer des Tragwerkes jedoch mit keiner nennenswerten Wahrscheinlichkeit auftreten kann.

Nr.	Einwirkungen	Kapitel
<u>Einwirkungen aus dem Fahrzeug</u>		
A1	Einwirkungen als Folge von Lichtraumverletzungen	8.3.2.1
A2	Sicherheitswind auf Fahrzeug (v=0 km/h)	8.3.2.2
<u>Sonstige außergewöhnliche Einwirkungen</u>		
A3	Instandhaltung	8.3.3
A4	Sicherheitswind auf Tragwerk	8.3.4
A5	Mögliche Baugrundbewegungen	8.3.5
A6	Anprall von spurgeführten Fahrzeugen	8.3.6
A7	Anprall von Straßenfahrzeugen	8.3.6.3
A8	Eisstoß, thermischer Eisdruck, Anprall Wasserfahrzeuge	8.3.7
A9	Erdbeben	8.3.8

Tabelle 5 - Außergewöhnliche Einwirkungen

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

7.2 Kombinationen der Einwirkungen

- (1) Als Kombination von Einwirkungen wird nach /EN 1990/ die Gesamtheit der Bemessungswerte für den Nachweis der Tragwerkszuverlässigkeit für einen Grenzzustand unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit ihres Auftretens bezeichnet.
- (2) Die Einwirkungen sind unter Berücksichtigung der in der nachfolgenden Tabelle 6 angegebenen Möglichkeiten so zu kombinieren, dass sich die für die Bemessung jeweils ungünstigsten Beanspruchungen ergeben.
- (3) Zur Berücksichtigung der Tatsache, dass bestimmte Einwirkungen mit ausreichender Wahrscheinlichkeit nicht gleichzeitig mit ihren max. Größen auftreten, dürfen die in den nachfolgenden Kapiteln angegebenen Abminderungs- bzw. Kombinationsfaktoren angewendet werden.

Einwirkungen		Einwirkungssituationen 1)		Anmerkungen:
ständige Einwirkungen G nach Tab.2		mit	-	
Einwirkungen aus dem Fahrzeug				
Q1	Fahrzeugeigengewicht	max	min	
Q2	Nutzlast 2)	max	min	
Q3	Ungleichverteilung des Fahrzeuggewichts in x- und y-Richtung	3)		
Q4				
Q5	dyn. Seitenkräfte aus Führdynamik 4)	mit	ohne	Zu 2) Für den Nachweis der Betriebsfestigkeit darf eine nachgewiesene Teilnutzlast angesetzt werden (siehe Kap. 8.2.1.2).
Q6	Zwangskräfte in engen Radien 5)	mit	-	
Q7	aerodynamische Seitenkräfte 6)	mit	ohne	Zu 3) siehe Kap. 8.2.1.3
Q8	Einwirkungen aus Fahrtwind 6)	mit	ohne	
Q10	Temperatur infolge Antrieb	mit	ohne	Zu 4) infolge Fahrwegverformungen und Fahrwegtoleranzen
Q11	Nicht häufige Einwirkungen	mit	ohne	
Einwirkungen aus der Umwelt				
Q9	Windeinwirkung auf Fahrzeug 6)	mit	ohne	Zu 5) abhängig vom Radius in der x-y-Ebene
Q50	Temperatur aus Umwelt	mit	ohne	
Q51	Wind auf Tragwerk	mit	ohne	Zu 6) abhängig von der Fahrgeschwindigkeit
Q52	Schnee- und Eislasten	mit	ohne	
Q53	Veränderliche Wasserdruckkräfte	mit	ohne	Zu 7) siehe Kap. 8.2.2
Q60	Erddruck aus veränderlichen Einwirkungen	mit	ohne	Zu 8) siehe Kap 8.2.8
sonstige Einwirkungen				
Q30	Einwirkungen aus Instandhaltung 7)	mit	ohne	
Q55	Instandhaltungszustände 8)	mit	ohne	
Q57a	Elast. Verformung der Biegeweichen	mit	ohne	
Q58	Lager-Verschiebungswiderstände	mit	ohne	
Q59	Ausfall von Tragwerkselementen	mit	ohne	

Tabelle 6 - Typische Einwirkungssituationen zur Bildung der maßgebenden Kombinationen

7.3 Kraftübertragende Schnittstellen Fahrzeug - Fahrweg

7.3.1 Allgemeines

- (1) *Die kraftübertragenden Schnittstellen Fahrzeug – Fahrweg (siehe Abbildung 1)*
 - *Tragmagnet – Langstator,*
 - *Führmagnet – Seitenführschiene,*
 - *Bremsmagnet – Seitenführschiene und*
 - *Tragkufe – Gleitleiste**werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.*
- (2) *Grundlage hierfür sind die in /MSB AG-GESAMTSYS/ festgelegten Ausführungen. Außerhalb dieser Schnittstellen werden vom Fahrzeug in der Regel nur aerodynamische Kräfte (Druck/Sog) auf den Fahrweg übertragen.*
- (3) *Darüber hinaus können ggf. im Bereich sonstiger Fahrwegausrüstungselemente (z.B. externe Bordenergieversorgung) Kräfte übertragen werden, die im Einzelfall festzulegen sind.*
- (4) *Die Massenkräfte aus Sonderfahrzeugen werden in der Regel auch über die o.g. Schnittstellen in den Fahrweg geleitet.*
- (5) *Die Geometrie der fahrwegseitigen Schnittstellenbaugruppen ist in /MSB AG-FW ÜBG/ und /MSB AG-FW GEO/ festgelegt. Außerdem sind die systemspezifischen Maße und Abmessungen, die die kraftübertragenden Schnittstellen zwischen Fahrzeug und Fahrweg beschreiben, für typische Ausführungen angegeben.*
- (6) *Weitere Angaben zu den Schnittstellen sind in Kapitel 9 bei der Beschreibung der Lastbilder zusammengestellt.*
- (7) *Im Anhang Kapitel 11.1 sind in Tabelle 25 die fahrzeugseitigen Einwirkungen auf den Fahrweg den einzelnen Schnittstellen zugeordnet.*
- (8) *Als Bezugsgrößen für die Fahrzeuglänge sind für die Ermittlung der Beanspruchungen die Tragmagnet-Belegungslängen anzusetzen:*
 - *Endsektionen: $L_{ES} = L_{TM-B, ES} = 23,753 \text{ m}$*
 - *Mittelsektionen: $L_{MS} = L_{TM-B, MS} = 24,768 \text{ m}$*

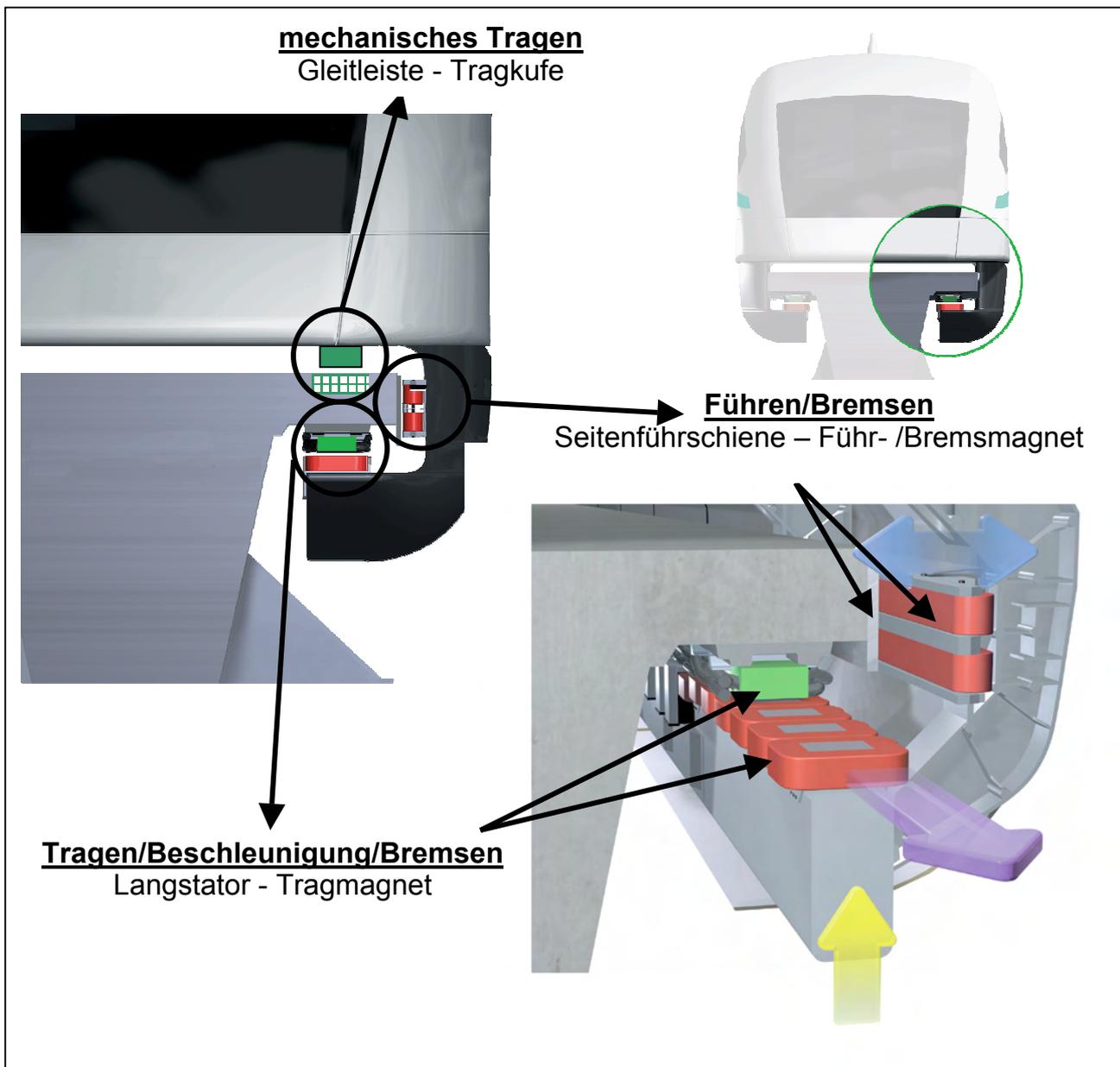


Abbildung 1 - Schnittstellen Fahrzeug – Fahrweg

7.3.2 Bezeichnung und Nummerierung der Teilmagnete

- (1) Die Bezeichnung und Nummerierung der Teilmagnete Tragen TMT und Führen FMT ist für die End- und Mittelsektionen aus Abbildung 2 zu entnehmen.
- (2) Dabei ist zwischen linker (li) und rechter (re) Fahrzeug-/Fahrwegseite zu unterscheiden.
- (3) *Bei Fahrzeugen nach derzeitigem Stand der Technik gibt es bei den Endsektionen die Teilmagnete Führen FMT1 bzw. FMT16 nicht, da keine sektionsübergreifenden Führungsmagnete vorhanden sind.*

Ausführungsgrundlage

- (4) Die Teilmagnete Tragen TMT(1) und TMT(16) der Ensektionen entsprechen der Verlängerung der Bug- bzw. Heckmagnete.

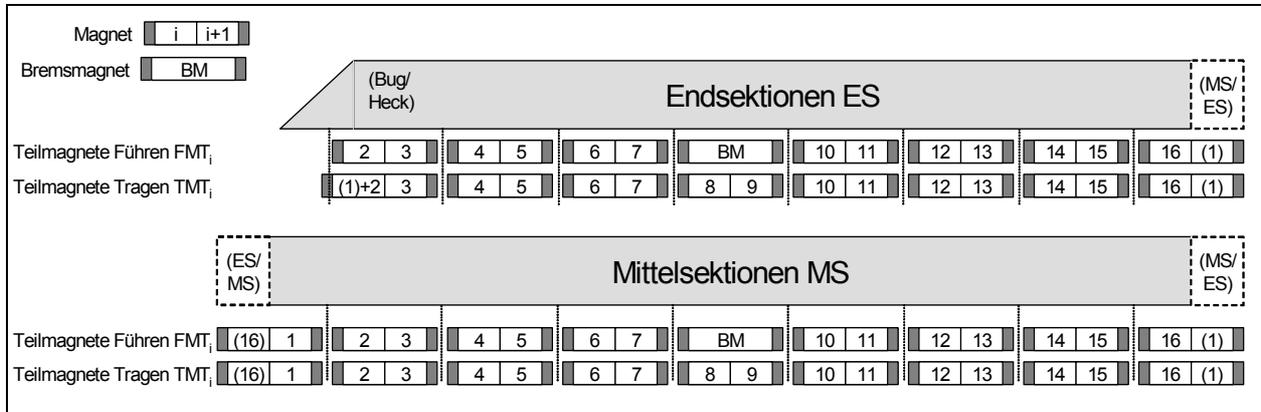


Abbildung 2 - Bezeichnung der Teilmagnete (Tragen und Führen)

7.3.3 Schnittstelle Tragemagnet - Langstator

7.3.3.1 Funktionen

- (1) Über die beiderseits an Fahrweg und Fahrzeug angeordnete Schnittstelle Tragemagnet-Langstator (siehe Abbildung 1) werden nur elektromagnetische Zugkräfte in +z-Richtung und elektromagnetische Längskräfte in $\pm x$ -Richtung infolge Antreiben und Bremsen übertragen.
- (2) Bei Ausfall eines Teilmagneten übernimmt in der Regel der benachbarte Teilmagnet die Kräfte des ausgefallenen Teilmagneten (Q11b). Bei Ausfall benachbarter Teilmagnete übernimmt die zugeordnete Tragkufer die Kräfte der ausgefallenen Teilmagnete (Q11c).

7.3.3.2 Geometrie

- (1) Die Geometrie der Tragemagnete und der kraftübertragenden Komponenten der Tragemagnete (Polkerne) ist in Abbildung 3 dargestellt.
- (2) Im Sinne dieser Ausführungsgrundlage entspricht die Fahrzeuglänge der „Tragemagnetbelegungslänge“ L_{TM-B} . Die „Tragemagnetbelegungslänge“ L_{TM-B} einer Sektion ergibt sich aus der Summe der Systemlängen der vorhandenen Tragemagnete $L_{sys, TM}$. Die „Tragemagnetbelegungslänge“ L_{TM-B} für Fahrzeuge mit n -Sektionen ($n \geq 2$) beträgt unter Berücksichtigung der Tragemagnetbelegungslängen für End- und Mittelsektionen: $L_{TM-B} = 2 \cdot L_{TM-B, ES} + (n-2) \cdot L_{TM-B, MS}$
- (3) Die Regel-Tragemagnete besitzen 10 Haupt- und 2 Endpole (Ausnahme: typische Ausführung der Bug- und Heckmagnete mit 2 zusätzlichen Hauptpolen).
- (4) Die Systemlänge der Regel-Tragemagnete beträgt 3096 mm (Ausnahme: typische Ausführung der Bug-/Hecktragemagnete: $L_{sys, TM} = 3629$ mm).
- (5) Die kleinste Systemeinheit bezogen auf Tragemagnetkraft beträgt: $L_{sys, TMT} = 1548$ mm = $L_{sys, TM} / 2$ (Ausnahme: typische Ausführung am Bug/Heck: $L_{sys, TMT, Bug/Heck} = 2081$ mm).
- (6) Die angegebenen Abmessungen sind für alle Radien und Halbmesser der Fahrwegtrassierung anzusetzen.

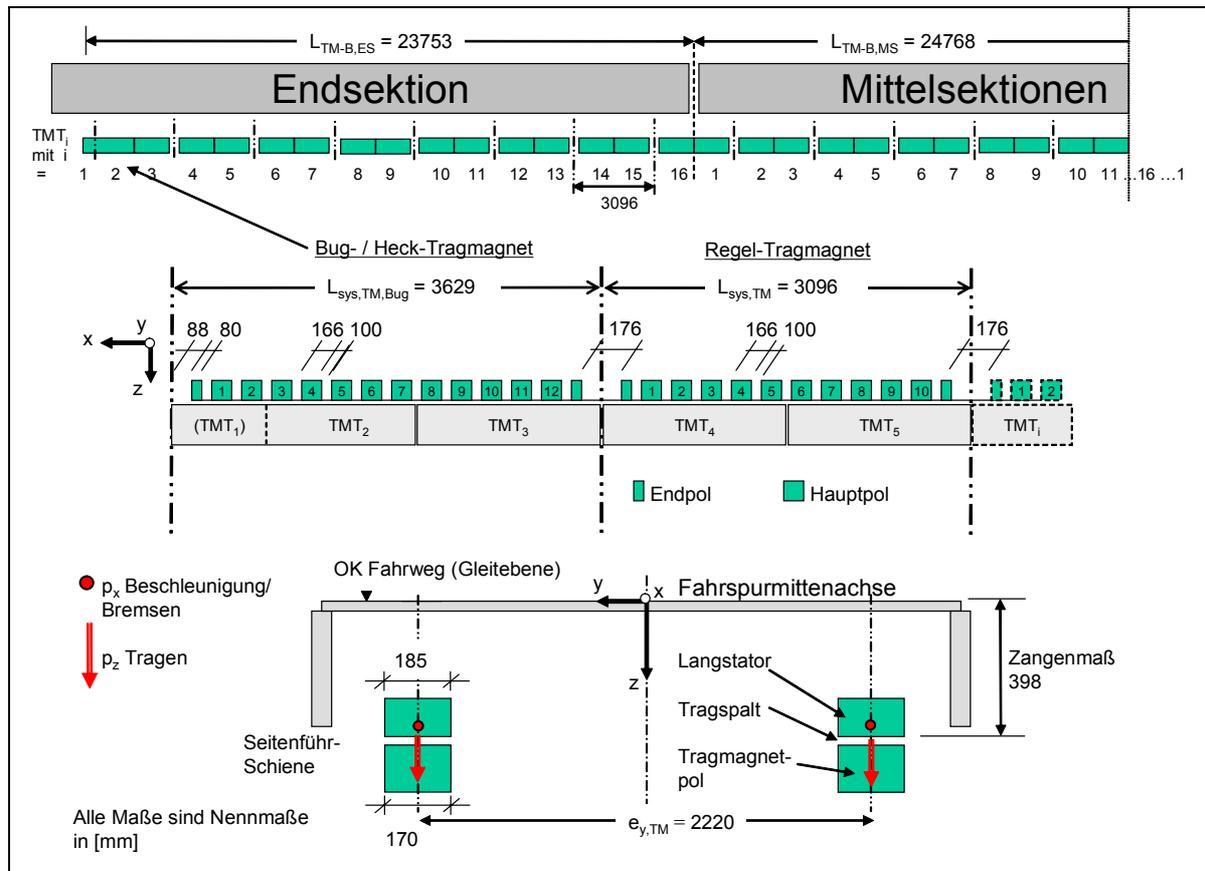


Abbildung 3 - Typische Geometrie der Einwirkungen Tragsmagnet – Langstator

7.3.4 Schnittstelle Führungsmagnet - Seitenführschiene

7.3.4.1 Funktionen

- (1) Über die beiderseits an Fahrweg und Fahrzeug angeordnete Schnittstelle Führungsmagnet-Seitenführschiene (siehe Abbildung 4) werden elektromagnetische Zugkräfte in y -Richtung aus den Einwirkungen in y -Richtung übertragen.
- (2) In nicht häufigen Situationen (z.B. bei „ausgefallenen Magnetregelkreisen Führen“ (Q11d, Q11e) oder bei ungünstiger Überlagerung von extremen Einwirkungen) wirken örtlich mechanische Druckkräfte in y -Richtung und Reibungskräfte in $+x$ -Richtung.

7.3.4.2 Geometrie

- (1) Die magnetischen und mechanischen Kräfte werden über 2 bzw. 4 längslaufende Pol-Leisten (PL) auf die Seitenführschiene übertragen (siehe Abbildung 4). In Längsrichtung sind alle 3,096 m (Führungsmagnetsystemlänge $L_{\text{sys, FM}} = 3,096$ m) Spalte von 46 mm ($2 \cdot 23$ mm) vorhanden. Die kraftübertragende Pol-Leistenlänge beträgt $L_{\text{PL, FM}} = 3,050$ m bzw. $L_{\text{PL, FMT}} = 1,525$ m. Die Anordnung der Führungsmagnete und Führungsmagnetpole bzw. Teilmagnete über die Fahrzeuglänge ist variabel. Eine typische Anordnung der einzelnen Führungsmagnete ist in Abbildung 4 dargestellt.
- (2) Die mechanischen Kräfte bei Doppelausfall von benachbarten Führungsmagnetregelkreisen werden über die Anlaufleisten an den Enden der Führungsmagnete ($b_{z, AL} = 283$ mm; $b_{x, AL} = 5$ mm; siehe Abbildung 34) auf den Fahrweg übertragen.
- (3) Zur Ermittlung der Einwirkungen infolge Reibung sind typische Reibbeiwerte zwischen Führungsmagnet und Seitenführschiene der Tabelle 7 zu entnehmen.

- (4) Die Führungsmagnetbelegungsängen $L_{FM-B,ES}$ und $L_{FM-B,MS}$ können aus Abbildung 5 abgeleitet werden.
- (5) Die Abmessungen sind für alle Radien und Halbmesser der Fahrwegtrassierung anzusetzen.

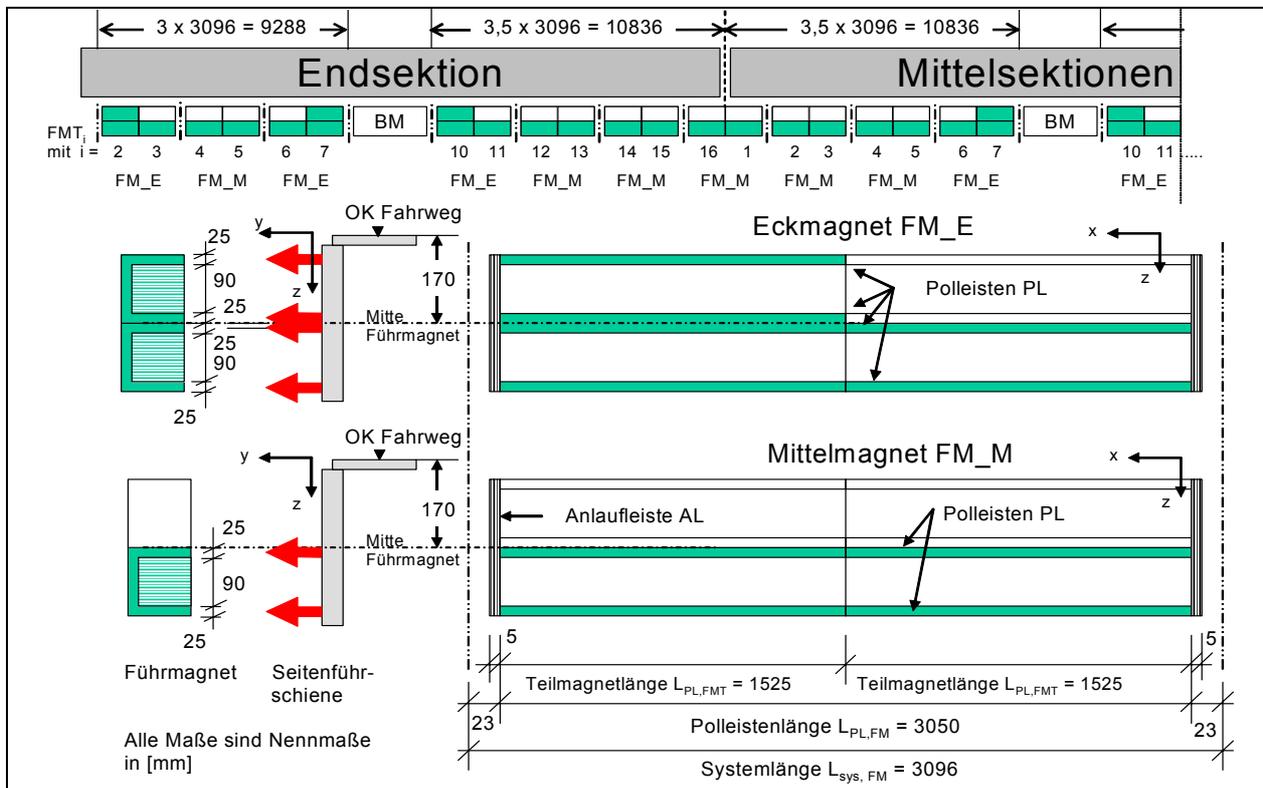


Abbildung 4 - Typische Geometrie der Einwirkungen Führungsmagnet - Seitenführschiene

7.3.5 Schnittstelle Bremsmagnet - Seitenführschiene

7.3.5.1 Funktionen

- (1) Über die beiderseits an Fahrweg und Fahrzeug angeordnete Schnittstelle Bremsmagnet-Seitenführschiene (siehe Abbildung 5) werden bei Ausfall des Langstatormotors zum Abbremsen des Fahrzeugs elektromagnetische Zugkräfte in y- und Längskräfte in +x-Richtung, bei angelegten Bremsmagneten auch mechanische Reibungskräfte in +x-Richtung übertragen.

7.3.5.2 Geometrie

- (1) Eine typische Anordnung der Bremsmagnete in x-Richtung und die typische Geometrie der lastübertragenden Polkerne sind in Abbildung 5 angegeben.
- (2) Der Mittenabstand der Bremsmagnete in x-Richtung beträgt dabei $e_{x,BM} = 24,768$ m.

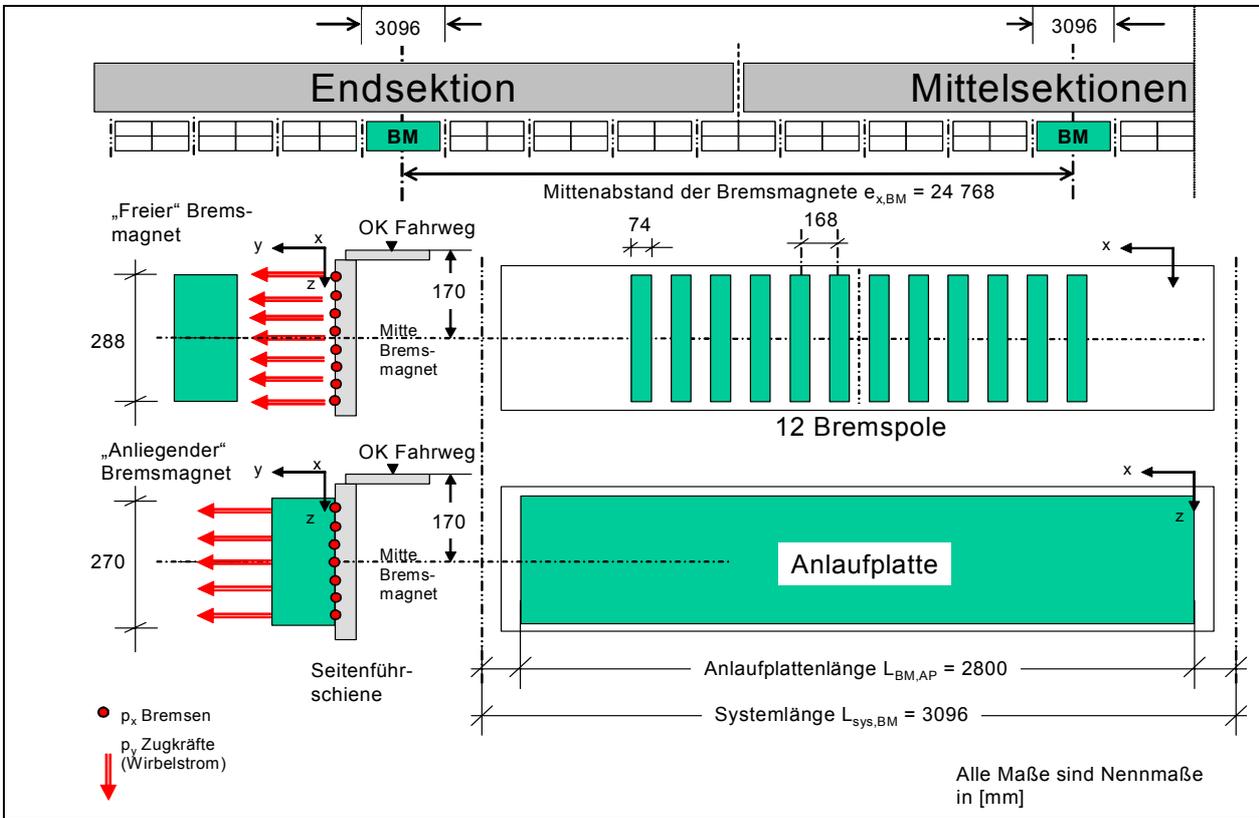


Abbildung 5 - Typische Geometrie der Einwirkungen Bremsmagnet - Seitenführschiene

- (3) Die in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit anzusetzenden maximalen Reibbeiwerte μ_{BM-SFS} zwischen Bremsmagnet und Seitenführschiene sind der Tabelle 7 zu entnehmen.

v_{Fzg} [km/h]	Haftreibung		Gleitreibung						
	0	$v \rightarrow 0$	10	20	30	50	100	200	> 300
μ_{BM-SFS} [-]	0,50	0,30	0,25	0,22	0,20	0,18	0,14	0,12	0,10

Tabelle 7 - Typische Reibbeiwerte Bremsmagnet – Seitenführschiene (trockener Fahrweg)

7.3.6 Schnittstelle Tragkufe - Gleitleiste

7.3.6.1 Funktionen

- (1) Über die beiderseits an Fahrweg und Fahrzeug angeordnete Schnittstelle Tragkufe-Gleitleiste (siehe Abbildung 6) werden Kräfte in z- und Reibungskräfte in $\pm x$ -Richtung und $\pm y$ -Richtung übertragen (Im Regelfall bei $v_{Fzg} = 0$ km/h, in nicht häufigen Bemessungssituationen bei $v_{Fzg} \geq 0$ km/h).
- (2) Die Vorgehensweise zur Ermittlung der zu berücksichtigenden Einwirkungen ist in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.
- (3) Zur Ermittlung der Einwirkungen in x-Richtung infolge Reibung sind die in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit anzusetzenden maximalen Reibbeiwerte μ_{TK-GL} zwischen Tragkufe und Gleitleiste der Tabelle 8 zu entnehmen.

	Haftreibung	Gleitreibung							
v_{Fzg} [km/h]	0	$v \rightarrow 0$	10	20	30	50	100	200	> 300
μ_{TK-GL} [-]	0,50*	0,30**	0,24	0,21	0,20	0,18	0,14	0,12	0,10

* Beiwert zur Berücksichtigung der Haftreibung
 ** Der max. Reibbeiwert für $v_{Fzg} \rightarrow 0$ km/h ist projektspezifisch zu überprüfen.

Tabelle 8 - Typische Reibbeiwerte Tragkufe – Gleitleiste (trockener Fahrweg)

7.3.6.2 Geometrie

- (1) Eine typische Anordnung der Tragkufen am Fahrzeug mit den typischen Abmessungen der Tragkufen ist in Abbildung 6 dargestellt.

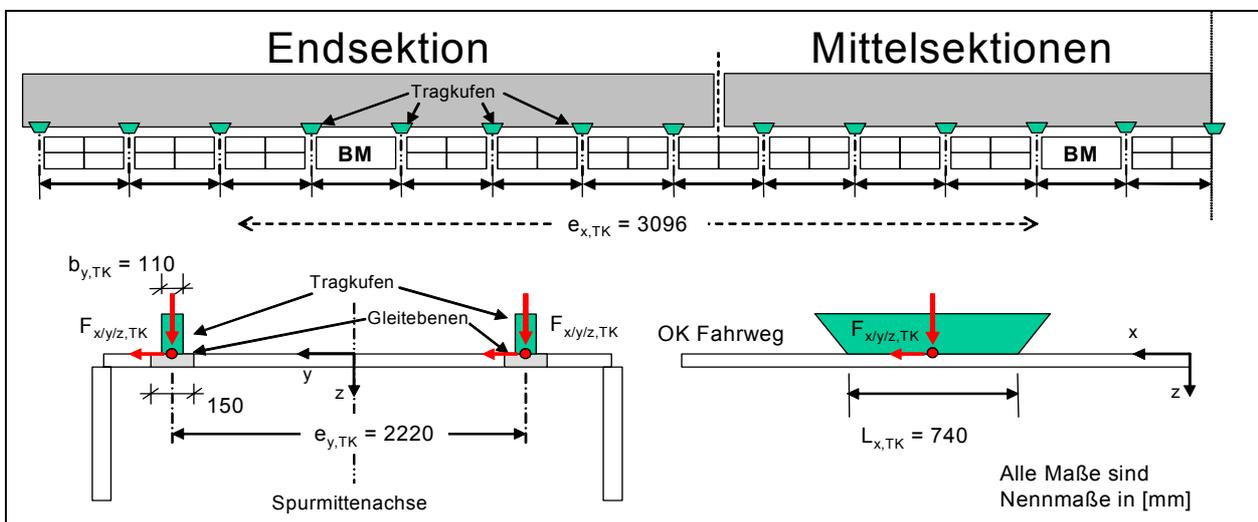


Abbildung 6 - Typische Geometrie der Einwirkungen Tragkufe - Gleitleiste

7.3.7 Sonstige Schnittstellen

- (1) Die Schnittstellen zu den Bauteilen der externen Bordenergieversorgung und zu den Bauteilen zur Erfassung der Fahrzeuglage (Ortung) sind in /MSB AG-FW ÜBG/ beschrieben.
- (2) Die charakteristischen Werte der Einwirkungen sind projekt- und bauartspezifisch festzulegen.

7.4 Dynamische Überhöhung der Beanspruchungen

7.4.1 Allgemeines

- (1) *Infolge der transienten Einwirkungen auf den Fahrweg treten in der Regel Schwingungen/Vibrationen auf, die zu einer Erhöhung der statischen Fahrwegbeanspruchungen (dynamische Überhöhung) wie zur Abstrahlung von Schall und Körperschall (Erschütterungen) führen.*

7.4.2 Einflussgrößen auf die dynamische Überhöhung

7.4.2.1 Allgemeines

- (1) *Die nachfolgend beschriebenen Parameter bzw. Kennwerte beeinflussen das dynamische Verhalten bzw. die dynamische Reaktion des Fahrwegs bei Überfahrt eines Fahrzeugs und somit die Größe der dynamischen Überhöhungen.*

7.4.2.2 Einflussgrößen des Fahrwegs

- (1) Eigenfrequenzen und Eigenformen der Fahrwegstruktur
Das dynamische Verhalten des Fahrwegs und dessen Anregbarkeit wird maßgeblich durch die zugehörigen Eigenfrequenzen und Eigenformen entlang der Funktionsebenen und durch das Lastbild bestimmt. Globale und lokale Eigenfrequenzen und Eigenformen hängen von der Masse, der Steifigkeit, dem statischen System und den Lagerungsbedingungen der Konstruktionen ab.
- (2) Dämpfungseigenschaften der Fahrwegstruktur
Die Dämpfungseigenschaften des Fahrwegs beeinflussen wesentlich die Größe der dynamischen Überhöhungen vor allem bei harmonischer Anregung. Die Dämpfungseigenschaften sind von den verwendeten Materialien und den konstruktiven Eigenschaften der Struktur abhängig. Eine möglichst genaue Kenntnis der jeweiligen Dämpfungseigenschaften des Fahrwegs ist für eine rechnerische Ermittlung der dynamischen Beanspruchungen erforderlich.
- (3) Lagegenauigkeit der Funktionsebenen
Je größer die geometrischen Abweichungen von der idealen Fahrweglage (z.B. Lageungenauigkeiten des Langstators, Versatz am Trägerende) sind, umso größere dynamische Überhöhungen der Beanspruchungen sind zu erwarten (zulässige Lageabweichungen siehe /MSB AG-FW GEO).

7.4.2.3 Einflussgrößen des Fahrzeugs

- (1) Lastbild des Fahrzeugs und darin enthaltene geometrische Regelmäßigkeiten
*Das Lastbild des Fahrzeugs ist bestimmend für die Größe der dynamischen Überhöhung bei stoßartiger Belastung.
Aus den geometrischen Regelmäßigkeiten im Lastbild und in der Ausbildung der Tragsmagnete/ Magnetpole ergeben sich in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit mögliche fahrzeugseitige Anregungsfrequenzen.*
- (2) Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs
In Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit können signifikant überhöhte Schwingungen der Fahrwegträger auftreten. Dynamische Überhöhungen sind vor allem bei resonanten Fahrgeschwindigkeiten, bei hohen Fahrgeschwindigkeiten (stoßartige Belastung) und bei geringen Fahrgeschwindigkeiten (Langsamfahrt/Standschweben) zu erwarten.
- (3) Dynamische Eigenschaften des Fahrzeugs
Alle Faktoren, welche die Zeitveränderlichkeit der Magnetkräfte (wie z. B. Spaltabstand) mitbestimmen, beeinflussen die dynamische Überhöhung der Fahrwegbeanspruchungen.

7.4.2.4 Maßgebliche Anregemechanismen

- (1) Die maßgebenden systemspezifischen Mechanismen sowie deren Einflussgrößen werden nachfolgend aufgeführt.

7.4.2.4.1 Anregemechanismus I

- (1) *Stoßartige Belastung des Fahrwegs durch die Überfahrt des Fahrzeugs:*
Bei vorliegenden Fahrzeuglängen, Fahrweggeometrien und Fahrgeschwindigkeiten steigt die Größe der dynamischen Belastung mit der Fahrgeschwindigkeit an. Dieser Effekt kann insbesondere für hohe Fahrgeschwindigkeiten relevant werden.

7.4.2.4.2 Anregemechanismus II

- (1) Geometrische Regelmäßigkeiten des Fahrzeugs (Länge des Tragsmagnets L_{TM} , Sektionslänge des Fahrzeugs $L_{ES/MS}$) bewirken eine periodische Anregung des Fahrwegs, deren Frequenz von der Fahrgeschwindigkeit abhängt. Hieraus können überhöhte Fahrwegschwingungen resultieren. Die harmonische Anregung des Fahrwegs kann ebenso Erschütterungen im Baugrund hervorrufen.
- (2) Aus der Geometrie und der Anordnung der fahrzeugseitigen Einwirkungen (z. B. Tragsmagnete und Tragsmagnetpole bzw. Führungsmagnete und Führungsmagnetpole) ergeben sich die maßgebenden Wellenlängen λ_i der Einwirkung. Typische Wellenlängen für die Einwirkungen in z-Richtung sind z.B. $\lambda_i = L_\lambda / i$ mit $i = 1; 2 \dots$ und $L_\lambda = 3,096 \text{ m}; 24,768 \text{ m}; 49,536 \text{ m}$.
- (3) Mit Hilfe von Gleichung (1) können daraus die zugehörigen geschwindigkeitsabhängigen Anregungsfrequenzen berechnet werden.

$$f_{\text{Anregung}} = v_{\text{Fzg}} / \lambda_i \text{ [Hz]} \quad (1)$$

- (4) Für den Fahrweg ergeben sich somit eine Vielzahl an Anregungsfrequenzen, die im Bereich fahrwegseitiger Eigenfrequenzen resonante dynamische Überhöhungen bewirken können (siehe hierzu Kapitel 7.4.4.3.1 (4)).

7.4.2.4.3 Anregemechanismus III

- (1) Periodische Schwankungen in den vom Fahrzeug auf den Fahrweg übertragenen Magnetkräften durch die Nut-/Zahnausbildung des Langstators.
- (2) Infolge der geringen Abmessungen bewirken diese vor allem bei Strukturen mit kurzen Einflusslängen und bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten eine periodische Anregung des Fahrwegs, deren Frequenz von der Fahrgeschwindigkeit abhängt.

7.4.2.4.4 Anregemechanismus IV

- (1) Fahrwegschwingungen können periodische Schwankungen der Fahrzeuglasten verursachen. Mögliche Ursachen einer Schwingungsanregung des Fahrzeugs sind nachfolgend beschrieben.
- (2) Parametererregte Schwingung des Fahrzeugs (Anregemechanismus IV.a):
Infolge einer regelmäßigen, endlichen Länge der Fahrwegträger kann sich die Steifigkeit des Fahrwegs unter den Tragsmagneten periodisch ändern (z.B. Auflagerbereich, Trägerfeld). Liegt eine sich aus der Fahrgeschwindigkeit und der Stützweite der Fahrwegträger ergebende Anregungsfrequenz in der Nähe einer Eigenfrequenz des Fahrzeugs bzw. des Fahrwegs, können hieraus überhöhte Schwingungen des Fahrzeugs und dadurch auch des Fahrwegs resultieren.
- (3) Anregungen aus der „Fahrbahnrauheit“ (Anregemechanismus IV.b):
Abweichungen der Funktionsebenen von der Soll-Lage (z.B. Lageungenauigkeiten der Statorpakete oder Versätze an den Trägerstößen) führen bei Überfahrt des Fahrzeugs zu einer dynamischen Anregung des Fahrzeugs und damit zu Fahrwegschwingungen, die wiederum eine Rückwirkung auf den Fahrweg zur Folge haben.

7.4.2.4.5 Anregemechanismus V

- (1) *Dynamische Effekte aus der Regelung des Fahrzeugs und damit in der Kopplung des Fahrzeugs an den Fahrweg können vor allem bei Langsamfahrt/Standschweben und besonders im Bereich der Eigenfrequenzen der Fahrwegstruktur zu stark überhöhten Schwingungen führen.*
- (2) *Die zugehörigen Wechselkräfte können durch Messungen z.B. an Prototyp-Fahrwegen eingegrenzt werden.*

7.4.2.4.6 Anregemechanismus VI

- (1) Anregungen infolge von nicht häufigen Einwirkungen, wie z.B. Störung der Antriebsregelung des Langstatorlinearmotors („Schlupf“, „Pendeln“), geregeltes Absetzen des Fahrzeugs bei Einsatz der „Sicheren Bremse“ oder Anlaufen eines Tragnagneten am Statorpaket.

7.4.3 Dämpfungseigenschaften

- (1) *Es wird empfohlen, im Hinblick auf eine Reduzierung von dynamischen Überhöhungen Bauweisen/Konstruktionen mit hoher Eigendämpfung zu verwenden.*
- (2) Die Dämpfungsmaße nach EN 1991-2:2003 Tab. 6.6 oder experimentell ermittelte Dämpfungswerte dürfen verwendet werden, wenn diese für den jeweiligen Anwendungsfall nachweislich repräsentativ und mit der zuständigen Aufsichtsbehörde abgestimmt sind.
- (3) Sind Dämpfungsmaße nach (2) nicht vorhanden, so können für die dynamischen Untersuchungen als konservative Dämpfungsmaße D in % der kritischen Dämpfung (Lehrsches Dämpfungsmaß) die in Tabelle 9 angegebenen Werte verwendet werden.

Tragwerk/Bauteil aus	Konservative Dämpfungsmaße D [%]
geschweißten Stahlstrukturen	0,3
geschraubten Stahlstrukturen	0,4 .. 0,6 (abhängig von der Konstruktion)
Stahlbeton	0,6
Spannbeton	0,6
Stahlverbund	0,6
Baugrund	projektspezifisch

Tabelle 9 - Dämpfungsmaße D in % der kritischen Dämpfung

7.4.4 Ermittlung der dynamischen Beanspruchungen

7.4.4.1 Allgemeines

- (1) Die allgemeinen Anforderungen an die Nachweisführung von dynamischen Einwirkungen sind
 - DIN Fachbericht 101 Kap.- 6.4; Anhang H;
 - DIN 1055-100, Kap. 5.4
 - Eurocodes (z.B. EN 1990 - Kap. 4.1.5; Kap. 5.1.3 und EN 1991-2 - Kap. 6.4)
 zu entnehmen.
- (2) Bei der Ermittlung der dynamischen Beanspruchungen sind alle Einwirkungen aus dem Fahrbetrieb und ggf. der Umwelt (Wind, Erdbeben) mit ihren spezifischen Eigenschaften zu berücksichtigen.
- (3) Die lokale Erhöhung infolge der Magnetregelung ist entsprechend Kapitel 7.4.4.2.2 zu berücksichtigen.

- (4) Bei der rechnerischen Bestimmung von dynamischen Beanspruchungen unter Verwendung geeigneter Rechenprogramme sind die Angaben in Kapitel 7.4.4.3.1 zu berücksichtigen
- (5) Dynamische Einwirkungen dürfen als quasi-statische Einwirkungen angenommen werden, sofern Schwingbeiwerte vorhanden und mit den zuständigen Bauaufsichtsbehörden abgestimmt sind.
- (6) Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit des Fahrwegs im Hinblick auf dessen Schwingungsverhalten sind die in Kapitel 10.3.5 enthaltenen Anforderungen zur Systemverträglichkeit von Schwingungsamplituden zu berücksichtigen.
- (7) Dynamische Beanspruchungen im Resonanzbereich sind durch geeignete Maßnahmen (z.B. Dämpfung durch Schwingungstilger/-dämpfer) nachweislich so zu begrenzen, dass die Gebrauchstauglichkeit, die Tragsicherheit und die Betriebsfestigkeit unter Berücksichtigung der Resonanzbeanspruchungen für die projektspezifisch geforderte Nutzungsdauer nachgewiesen werden können.
- (8) Die theoretischen Annahmen und Rechenergebnisse sind nach /MSB AG-FW ÜBG/ durch Messung der dynamischen Beanspruchungen zu verifizieren.

7.4.4.2 Dynamische Überhöhungen infolge Magnetregelung

7.4.4.2.1 Zeitveränderlichkeit der Magnetkräfte

- (1) *Zur Einhaltung des erforderlichen Luftspaltes an den Schnittstellen Tragsmagnet/Langstator und Führungsmagnet/Seitenführschiene werden die Magnetkräfte entsprechend den lokalen und temporären Spaltverhältnissen (siehe zulässige Fahrwegtoleranzen nach /MSB AG-FW GEO/ geregelt.*
- (2) Die daraus resultierende Zeitveränderlichkeit ("Dynamik") der Magnetkräfte (Reaktionskräfte infolge Lagetoleranzen des Langstators und der Seitenführschiene, Schlupf, Pendeln) ist bei lokalen Nachweisen im Schnittstellenbereich (Tragsmagnet-Langstator, Führungsmagnet-Seitenführschiene) für jeweils einen Teilmagneten Tragen bzw. Führen (siehe Kapitel 7.3 und 9.3) zu berücksichtigen.
- (3) Für die Nachweisführung sind dabei folgende Überhöhungsbeiwerte φ_{RI} anzusetzen:

$$\min \varphi_{RI,x/y/z} = 0,8 \quad \text{und} \quad \max \varphi_{RI,x/y/z} = 1,2$$

- (4) Die in Kapitel 9 angegebenen oberen Grenzwerte der statischen Einwirkungen sind als Grenztragkräfte der Trag- und Führungsmagnete zu verwenden. Hierbei sind die Überhöhungen $\max \varphi_{RI,x/y/z}$ bereits enthalten.

7.4.4.2.2 Anregung von Eigenformen durch die Magnetregelung

- (1) Vor allem bei langsamer Fahrt und beim Standschweben können durch veränderliche Magnetkräfte infolge der Spaltregelung Eigenformen von Fahrweegelementen angeregt werden. Die Beanspruchungen und Verformungen infolge dieser Anregungen sind nachzuweisen.
- (2) Die Art/Methode der Nachweisführung ist mit der zuständigen Aufsichtsbehörde abzustimmen.
- (3) *Möglichkeiten der Nachweisführung sind:*
 - *Theoretische Nachweisführung durch dynamische FEM-Berechnungen z.B. durch Frequenzganganalyse; (Die Anregungskräfte und zugehörigen Frequenzbereiche sind hierzu in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde projektspezifisch festzulegen.)*
 - *Sofern in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde projektspezifisch keine Werte festgelegt sind, können zur Abschätzung der dynamischen Überhöhungen Anregungskräfte als in den Eigenfrequenzen des Trägers harmonisch variierende Kräfte mit maximalen Kraftamplituden von $\Delta p_z = \Delta p_y = \pm 1 \text{ kN/m}$ angenommen werden. Dabei ist der Frequenzbereich von 0 bis 30 Hz maßgebend.*
 - *Messung der dynamischen Verformungen und Beanspruchungen eines Prototypträgers mit gleichzeitiger Verifikation des Systemverhaltens;*
 - *Prüfung von Fahrweegelementen im Versuchsstand;*
- (4) Zusätzlich zu einer rechnerischen Nachweisführung ist eine Qualifikation der Fahrwegkonstruktionen durch versuchstechnische Prüfung des dynamischen Verhaltens und Messung der dynamischen Beanspruchungen bei langsamer Überfahrt und beim Standschweben erforderlich.

7.4.4.3 Dynamische Überhöhungen infolge Fahrbetrieb

7.4.4.3.1 Rechnerische Ermittlung der dynamischen Beanspruchungen

- (1) Bei der rechnerischen Ermittlung der nachzuweisenden dynamischen Beanspruchungen sind die Lastbildern des Kapitel 9 anzusetzen. Darüber hinaus sind die oben beschriebenen Einflussgrößen und Anregemechanismen zu berücksichtigen.
- (2) Die Modelle für die Fahrwegstrukturen sind so zu wählen, dass Geometrie, Steifigkeiten, Lagerungsverhältnisse und Massenverteilungen so wie die dynamischen Charakteristika (Eigenfrequenzen, Eigenformen, Dämpfung) ausreichend wirklichkeitsnah abgebildet werden. Die Strukturen sind dabei über geeignete Methoden wie z.B. die Finite-Elemente-Methode abzubilden. Die Parameter der Fahrwegträger sind in ihrer gesamten (bzw. der projektspezifischen) Bandbreite zu variieren. Die Dämpfung sind nach Kapitel 7.4.3. konservativ abzuschätzen. Soweit erforderlich, ist bei der Berechnung der dynamischen Beanspruchungen auch der Einfluss der Fahrwegunterbauten und der Fahrweggründung zu erfassen. Die Untersuchung der globalen Reaktion der Fahrwegträger kann in der Regel mit Balkenmodellen erfolgen.
- (3) Die Abbildung der periodischen Anregung aus der Nut- Zahn Ausbildung des Langstators kann durch eine erhöhte (verringerte) Kraftübertragung der Magnetkräfte bei Ortsgleichheit mit den Zähnen (Nuten) des Langstators erfolgen. Dabei ist auf der sicheren Seite liegend anzunehmen, dass die gesamte Kraftübertragung über die „Zähne“ des Langstators erfolgt.
- (4) Die Einwirkungen aus dem Fahrzeug müssen die Charakteristika des Fahrzeugs (z.B. Geometrie der Trag-/ Führmagnete) ausreichend genau abbilden. Insbesondere müssen die maßgebenden Anregemechanismen durch die Annahmen abgedeckt sein.
- (5) *Bei bekannten Eigenfrequenzen des Fahrwegs können mit Gleichung (1) die Fahrgeschwindigkeiten bestimmt werden, bei denen eine resonante Anregung der Fahrwegkonstruktion zu erwarten ist.*
- (6) Zur Berücksichtigung der dynamischen Überhöhungen infolge der Magnetregelung bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten und beim Standschweben sind die in Kapitel 7.4.4.2.2 enthaltenen Angaben zu beachten.
- (7) Wenn Modelle für sonstige dynamische Einwirkungen (z.B. Wind, Erdbeben) angewendet werden, müssen diese die Größe, Lage, Richtung und Verlauf, örtliche und zeitliche Veränderlichkeit, Wieder-

holungshäufigkeit und die Erregerfrequenzen der einzelnen Anteile der Einwirkung ausreichend genau abbilden.

- (8) Zur Durchführung der dynamischen Simulationsrechnung sollte ein Zeitintegrationsverfahren gewählt werden, das eine ausreichende Ergebnisqualität gewährleistet. Die Zeitschrittgröße ist dabei ausreichend fein wählen.
- (9) Die Simulationsrechnungen sind bis zur maximalen Entwurfsgeschwindigkeit für eine ausreichende Anzahl an Geschwindigkeiten (z.B. mit einem Geschwindigkeitsraster von $\Delta v_{Fzg} = 1 \text{ m/s}$) durchzuführen. Insbesondere die Geschwindigkeitsbereiche, bei denen die Anregefrequenzen des Fahrzeugs mit den Eigenfrequenzen des Fahrwegs zusammenfallen, sind zu untersuchen. Dabei ist die Periodenverlängerung des gewählten Zeitintegrationsverfahrens bei Ermittlung der Resonanzgeschwindigkeit zu berücksichtigen.

7.4.4.3.2 Ermittlung der dynamischen Beanspruchungen mit Hilfe von Schwingbeiwerten

7.4.4.3.2.1 Allgemeines

- (1) *In der Regel kann die Wirkung der nichtruhenden Einwirkungen auf den Fahrweg durch quasi-statische Nachweise ermittelt werden, indem die Einwirkungen mit Schwingbeiwerten φ multipliziert werden.*
- (2) *Die Schwingbeiwerte sollen dabei die maßgebenden Effekte der Anregung in Abhängigkeit der Dämpfung abdecken.*
- (3) *Die dynamischen Überhöhungen können in der Regel durch globale Schwingbeiwerte φ_{Bg} und lokale Schwingbeiwerte φ_{Bl} erfasst werden:*
 - *Die globalen Schwingbeiwerte φ_{Bg} beziehen sich dabei auf die Beanspruchungen in Haupttragrichtung (x-, y- und z-Richtung) der Fahrwegträger und sind auch bei der Auslegung der Unterbauten zu berücksichtigen.*
 - *Im unmittelbaren Bereich der Schnittstellen zwischen Fahrzeug und Fahrweg ergeben sich in Abhängigkeit von den lokalen konstruktiven Randbedingungen (Steifigkeits- und Dämpfungsverhältnisse) und den zu berücksichtigenden Lastbildern der Einwirkungen (Geometrie und Frequenz) in der Regel lokal größere dynamische Überhöhungen, die durch lokale Schwingbeiwerte φ_{Bl} zu berücksichtigen sind. Lokale Schwingbeiwerte sind daher z.B. im Kragarmbereich von diskret gelagerten Fahrwegträgern und bei kurzen Fahrwegelementen wie z.B. Fahrwegplatten zu berücksichtigen.*
- (4) *Die Zeitveränderlichkeit der Magnetkräfte wird durch die in Kapitel 7.4.4.2.1 angegeben lokalen Schwingbeiwerte berücksichtigt.*
- (5) *Im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit des Fahrwegs ist als Obergrenze für die dynamische Überhöhung der Beanspruchungen ein maximaler Schwingbeiwert von 1,5 anzustreben.*
- (6) *Die Schwingbeiwerte können unter Berücksichtigung der in den nachfolgenden Abschnitten gegebenen Hinweise rechnerisch oder experimentell ermittelt werden.*

7.4.4.3.2.2 Rechnerisch ermittelte Schwingbeiwerte

- (1) *Aus rechnerisch bestimmten dynamischen Beanspruchungen können konstruktionsabhängige Schwingbeiwerte abgeleitet werden. Diese können für die Dimensionierung der Fahrwegelemente angesetzt werden, wenn die getroffenen Annahmen durch die zuständige Aufsichtsbehörde bestätigt sind. Hinweise zur rechnerischen Ermittlung von dynamischen Beanspruchungen (Vorgaben und Randbedingungen) sind hierzu in Kapitel 7.4.4.3.1 zusammengestellt.*
- (2) *Für Einfeldträgersysteme mit typischen Stützweiten sind konstruktionsunabhängig im Anhang II-B beispielhaft Bemessungsdiagramme für den globalen Schwingbeiwert $\varphi_{Bg,z}$ für Einwirkungen in vertikaler Richtung in Abhängigkeit der Dämpfung gemäß Tabelle 1 und der Fahrzeuglänge (2, 4, 6 und 10 Sektionen) angegeben und im Hinblick auf deren Anwendungsgrenzen erläutert. Solange keine genaueren Erkenntnisse vorliegen, sollten für horizontale Einwirkungen sowie für einwirkende Torsions-*

momente keine kleineren Schwingbeiwerte als $\varphi_{Bg,z}$ und $\varphi_{Bg,z,WSE}$ gemäß Anhang II-B angesetzt werden.

- (3) Solange keine genaueren Erkenntnisse oder eigene rechnerische Untersuchungen vorliegen, sollten für Zweifeldträgersysteme mit gleichen Stützweiten keine kleineren Schwingbeiwerte als für Einfeldträgersysteme angesetzt werden.

7.4.4.3.2.3 Versuchstechnisch nachgewiesene Schwingbeiwerte

- (1) Die Verwendung versuchstechnisch ermittelter und nachgewiesener Schwingbeiwerte ist zulässig, wenn nachfolgende Randbedingungen erfüllt sind:
- Die Konstruktion der nachzuweisenden Fahrwegträger ist ähnlich zu bereits bewährten Fahrwegkonstruktionen (Steifigkeit, Massenbelegung, Stützweiten, Lagerungssysteme).
 - Die betrieblichen Randbedingungen der versuchstechnischen Nachweisführung (Fahrzeuggeometrie und -ausrüstung sowie Betriebs- und Trassierungsparameter) decken die projektspezifischen Anforderungen ab.
 - Die entsprechend Gleichung (1) sich ergebenden Fahrgeschwindigkeiten, bei denen eine resonante Anregung der Fahrwegkonstruktion zu erwarten ist, sind durch die Versuche abgedeckt.
- (2) Der aktuelle Kenntnisstand zu den versuchstechnisch nachgewiesenen Schwingbeiwerten und den zugehörigen Randbedingungen kann bei der zuständigen Aufsichtsbehörde erfragt werden.

7.4.5 Begrenzung der dynamischen Überhöhungen

- (1) Die dynamische Antwort des Fahrwegs ist durch geeignete Maßnahmen wie z.B. durch Erhöhung der Dämpfung (z.B. Einsatz von Schwingungstilgern) zu begrenzen, falls:
- die zulässigen Verformungen nach Abschnitt 10.3 überschritten werden,
 - die geforderte Nutzungszeit infolge der dynamischen Überhöhung der Beanspruchungen nicht erreicht werden kann und/oder
 - das Verhalten des gekoppelten Systems Fahrzeug/Fahrweg systemunverträglich ist.

8 Charakteristische Werte der Einwirkungen

8.1 Ständige Einwirkungen

8.1.1 Eigenlasten (G1)

- (1) Die Eigenlasten der Bauteile sind nach den einschlägigen Normen und Vorschriften zu bestimmen.
- (2) Für die magnetbahnspezifischen Ausrüstungskomponenten sind folgende Werte anzunehmen:
 - Langstator inkl. Motorwicklung, Erdung und Befestigung : 1,4 kN/m⁶)
 - Seitenführschienen, Gleitleisten : ⁷)
 - Bauteile der externen Bordenergieversorgung inkl. Befestigung : 0,25 kN/m
 - Zuschlag für sonstige Anbauteile : 0,10 kN/m
- (3) Die o.g. Einwirkungen aus den einzelnen Komponenten der magnetbahnspezifischen Fahrwegausrüstung sind durch Gewichtsmessung zu belegen.

8.1.2 Planmäßige Vorspannungen/Zwang (G2)

- (1) *Die Vorspannung bei Spannbetontragwerken ist eine ständige Einwirkung. Aus praktischen Gründen darf sie jedoch anders behandelt werden (siehe EN 1992). Zwang im Sinne von G2 kann beispielsweise eine erzwungene Trägerverformung durch Eigengewicht oder Vorspannen gegen ein Auflager sein.*
- (2) *Vorspannung kann durch Spannglieder, Abspannungen (z.B. bei Fahrwegplatten), Änderung der Lagerungsbedingungen, Vorbelastung oder andere Maßnahmen erzeugt werden.*
- (3) Planmäßige Vorspannung und Zwang sind zu berücksichtigen.

8.1.3 Kriechen und Schwinden des Betons (G3)

- (1) Kriechen und Relaxation sind einwirkungsabhängig und sind daher den erzeugenden Einwirkungskombinationen zuzuordnen.
- (2) Die Wirkungen aus Kriechen und Schwinden dürfen berücksichtigt werden, wenn die Beanspruchungen günstiger werden. Sie müssen berücksichtigt werden, wenn dadurch die Beanspruchungen ungünstiger werden.

8.1.4 Ständige Wasserdruckkräfte (G4)

- (1) Die Einwirkungen aus ständigem Wasserdruck sind nach den einschlägigen Vorschriften und Normen zu berücksichtigen.

⁶ je Fahrwegträgerseite;

⁷ Die Eigenlasten der Seitenführschienen und Gleitleisten sind gemäß den allgemeinen Anforderungen (Abmessungen und Material) aus /MSB AG-FW ALLG/ unter Berücksichtigung der jeweiligen konstruktiven Auslegung zu ermitteln

8.1.5 Wahrscheinliche Baugrundbewegungen (G5)**8.1.5.1 Fahrwegüberbauten**

- (1) Die für die Bemessung der Fahrwegüberbauten anzusetzenden Werte der wahrscheinlichen Baugrundbewegungen entsprechen den Grenzwerten der zulässigen Verformungen der Fahrwegunterbauten (siehe Kapitel 10.3.8). Diese Werte sind in jeweils ungünstigster Lage anzusetzen.
- (2) Im Einzelfall (z.B. bei Durchlaufsystemen mit kurzen Stützweiten) dürfen jedoch die anzusetzenden wahrscheinlichen Baugrundbewegungen in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde und bei Nachweis der Kompatibilität zum Fahrzeug reduziert werden. Dabei ist durch die Instandhaltung zu gewährleisten, dass vor der Überschreitung der reduzierten Werte der Fahrweg nachjustiert wird.
- (3) Vor dem Erreichen des Systemgrenzwertes der Setzung (im Gebrauchstauglichkeitsnachweis festgelegt) sind die Lager nachjustieren. Wird dieser Systemgrenzwert als wahrscheinliche Baugrundbewegung angesetzt, darf für die Fahrwegüberbauten $\gamma_Q = 1,0$ angesetzt werden (siehe auch ENV 1991-3: C2.3).

8.1.5.2 Fahrwegunterbauten

- (1) Die Fahrwegunterbauten sind so auszubilden, dass die wahrscheinlichen Baugrundbewegungen in jedem Fall durch Nachjustieren der Auflagerungen der Fahrwegüberbauten ausgeglichen werden können (siehe auch /MSB AG-FW ÜBG/, Kapitel 10.2.2).
- (2) Die Auflagerpositionen nach Nachjustage der Auflagerungen sind bei der Nachweisführung des Fahrwegs zu berücksichtigen (Angriffspunkte der Auflagerkräfte).

8.1.6 Erddruck (G6)

- (1) Der Erddruck ist nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu ermitteln und nachzuweisen.

8.2 Veränderliche Einwirkungen

8.2.1 Veränderliche Einwirkungen infolge Fahrzeug

8.2.1.1 Koordinatensysteme der Einwirkungen

- (1) Die nachfolgenden Einwirkungen beziehen sich auf die in Abbildung 7 dargestellten kartesischen Koordinatensysteme.
- (2) Siehe dazu auch /MSB AG-FW TRAS/, /MSB AG-FW VERM/.

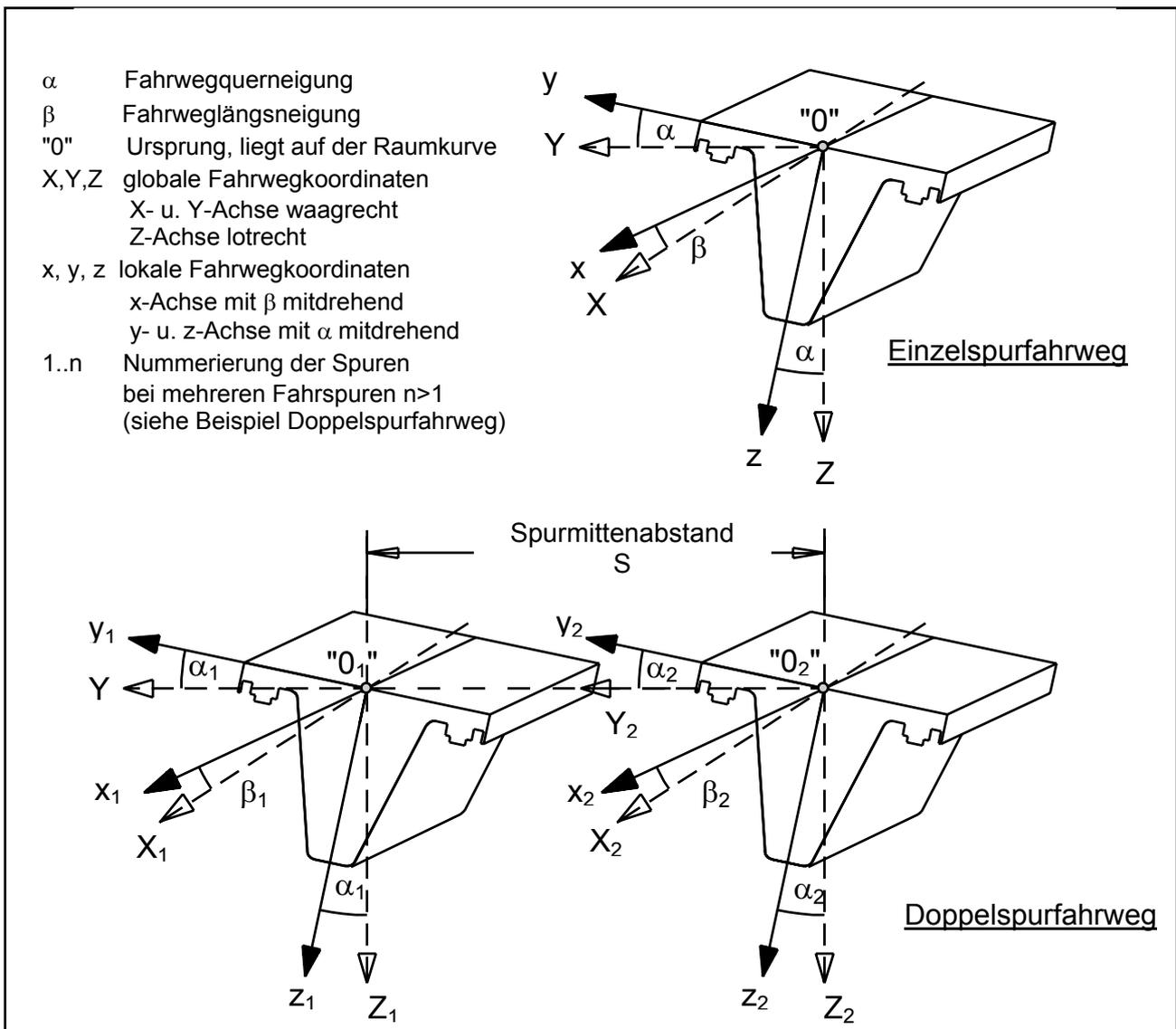


Abbildung 7 - Koordinatensysteme der Einwirkungen

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

8.2.1.2 Fahrzeuggewicht (Eigengewicht und Nutzlast) (Q1, Q2)

- (1) Als statische Einwirkung infolge Fahrzeuggewicht (Fahrzeugeigengewicht und Nutzlast) sind nach /MSB AG-GESAMTSYS/ für die Dimensionierung des Fahrwegs die Massenkräfte \bar{p}_z nach Tabelle 10 anzusetzen.
- (2) Die angegebenen Streckenlasten für das Fahrzeuggewicht sind über die Tragmagnetbelegungslänge L_{TM-B} (siehe Abbildung 3) gemittelt. Für die Bemessung des Fahrwegs sind aus diesen gemittelten Streckenlasten unter Anwendung der in den nachfolgenden Kapiteln angegebenen Gleichungen und Tabellen die lokalen Einwirkungen über die Fahrzeuglänge zu bestimmen.
- (3) Eine mögliche Ungleichverteilung der Nutzlasten in x- und y-Richtung (Q3, Q4) ist gemäß den Kapiteln 8.2.1.3.1 und 8.2.1.3.2 zu berücksichtigen.
- (4) *Der Ansatz der gemittelten Streckenlasten oder eigener Vereinfachungen nachfolgender Lastbilder ist zulässig, wenn nachgewiesen wird, dass durch die Vereinfachung die ermittelten Beanspruchungen auf der sicheren Seite liegen.*

Bezeichnung	Gemittelte, statische Streckenlast [kN/m]	Häufigkeit *
Fahrzeugeigengewicht EG (minimales Fahrzeuggewicht)	$\bar{p}_{z, EG} = 21,0$ **	-
mittleres Fahrzeuggewicht MG (bei Normalauslastung)	$\bar{p}_{z, MG} = 26,0$ ***	80 %
zulässiges Fahrzeuggewicht ZG (bei Maximalauslastung)	$\bar{p}_{z, ZG} = 29,0$ ***	20 %
maximales Fahrzeuggewicht HG (z.B. im Brandfall, Evakuierung einer Sektion) ****	$\bar{p}_{z, HG} = 31,0$	-
Anmerkungen		
*	Die angegebenen Häufigkeiten sind für jedes Projekt zu überprüfen und ggf. anzupassen.	
**	Projektspezifisch kann bei einem Einsatz von leichteren Fahrzeugen eine abgeminderte Streckenlast für das Fahrzeugeigengewicht festgelegt werden (z.B. leichtes Güterfahrzeug mit $\bar{p}_{z, EG} = 19,0$ kN/m).	
***	Für den Ermüdungsnachweis kann anstelle der Einwirkungen aus dem mittlerem Fahrzeuggewicht MG (80%) und dem zulässigem Fahrzeuggewicht ZG (20%) vereinfacht ein Fahrzeuggewicht $MG^* = \bar{p}_{z, MG^*} = 26,7$ kN/m (100%) angesetzt werden.	
****	Die Einstufung des maximalen Fahrzeuggewichts HG als häufige, nicht häufige oder außergewöhnliche Einwirkung ist projektspezifisch festzulegen. In der Regel ist das maximale Fahrzeuggewicht als außergewöhnliche Einwirkung anzunehmen.	

Tabelle 10 - Typische gemittelte, statische Einwirkungen aus dem Fahrzeuggewicht

8.2.1.3 Fahrzeugschwerpunkt

8.2.1.3.1 Lage des Fahrzeugschwerpunktes in x-Richtung (Q3)

- (1) *Der Schwerpunkt des Fahrzeuggewichts kann sich durch Ungleichverteilung der Nutzlast und des Fahrzeugeigengewichtes in x-Richtung (Q3) verschieben. Diese Ungleichverteilung wird über die Fahrzeugstruktur (z.B. Verteilung der Lasten über Luftfedersysteme) an die Trag- und Führungsmagnete weitergegeben und ist in den nachfolgenden Tabellen der Einwirkungen (z.B. Tabelle 15) berücksichtigt.*
- (2) Bei Fahrzeugen für Gütertransport ist durch eine projektspezifische Beladungsvorschrift sicherzustellen, dass eine in x-Richtung ungleiche Beladung nicht zu ungünstigeren Lastverteilungen als in Tabelle 15 angegeben führt.

8.2.1.3.2 Lage des Fahrzeugschwerpunktes in y-Richtung (Q4)

- (1) *Der Schwerpunkt des Fahrzeuggewichts kann sich durch Ungleichverteilung der Nutzlast in y-Richtung (Q4) verschieben. Diese Schwerpunktverschiebung ist jedoch bei Annahme der in Tabelle 10 angegebenen Steckenlasten vernachlässigbar.*
- (2) Bei Fahrzeugen für Gütertransport ist durch eine projektspezifische Beladungsvorschrift durch den Betreiber sicherzustellen, dass in y-Richtung keine ungleichmäßige Beladung erfolgt.

8.2.1.3.3 Lage des Fahrzeugschwerpunktes in z-Richtung

- (1) Die Höchstlage des Fahrzeugschwerpunktes über Gleitleistenebene beträgt bei:
 - minimalem Fahrzeuggewicht $s_{z,EG} = -600$ mm;
 - mittlerem Fahrzeuggewicht $s_{z,MG} = -700$ mm;
 - zulässigem Fahrzeuggewicht $s_{z,ZG} = -850$ mm;
 - maximalem Fahrzeuggewicht $s_{z,HG} = -950$ mm;

Diese Schwerpunktlagen sind bei den Massenkräften in x- und y-Richtung zu berücksichtigen.

8.2.1.4 Häufige veränderliche Einwirkungen (Q1...Q10)

8.2.1.4.1 Allgemeines

(1) Der Zusammenhang zwischen den Trassierungsparametern, der Fahrgeschwindigkeit und den Beschleunigungen ist durch folgende Beziehungen definiert:

- Beschleunigung $a_x(x)$ in x-Richtung aus Anfahren und Bremsen

$$|a_x(x)| \leq 1,5 \text{ m/s}^2 \quad (2)$$

- Freie Seitenbeschleunigung $a_y(x)$ in y-Richtung

$$a_y(x) = \frac{v(x)^2}{|R_H(x)|} \cdot \cos \alpha(x) \cdot \cos^2 \beta(x) - \left(g \cdot \cos \beta(x) + \frac{v(x)^2}{-R_{V,KW}(x)} \right) \cdot \sin \alpha(x) \quad (3)$$

- Normalbeschleunigung $a_z(x)$ in z-Richtung

$$a_z(x) = \frac{v(x)^2}{|R_H(x)|} \cdot \sin \alpha(x) \cdot \cos^2 \beta(x) + \left(g \cdot \cos \beta(x) + \frac{v(x)^2}{-R_{V,KW}(x)} \right) \cdot \cos \alpha(x) \quad (4)$$

mit:

$a_x(x)$, $a_y(x)$, $a_z(x)$	[m/s ²]	in Richtung der lokalen Koordinatenachsen wirkende, ortsabhängige Beschleunigungen;
$v(x)$	[m/s]	Ortsabhängige Fahrgeschwindigkeit;
$R_H(x)$	[m]	Ortsabhängiger Horizontalradius der Raumkurve im Grundriss;
$R_V(x)$	[m]	Ortsabhängiger Vertikalradius der Raumkurve in der Ebene mit $R_{V,K}$: Kuppe (+) und $R_{V,W}$: Wanne (-);
$\alpha(x)$	[°]	Ortsabhängiger Winkel der Drehung des Fahrwegs um die x-Achse (Fahrwegquerneigung);
$\beta(x)$	[°]	Ortsabhängiger Winkel der Drehung des Fahrwegs um die y-Achse (Fahrweglängsneigung);

(2) Der Zusammenhang zwischen Einwirkungen F , Beschleunigungen a und Fahrzeugmasse m ist gegeben durch das Newtonsches Gesetz:

$$F = m \cdot a \quad (5)$$

(3) Der Zusammenhang zwischen Beschleunigungen und Trassierungsparametern ist in Abbildung 8 dargestellt. Die Überlagerungsmöglichkeit von Trassierungselementen ist durch das in /MSB AG-FW TRAS/ angegebene $R_{x,z}$ -Kriterium begrenzt. Die Grenzwerte möglicher Kombinationen sind in Anhang II-C zusammengestellt.

(4) Durch die Begrenzung der zulässigen Beschleunigungen nach Kapitel 6.2 sind die maximal möglichen Fahrweeinwirkungen festgelegt. Projektspezifisch können die Beschleunigungswerte nach unten abweichen (Einschränkung der zulässigen Beschleunigungen).

(5) Die Gleichungen (3) und (4) gelten auch für das stehende Fahrzeug.

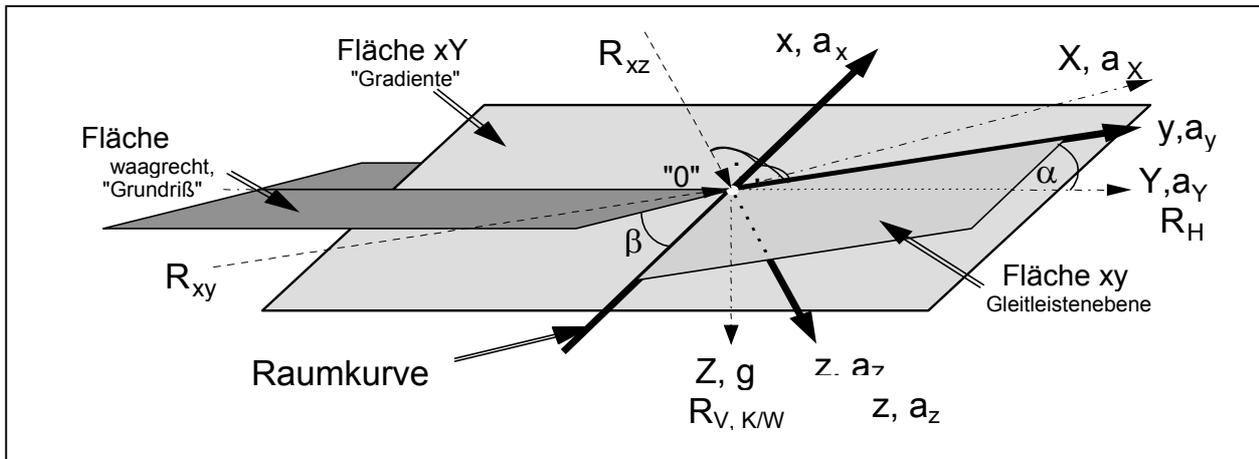


Abbildung 8 - Zusammenhang zwischen Beschleunigungen und Trassierungsparametern

8.2.1.4.2 Einwirkungen infolge Bremsen und Beschleunigen (Q1/Q2)

- (1) Als häufige veränderliche Einwirkung in x-Richtung ist die in den jeweiligen Streckenabschnitten installierte Schubkraft bzw. die maximale zulässige Längskraft infolge max. a_x gemäß Tabelle 1 anzusetzen.
- (2) Die Kraft in x-Richtung ist ortsabhängig und berücksichtigt Beschleunigungsstrecken (Anfahren und Bremsen), Beharrungsstrecken, Steigung, Gefälle und den aerodynamischen Fahrwiderstand (inkl. Gegenwind).
- (3) Als Grenzkraft in x-Richtung ist bei häufigen Bemessungssituationen eine Kraft von 110 kN/Mittelsektion bezogen auf das zulässige Fahrzeuggewicht zu berücksichtigen (siehe auch Tabelle 11 Zeile 3).
- (4) Die zu berücksichtigenden Einwirkungen infolge Antrieb (Bremsen/Beschleunigen) sind für max $a_x = 1,5 \text{ m/s}^2$ für die verschiedenen Fahrzeuggewichte der Tabelle 11 zu entnehmen.

Statische Einwirkungen max $p_{x, \text{Schub}}$ bei häufigen Bemessungssituationen aus:		
1	minimalem Fahrzeuggewicht	$\max p_{x, Q1/Q2, EG} = \bar{p}_{z, EG} / g \cdot \max a_x = 3,2 \text{ kN/m}$
2	mittlerem Fahrzeuggewicht	$\max p_{x, Q1/Q2, MG} = \bar{p}_{z, MG} / g \cdot \max a_x = 4,0 \text{ kN/m}$
3	zulässigem Fahrzeuggewicht	$\max p_{x, Q1/Q2, ZG} = \bar{p}_{z, ZG} / g \cdot \max a_x = 4,5 \text{ kN/m}$ (Grenzwert)
4	maximalem Fahrzeuggewicht	$\max p_{x, Q1/Q2, HG} = \max p_{x, Q1/Q2, ZG} = 4,5 \text{ kN/m}$ (Grenzwert)

Tabelle 11 - Maximale Kräfte in x-Richtung aus Antreiben und Bremsen

- (5) Als Bemessungswert ist die Einwirkung $p_{x, Q1/Q2}$ nach (6) anzusetzen.

$$p_{x, Q1/Q2} = \max p_{x, Q1/Q2} \tag{ 6}$$

- (6) Im Bereich außerhalb von Motorabschnittswechslen ist anzusetzen:

$$p_{x, links} = p_{x, rechts} = 0,5 \cdot p_x \tag{ 7}$$

- (7) Beim Wechselschrittverfahren (WSV) ist im Bereich von Motorabschnittswechsels 73% der installierten Brems- bzw. Antriebskraft bzw. der o.g. Grenzkraft über eine Trägerseite abzutragen. Für diese Bereiche ist anzusetzen:

$$p_{x,links} = 0 \quad \text{und} \quad p_{x,rechts} = 0,73 \cdot p_x \quad (8)$$

$$\text{bzw. } p_{x,links} = 0,73 \cdot p_x \quad \text{und} \quad p_{x,rechts} = 0 \quad (9)$$

- (8) Infolge des Schwerpunktabstandes in z-Richtung ergibt sich beim Bremsen und Beschleunigen ein Moment um die y-Achse (Nickmoment), welches zu einer Belastung in z-Richtung führt (siehe Kapitel 8.2.1.4.4).
- (9) Durch die einseitige Einleitung der Einwirkungen nach Gleichung (8) und (9) ergeben sich zusätzliche Einwirkungen auf die Seitenführschiene. Die dazugehörigen Teilmagnetkräfte sind gemäß Kapitel 8.2.1.4.3.6 zu berücksichtigen.
- (10) Bauteildynamik und Regelungsdynamik nach Kapitel 7.4 sind zu berücksichtigen.

8.2.1.4.3 Einwirkungen in y-Richtung

8.2.1.4.3.1 Allgemeines

- (1) Die Angriffspunkte der Führungsmagnetkräfte sind aus der Schnittstellenbeschreibung in Kapitel 7.3.4 (Abbildung 4) und den Lastbildern in Kapitel 9.3.2 abzuleiten.

8.2.1.4.3.2 Führungsmagnetvorspannung

- (1) Zur Spurführung werden Führungsmagnetkräfte (Zugkräfte) beiderseitig am Fahrweg über die Schnittstelle Führungsmagnete-Seitenführschiene übertragen ("Führungsmagnetvorspannung"). Als "innere" Kräfte erzeugen sie in den Trägerlagern keine Reaktionskräfte und wirken wie eine Vorspannkraft. Die maximale Führungsmagnetvorspannung ist mit $p_{y,vor} = 3,6 \text{ kN/m}$ anzusetzen.
- (2) Die laterale Vorspannung ist den übrigen Einwirkungen in y-Richtung zu überlagern. Die Vorgehensweise bei der Überlagerung ist in Abbildung 9 dargestellt.
- (3) Bauteildynamik und Regelungsdynamik nach Kapitel 7.4 sind zu berücksichtigen.

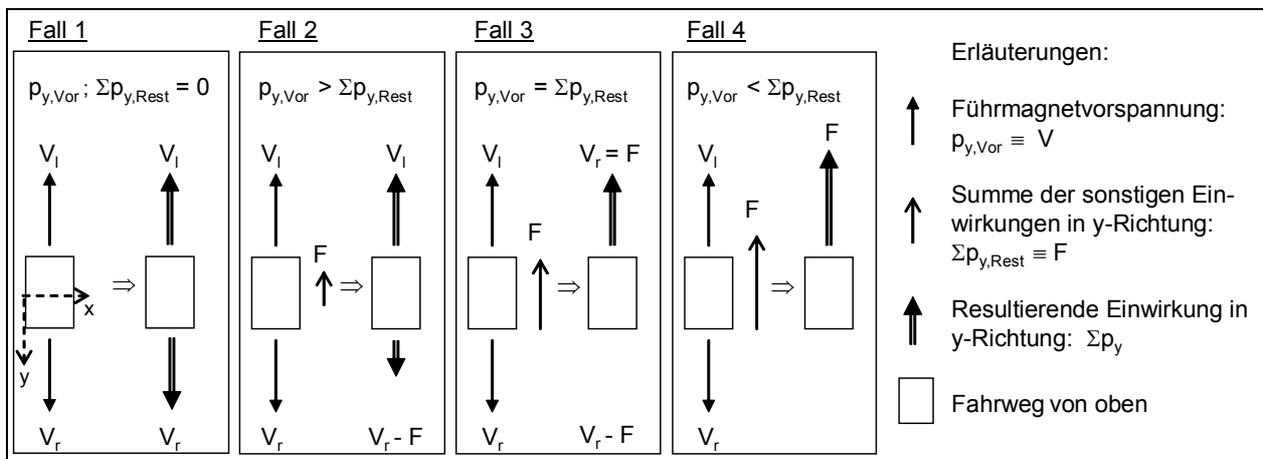


Abbildung 9 - Überlagerungen mit der Führungsmagnetvorspannung

8.2.1.4.3.3 Freie Seitenbeschleunigung (Q1, Q2)

- (1) Als weitere veränderliche Einwirkung in y-Richtung infolge Fahrzeug ist die freie Seitenbeschleunigung a_y (Fliehkraft) gemäß Gleichung (3) und Gleichung (5) anzusetzen.
- (2) Die anzusetzenden statischen Einwirkungen sind für die einzelnen Teilmagnete Führen FMT_i aus Gleichung (10) zu ermitteln.
- (3) Bauteildynamik und Regelungsdynamik nach Kapitel 7.4 sind zu berücksichtigen.
- (4) Die Verteilung der Führungsmagnetkräfte über die Fahrzeuglänge entsprechend der Führungsmagnetbelegung (siehe Abbildung 4) ist dabei prozentual über die Faktoren $k_{y,ay,i}$ der Tabelle 12 zu entnehmen.

$$P_{y,ay,FMT_i,EG/MG/ZG/HG} = \bar{p}_{Z,EG/MG/ZG/HG} \cdot \frac{L_{ES/MS}}{L_{FMT}} \cdot \frac{a_y}{g} \cdot \frac{k_{y,ay,i}}{100} \quad \text{in [kN/m]} \quad (10)$$

- (5) Infolge des Schwerpunktabstandes s_z des Fahrzeuges (siehe Kapitel 8.2.1.3.3) und der Fliehkraft $p_{y,ay}$ ergibt sich ein Streckenmoment um die x-Achse, das über die Tragsmagnete in den Fahrweg weitergeleitet wird. Die Einwirkungen aus der freien Seitenbeschleunigung $\pm p_{z,ay,FMT_i}$ sind mit Hilfe der Gleichung (11) und Tabelle 12 mit $z_{FM} = 0,17$ m für die einzelnen Teilmagnete Tragen TMT_i zu ermitteln.

$$\pm P_{z,ay,TMT_i,EG/MG/ZG/HG} = \bar{p}_{Z,EG/MG/ZG/HG} \cdot \frac{L_{ES/MS}}{L_{TMT_i}} \cdot \frac{a_y}{g} \cdot \frac{\pm k_{z,ay,i}}{100} \cdot \frac{(|s_z| + z_{FM})}{e_{y,TM}} \quad \text{in [kN/m]} \quad (11)$$

FMT _i TMT _i	Endsektionen															
	(1) *	2	3	4	5	6	7	BM	10	11	12	13	14	15	16	
$k_{y,ay,i}$ [%]	-	7	7	8	7	8	11	-	-	11	8	7	9	8	5	4
$k_{z,ay,i}$ [%]	5	10	6	6	6	6	7	9	8	6	6	6	6	5	7	7
FMT _i TMT _i	Mittelsektionen															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	10	11	12	13	14	15	16	
$k_{y,ay,i}$ [%]	4	5	7	8	7	8	11	-	-	11	8	7	8	7	5	4
$k_{z,ay,i}$ [%]	7	7	5	6	5	5	7	8	8	7	5	5	6	5	7	7

* TMT₁ entspricht als typische Ausführung der Verlängerung des TMT₂ (siehe Abbildung 3).

Tabelle 12 - Typische Verteilung der Magnetkräfte aus a_y über die Fahrzeuglänge

8.2.1.4.3.4 Seitenkräfte aus der Führdynamik (Q5)

- (1) Dynamische Seitenkräfte SK zur Berücksichtigung der Führdynamik infolge von globalen Fahrwegtoleranzen der Seitenführschiene sind nach folgender Beziehung anzusetzen:

$$\pm p_{y,SK} = \pm \left(1 + \frac{v_{FZg} \left[\frac{\text{km/h}}{\text{km/h}} \right]}{500} \right) \quad \text{in [kN/m]} \quad (12)$$

- (2) Bei abgesetztem Fahrzeug mit $v_{FZg} = 0$ ist $p_{y,SK} = 0$ anzusetzen.
 (3) Die Einwirkung $p_{y,SK}$ ist eine dynamische Einwirkung und enthält somit die globale Bauteildynamik.
 (4) Lokale Bauteildynamik und Regelungsdynamik nach Kapitel 7.4 sind zu berücksichtigen.

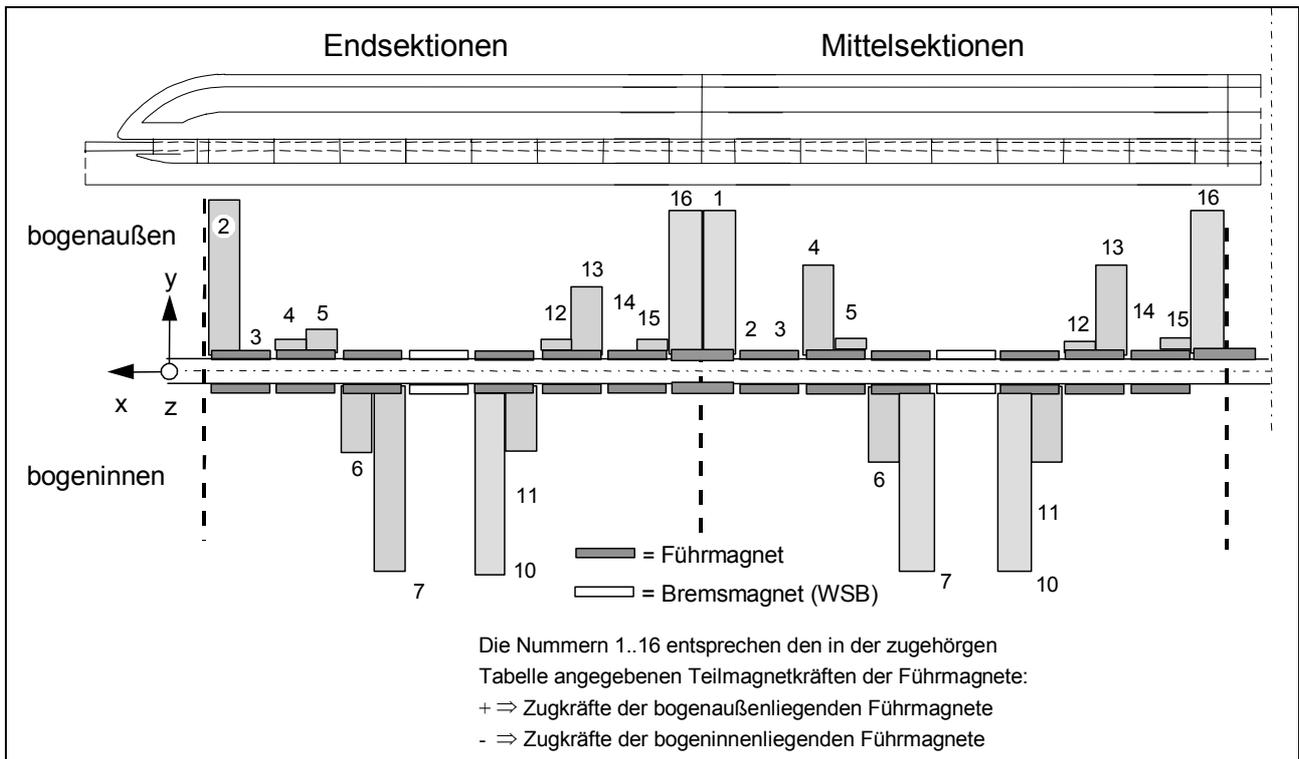
8.2.1.4.3.5 Zwangskräfte bei kleinen Horizontalradien R_H (Q6)

- (1) Bei kleinen Horizontalradien sind den sonstigen Einwirkungen aus den Führmagneten örtliche, durch die Fahrzeuggeometrie bestimmte Zwangskräfte in y-Richtung zu überlagern.
 (2) Die anzusetzenden charakteristischen Zwangskräfte für die entsprechenden Horizontalradien sind Tabelle 13 zu entnehmen. Ergänzend hierzu ist die Verteilung der Einwirkungen in Abbildung 10 dargestellt.
 (3) Bauteildynamik und Regelungsdynamik nach Kapitel 7.4 sind zu berücksichtigen.

$p_{y,ZWG,i}$ [kN/m]	Endsektionen		Mittelsektionen	
	$R_H = 350$ m	$R_H = 1000$ m	$R_H = 350$ m	$R_H = 1000$ m
$p_{y,ZWG,1}$	-	-	18,0	7
$p_{y,ZWG,2}$	21,0	7	0	0
$p_{y,ZWG,3}$	0	0	0	0
$p_{y,ZWG,4}$	1,0	0	6,0	0
$p_{y,ZWG,5}$	2,0	0	1,0	0
$p_{y,ZWG,6}$	-4,5	0	-5	-1
$p_{y,ZWG,7}$	-21,0	-7	-21,0	-6
BM	-	-	-	-
$p_{y,ZWG,10}$	-21,0	-7	-21,0	-6
$p_{y,ZWG,11}$	-4,5	0	-5	-1
$p_{y,ZWG,12}$	1,0	0	1,0	0
$p_{y,ZWG,13}$	7,0	0	6,0	0
$p_{y,ZWG,14}$	0	0	0	0
$p_{y,ZWG,15}$	1,0	0	1,0	0
$p_{y,ZWG,16}$	18,0	7	18,0	7

Zwischenwerte dürfen linear inter- bzw. extrapoliert werden.

Tabelle 13 - Typische Zwangskräfte $p_{y,ZWG,i}$ bei kleinen Horizontalradien

Abbildung 10 - Typische Verteilung der Zwangskräfte in engen Horizontalradien R_H

8.2.1.4.3.6 Führungsmagnetkräfte aus einseitigem Antrieb

- (1) Das Moment um die z-Achse aus einseitigem Antrieb (z.B. nach Kapitel 8.2.1.4.2 Wechselschrittverfahren) wird über die Führungsmagnete in den Fahrweg eingeleitet.
- (2) Die anzusetzenden Einwirkungen sind nach Gleichung (13) und Tabelle 14 für die in Abbildung 2 dargestellten Führungsmagnete zu ermitteln, wobei die an der Stelle (x) des Fahrwegs vorhandene Beschleunigung vorh. $a_{x,WSV}$ einzusetzen ist.

$$p_{y,a_{x,WSV},FMT_i,EG/MG/ZG/HG} = \frac{\text{vorh } a_{x,WSV}(x)}{0,73 \cdot a_{x,max}} \cdot \frac{\bar{p}_{Z,EG/MG/ZG/HG}}{\bar{p}_{Z,ZG}} \cdot p_{y,a_{x,WSV},i,ZG} \quad (13)$$

in [kN/m]

wobei $\max a_x = + 1,5 \text{ m/s}^2$ bzw. $- 1,5 \text{ m/s}^2$, $a_{x,WSV}(x) \leq 0,73 \cdot \max a_x$
 und $p_{y,a_{x,WSV},i,ZG}$ aus Tabelle 14;

- (3) Infolge der mechanischen Verkopplung der Magnete können gleichzeitig auf der rechten (r) und linken (l) Trägerseite Führungsmagnetkräfte als Zugkräfte wirken (siehe Abbildung 11).
- (4) Bauteildynamik und Regelungsdynamik nach Kapitel 7.4 sind zu berücksichtigen.

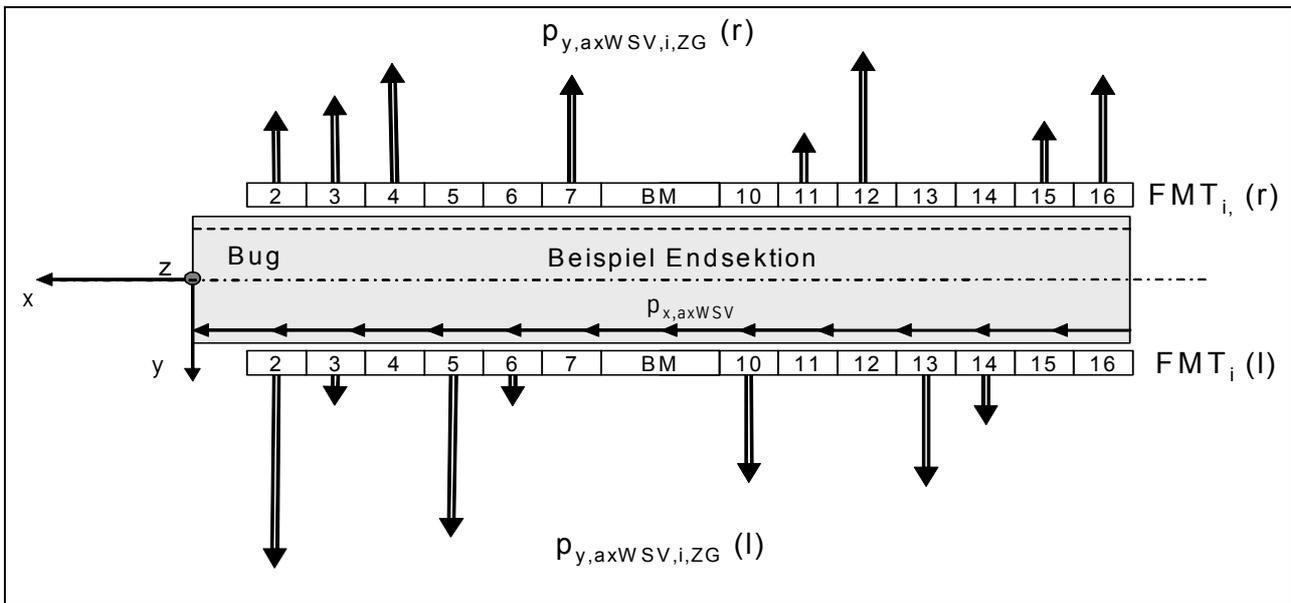


Abbildung 11 - Typische Verteilung der Führungsmagnetkräfte aus $a_{x,WSV}$

FMT _i in [kN/m]	Endsektionen															
	-	2	3	4	5	6	7	BM	10	11	12	13	14	15	16	
$p_{y,axWSV,i,ZG}(r)$	-	2,2	3,7	4,7	0	0	4,5	-	-	0	1,1	5,6	0	0	1,4	4,4
$p_{y,axWSV,i,ZG}(l)$	-	8,5	0,5	0	6,2	0,5	0	-	-	4,6	0	0	4,8	1,1	0	0
FMT _i in [kN/m]	Mittelsektionen															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	10	11	12	13	14	15	16	
$p_{y,axWSV,i,ZG}(r)$	0	0	1,7	4,3	0	0	4,7	-	-	0	1,1	5,8	0	0	1,4	4,4
$p_{y,axWSV,i,ZG}(l)$	5	0,8	0	0	6,2	0,6	0	-	-	4,8	0	0	4,9	1,1	0	0

Die in dieser Tabelle angegebenen Einwirkungen berücksichtigen das zulässige Fahrzeuggewicht nach Tabelle 10 und die maximal zulässige Brems-/Antriebsbeschleunigung nach Tabelle 1.
Das Kräftegleichgewicht der Endsektionen ist nicht ausgeglichen (Übertragung einer Restkraft über die Sektionskupplung).

Tabelle 14 - Typische Verteilung der Führungsmagnetkräfte aus $a_{x,WSV}$

8.2.1.4.4 Einwirkungen in z-Richtung (Q1 .. Q3)

8.2.1.4.4.1 Beschleunigung in z-Richtung

- (1) Die Einwirkungen aus dem Fahrzeuggewicht infolge a_z (siehe Gleichung (4)) in z-Richtung sind mit Hilfe der nachfolgenden Gleichungen (14) und (15) und der in Tabelle 15 angegebenen Verteilung über die Fahrzeuglänge (siehe Kapitel 8.2.1.3) zu ermitteln.

$$p_{z,a_z,EG/MG/ZG/HG} = \bar{p}_{z,EG/MG/ZG/HG} \cdot \frac{a_z}{g} \quad \text{in [kN/m]} \quad (14)$$

- (2) Die Grenzwerte für a_z sind der Tabelle 1 zu entnehmen.
- (3) Für die einzelnen Teilmagnete TMT_i nach Abbildung 2 sind die entsprechenden Kräfte nach Gleichung (15) zu ermitteln. In der durch die Faktoren $k_{z,az,i}$ (siehe Tabelle 15) vorgegebenen Verteilung der Teilmagneteinwirkungen ist die Ungleichverteilung infolge Fahrzeugschwerpunktlage in x-Richtung nach Kapitel 8.2.1.3.1 enthalten.

$$p_{z,az,TMT_i,EG/MG/ZG/HG} = 0,5 \cdot \bar{p}_{z,EG/MG/ZG/HG} \cdot \frac{L_{ES/MS}}{L_{TMT_i}} \cdot \frac{a_z}{g} \cdot \frac{k_{z,az,i}}{100} \quad \text{in [kN/m]} \quad (15)$$

- (4) Bauteildynamik und Regelungsdynamik nach Kapitel 7.4 sind zu berücksichtigen.

TMT _i	Endsektionen															
	1 *	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$k_{z,az,i}$ [%]	10	10	5	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6
TMT _i	Mittelsektionen															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$k_{z,az,i}$ [%]	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6

* TMT₁ entspricht als typische Ausführung der Verlängerung des TMT₂ (siehe Abbildung 3).

Tabelle 15 - Typische Verteilung der Tragmagnetkräfte aus a_z über die Fahrzeuglänge

8.2.1.4.5 Spezielle Betriebsituationen

8.2.1.4.5.1 Geregeltes Absetzen des Fahrzeugs bei $v = 0$ km/h (Q1, Q2)

- (1) Beim geregelten Absetzen in Stationen und Betriebsanlagen werden über die Tragkufen dynamische Einwirkungen auf den Fahrweg erzeugt. Die statische Einwirkung aus einer Tragkufe ist folgendermaßen zu ermitteln:

$$F_{z,TK,j/j+1} = (p_{z,az,TMT_j} + p_{z,az,TMT_{j+1}}) \cdot L_{sys,TMT}; \quad \text{in [kN]} \quad (16)$$

mit $p_{z,az,TMT}$ aus Gleichung (15) und $j = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15$

- (2) Bauteildynamik und Regelungsdynamik nach Kapitel 7.4 sind zu berücksichtigen.
- (3) Die zu berücksichtigende Zeitfunktion des geregelten Absetzens ist aus Abbildung 16 in Kapitel 8.2.1.5.7 zu entnehmen.
- (4) Die infolge Fahrweglängs- und/oder -querneigung infolge des Reibbeiwerts μ (siehe Tabelle 8) auftretenden Kräfte für eine Tragkufe $F_{x/y,TK}$ in x- und/oder y-Richtung, die durch die vom Reibbeiwert abhängigen maximalen Kräfte $\max F_{x/y,TK}$ begrenzt sind, sind nach Gleichung (17) und (18) anzusetzen.

$$F_{y,TK} = F_{z,TK} \cdot \frac{a_y}{a_z} \quad \text{wobei} \quad \max F_{y,TK} = \mu \cdot F_{z,TK}; \quad \text{in [kN]} \quad (17)$$

und

$$F_{x,TK} = F_{z,TK} \cdot \frac{a_x}{a_z} \quad \text{wobei} \quad \max F_{x,TK} = \mu \cdot F_{z,TK}; \quad \text{in [kN]} \quad (18)$$

8.2.1.4.5.2 Abgesetztes Fahrzeug (Q1, Q2)

- (1) Die Einwirkungen aus dem Betriebszustand "Abgesetztes Fahrzeug" sind abgedeckt durch die Einwirkungen aus dem geregelten Absetzvorgang (siehe Kapitel 8.2.1.4.5.1).

8.2.1.4.5.3 Aufschwebenes Fahrzeug und Standschweben (Q1, Q2)

- (1) Es sind die Magnetkräfte analog vorhergehender Kapitel anzusetzen.
- (2) Bauteildynamik und Regelungsdynamik nach Kapitel 7.4 sind zu berücksichtigen. Dabei ist vor allem auch eine mögliche Anregung von Eigenfrequenzen des Fahrwegs durch die Magnetregelung (siehe Kapitel 7.4.4.2.2) zu beachten.

8.2.1.4.6 Aerodynamische Einwirkungen aus dem Fahrzeug (Q7, Q8)**8.2.1.4.6.1 Zugbegegnung (Q7a)**

- (1) *Zusätzliche Führungsmagnetkräfte infolge einer Zugbegegnung dürfen bei Einhaltung der vorgeschriebenen Spurmittenabstände vernachlässigt werden.*

8.2.1.4.6.2 Tunnelfahrt (Q7b)

- (1) Direkte Einwirkungen aus dem Fahrzeug
Durch den Tunnel ergibt sich ein reduzierter Raum (Tunnelquerschnitt) für die Verdrängung der Luft. Die in Tabelle 17 angegebenen Werte für Druck und Sog sind um 10 % erhöht anzusetzen.
- (2) Indirekte Einwirkungen infolge der Veränderung des allseitigen Umgebungsdrucks
Eine Druckänderung von 5500 Pa wirkt sich nur auf druckdicht abgeschlossene Hohlräume aus (z.B. dichtgeschweißte Hohlkästen von Fahrwegträgern). Diese Einwirkung ist nicht mit dem erhöhten Druck/Sog-Wert zu überlagern. Es wird empfohlen, in Fahrwegbereichen, in denen entsprechende Druckänderungen möglich sind, keine druckdichten Fahrwegkonstruktionen einzusetzen.
- (3) Indirekte Einwirkungen infolge reflektierter Druck-/Sogwellen
Einwirkungen infolge reflektierter Druck-/Sogwellen sind vernachlässigbar.
- (4) Ungleiche Druckverteilung / Luftverwirbelungen
Die charakteristischen Werte möglicher Einwirkungen infolge ungleicher Druckverteilung und Luftverwirbelungen sind projektspezifisch unter Berücksichtigung der vorhandenen Randbedingungen (Tunnelquerschnitt, Tunnellänge, Fahrgeschwindigkeit) festzulegen.

8.2.1.4.6.3 Einwirkungen auf trassennahe bauliche Anlagen / Tunnel (Q7c)

- (1) Die Einwirkungen auf trassennahe bauliche Anlagen sind unter Berücksichtigung der Fahrzeugbreite aus EN 1991-2 Kapitel 6.6 zu entnehmen. Dabei ist die Breite des Schienenfahrzeugs mit 3,07 m und die Breite des MSB-Fahrzeuges mit 3,70 m anzusetzen.
- (2) Die Werte für höhere Geschwindigkeiten sind im Verhältnis der Quadrate der Geschwindigkeit zu extrapolieren.
- (3) Der Faktor k_1 aus EN 1991-2 Kapitel 6.6 zur Berücksichtigung einer günstigen aerodynamischen Form ist dabei mit $k_1 = 0,6$ (stromlinienförmiges Fahrzeug) anzusetzen.
- (4) Weitere Beiwerte sind entsprechend EN 1991-2 Kapitel 6.6 zu berücksichtigen.
- (5) Dynamische Überhöhungen durch Anregung von Eigenformen sind nachzuweisen.

8.2.1.4.6.4 Auftrieb (Q8a)

- (1) In Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit v sind für die Bug-/Hecksektionen die in Tabelle 16 angegebenen Kräfte in z-Richtung analog Abbildung 14 anzusetzen.

v	$p_{z,A,1}$	$p_{z,A,2}$
[km/h]	[kN/m]	[kN/m]
0	0	0
200	-0,8	0,5
300	-1,8	1,2
400	-3,2	2,1
500	-5,0	3,2

Tabelle 16 - Typische Auftriebskräfte Bug-/Hecksektion

- (2) Für die Mittelsektionen sind durchgehend folgende Auftriebskräfte anzusetzen:

$$p_{z,A,3}(v) = \frac{p_{z,A,1}(v)}{3} \quad \text{in [kN/m]} \quad (19)$$

- (3) Die Auftriebskräfte sind nur anzusetzen, wenn sie ungünstig wirken.
 (4) Die Auftriebskräfte reduzieren die Vertikallasten. Beim Nachweis der Lagesicherheit ist der minimale Schwingbeiwert (z.B. $1/\varphi_{z,Bg}$) zu berücksichtigen.
 (5) Die Einwirkungen Q8a und Q9b sind nicht gleichzeitig anzusetzen.
 (6) Q8a ist als ermüdungswirksame Einwirkung zu berücksichtigen.

8.2.1.4.6.5 Direkte Druck-/Sog-Einwirkung auf den Fahrweg (Q8b)

- (1) *Auf den Fahrweg wirken in unmittelbarer Nähe zum Fahrzeug Druck- und Sogkräfte. Diese sind abhängig von der Fahrgeschwindigkeit und vom jeweiligen Ort im Fahrwegquerschnitt.*
 (2) Auf der Fahrwegoberseite ist eine Druck-/Sog-Belastung entsprechend der in Abbildung 13 dargestellten Verteilung anzusetzen. Die zugehörigen Einwirkungsgrößen für $v = 500$ km/h (530 km/h) sind der Tabelle 17 zu entnehmen.
 (3) Die Werte für andere Fahrgeschwindigkeiten sind quadratisch mit der Geschwindigkeit interpoliert zu ermitteln.

v	$q_{D/S,OG,1}$	$q_{D/S,OG,2}$	$q_{D/S,OG,3}$
0 km/h	0 kN/m ²	0 kN/m ²	0 kN/m ²
500 km/h	+ 14 kN/m ²	- 7 kN/m ²	+ 7 kN/m ²
530 km/h	+ 16 kN/m ²	- 8 kN/m ²	+ 8 kN/m ²

Tabelle 17 - Typische Druck- (+) und Sogkräfte (-) auf die Fahrwegoberseite

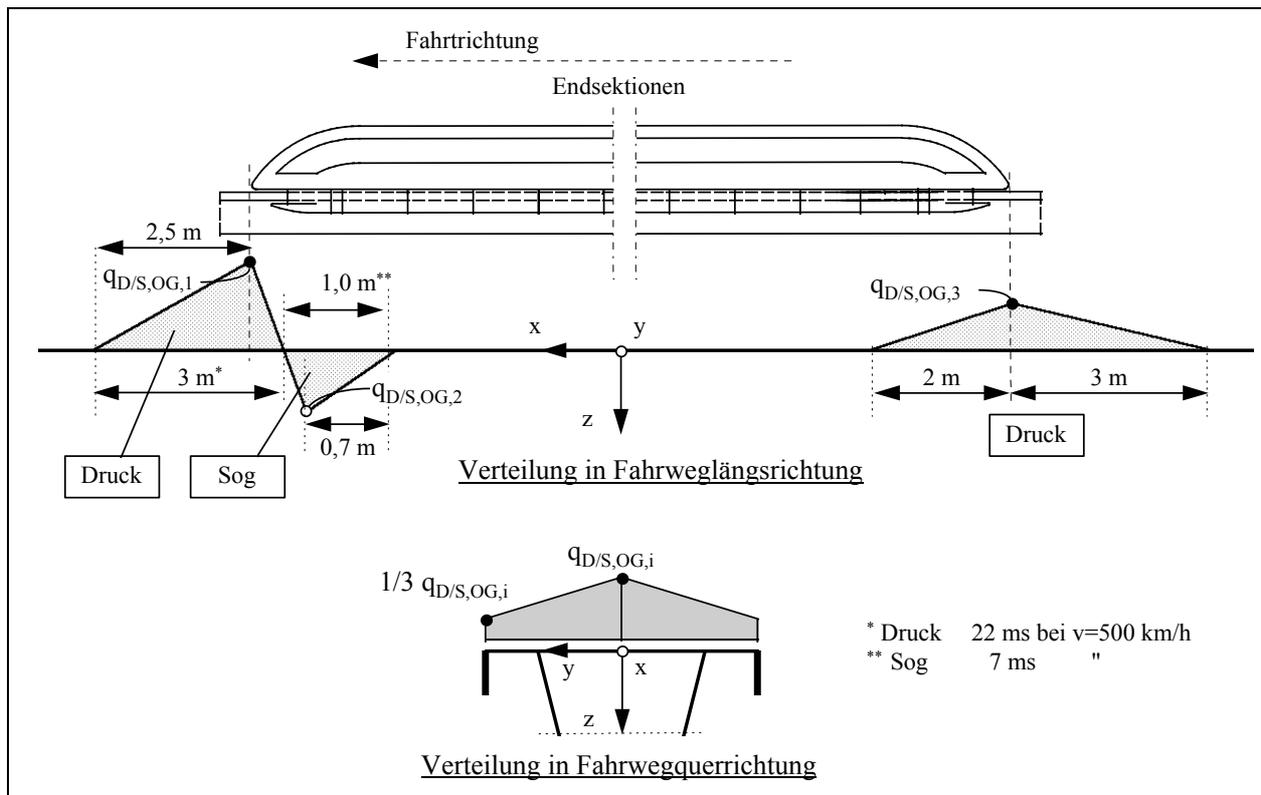


Abbildung 13 - Typische Verteilung der Druck-/Sog-Einwirkung auf die Fahrwegoberseite

- (4) Für sonstige Stellen am Fahrwegträger sind die Druck/Sog-Einwirkungen bei Bedarf gesondert zu ermitteln, wobei das in Abb. 6 aus /DIN Fachbericht 101/ angegebene Diagramm zur Druckbelastung bei Vorbeifahrt eines Fahrzeugs zu verwenden ist.
- (5) Bauteildynamik nach Kapitel 7.4 ist zu berücksichtigen.

8.2.1.4.7 Wind auf das Fahrzeug (Q9)

8.2.1.4.7.1 Allgemeines

- (1) *Nachfolgend werden die zu berücksichtigenden Einwirkungen infolge Wind auf stehende und fahrende Fahrzeuge angegeben (Basis ist /MSB AG-UMWELT/).*
- (2) *Wind kann Seitenkräfte in y-Richtung und über den Angriffspunkt der resultierenden Windkraft Momente um die x- und z-Achse sowie Auftriebskräfte in z-Richtung bewirken.*
- (3) *Die Größen und die Angriffspunkte der Einwirkungen infolge Wind auf Fahrzeug sind abhängig von der:*
 - *Fahrgeschwindigkeit v_{Fzg}*
 - *Windgeschwindigkeit $v_{W,b}$ bzw. $v_{W,m}$*
 - *Geometrie des Fahrzeugs (c-Wert)*
- (4) *Die Fahrgeschwindigkeit und die auftretende Windgeschwindigkeit sind projekt- und ortsabhängig.*

8.2.1.4.7.2 Einwirkung infolge Seitenwind auf Fahrzeug (Q9a)

- (1) Als Basis für die bei der Auslegung des Fahrwegs zu berücksichtigenden Windgeschwindigkeiten sind die nachfolgenden gerundeten Nennböenwindgeschwindigkeiten (5-Sek.-Mittelwert) $v_{b,10}$ bei $h_{W,Gelände} = 10$ m, die einmal im Jahr auftreten, anzunehmen:
- Windzone I $v_{W,b,10} = 27$ m/s
 - Windzone II⁸ $v_{W,b,10} = 30$ m/s
 - Windzone III $v_{W,b,10} = 34$ m/s
 - Windzone IV $v_{W,b,10} = 38$ m/s
- (2) Gegenüber der Grundgeschwindigkeit $v_{W,m,10}$ (10-Min-Mittelwert in 10 m Höhe und in 10 Jahren) mit einer Windgeschwindigkeit $v_{W,m,10} = 25$ m/s für die WZ II ergibt sich im Hinblick auf Windkräfte ein Böigkeitsfaktor von 1,44 (z.B. WZ II: $(30 \text{ m/s})^2 / (25 \text{ m/s})^2 = 1,44$). Dieser Faktor deckt bei "konstantem" Wind (10-Min-Mittelwert; Grundgeschwindigkeit) eine mögliche dynamische Überhöhung der Fahrwegbeanspruchung aus Wind auf Fahrzeug ab.
- (3) Nennböengeschwindigkeiten mit anderen Höhen h_W (in m) über Geländeoberfläche sind mit Hilfe von Gleichung (20) und $z_W = \text{ca. } 1,3$ m zu berechnen und ganzzahlig aufzurunden.

$$\frac{v_{W,b,h_W}}{v_{W,b,10}} = \left(\frac{h_W}{10 \text{ m}} \right)^{0,11} \quad \text{mit } h_W = h_{G, \text{Gelände}} + z_W \quad \text{in [m/s]} \quad (20)$$

- (4) Infolge des Abstandes der Resultierenden der Windkraft in z-Richtung wirkt ein Streckenmoment um die x-Achse. Das daraus entstehende Kräftepaar in z-Richtung wird über die Tragsmagnete in den Fahrweg eingeleitet und ist zu berücksichtigen.

⁸ Maßgebende Windzone der Fahrweg-Regeldimensionierung für deutsche Anwendungen.

- (5) Die anzusetzenden Führ- und Tragmagnetkräfte sind für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten und Windgeschwindigkeiten (siehe z.B. Tabelle 18) aus den im Anhang II-E enthaltenen Tabellen (Tabelle 28 ... Tabelle 46) zu entnehmen. Die Kräfte für abweichende Fahrgeschwindigkeiten sind für $v_{Fzg} < 500$ km/h durch lineare Interpolation zu ermitteln. Für Fahrgeschwindigkeiten $v_{Fzg} > 500$ km/h sind die Kräfte durch Extrapolation im Verhältnis der Quadrate der Fahrgeschwindigkeiten zu ermitteln.

Windgeschwindigkeit bei $h_{G,Gelände} \leq 4,0$ m in Windzone				Windgeschwindigkeit bei $4,0 \text{ m} < h_{G,Gelände} \leq 13,0$ m in Windzone				Windgeschwindigkeit bei $13,0 \text{ m} < h_{G,Gelände} \leq 20,0$ m in Windzone			
I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
25	28	32	36	28	31	36	40	29	33	37	42

Tabelle 18 - Windgeschwindigkeiten [m/s] bei relevanten Fahrweghöhen

8.2.1.4.7.3 Aerodynamischer Auftrieb infolge Wind (Q9b)

- (1) Die Auftriebskräfte bei Seitenwind sind abhängig von der Fahrgeschwindigkeit und der Windgeschwindigkeit und sind entsprechend Tabelle 19 anzusetzen.
- (2) Die zugehörige Geometrie ist gemäß Abbildung 14 anzunehmen.

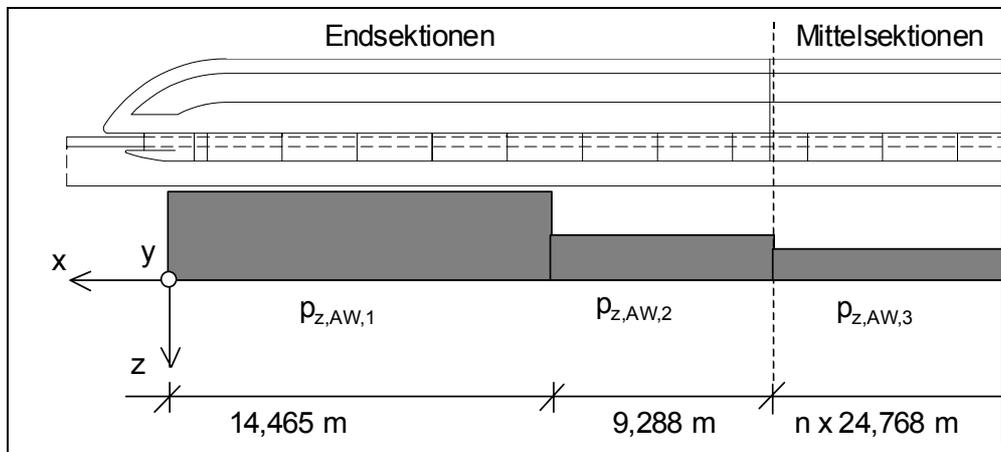


Abbildung 14 - Typisches Lastbild für den aerodynamischen Auftrieb

- (3) Die Auftriebskräfte reduzieren die Vertikallasten und sind nur anzusetzen, wenn sie ungünstig wirken.
- (4) Für die Mittelsektionen sind durchgehend folgende Auftriebskräfte anzusetzen:

$$p_{z,AW,3}(v) = \frac{p_{z,AW,1}(v)}{3} \quad \text{in [kN/m]} \quad (21)$$

- (5) Für die Hecksektion sind die aerodynamischen Auftriebskräfte kleiner als die der Bugsektion. Auf der sicheren Seite liegend können deshalb die Werte der Bugsektion auch für die Hecksektion angesetzt werden.

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- (6) Die Einwirkungen infolge Q8a und Q9b sind nicht gleichzeitig zu berücksichtigen, da die Einwirkung Q9b die Einwirkung Q8a beinhaltet.

v _w [m/s]	v _{Fzg} = 0 km/h		v _{Fzg} = 200 km/h		v _{Fzg} = 300 km/h		v _{Fzg} = 400 km/h		v _{Fzg} = 500 km/h		v _{Fzg} = 530 km/h	
	p _{z,AW,1}	p _{z,AW,2}	p _{z,AW,1}	p _{z,AW,2}	p _{z,AW,1}	p _{z,AW,2}	p _{z,AW,1}	p _{z,AW,2}	p _{z,AW,1}	p _{z,AW,2}	p _{z,AW,1}	p _{z,AW,2}
40	-2,4	-1,5	-7,5	-9,6	-8,1	-8,9	-9,0	-6,9	-10,2	-5,1	-10,6	-4,5
39	-2,3	-1,4	-7,2	-9,2	-7,8	-8,3	-8,6	-6,4	-9,8	-4,6	-10,2	-4,1
38	-2,2	-1,4	-6,9	-8,7	-7,4	-7,8	-8,3	-5,9	-9,5	-4,2	-9,9	-3,7
37	-2,1	-1,3	-6,6	-8,3	-7,1	-7,2	-8,0	-5,4	-9,2	-3,7	-9,6	-3,3
36	-2,0	-1,2	-6,3	-7,9	-6,8	-6,7	-7,7	-4,9	-8,9	-3,3	-9,2	-2,9
35	-1,9	-1,1	-6,0	-7,5	-6,5	-6,2	-7,4	-4,5	-8,6	-2,9	-8,9	-2,5
34	-1,8	-1,1	-5,7	-7,1	-6,2	-5,7	-7,1	-4,1	-8,2	-2,6	-8,6	-2,2
33	-1,6	-1,0	-5,4	-6,7	-5,9	-5,2	-6,8	-3,6	-7,9	-2,2	-8,3	-1,8
32	-1,6	-1,0	-5,1	-6,3	-5,6	-4,8	-6,5	-3,2	-7,6	-1,9	-8,0	-1,5
31	-1,5	-0,9	-4,8	-5,8	-5,3	-4,3	-6,2	-2,9	-7,4	-1,6	-7,7	-1,3
30	-1,4	-0,8	-4,5	-5,3	-5,1	-3,9	-6,0	-2,5	-7,1	-1,3	-7,4	-1,0
29	-1,3	-0,8	-4,2	-4,9	-4,8	-3,5	-5,7	-2,2	-6,8	-1,1	-7,2	-0,7
28	-1,2	-0,7	-4,0	-4,5	-4,6	-3,1	-5,5	-1,9	-6,5	-0,8	-6,9	-0,5
27	-1,1	-0,7	-3,7	-4,1	-4,3	-2,8	-5,2	-1,6	-6,3	-0,6	-6,7	-0,3
26	-1,0	-0,6	-3,5	-3,7	-4,1	-2,4	-5,0	-1,3	-6,0	-0,4	-6,4	-0,1
25	-0,9	-0,6	-3,2	-3,3	-3,9	-2,1	-4,8	-1,1	-5,8	-0,2	-6,2	0,1
24	-0,9	-0,5	-3,0	-3,0	-3,7	-1,8	-4,5	-0,8	-5,6	0	-5,9	0,3
23	-0,8	-0,5	-2,8	-2,6	-3,5	-1,6	-4,3	-0,6	-5,4	0,2	-5,7	0,4
22	-0,7	-0,5	-2,6	-2,3	-3,3	-1,3	-4,1	-0,4	-5,1	0,3	-5,5	0,6
21	-0,7	-0,4	-2,4	-2,0	-3,1	-1,1	-3,9	-0,3	-4,9	0,5	-5,3	0,7
20	-0,6	-0,4	-2,2	-1,7	-2,9	-0,8	-3,7	-0,1	-4,8	0,6	-5,1	0,8
19	-0,5	-0,3	-2,1	-1,5	-2,7	-0,7	-3,5	0	-4,6	0,7	-4,9	0,9
18	-0,5	-0,3	-1,9	-1,2	-2,6	-0,5	-3,4	0,2	-4,4	0,8	-4,8	1,0
17	-0,4	-0,3	-1,8	-1,0	-2,4	-0,3	-3,2	-0,3	-4,3	0,9	-4,6	1,1
16	-0,4	-0,2	-1,6	-0,8	-2,2	-0,2	-3,0	0,4	-4,1	1,0	-4,5	1,2
15	-0,3	-0,2	-1,5	-0,6	-2,1	-0,1	-2,9	0,5	-4,0	1,1	-4,4	1,3
14	-0,3	-0,2	-1,4	-0,5	-2,0	0	-2,8	0,6	-3,9	1,2	-4,3	1,4
13	-0,3	-0,2	-1,2	-1,3	-1,8	0,1	-2,7	0,6	-3,8	1,3	-4,2	1,5
12	-0,2	-0,1	-1,1	-1,2	-1,7	0,2	-2,6	0,7	-3,7	1,3	-4,2	1,6
11	-0,2	-0,1	-1,0	-0,1	-1,6	0,3	-2,5	0,8	-3,7	1,4	-4,1	1,7
10	-0,2	-0,1	-0,9	0	-1,5	0,3	-2,4	0,8	-3,7	1,5	-4,1	1,8

Tabelle 19 - Typische seitenwindbedingte Auftriebskräfte der Bugsektion

8.2.1.4.7.4 Wind bei ungünstigen aerodynamischen Einflüssen

- (1) Im Bereich von Tunnelaus- und Einfahrten, auf Talbrücken und bei sonstigen ungünstigen aerodynamischen Einflüssen sind höhere Einwirkungen projektspezifisch zu berücksichtigen.
- (2) Die Einwirkungen aus möglichen höheren Windgeschwindigkeiten im Ein- und Ausfahrtsbereich von Tunneln und auf Talbrücken sind so zu begrenzen (z.B. durch Windschutzmaßnahmen), dass die in den Kapiteln 8.2.1.4.7.2 und 8.2.1.4.7.3 angegebenen Einwirkungen nicht überschritten werden. Außerdem sind aerodynamische Einflüsse wie z.B. exponierte Lagen entsprechend den Regelungen der Normen und Vorschriften zu berücksichtigen.

8.2.1.4.8 Temperatureinwirkung infolge Antrieb (Q10)

- (1) Zwischen den Statorpaketen des Langstators und dem Trägerkragarm ist eine maximale Temperaturdifferenz von
$$\max \Delta T_{\text{Antrieb}} = 15 \text{ K}$$
zu berücksichtigen.⁹
- (2) Die Temperaturdifferenz wird durch den Antrieb verursacht und ist mit der Temperaturdifferenz aus der Umwelt zu überlagern. Für diese Einwirkung ist eine Schwingspielzahl von $\max SS(\Delta T_{\text{Antrieb}}) = 2$ SS/Tag anzunehmen. Die Schwingspiele berücksichtigen 2 Phasen mit verdichtetem Fahrbetrieb (Morgen und Abend).

⁹ Sollen die Einwirkungen in x-Richtung nur durch Reibung in den Anschlusskontaktflächen der Statorpaketbefestigung in den Kragarm der Fahrwegträger übertragen werden (z.B. vorgespannte Schraubenverbindung), so ergibt sich die aus Temperaturwirkung infolge Antrieb und Umwelt auftretende maximale Kraft aus der maximalen Vorspannkraft und dem maximalen Reibbeiwert (Haftreibung).

8.2.1.5 Nicht häufige veränderliche Einwirkungen (Q11a...Q11k)

8.2.1.5.1 Allgemein

- (1) Nachfolgende, nicht häufige veränderliche Einwirkungen aus dem Fahrzeug sind hinsichtlich des Sicherheitsniveaus analog zu den häufigen veränderlichen Einwirkungen zu berücksichtigen, wenn
 - unmittelbar nach Eintreten der Einwirkung keine Fahrweginspektion durchgeführt werden soll und/oder
 - eine Offenbarung des Eintretens der Einwirkung nicht sichergestellt ist und somit eine Inspektion nicht durchgeführt werden kann.
- (2) Kann ein Sicherheitsrisiko z.B. durch redundante Elemente oder Lastumlagerung usw. ausgeschlossen werden, dann darf in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde zur Berücksichtigung der geringen Auftretenswahrscheinlichkeit der nicht häufigen Einwirkungen ggf. eine Reduzierung der Teilsicherheitsbeiwerte erfolgen.
- (3) Bei der Bildung von Kombinationen entsprechend Kapitel 10 sind die nicht häufigen Einwirkungen als führende Einwirkungen mit $\gamma_F = 1,35$ anzusetzen.
- (4) Dynamische Überhöhungen nach Kapitel 7.4.4 sind bei jeder der nachfolgenden Einwirkungen zu berücksichtigen, wenn nicht ausdrücklich etwas Gegenteiliges angegeben ist.

8.2.1.5.2 Nutzlastüberschreitung (Q11a)

- (1) *Eine mögliche Nutzlastüberschreitung bei außergewöhnlichen Betriebssituationen wie Brandfall mit Evakuierung in benachbarte Sektionen ist durch das "maximale Fahrzeuggewicht" abgedeckt.*

8.2.1.5.3 Ausfall eines Tragmagnetregelkreises (Q11b)

- (1) *Bei Ausfall eines Magnetregelkreises Tragen MRET wird die anteilige Tragkraft des ausgefallenen Teilmagneten durch den benachbarten Teilmagneten des benachbarten Tragmagneten in den Fahrweg weitergeleitet.*
- (2) Es sind bei lokalen Nachweisen für diesen benachbarten Tragmagneten auf eine Länge von $L_{\text{sys,TMT}} = 1,548 \text{ m}$ nachfolgende maximale magnetische Einwirkungen (Grenztragkraft der Tragmagnete¹⁰) anzusetzen:
 - in z-Richtung: $\max p_{z,\text{TMT},\text{Q11b}} = 45,0 \text{ kN/m}$
 - in x-Richtung: $\max p_{x,\text{TMT},\text{Q11b}} = \pm 4,0 \text{ kN/m}$
- (3) Der Regelungsfaktor ist mit $\varphi_{\text{RI}} = 1,0$ anzusetzen.
- (4) Das zugehörige Lastbild ist der Abbildung 30 zu entnehmen.
- (5) *Bei globalen Nachweisen dürfen anstelle der o.g. Grenzwerte der Tragmagnetkräfte Ersatzlasten angesetzt werden, die sich aus den globalen Einwirkungen nach Kapitel 8.2.1.4 ergeben.*

¹⁰ Die Grenztragkraft ist abgeleitet aus der maximalen Halbmagnetkraft, die sich aus der ungünstigsten fahrzeugseitigen Einwirkungskombination (inkl. Ausfallsituationen) an der ungünstigsten Position des Fahrzeugs ergibt.

8.2.1.5.4 Ausfall benachbarter Tragmagnetregelkreise (Q11c)

- (1) Bei Ausfall der Regelkreise benachbarter Tragmagnete setzt die zugeordnete Tragkufe auf die Gleit-
leiste ab. Die maximalen lokalen Einwirkungen aus der Tragkufe (inkl. lokale Bauteildynamik) sind zu
 - Stoßlast $\max F_{z,TK,Sto\beta} = 100 \text{ kN}$
 - quasistatische Last $\max F_{z,TK,stat} = 50 \text{ kN}$
 anzusetzen.
- (2) Der Maximalwert ist durch das Fahrzeug für die ungünstigste Situation auf 100 kN begrenzt. Die dy-
namischen Auswirkungen können z.B. mit Hilfe des Kraft-Zeit-Verlaufs nach Abbildung 15 nachgewie-
sen werden.
- (3) Die zugehörige Kraft in x-Richtung aus der o.g. Stoßkraft und den maximalen Reibbeiwerten nach
Tabelle 8 ist wie folgt anzusetzen:
 - aus Stoßlast (mit $\mu_{TK-GL} = 0,30$) $\max F_{x,TK,Sto\beta} = 30 \text{ kN}$
 - aus quasistatischer Last (mit $\mu_{TK-GL,Haft} = 0,50$) $\max F_{x,TK,stat} = 25 \text{ kN}$
- (4) Der Reibbeiwert darf unter Berücksichtigung der minimalen ortsabhängigen Fahrgeschwindigkeit nach
Tabelle 8 abgemindert werden.
- (5) Infolge Reibung zwischen Tragkufe und Gleitebene erwärmt sich die Tragkufe. Die maximal in den
Gleitbelägen der Tragkufe gespeicherte Wärmemenge beträgt 650 kJ. Bei haltendem Fahrzeug führt
dies zu einer Erwärmung der Gleitleiste/Gleitebene im Bereich der Tragkufe. Die daraus resultierende
Temperaturerhöhung ist bauartabhängig zu ermitteln.

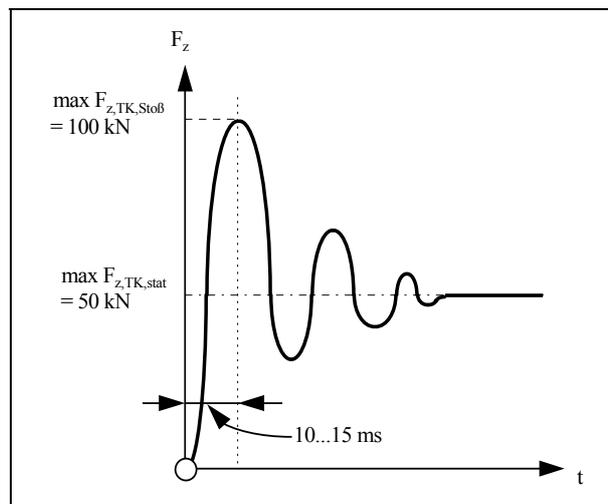


Abbildung 15 - Typischer Kraft-Zeitverlauf der dynamischen Tragkufenkraft

- (6) Die lokalen Verformungen infolge der Stoßlast sind zu ermitteln. Für die zu erwartenden Verformun-
gen ist der Nachweis der Kompatibilität zum Fahrzeug zu führen.
- (7) Unter Berücksichtigung der in Abbildung 6 angegebenen Abmessungen sind die Flächenlasten wie
folgt zu ermitteln:

$$\max q_{z,TK} = \max F_{z,TK} / (L_{TK} \cdot b_{TK}) \quad (22)$$

$$\max q_{x,TK} = \mu \cdot \max F_{z,TK} / (L_{TK} \cdot b_{TK}) \quad (23)$$

- (8) Bei globalen Nachweisen dürfen anstelle der o.g. Grenzwerte der Tragkufenkräfte Ersatzlasten ange-
setzt werden, die sich aus den globalen Einwirkungen nach Kapitel 8.2.1.4 ergeben.

8.2.1.5.5 Ausfall eines Führungsmagnetregelkreises (Q11d)

- (1) Bei Ausfall eines Magnetregelkreises Führen MREF wird die anteilige Führungskraft des ausgefallenen Teilmagneten (siehe Lastbild) vom benachbarten Teilmagnet des benachbarten Führungsmagneten übernommen.
- (2) Bei lokalen Nachweisen sind für diese Einwirkung folgende maximale magnetische Kräfte in y-Richtung anzusetzen (Grenztragkraft der Führungsmagnete):
 - $\max p_{y,FMT} = 16 \text{ kN/m}$ bei Führungsmagneten mit unten liegenden Magnetpolen
 - $\max p_{y,FMT} = 32 \text{ kN/m}$ bei Führungsmagneten mit unten und oben liegenden Magnetpolen
- (3) Das zugehörige Lastbild ist der Abbildung 33 (Kapitel 9.3.2.2.1) zu entnehmen.
- (4) Bei globalen Nachweisen dürfen anstelle der o.g. Grenzwerte der Führungsmagnetkräfte Ersatzlasten angesetzt werden, die sich aus den globalen Einwirkungen nach Kapitel 8.2.1.4 ergeben.

8.2.1.5.6 Ausfall benachbarter Führungsmagnetregelkreise (Q11e)

- (1) Bei Ausfall beider Magnetregelkreise an einem Schweberahmen übertragen die Anlaufleisten der gegenüberliegenden Führungsmagnete die anteiligen Führungskräfte mechanisch auf die Seitenführschiene (Druckkraft).
- (2) Die maximale lokale Stoßkraft auf die Seitenführschiene (inkl. lokaler Bauteildynamik) ist für lokale Nachweise wie folgt anzusetzen:
 - $\max F_{y,FM,Q11e1} = 63 \text{ kN}$ (mit $\gamma_F = 1,35$) ohne Wind
 - $\max F_{y,FM,Q11e2} = 115 \text{ kN}$ (mit $\gamma_F = 1,00$)¹¹ mit Wind ($v_W = 25 \text{ m/s}$)
- (3) Die Einwirkung $F_{y,FM,Q11e2}$ ist im Hinblick auf die Auftretenswahrscheinlichkeit als „Außergewöhnliche Einwirkung“ einzustufen.
- (4) Die zugehörige maximale Kraft in x-Richtung ist aus der o.g. Stoßkraft und dem maximalen Reibbeiwert von $\mu_{FM,SFS} = 0,3$ bei $v \Rightarrow 0 \text{ km/h}$ wie folgt zu ermitteln:

$$\max F_{x,FM} = \mu_{FM,SFS} \cdot \max F_{y,FM} \quad (24)$$
- (5) Der Reibbeiwert darf unter Berücksichtigung der ortsabhängigen minimalen Betriebsgeschwindigkeit nach Tabelle 7 abgemindert werden.
- (6) Die Geometrie der Einwirkung ist der Abbildung 34 zu entnehmen.
- (7) Die Temperaturerhöhung infolge mechanischem Führen (Anlaufen) ist durch die Einwirkung aus der „Sicheren Bremse“ abgedeckt.
- (8) Bei globalen Nachweisen dürfen anstelle der o.g. Grenzwerte der Anlaufkräfte der Führungsmagnete Ersatzlasten angesetzt werden, die sich aus den globalen Einwirkungen nach Kapitel 8.2.1.4 ergeben.

¹¹ Wenn nachweislich die Gebrauchstauglichkeit und Sicherheit nicht unzulässig beeinträchtigt werden, können in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde lokale plastische Verformungen bei Ansatz von $\max F_{y,FM,Q11e2}$ zugelassen werden.

8.2.1.5.7 Einsatz der fahrzeugseitigen „Sicheren Bremse“ (Q11f)

8.2.1.5.7.1 Regelfall

- (1) Bei Ausfall des Regelbremssystems (Langstatormotor) wird die fahrzeugseitige, sichere Bremse (Geometrie und Anordnung der Bremsmagnete am Fahrzeug siehe Abbildung 5) aktiviert. Der Bremsvorgang ist bezüglich der Einwirkungen auf den Fahrweg in folgende zwei Abschnitte (siehe Abbildung 18) unterteilt:

- Abschnitt I: Berührungslose Übertragung der Wirbelstrombremskräfte („freier“ Bremsmagnet)
- Abschnitt II: Anliegen der Bremsmagnete an den Seitenführschienen

- (2) Die Bremskräfte dürfen bei leerem Fahrzeug entsprechend der geringeren Masse im Verhältnis Fahrzeugeigengewicht zu zulässigem Gesamtgewicht (siehe Kapitel 8.2.1.2) abgemindert werden.

- (3) Für Abschnitt I ($\approx 200 \text{ km/h} \leq v_{Fzq} \leq 530 \text{ km/h}$) sind nachfolgende Einwirkungen zu berücksichtigen: Berührungslose Übertragung der Wirbelstrombremskräfte $F_{x,BM,I}$, wobei die magnetischen Zugkräfte mit abnehmender Geschwindigkeit zunehmen:

$$\max F_{x,BM,I} = 63 \text{ kN/Sektion} \dots \approx 85 \text{ kN/Sektion}^{12}$$

Die zugehörige magnetische Zugkraft $p_{y,BM,I}$ auf die Seitenführschiene, die analog zur Vorspannkraft der Führungsmagnete als "innere Kraft" wirkt, beträgt unter Berücksichtigung von Toleranzen und Radien:

$$\max p_{y,BM,I} \leq 37,5 \text{ kN/m}$$

Für die im Bereich der Wirbelstrombremsen vorhandenen Tragmagnete ist eine Ungleichverteilung der Tragmagnetkraft um 30% analog Abbildung 29 anzusetzen. Diese Kombination ist auch für den nachfolgenden Bremsabschnitt II zu berücksichtigen.

- (4) Für Abschnitt II ($0 \text{ km/h} < v_{Fzq} < \approx 200 \text{ km/h}$) sind nachfolgende Einwirkungen zu berücksichtigen:

Bei $v_{Fzq} < \approx 200 \text{ km/h}$ legen sich die Bremsmagnete an die Seitenführschienen an. Die Summe der dabei wirkenden Reibungskräfte in x-Richtung zusammen mit der abnehmenden Bremsmagnetkraft sind begrenzt auf eine maximale Bremskraft $\max F_{x,BM,II}$ von:

$$\max F_{x,BM,II} \leq 110 \text{ kN/Sektion}$$

Die maximale Zugkraft in y-Richtung $\max p_{y,BM,II}$ beträgt: $\max p_{y,BM,II} = 37,5 \text{ kN/m}$

Eine Druckkraft in y-Richtung tritt nicht auf. Bei Ansatz von $\max p_{y,BM,II}$ kann $\varphi_{RI} = 1,0$ angesetzt werden.

Bei $v_{Fzq} = 5 \text{ km/h}$ erfolgt der Absetzbefehl und das Fahrzeug setzt geregelt auf den Fahrweg ab. Die Geschwindigkeit des Fahrzeugs beträgt beim Aufsetzen der Tragkufen auf den Gleitebenen $v_{Fzq} = 0 \text{ km/h}$. Die Ermittlung der Tragkufenkräfte erfolgt analog Kapitel 8.2.1.4.5.1 unter Berücksichtigung des zugehörigen Schwingbeiwertes. Die Zeitfunktion des geregelten Absetzens des Fahrzeugs ist in Abbildung 16 dargestellt. Diese ist beim Nachweis der Dynamik in x- und z-Richtung zu berücksichtigen.

- (5) Die durch die Bremsmagnete bewirkte Temperaturerhöhung der Seitenführschienen ist zu $\Delta T_{BM,SFS} \leq 8 \text{ K}$ für ein 10-Sektionen-Fahrzeug anzusetzen. Diese Temperaturüberhöhung ist mit den Temperatureinwirkungen aus der Umwelt nach Kapitel 8.2.3 zu überlagern.
- (6) Das Lastbild der Bremsmagnete ist der Abbildung 35 zu entnehmen.
- (7) Analog zum Bremsen und Beschleunigen über den Langstator treten bei Einsatz der "Sicheren Bremse" Kippmomente um die y-Achse auf. Die daraus entstehende z-Kraftverteilung ist entsprechend zu berücksichtigen.

¹² Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

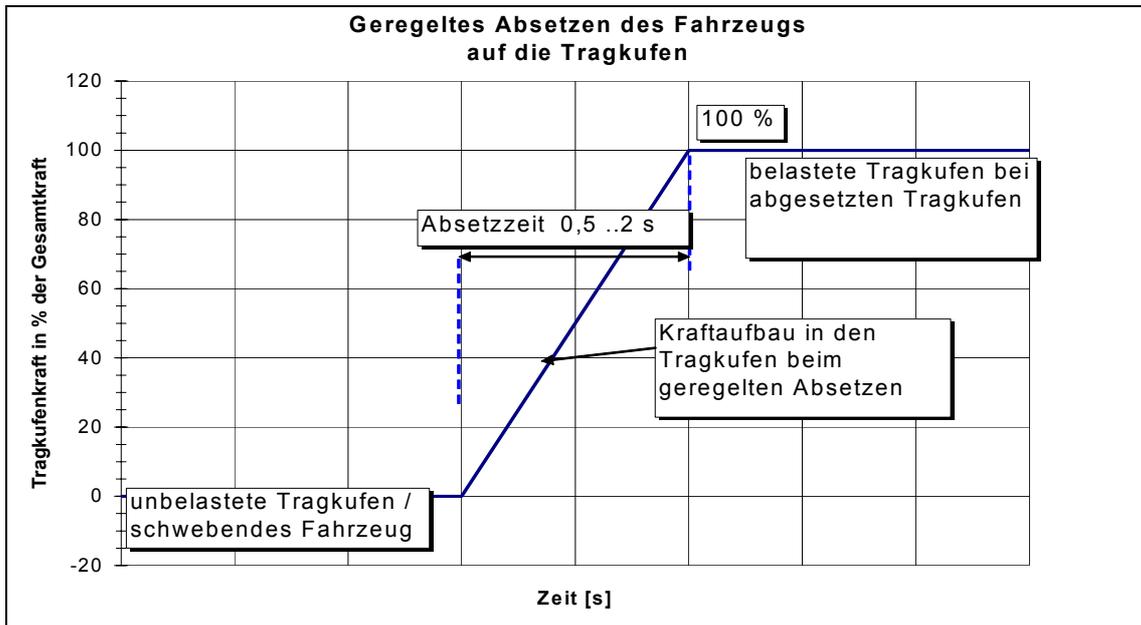


Abbildung 16 – Typische, vereinfachte Zeitfunktion des geregelten Absetzens des Fahrzeugs

8.2.1.5.7.2 Sonderfall

- (1) Als außergewöhnliche Bemessungssituation ist das Überschreiten der Bremskraft aus den Bremsmagneten (siehe Abbildung 18: Linie 1) und das Ausgleiten $v_{Fzg} \Rightarrow 0$ des auf die Tragkufen abgesetzten Fahrzeugs mit zulässigem Fahrzeuggewicht (siehe Abbildung 18: Bereich $v_{Fzg} < 10$ km/h) und $\gamma_Q = 1,0$ zu berücksichtigen.
- (2) Bei der Bemessung des Fahrwegs für diesen Sonderfall ist der in nachfolgender Abbildung 17 angegebene Zeitverlauf der Beschleunigung a_x beim Übergang von Gleitreibung zu Haftreibung zu berücksichtigen.

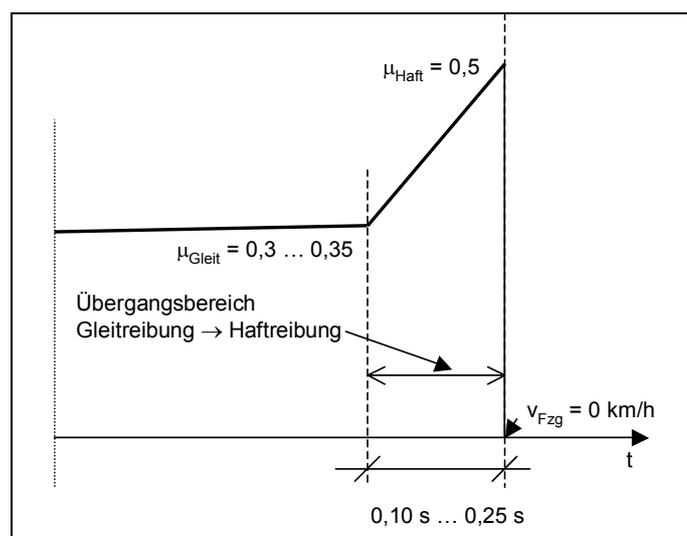


Abbildung 17 - Typische Beschleunigungs-Zeit-Funktion beim Ausgleiten auf den Tragkufen

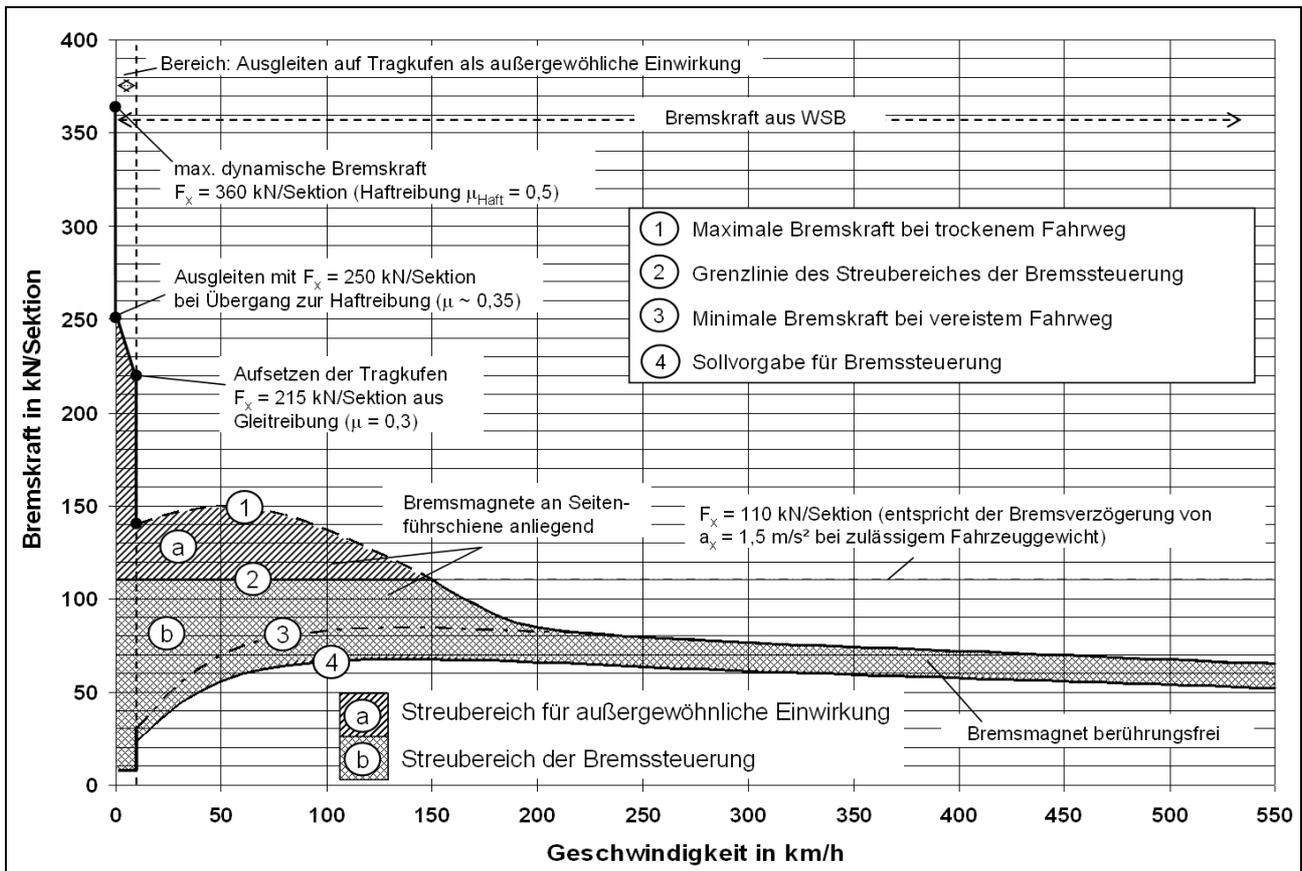


Abbildung 18 - Bremskraftverlauf der „Sicheren Bremse“

8.2.1.5.8 Geschwindigkeitsabweichungen (Q11g)

- (1) Einwirkungen aus Geschwindigkeitsabweichungen (z.B. außerhalb von Stationen stehende Fahrzeuge bzw. langsam fahrende Fahrzeuge bei 12° Fahrwegquerneigung ($a_y \Rightarrow 2,04$ m/s²)) sind als nicht häufige veränderliche Einwirkungen analog zu den häufigen veränderlichen Einwirkungen zu berücksichtigen (siehe hierzu Kapitel 6.1).

8.2.1.5.9 Fehlfunktionen des Antriebs (Q11h)

8.2.1.5.9.1 Einseitiger Antriebsausfall

- (1) Die Fehlfunktion "Einseitiger Antriebsausfall" ist analog Kapitel 8.2.1.4.2 (Einwirkungen im Bereich von Motorabschnittswechseln beim Wechselschrittverfahren) zu berücksichtigen und damit abgedeckt.

8.2.1.5.9.2 Sonstige Fehlfunktionen des Antriebs

- (1) Bei ungünstigster seitenselektive Ungleichverteilung 0,73/0,27 ist eine maximale Schubkraft von $F_{x,Q11h1,HG} = 185 \text{ kN/Mittelsektion}^{13}$ zu berücksichtigen. Diese führt zu nachfolgenden Kräften je Fahrwegseite:
- $\max p_{x, Q11h1, HG, rechts/links} = 0,73 \cdot 185 \text{ kN} / 24,768 \text{ m} = 5,5 \text{ kN/m}$
 - $\min p_{x, Q11h1, HG, links/rechts} = 0,27 \cdot 185 \text{ kN} / 24,768 \text{ m} = 2,0 \text{ kN/m}$ (ohne Dynamik)
- (2) Als auf beide Fahrwegseiten gleichmäßig wirkende, maximale resultierende Einwirkung in x-Richtung bei Fehlfunktion ist folgende Kraft zu berücksichtigen:
 $p_{x,Q11h2} = 250 \text{ kN} / \text{Mittelsektion} = 250 \text{ kN} / 24,768 \text{ m} = \text{ca. } 10,0 \text{ kN/m}$
- (3) Eine typische (vereinfachte) Abhängigkeit der Einwirkung infolge Fehlfunktion des Antriebs von der Fahrgeschwindigkeit und der Fahrzeuglänge (Sektionszahl) ist beispielhaft in Abbildung 19 dargestellt. Bei einer projektunabhängigen Nachweisführung darf die angegebene Abminderung angenommen werden.
- (4) Im Hinblick auf die Auftretenswahrscheinlichkeit ist die Einwirkung $p_{x,Q11h2}$ als außergewöhnlich anzusetzen ($\gamma_Q = 1,0$).
- (5) Die Notwendigkeit der Berücksichtigung dieser Einwirkungen und die Größenordnung der Abminderung sind jeweils projektspezifisch im Einzelfall bestätigen zu lassen.
- (6) Kräfte aus Nickmomenten sind analog Kapitel 8.2.1.4.4.2 zu berücksichtigen.

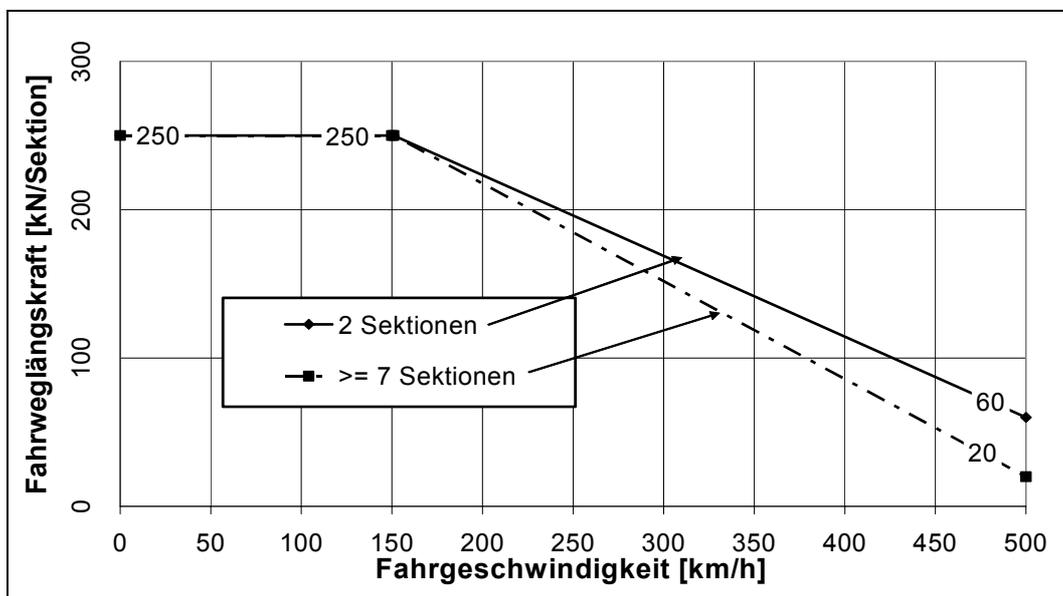


Abbildung 19 - Geschwindigkeitsabhängigkeit der x-Kräfte infolge Fehlfunktion des Antriebs

¹³ Die Einwirkungen für die übrigen Fahrzeuggewichte sind: $F_{x,Q11h1,ZG} = 180 \text{ kN/Mittelsektion}$, $F_{x,Q11h1,MG} = 170 \text{ kN/Mittelsektion}$ und $\max F_{x,Q11h1,EG} = 150 \text{ kN/Mittelsektion}$

8.2.1.5.10 Einseitiges Absetzen des Fahrzeuges (Q11i)

8.2.1.5.10.1 Allgemeines

- (1) Bei einem Kurzschluss der Langstatorwicklung sind im Hinblick auf die Einwirkungen auf den Fahrweg folgende zwei Bemessungssituationen zu berücksichtigen.

8.2.1.5.10.2 Bemessungssituation 1

- (1) *Das Fahrzeug befindet sich während des Entstehens eines Wicklungskurzschlusses über dem Kurzschlussort, der Kurzschlussort ist in der Nähe des Wicklungssternpunktes (Motorabschnittswchsel) und die Fahrgeschwindigkeit beträgt $v \geq 25$ km/h. In dieser Situation kommt es zu einem einseitigen Absetzen des Fahrzeuges auf die Gleitebene der Fahrwegträger. Die Tragkufen treffen dabei nacheinander auf die Gleitleisten auf. Die dem Kurzschluss gegenüberliegende Fahrzeugseite bleibt im schwebenden Zustand.*

- (2) Unter Berücksichtigung des Fahrzeuggewichtes sind die einseitigen Streckenlasten $q_{z,abs}$ und $q_{z,int}$ nach folgender Beziehung zu berücksichtigen:

- absetzende Seite:

$$q_{z,Q11i,abs} = 0,5 \cdot \text{stat } p_z \cdot a_z / g \quad (25)$$

- "intakte" (schwebende) Seite:

$$q_{z,Q11i,int} = 0,5 \cdot \text{stat } p_z \cdot a_z / g \quad (26)$$

- (3) Die sonstigen Einwirkungen (z.B. Fliehkräfte) sind entsprechend Kap. 7 zu überlagern. Die Kufenkräfte für die absetzende Seite sind mit $e_{x,TK}$ = Tragkufenmittenabstand wie folgt zu ermitteln:

$$F_{z,TK,Q11i} = q_{z,Q11i,abs} \cdot e_{x,TK} \quad (27)$$

- (4) Der geschwindigkeitsabhängige Reibbeiwert ist der Tabelle 8 zu entnehmen.

- (5) Für die absetzende Seite ist zusätzlich ein Schwingbeiwert von $\max \varphi_{B,z,Q11i} = 1,8$ zu berücksichtigen. Für die intakte gegenüberliegende Seite ist der Schwingbeiwert in z-Richtung mit $\min \varphi_{B,z,Q11i} = 0,9$ anzusetzen.

- (6) *Die Einwirkung aus dem Antrieb nach Kap. 8.2.1.4 kann positiv (Bremsen), negativ (Beschleunigen) oder Null sein.*

- (7) Durch die unterschiedlichen Kräfte in x-Richtung auf der intakten und auf der absetzenden Seite wird ein Moment um die z-Achse hervorgerufen. Dieses Moment erzeugt zur Gewährleistung des Gleichgewichts Kräfte auf die Seitenführschiene (y-Richtung). Die Führungsmagnetkräfte sind analog Kapitel 8.2.1.4.3 anzusetzen. Die übrigen Einwirkungen in y-Richtung sind analog zu den häufigen Einwirkungen zu ermitteln.

- (8) Es ist nur die Kombination mit dem Fahrzeuggewicht als führende veränderliche Einwirkung anzusetzen.

8.2.1.5.10.3 Bemessungssituation 2

- (1) *Der Kurzschlussort liegt nicht in Sternpunktnähe der Kabelwicklung oder das Fahrzeug fährt über einen bereits vorhandenen Kurzschlussort.*

- (2) *Dieser Bemessungssituation bewirkt auf der Seite des Kurzschlusses an der Schnittstelle Tragmagnet-Langstator Bremskräfte, die global durch die x-Kräfte aus a) und lokal durch die x-Kräfte aus Q11b abgedeckt sind.*

8.2.1.5.11 Anlaufen/Touchieren von Magneten (Q11j)

8.2.1.5.11.1 Tragmagnete

- (1) *Durch die fahrzeugseitige Minimalspaltüberwachung wird ein kraftmäßig relevantes Anlaufen von Tragmagneten an die Statorpakete verhindert.*
- (2) *Ein mögliches Anlaufen bei Überlagerung von ungünstigen Randbedingungen (Fahrwegtoleranzen, Bewegungs- und Belastungszustand Tragmagnet) ist durch die in Kapitel 8.2.9 angegebenen Einwirkungen abgedeckt.*

8.2.1.5.11.2 Führmagnete

- (1) *Bei Überschreitung der Grenztragkraft der Führmagnete nach Kapitel 8.2.1.5.5 kann es zu einem Touchieren der gegenüberliegenden Führmagnete kommen.*
- (2) *Die Einwirkungen aus dem Touchieren von Führmagneten sind durch die Einwirkungen entsprechend Kapitel 8.2.1.5.6 „Ausfall benachbarter Führmagnetregelkreise (Q11e)“ abgedeckt.*

8.2.1.5.12 Anheben von festgefrorenen Tragkufen (Q11k)

- (3) *Die durch das Ablösen einer festgefrorenen Tragkufe erzeugten Zug und Schubkräfte werden über die Gleitleiste in das Tragwerk weitergeleitet.*
- (4) Die aus Anheben festgefrorener Tragkufen resultierenden maximalen Einwirkungen sind lokal mit nachfolgend angegebenen Kräften anzusetzen:
 - Zugkraft in z-Richtung $F_{z,Q11k} = 50,0 \text{ kN / Kufe}$
 - Schubkraft in x-Richtung $F_{x,Q11k} = 25,0 \text{ kN / Kufe}$
- (5) Ungünstig ist davon auszugehen, dass die der festgefrorenen Tragkufe lokal zugeordneten Tragmagnete keine Kräfte übernehmen (siehe Kapitel 8.2.1.5.4).

8.2.1.5.13 Erhöhtes Fahrzeuggewicht infolge Schnee im Fahrzeug (Q11l)

- (1) Infolge von Schneeanammlung im Fahrzeug ist eine Erhöhung der Streckenlast aus dem Fahrzeug mit nachfolgend angegebenen Werten zu berücksichtigen:
 - $\Delta p_{z,EG,Q11l(1)} = 1,6 \text{ kN/m} \rightarrow$ selten (nicht häufig)
 - $\Delta p_{z,EG,Q11l(2)} = 3,2 \text{ kN/m} \rightarrow$ außergewöhnlich
- (2) Die Auftretenshäufigkeit und die anzusetzenden charakteristischen Werte sind projektspezifisch festzulegen (siehe hierzu auch /MSB AG-FW IH/; Referenzträger, Monitoring).
- (3) Der Schwerpunktabstand der Schneeanammlung in z-Richtung ist mit $s_{z,Q11l} = 400 \text{ mm}$ anzusetzen.

8.2.2 Einwirkungen aus Instandhaltung (Q30)

- (1) Die Beanspruchungen einschließlich möglicher dynamischer Überhöhungen aus der Instandhaltung (inkl. den zugehörigen Sonderfahrzeugen, Geräten und Nutzlasten) dürfen nicht dimensionierend werden.

8.2.3 Temperatur aus Umwelt (Q50)

8.2.3.1 Allgemeines

- (1) In /DIN Fachbericht 101/ Kapitel V sind die Regeln und Verfahren zur Ermittlung von Temperatureinwirkungen auf Brücken, einschließlich deren Bauteile, angegeben. Die charakteristischen Werte der Einwirkungen können, soweit auf die Fahrweegelemente der Magnetschnellbahn übertragbar, daraus entnommen werden. Benutzungsbedingte Temperatureinwirkungen sind darin nicht enthalten.
- (2) *Im Folgenden werden bezeichnet:*
 - als Temperaturschwankung eine gleichmäßige Änderung der Schwerpunkttemperatur aller Bauteile (siehe /DIN Fachbericht 101/ Kapitel V, 6.3.1.3)
 - als linearer Temperaturunterschied ein zwischen gegenüberliegenden Rändern des Bauteils linear verlaufendes Temperaturgefälle (siehe /DIN Fachbericht 101/ Kapitel V, 6.3.1.4)
 - als ungleiche Erwärmung von Bauteilen ein Sprung (Temperaturdifferenz) zwischen den Schwerpunkttemperaturen einzelner Bauteile, die keinen durchgehenden Verbund haben und/oder aus verschiedenen Materialien bestehen (siehe /DIN Fachbericht 101/ Kapitel V, 6.3.1.6)
- (3) Die Temperatureausdehnungskoeffizienten der Baustoffe sind /DIN Fachbericht 101/ zu entnehmen.

8.2.3.2 Temperaturschwankungen in den Fahrwegüberbauten (Q50a)

- (1) Wird keine genauere Bestimmung der minimalen und maximalen Außenlufttemperatur vorgenommen, können für mitteleuropäische Projekte die in Tabelle 20 (Spalte 1) angegebenen charakteristischen Werte angesetzt werden. Diese beziehen sich auf Außenlufttemperaturen von -24°C bis $+37^{\circ}\text{C}$ bei einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren.
- (2) Für die Berechnung von Lagerwegen und (Dehnungs-)Fugen sind die Werte in Tabelle 20 um 25% zu erhöhen.
- (3) Die Möglichkeit der Abminderung der in Tabelle 20 angegebenen Einwirkungen ist im Einzelfall mit der zuständigen Aufsichtsbehörde abzustimmen.

8.2.3.3 Lineare Temperaturunterschiede (Q50b)

8.2.3.3.1 Allgemeines

- (1) *Die zu berücksichtigenden Temperaturunterschiede sind u.a. abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit, der Geometrie und den klimatischen Verhältnissen.*
- (2) *Für die nachfolgenden Grenzwerte gelten folgende Bezeichnungen:*

ΔT_M	linearer Temperaturunterschied $T_o - T_u$ bzw. $T_l - T_r$
T_o	Obergurttemperatur
T_u	Untergurttemperatur
T_l	Temperatur des linken Randes des tragenden Querschnitts
T_r	Temperatur des rechten Randes des tragenden Querschnitts
<i>(Bei Vollquerschnitten sind für T_o und T_u die Werte am Querschnittsrand anzusetzen.)</i>	

8.2.3.3.2 Fahrwegüberbauten

- (1) *Charakteristische Werte für lineare Temperaturunterschiede sind in /DIN Fachbericht 101/ Kapitel V, 6.3.1.4 für verschiedene Gruppen von Brückenüberbauten und verschiedene Brückenbelagsdicken angegeben. Diese Werte stellen obere Grenzwerte des linearen Temperaturunterschiedes für repräsentative Beispiele der Brückengeometrie von Straßen und Eisenbahnbrücken dar.*
- (2) Für Fahrwegträger der Magnetschnellbahn sind zusätzlich nachfolgende Vorgaben zu berücksichtigen:
 - Fahrwegtyp I und II
Für diskret gelagerte Fahrwegträger können die in Tabelle 20 (Spalte 2) angegebenen charakteristischen Werte angesetzt werden, falls deren Querschnitte und Oberflächen vergleichbar sind. Die Anwendbarkeit dieser Werte ist durch die zuständige Aufsichtsbehörde im Einzelfall zu bestätigen.
 - Fahrwegtyp III und sonstige Fahrwegbauweisen
Für Fahrwegplattensysteme und sonstige Fahrwegbauweisen, die nicht durch die in Tabelle 20 angegebenen Werte abgedeckt sind, sind in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde Werte festzulegen (ggf. durch theoretische Ermittlung auf Basis von Simulationsrechnungen).
 - Fahrwege im Tunnel
Bei Fahrwegen im Tunnel braucht ein Temperaturunterschied infolge Umwelt in der Regel nicht angesetzt werden.
 - Spurwechseleinrichtungen
siehe Tabelle 20
- (3) Zur Gewährleistung einer optimalen Fahrweglage in Hauptbetriebszeiten, die projektspezifisch festzulegen sind, darf bei der Festlegung der Träger-Soll-Lage ein zu diesen Zeiten erwarteter linearer Temperaturunterschied $T_0 - T_U$ bei der Festlegung der Sollvorkrümmung berücksichtigt werden. Bei diesem Temperaturunterschied ergibt sich dann eine optimale Fahrweglage (d.h. die Fahrweglage entspricht bei einer Belastung durch das Fahrzeug der Fahrweggradienten).
- (4) Für nicht in Tabelle 20 dargestellte Querschnitte sind Annahmen für die Temperaturansätze mit der zuständigen Aufsichtsbehörde unter Anwendung der Tabelle 20 und sonstiger Erfahrungen und Erkenntnisse festzulegen. Diese Annahmen sind ggf. durch Messungen nachzuweisen.

8.2.3.3.3 Fahrwegunterbauten

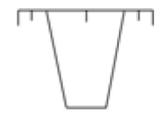
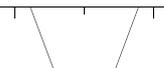
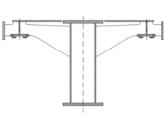
- (1) Die Temperatureinwirkungen aus der Umwelt sind für die Fahrwegunterbauten /DIN Fachbericht 101/ Kapitel V, 6.3.2. zu entnehmen.

8.2.3.4 Ungleiche Erwärmung von Bauteilen aus Umwelt (Q50c)

- (1) Als Temperaturdifferenz zwischen Stahl und Betonteilen ist bei den in /DIN Fachbericht 101/ Kap. 6.3.1.6 beschriebenen Fällen zu $\Delta T = \pm 15$ K anzunehmen.
- (2) Bei vollflächig miteinander verbundenen Stahl- und Betonbauteilen (z.B. SFS bzw. GL am Betonträger) sind Temperaturdifferenzen von $\Delta T = \pm 10$ K anzusetzen, wenn niedrigere Temperaturdifferenzen nicht nachgewiesen sind.
- (3) Die o.a. ungleichen Erwärmungen sind an Bauteilen, an denen infolge Verkehr eine Temperaturerhöhung erzeugt wird, mit diesen zu überlagern.

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

Bauweise	Querschnitt	Temperatur- schwankung T_N	Linearer Tempera- turunterschied $\Delta T_{z,My}$ vertikal [K]	Linearer Tempera- turunterschied $\Delta T_{y,Mz}$ lateral [K]
		1	2	3
Betonbauweise (Bauhöhe: 2 m)		$-15\text{ °C} \leq T_N \leq 35\text{ °C}$	$-5 \leq \Delta T_{z,My} \leq 17$	$-10 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 10$
Stahlbauweise (Bauhöhe: 2 m)		$-20\text{ °C} \leq T_N \leq 50\text{ °C}$	$-5 \leq \Delta T_{z,My} \leq 25$	$-17 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 17$
Hybridbauweise I (Bauhöhe: 2 m)		$-15\text{ °C} \leq T_N \leq 35\text{ °C}$	$-5 \leq \Delta T_{z,My} \leq 15$	$-10 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 10$ *
Hybridbauweise II (Bauhöhe: 2,2 m)		$-15\text{ °C} \leq T_N \leq 35\text{ °C}$	$-5 \leq \Delta T_{z,My} \leq 10$	$-10 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 10$ *
Betonbauweise (Bauhöhe: 1 m)		$-15\text{ °C} \leq T_N \leq 35\text{ °C}$	$-5 \leq \Delta T_{z,My} \leq 17$	$-5 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 5$
Stahlbauweise (Bauhöhe: 1 m)		$-20\text{ °C} \leq T_N \leq 50\text{ °C}$	$-8 \leq \Delta T_{z,My} \leq 25$	$-13 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 13$
Stahlbiegeweiche (Biegeträger BxH: 0,45 m x 1,5 m)		$-20\text{ °C} \leq T_N \leq 50\text{ °C}$	$-10 \leq \Delta T_{z,My} \leq 20$	$-10 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 10$

Die angegebenen charakteristischen Werte der Temperatureinwirkungen wurden unter Berücksichtigung der Angaben in /DIN Fachbericht 101/, der theoretischen Berechnungsergebnisse in /R 1/ und den Messergebnissen der TVE festgelegt.

* am tragenden Betonquerschnitt

Tabelle 20 - Temperaturschwankungen und lineare Temperaturunterschiede

8.2.4 Wind auf Tragwerk (Q51)

8.2.4.1 Wind auf Tragwerk mit Verkehr

- (1) Die Einwirkungen aus Wind auf das Tragwerk bei gleichzeitigem Verkehr sind analog /DIN Fachbericht 101/ anzusetzen.
- (2) Es wird vorausgesetzt, dass der Fahrweg im Hinblick auf Windeinwirkungen nicht schwingungsanfällig ist, andernfalls sind genauere Nachweise erforderlich.
- (3) Die Windrichtung ist waagrecht anzunehmen.
- (4) Bei Doppelspurfahrwegen sind die einzelnen Fahrspuren für die volle Windlast aus beiden Richtungen zu bemessen.
- (5) Bei Wind auf Tragwerk mit Verkehr ist als Windangriffsfläche nur der vom Fahrzeug nicht überdeckte Bereich des Fahrwegs anzusetzen.
- (6) Die zu berücksichtigenden Staudrücke für Nennböenwindgeschwindigkeiten $v_{b,10}$ (5-Sek-Mittelwert, einmal im Jahr) in den Windzonen I, II, III und IV sind für verschiedene Gradientenhöhen über Gelände der Tabelle 21 zu entnehmen.
- (7) Formfaktoren und sonstige Faktoren zur Ermittlung der Einwirkungsgrößen aus Wind auf Tragwerk sind für die jeweiligen Baukörper den bestehenden Vorschriften zu entnehmen.

Gradientenhöhe $h_{G,Gelände}$	WZ I		WZ II		WZ III		WZ IV	
	v_W [m/s]	$q_{W,Tragwerk}$ [kN/m ²]						
≤ 4,0 m	25	0,40	28	0,50	32	0,65	36	0,80
> 4,0 m ... 13,0 m	28	0,50	31	0,60	36	0,80	40	1,00
> 13,0 m ... 20,0 m	29	0,55	33	0,70	37	0,85	42	1,10

Tabelle 21 - Staudruck $q_{W,Tragwerk}$ auf Tragwerk

8.2.4.2 Wind auf Tragwerk ohne Verkehr

- (1) Die Einwirkungen infolge Wind auf das Tragwerk ohne Verkehr sind nach /DIN Fachbericht 101/ nachzuweisen.
- (2) Es wird vorausgesetzt, dass der Fahrweg im Hinblick auf Windeinwirkungen nicht schwingungsanfällig ist, andernfalls sind genauere Nachweise erforderlich.

8.2.5 Schnee und Eislasten (Q52)

- (1) Mit Verkehr:
Die anzunehmende Schneehöhe bei Verkehr beträgt 10 cm. Es ist eine Flächenlast von $q_{Schnee} = 0,5$ kN/m² zu berücksichtigen, dies entspricht der Annahme eines Raumgewichts von 5 kN/m³ (nasser Schnee).
- (2) Ohne Verkehr:
Für Schnee ohne Verkehr sind die Werte aus /DIN Fachbericht 101/ zu entnehmen. Für die Fahrwegträger ist diese Einwirkungskombination durch Einwirkungen aus Verkehr abgedeckt.

8.2.6 Veränderliche Wasserdruckkräfte (Q53)

- (1) Veränderliche Wasserdruckkräfte sind entsprechend den örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

8.2.7 Windlast in Bauzuständen (Q54)

- (1) Die Einwirkungen infolge Wind in Bauzuständen sind auf Basis von /DIN Fachbericht 101/ als veränderliche Einwirkungen zu berücksichtigen.

8.2.8 Instandhaltungszustände (Q55)

- (1) Einwirkungen aus Instandhaltungszuständen (z.B. infolge Anheben des Tragwerks zum Auswechseln von Lagern und Lagerteilen) oder aus ähnlichen Zuständen sind zu berücksichtigen.

8.2.9 Bauzustände (Q56)

- (1) Die Einwirkungen aus Bau und Montagezuständen müssen bei der Dimensionierung der Tragwerke berücksichtigt werden.
- (2) Zur Berücksichtigung der Einwirkungen infolge Montage der Statorpakete und der Langstatorwicklung sind lokal für die Nachweisführung der Statorpakete und deren Befestigung an der Fahrwegstruktur folgende Einwirkungen anzusetzen:
 - dyn $p_z = -5,0$ kN/m
 - dyn $p_x = 5,0$ kN/m

8.2.10 Einwirkungen bei Spurwechseinrichtungen (Q57)**8.2.10.1 Elastische Verformung von Biegeweichen (Q57a)**

- (1) Die Biegespannungen aus der Zwangsverformung der Biegeweichen und die Verstellkräfte sind aus der Biegelinie der betreffenden Weiche zu berechnen.

8.2.10.2 Einwirkungen aus dem Antrieb (Q57b)

- (1) Aus dem Antrieb der Spurwechseinrichtungen (Biegeweichen, Schiebebühnen) sind Einwirkungen aus Massenträgheit, Reibung und Ungleichlauf der Stellorte zu berücksichtigen.

8.2.11 Verschiebungswiderstände der Lager (Q58)

- (1) Einwirkungen aus Lagerreibung sind entsprechend den gültigen bautechnischen Vorschriften zu berücksichtigen.

8.2.12 Ausfall von Tragwerkselementen (Q59)

- (1) Es ist nachzuweisen, dass auch bei Ausfall von Tragwerkselementen der Fahrweg eine im Einzelfall festzulegende Zeitspanne sicher befahrbar bleibt.
- (2) Die dafür erforderlichen Maßnahmen (z.B. Redundanz) und die Nachweisführung sind mit der zuständigen Aufsichtsbehörde abzustimmen.

8.2.13 Erddruck aus veränderlichen Einwirkungen (Q60)

- (1) Erddruck aus veränderlichen Einwirkungen ist den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechend zu berücksichtigen.

8.3 Außergewöhnliche Einwirkungen

8.3.1 Allgemeines

- (1) Die Strategien und Regelungen für die Sicherung der baulichen Anlagen des Fahrwegs gegen identifizierbare und nicht identifizierbare außergewöhnliche Einwirkungen sind den einschlägigen Normen und Vorschriften zu entnehmen (z.B. EN 1991).

8.3.2 Außergewöhnliche Einwirkungen aus Fahrzeug

8.3.2.1 Einwirkungen als Folge von Lichtraumverletzungen (A1)

- (1) *Unter Berücksichtigung der in /MSB AG-GESAMTSYS/ beschriebenen Maßnahmen zur Vermeidung von Lichtraumverletzungen brauchen Einwirkungen als Folge von Lichtraumverletzungen fahrwegseitig nicht untersucht werden.*

8.3.2.2 Sicherheitswind auf Fahrzeug (A2)

- (1) Für die Betriebssituation "Fahrweg mit stehendem Fahrzeug" ist ein zusätzlicher Standsicherheitsnachweis unter Berücksichtigung des Jahrhundertwindes („Sicherheitswind“) zu führen. Der Sicherheitswind auf Fahrzeuge ist mit folgenden Nennböenwindgeschwindigkeiten $v_{b,10}$ (5-Sek.Mittelwert) bei einer Höhe von 10 m und einer Auftretenswahrscheinlichkeit von einmal in 100 Jahren anzusetzen:
- Windzone I $v_{b,10} = 36 \text{ m/s}$
 - Windzone II $v_{b,10} = 40 \text{ m/s}$
 - Windzone III $v_{b,10} = 46 \text{ m/s}$
 - Windzone IV $v_{b,10} = 52 \text{ m/s}$
- (2) Die Auftriebskräfte, die sich aus diesen Windgeschwindigkeiten für das Fahrzeug ergeben, sind der Tabelle 22 zu entnehmen. Die Ermittlung der Einwirkungen ist entsprechend Kapitel 8.2.1.4.7 durchzuführen.
- (3) Die Führungsmagnetkräfte $p_{y,SW,FMTi}$ und die zugehörigen Kräfte aus dem Moment um die x-Achse sind analog Kapitel 8.2.1.4.7.2 und Anhang II-E zu ermitteln.

Einwirkungen in kN/m		Gradientenhöhe		
		$h_{G,Gelände} \leq 4,0 \text{ m}$	$4,0 \text{ m} < h_{G,Gelände} \leq 13,0 \text{ m}$	$13,0 \text{ m} < h_{G,Gelände} \leq 20,0 \text{ m}$
<u>Windzone I</u>	$p_{z,SA,1}$	-1,8	-1,9	-2,2
	$p_{z,SA,2}$	-1,1	-1,1	-1,4
<u>Windzone II</u>	$p_{z,SA,1}$	-2,2	-2,3	-2,7
	$p_{z,SA,2}$	-1,4	-1,4	-1,7
<u>Windzone III</u>	$p_{z,SA,1}$	-2,8	-3,1	-3,6
	$p_{z,SA,2}$	-1,7	-1,9	-2,3
<u>Windzone IV</u>	$p_{z,SA,1}$	-3,6	-3,9	-4,6
	$p_{z,SA,2}$	-2,3	-2,4	-2,8

Tabelle 22 - Typische Einwirkungen aus Auftrieb des Fahrzeugs infolge Sicherheitswind

8.3.3 Außergewöhnliche Einwirkungen aus Instandhaltung (A3)

- (1) Beanspruchungen aus Instandhaltung sind fahrwegseitig nicht nachzuweisen.
- (2) Gemäß /MSB AG-FW ÜBG/ sind alle für die Instandhaltung erforderlichen Sonderfahrzeuge, Geräte und Nutzlasten so zu dimensionieren, dass die Beanspruchungen infolge Instandhaltung durch die Beanspruchungen des MSB-Fahrzeugs abgedeckt sind.

8.3.4 Sicherheitswind auf Tragwerk (A4)

- (1) Als Einwirkungen infolge Sicherheitswind (SW) auf das Tragwerk sind die Windeinwirkungen entsprechend /DIN Fachbericht 101/ Anhang N.2 anzusetzen.

8.3.5 Mögliche Baugrundbewegungen (A5)

- (1) Mögliche Baugrundbewegungen sind entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik und den örtlichen Gegebenheiten des Fahrwegs hinsichtlich Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit (siehe Kapitel 10) zu berücksichtigen.

8.3.6 Anprall

8.3.6.1 Allgemein

- (1) Gegebenenfalls sind für die baulichen Anlagen des Fahrwegs projektspezifisch ergänzende Nachweise unter Berücksichtigung von außergewöhnlichen Einwirkungen infolge Anprall zu führen.
- (2) Mögliche Maßnahmen zur Verhinderung und/oder erforderliche Nachweise zur Berücksichtigung von Anprall an Stützen und Pfeilern sind den bestehenden Vorschriften zu entnehmen (z.B. /DIN Fachbericht 101/).
- (3) Bei allen Stützen und Pfeilern ist z.B. auch im Bereich landwirtschaftlicher Nutzflächen eine Last aus Fahrzeuganprall von mindestens 500 kN in ungünstigster Richtung anzusetzen. Die Last wirkt horizontal 1,25 m über Geländeoberfläche und ist als außergewöhnliche Einwirkung zu betrachten. Eine zweilagige Bewehrungsführung und die Annahme einer Zerschellschicht sind nicht erforderlich.
- (4) Gewählte Maßnahmen zur Verhinderung und/oder erforderliche Nachweise zur Berücksichtigung von Anprall an Fahrwegträger sind für jede Situation der Anwendung in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik auszuführen.
- (5) *Im Anhang B der prEN 199117:2005 sind Hinweise zur Planung und Durchführung von Risikonachweisen enthalten.*

8.3.6.2 Anprall von spurgeführten Fahrzeugen (A6)

- (1) Die zu berücksichtigenden Anforderungen hinsichtlich Anprall von spurgeführten Fahrzeugen (Eisenbahnfahrzeugen) sind in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde festzulegen.
- (2) *In /DIN Fachbericht 101/ sowie in prEN 199117:2005, Abschnitt 4.4 und dem zugehörigen Nationalen Anhang sind Angaben zum Nachweis von außergewöhnlichen Einwirkungen aus Anprall enthalten.*

8.3.6.3 Anprall von Straßenfahrzeugen (A7)

- (1) Die außergewöhnlichen Einwirkungen infolge Anprall von Straßenfahrzeugen auf stützende Unterbauten und Fahrwegüberbauten sind auf Basis von EN 1991-1-7, Abschnitt 4.3 zu berücksichtigen.
- (2) Zum Nachweis der Standsicherheit bei Anprall von Straßenfahrzeugen an Fahrwegträger sind ergänzend hierzu unter dem Aspekt der Personensicherheit die Fahrweglager für folgende, gleichzeitig wirkende Ersatzkräfte zu dimensionieren:
 - Ersatzkraft in Y-Richtung: $F_{Y,Anprall,Lager} = 1000 \text{ kN}$;
 - Ersatzkraft in Z-Richtung: $F_{Z,Anprall,Lager} = -300 \text{ kN}$;
- (3) Die Einwirkdauer der Ersatzkräfte ist mit 60 ms anzusetzen.
- (4) *Die Ersatzkräfte gelten für diskret gelagerte Fahrwegträger in Stahl und Betonbauweise mit konstruktiven Eigenschaften (Steifigkeit, Massenbelegung) analog den TVE-Fahrwegträgern.*
- (5) Die Übertragbarkeit der Ersatzkräfte auf andere Randbedingungen (Fahrweg und Fahrzeugdaten) oder der Ansatz davon abweichender Ersatzkräfte ist gegenüber der zuständigen Aufsichtsbehörde nachzuweisen.
- (6) Die zulässigen Verformungen für die außergewöhnlichen Einwirkungen infolge Anprall an Stützen und Fahrwegträger gemäß Kapitel 10.3.11 sind einzuhalten.

8.3.7 Eisstoß, thermischer Eisdruck, Anprall von Wasserfahrzeugen (A8)

- (1) Die anzusetzenden Einwirkungen und anzuwendenden Nachweisverfahren sind in jedem Einzelfall mit der zuständigen Aufsichtsbehörde abzustimmen.
- (2) *Die außergewöhnlichen Einwirkungen aus Schiffskollisionen können EN 1991-1-7, Abschnitt 4.6 entnommen werden.*

8.3.8 Erdbeben (A9)

- (1) Im Regelfall können die Auslegungsbedingungen entsprechend den gültigen Technischen Baubestimmungen und den allgemein anerkannten Regeln der Technik (z.B. entsprechend Eurocode EN 1998 "Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben") angewendet werden.
- (2) Im Zweifelsfall ist mit der zuständigen Aufsichtsbehörde abzustimmen, welche Einwirkungen aus Erdbeben zu berücksichtigen sind.

9 Lastbilder des Fahrzeugs

9.1 Allgemeines

- (1) Die nachfolgenden Lastbilder sind je nach Größe der zu untersuchenden Struktur für globale und/oder lokale Nachweise des Fahrwegs anzuwenden.

9.2 Globale Lastbilder

9.2.1 Massenkkräfte

- (1) Die Lastbilder der fahrzeugseitigen Massenkkräfte (inkl. dynamischer Seitenlasten und Zwangskräfte) in x-, y- und z-Richtung nach Kapitel 8.2.1.4 sind Abbildung 20, Abbildung 24 und Abbildung 25 zu entnehmen.
- (2) Die globalen Einwirkungen p^* , p_x , p_y , p_z sowie m_x , m_y und m_z infolge Fahrzeug erzeugen die Schnittstellenkräfte $p_{x,r}$, $p_{y,r}$, $p_{z,r}$, F_x , F_y , und F_z .

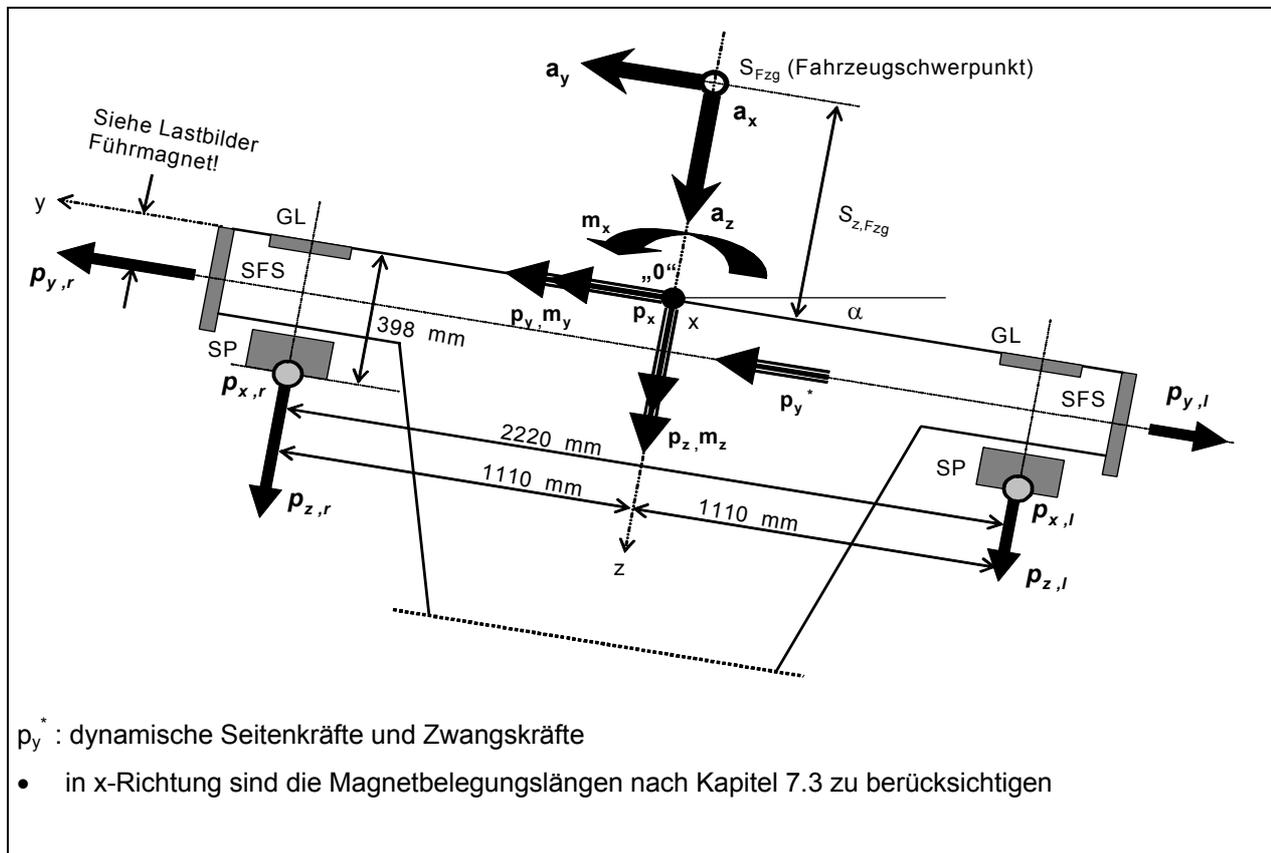


Abbildung 20 - Globales Lastbild des schwebenden Fahrzeugs

- (3) Die Verteilung der Massenkkräfte infolge a_z und a_y über die Fahrzeuglänge ist in nachfolgenden Abbildungen beispielhaft dargestellt.
- (4) Die Ermittlung der einzelnen Größen ist anhand der angegebenen Gleichungen durchzuführen.

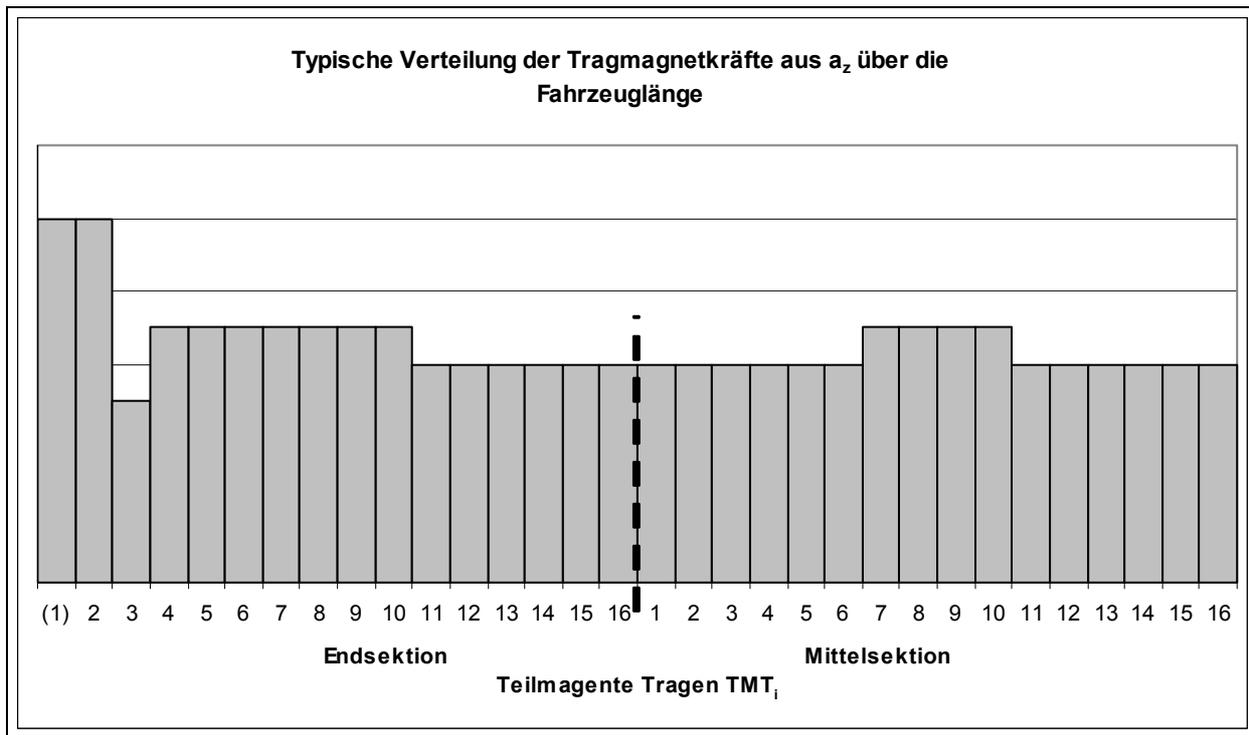


Abbildung 21 - Typisches Lastbild der Kraftverteilung von $p_{z,az}$ nach Gleichung (15)

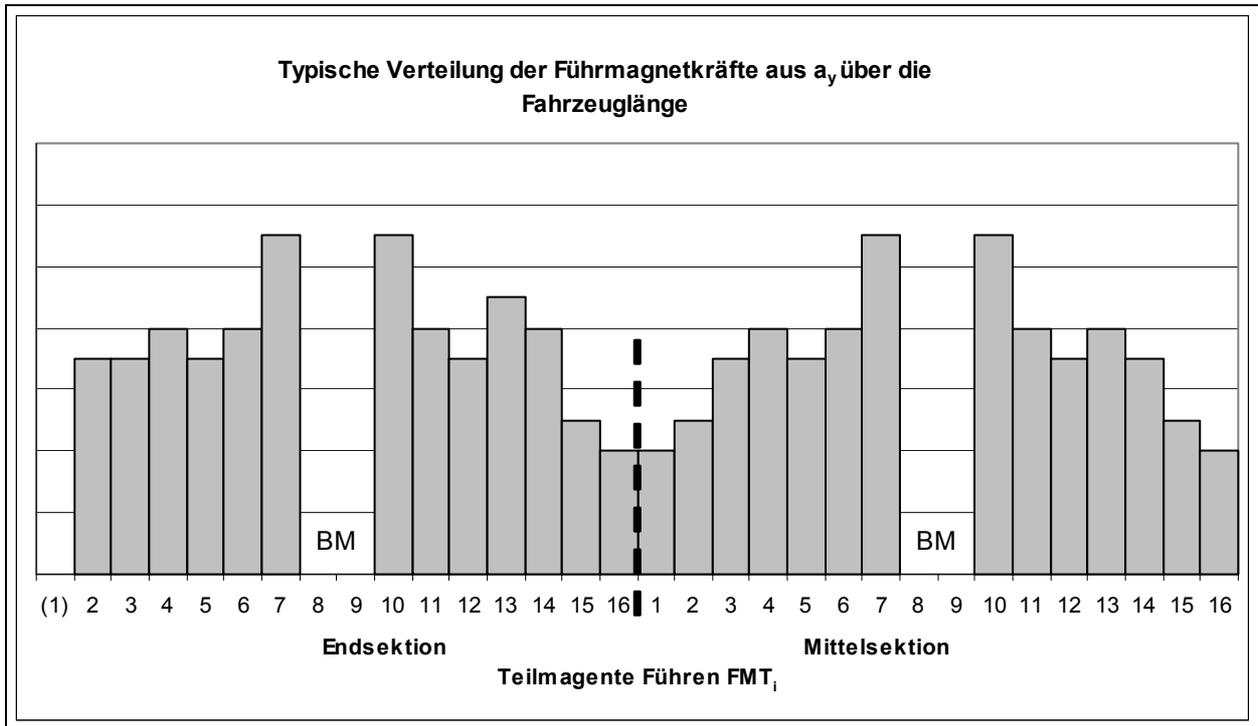


Abbildung 22 - Typisches Lastbild der Kraftverteilung von $p_{y,ay}$ nach Gleichung (10)

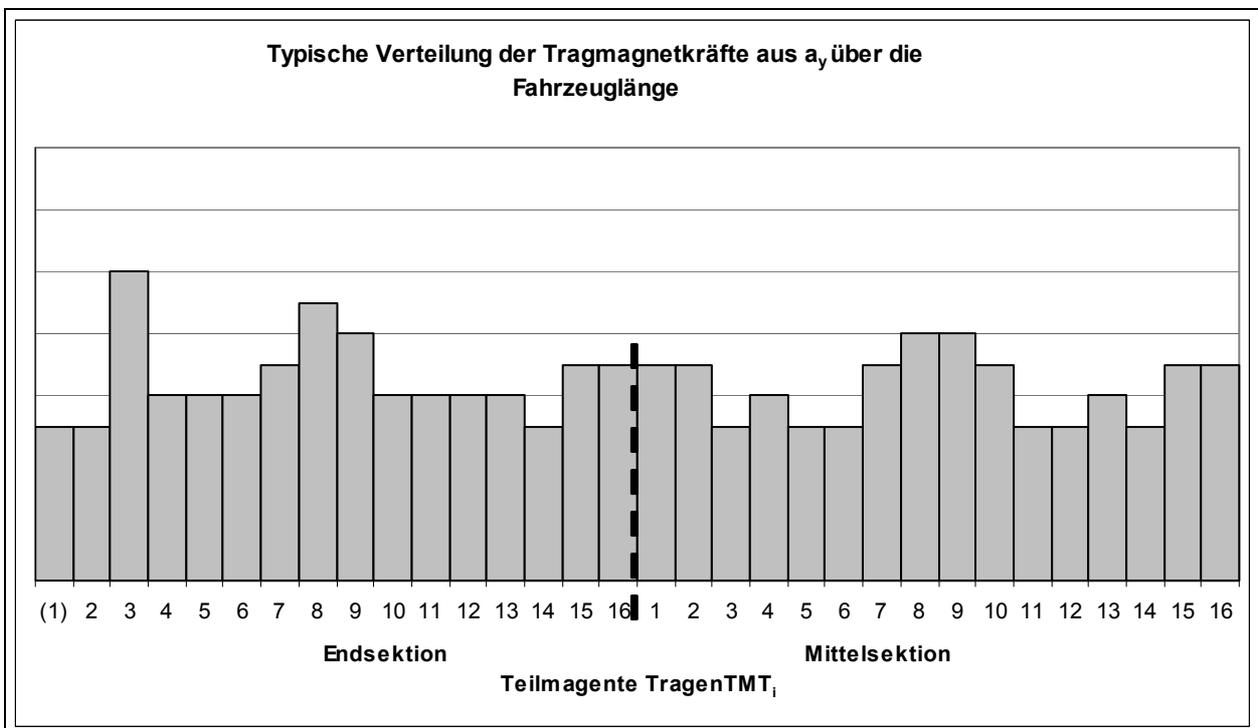


Abbildung 23 - Typisches Lastbild der Kraftverteilung von $p_{z,ay}$ nach Gleichung (11)

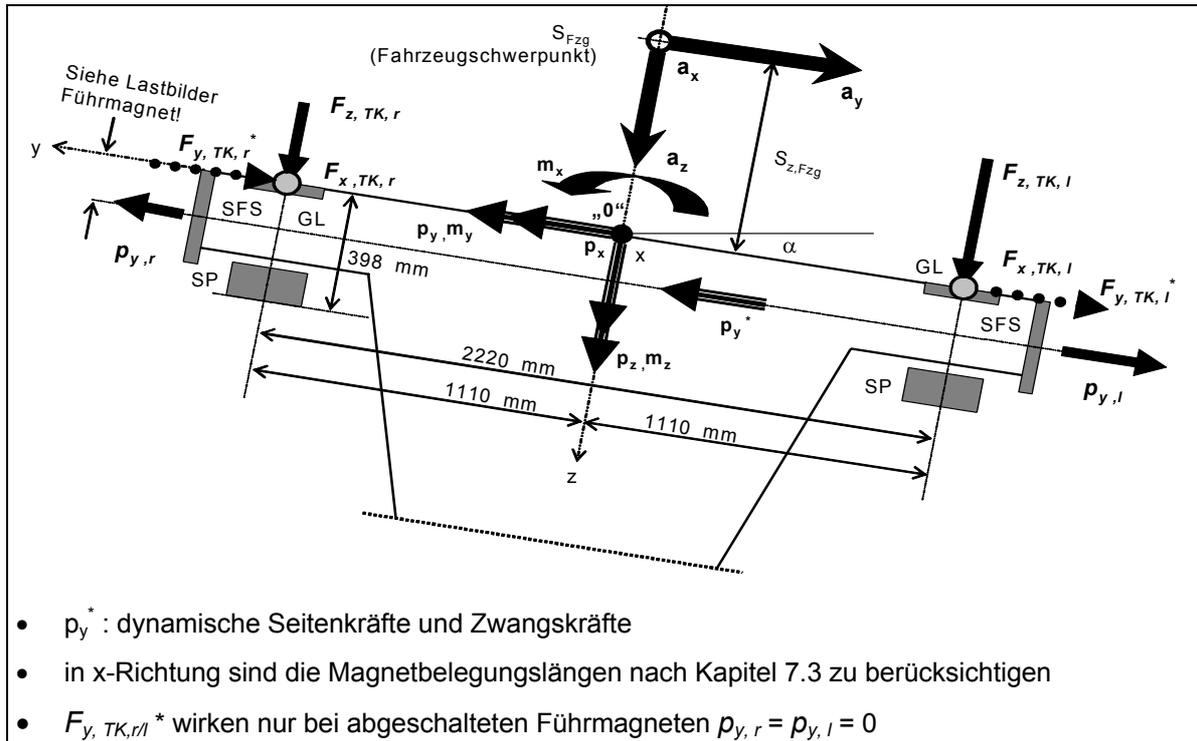


Abbildung 24 - Globales Lastbild des absetzenden / stehenden Fahrzeugs

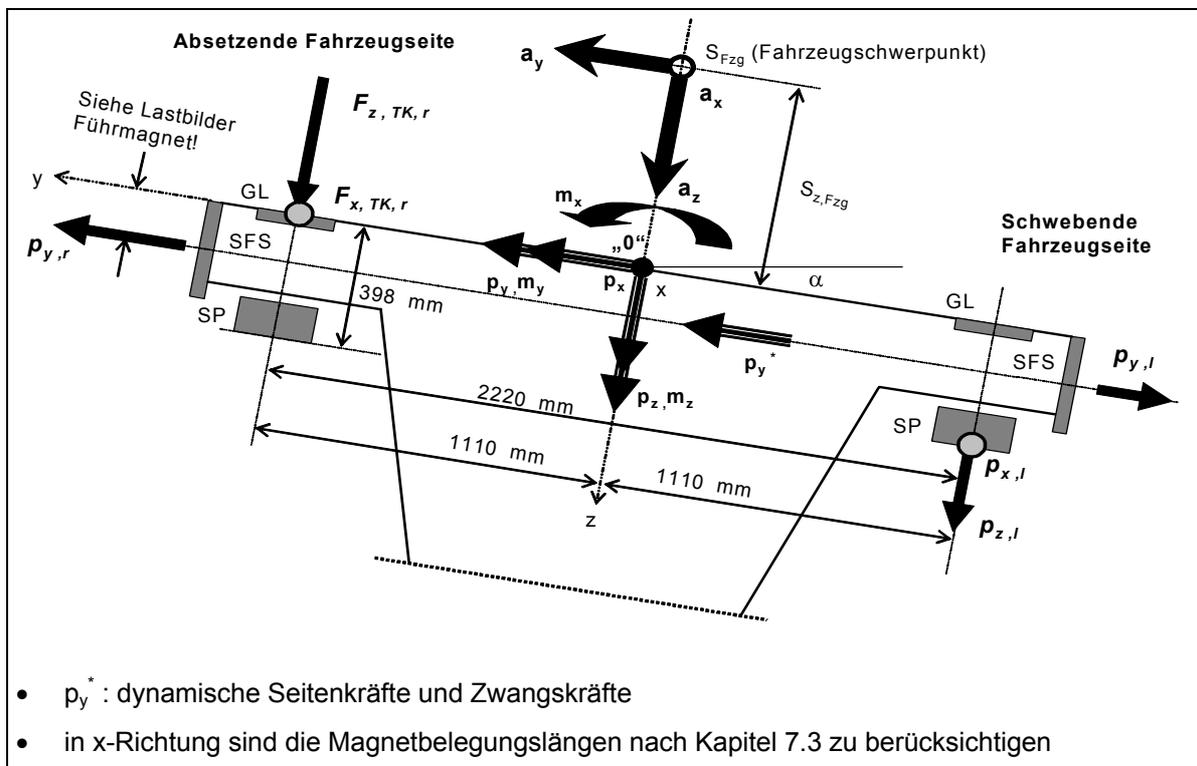


Abbildung 25 - Globales Lastbild für die Bemessungssituation Q11i

9.2.2 Wind auf Fahrzeug

- (1) Das Lastbild der Einwirkungen infolge "Wind auf Fahrzeug" und "Auftrieb" nach Kapitel 8.2.1.4.7 ist Abbildung 26 zu entnehmen.
- (2) Die globalen Einwirkungen p_x^* , p_x , p_y , p_z sowie m_x , m_y und m_z infolge Fahrzeug erzeugen die Schnittstellenkräfte p_x , p_y , p_z , F_x , F_y und F_z .

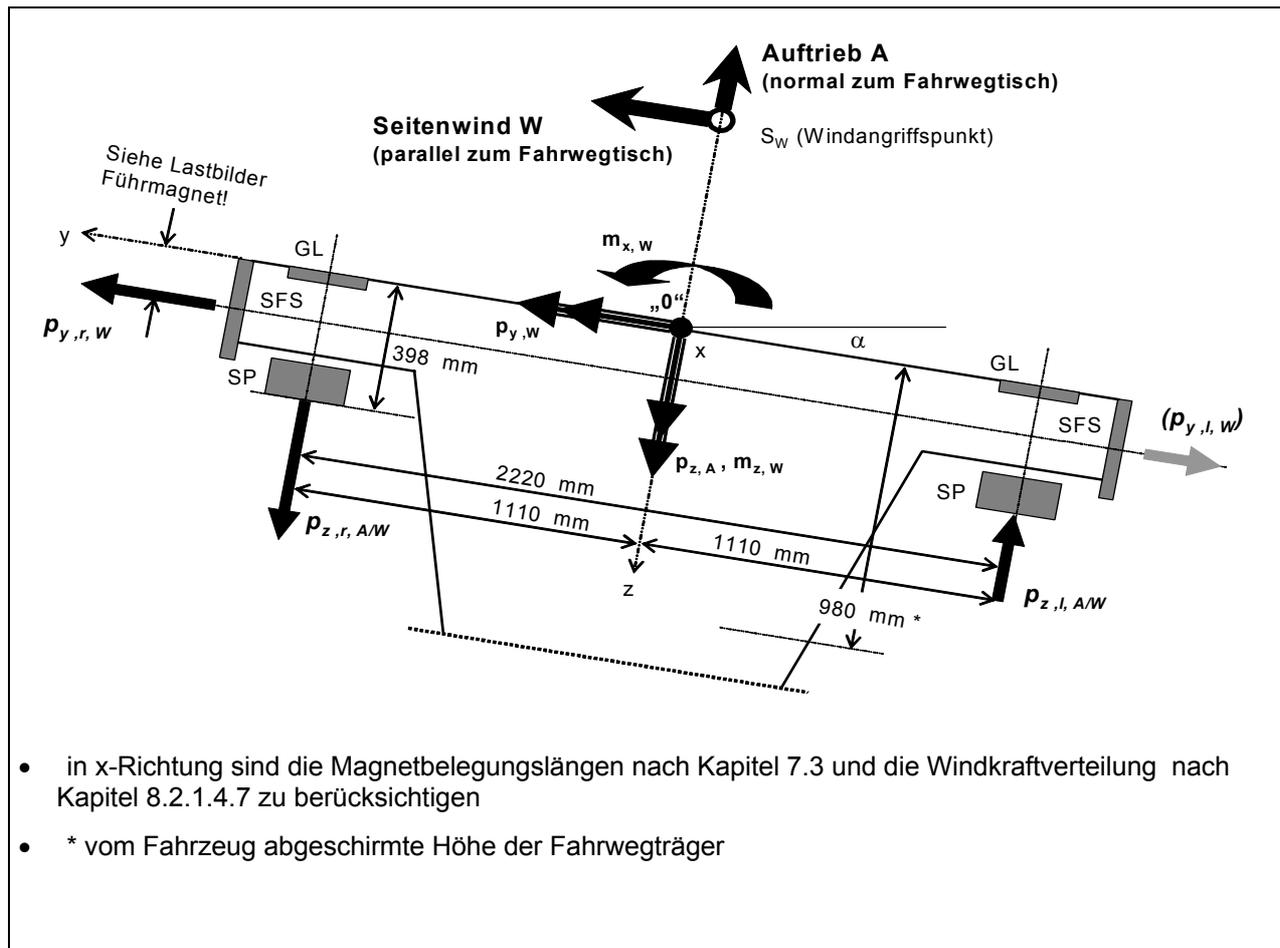


Abbildung 26 - Globales Lastbild "Wind" und "Auftrieb" bei schwebendem Fahrzeug

- (3) Das globale Lastbild der Einwirkungen infolge "Wind auf Fahrzeug" und "Auftrieb" ist für die nicht häufige Betriebssituation "Einseitiges Absetzen des Fahrzeugs infolge Wicklungskurzschluss" analog Abbildung 25 zu ermitteln.
- (4) Für das abgesetzte Fahrzeug gilt sinngemäß Abbildung 24.
- (5) Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Verteilung der Trag- und Führmagnetkräfte infolge Seitenwind über die Fahrzeuglänge. Die Ermittlung der einzelnen Größen ist anhand der angegebenen Gleichungen durchzuführen.

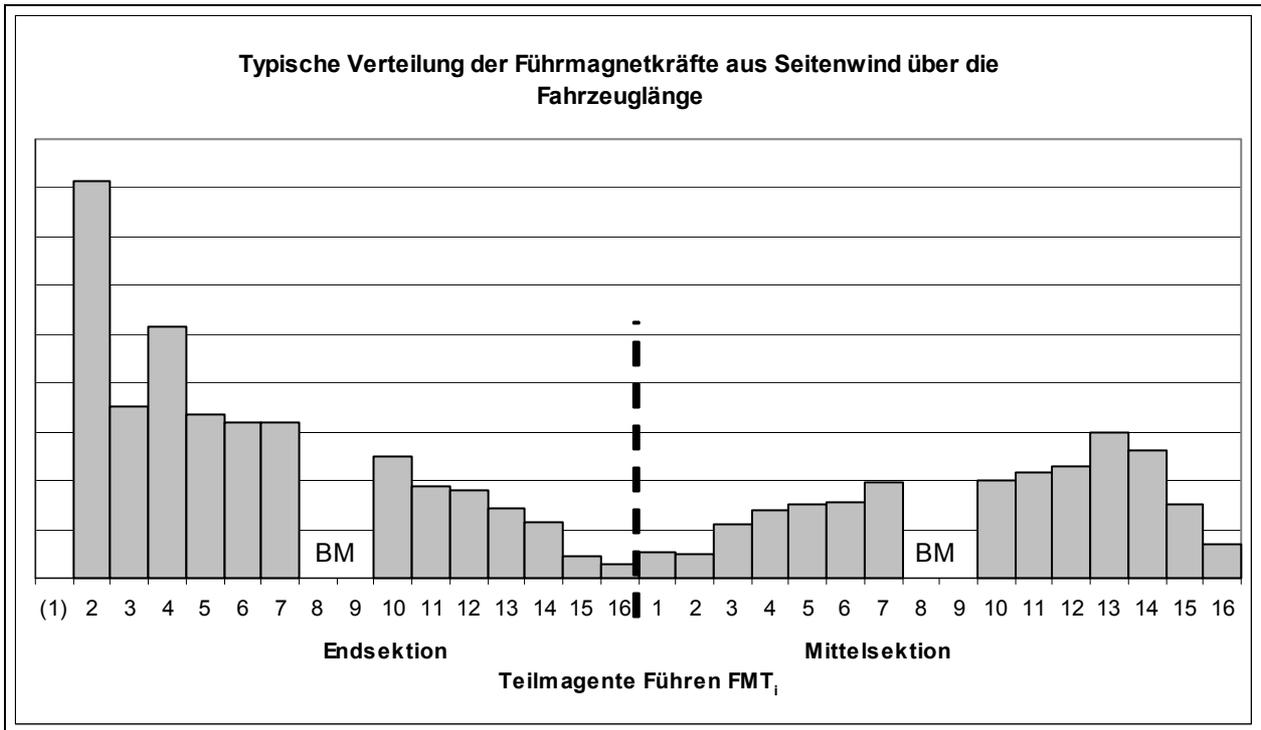


Abbildung 27 - Typisches Lastbild für $p_{y,W}$ bei $v_W = 25$ m/s und $v_{Fzg} = 500$ km/h

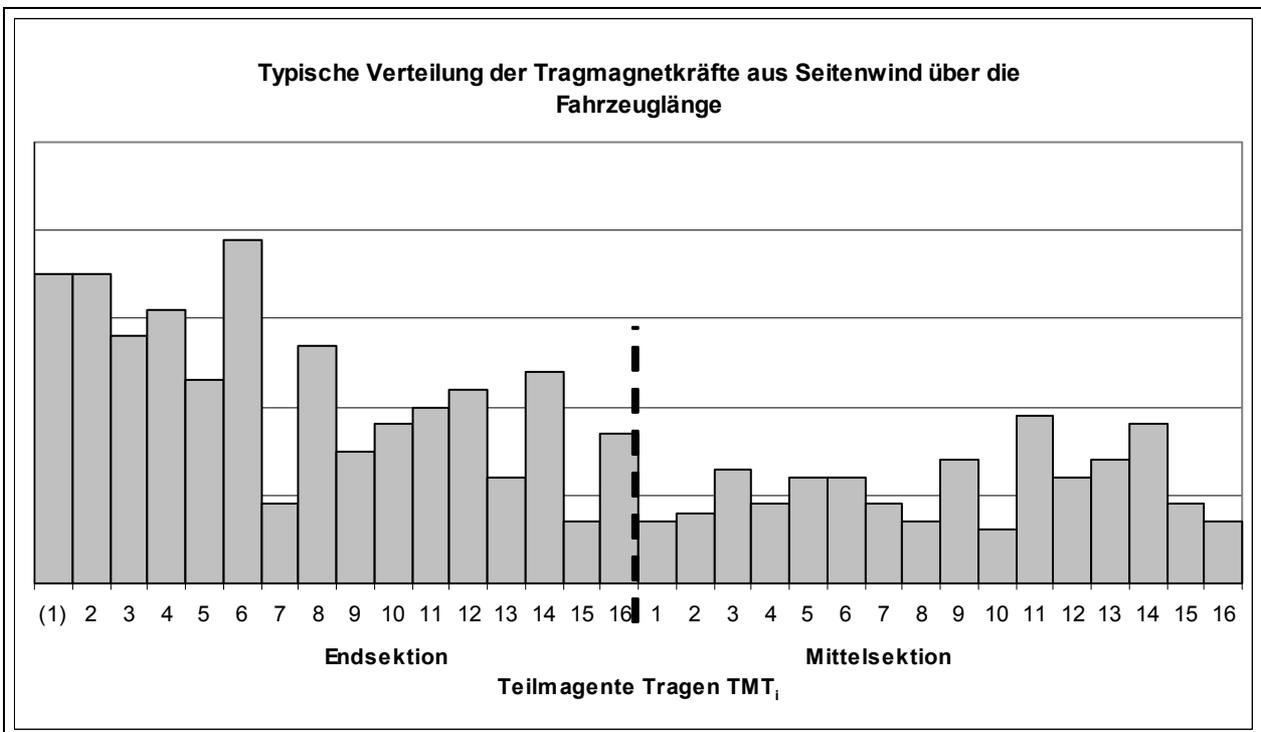


Abbildung 28 - Typisches Lastbild für $p_{z,W}$ bei $v_W = 25$ m/s und $v_{Fzg} = 500$ km/h

9.3 Lokale Lastbilder

9.3.1 Schnittstelle Tragmagnet-Langstator (Statorpaket)

9.3.1.1 Einwirkungen aus häufigen Bemessungssituationen (Q1...Q10)

- (1) Für die häufigen veränderlichen Bemessungssituationen sind die lokalen Schnittstellenkräfte aus dem Fahrzeug unter Berücksichtigung der jeweiligen Lage der globalen Einwirkungsresultierenden und der möglichen fahrzeugseitigen Kombinationsgruppen zu berechnen.
- (2) Für lokale Nachweise ist zusätzlich zur Bauwerksdynamik der Faktor für die Regelungsdynamik zu berücksichtigen (siehe Kapitel 7.4). Die minimale Einheitslänge beträgt dabei 1,548 m (Teilmagnetlänge). Unter Berücksichtigung der Gesamtbelastung ist eine Erhöhung bzw. Verminderung der Einwirkungen max. für 2 benachbarte Teilmagnete durchzuführen.
- (3) Bei gleichzeitiger Übertragung von Kräften in x-Richtung über den Langstator ist bei max. Schub eine zusätzliche Kraftumlagerung von max. 30% (siehe Abbildung 29) aus der Schiefstellung der Tragmagnete zu berücksichtigen. Bei geringerem Schub darf diese Umlagerung entsprechend der vorhandenen Schubkraft linear abgemindert werden.
- (4) Die Einwirkungsgeometrie (siehe Abbildung 29) ist ungünstigst mit den Einwirkungen an den Schnittstellen Seitenführschiene-Führmagnet zu überlagern.
- (5) Das Lastbild ist auch für globale Nachweise anwendbar, d.h. die Summe der Kräfte bleibt gleich.
- (6) In nachfolgenden Abbildungen ist ein Regeltragmagnet dargestellt. Die ersten und letzten Magnete eines Fahrzeugs (Bugmagnete) können zwei zusätzliche Pole (siehe auch Abbildung 3) besitzen.
- (7) Angaben zur Ermittlung der Polkräfte inkl. 30 % Umlagerung: siehe Anhang Kapitel 11.6;

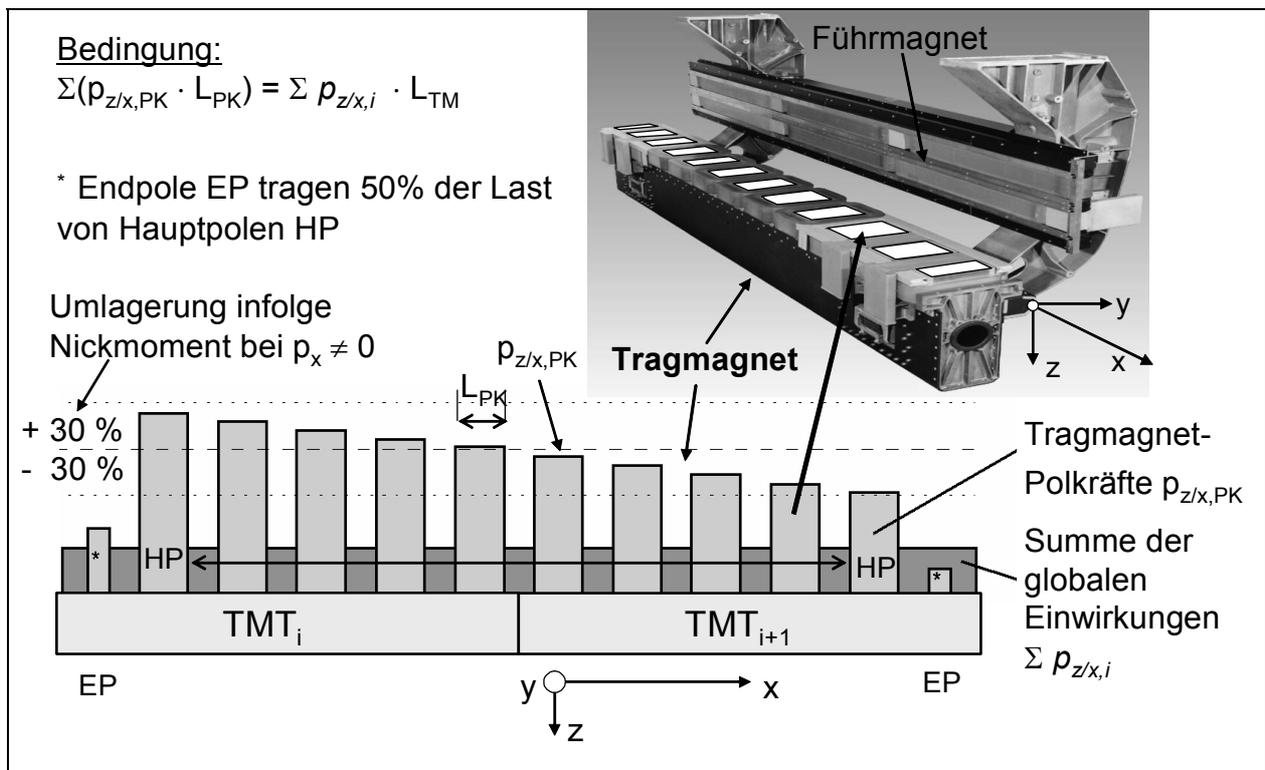


Abbildung 29 - Typisches Lastbild Tragmagnet bei Betrieb ohne technische Ausfälle

9.3.1.2 Einwirkungen aus nicht häufigen Bemessungssituationen

9.3.1.2.1 Ausfall eines Magnetregelkreises Tragen (Q11b)

- (1) Die Einwirkungsgeometrie für Ausfall einer MRET ist der Abbildung 30 zu entnehmen.
- (2) Die entsprechende Einwirkung ist als Maximalwert lokal anzusetzen.

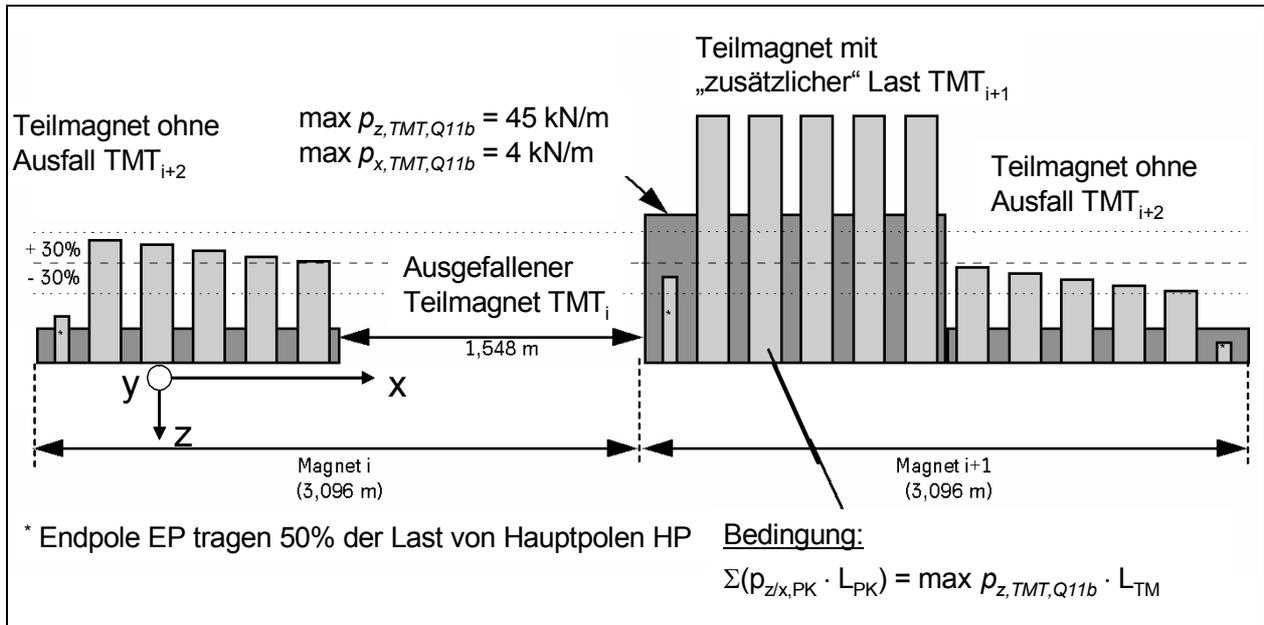


Abbildung 30 - Typisches Lastbild bei Ausfall eines Magnetregelkreises Tragen (Q11b)

9.3.1.2.2 Doppelausfall von Magnetregelkreisen Tragen (Q11c)

- (1) Der Doppelausfall von Magnetregelkreisen Tragen an einem Schweberahmen führt zu einer Einwirkung aus der Tragkufe des Schweberahmens (siehe 9.3.4).

9.3.1.2.3 Sonstige nicht häufige Bemessungssituationen (Q11a, Q11d bis Q11i)

- (1) Die Bemessungssituationen Q11a, Q11d bis Q11i sind entsprechend **Abbildung 29** zu behandeln.

9.3.1.3 Lokale Bauteildynamik

Siehe Kapitel 7.4.4.

9.3.2 Schnittstelle Führmagnet - Seitenführschiene

9.3.2.1 Einwirkungen aus häufigen Bemessungssituationen (Q1...Q10)

- (1) Für die häufigen veränderlichen Bemessungssituationen sind die lokalen Schnittstellenkräfte aus dem Fahrzeug unter Berücksichtigung der jeweiligen Lage der globalen Einwirkungsresultierenden und der möglichen fahrzeugseitigen Kombinationsgruppen zu berechnen. Dabei ist zu beachten, dass die Führkräfte nur durch magnetische Zugkräfte übertragen werden können.
- (2) Für lokale Nachweise ist zusätzlich zur Bauwerksdynamik der Faktor für die Regelungsdynamik φ_{RI} zu berücksichtigen (siehe Kapitel 7.4.4.2.1). Unter Berücksichtigung der Gesamtbelastung ist eine Erhöhung bzw. Verminderung der Einwirkungen für max. 2 benachbarte Teilmagnete durchzuführen.
- (3) Diese Einwirkungsgeometrie ist ungünstigst mit den Einwirkungen an der Schnittstelle Langstator-Tragmagnet zu überlagern.

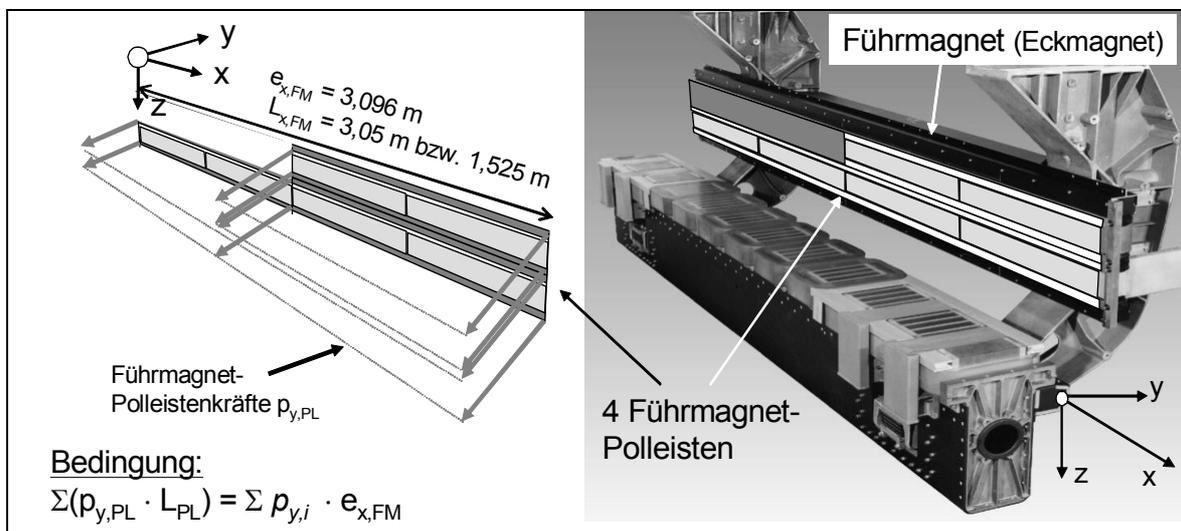


Abbildung 31 - Typisches Lastbild eines Führmagneten (Eckmagnet)

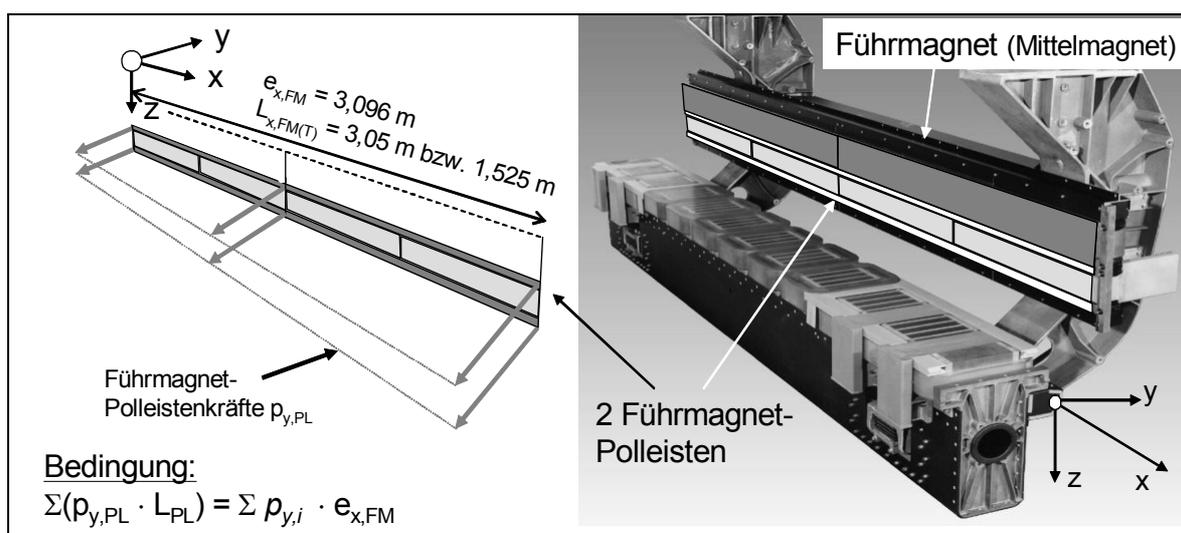


Abbildung 32 - Typisches Lastbild eines Führmagneten (Mittelmagnet)

9.3.2.2 Einwirkungen aus nicht häufigen Bemessungssituationen

9.3.2.2.1 Ausfall eines Magnetregelkreises Führen (Q11d)

- (1) Die Einwirkungsgeometrie für Ausfall eines Magnetregelkreises Führen (MREF) ist der Abbildung 33 zu entnehmen.

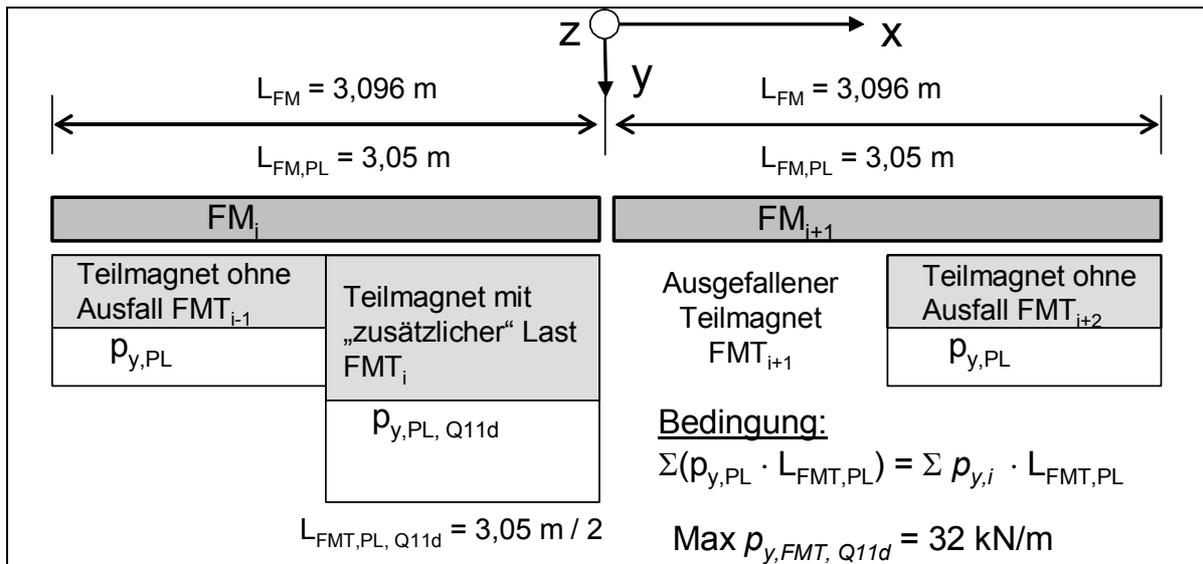


Abbildung 33 - Typisches Lastbild bei Ausfall eines Magnetregelkreises Führen (Q11d)

9.3.2.2 Doppelausfall von Magnetregelkreisen Führen (Q11e)

- (1) Der Ausfall zweier benachbarter Magnetregelkreise Führen von 2 benachbarten Führungsmagneten führt zu einer Einwirkung aus den gegenüberliegenden Führungsmagneten (Anlaufen von Führungsmagneten).
- (2) Die Einwirkungsgeometrie für diese örtliche Einwirkung ist der Abbildung 34 zu entnehmen.

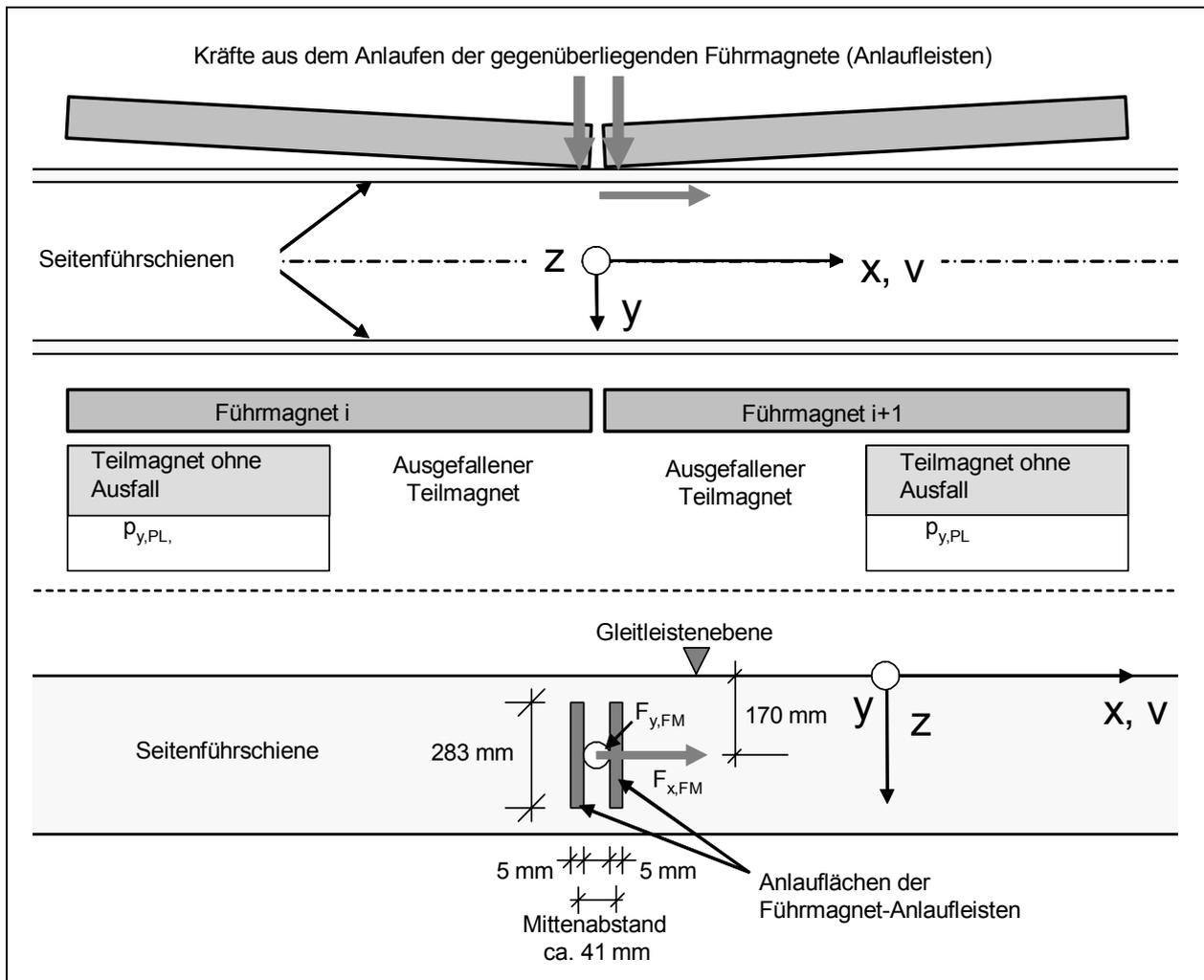


Abbildung 34 - Typisches Lastbild bei Doppelausfall von Magnetregelkreisen Führen (Q11e)

9.3.2.3 Lokale Bauteildynamik

- (1) Für die Einwirkungen infolge Doppelausfall von Magnetregelkreisen Führen (Anlaufen von Führungsmagneten) nach Kapitel 8.2.1.5.6 ist ein zusätzlicher dynamischer Überhöhungsfaktor zur Berücksichtigung einer lokalen, konstruktionsabhängigen Bauteildynamik nicht anzusetzen, da die maximalen Stoßlasten eine mögliche Dynamik bereits berücksichtigen.

9.3.3 Schnittstelle Bremsmagnet - Seitenführschiene

9.3.3.1 Nicht häufige Bemessungssituation (Q11f)

- (1) Die Einwirkungsgeometrie für die Einwirkungen aus den berührungslosen bzw. anliegenden Bremsmagneten ist der Abbildung 35 zu entnehmen.
- (2) Als nicht häufige veränderliche Einwirkungen sind die Einwirkungen aus den Bremsmagneten mit den entsprechenden Einwirkungen des Trag-/Führsystems unter Berücksichtigung der in 7.1 und 7.2 enthaltenen Bedingungen zu überlagern (siehe auch 8.2.1.5.7).

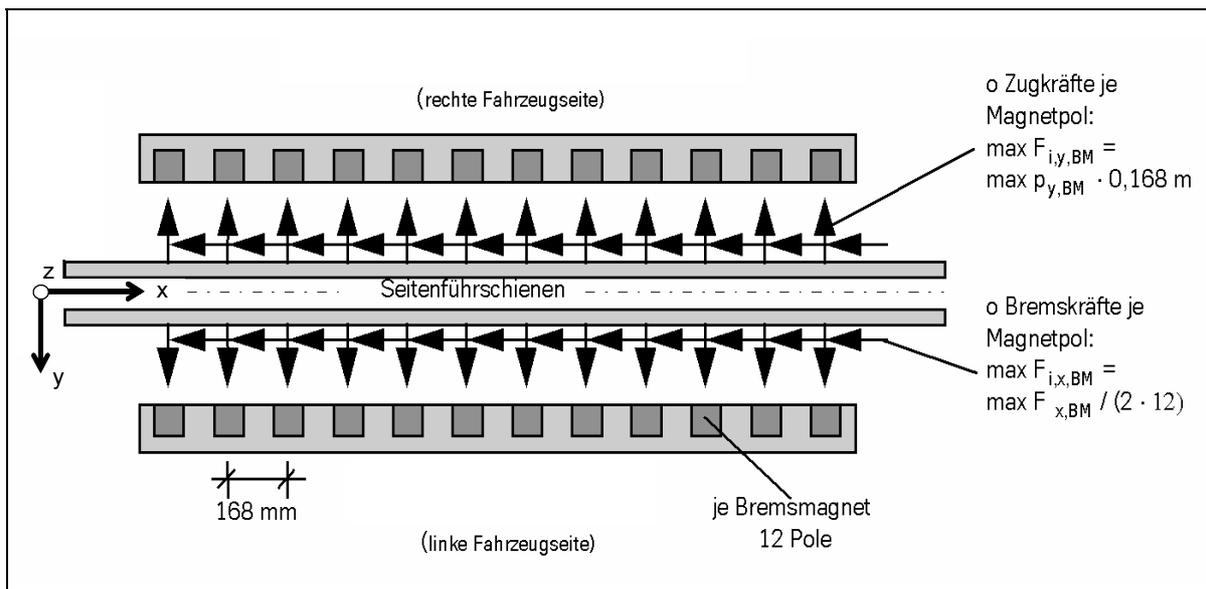


Abbildung 35 - Typisches Lastbild der Bremsmagnete (berührungslos bzw. anliegend)

9.3.3.2 Lokale Bauteildynamik

Siehe Kapitel 7.4.4.

9.3.4.3 Lokale Bauteildynamik

- (1) Ein zusätzlicher dynamischer Überhöhungsfaktor zur Berücksichtigung einer lokalen, konstruktionsabhängigen Bauteildynamik ist für die nicht häufige Betriebssituation "Doppelausfall von Magnetregelkreisen Tragen" nicht anzusetzen, da die maximale Stoßlast aus der Tragkufe eine mögliche Dynamik bereits berücksichtigt.

9.3.5 Sonstige Schnittstellen

- (1) Die Vorgaben zu den Einwirkungen und Lastbildern sonstiger Fahrzeug/Fahrweg-Schnittstellen (z.B. externe Bordenergieversorgung) sind projektspezifisch festzulegen. Durch die zuständige Aufsichtsbehörde sind diese Vorgaben zur Anwendung freizugeben.

10 Nachweise

10.1 Allgemeines

- (1) Die Anforderungen an die Nachweisführung sind z.B. in /EN 1990/ bzw. DIN 1055 Teil 100 umfassend festgelegt.
- (2) In der Regel sind danach folgende Nachweise zu führen:

Nachweise für Grenzzustände der Tragfähigkeit

- Nachweis der Beanspruchbarkeit (Spannungsnachweis) der Bauteile, Querschnitte und Verbindungen
- Nachweis der Stabilität der Tragwerke
- Nachweis der Lagesicherheit
- Nachweis der Werkstoffermüdung (Nachweis der Betriebsfestigkeit durch Schadensakkumulation oder Nachweis schadensäquivalenter Spannungsschwingbreiten)

Nachweise für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

- Nachweis der Magnetschnellbahn-spezifischen Grenzwerte der Verformungen
 - Nachweis der dynamischen Auswirkungen
 - Nachweis der baustoffspezifischen Grenzwerte
- (3) Bei nicht eindeutigen Regelungen hinsichtlich der Übertragbarkeit auf den Fahrweg der Magnetschnellbahn ist in jedem Falle eine Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde erforderlich.
 - (4) Zur Führung der o.g. Nachweise wird empfohlen, auf Basis der in dieser Ausführungsgrundlage zusammengestellten Einwirkungen und unter Berücksichtigung projektspezifischer Angaben zu den maßgebenden Betriebs- und Trassierungsparametern für die nachzuweisenden Streckenabschnitte Einwirkungstabellen (ggf. in vereinfachter Form) zu erstellen. Diese Tabellen können je nach Nachweisverfahren zur individuellen Zusammenstellung der maßgebenden Einwirkungskombinationen aufgestellt werden. Sie sind von der zuständigen Aufsichtsbehörde im Rahmen der Prüfung der Nachweise genehmigen zu lassen.
 - (5) Durch spezifische, an die jeweilige Fahrwegausführung angepasste Instandhaltungsmaßnahmen ist sicherzustellen, dass während der geplanten (projektspezifischen) Nutzungszeit die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Fahrwegs erhalten bleiben.
 - (6) Nachfolgende allgemeine Anmerkungen zu den Einwirkungen sind bei der Nachweisführung zu berücksichtigen:
 - Die Massenkräfte sind unter Berücksichtigung der zulässigen Beschleunigungen und Fahrgeschwindigkeiten ($\min v_{Fzg}$, $\max v_{Fzg}$) zu berechnen.
 - Das in Kapitel 8.2.1.2 angegebene Fahrzeugeigengewicht für die Mittel- und Endsektionen berücksichtigt Güter- und Personenfahrzeuge.
 - Dynamische Überhöhungen der Einwirkungen sind zu berücksichtigen. Dynamische Faktoren und dynamische Seitenkräfte brauchen bei $v_{Fzg} = 0$ km/h nicht angesetzt werden. Die Regeldynamik ist dabei jedoch stets zu berücksichtigen.
 - Die Einwirkungen voneinander abhängiger Ursachen sind gemeinsam anzusetzen.
 - Innerhalb der vorgegebenen Bremsprofile für die fahrzeugseitige "Sichere Bremse" sind die Einwirkungen als selten einzustufen. Im Hinblick auf den Bremsvorgang ist das Absetzen bei $v_{Fzg} \leq 5$ km/h als seltenes Ereignis jedoch nur in definierten Streckenbereichen (begrenzter Bereich im Halteplatz und vor dem Halteplatz) zu berücksichtigen.
 - Als außergewöhnliche Bemessungssituation ist das Absetzen bei $v_{Fzg} > 5$ km/h mit Ausgleiten des abgesetzten Fahrzeugs in allen Fahrwegbereichen zu berücksichtigen (Worst-Case-Halt).
 - Die Einwirkungen aus Instandhaltung sind ggf. zu berücksichtigen und nachzuweisen (siehe hierzu auch /MSB AG-FW ÜBG/). Mögliche Einwirkungen aus Instandhaltung des Fahrwegs sind ggf.

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

entsprechend ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit den veränderlichen bzw. außergewöhnlichen Einwirkungen zuzuordnen.

- Bei der Nachweisführung der gemeinsamen Fahrwegunterbauten von Doppelspurfahrwegen darf ein Abschattungsfaktor für die Einwirkungen aus Seitenwind auf die 2. Fahrspur angesetzt werden (siehe EN 1991-1-4).
- (7) In Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde ist zur Berücksichtigung der geringen Auftretenswahrscheinlichkeit der nicht häufigen Betriebssituationen eine Anpassung der Sicherheitsbeiwerte möglich. In Abhängigkeit von der Auftretenswahrscheinlichkeit und den zu erwarteten Folgen ist auch dann eine Inspektion des Fahrwegs nicht zwangsläufig erforderlich.
- (8) Vereinfachungen der Einwirkungen und/oder Lastbilder sind zulässig, wenn offensichtlich ist oder nachgewiesen wird, dass diese Vereinfachungen für den jeweiligen Nachweis auf der sicheren Seite liegen.

10.2 Nachweis der Grenzzustände der Tragfähigkeit

10.2.1 Allgemeines

- (1) Die Nachweise sind für die sich aus den Trassierungs- und Betriebsparametern ergebenden Einwirkungen (z.B. bei geraden Fahrwegträgern $a_y = 0$) innerhalb der durch die MbBO festgelegten Grenzen und mit den angegebenen Grenzwerten für das Fahrzeuggewicht, die Beschleunigungen und sonstigen Einwirkungen zu führen.
- (2) Zum Nachweis der Grenzzustände der Tragfähigkeit sind die Bemessungsgrößen für die maßgebenden Lastfälle/Bemessungssituationen aus den Einwirkungen durch Kombination der gleichzeitig auftretenden Einwirkungen zu ermitteln.
- (3) Die Kombinationsregeln sind in /EN 1990/ Kap. 6.4.3 zusammengestellt. Falls die führende Einwirkung nicht offensichtlich ist, ist jede veränderliche Einwirkung abwechselnd als führende veränderliche Einwirkung zu betrachten. Kombinationen zur Bemessung außergewöhnlicher Situationen basieren entweder auf einer expliziten außergewöhnlichen Einwirkung oder sind auf die Situation (Zustand) nach einem außergewöhnlichen Ereignis bezogen.
- (4) Vereinfachungen der Kombinationen sind zulässig. Es muss jedoch nachgewiesen werden, dass vereinfachte Kombinationen gegenüber den Grundkombinationen auf der sicheren Seite liegen.

10.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen

- (1) Die anzuwendenden Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen für den Nachweis der Grenzzustände der Tragfähigkeit sind der nachfolgenden Tabelle 23 zu entnehmen.
- (2) Bei der Bildung der Lastfälle bzw. der Kombinationen sind die repräsentativen und charakteristischen Werte der Einwirkungen gemäß den anzuwendenden Eurocodes und den Anmerkungen zur Tabelle 23 mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten zu beaufschlagen.
- (3) *Der Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkungen beinhaltet nach DIN 1055 Teil 100*
 - die Möglichkeit ungünstiger Abweichungen der Einwirkungen (Größe und Verteilung der Einwirkungen),
 - die Möglichkeit ungenauer Modellannahmen für die Einwirkungen und
 - die Unsicherheit in der Bestimmung der Auswirkungen.
- (4) *Den Teilsicherheitsbeiwerten sind folgende Einwirkungen zugeordnet:*

• ständige Einwirkungen	⇒	γ_G
• veränderliche Einwirkungen (häufige und nicht häufige)	⇒	γ_Q
• außergewöhnliche Einwirkungen	⇒	γ_A
- (5) Für die außergewöhnlichen Einwirkungen (A) sind unter Inkaufnahme von örtlichen Beschädigungen die in Tabelle 23 angegebenen Sicherheiten zulässig.
- (6) Ergeben sich lokal vergleichsweise geringe Beanspruchungen, muss geprüft werden, ob sich durch kleine Änderungen des Systems oder der Geometrie der Einwirkungen größere Beanspruchungen oder solche mit anderen Vorzeichen ergeben. Ggf. sind additive Zuschläge zu den Beanspruchungen vorzusehen.

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

Teilsicherheitsbeiwerte γ		Auswirkung	Bezeichnung	Situationen [*]		
		G/Q	A			
Ständige Einwirkungen G1 ... G6: siehe Eurocodes und DIN-Fachberichte						
Veränderliche Einwirkungen aus dem Fahrzeug						
Q1...Q6	Massenkräfte aus zulässigem und maximalem Fahrzeuggewicht, Zwangskräfte, Führdynamik	ungünstig	γ_{Qi}	1,35	1	1)
		günstig	γ_{Qi}	1,0 / 0	0	
Q7...Q8	aerodyn. Einwirkungen aus v_{Fzg}	ungünstig	γ_{Qi}	1,35	1	1)
		günstig	γ_{Qi}	0	0	
Q9	aerodyn. Einwirkungen aus Wind auf Fahrzeug	ungünstig	γ_{Qi}	1,5	1	1)
		günstig	γ_{Qi}	0	0	
Q10	Temperatur infolge Antrieb	ungünstig	γ_{Qi}	1,35	1	1)
		günstig	γ_{Qi}	0	0	
Q11	Einwirkungen infolge von technischen Ausfällen oder Störungen	ungünstig	γ_{Qi}	1,35	0	2)
		günstig	γ_{Qi}	0	0	
Sonstige veränderliche Einwirkungen						
Q30	Einwirkungen aus Instandhaltung	ungünstig	γ_{Qi}	1,5	1	2)
		günstig	γ_{Qi}	0	0	
Q50 ... Q60	o allgemein	ungünstig	γ_{Qi}	1,5	1	3)
		günstig	γ_{Qi}	0	0	
	o bei nachgewiesenen Grenzwerten	ungünstig	γ_{Qi}	1,35	1	
		günstig	γ_{Qi}	0	0	
Außergewöhnliche Einwirkungen						
A1...A9	allgemein		γ_{Ai}		1	4)
* G/Q: Ständige und veränderliche Situationen; A: außergewöhnliche Situationen						
Fortsetzung der Tabelle nächste Seite.						

Tabelle 23 - Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen

Fortsetzung der Tabelle: Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen

Anmerkungen

- 1) Unter Berücksichtigung von Grenzwerten der Einwirkungen aus dem Fahrzeug (z.B. Fahrzeugeigengewicht, Nutzlasten, zulässige Beschleunigungen), die entsprechend dem Stand der anzuwendenden Vorschriften ermittelt wurden, darf in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Qi} = 1,35$ angesetzt werden. Die Einstufung der möglichen Fahrzeuggewichtszustände nach Tabelle 10 ist dabei zu beachten.
- 2) Die fahrzeugseitigen Einwirkungen infolge von technischen Ausfällen oder Störungen sind bezogen auf einzelne Fahrweegelemente (z.B. Fahrwegträger) seltene bzw. sehr seltene Ereignisse. Sie dürfen aufgrund der niedrigen Auftretenswahrscheinlichkeit als vorwiegend ruhende Einwirkung betrachtet werden. Eine Überlagerung von mehreren derartigen Einwirkungen nach Tabelle 3 ist nicht erforderlich. In Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde ist zur Berücksichtigung der geringen Auftretenswahrscheinlichkeit ggf. eine Reduzierung der Teilsicherheitsbeiwerte möglich.
Eine Überlagerung der fahrzeugseitigen Einwirkungen aus nicht häufigen Bemessungssituationen Q11 (a...k) mit außergewöhnlichen Einwirkungen A1...A9 ist wegen deren geringen Auftretenswahrscheinlichkeit nicht zu berücksichtigen.
- 3) Werden die Temperatureinwirkungen aus der Umwelt durch abgesicherte Messungen ermittelt, darf statt $\gamma_{Q50} = 1,50$ ein abgeminderter Wert angesetzt werden, der in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde festzulegen ist (z.B. $\gamma_{Q50} = 1,35$). Bei Überlagerung der in 8.2.5 angegebenen Schnee/Eislasten (Grenzwert unter Berücksichtigung des Freiraums zwischen Fahrzeug und Fahrweg) mit Verkehrslasten darf $\gamma_{Q50} = 1,00$ angesetzt werden.
- 4) Die Notwendigkeit der Bildung von außergewöhnlichen Bemessungssituationen unter Berücksichtigung von Einwirkungen aus Instandhaltung ist im Einzelfall zu überprüfen und mit der zuständigen Aufsichtsbehörde abzustimmen.

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

10.2.3 Kombinationsbeiwerte

- (1) Bei der Bildung von Einwirkungskombinationen nach den in /EN 1990/ angegebenen Kombinationsregeln sind die in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellten Kombinationsfaktoren ψ zur Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit und Auftretenswahrscheinlichkeit der Einwirkungen unter Beachtung der zugehörigen Anmerkungen zu verwenden.
- (2) Die Kombinationsfaktoren der veränderlichen Einwirkungen sind bezüglich der Auftretenswahrscheinlichkeit der Einwirkungen in die Gruppen
- für veränderliche Einwirkungen $\Rightarrow \psi_0$
 - für nicht häufige Einwirkungen (1/Jahr) $\Rightarrow \psi_1'$
 - für häufige Einwirkungen (1/Woche) $\Rightarrow \psi_1$
 - für quasiständige Einwirkungen $\Rightarrow \psi_2$
- ingeordnet.

Kombinationsfaktoren ψ		ψ_0	ψ_1'	ψ_1	ψ_2	Anmerkungen
Einwirkungen aus dem Fahrzeug						
Q1/Q2	Dynamische Massenkräfte aus Fahrzeuggewicht	1	1	1	1	
Q3/Q4	Ungleichverteilung der Nutzlast	1	1	1	0	
Q5	Fühdynamik (dyn. Seitenkräfte)	1	1	1	1	
Q6	Zwangkräfte in engen Radien	1	1	1	1	
Q7	aerodynamische Seitenkräfte	1	1	1	0	
Q8	Einwirkungen aus Fahrtwind	1	1	1	1	
Q9	Windeinwirkungen auf das Fahrzeug	0,6	0,6	0,5	0	4)
Q10	Temperatur infolge Antrieb	1	1	1	1	
Q11a..k	Einwirkungen infolge von technischen Ausfällen oder Störungen	1	0	0	0	5) 6)
Q11l	Erhöhtes Fahrzeuggewicht infolge Schnee im Fzg	0,7	0,2	0,2	0	
Sonstige veränderliche Einwirkungen						
Q30	Einwirkungen aus Instandhaltung					1)
Q50	Temperatur aus Umwelt	0,6	0,8	0,6	0,5	4) 5) 7) 8)
Q51	Wind auf Tragwerk	0,6	0,6	0,5	0	4)
Q52	Schnee und Eislasten	0,7	0,2	0,2	0	
Q53	veränderliche Wasserdruckkräfte					2)
Q54	Windlast in Bauzuständen					2)
Q55	Instandhaltungszustände					2)
Q56	Bauzustände					2)
Q57	Einwirkungen bei Spurwechseleinrichtungen	1,0	1,0	1,0	1,0	
Q58	Verschiebungswiderstände der Lager					2)
Q59	Ausfall von Tragwerkselementen					2) 3)
Q60	Erddruck aus veränderlichen Einwirkungen					2)
Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite.						

Tabelle 24 - Kombinationsfaktoren ψ_i der Einwirkungen

Fortsetzung der Tabelle: Kombinationsfaktoren ψ_i der Einwirkungen

Anmerkungen

- 1) Kombinationsfaktoren für Einwirkungen aus Instandhaltung sind im Einzelfall festzulegen und mit der zuständigen Aufsichtsbehörde abzustimmen.
- 2) Die Kombinationsfaktoren für die jeweiligen Einwirkungen sind entweder /EN 1990/ bzw. den entsprechenden Regelwerken, Normen und Bestimmungen zu entnehmen oder im Einzelfall in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde festzulegen.
- 3) Der Ausfall z.B. einer Schraubenverbindung oder eines anderen Bauteiles ist als ständige Einwirkung zu berücksichtigen, falls nicht sicherzustellen ist, dass sofort nach Auftreten des Fehlers eine korrekte Instandsetzung erfolgen kann.
- 4) Bei Ansatz von Q9 und Q51 als führende veränderliche Einwirkung darf für Q50b+c der Kombinationsfaktor $\psi_0 = 0,5$ gesetzt werden. Dasselbe gilt umgekehrt.
- 5) Bei Temperatureinwirkungen infolge Bremsmagnet BM, Tragkufen TK und mechanischen Führelementen MFE in Überlagerung mit Temperatureinwirkungen aus der Umwelt, darf die umweltbedingte ungleiche Erwärmung (Q50c) zwischen verschiedenen Bauteilen auf den 0,5-fachen Wert abgemindert werden.
- 6) Wegen der geringen Auftretenswahrscheinlichkeit dürfen bei Q11a, Q11b, Q11c, Q11d, Q11e, Q11g, Q11i (Fall 1), Q11j, Q11k als führende veränderliche Einwirkungen zur Bildung der Einwirkungskombinationen bei den übrigen Einwirkungen die Kombinationsfaktoren ψ_1' bzw. ψ_1 angesetzt werden. Die Einwirkungen Q11a..k brauchen nicht gleichzeitig angesetzt werden. Falls die Einwirkung Q11l projekt-spezifisch zu berücksichtigen ist, ist Q11l(1) im Gegensatz zu Q11l(2) mit den übrigen Q11-Einwirkungen zu kombinieren.
- 7) Maximale Temperaturunterschiede zwischen Ober und Untergurt des Trägers und maximale Temperaturunterschied zwischen linker und rechter Trägerseite sind mit ihren Maximalwerten nicht gleichzeitig zu berücksichtigen. Bei der Überlagerung der Temperaturunterschiede darf einer der beiden Temperaturunterschied um 1/3 abgemindert werden.
- 8) Bei der Überlagerung der Trägertemperaturunterschiede im Träger gemäß Kapitel 8.2.3 mit Einwirkungen aus Verkehr ist der jeweilige Wert für ΔT gemäß Tabelle 20 anzusetzen.
- 9) Bei den Nachweisen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind die Einwirkungen aus Q11a .. Q11k nicht anzusetzen.

10.3 Nachweis der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

10.3.1 Allgemeines

- (1) *Nachfolgend werden die Magnetschnellbahn-spezifischen Grenzwerte für die Verformungen des Fahrwegs und die Regeln zur Nachweisführung angegeben. Diese stellen den Stand der Erfahrungen dar und führen bei Einhaltung in der Regel zu gebrauchstauglichen d.h. systemverträglichen Fahrwegen.*
- (2) *Die zulässigen Verformungen, Versätze, Verschiebungen und Spaltänderungen werden für die Funktionsflächen Statorebene SE, Seitenführschienenebene SFE und Gleitebene GLE bzw. für die Lage der Raumkurve in den drei Richtungen des lokalen Koordinatensystems definiert als:*
 - *zulässige einwirkungsbedingte lang- bzw. kurzwellige Verformungen der Fahrwegträger (z.B. globale Trägerdurchbiegung)*
 - *zulässige einwirkungsbedingte Versätze der Funktionsflächen am Trägerstoß und im Trägerfeld*
 - *zulässige elastische und plastische Verformungen der Fahrwegunterbauten (langwellige Änderung der Lage der Funktionsflächen)*
- (3) *Neben den statischen Verformungen aus den Fahrzeugeinwirkungen beeinflusst das dynamische Verhalten (Schwingungsverhalten) die Gebrauchstauglichkeit des Fahrweges. Anforderungen hierzu sind in Kapitel 10.3.5 angegeben.*
- (4) *Die Einwirkungskombinationen für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind im Regelfall durch die in /EN 1990/ definierten Gleichungen festgelegt.*
- (5) Die allgemeinen Kombinationsfaktoren sind Tabelle 24 zu entnehmen.
- (6) Darüber hinausgehend sind die Magnetschnellbahn-spezifischen Lastmodelle, Einwirkungen und Einwirkungskombinationen entsprechend den folgenden Abschnitten zu berücksichtigen.
- (7) Die Einwirkungen aus Q11a bis Q11k sind nicht anzusetzen.
- (8) Neben diesen Magnetschnellbahn-spezifischen Anforderungen sind die entsprechenden bauaufsichtlich eingeführten Vorschriften zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zu berücksichtigen (z.B. die Begrenzung der Druckspannungen und Rissbreiten im Betonbau).
- (9) Soweit in den nachfolgenden Kapiteln oder im Anhang (Kapitel 11.4) keine zutreffenden Anforderungen für Magnetschnellbahn-spezifische Grenzwerte und Einwirkungskombinationen zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit angegeben sind, ist für die dann angenommenen Grenzwerte und Kombinationen der Nachweis der Kompatibilität zum Fahrzeug zu erbringen.
- (10) Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit bisher nicht qualifizierter Bauweisen und Bauformen ist in jedem Einzelfall der Nachweis der Kompatibilität zum Fahrzeug zu erbringen.

10.3.2 Globale Verformungen diskret gelagerter Fahrwegüberbauten

10.3.2.1 Allgemein

- (1) *Bei den nachfolgenden Grenzwerten der Verformungen wird eine maximale freie Seitenbeschleunigung von $a_y = \pm 1,5 \text{ m/s}^2$ zugrunde gelegt.*
- (2) Bei diskret gelagerten Fahrwegträgern darf der Nachweis der globalen Verformungen der Funktionsflächen in der Regel über den Nachweis der Schwerpunktverschiebung der Fahrwegträger geführt werden, wenn die Verformungen der Funktionsflächen vernachlässigbar klein sind gegenüber den Verformungen des Fahrwegträgers.
- (3) Bei den nachfolgenden statischen Nachweisen der Durchbiegungen in y- und z-Richtung liegen den zulässigen Durchbiegungen maximale dynamische Überhöhungen von 20 % in z-Richtung und 40 % in y-Richtung zu Grunde. Ergeben sich aus den dynamischen Untersuchungen größere dynamische Überhöhungen, dann sind die statischen Durchbiegungen soweit zu reduzieren, dass die nachfolgend angegebenen zulässigen Verformungen unter Berücksichtigung der vorhandenen dynamischen Überhöhung nicht überschritten werden.
- (4) Inwieweit bei kleineren dynamischen Überhöhungen eine Vergrößerung der statischen Durchbiegung zulässig ist, ist im Einzelfall nachzuweisen.

10.3.2.2 Verformungen in z-Richtung

10.3.2.2.1 Einwirkungen aus dem Fahrzeug

10.3.2.2.1.1 Allgemeines

- (1) Der Nachweis der zulässigen Durchbiegung in z-Richtung ist für alle Trassierungssituationen, Trägerbauweisen und statischen Systeme unter folgender Trägerbelastung (siehe Kapitel 8.2.1.2) zu führen:

$$p_{z,fz} = \bar{p}_{z,ZG} = 29 \text{ kN/m}$$

- (2) Für die unten angegebenen statischen Systeme sind die nachfolgend angegebenen Grenzwerte der Verformungen in z-Richtung zu berücksichtigen. Als Bezugsgröße zum Nachweis der globalen Verformungen der Fahrwegüberbauten ist in der Regel die Stützweite der Fahrwegträger L_{St} einzusetzen. Entsprechend den Lagerbedingungen der Fahrwegträger kann L_{St} für die y- und z-Richtung unterschiedlich sein.
- (3) Die angegebenen zulässigen Verformungen entsprechen einer Tangentenverdrehung am Trägerende von $\vartheta_y = 0,0008 \text{ rad}$.
- (4) Der zulässige Verlauf der Trägerverformung (z.B. maximale Durchbiegung) bei Trägern mit Steifigkeitssprüngen ist im Einzelfall festzulegen.
- (5) Für die Ermittlung der unbelasteten Sollvorkrümmung der Fahrwegträger in z-Richtung nach /MSB AG-FW GEO/ ist die tatsächliche maximale Durchbiegung unter der Einwirkung des mittleren Fahrzeuggewichts $\bar{p}_{z,MG} = 26 \text{ kN/m}$ bei Belastung aller Trägerfelder anzusetzen.

10.3.2.2.1.2 Einfeldträger N = 1

- (1) Maximale zulässige Durchbiegung in Feldmitte der Einfeldträger:

$$\max f_{z,Fzg} \leq L_{St} / 4000$$

(28)

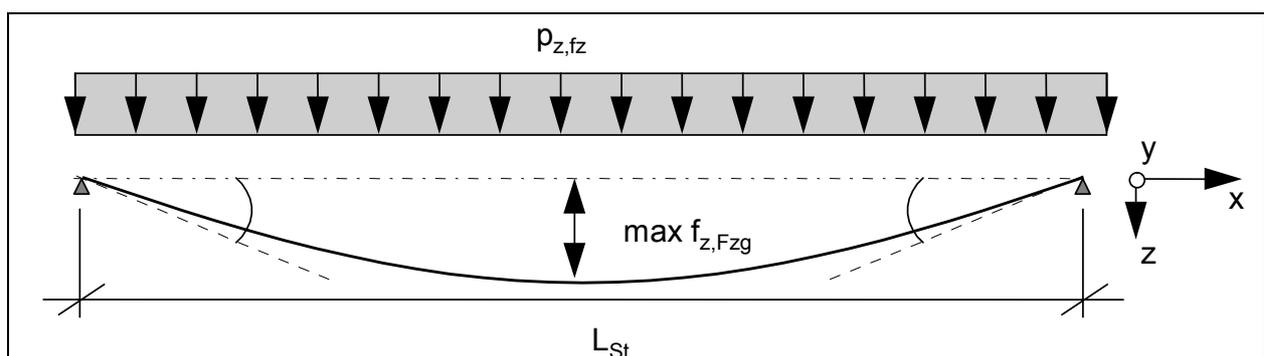


Abbildung 37 - Zulässige Verformung in z-Richtung infolge Fahrzeug bei Einfeldträgern

10.3.2.2.1.3 Zweifeldträger mit gleichen Stützweiten $N = 2$

- (1) Maximale zulässige Durchbiegung im Trägerfeld bei $x_{\max fz} = 0,421 \cdot L_{St}$, wobei beide Trägerfelder belastet sind:

$$\max f_{z,Fzg} \leq L_{St} / 4800 \quad (29)$$

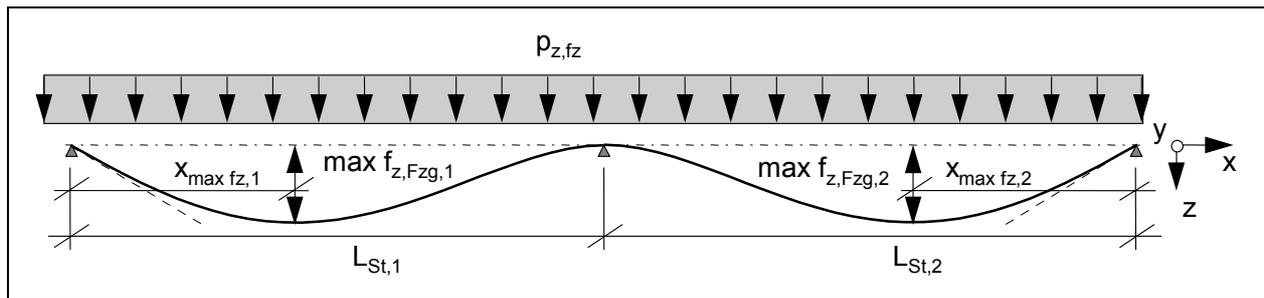


Abbildung 38 - Durchbiegung in z-Richtung bei Zweifeldträgern mit gleicher Stützweite

10.3.2.2.1.4 Zweifeldträger mit ungleichen Stützweiten

- (1) Die Querschnittswerte der Trägerfelder sind so zu wählen, dass bei Belastung beider Felder für jedes Feld die Anforderungen an den Zweifeldträger mit gleichen Stützweiten (siehe Kapitel 10.3.2.2.1.3) eingehalten werden.

10.3.2.2.1.5 Mehrfeldträger $N > 2$

- (1) Die Querschnittswerte von Trägern mit mehr als 2 Feldern sind so zu wählen, dass bei Belastung aller Felder nachfolgende Anforderungen eingehalten werden:
- Randfelder: Grenzwert analog Zweifeldträger
 - Innenfelder: Grenzwert analog Einfeldträger

10.3.2.2.2 Temperaturunterschied

- (1) Die Verformungen infolge von Temperaturunterschiede zwischen Ober- und Untergurt dürfen nachfolgende Grenzwerte nicht überschreiten (siehe hierzu auch Kapitel 8.2.3.3).
- (2) Wird bei der Festlegung der unbelasteten Soll-Vorkrümmung bereits ein Temperaturunterschied ΔT_0 berücksichtigt (z.B. $\Delta T_0 = 7 \text{ K}$, d.h. die unbelastete Soll-Lage stellt sich bei einem Temperaturunterschied von 7 K ein), so darf dieser "Nenn-Temperaturunterschied" beim Nachweis der Verformungen infolge Temperaturunterschied nach Kapitel 8.2.3.3.2 entsprechend angerechnet werden.

10.3.2.2.2.1 Einfeldträger N = 1

$$t_o > t_u : \quad \max f_{z,\Delta T} = L_{St} / 6500 \quad (30)$$

$$t_o < t_u : \quad \max f_{z,\Delta T} = + L_{St} / 5400 \quad (31)$$

10.3.2.2.2.2 Zweifeldträger mit gleichen Stützweiten N = 2

$$t_o > t_u : \quad \max f_{z,\Delta T} = L_{St} / 8000 \quad (32)$$

$$t_o < t_u : \quad \max f_{z,\Delta T} = + L_{St} / 6500 \quad (33)$$

10.3.2.2.2.3 Zweifeldträger mit ungleichen Stützweiten

- (1) Die Querschnittswerte der Trägerfelder sind so zu wählen, dass bei Ansatz von ΔT in beiden Feldern für jedes Feld die Anforderungen an den Zweifeldträger mit gleichen Stützweiten (Kapitel 10.3.2.2.2.2) eingehalten werden.

10.3.2.2.2.4 Mehrfeldträger N > 2

- (1) Die Querschnittswerte von Trägern mit mehr als zwei Feldern sind so zu wählen, dass bei Ansatz von ΔT in allen Feldern nachfolgende Anforderungen eingehalten werden:
 - Randfelder: Grenzwert analog Zweifeldträger
 - Innenfelder: Grenzwert analog Einfeldträger

10.3.2.2.3 Baustoffspezifische Verformungen

- (1) Langwellige Abweichungen von der Soll-Lage der Fahrwegträger infolge baustoffspezifischer Eigenschaften (z.B. Kriechen/Schwinden des Betons) sind mit Hilfe von anerkannten Berechnungsmethoden für die geforderte Nutzungszeit abzuschätzen.
- (2) Die berechneten Werte sind innerhalb des zulässigen Toleranzbandes für die langwellige Abweichung, das in den Ausführungsgrundlagen Fahrweggeometrie /MSB AG-FW GEO/ festgelegt ist, aufzunehmen.

10.3.2.3 Verformungen in y-Richtung**10.3.2.3.1 Einwirkungen aus dem Fahrzeug****10.3.2.3.1.1 Allgemeines**

- (1) Der Nachweis der zulässigen Durchbiegung in y-Richtung ist für alle Trassierungssituationen, Trägerbauweisen und statische Systeme unter folgender Trägerbelastung zu führen:

$$p_{y,fy} = \bar{p}_{z,zG} \cdot \max a_y / g = 29 \text{ kN/m} \cdot 1,5 \text{ m/s}^2 / 9,81 \text{ m/s}^2 = 4,5 \text{ kN/m}$$

- (2) Die zulässigen Trägerverformungen beziehen sich auf Träger mit konstanter Trägersteifigkeit. Für Fahrwegträger mit unterschiedlichen Trägersteifigkeiten (z.B. Steifigkeitssprünge) ist der zulässige Verformungsverlauf im Einzelfall festzulegen.

10.3.2.3.1.2 Einfeldträger N = 1

- (1) Maximale zulässige Durchbiegung in y-Richtung analog Abbildung 37 in Feldmitte:

$$\max f_{y,Fzg} \leq | L_{St} / 15000 | \quad (34)$$

10.3.2.3.1.3 Zweifeldträger mit gleichen Stützweiten N = 2

- (1) Maximale zulässige Durchbiegung in y-Richtung analog Abbildung 38 im Trägerfeld bei $x = 0,421 \cdot L_{St}$:

$$\max f_{y,Fzg} \leq | L_{St} / 18000 | \quad (35)$$

10.3.2.3.1.4 Zweifeldträger mit ungleichen Stützweiten N = 2

- (1) Die Querschnittswerte der Trägerfelder sind so zu wählen, dass bei Belastung beider Felder für jedes Feld die Anforderungen an den Zweifeldträger mit gleichen Stützweiten (siehe Kapitel 10.3.2.3.1.3) eingehalten werden.

10.3.2.3.1.5 Mehrfeldträger N > 2

- (1) Die Querschnittswerte von Trägern mit mehr als zwei Feldern sind so zu wählen, dass bei Belastung aller Felder nachfolgende Anforderungen eingehalten werden:
- Randfelder: Grenzwert analog Zweifeldträger
 - Innenfelder: Grenzwert analog Einfeldträger

10.3.2.3.2 Temperaturunterschied**10.3.2.3.2.1 Allgemeines**

- (1) Die Verformungen infolge von Temperaturunterschieden zwischen linker und rechter Trägerseite der Fahrwegträger dürfen nachfolgende Grenzwerte nicht überschreiten (siehe hierzu auch Kapitel 8.2.3.3).

10.3.2.3.2.2 Einfeldträger N = 1

$$\max f_{y,\Delta T} = \pm L_{St} / 5800 \quad (36)$$

10.3.2.3.2.3 Zweifeldträger mit gleichen Stützweiten N = 2

$$\max f_{y,\Delta T} = \pm L_{St} / 6960 \quad (37)$$

10.3.2.3.2.4 Zweifeldträger mit ungleichen Stützweiten $N = 2$

- (1) Die Querschnittswerte der Trägerfelder sind so zu wählen, dass für jedes Feld die Anforderungen an den Zweifeldträger mit gleichen Stützweiten (siehe Kapitel 10.3.2.3.2.3) eingehalten werden.

10.3.2.3.2.5 Mehrfeldträger $N > 2$

- (1) Die Querschnittswerte von Trägern mit mehr als zwei Feldern sind so zu wählen, dass nachfolgende Anforderungen eingehalten werden:
 - Randfelder: Grenzwert analog Zweifeldträger
 - Innenfelder: Grenzwert analog Einfeldträger

10.3.2.3.3 Baustoffspezifische Verformungen

- (1) Langwellige Abweichungen von der Soll-Lage der Fahrwegträger infolge baustoffspezifischer Eigenschaften (z.B. Kriechen/Schwinden des Betons) sind mit Hilfe von anerkannten Berechnungsmethoden für die geforderte Nutzungszeit abzuschätzen.
- (2) Die berechneten Werte sind innerhalb des zulässigen Toleranzbandes für die langwellige Abweichung, das in /MSB AG-FW GEO/ festgelegt ist, aufzunehmen.

10.3.2.3.4 Wind

- (1) Zusätzliche Verformungen der Fahrwegträger infolge Wind sind bei Einhaltung der in Kapitel 10.3.2.3.1 und Kapitel 10.3.2.3.2 genannten Anforderungen an die Steifigkeit und die max. Windgeschwindigkeiten (siehe Q9) der Windzone II bis zu einer Höhe von $h_{G, \text{Gelände}} = 20 \text{ m}$ (siehe Tabelle 18) unter Berücksichtigung der Anmerkung 7 zu Tabelle 23 systemverträglich. Ein Nachweis der Verformungen infolge von Wind ist demnach nicht erforderlich.
- (2) Bei größeren Windgeschwindigkeiten sind die Angaben in Kapitel 8.2.1.4.7 zu berücksichtigen. Die Systemverträglichkeit ist in diesem Fall zu prüfen.

10.3.2.4 Verformungen in x-Richtung**10.3.2.4.1 Verkehr**

- (1) Es sind die zulässigen Spaltänderungen zwischen den Fahrwegträgern einzuhalten (siehe Kapitel 10.3.7).
- (2) *Spaltänderungen in x-Richtung können z.B. durch Verformungen des Fahrwegträgers im Bereich des x-Festlagers (z.B. Querbiegung von Auflagerpratzen oder durch elastische Verformung der Lager selbst) hervorgerufen werden.*

10.3.2.4.2 Temperatur

- (1) Es sind die zulässigen Spaltänderungen zwischen den Fahrwegträgern einzuhalten (siehe Kapitel 10.3.7).

10.3.2.4.3 Kriechen und Schwinden

- (1) Es sind die zulässigen Spaltänderungen zwischen den Fahrwegträgern einzuhalten (siehe Kapitel 10.3.7).

10.3.2.4.4 Wind

- (1) Verformungen der Fahrwegträger in x-Richtung infolge von Wind sind nicht maßgebend.

10.3.2.5 Verformungen infolge Torsion um die x-Achse

- (1) *Wegen des Abstandes des Fahrzeugschwerpunktes vom Schubmittelpunkt des Fahrges in y- und z-Richtung ergibt sich infolge der Einwirkungen in y- und z-Richtung eine Torsion des Trägerquerschnittes um die x-Achse.*
- (2) *Die Verdrehung bewirkt eine Verschiebung der Funktionsflächen in y- und z-Richtung. Die Größe der Verschiebung in y-Richtung ist vernachlässigbar.*
- (3) Die Verschiebung der Funktionsflächen in z-Richtung infolge der Torsion ist vereinfacht durch nachfolgende Regeln begrenzt:
 - a) Die rechnerische Verformung $f_{z,rot,x}$ der Statorebene in z-Richtung infolge der Torsion darf die zulässige Verformung in z-Richtung infolge der vertikalen Einwirkungen (siehe Kapitel 10.3.2.2.1) an jeder Stelle um maximal 20 % der zulässigen Verformung nach Kapitel 10.3.2.2.1 überschreiten.
 - b) Ist die rechnerische statische Ist-Verformung infolge der vertikalen Einwirkung kleiner als der Grenzwert nach Kapitel 10.3.2.2.1, dann darf die Verformung infolge der Verdrehung maximal 50 % des Grenzwertes nach Kapitel 10.3.2.2.1 erreichen, wobei die Grenze nach a) nicht überschritten werden darf.
 - c) Als Einwirkung ist die statische Streckenlast $p_{y,fy} = 4,5 \text{ kN/m}$ analog Kapitel 10.3.2.3.1 im Fahrzeugschwerpunkt anzusetzen.

10.3.3 Zulässige lokale Verformungen der Fahrwegträger

- (1) Lokale Verformungen der Fahrwegüberbauten dürfen nicht zu einer unzulässigen Lage der jeweiligen Baugruppen führen (Berührungsfreiheit).
- (2) *Grenzwerte der zulässigen Lagen der Seitenführschiene, Gleitleisten und des Langstators sind in /MSB AG-GESAMTSYS/ und /MSB AG-FW GEO/ festgelegt.*
- (3) Für die Statorebene ist im Einzelfall (z.B. bei einer „aktivierten“ Redundanzbefestigung) temporär ein maximaler Versatz von 4 mm in z-Richtung zwischen zwei Statorpaketen zulässig.
- (4) Bei Fahrwegträgern, deren Funktionsflächen GLE und SFE in einem engeren Raster als 6,192 m unterbrochen sind, gelten die nachfolgend angegebenen Grenzwerte für Versätze in der Regel nicht. Hierfür sind unter Nachweis der Kompatibilität zum Fahrzeug konstruktionsabhängige Grenzwerte festzulegen.

10.3.4 Zulässige Verformungen von Fahrwegplatten

- (1) *Infolge der geringen Stützweiten von Fahrwegplatten (ca. 6 m) sind für die Fahrwegplatten in der Regel die Versatzkriterien zwischen den einzelnen Platten maßgebend (siehe Kapitel 10.3.6).*
- (2) Da Fahrwegplatten in der Regel auf durchgehenden Streifenfundamenten mehrfach statisch unbestimmt gelagert werden, ist hier eine Gesamt-Verformungsbetrachtung des Systems Platten /Fundament im Einzelfall erforderlich.

10.3.5 Dynamische Verformungen bei Anregung von Eigenfrequenzen

- (1) *Durch fahrzeugseitige Anregung von Eigenformen des Fahrges können in den Funktionsebenen dynamische Schwingungsamplituden erzeugt werden, die zu Minimalspaltabschaltungen von Magneten führen können (siehe hierzu auch Kapitel 7.4).*
- (2) *Bei Begrenzung dieser Schwingungsamplituden auf maximal $\pm 3 \text{ mm}$ sind Magnetabschaltungen nicht zu erwarten.*
- (3) Die Systemverträglichkeit ist in jedem Fall versuchstechnisch zu verifizieren.

10.3.6 Zulässige Versätze der Funktionsebenen

10.3.6.1 Anzusetzende veränderliche Einwirkungen

- (1) Q1 ÷ Q60 (ohne Q11) bzw. in Kapitel 10.3.6.2 und Kapitel 10.3.6.3 angegebene Einwirkungen mit $\gamma_i = 1,0$, Kombinationsfaktoren ψ_i nach Tabelle 24 und Einwirkungskombinationen nach /EN 1990/.
- (2) Die nachfolgenden Grenzwerte gelten unabhängig von der Art und Ausbildung der Fahrwegunterbauten, d.h. auch bei getrennten Unterbauten an Trägerstößen.

10.3.6.2 Zulässige Versätze in der Statorebene und Gleitebene

- (1) infolge Verkehrslast in x-Richtung (Bremskraft) nach Kapitel 8.2.1.2 (Q1+Q2) aus elastischer Verformung der Fahrwegunterbauten:
zul. $\Delta V_{z,1} = 0,4 \text{ mm}$
- (2) infolge Verkehrslast nach Kapitel 8.2.1.4 (Q1+Q2) aus elastischer Verformung der Fahrwegüberbauten, der Fahrweglager und der Fahrwegunterbauten:
zul. $\Delta V_{z,2} = 0,6 \text{ mm}$
- (3) infolge plastischer Verformung der Fahrwegunterbauten:
zul. $\Delta V_{z,3} = 0,5 \text{ mm}$

10.3.6.3 Zulässige Versätze in der Seitenführschienenebene

- (1) Infolge Verkehrslast in y-Richtung nach Kapitel 8.2.1.2 (Q1+Q2) aus elastischer Trägerbiegung und infolge elastischer und plastischer Verformung der Unterbauten (Baugrundsetzungen, plastische Kriech- und Schwindverformungen):
zul. $\Delta V_{y,1} = 0,3 \text{ mm}$

10.3.7 Nachweis der Spalte in x-Richtung an Trägerstößen

10.3.7.1 Anzusetzende veränderliche Einwirkungen

- (1) Q1 ÷ Q60 (als Q11-Einwirkung ist nur Q11(f) anzusetzen) bzw. in Kapitel 10.3.7.2 angegebene Einwirkungen mit $\gamma_i = 1,0$, Kombinationsfaktoren ψ_i nach Tabelle 24 und Einwirkungskombinationen nach /EN 1990/.

10.3.7.2 Regelspalte

10.3.7.2.1 Elastische Spaltänderungen aus Verkehr

- (1) Als Grenzwerte für die Spaltänderung in x-Richtung an den Funktionsflächen infolge elastischer Verformungen der Fahrwegunterbauten und Fahrwegträger (Abweichung der Fahrwegstützorte in Längsrichtung nach /MSB AG-GESAMTSYS/) sind die nachfolgenden Werte zu berücksichtigen:
 - a) periodisch durch Antreiben und Bremsen als häufige Betriebssituation: $\max \Delta S_{x,Q1/Q2} = 10 \text{ mm}$
 - b) bei nicht häufigen und außergewöhnlichen Betriebssituationen: $\max \Delta S_{x,Q11/A} = 20 \text{ mm}$

10.3.7.2.2 Grenzwerte für die Spalte in x-Richtung

- (1) Der Nachweis für die maximale Spaltbreite $\max S_x$ ist mit ΔT_r und der Nachweis für die minimale Spaltbreite $\min S_x$ ist mit ΔT_f zu führen.
- (2) min/max S_x nach /MSB AG-FW GEO/
- (3) Ein minimaler Spalt zwischen den Funktionskomponenten von 5 mm ist ggf. durch geeignete konstruktive Maßnahmen (z.B. Längskraft-Puffer) sicherzustellen.

10.3.7.2.3 Nachweis der Zwängungsfreiheit

- (1) Die Zwängungsfreiheit der Fahrwegträger bei ΔT_N nach Kapitel 8.2.3.2 ist nachzuweisen. Falls der Nachweis nicht geführt werden kann, sind die Zwängungskräfte zu berücksichtigen.

10.3.7.3 Sonderspalte

- (1) Für Spurwechseinrichtungen, Übergangskonstruktionen bei Fahrwegen auf Primärtragwerken usw. sind bei unterbrochener Langstatorwicklung größere Spalte zulässig (Grenzwerte siehe /MSB AG-FW-GEO/).

10.3.8 Elastische und plastische Verformungen der Unterbauten

10.3.8.1 Allgemeines

- (1) *Durch elastische und plastische Verformungen der Fahrwegunterbauten (z.B. Stützen, Fundamente, Baugrund) entstehen an den Auflagerorten der Fahrwegträger Knickwinkel η (siehe Abbildung 39 .. Abbildung 41) in den Magnetschnellbahn-spezifischen Funktionsflächen. Die Begrenzung dieser Knickwinkel an den Orten der Funktionsflächen erfolgt über die systemlängenabhängige Definition zulässiger Verformungen der Fahrwegunterbauten in allen Koordinatenrichtungen.*
- (2) *Bei Überschreitung der zulässigen bleibenden Lageabweichungen der Fahrwegunterbauten (= wahrscheinliche Baugrundbewegung) ist eine Nachjustierung der Fahrweglager zur Gewährleistung der Systemverträglichkeit erforderlich.*
- (3) Als Bezugslänge L_{Sys} ist in der Regel die Systemlänge der Trägerfeldweiten für die jeweils betrachtete Richtung einzusetzen. Entsprechend den Lagerungsbedingungen der Fahrwegträger kann L_{Sys} für die y- und z-Richtung unterschiedlich sein. Bei Stützen, an denen Fahrwegträger mit ungleichen Systemlängen ($L_{Sys,1} \neq L_{Sys,2}$) aufliegen, ist zur Ermittlung der zulässigen Verformungen der Unterbauten der Mittelwert aus beiden Systemweiten anzusetzen.
- (4) Die Verformungen der Unterbauten sind durch die Vorgaben der nachfolgenden Kapitel begrenzt. Bei diesen Begrenzungen handelt es sich um Differenz-Verformungen, d.h. um Lageabweichungen der einzelnen Lagerpunkte untereinander. Im Hinblick auf den Lichtraum sind auch die absoluten Verformungen in Bezug auf die Raumkurve nachzuweisen. Der Nachweis ist auch für die nicht häufigen Bemessungssituationen zu führen.
- (5) Zur Ermittlung der Verformungen der Unterbauten sind die Einwirkungskombinationen nach den Gleichungen des Kapitels 10.3.1 anzuwenden.
- (6) Die Teilsicherheitsbeiwerte für die charakteristischen Werte der Einwirkungen sind dabei mit $\gamma_i = 1,0$ anzusetzen.

10.3.8.2 Verformungen der Unterbauten in x-Richtung

- (1) Die elastischen und plastischen Verformungen der Unterbauten in x-Richtung sind so zu begrenzen, dass die in Kapitel 10.3.7 angegebenen Grenzwerte (z.B. Zwängungsfreiheit) eingehalten werden.

10.3.8.3 Verformungen der Unterbauten in y-Richtung

10.3.8.3.1 Plastische Verformungen der Unterbauten

(1) Sowohl für Einfeld- als auch für Mehrfeldträger sind folgende Grenzwerte für die Verformungen der Fahrwegunterbauten in y-Richtung einzuhalten:

- Stützen mit Trägerstößen: $\Delta y_{St,1,plas} = \pm L_{Sys} / 6000$ (38)

- Mittelstützen bei Mehrfeldträgern: $\Delta y_{St,2,plas} = \pm L_{Sys} / 4500$ (39)

(2) Bei Überschreiten des Grenzwertes ist die Fahrwegträgerlage nachzujustieren.

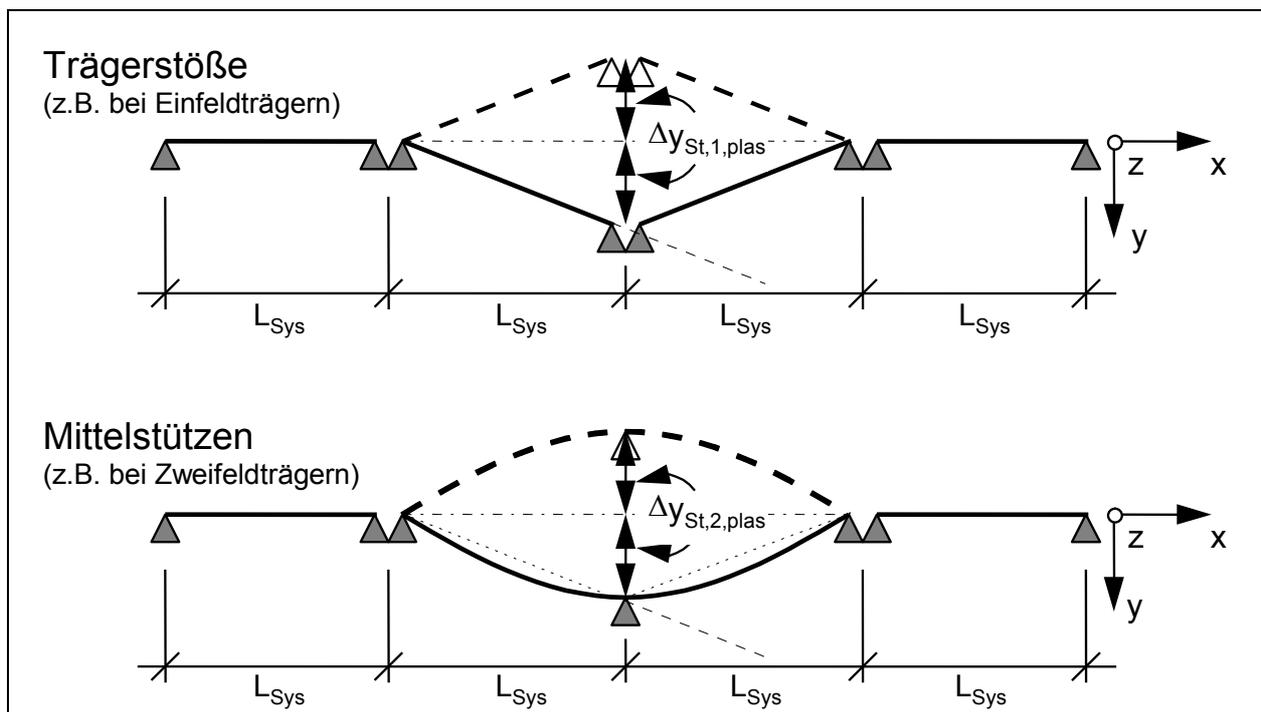


Abbildung 39 - Plastische Verformungen der Unterbauten in y-Richtung (Beispiel)

10.3.8.3.2 Elastische Verformungen der Unterbauten

(1) Für die elastische Verformung der Unterbauten in y-Richtung infolge der veränderlichen Einwirkungen $Q1 \div Q10$ und $Q50 \div Q60$ sind folgende Grenzwerte einzuhalten:

- Stützen mit Trägerstößen $\Delta y_{St,1,elas} = \pm L_{Sys} \cdot (0,0013 - 1/ 6000) \cdot k$ (40)

- Mittelstützen bei Mehrfeldträgern $\Delta y_{St,2,elas} = \pm L_{Sys} \cdot (0,0015 - 1/ 4500) \cdot k$ (41)

mit $k = h_{G,Gelände} [m] / 20 \text{ m}$, $h_{G,Gelände} \geq 3 \text{ m}$ und $k \leq 1$

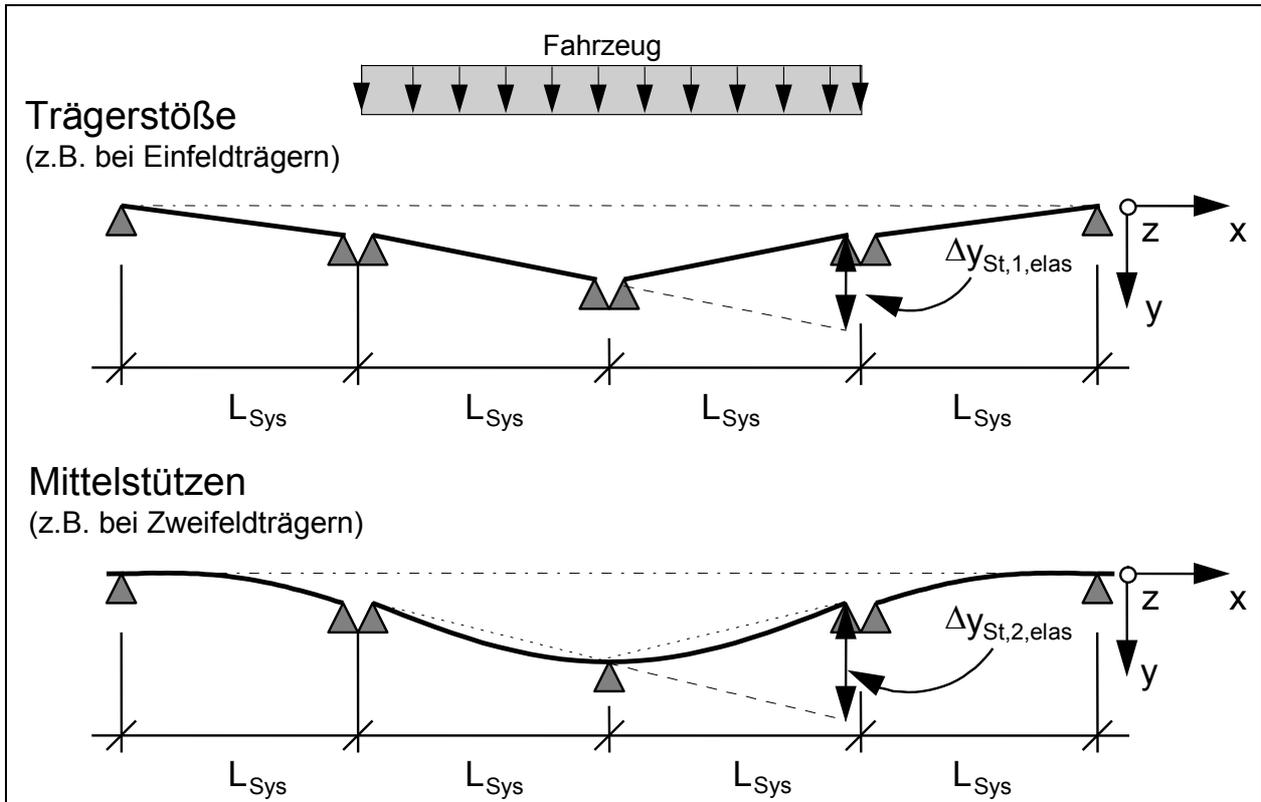


Abbildung 40 - Elastische Verformungen der Unterbauten in y-Richtung (Beispiel 1)

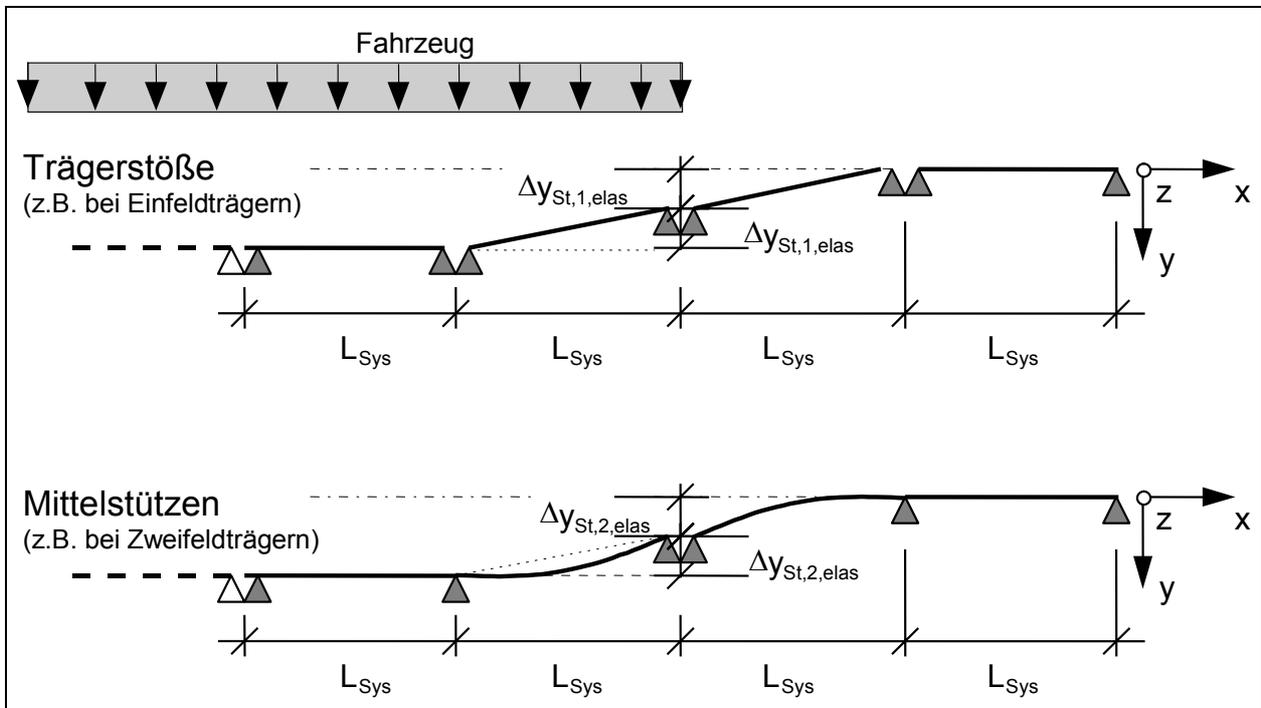


Abbildung 41 - Elastische Verformungen der Unterbauten in y-Richtung (Beispiel 2)

10.3.8.4 Verformungen der Unterbauten in z-Richtung

10.3.8.4.1 Plastische Verformungen der Unterbauten

(1) Sowohl für Einfeld- als auch für Mehrfeldträger sind folgende Grenzwerte für die plastischen Verformungen der Unterbauten in z-Richtung (Darstellung analog Abbildung 39) einzuhalten:

- Stützen mit Trägerstößen $\Delta Z_{St,1,plas} = \pm L_{Sys} / 6000$ (42)

- Mittelstützen bei Mehrfeldträgern $\Delta Z_{St,2,plas} = \pm L_{Sys} / 4500$ (43)

(2) Bei Überschreiten des Grenzwertes ist die Fahrwegträgerlage nachzujustieren.

10.3.8.4.2 Elastische Verformungen der Unterbauten

(1) Für die elastische Verformung der Unterbauten in z-Richtung infolge der veränderlichen Einwirkungen $Q1 \div Q10$ und $Q50 \div Q60$ sind folgende Grenzwerte einzuhalten (Darstellung analog Abbildung 40 und Abbildung 41):

- Stützen mit Trägerstößen $\Delta Z_{St,1,elas} = \pm L_{Sys} / 6000$ (44)

- Mittelstützen bei Mehrfeldträgern $\Delta Z_{St,2,elas} = \pm L_{Sys} / 4500$ (45)

10.3.9 Verformungen von durchgehenden Streifenfundamenten

(1) Die Bewertung der Verformungen von durchgehenden Streifenfundamenten (z.B. des Plattenfahrweges) ist im Einzelfall durchzuführen. In der Regel ist dabei die Begrenzung der zulässigen Versätze an den Funktionsebenen (Stator-, Seitenführ- und Gleitebenen) maßgebend (siehe Kapitel 10.3.6).

(2) Die Gleichungen und Abbildungen aus Kapitel 10.3.8 sind hier nicht anwendbar.

10.3.10 Verformungen von Primärtragwerken

(1) Die zulässigen Verformungen von Primärtragwerken (z.B. Talbrücken mit "aufgelegten" Fahrwegträgern der tiefliegenden/ebenerdigen Bauweise) sind so zu begrenzen, dass die o.g. Anforderungen an

- Endtangentialdrehwinkel ϑ (siehe Abbildung 37 und Abbildung 38),
 - Spaltmaße und
 - Versätze
- erfüllt werden.

(2) Nach Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde können unter Berücksichtigung der Randbedingung, dass die Fahrweglage auf dem Primärtragwerk der Regelüberhöhung von 100 % entspricht, bei Primärtragwerken in begründeten Ausnahmefällen die Grenzwerte der Tragwerksdurchbiegung in z-Richtung aus Kapitel 10.3.2.2.1 verdoppelt werden (d.h. unbelastet 100% Überhöhung, belastet 100 % Durchbiegung).

(3) Die Kompatibilität der Verformungen von Primärtragwerken zum Fahrzeug ist nachzuweisen.

10.3.11 Verformungen bei Anprall an den Fahrweg

- (1) Falls ein Anprall an den Fahrweg nach Kapitel 8.3.6 zu berücksichtigen ist, dürfen die bleibenden Versätze zwischen den "Funktionsebenen" (Statorebenen, Seitenführschienenebenen) an Trägerstößen nach einem Anprall an Stützen oder Fahrwegträger 3 mm nicht überschreiten.

10.4 Werkstoffermüdung

10.4.1 Allgemeines

- (1) Die allgemeinen Grundlagen zur Führung des Betriebsfestigkeits/Ermüdungsnachweises (Kerbfälle mit zugehörigen Wöhlerlinien, Teilsicherheitsbeiwerte der Widerstandsseite usw.) sind /EN 1990/, den jeweiligen Normen und Richtlinien bzw. sonstigen zulässigen Vorschriften und /MSB AG-FW ÜBG/ zu entnehmen.
- (2) Konstruktionsabhängig gewählte Parameter sind bei der Nachweisführung zu belegen.

10.4.2 Magnetschnellbahn-spezifische Randbedingungen

- (1) Sofern projektspezifisch nicht anders festgelegt, gelten für die Nachweise der Werkstoffermüdung folgende typische Ansätze:
- Fahrzeuggewichte Q1...Q4 und zugehörige Häufigkeiten nach Kapitel 8.2.1.2
 - 130 Fahrten je Fahrspur und Tag (Basis: ca. 20 Stunden/Tag mit 6 Fahrten/Stunde)
 - 80 Jahre Nutzungsdauer mit 365 Tagen/Jahr
 - freie Seitenbeschleunigung $a_y = -0,5 \text{ m/s}^2 \dots 1,5 \text{ m/s}^2$
 - vertikale Beschleunigung (inkl. g) $a_z = 9,21 \text{ m/s}^2 \dots 11,01 \text{ m/s}^2$
 - Beanspruchung in x-Richtung nach Tabelle 11 mit der Möglichkeit einer projektspezifischen Abstufung der Längskräfte auf Basis der Antriebsauslegung für eine projektspezifische Auslegung (z.B. der Fahrwegunterbauten)
 - mit Berücksichtigung der Dynamik nach Kapitel 7.4
 - mit Berücksichtigung der zugehörigen globalen/lokalen Lastbilder
 - mit Berücksichtigung der Führdynamik (dynamischen Seitenkräften) und Zwangskräfte
 - mit Berücksichtigung des Fahrtwinds
 - mit Berücksichtigung der häufigen Werte der veränderlichen Einwirkungen aus Umwelt¹⁴
 - mit Berücksichtigung der Biegebeanspruchung der Weichen aus dem Verstellvorgang in die Abzweigpositionen
 - mit erhöhtem Fahrzeuggewicht infolge Schnee (die Häufigkeit und die Größe der Last sind projektspezifisch festzulegen)
 - ohne Berücksichtigung der Einwirkungen aus nicht häufigen Betriebssituationen
 - ohne Berücksichtigung der außergewöhnliche Einwirkungen
- (2) Für die lokalen Trägerbauteile an den Schnittstellen Langstator-Tragmagnet und Seitenführschiene-Führmagnet gelten die in Kapitel 10.4.3 und 10.4.4 angegebenen Bedingungen.

¹⁴ In der Regel gehen die häufigen Werte der Einwirkungen aus Umwelt (wöchentlich) wegen der geringen Schwingenspielzahlen nicht maßgebend in den Ermüdungsnachweis ein.

10.4.3 Schnittstelle Langstator-Tragmagnet

- projektabhängige Auslegung der Bauteile und Baugruppen entsprechend Kapitel 10.4.2;
- Berücksichtigung der Tragmagnetpolteilung nach Kapitel 7.3;
- Bei projektunabhängiger Auslegung von Bauteilen und Baugruppen sind die Grenzwerte der Einwirkungen zu berücksichtigen.
- mit Berücksichtigung der Bauwerksdynamik und der Regelungsdynamik; ¹⁵⁾

10.4.4 Schnittstelle Seitenführschiene-Führmagnet

- projektabhängige Auslegung der Bauteile und Baugruppen entsprechend Kapitel 10.4.2;
- Kleinste Einheit für die Berücksichtigung der Regelungsdynamik ist der Teilmagnet (1525 mm). Unterbrechungen der Polleistenbelegung in x-Richtung zwischen zwei benachbarten Führmagneten und innerhalb der Führmagnete sind vernachlässigbar.
- Bei projektunabhängiger Auslegung von Bauteilen und Baugruppen sind die Grenzwerte der Einwirkungen zu berücksichtigen.
- mit Berücksichtigung der Bauwerksdynamik und der Regelungsdynamik ¹⁶⁾;

¹⁵ Der Faktor zur Berücksichtigung der Regelungsdynamik ist dabei jeweils nur für eine Schnittstelle ungünstig anzusetzen.

¹⁶ wie Fußnote 15

11 Anhang

Ausführungsgrundlage

11.1 Anhang II-A: Zuordnung der Einwirkungen zu den Schnittstellen

Nr.	Einwirkungen aus dem Fahrzeug/Antrieb	SE	SFE	GLE	Anmerkungen
<u>Häufige Bemessungssituationen</u>					
Q1	Massenkräfte inkl. Dynamik aus Fahrzeugeigengewicht	x	x	x	
Q2	Massenkräfte inkl. Dynamik aus Nutzlast	x	x	x	
Q3	Ungleichverteilung des Fahrzeuggewichts in x-Richtung	x	x	x	
Q4	Ungleichverteilung des Fahrzeuggewichts in y-Richtung	x		x	
Q5	Führdynamik (dynamische Kräfte aus der Spurführung)		x		
Q6	Zwangskräfte in engen Radien		x		
Q7a	Aerodynamische Kräfte aus Zugbegegnung		x		
Q7b	Aerodynamische Kräfte aus Tunnelfahrt	(x)	(x)	(x)	
Q7c	Aerodynamische Kräfte auf trassennahe bauliche Anlagen				
Q8a	Einwirkungen aus Fahrtwind: Auftrieb	x			
Q8b	Einwirkungen aus Fahrtwind: Druck / Sog	(x)	(x)	(x)	
Q9a	Seitenkräfte infolge Wind aus Umwelt	x	x	x	
Q9b	Auftrieb infolge Wind aus Umwelt	x			
Q10	Temperatur infolge Antrieb	x			
<u>Nicht häufige Bemessungssituationen</u>					
Q11a	erhöhtes Fahrzeuggewicht	x	x	x	
Q11b	Ausfall eines Magnetregelkreises Tragen	x			
Q11c	Doppelausfall Magnetregelkreise Tragen			x	
Q11d	Ausfall eines Magnetregelkreises Führen		x		
Q11e	Doppelausfall Magnetregelkreise Führen		x		
Q11f	Einsatz der „Sicheren Bremse“	x	x	x	
Q11g	Geschwindigkeitsabweichungen	x	x	(x)	
Q11h	Fehlfunktionen des Antriebs	x	(x)		
Q11i	Einwirkungen infolge Wicklungskurzschluss	x		x	
Q11j	Anlaufen von Magneten	x			
Q11k	Anheben von angefrorenen Tragkufen			x	
Q11l	Erhöhtes Fahrzeuggewicht infolge Schnee im Fahrzeug	x	x	x	
Außergewöhnliche Einwirkungen (analog)					

Tabelle 25 - Zuordnung der Einwirkungen zu den Funktionsebenen

11.2 Anhang II-B: Rechnerisch ermittelte Schwingbeiwerte

11.2.1 Allgemeines

- (1) Die nachfolgend angegebenen, beispielhaften Schwingbeiwertdiagramme enthalten konstruktions- und bauweisenunabhängig den globalen Schwingbeiwert $\varphi_{Bg,z}$ bzw. $\varphi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger für die Stützweiten $L_{St} = 12,384 \text{ m}$ und $L_{St} = 24,768 \text{ m}$. Die Schwingbeiwerte geben dabei die dynamische Überhöhung infolge der Einwirkungen des bewegten Fahrzeugs in z-Richtung an.
- (2) Die nachfolgenden Abbildungen zeigen am Beispiel der Beanspruchungen E in Trägermitte (z.B. Durchbiegung, Schnittgrößen, Spannungen) den prinzipiellen Beanspruchungs-Zeit-Verlauf infolge einer Fahrzeugüberfahrt und die zugehörigen Bewertungsgrößen.

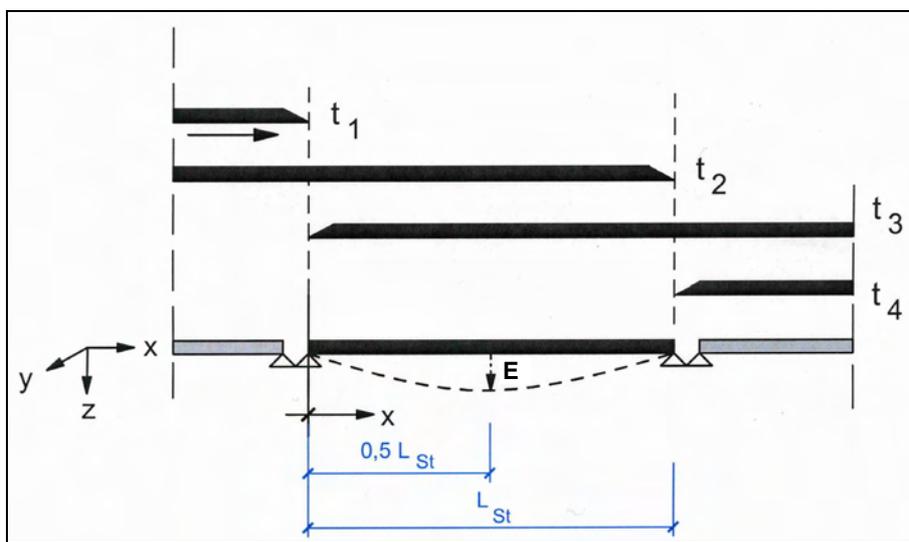


Abbildung 42 – Fahrzeugüberfahrt am Einfeldträger mit Bewertungsgröße w in Feldmitte

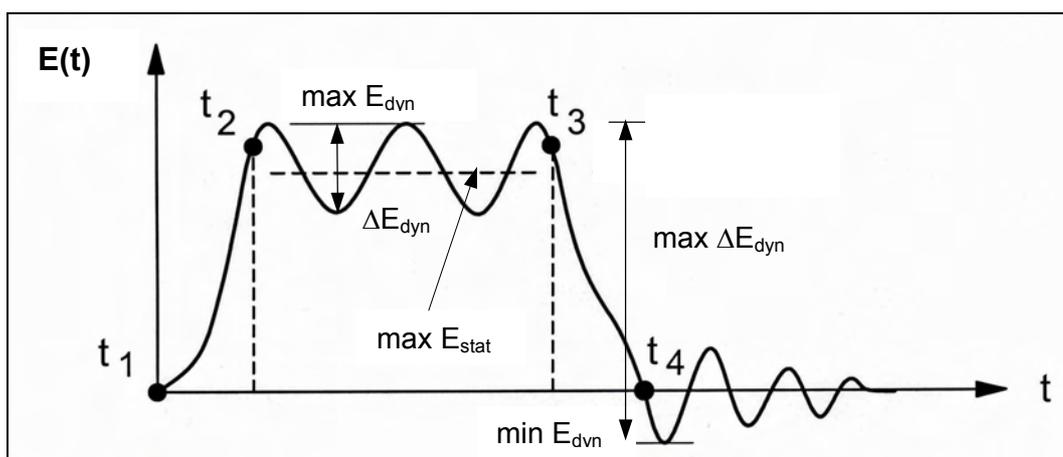


Abbildung 43 - Beanspruchungs-Zeit-Verlauf infolge Fahrzeugüberfahrt am Einfeldträger

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- (3) Den Diagrammen liegen idealisierte Rechenmodelle zugrunde. In ihnen sind die dynamischen Überhöhungen infolge stoßartiger und harmonischer Anregung berücksichtigt ("Stoß" und "Resonanz"), vgl. hierzu /R2/, /R3/ und /R4/.
- (4) Den Diagrammen liegen nachfolgende Parameter zugrunde:
- Stützweite EFT mit: $L_{St} = 12,384 \text{ m}$ und $L_{St} = 24,768 \text{ m}$
 - Fahrzeuglängen: 2; 4; 6; 10 Sektionen
 - Lehrsches Dämpfungsmaß D : 0%; 0,3%; 0,6%; 1,6%
 - Lastbilder Fahrzeug: gemäß Kapitel 9
- (5) Folgende Bewertungsgrößen sind durch die Diagramme abgedeckt:
- Durchbiegung $\max/\min w_{dyn}$
 - Biegemoment $\max/\min M_{y,dyn}$
 - Querkraft $\max/\min V_{z,dyn}$
- (6) Für folgende Nachweisführung wurden die Diagramme aufbereitet:
- Schwingbeiwert für die Nachweisführung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit
- $$\varphi_{Bg,z} = \frac{\max E_{dyn}}{\max E_{stat}}$$
- Schwingbeiwert für die Nachweisführung der Werkstoffermüdung zur Ermittlung der maximalen Beanspruchungsamplitude:
- $$\varphi_{Bg,z,WSE} = \frac{(\max E_{dyn} - \min E_{dyn})}{\max E_{stat}}$$
- (7) Die Schwingbeiwerte werden über den dimensionslosen Wert k in den Diagrammen abgelesen. Der Wert k ergibt sich in Abhängig von der Stützweite L_{St} , der Fahrgeschwindigkeit v_{Fzg} und der ersten vertikalen Biege-Eigenfrequenz $f_{z,1}$ des Fahrwegträgers wie folgt:

$$k = \frac{L_{St}}{v_{Fzg}} \cdot f_{z,1}$$

11.2.2 Anwendungsbereich

- (1) Für die Verwendung der Schwingbeiwertdiagramme (Abbildung 45 bis Abbildung 60) ist folgender Anwendungsbereich zu berücksichtigen:
- Stützweite näherungsweise gleich Systemlänge $L_{St} \approx L_{Sys}$;
 - Balkenartige, starr gestützte Einfeldträger mit näherungsweise konstante Massebelegung μ und Biegesteifigkeit EI ;
 - näherungsweise schubstarr ($GA_V \rightarrow \infty$);
 - Ansatz der Dämpfung (Lehrsches Dämpfungsmaß $D = 0 \%$; 0,3 %; 0,6 %; 1,6%); (Für Zwischenwerte sollte konservativ das nächst kleinere Dämpfungsmaß angesetzt werden.)
 - Fahrzeuglastbilder gemäß Kapitel 9;
 - Magnetendpole der Tragmagneten tragen mind. 25% der Last der Magnethauptpole;
 - Ansatz nur für vertikale Komponente der Einwirkungen aus dem Fahrzeug, global in z-Richtung;
 - Anwendung auf die Durchbiegung w , das Biegemoment M_y und die Querkraft V_z ;
 - Die Diagramme gelten in der Regel nicht für Fahrgeschwindigkeiten, bei denen die Fahrzeug – Fahrweg - Wechselwirkung infolge der Magnetregelung zu berücksichtigen ist (langsame Fahrgeschwindigkeiten $v_{Fzg} < 50 \text{ m/s}$), insbesondere nicht für Standschweben $v_{Fzg} = 0 \text{ m/s}$.

- (2) Die Schwingbeiwerte der Werkstoffermüdung $\varphi_{Bg,z,WSE}$ dienen zur Ermittlung der maximalen Beanspruchungsamplitude $\max \Delta E_{dyn} = \varphi_{Bg,z,WSE} \cdot \max E_{stat} = \max E_{dyn} - \min E_{dyn}$, die bei jeder Fahrzeugüberfahrt nur einmal anzusetzen ist.

Beim Ansatz eines Einstufenkollektivs ist zu überprüfen, ob die vorhandenen Doppelamplituden des Beanspruchungsverlaufs infolge der Schwingungen ΔE_{dyn} unterhalb des "cut off limit" liegen. Dies ist erfüllt, solange für ΔE_{dyn} gilt:

$$\Delta E_{dyn} = 2 \cdot \gamma_{Fl} \cdot \max E_{stat} \cdot (\varphi_{Bg,z} - 1) < \Delta E_{cut-off-limit} / \gamma_{Mf}$$

Falls diese Bedingung nicht erfüllt ist und für Materialien bzw. Kerbdetails ohne "cut off limit" Bereich sind diese Schwingungsamplituden bei den Nachweisen der Werkstoffermüdung zusätzlich zu berücksichtigen.

11.2.3 Anwendungsbeispiele

- (1) Zur Veranschaulichung der Anwendung der Schwingbeiwertsdiagramme sind nachfolgend Beispiele für Fahrwegträger vom Typ-I in Beton- bzw. in Stahlbauweise angegeben.
- (2) Den Beispielen liegen folgende Parameter zu Grunde:
- Querschnitte im Feldbereich nach Abbildung 44;
 - Angaben zur Steifigkeit EI und Massenbelegung μ aus /R1/;
 - Einfeldträger mit einer Stützweite von $L_{St} = 24,768$ m;
 - ein Lehrsches Dämpfungsmaß von $D = 0,6$ % für vorgespannte Betonträger;
 - ein Lehrsches Dämpfungsmaß von $D = 0,3$ % für geschweißte Stahlträger;
 - Fahrzeuglänge 4 Sektionen;
 - $\max v_{Fzg} = 450$ km/h = 125 m/s;

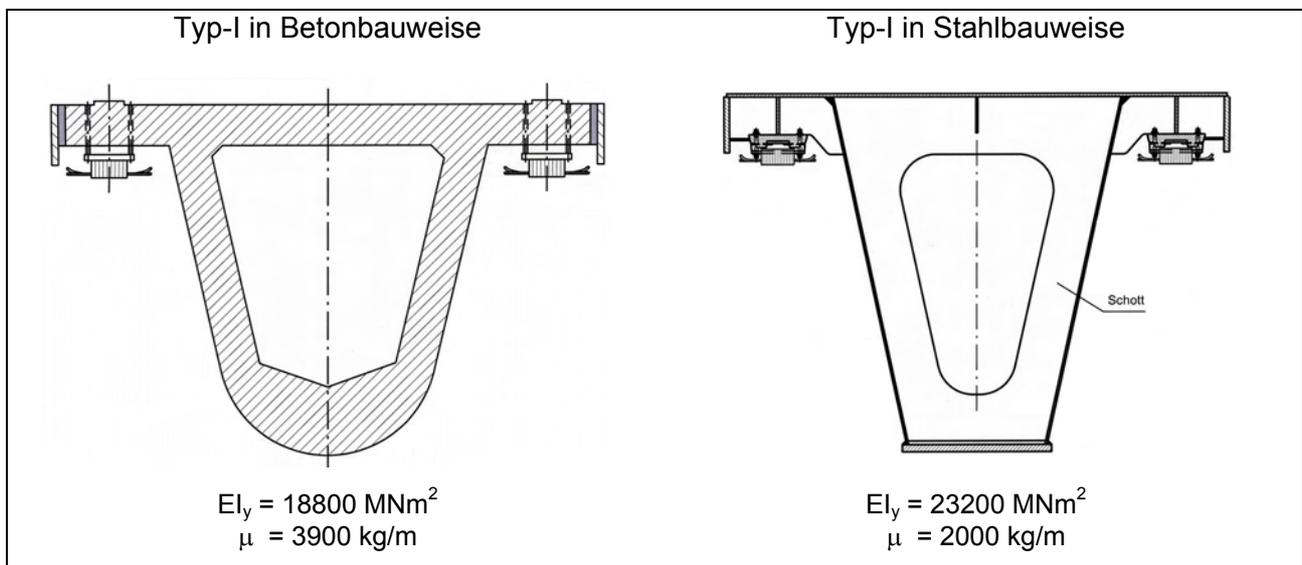


Abbildung 44 - Fahrwegträger für Anwendungsbeispiel – Querschnitte im Feldbereich

(3) Ermittlung der k-Werte zum Ablesen der globalen Schwingbeiwerte aus den Diagrammen

- Für den Fahrwegträger Typ-I in Betonbauweise:

$$f_{z,1} = \frac{\pi}{2 \cdot 24,768^2} \cdot \sqrt{\frac{1,88 \cdot 10^{10}}{3900}} = 5,62 \text{ Hz} \rightarrow k = \frac{L_{\text{St}} \cdot f_{z,1}}{V_{\text{Fzg}}} = \frac{24,768 \cdot 5,62}{125} = 1,11$$

$$\Rightarrow \text{aus Abbildung 55: } \varphi_{\text{Bg},z} = 1,15 + 1,0 \cdot (1,4 - k) = 1,44$$

$$\Rightarrow \text{aus Abbildung 56: } \varphi_{\text{Bg},z,\text{WSE}} = 1,8$$

- für den Fahrwegträger Typ-I in Stahlbauweise:

$$f_{z,1} = \frac{\pi}{2 \cdot 24,768^2} \cdot \sqrt{\frac{2,32 \cdot 10^{10}}{2000}} = 8,72 \text{ Hz} \rightarrow k = \frac{24,768 \cdot 8,72}{125} = 1,73$$

$$\Rightarrow \text{aus Abbildung 55: } \varphi_{\text{Bg},z} = 1,15$$

$$\Rightarrow \text{aus Abbildung 56: } \varphi_{\text{Bg},z,\text{WSE}} = 1,3$$

(4) Bei der Wahl des Dämpfungsmaßes ist Kapitel 7.4.3 zu beachten.

(5) Die tatsächlichen (gemessenen) Eigenfrequenzen können von den rechnerisch ermittelten Eigenfrequenzen abweichen. Die weiteren Ergebnisse sind dann dementsprechend anzupassen.

11.2.4 Beispielhafte Schwingbeiwertdiagramme**11.2.4.1 Allgemeines**

- Nachfolgend sind in Diagrammen beispielhaft die Schwingbeiwerte $\varphi_{\text{Bg},z}$ und $\varphi_{\text{Bg},z,\text{WSE}}$ für die in Tabelle 26 zusammengestellten Stützweiten und Fahrzeuglängen angegeben.
- Als Ergebnis der Untersuchungen in /R2/, /R3/ und /R4/ wurden für unterschiedliche Bereiche von k und für die untersuchten Werte der Dämpfung Bemessungslinien der Schwingbeiwerte ermittelt, die die dynamischen Überhöhungen infolge stoßartiger und harmonischer Anregung infolge einer Fahrzeugüberfahrt berücksichtigen.

Stützweite	Fahrzeuflänge	Seite
$L_{\text{St}} = 12,384 \text{ m}$	2 Sektionen	Abbildung 45 und Abbildung 46
	4 Sektionen	Abbildung 47 und Abbildung 48
	6 Sektionen	Abbildung 49 und Abbildung 50
	10 Sektionen	Abbildung 51 und Abbildung 52
$L_{\text{St}} = 24,768 \text{ m}$	2 Sektionen	Abbildung 53 und Abbildung 54
	4 Sektionen	Abbildung 55 und Abbildung 56
	6 Sektionen	Abbildung 57 und Abbildung 58
	10 Sektionen	Abbildung 59 und Abbildung 60

Tabelle 26 - Stützweiten und Fahrzeuflängen der beispielhaften Schwingbeiwertdiagramme

11.2.4.2 Schwingbeiwertsdiagramme für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384 \text{ m}$

11.2.4.2.1 Schwingbeiwerte für 2-Sektionen-Fahrzeuge

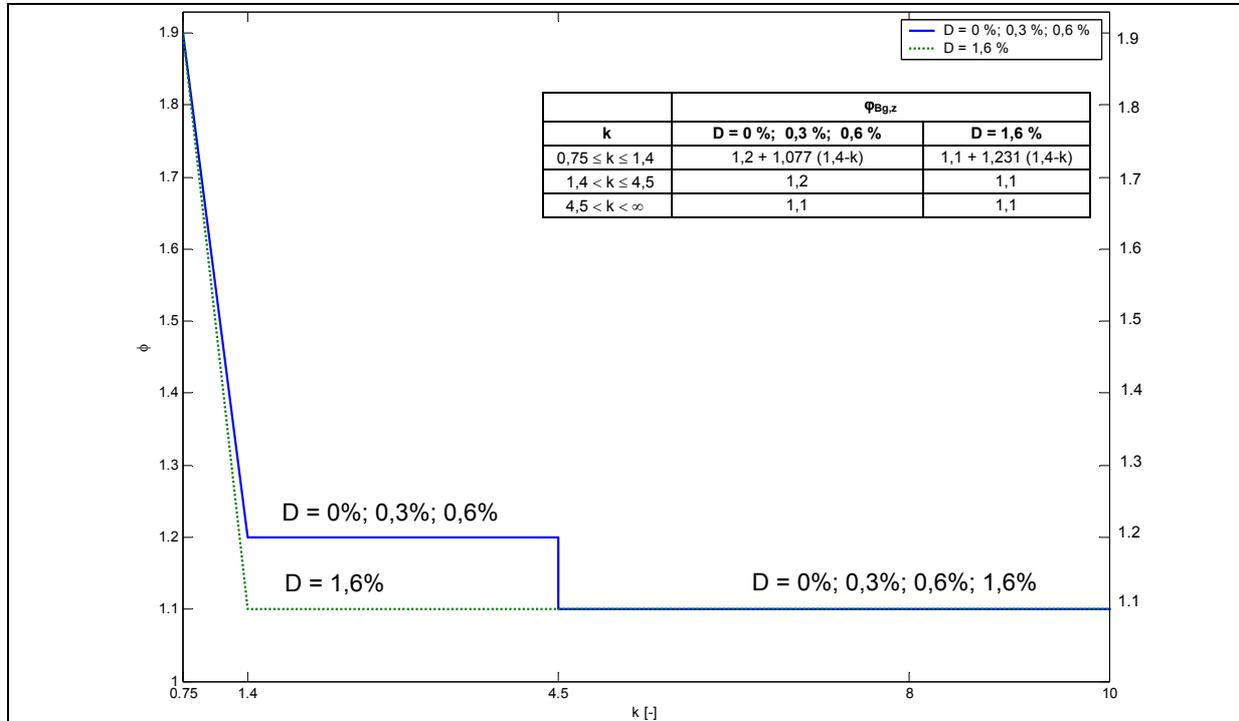


Abbildung 45 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384 \text{ m}$ – 2 Sektionen-Fahrzeug

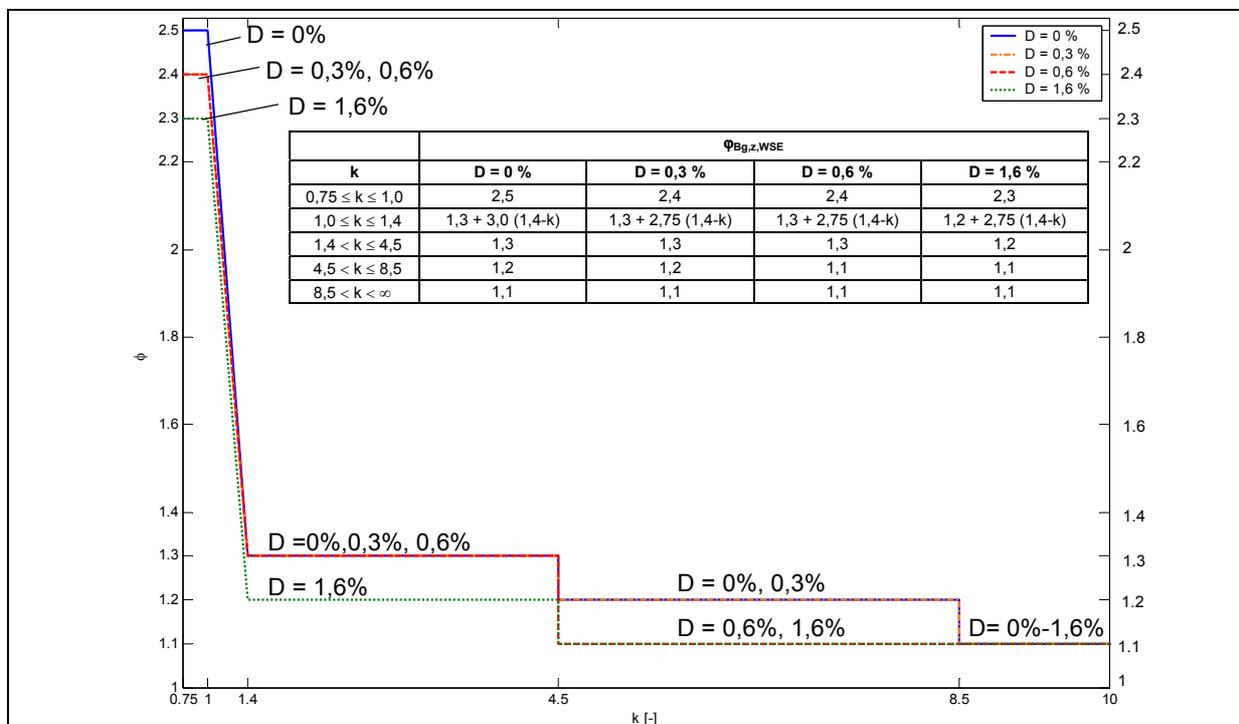


Abbildung 46 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384 \text{ m}$ – 2 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.2.2 Schwingbeiwerte für 4-Sektionen-Fahrzeuge

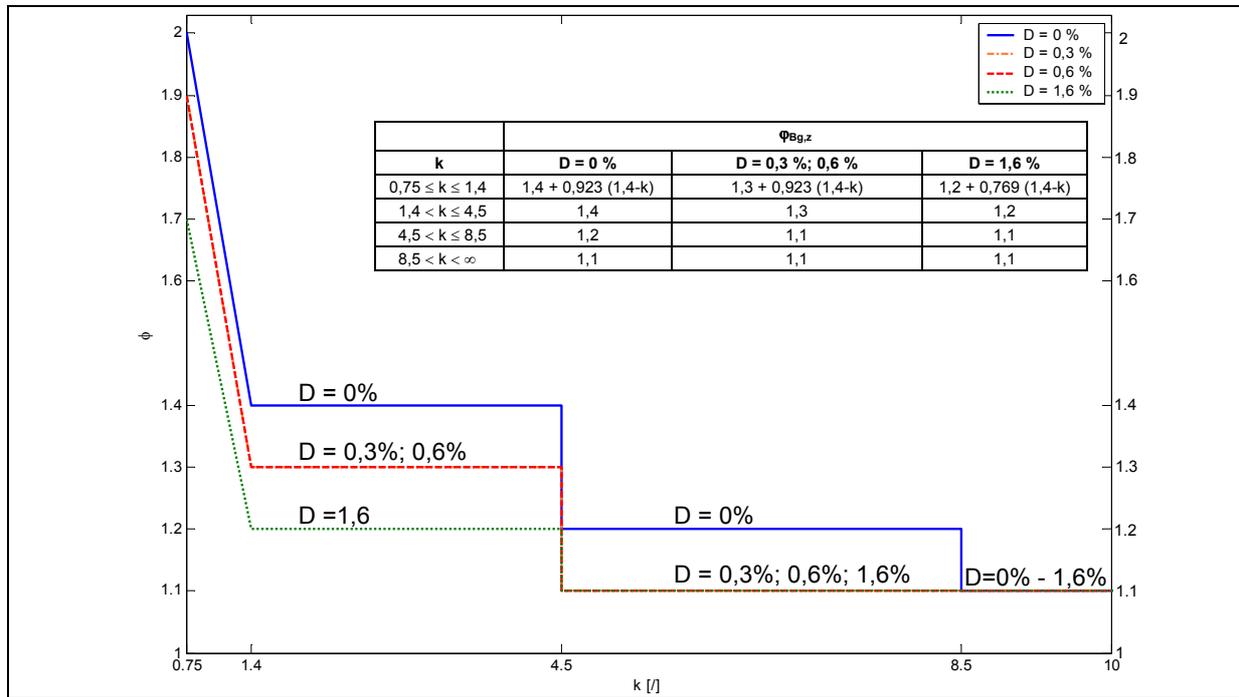


Abbildung 47 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 4 Sektionen-Fahrzeug

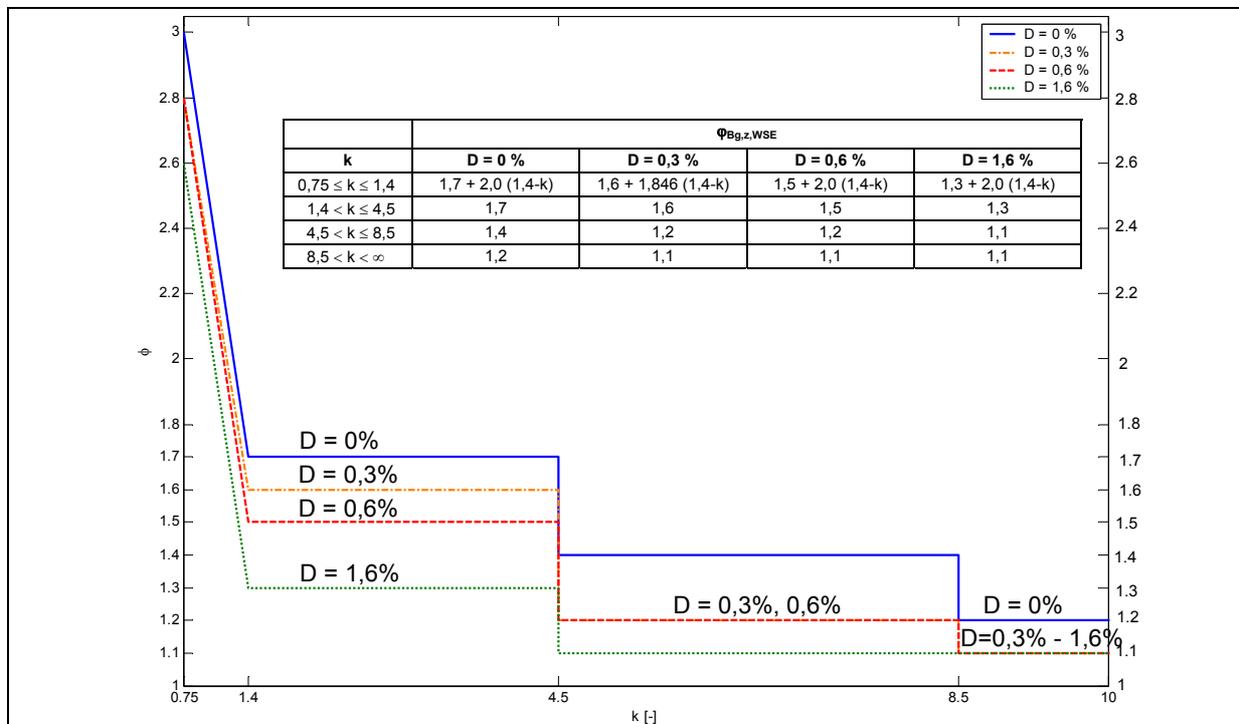


Abbildung 48 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 4 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.2.3 Schwingbeiwerte für 6-Sektionen-Fahrzeuge

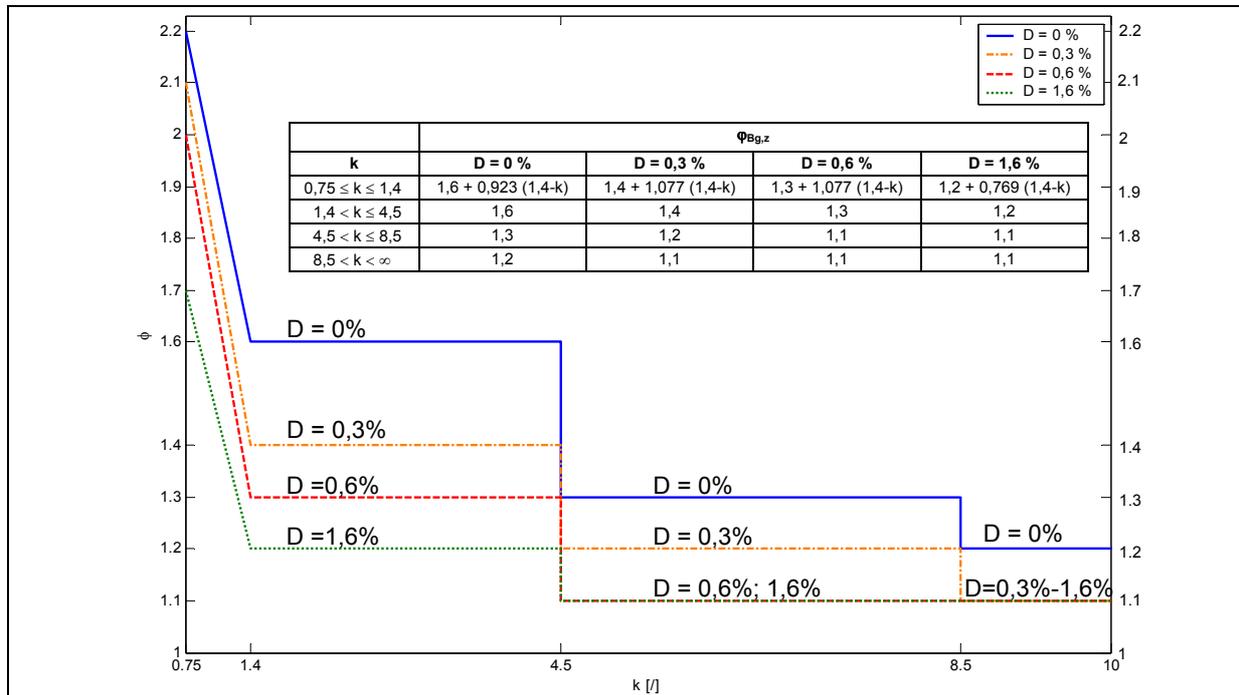


Abbildung 49 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 6 Sektionen-Fahrzeug

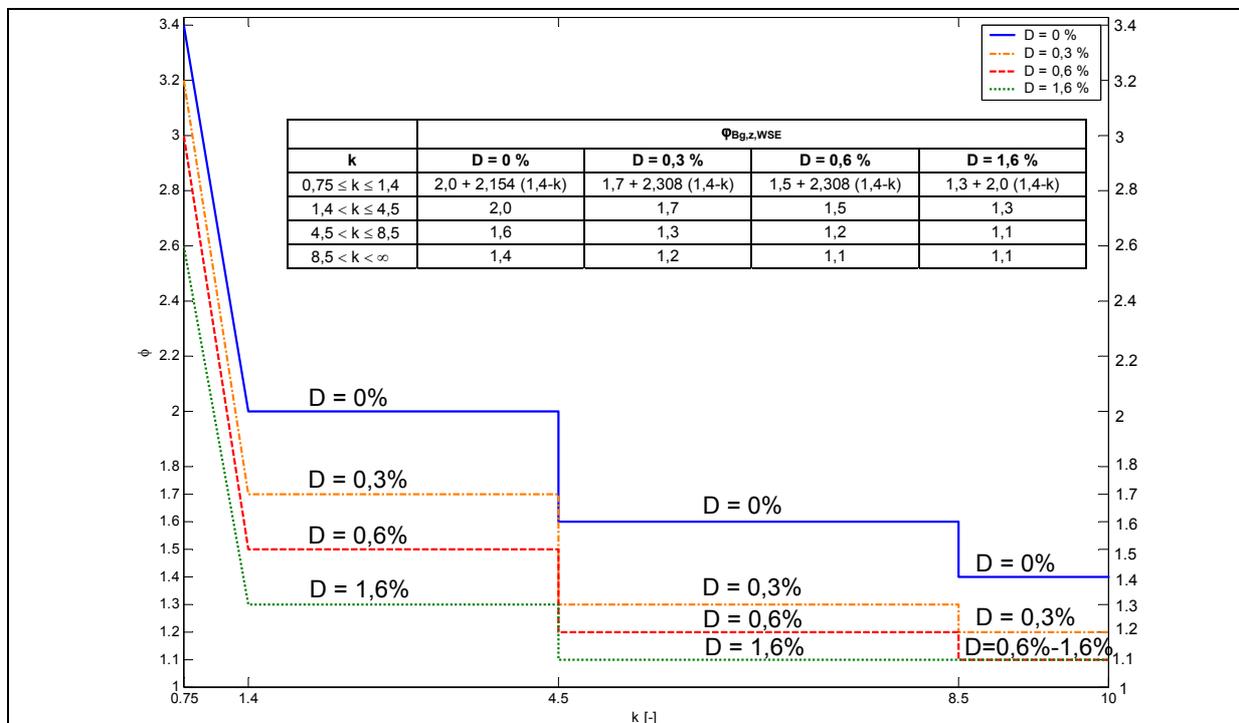


Abbildung 50 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 6 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.2.4 Schwingbeiwerte für 10-Sektionen-Fahrzeuge

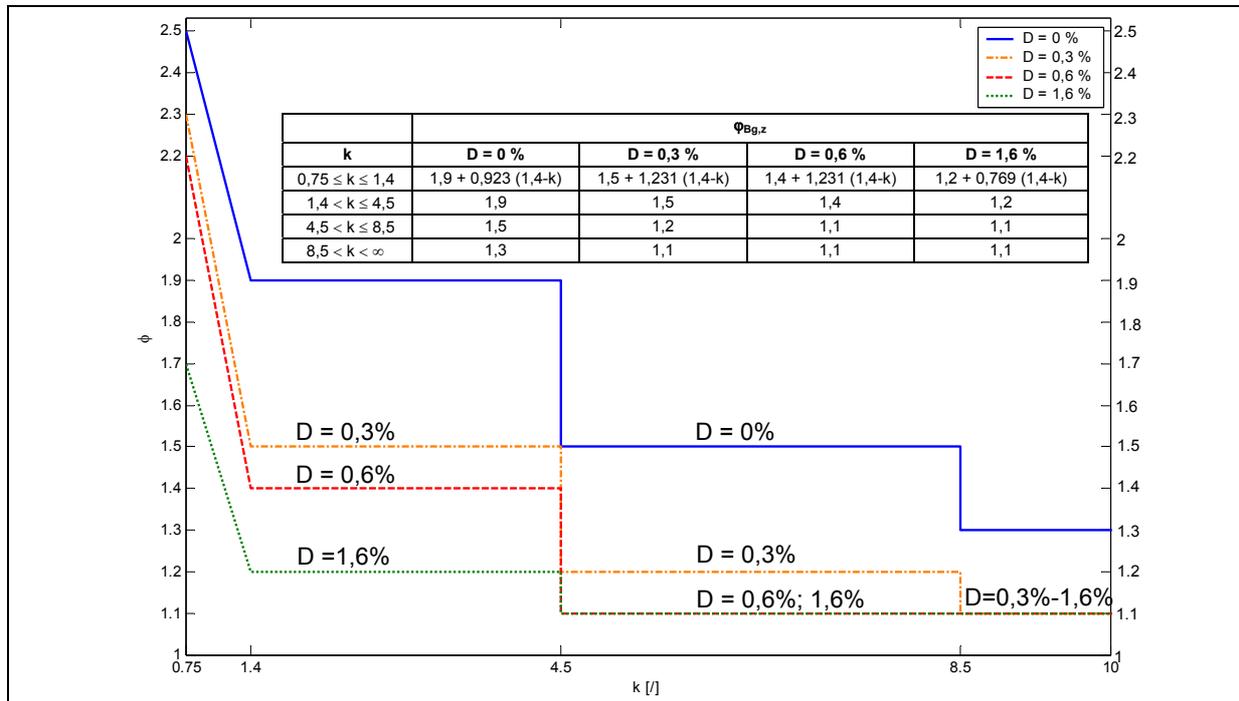


Abbildung 51 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 10 Sektionen-Fahrzeug

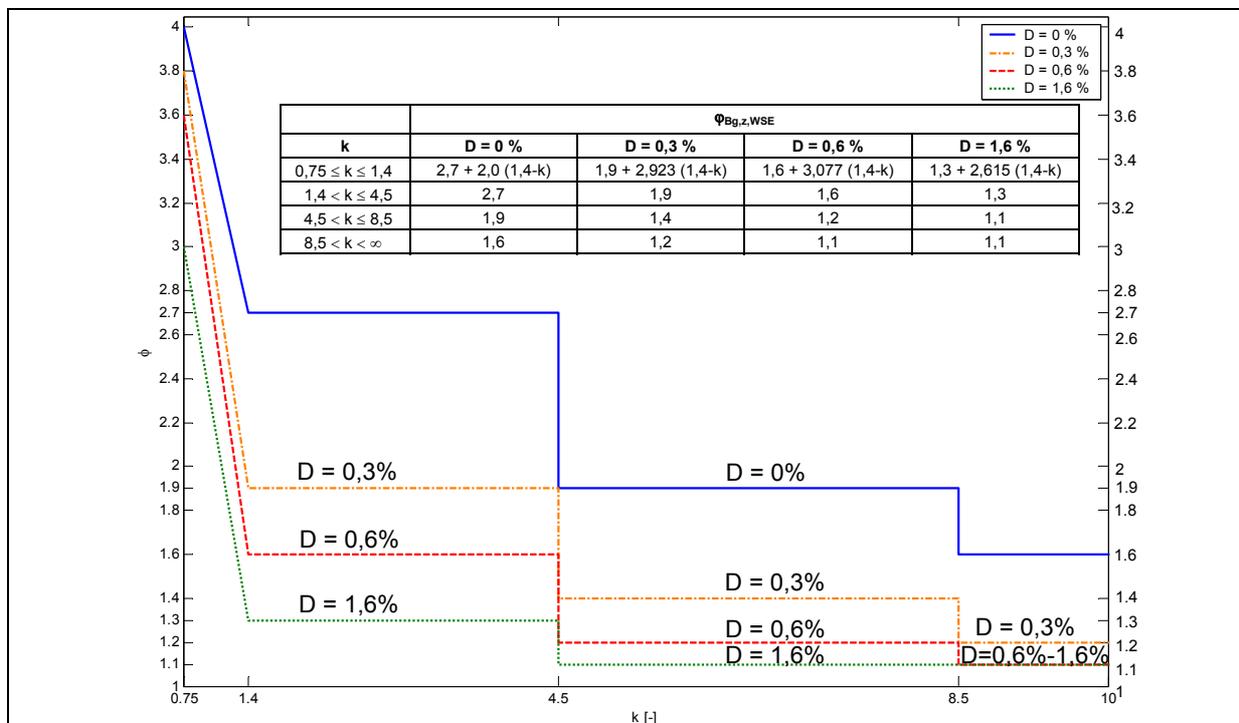


Abbildung 52 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 10 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.3 Schwingbeiwertdiagramme für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m

11.2.4.3.1 Schwingbeiwerte für 2-Sektionen-Fahrzeuge

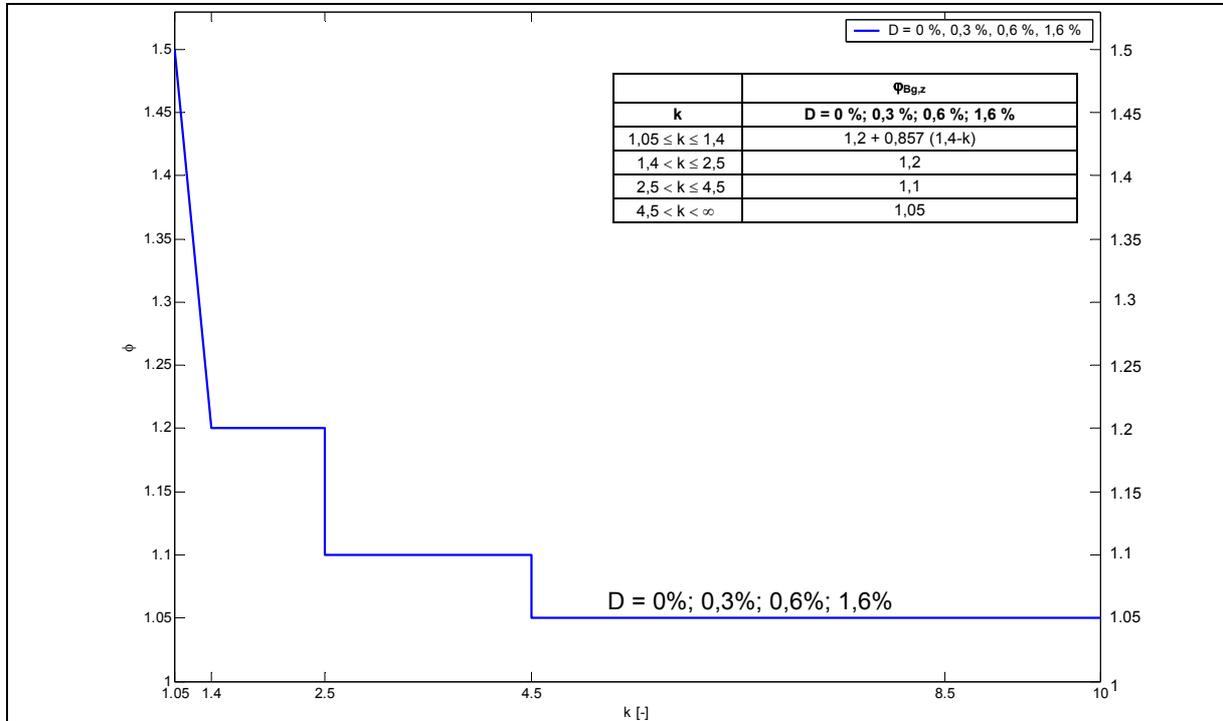


Abbildung 53 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 2 Sektionen-Fahrzeug

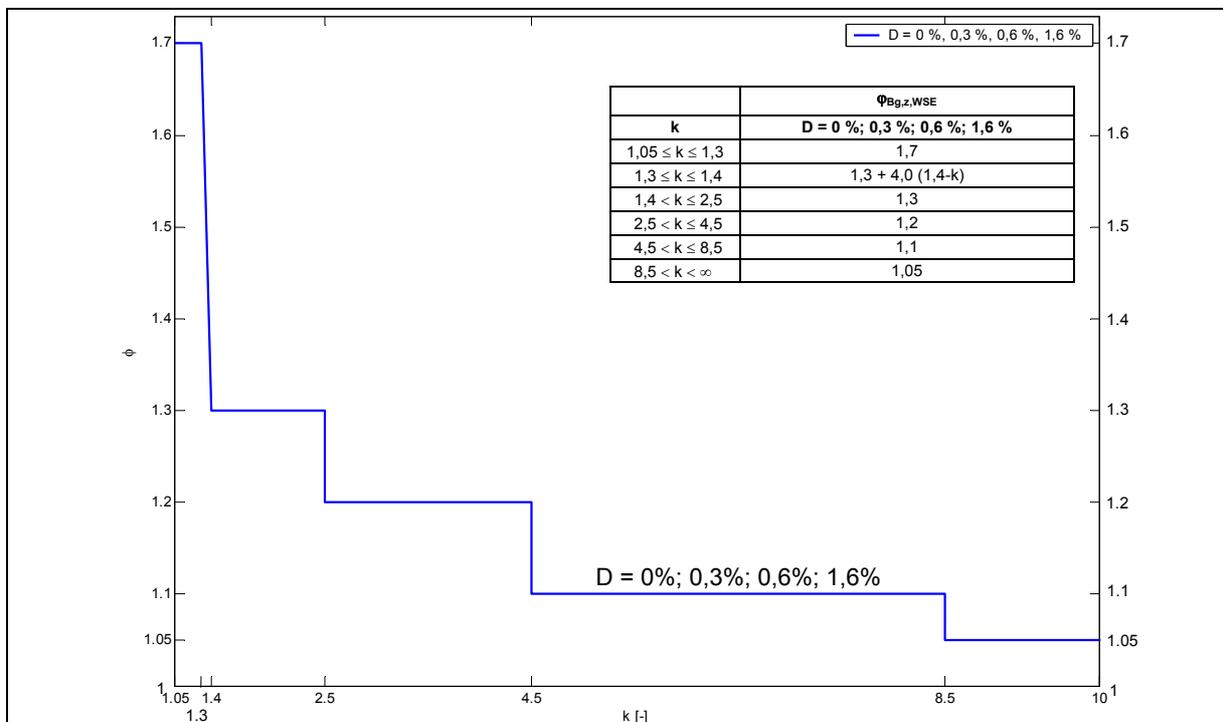


Abbildung 54 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 2 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.3.2 Schwingbeiwerte für 4-Sektionen-Fahrzeuge

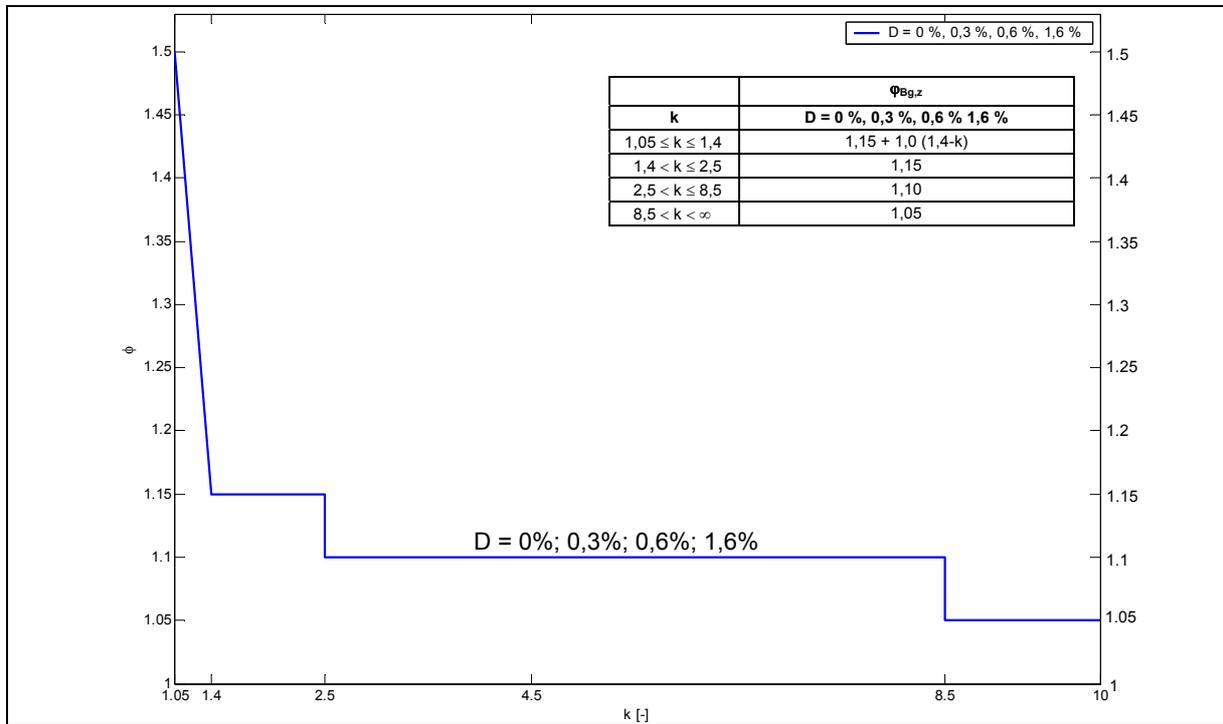


Abbildung 55 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 4 Sektionen-Fahrzeug

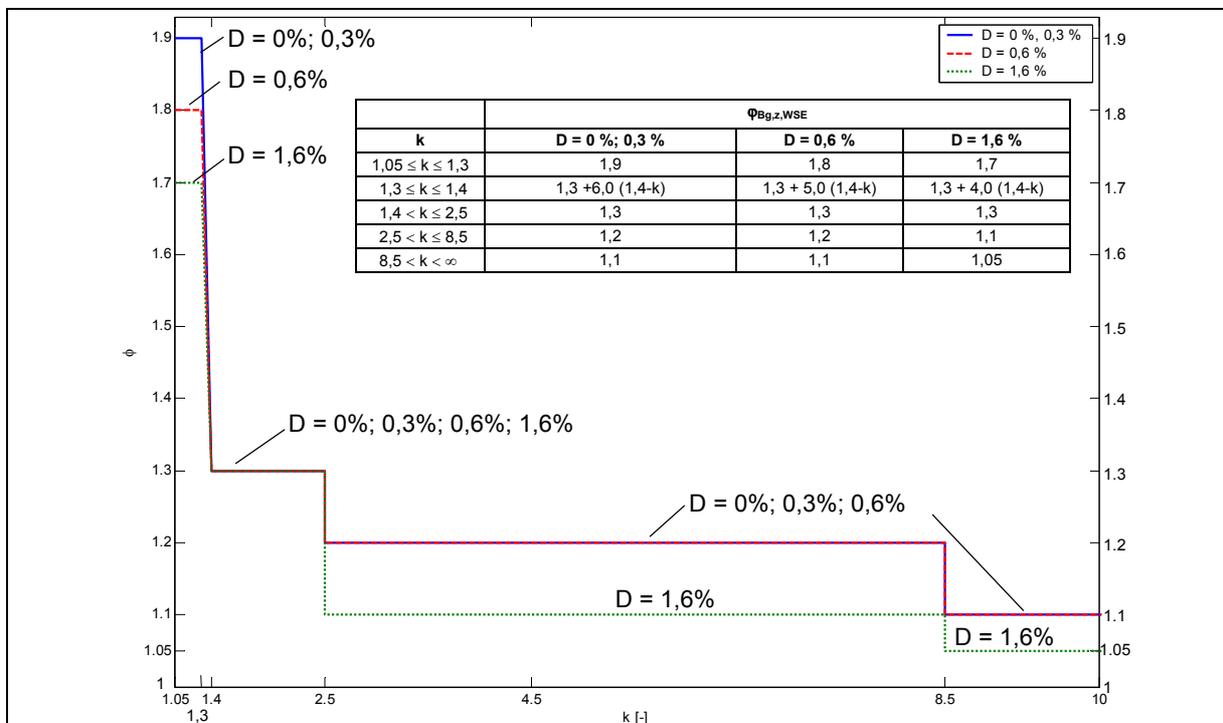


Abbildung 56 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 4 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.3.3 Schwingbeiwerte für 6-Sektionen-Fahrzeug

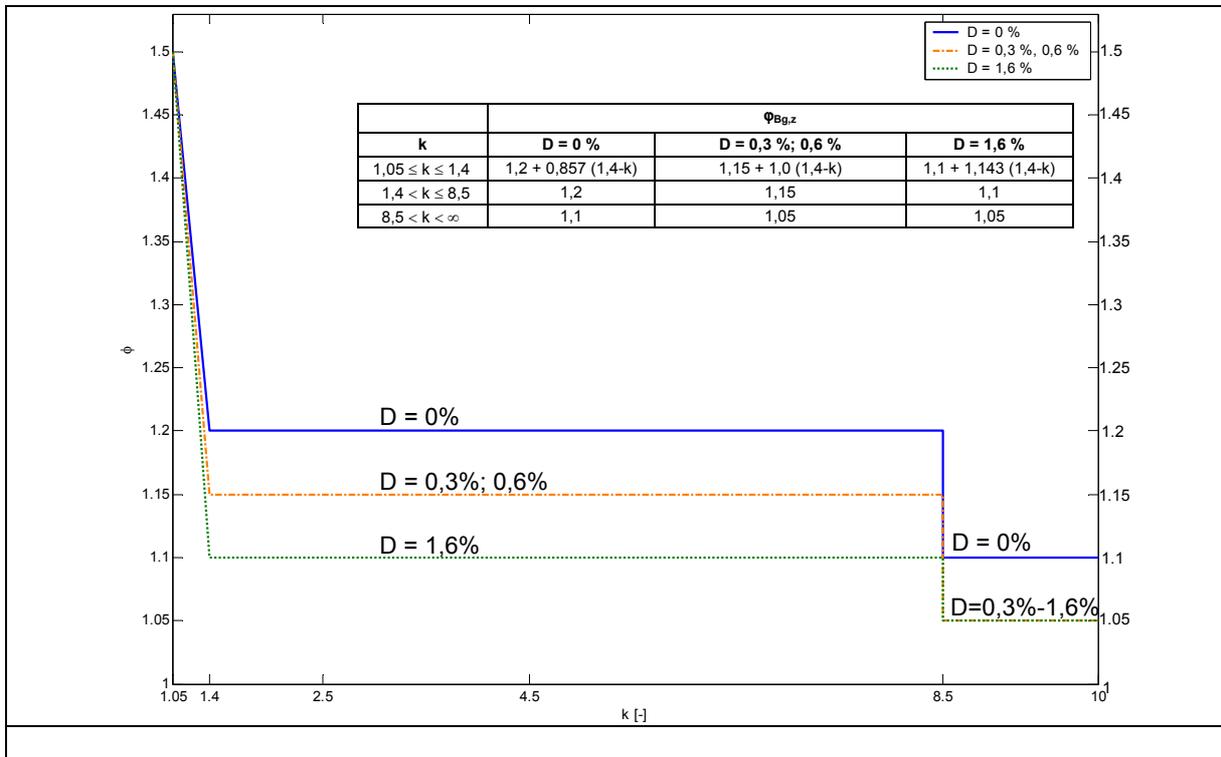


Abbildung 57 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 6 Sektionen-Fahrzeug

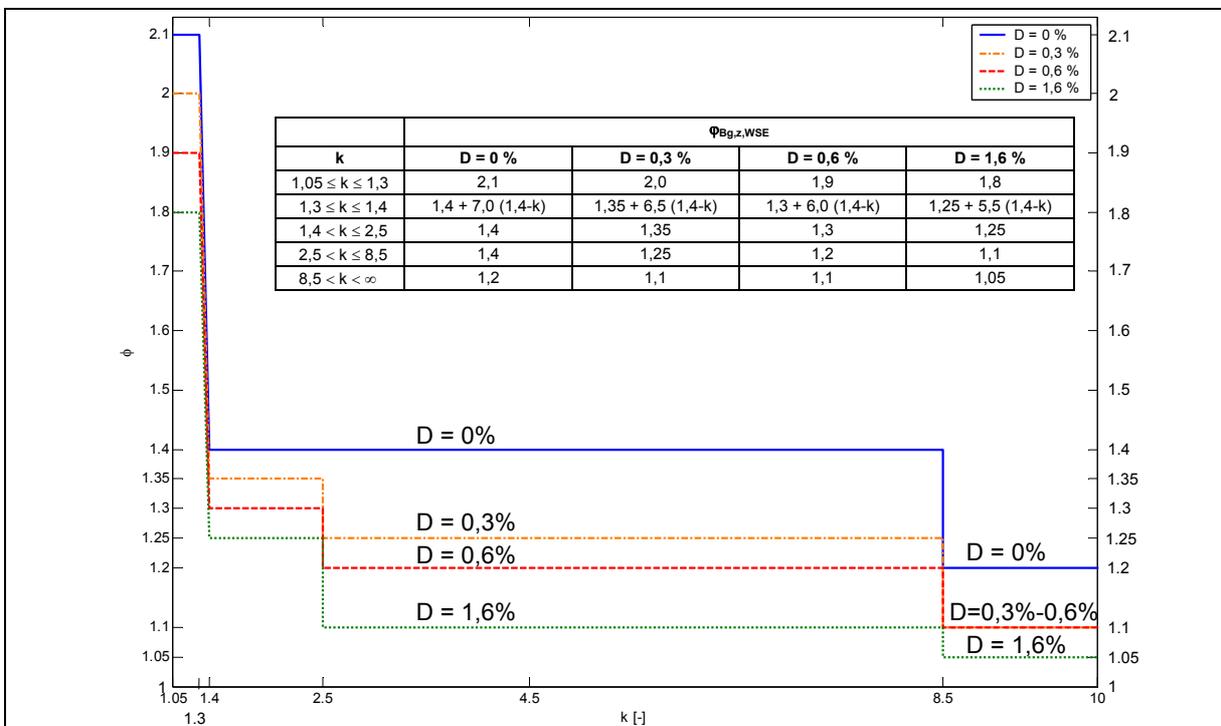


Abbildung 58 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 6 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.3.4 Schwingbeiwerte für 10-Sektionen-Fahrzeug

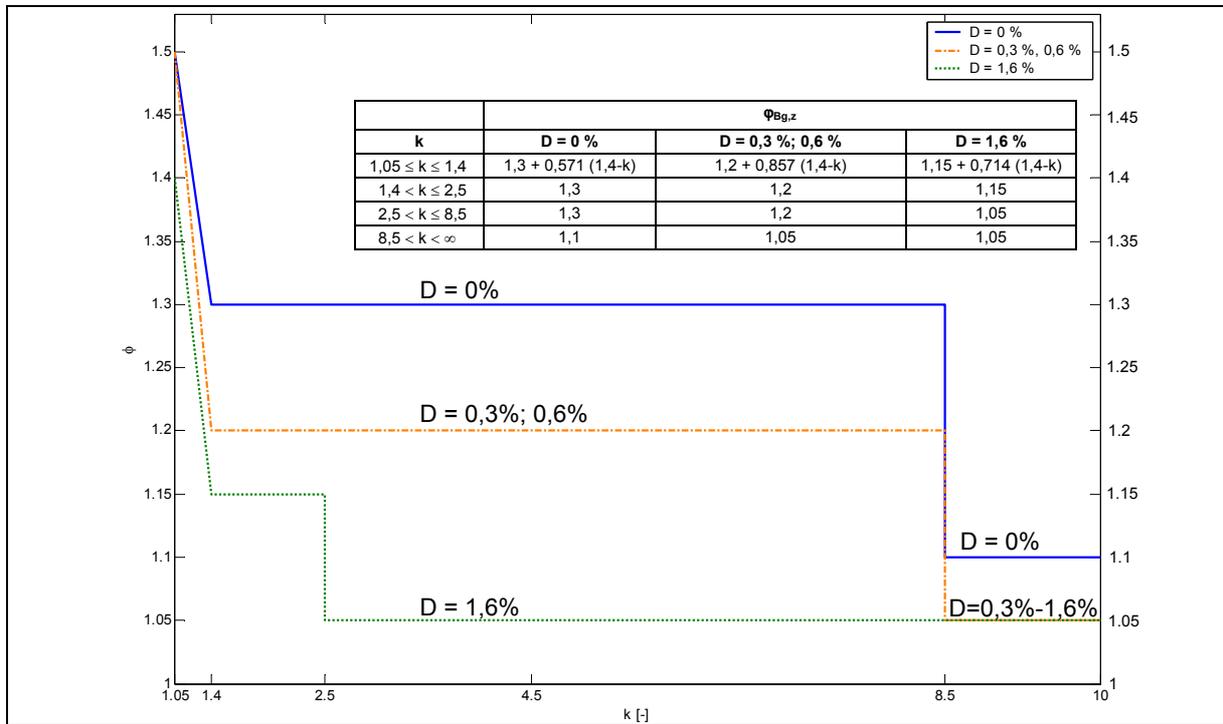


Abbildung 59 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 10 Sektionen-Fahrzeug

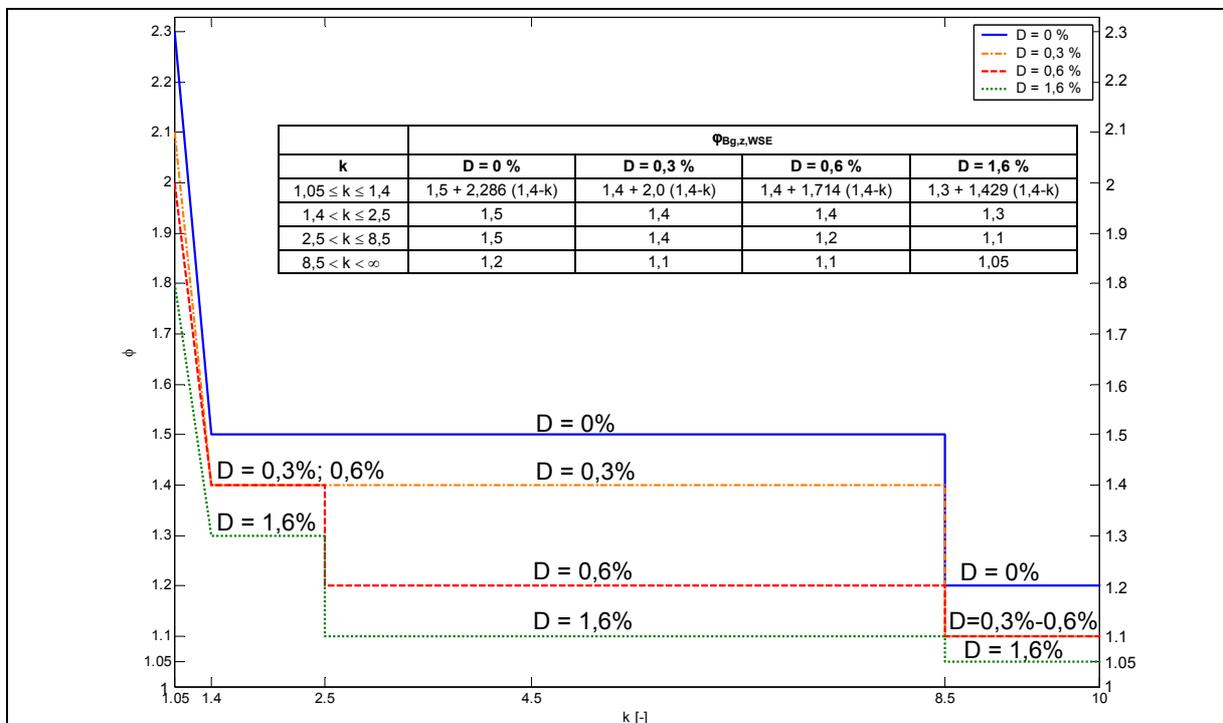


Abbildung 60 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 10 Sektionen-Fahrzeug

11.3 Anhang II-C: Grenzwerte von Trassierungselementen

Nach /MSB AG-FW TRAS/, Kapitel 4.1.7 ist die Kombination der Trassierungselemente Horizontalradius R_H , Vertikalhalbmesser R_V und Fahrwegquerneigung α über das $R_{x,z}$ -Kriterium eingeschränkt. Der Grenzwert $R_{x,z}$ ist dabei zusätzlich abhängig von der Fahrwegverwindung $\Delta\alpha$. In Tabelle 27 sind beispielhaft Kombinationsmöglichkeiten für die Grenzwerte der Trassierungsparameter angegeben.

Die Längsneigung (Steigung, Gefälle) ist in Tabelle 27 zu $s = 0\%$ angesetzt.

$R_{x,z,min} = 530 \text{ m}$ bei Verwindung $\Delta\alpha = 0^\circ/\text{m}$		
Querneigung α	Horizontalradius R_H	Vertikalhalbmesser $R_{V,(K/W)}$
0°	350 m	$R_{V,W} \leq - 530 \text{ m}$
		$R_{V,K} \geq 530 \text{ m}$
12°	350 m	$R_{V,W} \leq - 756 \text{ m}$
		$R_{V,K} \geq 530 \text{ m}$
	5050 m	$R_{V,W} \leq - 530 \text{ m}$
		$R_{V,K} \geq 554 \text{ m}$
$R_{x,z,min} = 1100 \text{ m}$ bei Verwindung $\Delta\alpha = 0,1^\circ/\text{m}$		
0°	350 m	$R_{V,W} \leq - 1100 \text{ m}$
		$R_{V,K} \geq 1100 \text{ m}$
12°	350 m	$R_{V,W} \leq - 3105 \text{ m}$
		$R_{V,K} \geq 651 \text{ m}$

Tabelle 27 - Grenzwerte der Kombination von Trassierungselementen

11.4 Anhang II-D: Allgemeine Grenzwerte der Verformungen

Die Tabellen der allgemeinen Grenzwerte der Verformungen sind derzeit in Bearbeitung. Die anzusetzenden Grenzwerte der Verformungen sind ggf. bis zur Fertigstellung des Berichtes mit der zuständigen Aufsichtsbehörde abzustimmen.

11.5 Anhang II-E: Tabellen der Magnetkräfte infolge Seitenwind (Q9a)

In den nachfolgenden Tabellen sind für die Fahrgeschwindigkeiten 0 km/h, 200 km/h, 300 km/h, 400 km/h und 500 km/h und für Seitenwindgeschwindigkeiten von 10 m/s bis 40 m/s die zugehörigen Führ- und Tragmagnetkräfte der vorlaufenden Endsektion und der Mittelsektionen angegeben. Die Kräfte für z.B. dazwischenliegende Fahrgeschwindigkeiten sind durch Interpolation/Extrapolation projektspezifisch zu ermitteln.

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Fühtmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	-	37,1	13,6	19,5	14,1	13,6	13,8	-	-	11,0	8,1	7,5	6,1	4,9	1,8	1,3
39	-	35,5	13,1	18,9	13,6	13,0	13,3	-	-	10,5	7,8	7,2	5,9	4,7	1,8	1,2
38	-	33,9	12,7	18,2	13,0	12,5	12,7	-	-	10,1	7,5	6,9	5,7	4,5	1,7	1,2
37	-	32,4	12,2	17,6	12,5	12,0	12,2	-	-	9,7	7,2	6,7	5,4	4,3	1,6	1,1
36	-	30,9	11,7	16,9	12,0	11,5	11,6	-	-	9,2	6,9	6,4	5,2	4,2	1,6	1,1
35	-	29,4	11,3	16,3	11,4	11,0	11,1	-	-	8,8	6,6	6,1	5,0	4,0	1,5	1,0
34	-	27,9	10,8	15,6	10,9	10,5	10,6	-	-	8,4	6,3	5,8	4,7	3,8	1,5	1,0
33	-	26,5	10,4	15,0	10,4	10,0	10,1	-	-	8,0	6,0	5,6	4,5	3,6	1,4	0,9
32	-	25,1	9,9	14,4	9,9	9,5	9,6	-	-	7,6	5,7	5,3	4,3	3,4	1,3	0,9
31	-	23,8	9,5	13,8	9,4	9,0	9,1	-	-	7,2	5,4	5,1	4,1	3,3	1,3	0,9
30	-	22,5	9,1	13,2	9,0	8,6	8,6	-	-	6,8	5,1	4,8	3,9	3,1	1,2	0,8
29	-	21,2	8,6	12,6	8,5	8,1	8,2	-	-	6,4	4,9	4,6	3,7	2,9	1,2	0,8
28	-	19,9	8,2	12,0	8,0	7,7	7,7	-	-	6,1	4,6	4,3	3,5	2,8	1,1	0,7
27	-	18,7	7,8	11,4	7,6	7,3	7,3	-	-	5,7	4,3	4,1	3,3	2,6	1,0	0,7
26	-	17,5	7,4	10,8	7,1	6,8	6,8	-	-	5,4	4,1	3,9	3,1	2,5	1,0	0,7
25	-	16,3	7,0	10,3	6,7	6,4	6,4	-	-	5,0	3,8	3,6	2,9	2,3	0,9	0,6
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m](+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	7,4	5,6	6,8	4,7	8,3	2,0	5,6	3,2	3,8	4,2	4,8	2,6	5,0	1,4	3,7	
39	7,1	5,4	6,5	4,5	8,0	1,9	5,4	3,1	3,6	4,0	4,6	2,5	4,8	1,4	3,6	
38	6,8	5,2	6,3	4,4	7,7	1,8	5,2	3,0	3,5	3,9	4,4	2,4	4,6	1,3	3,4	
37	6,5	5,0	6,0	4,2	7,4	1,8	5,0	2,8	3,3	3,7	4,2	2,3	4,4	1,3	3,3	
36	6,3	4,8	5,7	4,0	7,1	1,7	4,7	2,7	3,2	3,5	4,0	2,2	4,2	1,2	3,1	
35	6,0	4,6	5,5	3,8	6,7	1,6	4,5	2,6	3,1	3,4	3,9	2,1	4,1	1,2	3,0	
34	5,7	4,4	5,2	3,7	6,4	1,5	4,3	2,5	2,9	3,2	3,7	2,0	3,9	1,1	2,9	
33	5,4	4,2	5,0	3,5	6,1	1,5	4,1	2,3	2,8	3,1	3,5	1,9	3,7	1,1	2,7	
32	5,2	4,0	4,7	3,3	5,8	1,4	3,9	2,2	2,6	2,9	3,3	1,8	3,5	1,0	2,6	
31	4,9	3,8	4,5	3,2	5,6	1,3	3,7	2,1	2,5	2,8	3,2	1,7	3,3	1,0	2,5	
30	4,7	3,6	4,2	3,0	5,3	1,2	3,6	2,0	2,4	2,7	3,0	1,6	3,2	0,9	2,3	
29	4,4	3,5	4,0	2,9	5,0	1,2	3,4	1,9	2,2	2,5	2,8	1,5	3,0	0,9	2,2	
28	4,2	3,3	3,8	2,7	4,7	1,1	3,2	1,8	2,1	2,4	2,7	1,4	2,8	0,8	2,1	
27	3,9	3,1	3,6	2,5	4,5	1,0	3,0	1,7	2,0	2,2	2,5	1,4	2,7	0,8	2,0	
26	3,7	2,9	3,4	2,4	4,2	1,0	2,8	1,6	1,9	2,1	2,4	1,3	2,5	0,7	1,9	
25	3,5	2,8	3,1	2,3	3,9	0,9	2,7	1,5	1,8	2,0	2,2	1,2	2,4	0,7	1,7	

Tabelle 28 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 500$ km/h, $v_w = 25 \dots 40$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

V _w [m/s]	Fühtmagnetkräfte $p_{y,W,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	-	16,3	7,0	10,3	6,7	6,4	6,4	-	-	5,0	3,8	3,6	2,9	2,3	0,9	0,6
24	-	15,2	6,6	9,7	6,3	6,0	6,0	-	-	4,7	3,6	3,4	2,7	2,2	0,9	0,6
23	-	14,1	6,2	9,2	5,9	5,6	5,6	-	-	4,4	3,4	3,2	2,5	2,0	0,8	0,5
22	-	13,1	5,8	8,6	5,5	5,2	5,2	-	-	4,1	3,1	3,0	2,3	1,9	0,8	0,5
21	-	12,0	5,5	8,1	5,1	4,9	4,8	-	-	3,8	2,9	2,8	2,2	1,8	0,7	0,5
20	-	11,1	5,1	7,6	4,7	4,5	4,4	-	-	3,5	2,7	2,6	2,0	1,6	0,7	0,4
19	-	10,1	4,7	7,0	4,4	4,1	4,1	-	-	3,2	2,5	2,4	1,9	1,5	0,6	0,4
18	-	9,2	4,4	6,5	4,0	3,8	3,7	-	-	2,9	2,3	2,2	1,7	1,4	0,6	0,4
17	-	8,3	4,0	6,1	3,7	3,5	3,4	-	-	2,6	2,1	2,0	1,5	1,2	0,5	0,3
16	-	7,5	3,7	5,6	3,3	3,2	3,1	-	-	2,4	1,9	1,8	1,4	1,1	0,5	0,3
15	-	6,7	3,4	5,1	3,0	2,8	2,8	-	-	2,1	1,7	1,7	1,3	1,0	0,4	0,3
14	-	5,9	3,1	4,6	2,7	2,5	2,5	-	-	1,9	1,5	1,5	1,1	0,9	0,4	0,3
13	-	5,2	2,8	4,2	2,4	2,3	2,2	-	-	1,7	1,4	1,3	1,0	0,8	0,4	0,2
12	-	4,5	2,5	3,8	2,1	2,0	1,9	-	-	1,5	1,2	1,2	0,9	0,7	0,3	0,2
11	-	3,9	2,2	3,3	1,8	1,7	1,7	-	-	1,3	1,0	1,0	0,8	0,6	0,3	0,2
10	-	3,3	1,9	2,9	1,6	1,5	1,4	-	-	1,1	0,9	0,9	0,7	0,5	0,2	0,2
V _w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,W,TMTi}$ $p_{z,W,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	3,5	2,8	3,1	2,3	3,9	0,9	2,7	1,5	1,8	2,0	2,2	1,2	2,4	0,7	1,7	
24	3,3	2,6	2,9	2,1	3,7	0,9	2,5	1,4	1,6	1,9	2,1	1,1	2,2	0,6	1,6	
23	3,0	2,4	2,7	2,0	3,5	0,8	2,3	1,3	1,5	1,7	2,0	1,1	2,1	0,6	1,5	
22	2,8	2,3	2,5	1,8	3,2	0,7	2,2	1,2	1,4	1,6	1,8	1,0	1,9	0,6	1,4	
21	2,6	2,1	2,4	1,7	3,0	0,7	2,0	1,1	1,3	1,5	1,7	0,9	1,8	0,5	1,3	
20	2,4	2,0	2,2	1,6	2,8	0,6	1,9	1,0	1,2	1,4	1,6	0,8	1,6	0,5	1,2	
19	2,2	1,8	2,0	1,5	2,5	0,6	1,7	0,9	1,1	1,3	1,4	0,8	1,5	0,4	1,1	
18	2,0	1,7	1,8	1,3	2,3	0,5	1,6	0,9	1,0	1,2	1,3	0,7	1,4	0,4	1,0	
17	1,9	1,5	1,7	1,2	2,1	0,5	1,4	0,8	0,9	1,1	1,2	0,6	1,3	0,4	0,9	
16	1,7	1,4	1,5	1,1	1,9	0,4	1,3	0,7	0,8	1,0	1,1	0,6	1,1	0,3	0,9	
15	1,5	1,3	1,4	1,0	1,7	0,4	1,2	0,6	0,8	0,9	1,0	0,5	1,0	0,3	0,8	
14	1,4	1,2	1,2	0,9	1,6	0,4	1,1	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	0,9	0,3	0,7	
13	1,2	1,0	1,1	0,8	1,4	0,3	0,9	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,8	0,2	0,6	
12	1,1	0,9	0,9	0,7	1,2	0,3	0,8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,4	0,7	0,2	0,5	
11	0,9	0,8	0,8	0,6	1,1	0,2	0,7	0,4	0,5	0,5	0,6	0,3	0,6	0,2	0,5	
10	0,8	0,7	0,7	0,5	0,9	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,5	0,2	0,4	

Tabelle 29 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 500$ km/h, $v_w = 10 .. 25$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	2,4	1,8	4,4	6,0	6,2	6,4	8,1	-	-	9,6	9,5	9,8	12,6	10,7	6,1	2,6
39	2,3	1,7	4,3	5,7	5,9	6,2	7,8	-	-	9,1	9,1	9,4	12,1	10,3	5,9	2,5
38	2,2	1,7	4,1	5,5	5,7	5,9	7,5	-	-	8,7	8,7	9,0	11,6	9,9	5,6	2,4
37	2,1	1,6	4,0	5,3	5,5	5,7	7,2	-	-	8,3	8,3	8,7	11,1	9,5	5,4	2,3
36	2,0	1,6	3,8	5,1	5,2	5,5	6,9	-	-	7,9	7,9	8,3	10,7	9,1	5,2	2,2
35	1,9	1,5	3,6	4,8	5,0	5,2	6,6	-	-	7,5	7,5	7,9	10,2	8,7	5,0	2,2
34	1,8	1,5	3,5	4,6	4,8	5,0	6,3	-	-	7,1	7,2	7,6	9,7	8,3	4,8	2,1
33	1,7	1,4	3,3	4,4	4,6	4,8	6,0	-	-	6,7	6,8	7,2	9,3	8,0	4,6	2,0
32	1,6	1,3	3,2	4,2	4,4	4,5	5,7	-	-	6,3	6,5	6,9	8,9	7,6	4,3	1,9
31	1,5	1,3	3,0	4,0	4,2	4,3	5,4	-	-	6,0	6,1	6,5	8,4	7,2	4,1	1,8
30	1,5	1,2	2,9	3,8	4,0	4,1	5,2	-	-	5,6	5,8	6,2	8,0	6,9	3,9	1,8
29	1,4	1,2	2,7	3,6	3,8	3,9	4,9	-	-	5,3	5,5	5,9	7,6	6,5	3,7	1,7
28	1,3	1,1	2,6	3,4	3,6	3,7	4,6	-	-	4,9	5,2	5,6	7,2	6,2	3,5	1,6
27	1,2	1,1	2,5	3,2	3,4	3,5	4,4	-	-	4,6	4,8	5,2	6,8	5,8	3,4	1,5
26	1,1	1,0	2,3	3,0	3,2	3,3	4,1	-	-	4,3	4,5	4,9	6,4	5,5	3,2	1,5
25	1,1	1,0	2,2	2,8	3,0	3,1	3,9	-	-	4,0	4,3	4,6	6,0	5,2	3,0	1,4
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	1,5	1,6	2,7	1,8	2,5	2,6	1,9	2,1	2,7	1,3	3,9	2,6	3,0	3,9	1,8	1,5
39	1,4	1,6	2,6	1,8	2,4	2,5	1,8	2,0	2,6	1,3	3,8	2,5	2,8	3,8	1,8	1,4
38	1,3	1,5	2,5	1,7	2,3	2,4	1,8	1,8	2,5	1,2	3,6	2,4	2,7	3,6	1,7	1,3
37	1,3	1,4	2,3	1,6	2,2	2,3	1,7	1,7	2,4	1,1	3,5	2,3	2,6	3,5	1,6	1,3
36	1,2	1,4	2,2	1,5	2,1	2,2	1,6	1,6	2,3	1,1	3,3	2,2	2,5	3,3	1,5	1,2
35	1,2	1,3	2,1	1,5	2,0	2,1	1,5	1,5	2,2	1,0	3,2	2,1	2,4	3,2	1,5	1,2
34	1,1	1,3	2,1	1,4	1,9	2,0	1,5	1,4	2,1	1,0	3,0	2,0	2,3	3,0	1,4	1,1
33	1,1	1,2	2,0	1,3	1,8	1,9	1,4	1,3	2,0	1,0	2,9	1,9	2,2	2,9	1,3	1,1
32	1,0	1,1	1,9	1,3	1,7	1,8	1,3	1,2	2,0	0,9	2,8	1,8	2,1	2,7	1,3	1,0
31	1,0	1,1	1,8	1,2	1,7	1,7	1,3	1,1	1,9	0,9	2,6	1,7	2,0	2,6	1,2	1,0
30	0,9	1,0	1,7	1,2	1,6	1,6	1,2	1,1	1,8	0,8	2,5	1,6	1,9	2,5	1,2	0,9
29	0,9	1,0	1,6	1,1	1,5	1,5	1,1	1,0	1,7	0,8	2,4	1,5	1,8	2,3	1,1	0,9
28	0,8	0,9	1,5	1,0	1,4	1,5	1,1	0,9	1,6	0,7	2,3	1,4	1,7	2,2	1,0	0,8
27	0,8	0,9	1,4	1,0	1,3	1,4	1,0	0,8	1,5	0,7	2,1	1,4	1,6	2,1	1,0	0,8
26	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,3	0,9	0,8	1,4	0,6	2,0	1,3	1,5	2,0	0,9	0,7
25	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,2	0,9	0,7	1,4	0,6	1,9	1,2	1,4	1,8	0,9	0,7

Tabelle 30 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 500$ km/h, $v_w = 25 \dots 40$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	1,1	1,0	2,2	2,8	3,0	3,1	3,9	-	-	4,0	4,3	4,6	6,0	5,2	3,0	1,4
24	1,0	0,9	2,1	2,7	2,8	2,9	3,6	-	-	3,7	4,0	4,3	5,7	4,9	2,8	1,3
23	0,9	0,9	1,9	2,5	2,6	2,7	3,4	-	-	3,4	3,7	4,1	5,3	4,5	2,6	1,2
22	0,9	0,8	1,8	2,3	2,5	2,5	3,1	-	-	3,2	3,4	3,8	4,9	4,2	2,5	1,2
21	0,8	0,8	1,7	2,2	2,3	2,4	2,9	-	-	2,9	3,2	3,5	4,6	3,9	2,3	1,1
20	0,7	0,7	1,6	2,0	2,1	2,2	2,7	-	-	2,7	2,9	3,3	4,3	3,7	2,1	1,0
19	0,7	0,7	1,5	1,8	2,0	2,0	2,5	-	-	2,4	2,7	3,0	3,9	3,4	2,0	1,0
18	0,6	0,6	1,3	1,7	1,8	1,9	2,3	-	-	2,2	2,4	2,8	3,6	3,1	1,8	0,9
17	0,6	0,6	1,2	1,5	1,7	1,7	2,1	-	-	2,0	2,2	2,5	3,3	2,8	1,7	0,8
16	0,5	0,6	1,1	1,4	1,5	1,5	1,9	-	-	1,8	2,0	2,3	3,0	2,6	1,5	0,8
15	0,4	0,5	1,0	1,3	1,4	1,4	1,7	-	-	1,6	1,8	2,1	2,7	2,3	1,4	0,7
14	0,4	0,5	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	-	-	1,4	1,6	1,8	2,4	2,1	1,2	0,6
13	0,4	0,4	0,8	1,0	1,1	1,1	1,4	-	-	1,2	1,4	1,6	2,2	1,9	1,1	0,6
12	0,3	0,4	0,7	0,9	1,0	1,0	1,2	-	-	1,0	1,2	1,4	1,9	1,7	1,0	0,5
11	0,3	0,3	0,6	0,8	0,8	0,9	1,0	-	-	0,9	1,0	1,3	1,7	1,4	0,9	0,5
10	0,2	0,3	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	-	-	0,7	0,9	1,1	1,4	1,2	0,7	0,4
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,2	0,9	0,7	1,4	0,6	1,9	1,2	1,4	1,8	0,9	0,7
24	0,6	0,7	1,2	0,8	1,1	1,1	0,8	0,6	1,3	0,6	1,8	1,1	1,3	1,7	0,8	0,6
23	0,6	0,7	1,1	0,8	1,0	1,1	0,8	0,6	1,2	0,5	1,7	1,0	1,2	1,6	0,8	0,6
22	0,6	0,6	1,0	0,7	1,0	1,0	0,7	0,5	1,1	0,5	1,5	1,0	1,2	1,5	0,7	0,6
21	0,5	0,6	1,0	0,7	0,9	0,9	0,7	0,5	1,1	0,5	1,4	0,9	1,1	1,4	0,7	0,5
20	0,5	0,5	0,9	0,6	0,8	0,9	0,6	0,4	1,0	0,4	1,3	0,8	1,0	1,3	0,6	0,5
19	0,4	0,5	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4	0,9	0,4	1,2	0,8	0,9	1,2	0,6	0,4
18	0,4	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,5	0,3	0,8	0,4	1,1	0,7	0,8	1,1	0,5	0,4
17	0,4	0,4	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,3	0,8	0,3	1,0	0,6	0,8	1,0	0,5	0,4
16	0,3	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,4	0,2	0,7	0,3	0,9	0,6	0,7	0,9	0,4	0,3
15	0,3	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,6	0,3	0,8	0,5	0,6	0,8	0,4	0,3
14	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5	0,3	0,2	0,6	0,2	0,8	0,5	0,6	0,7	0,3	0,3
13	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2	0,7	0,4	0,5	0,6	0,3	0,2
12	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2	0,6	0,4	0,4	0,6	0,3	0,2
11	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,5	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2
10	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,1	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2

Tabelle 31 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 500$ km/h, $v_w = 10 \dots 25$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führomagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	-	27,9	13,4	18,6	13,2	12,7	12,9	-	-	10,2	7,6	7,1	5,6	4,6	1,9	1,0
39	-	26,7	12,9	18,0	12,7	12,2	12,4	-	-	9,8	7,3	6,8	5,4	4,4	1,8	0,9
38	-	25,5	12,4	17,4	12,2	11,7	11,9	-	-	9,4	7,0	6,5	5,2	4,2	1,8	0,9
37	-	24,4	11,9	16,7	11,7	11,2	11,4	-	-	9,0	6,7	6,3	5,0	4,0	1,7	0,9
36	-	23,3	11,4	16,1	11,2	10,7	10,9	-	-	8,6	6,4	6,0	4,7	3,9	1,6	0,8
35	-	22,2	11,0	15,5	10,7	10,3	10,4	-	-	8,2	6,1	5,7	4,5	3,7	1,6	0,8
34	-	21,1	10,5	14,9	10,2	9,8	9,9	-	-	7,8	5,9	5,5	4,3	3,5	1,5	0,8
33	-	20,0	10,0	14,3	9,7	9,3	9,4	-	-	7,4	5,6	5,3	4,1	3,3	1,4	0,7
32	-	19,0	9,6	13,7	9,3	8,9	9,0	-	-	7,0	5,3	5,0	3,9	3,2	1,4	0,7
31	-	18,0	9,2	13,1	8,8	8,5	8,5	-	-	6,7	5,1	4,8	3,7	3,0	1,3	0,7
30	-	17,0	8,7	12,6	8,4	8,0	8,1	-	-	6,3	4,8	4,5	3,5	2,9	1,3	0,6
29	-	16,1	8,3	12,0	7,9	7,6	7,6	-	-	6,0	4,6	4,3	3,3	2,7	1,2	0,6
28	-	15,1	7,9	11,4	7,5	7,2	7,2	-	-	5,6	4,3	4,1	3,2	2,6	1,1	0,6
27	-	14,2	7,5	10,9	7,1	6,8	6,8	-	-	5,3	4,1	3,9	3,0	2,4	1,1	0,5
26	-	13,3	7,0	10,3	6,7	6,4	6,4	-	-	5,0	3,8	3,6	2,8	2,3	1,0	0,5
25	-	12,5	6,6	9,8	6,3	6,0	6,0	-	-	4,7	3,6	3,4	2,6	2,1	1,0	0,5
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	6,6	5,4	6,4	4,4	7,9	1,8	5,3	3,0	3,5	3,9	4,5	2,4	4,7	1,3	3,5	
39	6,3	5,2	6,1	4,2	7,6	1,7	5,1	2,9	3,4	3,7	4,3	2,3	4,5	1,2	3,3	
38	6,1	5,0	5,8	4,0	7,2	1,7	4,8	2,7	3,2	3,6	4,1	2,2	4,3	1,2	3,2	
37	5,8	4,8	5,6	3,9	6,9	1,6	4,6	2,6	3,1	3,4	3,9	2,1	4,1	1,1	3,1	
36	5,6	4,6	5,4	3,7	6,7	1,5	4,4	2,5	3,0	3,3	3,8	2,0	4,0	1,1	2,9	
35	5,3	4,4	5,1	3,5	6,4	1,5	4,3	2,4	2,8	3,2	3,6	1,9	3,8	1,0	2,8	
34	5,1	4,2	4,9	3,4	6,1	1,4	4,1	2,3	2,7	3,0	3,4	1,8	3,6	1,0	2,7	
33	4,8	4,0	4,6	3,2	5,8	1,3	3,9	2,2	2,6	2,9	3,3	1,7	3,4	1,0	2,5	
32	4,6	3,8	4,4	3,1	5,5	1,3	3,7	2,1	2,4	2,7	3,1	1,7	3,3	0,9	2,4	
31	4,4	3,6	4,2	2,9	5,2	1,2	3,5	2,0	2,3	2,6	3,0	1,6	3,1	0,9	2,3	
30	4,2	3,5	4,0	2,8	5,0	1,1	3,3	1,9	2,2	2,5	2,8	1,5	2,9	0,8	2,2	
29	3,9	3,3	3,7	2,6	4,7	1,1	3,1	1,8	2,1	2,3	2,7	1,4	2,8	0,8	2,1	
28	3,7	3,1	3,5	2,5	4,5	1,0	3,0	1,7	2,0	2,2	2,5	1,3	2,6	0,7	2,0	
27	3,5	3,0	3,3	2,4	4,2	0,9	2,8	1,6	1,9	2,1	2,4	1,3	2,5	0,7	1,8	
26	3,3	2,8	3,1	2,2	4,0	0,9	2,6	1,5	1,7	2,0	2,2	1,2	2,3	0,7	1,7	
25	3,1	2,6	2,9	2,1	3,7	0,8	2,5	1,4	1,6	1,9	2,1	1,1	2,2	0,6	1,6	

Tabelle 32 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 400$ km/h, $v_w = 25 .. 40$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_W [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,W,FM Ti}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	-	12,5	6,6	9,8	6,3	6,0	6,0	-	-	4,7	3,6	3,4	2,6	2,1	1,0	0,5
24	-	11,6	6,3	9,2	5,9	5,6	5,6	-	-	4,3	3,4	3,2	2,5	2,0	0,9	0,4
23	-	10,8	5,9	8,7	5,5	5,3	5,2	-	-	4,0	3,2	3,0	2,3	1,9	0,9	0,4
22	-	10,0	5,5	8,2	5,1	4,9	4,8	-	-	3,8	2,9	2,8	2,1	1,7	0,8	0,4
21	-	9,2	5,1	7,7	4,8	4,6	4,5	-	-	3,5	2,7	2,6	2,0	1,6	0,7	0,4
20	-	8,5	4,8	7,2	4,4	4,2	4,1	-	-	3,2	2,5	2,4	1,8	1,5	0,7	0,3
19	-	7,8	4,4	6,7	4,1	3,9	3,8	-	-	2,9	2,3	2,2	1,7	1,4	0,6	0,3
18	-	7,1	4,1	6,2	3,7	3,6	3,5	-	-	2,7	2,1	2,1	1,6	1,3	0,6	0,3
17	-	6,4	3,7	5,8	3,4	3,3	3,2	-	-	2,4	1,9	1,9	1,4	1,2	0,6	0,3
16	-	5,8	3,4	5,3	3,1	3,0	2,9	-	-	2,2	1,8	1,7	1,3	1,0	0,5	0,2
15	-	5,2	3,1	4,9	2,8	2,7	2,6	-	-	2,0	1,6	1,6	1,2	0,9	0,5	0,2
14	-	4,6	2,8	4,4	2,5	2,4	2,3	-	-	1,8	1,4	1,4	1,0	0,8	0,4	0,2
13	-	4,1	2,5	4,0	2,2	2,1	2,0	-	-	1,6	1,3	1,2	0,9	0,8	0,4	0,2
12	-	3,5	2,2	3,6	2,0	1,9	1,8	-	-	1,4	1,1	1,1	0,8	0,7	0,3	0,2
11	-	3,1	2,0	3,2	1,7	1,6	1,6	-	-	1,2	1,0	1,0	0,7	0,6	0,3	0,1
10	-	2,6	1,7	2,8	1,5	1,4	1,3	-	-	1,0	0,8	0,8	0,6	0,5	0,3	0,1
v_W [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,W,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	3,1	2,6	2,9	2,1	3,7	0,8	2,5	1,4	1,6	1,9	2,1	1,1	2,2	0,6	1,6	
24	2,9	2,5	2,7	2,0	3,5	0,8	2,3	1,3	1,5	1,7	2,0	1,0	2,1	0,6	1,5	
23	2,7	2,3	2,6	1,8	3,3	0,7	2,2	1,2	1,4	1,6	1,8	1,0	1,9	0,5	1,4	
22	2,5	2,2	2,4	1,7	3,0	0,7	2,0	1,1	1,3	1,5	1,7	0,9	1,8	0,5	1,3	
21	2,3	2,0	2,2	1,6	2,8	0,6	1,9	1,0	1,2	1,4	1,6	0,8	1,7	0,5	1,2	
20	2,2	1,9	2,0	1,5	2,6	0,6	1,7	1,0	1,1	1,3	1,5	0,8	1,5	0,4	1,1	
19	2,0	1,7	1,9	1,4	2,4	0,5	1,6	0,9	1,0	1,2	1,3	0,7	1,4	0,4	1,0	
18	1,8	1,6	1,7	1,2	2,2	0,5	1,5	0,8	1,0	1,1	1,2	0,7	1,3	0,4	1,0	
17	1,7	1,5	1,6	1,1	2,0	0,4	1,3	0,7	0,9	1,0	1,1	0,6	1,2	0,3	0,9	
16	1,5	1,3	1,4	1,0	1,8	0,4	1,2	0,7	0,8	0,9	1,0	0,5	1,1	0,3	0,8	
15	1,4	1,2	1,3	0,9	1,6	0,4	1,1	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	1,0	0,3	0,7	
14	1,2	1,1	1,1	0,8	1,5	0,3	1,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,9	0,2	0,6	
13	1,1	1,0	1,0	0,7	1,3	0,3	0,9	0,5	0,6	0,7	0,7	0,4	0,8	0,2	0,6	
12	0,9	0,9	0,9	0,7	1,2	0,2	0,8	0,4	0,5	0,6	0,6	0,3	0,7	0,2	0,5	
11	0,8	0,8	0,8	0,6	1,0	0,2	0,7	0,4	0,4	0,5	0,6	0,3	0,6	0,2	0,4	
10	0,7	0,7	0,7	0,5	0,9	0,2	0,6	0,3	0,4	0,4	0,5	0,3	0,5	0,1	0,4	

Tabelle 33 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 400$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	1,4	2,1	4,2	5,0	5,7	5,9	7,4	-	-	8,7	8,8	9,2	10,8	8,6	4,4	2,3
39	1,4	2,0	4,1	4,8	5,4	5,7	7,1	-	-	8,3	8,5	8,8	10,3	8,2	4,3	2,2
38	1,3	2,0	3,9	4,6	5,2	5,4	6,8	-	-	7,9	8,1	8,5	9,9	7,9	4,1	2,1
37	1,3	1,9	3,8	4,4	5,0	5,2	6,5	-	-	7,5	7,7	8,1	9,5	7,6	3,9	2,1
36	1,2	1,8	3,6	4,2	4,8	5,0	6,2	-	-	7,2	7,4	7,8	9,1	7,3	3,8	2,0
35	1,2	1,8	3,5	4,1	4,6	4,8	6,0	-	-	6,8	7,0	7,4	8,7	7,0	3,6	1,9
34	1,1	1,7	3,3	3,9	4,4	4,6	5,7	-	-	6,4	6,7	7,1	8,3	6,7	3,5	1,8
33	1,0	1,7	3,2	3,7	4,2	4,4	5,4	-	-	6,1	6,4	6,8	8,0	6,4	3,3	1,8
32	1,0	1,6	3,0	3,5	4,0	4,2	5,2	-	-	5,8	6,0	6,4	7,6	6,1	3,2	1,7
31	0,9	1,5	2,9	3,3	3,8	4,0	4,9	-	-	5,4	5,7	6,1	7,2	5,8	3,0	1,6
30	0,9	1,5	2,8	3,2	3,6	3,8	4,7	-	-	5,1	5,4	5,8	6,9	5,5	2,9	1,6
29	0,8	1,4	2,6	3,0	3,4	3,6	4,4	-	-	4,8	5,1	5,5	6,5	5,2	2,7	1,5
28	0,8	1,3	2,5	2,9	3,3	3,4	4,2	-	-	4,5	4,8	5,2	6,2	4,9	2,6	1,4
27	0,7	1,3	2,4	2,7	3,1	3,2	3,9	-	-	4,2	4,5	4,9	5,8	4,7	2,4	1,4
26	0,7	1,2	2,2	2,5	2,9	3,0	3,7	-	-	3,9	4,2	4,6	5,5	4,4	2,3	1,3
25	0,7	1,2	2,1	2,4	2,7	2,8	3,5	-	-	3,6	4,0	4,4	5,2	4,1	2,2	1,2
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	1,3	1,5	2,4	1,7	2,3	2,3	1,8	1,9	2,5	1,2	3,6	2,4	2,7	3,7	1,8	1,3
39	1,3	1,4	2,3	1,6	2,2	2,3	1,7	1,8	2,4	1,2	3,5	2,3	2,6	3,5	1,7	1,3
38	1,2	1,4	2,2	1,6	2,1	2,2	1,6	1,7	2,3	1,1	3,3	2,2	2,5	3,4	1,6	1,2
37	1,2	1,3	2,1	1,5	2,0	2,1	1,6	1,6	2,2	1,1	3,2	2,1	2,4	3,2	1,6	1,2
36	1,1	1,3	2,0	1,4	1,9	2,0	1,5	1,5	2,2	1,0	3,1	2,0	2,3	3,1	1,5	1,1
35	1,1	1,2	2,0	1,4	1,9	1,9	1,4	1,4	2,1	1,0	2,9	1,9	2,2	2,9	1,4	1,1
34	1,0	1,2	1,9	1,3	1,8	1,8	1,4	1,3	2,0	0,9	2,8	1,8	2,1	2,8	1,4	1,0
33	1,0	1,1	1,8	1,2	1,7	1,7	1,3	1,2	1,9	0,9	2,7	1,8	2,0	2,7	1,3	1,0
32	0,9	1,1	1,7	1,2	1,6	1,6	1,2	1,1	1,8	0,8	2,5	1,7	1,9	2,6	1,2	0,9
31	0,9	1,0	1,6	1,1	1,5	1,6	1,2	1,0	1,7	0,8	2,4	1,6	1,8	2,4	1,2	0,9
30	0,8	0,9	1,5	1,1	1,4	1,5	1,1	1,0	1,6	0,8	2,3	1,5	1,7	2,3	1,1	0,8
29	0,8	0,9	1,5	1,0	1,4	1,4	1,0	0,9	1,6	0,7	2,2	1,4	1,6	2,2	1,1	0,8
28	0,7	0,8	1,4	1,0	1,3	1,3	1,0	0,8	1,5	0,7	2,1	1,3	1,6	2,1	1,0	0,7
27	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,3	0,9	0,8	1,4	0,6	1,9	1,3	1,5	1,9	0,9	0,7
26	0,7	0,8	1,2	0,9	1,1	1,2	0,9	0,7	1,3	0,6	1,8	1,2	1,4	1,8	0,9	0,7
25	0,6	0,7	1,1	0,8	1,1	1,1	0,8	0,6	1,3	0,6	1,7	1,1	1,3	1,7	0,8	0,6

Tabelle 34 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 400$ km/h, $v_w = 25 \dots 40$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	0,7	1,2	2,1	2,4	2,7	2,8	3,5	-	-	3,6	4,0	4,4	5,2	4,1	2,2	1,2
24	0,6	1,1	2,0	2,2	2,6	2,6	3,3	-	-	3,4	3,7	4,1	4,8	3,9	2,0	1,2
23	0,6	1,0	1,9	2,1	2,4	2,5	3,1	-	-	3,1	3,4	3,8	4,5	3,6	1,9	1,1
22	0,5	1,0	1,7	1,9	2,3	2,3	2,8	-	-	2,9	3,2	3,6	4,2	3,4	1,8	1,0
21	0,5	0,9	1,6	1,8	2,1	2,2	2,6	-	-	2,6	2,9	3,3	3,9	3,2	1,7	1,0
20	0,4	0,9	1,5	1,7	1,9	2,0	2,4	-	-	2,4	2,7	3,1	3,6	2,9	1,5	0,9
19	0,4	0,8	1,4	1,5	1,8	1,8	2,3	-	-	2,2	2,5	2,8	3,4	2,7	1,4	0,8
18	0,4	0,8	1,3	1,4	1,7	1,7	2,1	-	-	2,0	2,3	2,6	3,1	2,5	1,3	0,8
17	0,3	0,7	1,2	1,3	1,5	1,5	1,9	-	-	1,8	2,1	2,4	2,8	2,3	1,2	0,7
16	0,3	0,7	1,1	1,2	1,4	1,4	1,7	-	-	1,6	1,9	2,1	2,6	2,1	1,1	0,7
15	0,3	0,6	1,0	1,1	1,2	1,3	1,6	-	-	1,4	1,7	1,9	2,3	1,9	1,0	0,6
14	0,2	0,5	0,9	1,0	1,1	1,1	1,4	-	-	1,2	1,5	1,7	2,1	1,7	0,9	0,6
13	0,2	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	-	-	1,1	1,3	1,5	1,9	1,5	0,8	0,5
12	0,2	0,5	0,7	0,7	0,9	0,9	1,1	-	-	0,9	1,1	1,4	1,6	1,3	0,7	0,5
11	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	-	-	0,8	1,0	1,2	1,4	1,2	0,6	0,4
10	0,1	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	-	-	0,7	0,8	1,0	1,2	1,0	0,5	0,4
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	0,6	0,7	1,1	0,8	1,1	1,1	0,8	0,6	1,3	0,6	1,7	1,1	1,3	1,7	0,8	0,6
24	0,6	0,7	1,1	0,8	1,0	1,0	0,8	0,6	1,2	0,5	1,6	1,0	1,2	1,6	0,8	0,6
23	0,5	0,6	1,0	0,7	0,9	1,0	0,7	0,5	1,1	0,5	1,5	1,0	1,1	1,5	0,7	0,5
22	0,5	0,6	0,9	0,7	0,9	0,9	0,7	0,5	1,0	0,5	1,4	0,9	1,1	1,4	0,7	0,5
21	0,5	0,5	0,9	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4	1,0	0,4	1,3	0,8	1,0	1,3	0,6	0,5
20	0,4	0,5	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4	0,9	0,4	1,2	0,8	0,9	1,2	0,6	0,4
19	0,4	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,5	0,3	0,8	0,4	1,1	0,7	0,8	1,1	0,5	0,4
18	0,4	0,4	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,3	0,8	0,3	1,0	0,7	0,8	1,0	0,5	0,4
17	0,3	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,4	0,3	0,7	0,3	0,9	0,6	0,7	0,9	0,4	0,3
16	0,3	0,3	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,2	0,7	0,3	0,9	0,5	0,6	0,8	0,4	0,3
15	0,3	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,3	0,2	0,6	0,2	0,8	0,5	0,6	0,8	0,4	0,3
14	0,2	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,5	0,2	0,7	0,4	0,5	0,7	0,3	0,2
13	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2	0,6	0,4	0,5	0,6	0,3	0,2
12	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,2
11	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,1	0,5	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2
10	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,1

Tabelle 35 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 400$ km/h, $v_w = 10 \dots 25$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_{WV} [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,W,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	-	15,1	9,6	15,7	12,1	11,7	11,7	-	-	9,2	6,9	6,5	5,0	4,1	1,8	0,6
39	-	14,5	9,2	15,2	11,6	11,2	11,2	-	-	8,8	6,6	6,2	4,8	3,9	1,8	0,6
38	-	13,8	8,9	14,7	11,2	10,7	10,7	-	-	8,4	6,4	6,0	4,6	3,8	1,7	0,6
37	-	13,2	8,5	14,1	10,7	10,3	10,3	-	-	8,0	6,1	5,7	4,4	3,6	1,6	0,6
36	-	12,6	8,2	13,6	10,2	9,9	9,8	-	-	7,7	5,8	5,5	4,2	3,5	1,6	0,5
35	-	12,0	7,8	13,1	9,8	9,4	9,4	-	-	7,3	5,6	5,3	4,0	3,3	1,5	0,5
34	-	11,4	7,5	12,6	9,4	9,0	8,9	-	-	7,0	5,3	5,0	3,8	3,2	1,5	0,5
33	-	10,9	7,2	12,1	8,9	8,6	8,5	-	-	6,6	5,1	4,8	3,7	3,0	1,4	0,5
32	-	10,3	6,8	11,6	8,5	8,2	8,1	-	-	6,3	4,8	4,6	3,5	2,9	1,3	0,5
31	-	9,8	6,5	11,1	8,1	7,8	7,7	-	-	6,0	4,6	4,4	3,3	2,7	1,3	0,4
30	-	9,2	6,2	10,6	7,7	7,4	7,3	-	-	5,7	4,4	4,1	3,1	2,6	1,2	0,4
29	-	8,7	5,9	10,1	7,3	7,0	6,9	-	-	5,4	4,1	3,9	3,0	2,4	1,2	0,4
28	-	8,2	5,6	9,7	6,9	6,6	6,5	-	-	5,1	3,9	3,7	2,8	2,3	1,1	0,4
27	-	7,7	5,3	9,2	6,5	6,2	6,1	-	-	4,8	3,7	3,5	2,7	2,2	1,0	0,3
26	-	7,2	5,0	8,7	6,1	5,9	5,8	-	-	4,5	3,5	3,3	2,5	2,1	1,0	0,3
25	-	6,7	4,7	8,3	5,8	5,5	5,4	-	-	4,2	3,3	3,1	2,3	1,9	0,9	0,3
v_{WV} [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,W,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	5,7	4,9	5,8	3,9	7,2	1,6	4,8	2,7	3,2	3,5	4,0	2,1	4,2	1,2	3,1	
39	5,5	4,8	5,5	3,8	6,9	1,5	4,6	2,6	3,1	3,4	3,9	2,0	4,1	1,1	3,0	
38	5,3	4,6	5,3	3,6	6,7	1,5	4,4	2,5	2,9	3,3	3,7	2,0	3,9	1,1	2,9	
37	5,0	4,4	5,1	3,5	6,4	1,4	4,2	2,4	2,8	3,1	3,6	1,9	3,7	1,0	2,8	
36	4,8	4,2	4,9	3,3	6,1	1,3	4,1	2,3	2,7	3,0	3,4	1,8	3,6	1,0	2,6	
35	4,6	4,0	4,6	3,2	5,8	1,3	3,9	2,2	2,6	2,9	3,3	1,7	3,4	0,9	2,5	
34	4,4	3,9	4,4	3,0	5,6	1,2	3,7	2,1	2,4	2,7	3,1	1,6	3,3	0,9	2,4	
33	4,2	3,7	4,2	2,9	5,3	1,2	3,5	2,0	2,3	2,6	3,0	1,6	3,1	0,9	2,3	
32	4,0	3,5	4,0	2,7	5,1	1,1	3,4	1,9	2,2	2,5	2,8	1,5	3,0	0,8	2,2	
31	3,8	3,4	3,8	2,6	4,8	1,0	3,2	1,8	2,1	2,4	2,7	1,4	2,8	0,8	2,1	
30	3,6	3,2	3,6	2,5	4,6	1,0	3,0	1,7	2,0	2,2	2,5	1,3	2,7	0,7	2,0	
29	3,4	3,1	3,4	2,4	4,3	0,9	2,9	1,6	1,9	2,1	2,4	1,3	2,5	0,7	1,9	
28	3,2	2,9	3,2	2,2	4,1	0,9	2,7	1,5	1,8	2,0	2,3	1,2	2,4	0,7	1,8	
27	3,0	2,7	3,0	2,1	3,9	0,8	2,6	1,4	1,7	1,9	2,1	1,1	2,2	0,6	1,7	
26	2,9	2,6	2,8	2,0	3,6	0,8	2,4	1,3	1,6	1,8	2,0	1,1	2,1	0,6	1,6	
25	2,7	2,4	2,7	1,9	3,4	0,7	2,3	1,2	1,5	1,7	1,9	1,0	2,0	0,6	1,5	

Tabelle 36 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 300$ km/h, $v_W = 25 \dots 40$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_W [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,W,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	-	6,7	4,7	8,3	5,8	5,5	5,4	-	-	4,2	3,3	3,1	2,3	1,9	0,9	0,3
24	-	6,3	4,5	7,8	5,4	5,2	5,0	-	-	3,9	3,1	2,9	2,2	1,8	0,9	0,3
23	-	5,8	4,2	7,4	5,0	4,8	4,7	-	-	3,6	2,9	2,8	2,1	1,7	0,8	0,3
22	-	5,4	3,9	6,9	4,7	4,5	4,4	-	-	3,4	2,7	2,6	1,9	1,6	0,8	0,3
21	-	5,0	3,6	6,5	4,4	4,2	4,1	-	-	3,1	2,5	2,4	1,8	1,5	0,7	0,2
20	-	4,6	3,4	6,1	4,0	3,9	3,7	-	-	2,9	2,3	2,2	1,6	1,3	0,7	0,2
19	-	4,2	3,1	5,7	3,7	3,6	3,4	-	-	2,6	2,1	2,0	1,5	1,2	0,6	0,2
18	-	3,8	2,9	5,3	3,4	3,3	3,1	-	-	2,4	1,9	1,9	1,4	1,1	0,6	0,2
17	-	3,5	2,7	4,9	3,1	3,0	2,9	-	-	2,2	1,8	1,7	1,3	1,0	0,5	0,2
16	-	3,1	2,4	4,5	2,8	2,7	2,6	-	-	2,0	1,6	1,6	1,1	0,9	0,5	0,2
15	-	2,8	2,2	4,1	2,6	2,4	2,3	-	-	1,8	1,5	1,4	1,0	0,9	0,4	0,1
14	-	2,5	2,0	3,7	2,3	2,2	2,1	-	-	1,6	1,3	1,3	0,9	0,8	0,4	0,1
13	-	2,2	1,8	3,4	2,0	1,9	1,8	-	-	1,4	1,2	1,1	0,8	0,7	0,4	0,1
12	-	1,9	1,6	3,0	1,8	1,7	1,6	-	-	1,2	1,0	1,0	0,7	0,6	0,3	0,1
11	-	1,6	1,4	2,7	1,6	1,5	1,4	-	-	1,1	0,9	0,9	0,6	0,5	0,3	0,1
10	-	1,4	1,2	2,4	1,3	1,3	1,2	-	-	0,9	0,8	0,8	0,5	0,4	0,2	0,1
v_W [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,W,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	2,7	2,4	2,7	1,9	3,4	0,7	2,3	1,2	1,5	1,7	1,9	1,0	2,0	0,6	1,5	
24	2,5	2,3	2,5	1,7	3,2	0,7	2,1	1,2	1,4	1,6	1,8	0,9	1,9	0,5	1,4	
23	2,3	2,2	2,3	1,6	3,0	0,6	2,0	1,1	1,3	1,5	1,7	0,9	1,7	0,5	1,3	
22	2,2	2,0	2,2	1,5	2,8	0,6	1,8	1,0	1,2	1,4	1,5	0,8	1,6	0,5	1,2	
21	2,0	1,9	2,0	1,4	2,6	0,5	1,7	0,9	1,1	1,3	1,4	0,8	1,5	0,4	1,1	
20	1,9	1,7	1,8	1,3	2,4	0,5	1,6	0,9	1,0	1,2	1,3	0,7	1,4	0,4	1,0	
19	1,7	1,6	1,7	1,2	2,2	0,5	1,5	0,8	0,9	1,1	1,2	0,6	1,3	0,4	0,9	
18	1,6	1,5	1,6	1,1	2,0	0,4	1,3	0,7	0,9	1,0	1,1	0,6	1,2	0,3	0,9	
17	1,4	1,4	1,4	1,0	1,8	0,4	1,2	0,7	0,8	0,9	1,0	0,5	1,1	0,3	0,8	
16	1,3	1,2	1,3	0,9	1,7	0,4	1,1	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	1,0	0,3	0,7	
15	1,2	1,1	1,1	0,8	1,5	0,3	1,0	0,5	0,6	0,8	0,8	0,4	0,9	0,2	0,6	
14	1,1	1,0	1,0	0,7	1,4	0,3	0,9	0,5	0,6	0,7	0,7	0,4	0,8	0,2	0,6	
13	0,9	0,9	0,9	0,7	1,2	0,2	0,8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,4	0,7	0,2	0,5	
12	0,8	0,8	0,8	0,6	1,1	0,2	0,7	0,4	0,4	0,5	0,6	0,3	0,6	0,2	0,4	
11	0,7	0,7	0,7	0,5	0,9	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,5	0,2	0,4	
10	0,6	0,6	0,6	0,4	0,8	0,2	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,5	0,1	0,3	

Tabelle 37 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 300$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	1,8	1,7	3,3	4,9	5,0	5,2	6,6	-	-	7,8	8,0	8,3	10,2	8,7	4,6	2,6
39	1,8	1,6	3,2	4,7	4,8	5,0	6,3	-	-	7,4	7,6	8,0	9,8	8,3	4,4	2,6
38	1,7	1,6	3,0	4,5	4,6	4,8	6,1	-	-	7,1	7,3	7,7	9,4	8,0	4,2	2,5
37	1,6	1,5	2,9	4,3	4,4	4,6	5,8	-	-	6,7	7,0	7,4	9,1	7,7	4,0	2,4
36	1,5	1,5	2,8	4,1	4,2	4,4	5,6	-	-	6,4	6,7	7,0	8,7	7,4	3,9	2,3
35	1,5	1,4	2,7	4,0	4,1	4,2	5,3	-	-	6,1	6,3	6,7	8,3	7,0	3,7	2,2
34	1,4	1,4	2,6	3,8	3,9	4,0	5,1	-	-	5,8	6,0	6,4	7,9	6,7	3,6	2,1
33	1,3	1,3	2,5	3,6	3,7	3,9	4,9	-	-	5,4	5,7	6,1	7,6	6,4	3,4	2,0
32	1,3	1,3	2,4	3,4	3,5	3,7	4,6	-	-	5,1	5,4	5,8	7,2	6,1	3,2	2,0
31	1,2	1,2	2,2	3,3	3,4	3,5	4,4	-	-	4,8	5,2	5,6	6,9	5,8	3,1	1,9
30	1,1	1,2	2,1	3,1	3,2	3,3	4,2	-	-	4,6	4,9	5,3	6,5	5,5	2,9	1,8
29	1,1	1,1	2,0	2,9	3,0	3,2	4,0	-	-	4,3	4,6	5,0	6,2	5,3	2,8	1,7
28	1,0	1,1	1,9	2,8	2,9	3,0	3,7	-	-	4,0	4,3	4,7	5,9	5,0	2,7	1,6
27	0,9	1,0	1,8	2,6	2,7	2,8	3,5	-	-	3,8	4,1	4,5	5,5	4,7	2,5	1,6
26	0,9	1,0	1,7	2,5	2,6	2,7	3,3	-	-	3,5	3,8	4,2	5,2	4,4	2,4	1,5
25	0,8	0,9	1,6	2,3	2,4	2,5	3,1	-	-	3,3	3,6	3,9	4,9	4,2	2,2	1,4
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	1,2	1,4	2,2	1,5	2,1	2,1	1,6	1,7	2,3	1,1	3,3	2,2	2,5	3,3	1,6	1,2
39	1,2	1,3	2,1	1,4	2,0	2,0	1,5	1,6	2,2	1,0	3,2	2,1	2,4	3,1	1,5	1,2
38	1,1	1,3	2,0	1,4	1,9	2,0	1,5	1,5	2,1	1,0	3,1	2,0	2,3	3,0	1,5	1,1
37	1,1	1,2	1,9	1,3	1,8	1,9	1,4	1,4	2,0	0,9	2,9	1,9	2,2	2,9	1,4	1,1
36	1,0	1,2	1,8	1,3	1,7	1,8	1,3	1,3	2,0	0,9	2,8	1,8	2,1	2,8	1,4	1,0
35	1,0	1,1	1,8	1,2	1,7	1,7	1,3	1,3	1,9	0,9	2,7	1,7	2,0	2,6	1,3	1,0
34	0,9	1,1	1,7	1,2	1,6	1,6	1,2	1,2	1,8	0,8	2,6	1,7	1,9	2,5	1,2	0,9
33	0,9	1,0	1,6	1,1	1,5	1,6	1,2	1,1	1,7	0,8	2,4	1,6	1,8	2,4	1,2	0,9
32	0,8	1,0	1,5	1,1	1,4	1,5	1,1	1,0	1,6	0,7	2,3	1,5	1,7	2,3	1,1	0,8
31	0,8	0,9	1,5	1,0	1,4	1,4	1,1	0,9	1,6	0,7	2,2	1,4	1,7	2,2	1,1	0,8
30	0,8	0,9	1,4	1,0	1,3	1,3	1,0	0,9	1,5	0,7	2,1	1,4	1,6	2,1	1,0	0,8
29	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,3	0,9	0,8	1,4	0,6	2,0	1,3	1,5	1,9	1,0	0,7
28	0,7	0,8	1,2	0,9	1,2	1,2	0,9	0,7	1,4	0,6	1,9	1,2	1,4	1,8	0,9	0,7
27	0,6	0,7	1,2	0,8	1,1	1,1	0,8	0,7	1,3	0,6	1,8	1,1	1,3	1,7	0,9	0,6
26	0,6	0,7	1,1	0,8	1,0	1,1	0,8	0,6	1,2	0,5	1,7	1,1	1,3	1,6	0,8	0,6
25	0,6	0,6	1,0	0,7	1,0	1,0	0,7	0,6	1,1	0,5	1,6	1,0	1,2	1,5	0,8	0,6

Tabelle 38 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 300$ km/h, $v_w = 25 \dots 40$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	0,8	0,9	1,6	2,3	2,4	2,5	3,1	-	-	3,3	3,6	3,9	4,9	4,2	2,2	1,4
24	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,3	2,9	-	-	3,0	3,3	3,7	4,6	3,9	2,1	1,3
23	0,7	0,8	1,4	2,0	2,1	2,2	2,7	-	-	2,8	3,1	3,5	4,3	3,7	2,0	1,3
22	0,7	0,8	1,3	1,9	2,0	2,0	2,6	-	-	2,6	2,9	3,2	4,0	3,4	1,8	1,2
21	0,6	0,7	1,3	1,8	1,8	1,9	2,4	-	-	2,4	2,7	3,0	3,7	3,2	1,7	1,1
20	0,6	0,7	1,2	1,6	1,7	1,8	2,2	-	-	2,2	2,4	2,8	3,5	3,0	1,6	1,0
19	0,5	0,7	1,1	1,5	1,6	1,6	2,0	-	-	2,0	2,2	2,5	3,2	2,7	1,5	1,0
18	0,5	0,6	1,0	1,4	1,5	1,5	1,9	-	-	1,8	2,0	2,3	2,9	2,5	1,4	0,9
17	0,4	0,6	0,9	1,3	1,3	1,4	1,7	-	-	1,6	1,9	2,1	2,7	2,3	1,2	0,8
16	0,4	0,5	0,8	1,2	1,2	1,2	1,5	-	-	1,4	1,7	1,9	2,4	2,1	1,1	0,8
15	0,3	0,5	0,8	1,0	1,1	1,1	1,4	-	-	1,3	1,5	1,8	2,2	1,9	1,0	0,7
14	0,3	0,4	0,7	0,9	1,0	1,0	1,2	-	-	1,1	1,3	1,6	2,0	1,7	0,9	0,7
13	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	1,1	-	-	1,0	1,2	1,4	1,8	1,5	0,8	0,6
12	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	1,0	-	-	0,8	1,0	1,2	1,6	1,3	0,7	0,5
11	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	-	-	0,7	0,9	1,1	1,4	1,2	0,6	0,5
10	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	-	-	0,6	0,8	0,9	1,2	1,0	0,6	0,4
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	0,6	0,6	1,0	0,7	1,0	1,0	0,7	0,6	1,1	0,5	1,6	1,0	1,2	1,5	0,8	0,6
24	0,5	0,6	1,0	0,7	0,9	0,9	0,7	0,5	1,1	0,5	1,5	0,9	1,1	1,4	0,7	0,5
23	0,5	0,6	0,9	0,6	0,8	0,9	0,6	0,5	1,0	0,4	1,4	0,9	1,0	1,3	0,7	0,5
22	0,5	0,5	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4	0,9	0,4	1,3	0,8	1,0	1,2	0,6	0,5
21	0,4	0,5	0,8	0,5	0,7	0,8	0,6	0,4	0,9	0,4	1,2	0,8	0,9	1,2	0,6	0,4
20	0,4	0,4	0,7	0,5	0,7	0,7	0,5	0,3	0,8	0,3	1,1	0,7	0,8	1,1	0,5	0,4
19	0,4	0,4	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,3	0,8	0,3	1,0	0,6	0,8	1,0	0,5	0,4
18	0,3	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,4	0,3	0,7	0,3	0,9	0,6	0,7	0,9	0,4	0,3
17	0,3	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,6	0,3	0,9	0,5	0,6	0,8	0,4	0,3
16	0,3	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,6	0,2	0,8	0,5	0,6	0,7	0,4	0,3
15	0,3	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,5	0,2	0,7	0,4	0,5	0,7	0,3	0,3
14	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2	0,6	0,4	0,5	0,6	0,3	0,2
13	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,1	0,4	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5	0,3	0,2
12	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,1	0,5	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2
11	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2
10	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,1

Tabelle 39 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 300$ km/h, $v_w = 10 \dots 25$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	-	11,7	8,3	12,2	10,3	10,0	9,9	-	-	11,0	8,1	7,5	6,1	4,9	1,8	1,3
39	-	11,3	8,0	11,8	9,9	9,6	9,5	-	-	10,5	7,8	7,2	5,9	4,7	1,8	1,2
38	-	10,8	7,7	11,4	9,5	9,2	9,1	-	-	10,1	7,5	6,9	5,7	4,5	1,7	1,2
37	-	10,4	7,4	11,0	9,1	8,9	8,7	-	-	9,7	7,2	6,7	5,4	4,3	1,6	1,1
36	-	10,0	7,1	10,6	8,7	8,5	8,3	-	-	9,2	6,9	6,4	5,2	4,2	1,6	1,1
35	-	9,6	6,8	10,2	8,4	8,1	7,9	-	-	8,8	6,6	6,1	5,0	4,0	1,5	1,0
34	-	9,1	6,5	9,8	8,0	7,7	7,6	-	-	8,4	6,3	5,8	4,7	3,8	1,5	1,0
33	-	8,7	6,2	9,4	7,6	7,4	7,2	-	-	8,0	6,0	5,6	4,5	3,6	1,4	0,9
32	-	8,3	5,9	9,0	7,3	7,0	6,8	-	-	7,6	5,7	5,3	4,3	3,4	1,3	0,9
31	-	7,9	5,6	8,6	6,9	6,7	6,5	-	-	7,2	5,4	5,1	4,1	3,3	1,3	0,9
30	-	7,5	5,4	8,2	6,6	6,3	6,2	-	-	6,8	5,1	4,8	3,9	3,1	1,2	0,8
29	-	7,2	5,1	7,9	6,2	6,0	5,8	-	-	6,4	4,9	4,6	3,7	2,9	1,2	0,8
28	-	6,8	4,8	7,5	5,9	5,7	5,5	-	-	6,1	4,6	4,3	3,5	2,8	1,1	0,7
27	-	6,4	4,6	7,1	5,5	5,4	5,2	-	-	5,7	4,3	4,1	3,3	2,6	1,0	0,7
26	-	6,1	4,3	6,8	5,2	5,1	4,9	-	-	5,4	4,1	3,9	3,1	2,5	1,0	0,7
25	-	5,7	4,1	6,4	4,9	4,7	4,6	-	-	5,0	3,8	3,6	2,9	2,3	0,9	0,6
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40		5,0	4,3	5,0	3,5	6,1	1,4	4,1	2,3	2,7	3,1	3,5	1,8	3,7	1,0	2,7
39		4,8	4,1	4,8	3,3	5,9	1,4	3,9	2,2	2,6	3,0	3,4	1,8	3,5	1,0	2,6
38		4,6	3,9	4,6	3,2	5,6	1,3	3,8	2,2	2,5	2,8	3,2	1,7	3,4	0,9	2,5
37		4,4	3,8	4,4	3,1	5,4	1,3	3,6	2,1	2,4	2,7	3,1	1,6	3,2	0,9	2,4
36		4,2	3,6	4,2	2,9	5,2	1,2	3,5	2,0	2,3	2,6	2,9	1,5	3,1	0,8	2,3
35		4,0	3,5	4,0	2,8	4,9	1,2	3,3	1,9	2,2	2,5	2,8	1,5	3,0	0,8	2,2
34		3,8	3,3	3,8	2,7	4,7	1,1	3,2	1,8	2,1	2,4	2,7	1,4	2,8	0,8	2,1
33		3,6	3,2	3,6	2,6	4,5	1,0	3,0	1,7	2,0	2,3	2,6	1,3	2,7	0,7	2,0
32		3,5	3,0	3,5	2,4	4,3	1,0	2,9	1,6	1,9	2,2	2,4	1,3	2,6	0,7	1,9
31		3,3	2,9	3,3	2,3	4,1	0,9	2,7	1,5	1,8	2,1	2,3	1,2	2,4	0,7	1,8
30		3,1	2,8	3,1	2,2	3,9	0,9	2,6	1,5	1,7	2,0	2,2	1,2	2,3	0,6	1,7
29		3,0	2,6	2,9	2,1	3,7	0,8	2,5	1,4	1,6	1,9	2,1	1,1	2,2	0,6	1,6
28		2,8	2,5	2,8	2,0	3,5	0,8	2,3	1,3	1,5	1,8	2,0	1,0	2,1	0,6	1,5
27		2,6	2,4	2,6	1,9	3,3	0,8	2,2	1,2	1,4	1,7	1,8	1,0	1,9	0,5	1,4
26		2,5	2,2	2,5	1,8	3,1	0,7	2,1	1,2	1,3	1,6	1,7	0,9	1,8	0,5	1,3
25		2,3	2,1	2,3	1,7	2,9	0,7	1,9	1,1	1,3	1,5	1,6	0,9	1,7	0,5	1,3

Tabelle 40 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 200$ km/h, $v_w = 25 \dots 40$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

V_W [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,W,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	-	5,7	4,1	6,4	4,9	4,7	4,6	-	-	5,0	3,8	3,6	2,9	2,3	0,9	0,6
24	-	5,4	3,8	6,1	4,6	4,4	4,3	-	-	4,7	3,6	3,4	2,7	2,2	0,9	0,6
23	-	5,0	3,6	5,7	4,3	4,2	4,0	-	-	4,4	3,4	3,2	2,5	2,0	0,8	0,5
22	-	4,7	3,3	5,4	4,0	3,9	3,7	-	-	4,1	3,1	3,0	2,3	1,9	0,8	0,5
21	-	4,4	3,1	5,0	3,7	3,6	3,4	-	-	3,8	2,9	2,8	2,2	1,8	0,7	0,5
20	-	4,1	2,9	4,7	3,5	3,3	3,2	-	-	3,5	2,7	2,6	2,0	1,6	0,7	0,4
19	-	3,7	2,7	4,4	3,2	3,1	2,9	-	-	3,2	2,5	2,4	1,9	1,5	0,6	0,4
18	-	3,4	2,5	4,1	2,9	2,8	2,7	-	-	2,9	2,3	2,2	1,7	1,4	0,6	0,4
17	-	3,2	2,2	3,8	2,7	2,6	2,4	-	-	2,6	2,1	2,0	1,5	1,2	0,5	0,3
16	-	2,9	2,1	3,5	2,4	2,3	2,2	-	-	2,4	1,9	1,8	1,4	1,1	0,5	0,3
15	-	2,6	1,9	3,2	2,2	2,1	2,0	-	-	2,1	1,7	1,7	1,3	1,0	0,4	0,3
14	-	2,3	1,7	2,9	2,0	1,9	1,8	-	-	1,9	1,5	1,5	1,1	0,9	0,4	0,3
13	-	2,1	1,5	2,6	1,7	1,7	1,6	-	-	1,7	1,4	1,3	1,0	0,8	0,4	0,2
12	-	1,9	1,3	2,3	1,5	1,5	1,4	-	-	1,5	1,2	1,2	0,9	0,7	0,3	0,2
11	-	1,6	1,2	2,1	1,3	1,3	1,2	-	-	1,3	1,0	1,0	0,8	0,6	0,3	0,2
10	-	1,4	1,0	1,8	1,2	1,1	1,0	-	-	1,1	0,9	0,9	0,7	0,5	0,2	0,2
V_W [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,W,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	2,3	2,1	2,3	1,7	2,9	0,7	1,9	1,1	1,3	1,5	1,6	0,9	1,7	0,5	1,3	
24	2,2	2,0	2,2	1,5	2,7	0,6	1,8	1,0	1,2	1,4	1,5	0,8	1,6	0,4	1,2	
23	2,0	1,9	2,0	1,4	2,5	0,6	1,7	0,9	1,1	1,3	1,4	0,8	1,5	0,4	1,1	
22	1,9	1,7	1,9	1,3	2,4	0,5	1,6	0,9	1,0	1,2	1,3	0,7	1,4	0,4	1,0	
21	1,8	1,6	1,7	1,3	2,2	0,5	1,5	0,8	0,9	1,1	1,2	0,7	1,3	0,4	1,0	
20	1,6	1,5	1,6	1,2	2,0	0,5	1,4	0,7	0,9	1,0	1,1	0,6	1,2	0,3	0,9	
19	1,5	1,4	1,5	1,1	1,9	0,4	1,2	0,7	0,8	0,9	1,0	0,6	1,1	0,3	0,8	
18	1,4	1,3	1,3	1,0	1,7	0,4	1,1	0,6	0,7	0,9	1,0	0,5	1,0	0,3	0,7	
17	1,3	1,2	1,2	0,9	1,6	0,4	1,0	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	0,9	0,3	0,7	
16	1,1	1,1	1,1	0,8	1,4	0,3	0,9	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,8	0,2	0,6	
15	1,0	1,0	1,0	0,7	1,3	0,3	0,9	0,5	0,5	0,7	0,7	0,4	0,8	0,2	0,6	
14	0,9	0,9	0,9	0,7	1,1	0,3	0,8	0,4	0,5	0,6	0,6	0,3	0,7	0,2	0,5	
13	0,8	0,8	0,8	0,6	1,0	0,2	0,7	0,4	0,4	0,5	0,6	0,3	0,6	0,2	0,4	
12	0,7	0,7	0,7	0,5	0,9	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,5	0,1	0,4	
11	0,6	0,6	0,6	0,5	0,8	0,2	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,5	0,1	0,3	
10	0,5	0,5	0,5	0,4	0,7	0,1	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	0,4	0,1	0,3	

Tabelle 41 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 200$ km/h, $v_W = 10 \dots 25$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	1,1	1,6	3,2	3,8	4,3	4,5	5,6	-	-	6,6	6,9	7,2	8,9	7,8	4,8	2,5
39	1,0	1,5	3,1	3,7	4,2	4,3	5,4	-	-	6,3	6,6	6,9	8,6	7,5	4,6	2,5
38	1,0	1,5	3,0	3,5	4,0	4,2	5,1	-	-	6,0	6,3	6,7	8,2	7,2	4,4	2,4
37	0,9	1,4	2,9	3,4	3,8	4,0	4,9	-	-	5,7	6,0	6,4	7,9	6,9	4,2	2,3
36	0,9	1,4	2,8	3,2	3,7	3,8	4,7	-	-	5,4	5,7	6,1	7,6	6,6	4,1	2,2
35	0,9	1,3	2,6	3,1	3,5	3,7	4,5	-	-	5,1	5,5	5,8	7,3	6,4	3,9	2,1
34	0,8	1,3	2,5	3,0	3,4	3,5	4,3	-	-	4,9	5,2	5,6	6,9	6,1	3,7	2,0
33	0,8	1,2	2,4	2,8	3,2	3,3	4,1	-	-	4,6	5,0	5,3	6,6	5,8	3,6	2,0
32	0,7	1,2	2,3	2,7	3,1	3,2	3,9	-	-	4,4	4,7	5,1	6,3	5,5	3,4	1,9
31	0,7	1,1	2,2	2,6	2,9	3,0	3,7	-	-	4,1	4,5	4,8	6,0	5,3	3,2	1,8
30	0,7	1,1	2,1	2,4	2,8	2,9	3,5	-	-	3,9	4,2	4,6	5,7	5,0	3,1	1,7
29	0,6	1,0	2,0	2,3	2,6	2,7	3,3	-	-	3,6	4,0	4,3	5,4	4,7	2,9	1,7
28	0,6	1,0	1,9	2,2	2,5	2,6	3,2	-	-	3,4	3,7	4,1	5,1	4,5	2,8	1,6
27	0,6	1,0	1,8	2,1	2,4	2,4	3,0	-	-	3,2	3,5	3,9	4,8	4,2	2,6	1,5
26	0,5	0,9	1,7	1,9	2,2	2,3	2,8	-	-	3,0	3,3	3,6	4,6	4,0	2,5	1,4
25	0,5	0,9	1,6	1,8	2,1	2,2	2,6	-	-	2,8	3,1	3,4	4,3	3,8	2,3	1,4
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	1,0	1,2	1,9	1,3	1,8	1,8	1,4	1,5	2,0	0,9	2,9	1,8	2,2	2,8	1,4	1,0
39	1,0	1,1	1,8	1,3	1,7	1,8	1,3	1,4	1,9	0,9	2,8	1,8	2,1	2,7	1,3	1,0
38	0,9	1,1	1,7	1,2	1,6	1,7	1,3	1,3	1,8	0,8	2,7	1,7	2,0	2,6	1,3	0,9
37	0,9	1,0	1,7	1,2	1,6	1,6	1,2	1,2	1,8	0,8	2,6	1,6	1,9	2,5	1,2	0,9
36	0,9	1,0	1,6	1,1	1,5	1,5	1,2	1,2	1,7	0,8	2,4	1,5	1,9	2,3	1,2	0,9
35	0,8	1,0	1,5	1,1	1,4	1,5	1,1	1,1	1,6	0,7	2,3	1,5	1,8	2,2	1,1	0,8
34	0,8	0,9	1,5	1,0	1,4	1,4	1,1	1,0	1,6	0,7	2,2	1,4	1,7	2,1	1,1	0,8
33	0,8	0,9	1,4	1,0	1,3	1,3	1,0	0,9	1,5	0,7	2,1	1,3	1,6	2,0	1,0	0,8
32	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,3	1,0	0,9	1,4	0,6	2,0	1,3	1,5	1,9	1,0	0,7
31	0,7	0,8	1,3	0,9	1,2	1,2	0,9	0,8	1,4	0,6	1,9	1,2	1,5	1,8	0,9	0,7
30	0,6	0,7	1,2	0,8	1,1	1,2	0,9	0,8	1,3	0,6	1,8	1,2	1,4	1,7	0,9	0,6
29	0,6	0,7	1,1	0,8	1,1	1,1	0,8	0,7	1,2	0,5	1,7	1,1	1,3	1,7	0,8	0,6
28	0,6	0,7	1,1	0,8	1,0	1,0	0,8	0,6	1,2	0,5	1,7	1,0	1,3	1,6	0,8	0,6
27	0,5	0,6	1,0	0,7	0,9	1,0	0,7	0,6	1,1	0,5	1,6	1,0	1,2	1,5	0,7	0,5
26	0,5	0,6	0,9	0,7	0,9	0,9	0,7	0,5	1,0	0,4	1,5	0,9	1,1	1,4	0,7	0,5
25	0,5	0,6	0,9	0,6	0,8	0,9	0,6	0,5	1,0	0,4	1,4	0,9	1,0	1,3	0,6	0,5

Tabelle 42 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 200$ km/h, $v_w = 25 \dots 40$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	0,5	0,9	1,6	1,8	2,1	2,2	2,6	-	-	2,8	3,1	3,4	4,3	3,8	2,3	1,4
24	0,5	0,8	1,5	1,7	2,0	2,0	2,5	-	-	2,6	2,9	3,2	4,0	3,5	2,2	1,3
23	0,4	0,8	1,4	1,6	1,9	1,9	2,3	-	-	2,4	2,7	3,0	3,8	3,3	2,1	1,2
22	0,4	0,7	1,3	1,5	1,7	1,8	2,2	-	-	2,2	2,5	2,8	3,5	3,1	1,9	1,1
21	0,4	0,7	1,2	1,4	1,6	1,6	2,0	-	-	2,0	2,3	2,6	3,3	2,9	1,8	1,1
20	0,3	0,7	1,1	1,3	1,5	1,5	1,9	-	-	1,8	2,1	2,4	3,0	2,7	1,7	1,0
19	0,3	0,6	1,1	1,2	1,4	1,4	1,7	-	-	1,7	1,9	2,2	2,8	2,5	1,5	0,9
18	0,3	0,6	1,0	1,1	1,3	1,3	1,6	-	-	1,5	1,8	2,0	2,6	2,3	1,4	0,9
17	0,3	0,5	0,9	1,0	1,2	1,2	1,4	-	-	1,4	1,6	1,9	2,3	2,1	1,3	0,8
16	0,2	0,5	0,8	0,9	1,1	1,1	1,3	-	-	1,2	1,4	1,7	2,1	1,9	1,2	0,7
15	0,2	0,4	0,7	0,8	1,0	1,0	1,2	-	-	1,1	1,3	1,5	1,9	1,7	1,1	0,7
14	0,2	0,4	0,7	0,7	0,9	0,9	1,1	-	-	0,9	1,1	1,4	1,7	1,5	1,0	0,6
13	0,2	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	0,9	-	-	0,8	1,0	1,2	1,5	1,4	0,9	0,6
12	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	-	-	0,7	0,9	1,1	1,4	1,2	0,8	0,5
11	0,1	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	-	-	0,6	0,8	0,9	1,2	1,1	0,7	0,5
10	0,1	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	-	-	0,5	0,6	0,8	1,0	0,9	0,6	0,4
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	0,5	0,6	0,9	0,6	0,8	0,9	0,6	0,5	1,0	0,4	1,4	0,9	1,0	1,3	0,6	0,5
24	0,5	0,5	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4	0,9	0,4	1,3	0,8	1,0	1,2	0,6	0,5
23	0,4	0,5	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,4	0,9	0,4	1,2	0,7	0,9	1,1	0,6	0,4
22	0,4	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,5	0,4	0,8	0,3	1,1	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4
21	0,4	0,4	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,3	0,8	0,3	1,1	0,6	0,8	1,0	0,5	0,4
20	0,3	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,4	0,3	0,7	0,3	1,0	0,6	0,7	0,9	0,5	0,3
19	0,3	0,4	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,3	0,7	0,3	0,9	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3
18	0,3	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,6	0,2	0,8	0,5	0,6	0,8	0,4	0,3
17	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5	0,3	0,2	0,6	0,2	0,8	0,5	0,6	0,7	0,3	0,3
16	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,5	0,2	0,7	0,4	0,5	0,6	0,3	0,2
15	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2	0,6	0,4	0,5	0,6	0,3	0,2
14	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5	0,3	0,2
13	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,1	0,5	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2
12	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2
11	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1
10	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1

Tabelle 43 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 200$ km/h, $v_w = 10 \dots 25$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	-	3,2	3,2	3,6	3,2	3,6	5,0	-	-	5,0	3,6	3,2	4,1	3,6	2,2	1,9
39	-	3,0	3,0	3,4	3,0	3,4	4,8	-	-	4,8	3,4	3,0	3,9	3,4	2,1	1,8
38	-	2,8	2,8	3,3	2,8	3,3	4,5	-	-	4,5	3,3	2,8	3,7	3,3	2,0	1,7
37	-	2,7	2,7	3,1	2,7	3,1	4,3	-	-	4,3	3,1	2,7	3,5	3,1	1,9	1,6
36	-	2,6	2,6	2,9	2,6	2,9	4,1	-	-	4,1	2,9	2,6	3,3	2,9	1,8	1,5
35	-	2,4	2,4	2,8	2,4	2,8	3,8	-	-	3,8	2,8	2,4	3,1	2,8	1,7	1,4
34	-	2,3	2,3	2,6	2,3	2,6	3,6	-	-	3,6	2,6	2,3	3,0	2,6	1,6	1,4
33	-	2,1	2,1	2,5	2,1	2,5	3,4	-	-	3,4	2,5	2,1	2,8	2,5	1,5	1,3
32	-	2,0	2,0	2,3	2,0	2,3	3,2	-	-	3,2	2,3	2,0	2,6	2,3	1,4	1,2
31	-	1,9	1,9	2,2	1,9	2,2	3,0	-	-	3,0	2,2	1,9	2,5	2,2	1,3	1,1
30	-	1,8	1,8	2,0	1,8	2,0	2,8	-	-	2,8	2,0	1,8	2,3	2,0	1,2	1,1
29	-	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9	2,6	-	-	2,6	1,9	1,7	2,2	1,9	1,2	1,0
28	-	1,5	1,5	1,8	1,5	1,8	2,5	-	-	2,5	1,8	1,5	2,0	1,8	1,1	0,9
27	-	1,4	1,4	1,7	1,4	1,7	2,3	-	-	2,3	1,7	1,4	1,9	1,7	1,0	0,9
26	-	1,3	1,3	1,5	1,3	1,5	2,1	-	-	2,1	1,5	1,3	1,7	1,5	0,9	0,8
25	-	1,2	1,2	1,4	1,2	1,4	2,0	-	-	2,0	1,4	1,2	1,6	1,4	0,9	0,7
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	0,8	1,7	1,0	1,0	1,0	1,1	1,5	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,1	1,1	
39	0,8	1,6	1,0	1,0	1,0	1,1	1,4	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,1	1,1	
38	0,7	1,6	0,9	0,9	0,9	1,0	1,4	1,3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	1,0	1,0	
37	0,7	1,5	0,9	0,9	0,9	1,0	1,3	1,2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	1,0	1,0	
36	0,7	1,4	0,9	0,9	0,9	1,0	1,2	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	1,0	1,0	
35	0,6	1,4	0,8	0,8	0,8	0,9	1,2	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,9	0,9	
34	0,6	1,3	0,8	0,8	0,8	0,9	1,1	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,9	0,9	
33	0,6	1,3	0,7	0,8	0,7	0,8	1,1	1,0	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	
32	0,6	1,2	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	
31	0,5	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,8	0,8	
30	0,5	1,1	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	
29	0,5	1,0	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	
28	0,4	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6	0,6	
27	0,4	0,9	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	
26	0,4	0,9	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	
25	0,4	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	

Tabelle 44 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 0$ km/h, $v_w = 25 .. 40$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	-	1,2	1,2	1,4	1,2	1,4	2,0	-	-	2,0	1,4	1,2	1,6	1,4	0,9	0,7
24	-	1,1	1,1	1,3	1,1	1,3	1,8	-	-	1,8	1,3	1,1	1,5	1,3	0,8	0,7
23	-	1,0	1,0	1,2	1,0	1,2	1,7	-	-	1,7	1,2	1,0	1,4	1,2	0,7	0,6
22	-	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1	1,5	-	-	1,5	1,1	1,0	1,2	1,1	0,7	0,6
21	-	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,4	-	-	1,4	1,0	0,9	1,1	1,0	0,6	0,5
20	-	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	1,3	-	-	1,3	0,9	0,8	1,0	0,9	0,6	0,5
19	-	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	1,1	-	-	1,1	0,8	0,7	0,9	0,8	0,5	0,4
18	-	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	1,0	-	-	1,0	0,7	0,6	0,8	0,7	0,4	0,4
17	-	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,9	-	-	0,9	0,7	0,6	0,7	0,7	0,4	0,3
16	-	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,8	-	-	0,8	0,6	0,5	0,7	0,6	0,4	0,3
15	-	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,7	-	-	0,7	0,5	0,4	0,6	0,5	0,3	0,3
14	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	-	-	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,2
13	-	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	-	-	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,2	0,2
12	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	-	-	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2
11	-	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	-	-	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1
10	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	-	-	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	0,4	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
24	0,3	0,8	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5
23	0,3	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5
22	0,3	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
21	0,3	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
20	0,3	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
19	0,2	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
18	0,2	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
17	0,2	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
16	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
15	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
14	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
13	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
12	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
11	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
10	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabelle 45 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Endsektion, $v_{Fzg} = 0$ km/h, $v_w = 10 \dots 25$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
40	1,9	2,2	3,2	3,6	3,2	3,6	5,0	-	-	5,0	3,6	3,2	3,6	3,2	2,2	1,9
39	1,8	2,1	3,0	3,4	3,0	3,4	4,8	-	-	4,8	3,4	3,0	3,4	3,0	2,1	1,8
38	1,7	2,0	2,8	3,3	2,8	3,3	4,5	-	-	4,5	3,3	2,8	3,3	2,8	2,0	1,7
37	1,6	1,9	2,7	3,1	2,7	3,1	4,3	-	-	4,3	3,1	2,7	3,1	2,7	1,9	1,6
36	1,5	1,8	2,6	2,9	2,6	2,9	4,1	-	-	4,1	2,9	2,6	2,9	2,6	1,8	1,5
35	1,4	1,7	2,4	2,8	2,4	2,8	3,8	-	-	3,8	2,8	2,4	2,8	2,4	1,7	1,4
34	1,4	1,6	2,3	2,6	2,3	2,6	3,6	-	-	3,6	2,6	2,3	2,6	2,3	1,6	1,4
33	1,3	1,5	2,1	2,5	2,1	2,5	3,4	-	-	3,4	2,5	2,1	2,5	2,1	1,5	1,3
32	1,2	1,4	2,0	2,3	2,0	2,3	3,2	-	-	3,2	2,3	2,0	2,3	2,0	1,4	1,2
31	1,1	1,3	1,9	2,2	1,9	2,2	3,0	-	-	3,0	2,2	1,9	2,2	1,9	1,3	1,1
30	1,1	1,2	1,8	2,0	1,8	2,0	2,8	-	-	2,8	2,0	1,8	2,0	1,8	1,2	1,1
29	1,0	1,2	1,7	1,9	1,7	1,9	2,6	-	-	2,6	1,9	1,7	1,9	1,7	1,2	1,0
28	0,9	1,1	1,5	1,8	1,5	1,8	2,5	-	-	2,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,1	0,9
27	0,9	1,0	1,4	1,7	1,4	1,7	2,3	-	-	2,3	1,7	1,4	1,7	1,4	1,0	0,9
26	0,8	0,9	1,3	1,5	1,3	1,5	2,1	-	-	2,1	1,5	1,3	1,5	1,3	0,9	0,8
25	0,7	0,9	1,2	1,4	1,2	1,4	2,0	-	-	2,0	1,4	1,2	1,4	1,2	0,9	0,7
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
40	1,1	1,1	0,8	1,0	0,8	0,8	1,1	1,4	1,3	1,1	0,8	0,8	1,0	0,8	1,1	1,1
39	1,1	1,1	0,8	1,0	0,8	0,8	1,1	1,4	1,3	1,1	0,8	0,8	1,0	0,8	1,1	1,1
38	1,0	1,0	0,7	0,9	0,7	0,7	1,0	1,3	1,2	1,0	0,7	0,7	0,9	0,7	1,0	1,0
37	1,0	1,0	0,7	0,9	0,7	0,7	1,0	1,2	1,2	1,0	0,7	0,7	0,9	0,7	1,0	1,0
36	1,0	1,0	0,7	0,9	0,7	0,7	1,0	1,1	1,2	1,0	0,7	0,7	0,9	0,7	1,0	1,0
35	0,9	0,9	0,6	0,8	0,6	0,6	0,9	1,1	1,1	0,9	0,6	0,6	0,8	0,6	0,9	0,9
34	0,9	0,9	0,6	0,8	0,6	0,6	0,9	1,0	1,1	0,9	0,6	0,6	0,8	0,6	0,9	0,9
33	0,8	0,8	0,6	0,8	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	0,8	0,6	0,6	0,8	0,6	0,8	0,8
32	0,8	0,8	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	0,8	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	0,8
31	0,8	0,8	0,5	0,7	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	0,7	0,5	0,5	0,7	0,5	0,8	0,8
30	0,7	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7
29	0,7	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7
28	0,6	0,6	0,4	0,6	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	0,6	0,5	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6
27	0,6	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,6	0,6
26	0,6	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,6	0,5	0,7	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,6	0,6
25	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5

Tabelle 46 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 0$ km/h, $v_w = 25 \dots 40$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

v_w [m/s]	Führmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ in [kN/m]															
	1	2	3	4	5	6	7	BM	BM	10	11	12	13	14	15	16
25	0,7	0,9	1,2	1,4	1,2	1,4	2,0	-	-	2,0	1,4	1,2	1,4	1,2	0,9	0,7
24	0,7	0,8	1,1	1,3	1,1	1,3	1,8	-	-	1,8	1,3	1,1	1,3	1,1	0,8	0,7
23	0,6	0,7	1,0	1,2	1,0	1,2	1,7	-	-	1,7	1,2	1,0	1,2	1,0	0,7	0,6
22	0,6	0,7	1,0	1,1	1,0	1,1	1,5	-	-	1,5	1,1	1,0	1,1	1,0	0,7	0,6
21	0,5	0,6	0,9	1,0	0,9	1,0	1,4	-	-	1,4	1,0	0,9	1,0	0,9	0,6	0,5
20	0,5	0,6	0,8	0,9	0,8	0,9	1,3	-	-	1,3	0,9	0,8	0,9	0,8	0,6	0,5
19	0,4	0,5	0,7	0,8	0,7	0,8	1,1	-	-	1,1	0,8	0,7	0,8	0,7	0,5	0,4
18	0,4	0,4	0,6	0,7	0,6	0,7	1,0	-	-	1,0	0,7	0,6	0,7	0,6	0,4	0,4
17	0,3	0,4	0,6	0,7	0,6	0,7	0,9	-	-	0,9	0,7	0,6	0,7	0,6	0,4	0,3
16	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,8	-	-	0,8	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3
15	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,7	-	-	0,7	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3
14	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	-	-	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2
13	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	-	-	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2
12	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	-	-	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
11	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	-	-	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1
10	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	-	-	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
v_w [m/s]	Tragmagnetkräfte $p_{z,w,TMTi}$ in [kN/m] (+/-)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5
24	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5
23	0,5	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5	0,4	0,6	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5
22	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
21	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
20	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
19	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
18	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
17	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
16	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
15	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
14	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
13	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
12	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabelle 47 - Magnetkräfte infolge Seitenwind: Mittelsektion, $v_{Fzg} = 0$ km/h, $v_w = 10 .. 25$ m/s

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

11.6 Anhang II-F: Berechnung der Tragmagnet-Polkräfte

Ohne Umlagerung für Regel- und Bug-/Heck-Tragmagnete (siehe Abbildung 61 und Abbildung 62)				Beispiel	
1	Streckenlast Teilmagnete i, i+1	$P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_i}$ $P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_{i+1}}$	aus Gleichung (15)	10 5	kN/m
2	EP-Kräfte	$P_{z,EP,i/i+1}$	$0,5 \cdot P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT(i/i+1)} \cdot L_{sys,TMT(i/i+1)} / 5,5$ bzw. $0,5 \cdot P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT(i/i+1)} \cdot L_{sys,TMT(i/i+1)} / 7,5^*$	1,41 ; 0,70 1,39 *	kN
3	HP-Kräfte	$P_{z,HP,i/i+1}$	$P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT(i/i+1)} \cdot L_{sys,TMT(i/i+1)} / 5,5$ bzw. $P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT(i/i+1)} \cdot L_{sys,TMT(i/i+1)} / 7,5^*$	2,82 ; 1,40 2,77 *	kN
* bei Bug- und Heck-Tragmagnet					

Tabelle 48 - Tragmagnet-Polkräfte ohne Umlagerung

Mit 30 % Umlagerung für Regel-Tragmagnete (siehe Abbildung 61)				Beispiel	
1	Streckenlast Teilmagnete i, i+1	$P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_i}$ \geq $P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_{i+1}}$	aus Gleichung (15)	10 5	kN/m
2	Resultierende der Ungleich- verteilung TMT _i	$R_{TMTi,30\%}$	$P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_i} \cdot 30\% \cdot L_{sys,TMT_i} / 2$	2,32	kN
3	EP-Kraft i	$P_{z,EP,30,i}$	$P_{z,EP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 18$	1,79	kN
4	HP-Kraft 1,i	$P_{z,HP1,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 5 / 18$	3,46	kN
5	HP-Kraft 2,i	$P_{z,HP2,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 4 / 18$	3,33	kN
6	HP-Kraft 3,i	$P_{z,HP3,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 18$	3,20	kN
7	HP-Kraft 4,i	$P_{z,HP4,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 2 / 18$	3,07	kN
8	HP-Kraft 5,i	$P_{z,HP5,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 1 / 18$	2,94	kN
9	HP-Kraft 6,i+1	$P_{z,HP6,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 1 / 18$	1,27	kN
10	HP-Kraft 7,i+1	$P_{z,HP7,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 2 / 18$	1,14	kN
11	HP-Kraft 8,i+1	$P_{z,HP8,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 18$	1,02	kN
12	HP-Kraft 9,i+1	$P_{z,HP9,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 4 / 18$	0,89	kN
13	HP-Kraft 10,i+1	$P_{z,HP10,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 5 / 18$	0,76	kN
14	EP-Kraft i+1	$P_{z,EP,30,i+1}$	$P_{z,EP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 18$	0,31	kN

Tabelle 49 - Tragmagnet-Polkräfte bei 30 % Umlagerung (Regel-Tragmagnet)

Mit 30 % Umlagerung für Bug-/Heck-Tragmagnete (siehe Abbildung 62)				Beispiel	
1	Streckenlast Teilmagnete i, i+1	$P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_i}$ \geq $P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_{i+1}}$	aus Gleichung (15)	10 5	kN/ m
2	Resultierende der Ungleich- verteilung TMT _i	$R_{TMTi,30\%}$	$P_{z,az,EG/MG/ZG/HG,TMT_i} \cdot 30\% \cdot L_{sys,TMT,Bug/Heck} / 2$	3,12	kN
3	EP-Kraft i	$P_{z,EP,30,i}$	$P_{z,EP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 4 / 32$	1,77	kN
4	HP-Kraft 1,i	$P_{z,HP1,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 7 / 32$	3,45	kN
5	HP-Kraft 2,i	$P_{z,HP2,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 6 / 32$	3,36	kN
6	HP-Kraft 3,i	$P_{z,HP3,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 5 / 32$	3,26	kN
7	HP-Kraft 4,i	$P_{z,HP4,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 4 / 32$	3,16	kN
8	HP-Kraft 5,i	$P_{z,HP5,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 32$	3,06	kN
9	HP-Kraft 6,i	$P_{z,HP6,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 2 / 32$	2,97	kN
10	HP-Kraft 7,i	$P_{z,HP7,30,i}$	$P_{z,HP,i} + R_{TMTi,30\%} \cdot 1 / 32$	2,87	kN
11	HP-Kraft 8,i+1	$P_{z,HP8,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 1 / 18$	1,23	kN
12	HP-Kraft 9,i+1	$P_{z,HP9,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 2 / 18$	1,06	kN
13	HP-Kraft 10,i+1	$P_{z,HP10,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 18$	0,88	kN
14	HP-Kraft 11,i+1	$P_{z,HP11,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 4 / 18$	0,71	kN
15	HP-Kraft 12,i+1	$P_{z,HP12,30,i+1}$	$P_{z,HP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 5 / 18$	0,54	kN
16	EP-Kraft i+1	$P_{z,EP,30,i+1}$	$P_{z,EP,i+1} - R_{TMTi,30\%} \cdot 3 / 18$	0,18	kN

Tabelle 50 - Tragmagnet-Polkräfte bei 30 % Umlagerung (Bug-/Heck-Tragmagnet)

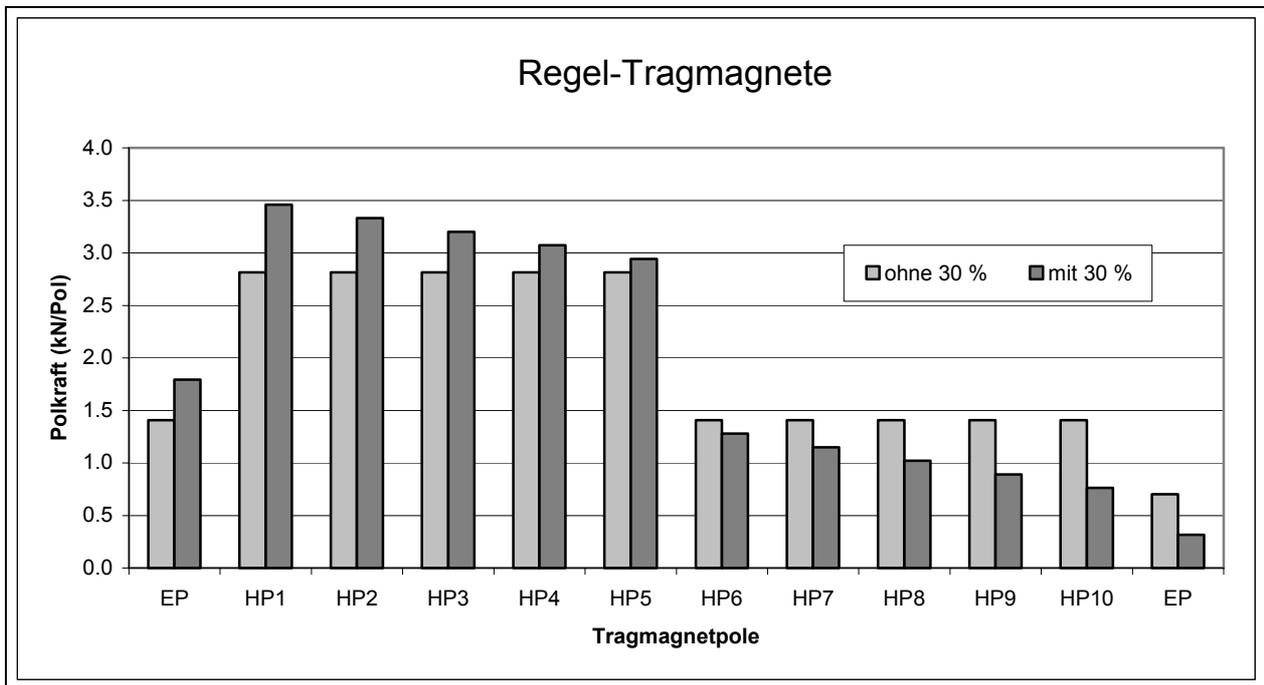


Abbildung 61 - Tragmagnet-Polkräfte; Beispiel für Regel-Tragmagnete

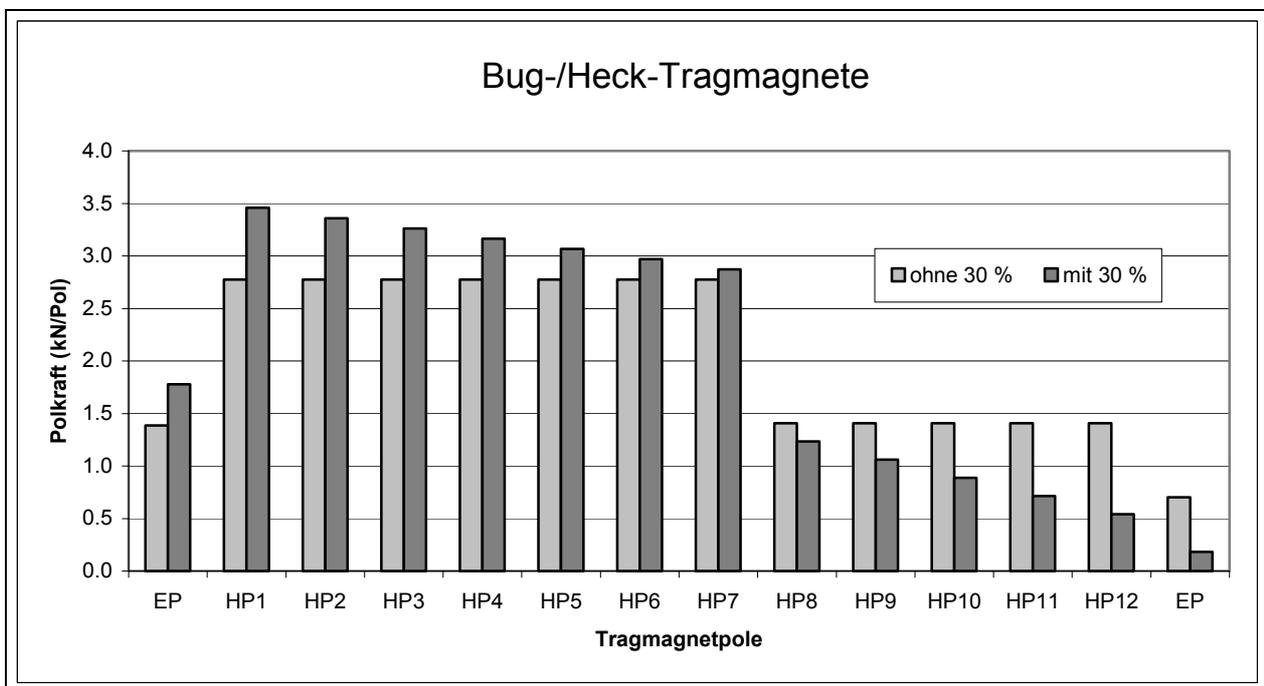


Abbildung 62 - Tragmagnet-Polkräfte; Beispiel für Bug-/Heck-Tragmagnete

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Fahrweg Teil III Geometrie

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Fahrweg zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007, Weißdruck, Fachausschuss Fahrweg

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler	2
2	Änderungsübersicht	3
3	Inhaltsverzeichnis.....	4
4	Allgemeines.....	9
4.1	Zweck und Anwendungsbereich	9
4.1.1	Dokumentenstruktur.....	9
4.1.2	Erläuterung zur Anwendung.....	9
4.2	Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen.....	10
4.3	Abkürzungen und Definitionen	10
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien.....	10
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen	10
5	Freiräume für Einbauten der Fahrwegausrüstung	12
6	Maßbezüge, Hauptmesspunkte, Bezugsebenen und Einflussgrößen	15
6.1	Lage der Funktionsebenen und Hauptmesspunkte	15
6.2	Anforderungen an Hauptmesspunkte und Messwerte	17
6.3	Koordinatensysteme	18
6.4	System- und Bauteillängen	19
6.5	Vorzeichenfestlegungen.....	19
6.6	Definitionen und Festlegungen für Toleranzen und Lageabweichungen	24
6.6.1	Soll-Vorkrümmung	24
6.6.1.1	Soll-Vorkrümmung bei Einfeldträgern	25
6.6.1.2	Soll-Vorkrümmung bei Zweifeldträgern.....	26
6.6.1.3	Soll-Vorkrümmung bei Mehrfeldträgern und Spurwechseleinrichtungen	26
6.6.2	Langwellige Abweichung.....	26
6.6.2.1	Langwellige Abweichung bei Einfeldträgern	28
6.6.2.2	Langwellige Abweichung bei Zwei- und Mehrfeldträgern sowie Spurwechseleinrichtungen	30
6.6.3	Kurzwellige Abweichung	31
6.6.4	Neigungsänderungskriterium	34
6.6.5	Zwickellösung.....	35
6.6.6	Versatz	37
6.6.7	Verkipfung	38
6.6.8	Querneigungstoleranz.....	38

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
Fahrweg, Teil III, Geometrie

6.6.9	Überlagerung von Toleranzen und Lageabweichungen	38
6.7	Zulässige Toleranz und Lageabweichungen.....	39
6.7.1	Toleranzen und Lageabweichungen für die Statorebene (SE)	39
6.7.1.1	Zulässige Lageabweichung der Statorpakete in x-Richtung	39
6.7.1.2	Zulässige Lageabweichung der Langstatormittenachse in y-Richtung	40
6.7.1.3	Toleranzen der SE in z-Richtung	40
6.7.1.3.1	Soll-Vorkrümmung	40
6.7.1.3.2	Langwellige Abweichung der SE.....	40
6.7.1.3.3	Kurzweilige Abweichung gegenüber der SE-IST-Lage (langwellige Abweichung), Toleranzen am Trägerstoß.....	41
6.7.1.3.3.1	Neigungsänderungskriterium innerhalb der kurzweiligen Abweichung.....	41
6.7.1.4	Zulässige Versätze / Verkipfung der SE	42
6.7.1.4.1	Querneigungstoleranz der SE.....	42
6.7.2	Toleranzen und Lageabweichungen der Seitenführschiene-Ebene (SFE)	43
6.7.2.1	Toleranzen der SFE in x-Richtung	43
6.7.2.2	Lageabweichung der SFE in y-Richtung	45
6.7.2.2.1	Soll-Lage	45
6.7.2.2.2	Langwellige Abweichung der SFE	45
6.7.2.2.3	Kurzweilige Abweichung gegenüber der SFE-IST-Lage (langwellige Abweichung), Toleranzen am Trägerstoß.....	46
6.7.2.2.4	Zulässige Versätze / Verkipfung SFE	47
6.7.2.3	Zulässige Toleranz der Spurweite (S).....	48
6.7.3	Toleranzen und Lageabweichungen für die Gleitebene (GE)	49
6.7.3.1	Zulässige Toleranzen der GE in x-Richtung	50
6.7.3.1.1	Zulässige Spalte in x-Richtung innerhalb der Gleitleiste	50
6.7.3.2	Zulässige Toleranzen der GE in Y-Richtung	51
6.7.3.3	Zulässige Toleranzen der GE in z-Richtung	51
6.7.3.3.1	Soll-Lage	51
6.7.3.3.2	Langwellige Abweichung der GE	52
6.7.3.3.3	Kurzweilige Abweichung der GE.....	53
6.7.3.3.4	Zulässige Versätze / Verkipfung der GE	54
6.7.3.4	Zangenmaß.....	55
7	Fahrweg-Montage	56
8	Geometrische Anforderungen an den Kalibrierfahrweg	57
9	Lageanforderungen an die Anbau- und Ausrüstungselemente des Fahrweges	59

9.1	Lage der Motorwicklung	59
9.2	Lage der Lagereferenzleiste	59
9.3	Lage der fahrwegseitigen Baugruppen der externen Bordenergieversorgung	59
9.3.1	Lage der fahrwegseitigen Baugruppen der Stromschienen	59
9.3.2	Lage der fahrwegseitigen Baugruppen der induktiven Energieübertragung	59
10	Nachweise.....	60
Anhang III-A	Befestigung der Statorpakete (Fahrwegträgerseitig)	61
Anhang III-B	Befestigungsachsen des Statorpaketes.....	64

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Freiräume der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung und der Fahrwegträger.....	12
Abbildung 2:	Lage Führspaltmessbereich.....	13
Abbildung 3:	Einbauraum Langstatorwicklung.....	14
Abbildung 4:	Funktionsebenen und Hauptmesspunkte in y- und z-Richtung.....	15
Abbildung 5:	Hauptmesspunkte in x- und z-Richtung	15
Abbildung 6:	Hauptmesspunkte der Seitenführ- und Gleitebene	16
Abbildung 7:	Hauptmesspunkte der Statorebene	17
Abbildung 8:	Geometrischer Zusammenhang von Koordinatensystemen (TFK und RFK).....	18
Abbildung 9:	Zusammenhang Bauteillänge/Systemlänge.....	19
Abbildung 10:	SFE-Versatz, Toleranzfelder mit Vorzeichenzuordnung nach Gleichung 1 und Gleichung 2	20
Abbildung 11:	SE-Versatz, Toleranzfelder mit Vorzeichenzuordnung nach Gleichung 3	20
Abbildung 12:	GE-Versatz, Toleranzfeld mit Vorzeichenfestlegung nach Gleichung 4	21
Abbildung 13:	Spurweitenänderung, Toleranzfelder mit Vorzeichenfestlegung nach Gleichung 5.....	21
Abbildung 14:	SFE-NGK, Toleranzfelder und Vorzeichenfestlegung nach Gleichung 6 und Gleichung 7	22
Abbildung 15:	SE NGK, Toleranzfelder mit Vorzeichenzuordnung nach Gleichung 8.....	23
Abbildung 16:	GE-NGK, Toleranzfelder mit Vorzeichenzuordnung nach Gleichung 9	23
Abbildung 17:	Sollvorkrümmung und deren Anteile (Darstellung ohne Berücksichtigung des Kriech- und Schwindverhaltens).....	25
Abbildung 18:	Zusammenhang zwischen diskreten Messwerten, Ist-Lage der langwelligen Abweichung und zugehörigen Grenzwerten der kurzwelligen Abweichung.....	28
Abbildung 19:	Verlauf und Lage des Toleranzfeldes der langwelligen Abweichung bei Einfeldträgern ohne Vorkrümmung am Beispiel der SE.....	29
Abbildung 20:	Verlauf und Lage des Toleranzfeldes der langwelligen Abweichung bei Einfeldträgern mit Vorkrümmung am Beispiel der SE	29

Abbildung 21: Verlauf und Lage des Toleranzfeldes der langwelligen Abweichung bei Zweifeldträgern mit Vorkrümmung am Beispiel der SE	30
Abbildung 22: Verlauf und Lage des Toleranzfeldes der langwelligen Abweichung am Beispiel der SE einer Spurwechseleinrichtung ohne Soll-Vorkrümmung	31
Abbildung 23: Verlauf des Toleranzfeldes der kurzwelligen Abweichung bei Einfeldträgern mit Vorkrümmung am Beispiel der SE	32
Abbildung 24: Verlauf des Toleranzfeldes der kurzwelligen Abweichung bei Zweifeldträgern mit Soll-Vorkrümmung und Bezug zur Ist-Lage der langwelligen Abweichung am Beispiel der SE.....	33
Abbildung 25: Verlauf des Toleranzfeldes der kurzwelligen Abweichung einer Spurwechseleinrichtungen mit Bezug zur Ist-Lage der langwelligen Abweichung am Beispiel der SE.....	34
Abbildung 26: Darstellung Neigungsänderungskriterium am Beispiel der GE	35
Abbildung 27: Ausführung der Zwickellösung in der SE	36
Abbildung 28: Verlauf der kurzwelligen Abweichung der SE am Trägerübergang bei Anwendung der Zwickellösung	36
Abbildung 29: Darstellung eines negativen Versatzes an der SFE mit überlagertem NGK.....	37
Abbildung 30: Darstellung eines positiven Versatzes an der SFE mit überlagertem NGK	37
Abbildung 31: Überlagerung von Versatz und Verkippung an gleichen benachbarten Funktionsebenen (z.B. bei Statorpaketen in der Statorebene)	38
Abbildung 32: Toleranzen und Lageabweichungen der Statorebene (SE) und deren Abhängigkeiten zueinander.....	39
Abbildung 33: Toleranzen und Lageabweichungen der Seitenführebene (SFE) und deren Abhängigkeiten zueinander.....	43
Abbildung 34: Ausbildung der SFE-Oberfläche am Trägerstoß bzw. bei Unterbrechungen.....	44
Abbildung 35: Zulässige Versätze in der SFE innerhalb eines Fahrwegträgers in Abhängigkeit der SF-Segmentenlängen	47
Abbildung 36: Toleranzen und Lageabweichungen der Gleitebene (GE) in z-Richtung und deren Abhängigkeiten zueinander.....	49
Abbildung 37: Ausbildung der GE-Oberfläche am Trägerstoß bzw. bei Unterbrechungen.....	51
Abbildung 38: Verlauf und Lage der kurzwelligen Abweichung der GE am Beispiel eines Einfeldträgers mit Vorkrümmung.....	52
Abbildung 39: Zulässige Versätze in der GE innerhalb des Fahrwegträger in Abhängigkeit von Größe und Häufigkeit ihres Auftretens.....	54
Abbildung 40: Maße und Toleranzen für die Ausführung der Statorpaketaufnahme in Stahlbauweise (Draufsicht)	61
Abbildung 41: Maße und Toleranzen für die Ausführung der Statorpaketaufnahme in Stahlbauweise (Querschnitt).....	62
Abbildung 42: Maße und Toleranzen für die Ausführung der Statorpaketaufnahme in Stahlbauweise (Seitenansicht).....	62
Abbildung 43: Maße und Toleranzen für die Ausführung der Statorpaketaufnahme in Stahlbauweise (Detail A und Detail B)	63

Abbildung 44: Befestigungsachsen des Statorpaketes (Draufsicht) 64
Abbildung 45: Befestigungsachsen des Statorpaketes (Querschnitt) 64
Abbildung 46: Befestigungsachsen des Statorpaketes (Seitenansicht) 65

4 Allgemeines

4.1 Zweck und Anwendungsbereich

Das vorliegende Dokument spezifiziert die allgemeingültigen technischen Anforderungen der Fahrweggeometrie für das Magnetschnellbahnsystem.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

4.1.1 Dokumentenstruktur

Die vorliegende Ausführungsgrundlage spezifiziert die geometrischen Anforderungen an die Funktionsebenen von Magnetschnellbahnfahrwegträger.

Anforderungen zur Trägerfeinpositionierung sind in /MSB AG-FW VERM/ niedergeschrieben.

Die Erläuterungen zu Lageabweichungen, Maß- und Toleranzangaben dienen dem grundsätzlichen Verständnis zur Herstellung eines Magnetschnellbahnfahrweges.

Auf Grund der Wechselwirkung der einzelnen festgelegten Grenzwerte zueinander, ist, unter Beachtung des Gesamtsystems eine wechselseitige Verschiebung von Grenzwerten möglich. In die Gesamtbetrachtung sind dabei u.a. die Anforderungen gemäß /MSB AG-GESAMTSYS/ mit einzubeziehen.

Die angegebenen Grenzwerte dienen der Einhaltung des Fahrkomforts sowie den technischen Anforderungen des Gesamtsystems.

4.1.2 Erläuterung zur Anwendung

Im Dokument sind die einzuhaltenden Toleranzen und Lageabweichungen der Funktionsebenen der Fahrwegträger im ausgerüsteten und feinpositionierten Zustand, ohne Verkehrslast, nur durch Eigengewicht belastet, definiert.

In einem weiteren Schritt sind unter Berücksichtigung der vorgesehenen Fertigungsverfahren daraus die Fertigungstoleranzen für die Fahrwegherstellung, (Fahrwegrohelement, -ausrüstung, -montage) sowie für die Instandhaltung abzuleiten.

Alle Angaben beziehen sich, sofern nicht ausdrücklich anders vermerkt, auf einen Fahrweg bei projektspezifischer Referenztemperatur.

Alle Angaben beziehen sich auf die Funktionsebenen im eingebauten, beschichteten Zustand.

Die Festlegung der Maßanforderungen an den Fahrweg (z.B. Grenzwerte der zul. Abweichung im Zusammenwirken mit der Verformung des Fahrweges) basieren im Wesentlichen auf den Erfahrungen mit bisher erprobten Fahrwegen und deren Zusammenspiel mit Magnetfahrzeugen im Fahrbetrieb unter Erprobungs- und Anwendungsbedingungen.

Die Einzeltoleranzen ergeben bei einer Gesamttoleranzbetrachtung z.T. Überschneidungen. Bei ergänzenden bzw. voneinander abhängigen Toleranzvorgaben ist darauf zu achten, dass die

jeweilige Einzeltoleranz eingehalten wird bzw. dass die Vorgaben mit den kleineren Toleranzwerten Priorität haben.

Wenn im Dokument zulässige Form- und Lageabweichungen einzelner Funktionsebenen nicht aufgeführt werden, besteht dazu aus Sicht des Gesamtsystems keine Veranlassung.

In diesem Fall wird eine Fertigungstoleranz nach DIN ISO 2768-1 und DIN ISO 2768-2 vorausgesetzt.

4.2 Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentenbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordneten Dokumente Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/ mit den Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR&IH/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokumentes sind

- Anforderungen in Standard-Schrift

- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in Kursiv-Schrift dargestellt (siehe /MSB AG-FW ÜBG/).

5 Freiräume für Einbauten der Fahrwegausrüstung

Die Einbauräume der magnetschnellbahnspezifischen Fahrwegausrüstung sind nachfolgend in Abbildung 1, Abbildung 2 und Abbildung 3 auf Basis von /MSB AG-GESAMTSYS/ festgelegt. Darüber hinaus sind die im Anhang von /MSB AG-FW ÜBG/ für Regelfahrwegtypen als Richtmaße angegebenen Abmessungen zu beachten.

Die Definition des Lichtraums ist in /MSB AG-FW TRAS/ enthalten.

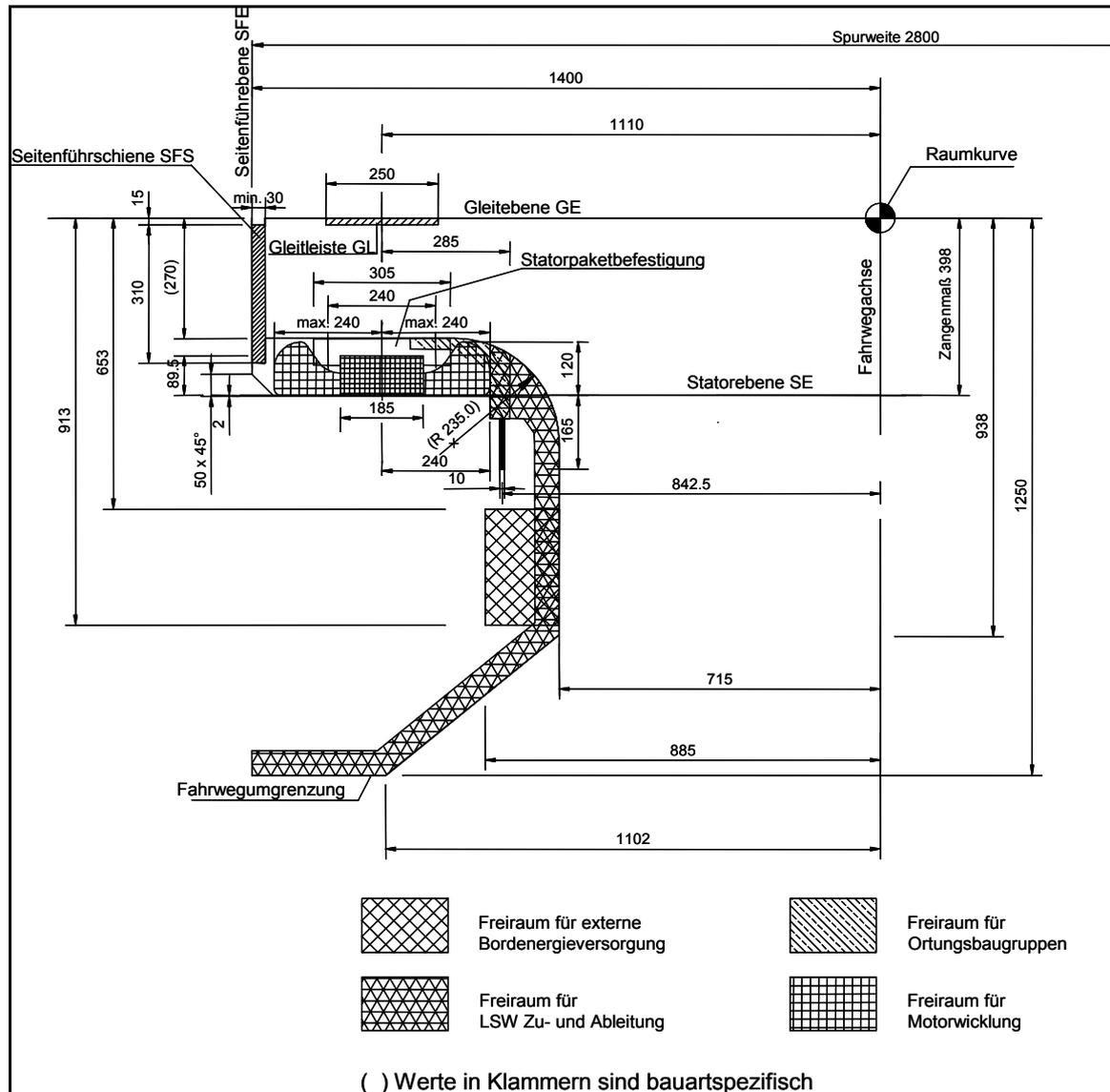


Abbildung 1: Freiräume der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung und der Fahrwegträger

Erläuterungen zu Abbildung 1:

- 1) Die Fahrwegumgrenzung beschreibt den maximal möglichen Umgriff des Fahrwegträgers inklusive seiner Toleranzen.
- 2) Bauartspezifische Abweichungen von den Fahrwegumgrenzung sind erst nach Prüfung auf Kompatibilität mit dem Gesamtsystem zulässig.
- 3) Zwischen der Magnetschnellbahn-spezifischen Fahrwegausrüstung und den Fahrwegträgern ist ein Freiraum zur Befestigung der Fahrwegausrüstung vorzusehen. Die Größe dieses Freiraumes ist abhängig von der Wahl der Befestigungskonstruktion und erfordert eine Prüfung auf Kompatibilität mit dem Gesamtsystem.

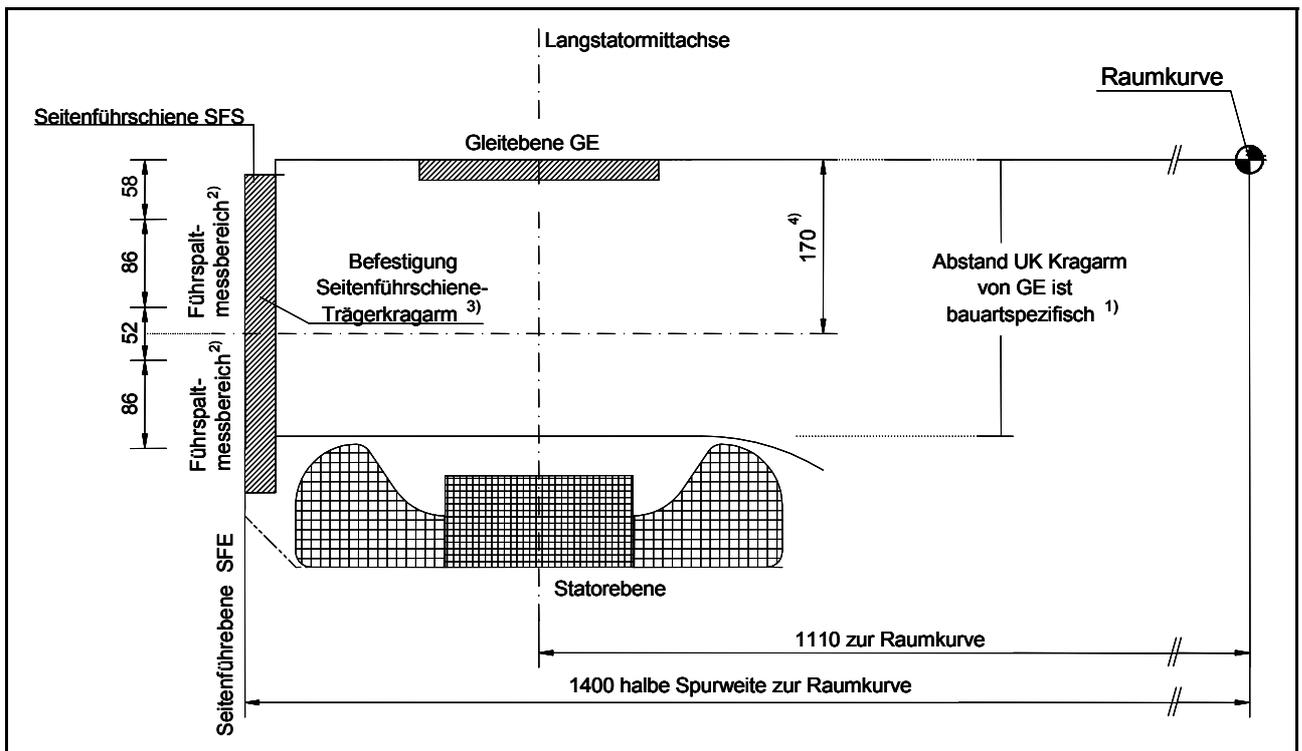


Abbildung 2: Lage Führspaltmessbereich

Erläuterungen zu Abbildung 2 :

- 1) Der Abstand der Unterseite des Trägerkragarmes (UK) von der Gleitebene ist bauartspezifisch und ergibt sich aus der Art der Befestigung der Statorpakete und dem Einbauraum der Motorwicklung.
- 2) Die dargestellten Bereiche der Führspaltsensoren entsprechen der Lage bei schwebendem Fahrzeug bei einem Referenztragspalt von 10 mm.
- 3) Die Befestigung der Seitenführschiene und der hierfür erforderliche Freiraum sind bauartspezifisch festzulegen.
- 4) Mittenlage der Führungsmagnete des schwebenden Fahrzeugs bei einem Referenztragspalt von 10 mm;

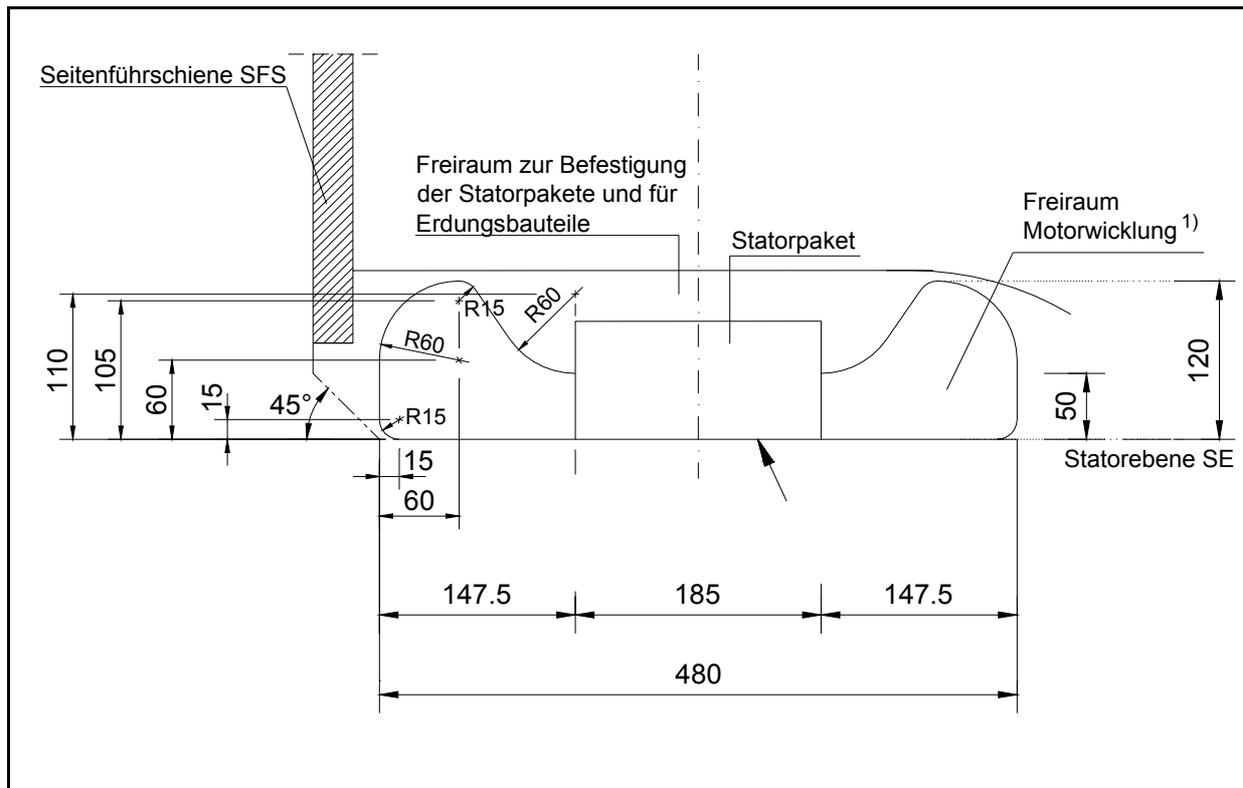


Abbildung 3: Einbauraum Langstatorwicklung

Erläuterungen zu Abbildung 3:

- 1) *Der dargestellte Einbauraum der Motorwicklung berücksichtigt auch den für den Montageprozess erforderlichen Platzbedarf des Motorwicklungskabels. Für die Montagevorrichtung erforderliche Freiräume liegen innerhalb der Begrenzungslinien des Fahrzeug.*

6 Maßbezüge, Hauptmesspunkte, Bezugsebenen und Einflussgrößen

6.1 Lage der Funktionsebenen und Hauptmesspunkte

Die Lage der Funktionsebenen sowie die zugehörigen Messpunkte in x-, y- und z-Richtung sind in Abbildung 4, Abbildung 5, Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellt.

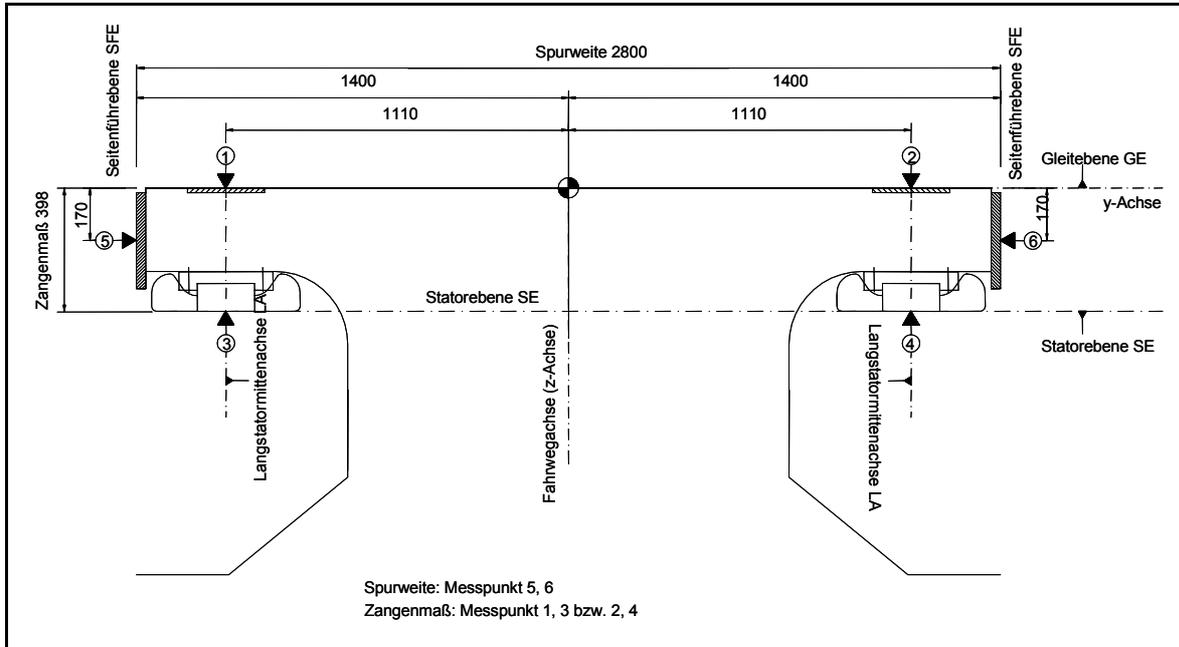


Abbildung 4: Funktionsebenen und Hauptmesspunkte in y- und z-Richtung

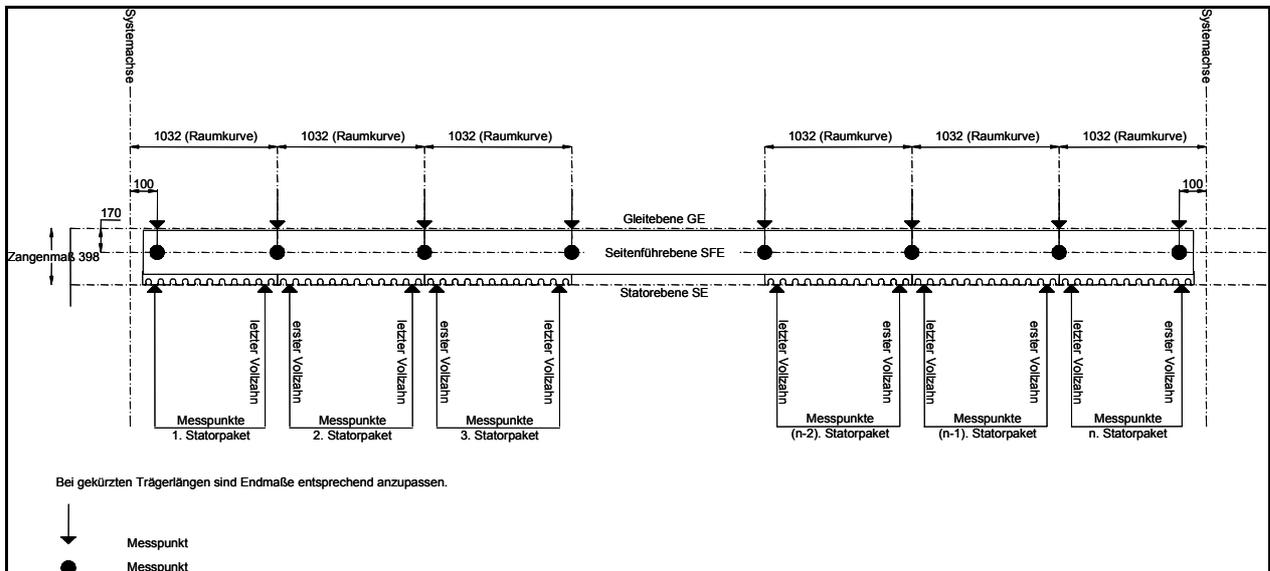


Abbildung 5: Hauptmesspunkte in x- und z-Richtung

Die Lage der Hauptmesspunkte in x-Richtung (Längsrichtung siehe Abbildung 5), ist so zu wählen, dass min. im Systemrastermaß von 1032 mm ein Messwert für die Auswertung ermittelt wird.

Bei vorhandenen unterteilten Funktionsebenen ist das Teilungsraster der Unterbrechung zu beachten. In diesem Fall ist beidseitig der Unterbrechung je ein Messpunkt anzuordnen.

Der erste Messpunkt am Fahrwegträgeranfang bzw. -ende ist einheitlich 100 mm von der Systemachse entfernt zu platzieren und sollte dauerhaft gekennzeichnet sein.

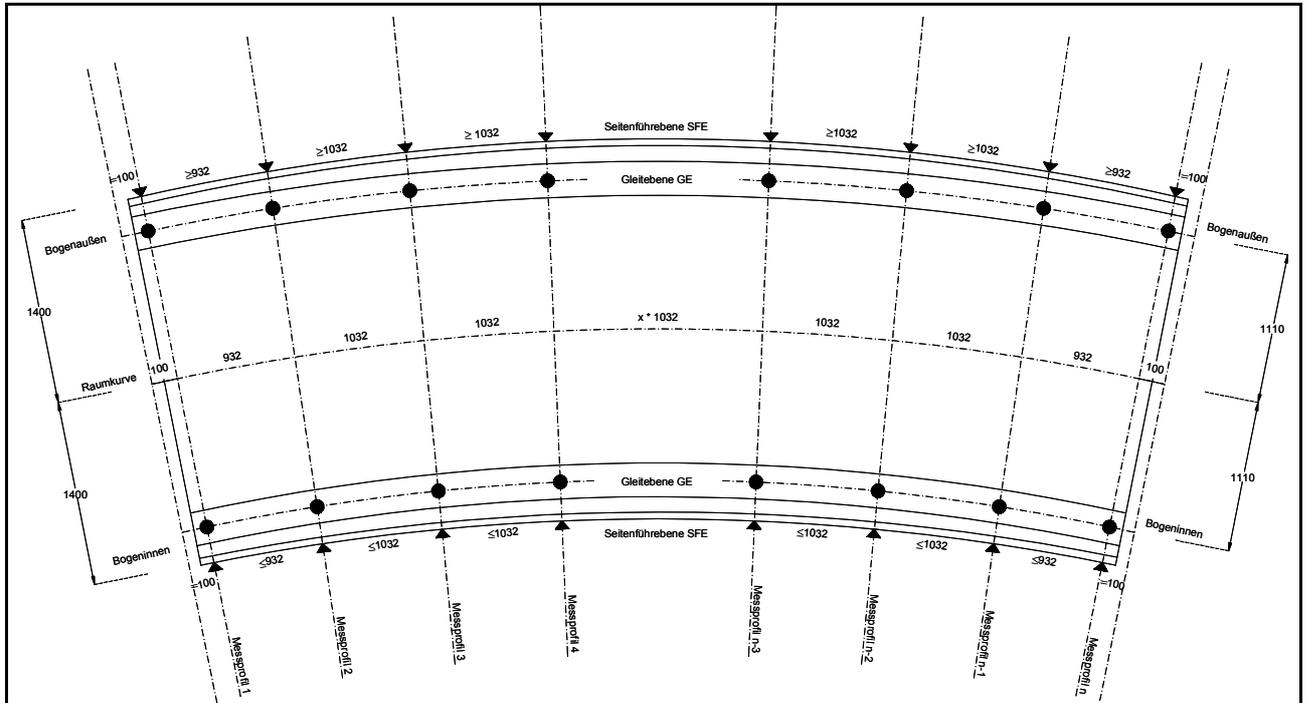


Abbildung 6: Hauptmesspunkte der Seitenföhre- und Gleitebene

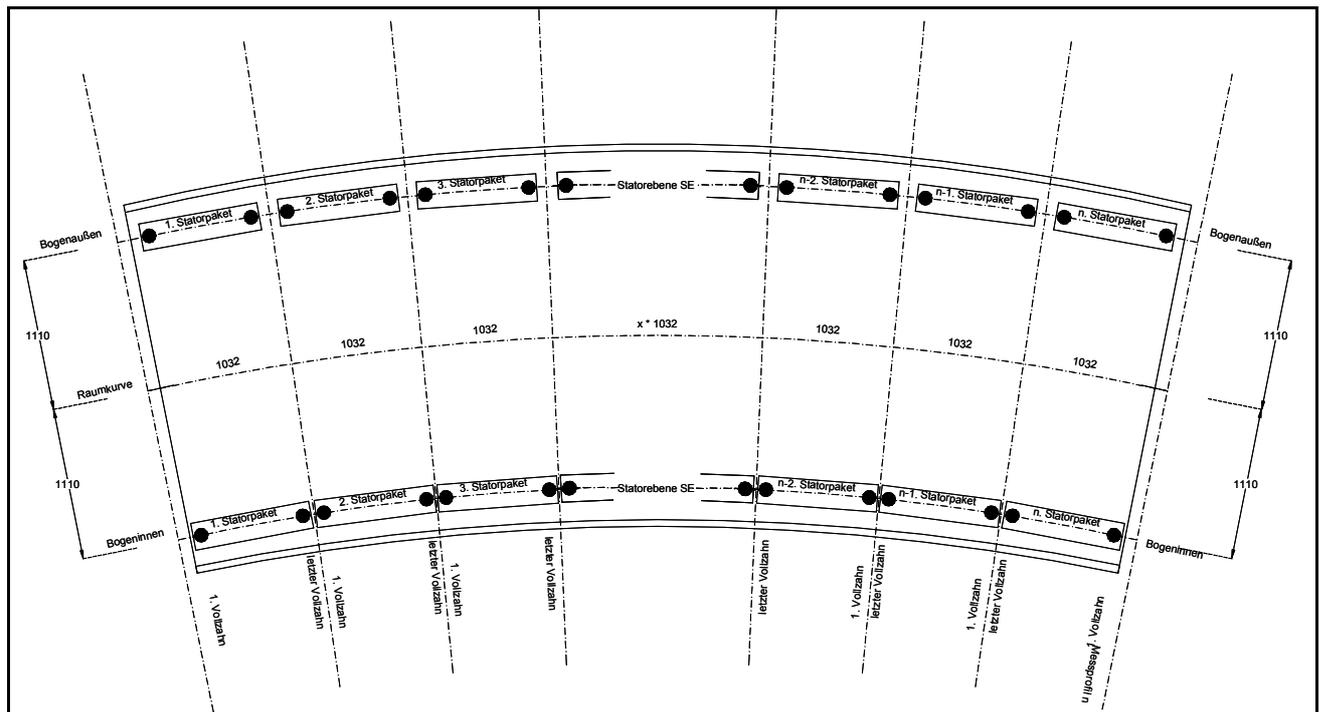


Abbildung 7: Hauptmesspunkte der Statorebene

6.2 Anforderungen an Hauptmesspunkte und Messwerte

Die für die Hauptmesspunkte ermittelten Messwerte müssen eine repräsentative Aussage über die Lage der Funktionsebene erlauben.

Das heißt, dass zur Ermittlung des Messwertes geeignete Messverfahren und Methoden anzuwenden sind, die singuläre Einflüsse (z.B. Gradkanten, Materialeinschlüsse, lokale Oberflächenbearbeitungen, Beschichtungsabweichungen usw.) auf das Messergebnis eliminieren.

6.3 Koordinatensysteme

Die Toleranzangaben im Dokument beziehen sich mit den Koordinatenachsbezeichnungen

- y, x, z auf das Raumkurven Koordinatensystem (RKK)
(trägerbezogene Ausschnitt der Raumkurve mit neu definiertem Nullpunkt, siehe auch Kap. 6.6) und mit
- Y, X, Z auf das Trägerfertigungskordinatensystem (TFK)
(maschinenbezogenes Fertigungskordinatensystem in dem eventuell erforderliche Sollvorkrümmungen und Fertigungskorrekturen mit berücksichtigt werden).

In Abbildung 8 sind die Zusammenhänge dargestellt.

Für die Arbeiten auf der Baustelle (Absteckarbeiten, Herstellung der Unterbauten, Feinpositionierung des Fahrweges) werden die Koordinaten des Magnetbahnkoordinatensystems (MKS) verwendet.

(Rechts, Hoch, Höhe im Magnetschnellbahn-Koordinatensystem siehe /MSB-AG FW VERM/)

Die Anfangs- und Endkoordinaten der Fahrwegträger aus dem RKK werden dabei über Referenzpunkte ins MKS transformiert.

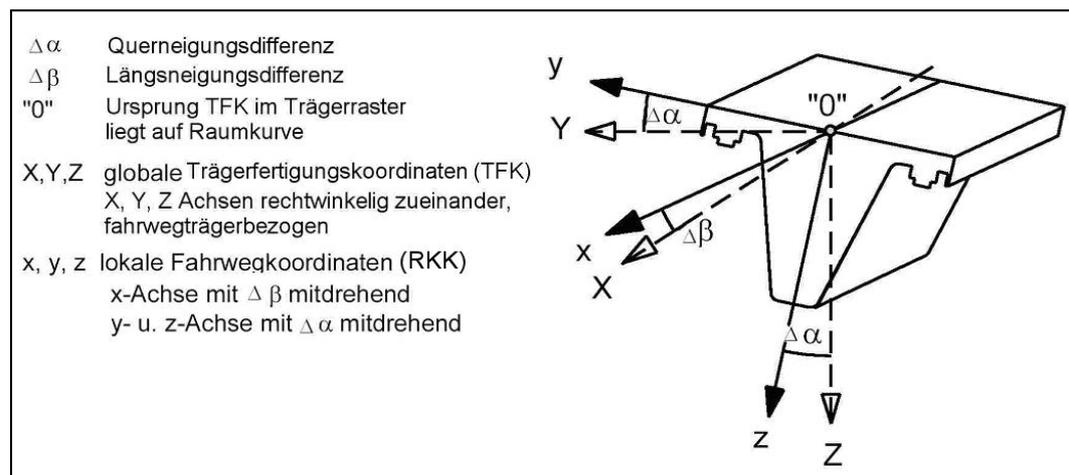


Abbildung 8: Geometrischer Zusammenhang von Koordinatensystemen (TFK und RKK)

6.4 System- und Bauteillängen

Als Systemlängen lassen sich alle Maße im Verlauf der Raumkurve bezeichnen, die ein Vielfaches von 86 mm (dies entspricht einer Nut-Zahnperiode /MSB AG-GESAMTSYS/) darstellen.

Fahrwegträgerlängen werden bei der Umsetzung der Trassierung in Systemlängen angegeben.

Ihre wirkliche Länge (Bauteillänge) ist von der Ausführung der Funktionsebenen am Fahrwegträgeranfang und -ende sowie der Horizontal- und Vertikalradien abhängig (siehe Abbildung 9).

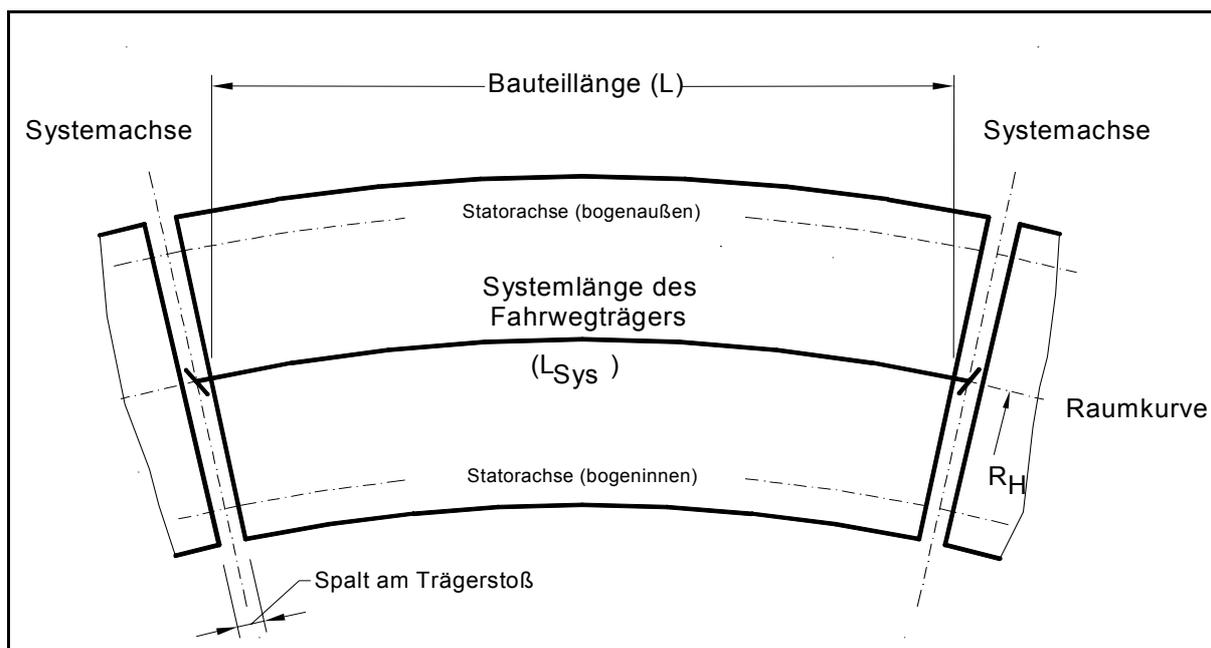


Abbildung 9: Zusammenhang Bauteillänge/Systemlänge

6.5 Vorzeichenfestlegungen

Die Vorzeichenregelungen ermöglichen eine eindeutige Interpretation der Schnittstelle MSB-Fahrzeug / Fahrweg auf folgender Grundlage:

In Richtung der aufsteigende Kilometrierung betrachtet (positive x-Richtung), bedeutet ein negatives Vorzeichen stets eine Abweichung zur Raumkurve hin, dagegen ein positives Vorzeichen eine Abweichung von der Raumkurve weg bzw. nach außen. Auf die Spurweite bezogen bedeutet ein negatives Vorzeichen somit eine Spurweitenverringering, ein positives Vorzeichen dagegen eine Spurweiten-Vergrößerung.

Bei Anwendung der nachfolgenden Gleichungen wird durch das Vorzeichen des Ergebnisses eine eindeutige Richtungszuordnung der Abweichung von der Sollage möglich. Bei Elementenstößen sind die Versätze durch Extrapolation von Messlinien (jeweils aus 2 Messpunkten) mit den Schnittachsen zu berechnen.

- Vorzeichenregelung für Versatz in der Seitenführebene (SFE) siehe Abbildung 10:

rechte Seite: $\Delta y = -y_i + y_{i+1}$

Gleichung 1

linke Seite: $\Delta y = y_i - y_{i+1}$

Gleichung 2

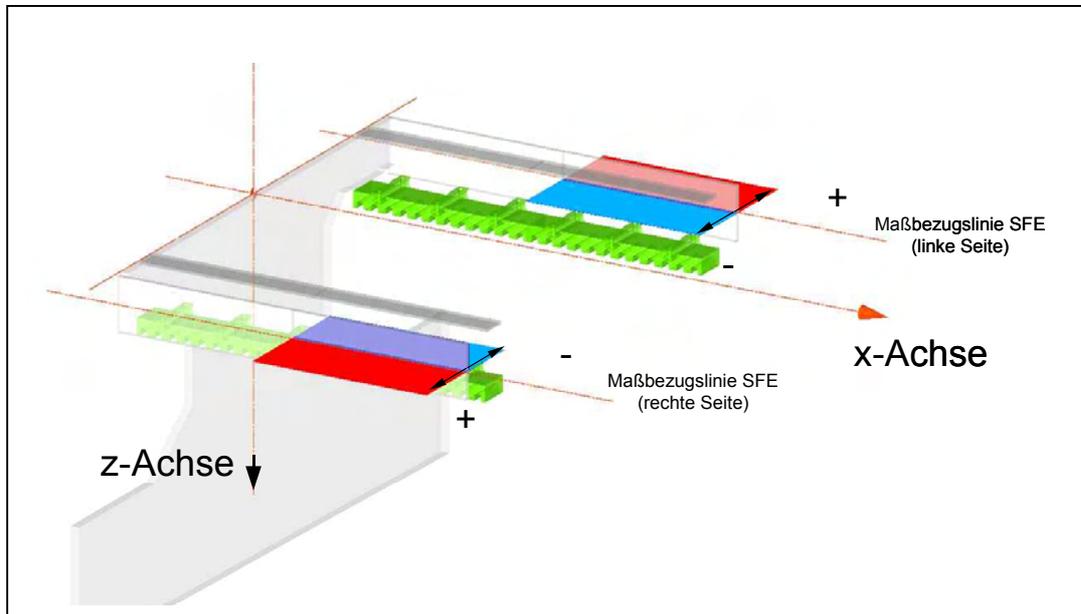


Abbildung 10: SFE-Versatz, Toleranzfelder mit Vorzeichenzuordnung nach Gleichung 1 und Gleichung 2

- Vorzeichenregelung für Versatz in der Statorebene (SE) siehe Abbildung 11:

$$\Delta Z = -Z_i + Z_{i+1}$$

Gleichung 3

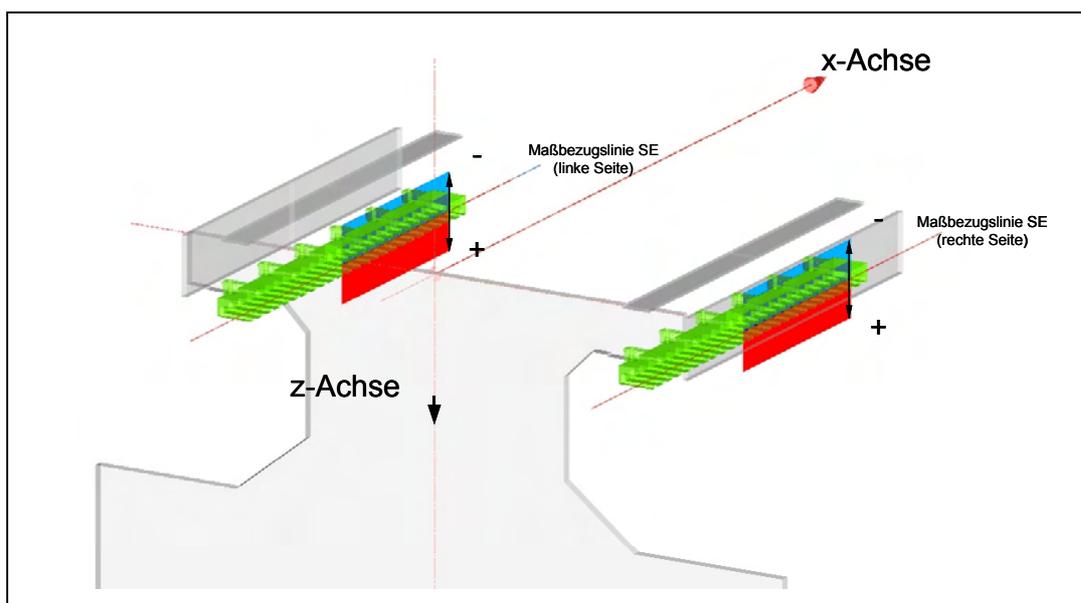


Abbildung 11: SE-Versatz, Toleranzfelder mit Vorzeichenzuordnung nach Gleichung 3

- Vorzeichenregelung für Versatz in der Gleitebene (GE) siehe Abbildung 12:

$$\Delta z = z_i - z_{i+1}$$

Gleichung 4

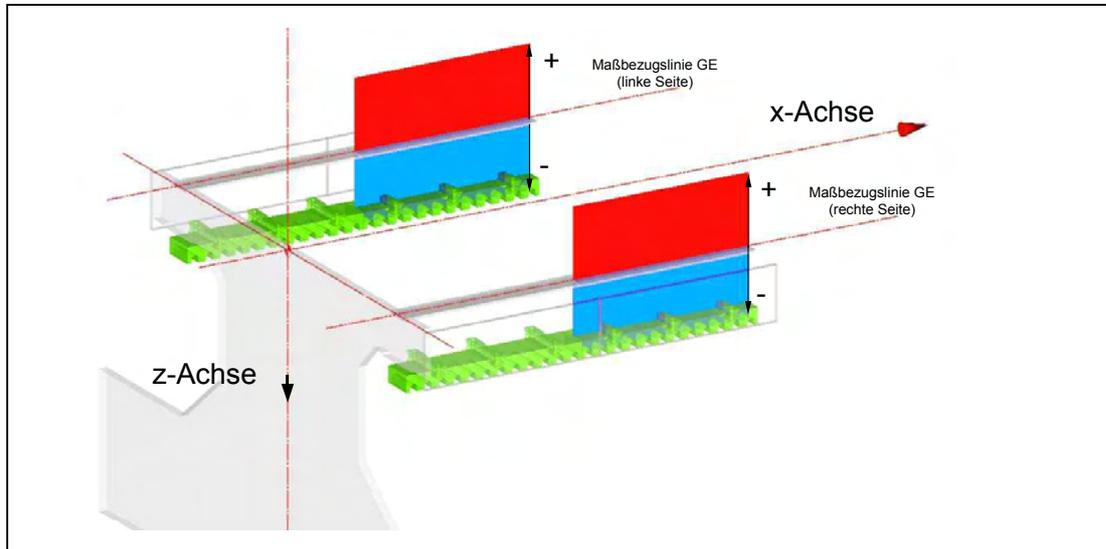


Abbildung 12: GE-Versatz, Toleranzfeld mit Vorzeichenfestlegung nach Gleichung 4

- Vorzeichenregelung für Änderung der Spurweite (S) siehe Abbildung 13:

$$\Delta y_s = -S_i + S_{i+1}; S_i = |y_{i_1}| + |y_{i_2}|$$

Gleichung 5

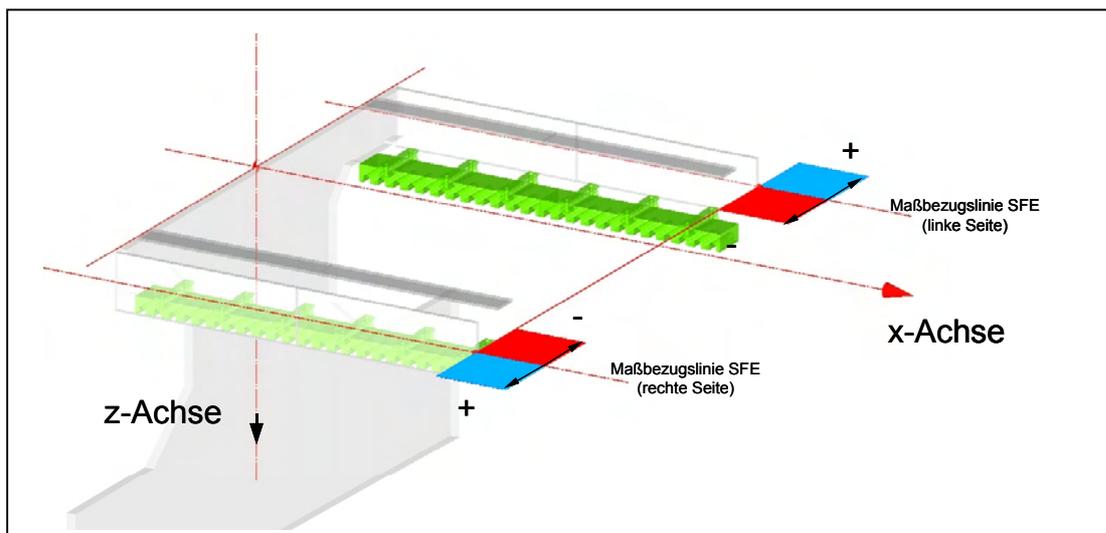


Abbildung 13: Spurweitenänderung, Toleranzfelder mit Vorzeichenfestlegung nach Gleichung 5

- Vorzeichenregelung für Neigungsänderungskriterium Seitenführebene (SFE) innerhalb des Trägers, am Trägerstoß und Elementenübergang wird entsprechend Gleichung 8 unter Beachtung der Messpunktabstände extrapoliert. Graphische Darstellung der Vorzeichenregelung siehe Abbildung 14:

rechte Seite:

$$NGK_{SFE} = 2 * \left[-y_i + \left(\frac{y_{i-1} + y_{i+1}}{2} \right) \right] \quad \text{Gleichung 6}$$

linke Seite:

$$NGK_{SFE} = 2 * \left[y_i - \left(\frac{y_{i-1} + y_{i+1}}{2} \right) \right] \quad \text{Gleichung 7}$$

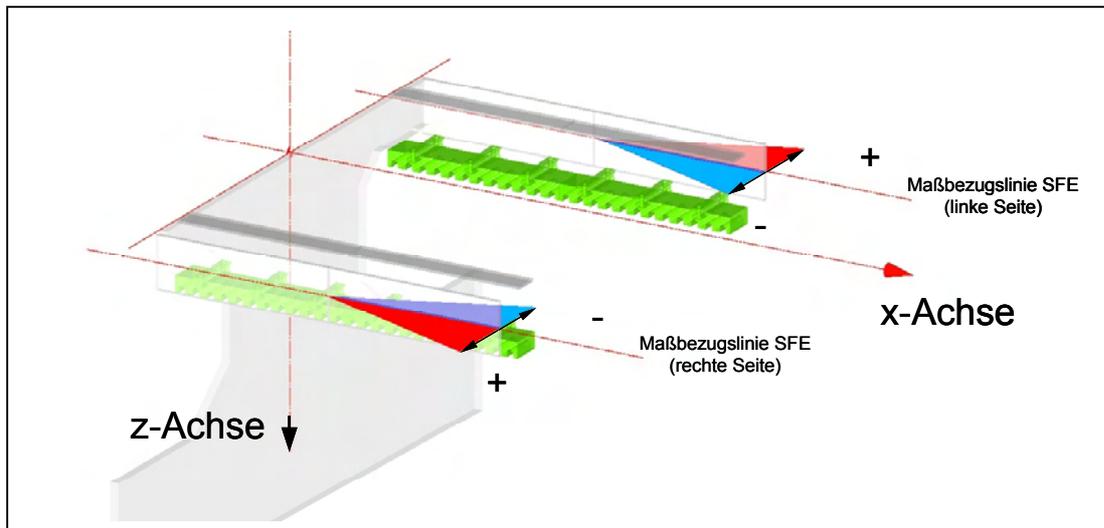


Abbildung 14: SFE-NGK, Toleranzfelder und Vorzeichenfestlegung nach Gleichung 6 und Gleichung 7

- Vorzeichenregelung für Neigungsänderungskriterium Statorebene (SE) über vier Messpunkte (erster und letzter Vollzahn des Statorpaketes in fortlaufender Nummerierung (z_1, z_2, z_3 und z_4)). Zur graphischen Darstellung der Vorzeichen siehe Abbildung 15:

$$NGK_{SE} = \left[(z_1 - z_2) + (z_4 - z_3) \right] * \frac{1000}{860} \quad \text{Gleichung 8}$$

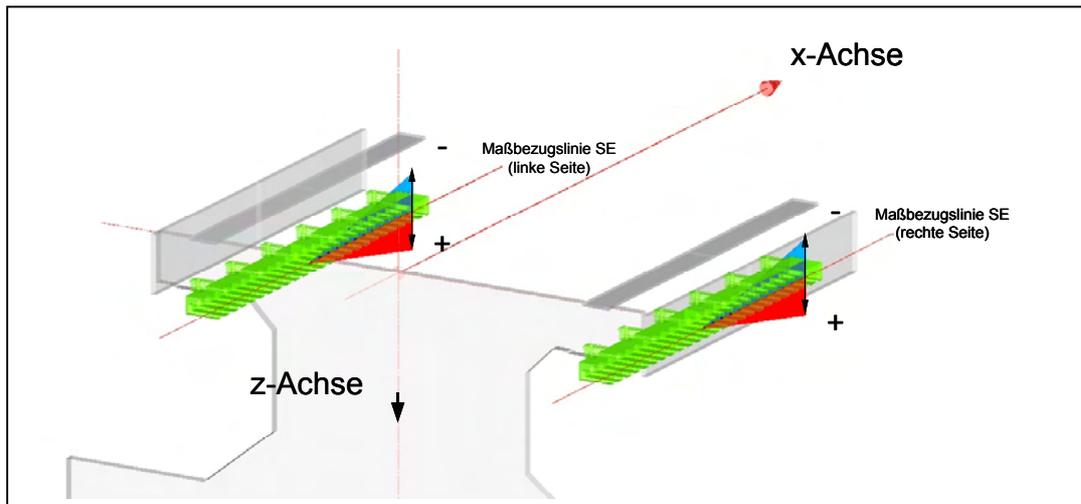


Abbildung 15: SE NGK, Toleranzfelder mit Vorzeichenzuordnung nach Gleichung 8

- Vorzeichenregelung für Neigungsänderungskriterium Gleitebene (GE) siehe Abbildung 16:

$$NGK_{GLE} = 2 * \left[z_i - \left(\frac{z_{i-1} + z_{i+1}}{2} \right) \right]$$

Gleichung 9

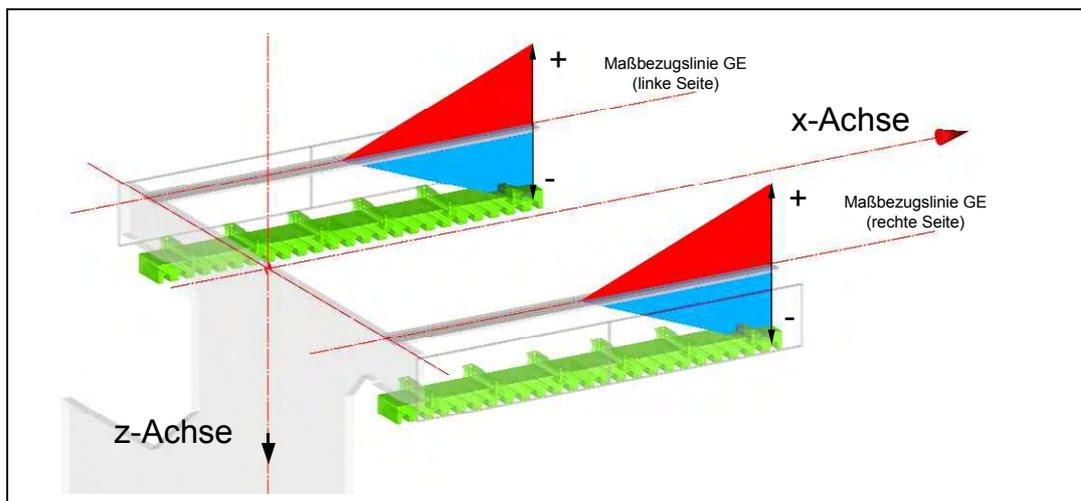


Abbildung 16: GE-NGK, Toleranzfelder mit Vorzeichenzuordnung nach Gleichung 9

6.6 Definitionen und Festlegungen für Toleranzen und Lageabweichungen

Die nachfolgend beschriebenen Toleranzen und Lageabweichungen beziehen sich ausschließlich auf das Trägerfertigungskoordinatensystem.

Es wird ausgehend von der Lageranordnung zwischen Ein-, Zwei- und Mehrfeldträgern sowie Spurwechseleinrichtungen unterschieden.

Plattenfahrwege werden bei der Festlegung der Toleranzfelder als Einfeldträger behandelt.

Die x-Achse des Koordinatensystems spiegelt in den nachfolgenden Abbildungen die Abwicklung der Raumkurve wieder.

6.6.1 Soll-Vorkrümmung

Die Soll-Vorkrümmung soll die Durchbiegung des Fahrwegträgers in z-Richtung, infolge der Verkehrslast (mittleres Fahrzeuggewicht bei Normalauslastung nach /MSB AG-FW BEM/) und unter zusätzlicher Berücksichtigung der projektspezifisch vorherrschenden Temperaturdifferenzen im Fahrwegquerschnitt, (ΔT zwischen Ober- und Untergurt) unter Betriebsbedingungen kompensieren. Bei Betonträgern ist gegebenenfalls das Kriech- und Schwindverhalten in den ersten 25-30 Jahren zu berücksichtigen (siehe (MSB-AG FW BEM)).

Es wird angestrebt, dass sich für die in z-Richtung orientierten Fahrweg -Funktionsebenen im Betrieb eine weitestgehend ebene Bezugsfläche einstellt. Dabei wird der Verlauf der Sollvorkrümmung generell auf die Lage der Statorebene unter Betriebsbedingungen bezogen (die Soll-Lage im Betriebszustand entspricht dabei dem Verlauf der Raumkurve).

Für die Ermittlung des zu berücksichtigenden Verformungsanteil aus dem Fahrweg-Temperaturunterschied ist ein projektspezifisches ΔT (u.a. unter Berücksichtigung der Trägergestaltung, dem -material, und der tagestypischen Temperaturverteilung im Träger sowie der Gradientenlage) festzulegen.

In der unbelasteten Soll-Lage, z.B. bei der Fertigung (keine Verkehrslast, homogene Bauteiltemperatur ($\Delta T = 0 K$), Bauteiltemperatur = projektspezifische Bezugstemperatur) sind somit die in z-Richtung orientierten Funktionsebenen (Stator-, Gleitebene) nach oben vorgekrümmt siehe Abbildung 17 (Ausnahme: Festlegung für Spurwechseleinrichtungen siehe Abbildung 22).

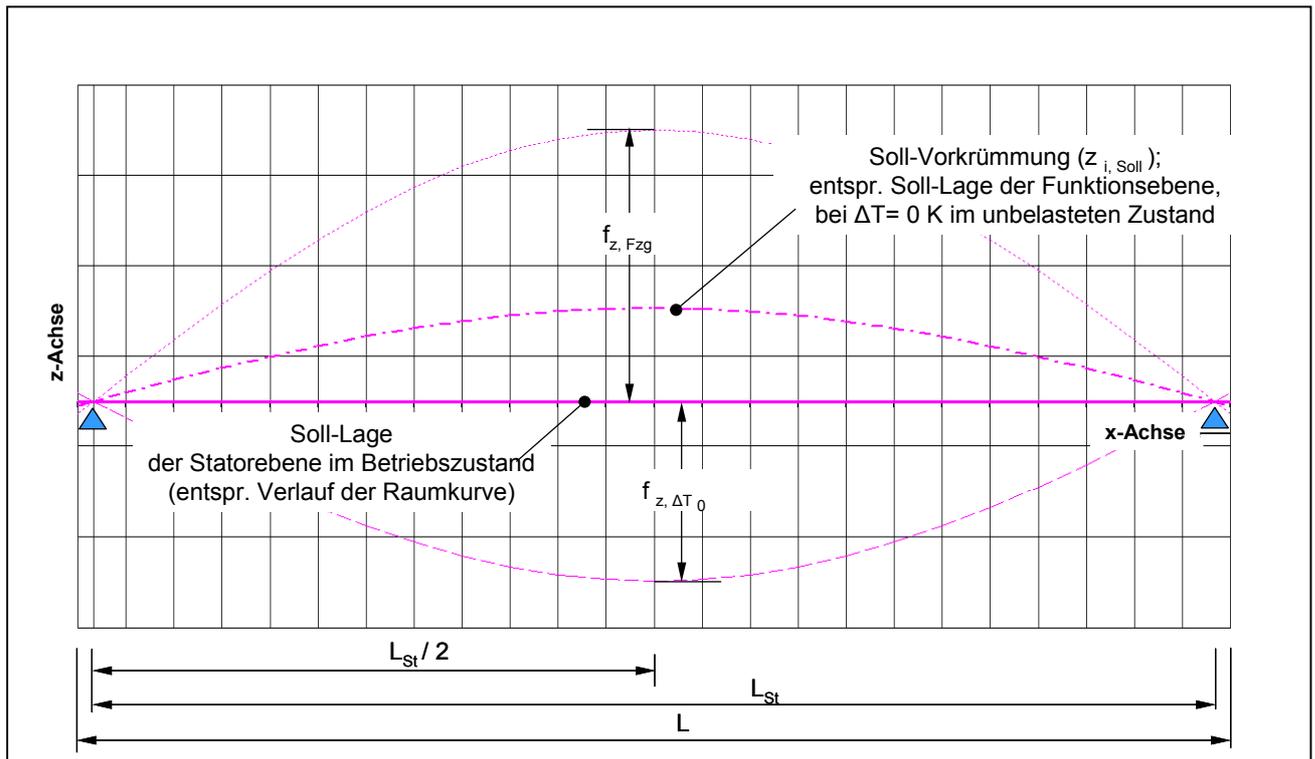


Abbildung 17: Sollvorkrümmung und deren Anteile (Darstellung ohne Berücksichtigung des Kriech- und Schwindverhaltens)

6.6.1.1 Soll-Vorkrümmung bei Einfeldträgern

Zwischen den Trägerlagern kann der Verlauf der Soll-Vorkrümmung beim Einfeldträger nach Gleichung 10 ermittelt werden (siehe auch Abbildung 20).

Zur Festlegung des Verlaufes der Sollvorkrümmung in den Fahrwegträger-Bereichen von den Lagerachsen bis zum Trägeranfang bzw. -ende werden Tangenten an die ermittelte Kurve der Sollvorkrümmung bei den x-Werten der Lagerachsen gelegt.

Verlauf der Soll-Vorkrümmung, beispielhaft für die z-Koordinate:

$$z_{i, \text{Soll}} = z_{\text{max}} * \frac{384}{120} * \left(\frac{x_i}{L_{\text{St}}} - \frac{2 * x_i^3}{L_{\text{St}}^3} + \frac{x_i^4}{L_{\text{St}}^4} \right) \quad [\text{mm}] \quad \text{Gleichung 10}$$

Grenzwerte für $z_{\text{max}} = f_{z, \text{Fzg}} - f_{z, \Delta T_0}$ gemäß /MSB AG-FW BEM/

6.6.1.2 Soll-Vorkrümmung bei Zweifeldträgern

Für Zweifeldträger mit gleichen Feldweiten kann der Verlauf der Soll-Vorkrümmung für jedes Feld aus der rechnerisch vorhandenen max. Durchbiegung des Trägers bei Belastung beider Felder in Abhängigkeit von der Trägerlänge und Steifigkeit nach Gleichung 11 ermittelt werden (siehe auch Abbildung 21).

Das Maximum der Durchbiegung liegt jeweils bei $0,421 \cdot L_{St}$ von der Los-Lagerachse aus gesehen.

Zur Festlegung des Verlaufes der Sollvorkrümmung in den Bereichen des Trägers von den Los-Lagerachsen bis zum Trägeranfang bzw. -ende werden Tangenten an die ermittelte Kurve der Soll-Vorkrümmung bei den x-Werten der Lagerachsen gelegt.

Der Soll-Vorkrümmungsverlauf von Zweifeldträgern mit ungleichen Stützweiten oder unterschiedlichen Trägerfeldsteifigkeiten ist analog für jedes L_i zu ermitteln.

Verlauf der Soll-Vorkrümmung, beispielhaft für die z-Koordinate:

$$z_{i,Soll} = z_{max} \cdot \frac{185}{48} \cdot \left(\frac{x_i}{L_{St_i}} - \frac{3 \cdot x_i^3}{L_{St_i}^3} + \frac{2 \cdot x_i^4}{L_{St_i}^4} \right) \quad [mm] \quad \text{Gleichung 11}$$

Grenzwerte für $z_{max} = f_{z, Fzg} - f_{z, \Delta T O}$ gemäß /MSB AG-FW BEM/

6.6.1.3 Soll-Vorkrümmung bei Mehrfeldträgern und Spurwechseleinrichtungen

Bei Mehrfeldträgern ist in Abhängigkeit der sich einstellenden Biegelinie und den daraus resultierenden Durchbiegungen in z-Richtung und des Endtangentialwinkels am Trägeranfang und -ende über die Berücksichtigung der Sollvorkrümmung zu entscheiden.

Bei Spurwechseleinrichtungen wird generell keine Sollvorkrümmung berücksichtigt.

6.6.2 Langwellige Abweichung

Die Definition der langwelligen Abweichung basiert grundlegend auf der für den Fahrwegträger charakteristischen Biegelinie, der eine maximal zulässige Auslenkung („Durchbiegung“) pro Betrachtungsfeld in beide Richtungen (+/-) zugeordnet ist.

Für die Ober- und Untergrenzen des Toleranzfeldes der langwelligen Abweichung um die Soll-Lage werden folgende Festlegungen getroffen (siehe auch Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22):

- Der x-Wert des Maximums der langwelligen Abweichung ist bei Ein- und Zweifeldträgern deckungsgleich mit dem x-Wert der maximal theoretisch Verformung des Fahrweges infolge von Lasteinwirkung.

- Der Verlauf vom Maximum bis zum Fahrwegträgeranfang bzw. -ende kann bei Einfeldträgern durch die Gleichung 12 und bei Zweifeldträgern durch Gleichung 13¹ beschrieben werden.
Bei einer zu berücksichtigenden Soll-Vorkrümmung in der Funktionsebene können die Grenzen vereinfacht nach Gleichung 14 ermittelt werden.
- Bei Ein- und Zweifeldträgern werden die Funktionen der theoretischen Biegelinien zwischen den Stützorten als Basis für die Bestimmung des Toleranzbandes der langwelligen Abweichung benutzt. Trägeranfang und Ende des ersten bzw. letzten Feldes sowie die Stützorte erhalten den Absolutwert „0“.

Es wird vorausgesetzt, dass die eventuell bei der Fertigung auftretenden Abweichungen von „0“ an den Stützorten bei der Montage und Feinpositionierung ausgeglichen werden.

- Die Ermittlung des Verlaufes der Vorkrümmung bei Mehrfeldträgersystemen (> 2 Felder) ist nicht Bestandteil dieses Dokumentes.

Die Ist-Lage der langwelligen Abweichung (siehe Abbildung 18) kann aus den diskreten Messwerten, unter Zugrundelegung der anzunehmenden Funktionen (siehe oben), mit Hilfe der Methode kleinster Quadrate nach Gauss bzw. durch Flächenausgleichung ermittelt werden.

Der so ermittelte Ist-Verlauf als $f(x)$ der betrachteten Funktionsebene, in Verbindung mit dem überlagerten Toleranzfeld der kurzwelligen Abweichung spiegelt die max. möglichen Abweichungen der diskreten Messwerte von der Ist-Lage der langwelligen Abweichung wieder.

Der mögliche Verlauf der Ist-Lage der langwelligen Abweichung wird dabei durch das Toleranzfeld der langwelligen Abweichung begrenzt (siehe Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22).

¹ Bei Verwendung von Gleichung 13 tritt durch den L_i -Bezug in der Gleichung ein verschobenes x_i für den Maximalwert auf ($\neq 0,421 \cdot L_{St}$). Daraus resultiert eine unwesentliche tolerierbare Veränderung des Y-Verlauf der Ober- und Untergrenze des Toleranzfeldes in diesem Bereich (Abweichung < 0,01) mm.

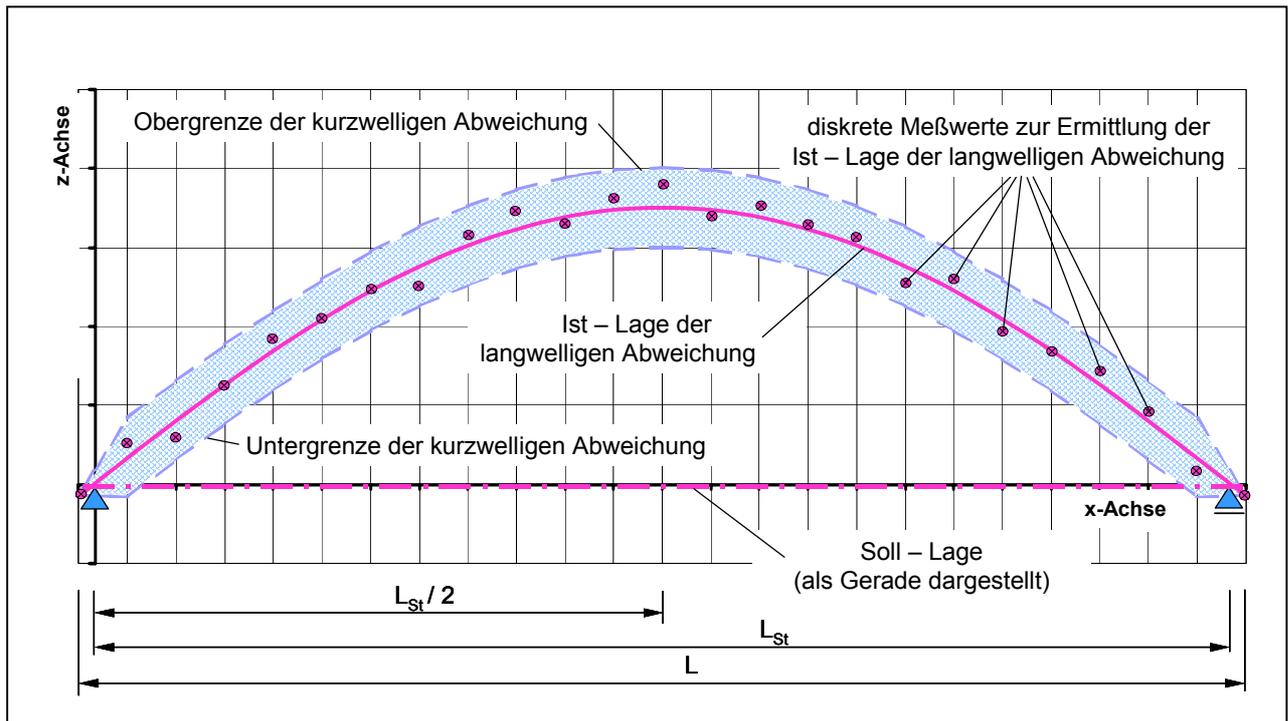


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen diskreten Messwerten, Ist-Lage der langwelligen Abweichung und zugehörigen Grenzwerten der kurzwelligen Abweichung

Bei der Ermittlung der langwelligen Abweichung sind die projizierten Δz_i der Zwickellösung (Kap. 6.6.5) bei Verwendung der diskreten Messwerte mit zu berücksichtigen.

6.6.2.1 Langwellige Abweichung bei Einfeldträgern

Die nachfolgenden Darstellungen und Gleichungen zum Toleranzfeld der langwelligen Abweichung sind beispielhaft für die z-Koordinate erstellt und analog für die y-Koordinate verwendbar.

Der Verlauf des Toleranzfeldes der langwelligen Abweichung für Einfeldträger wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\Delta z_{i,Lw} = \pm \max \Delta z_{Lw} * \frac{384}{120} * \left(\frac{x_i}{L} - \frac{2 * x_i^3}{L^3} + \frac{x_i^4}{L^4} \right) \quad [\text{mm}] \quad \text{Gleichung 12}$$

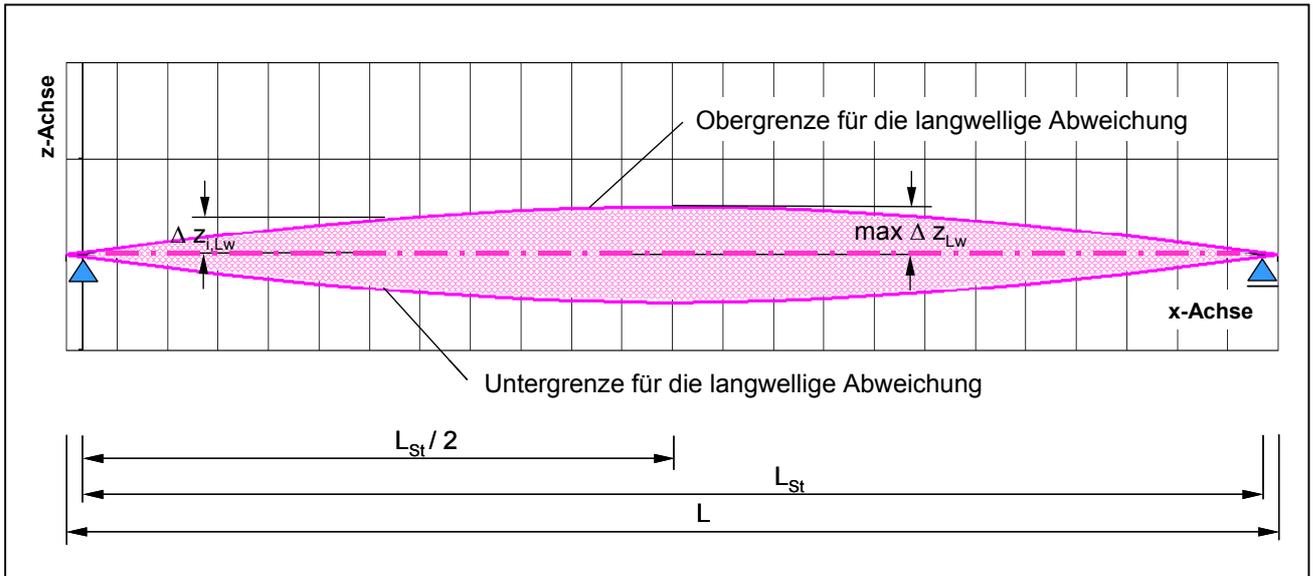


Abbildung 19: Verlauf und Lage des Toleranzfeldes der langwelligen Abweichung bei Einfeldträgern ohne Vorkrümmung am Beispiel der SE

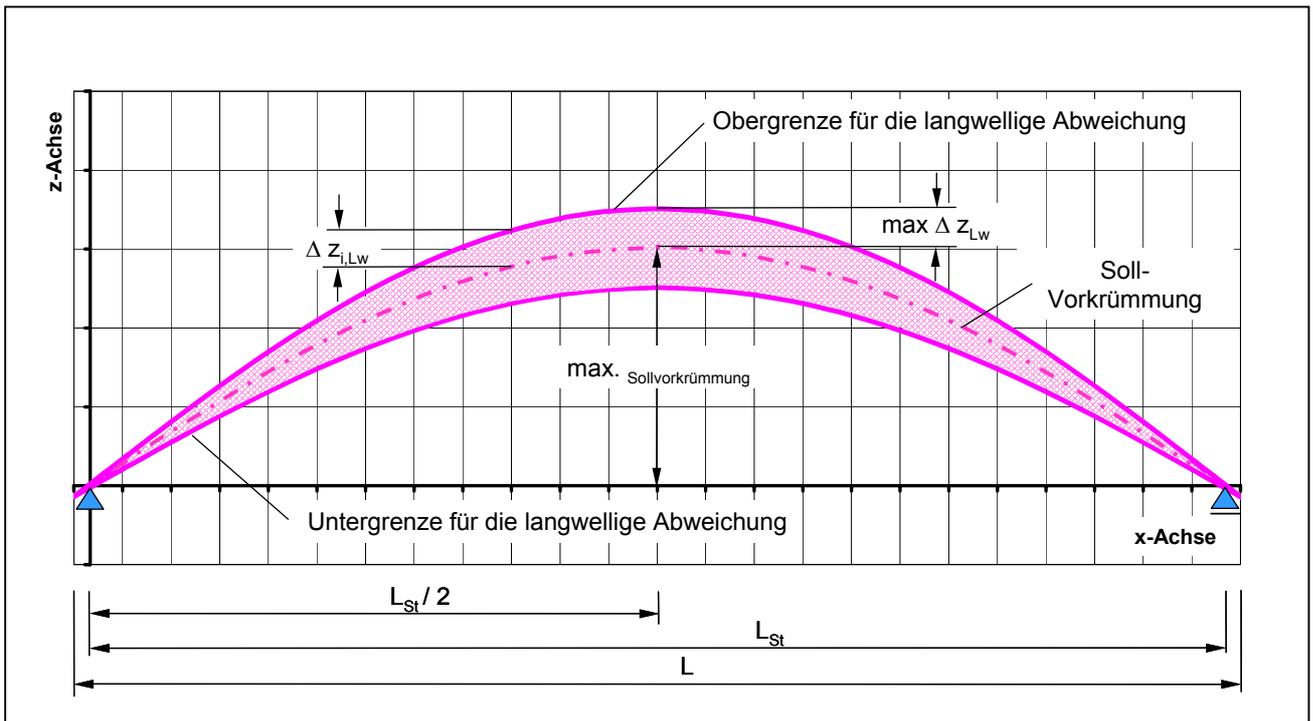


Abbildung 20: Verlauf und Lage des Toleranzfeldes der langwelligen Abweichung bei Einfeldträgern mit Vorkrümmung am Beispiel der SE

6.6.2.2 Langwellige Abweichung bei Zwei- und Mehrfeldträgern sowie Spurwechseleinrichtungen

Die nachfolgenden Darstellungen und Gleichungen zum Toleranzfeld der langwelliger Abweichung sind beispielhaft für die z-Koordinate erstellt und analog für die y-Koordinate verwendbar.

Der Verlauf des Toleranzfeldes der langwelliger Abweichung für Zweifeldträger im Bereich Trägeranfang bzw. -ende bis zum Mittenlager wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\Delta z_{i,Lw} = \pm \max \Delta z_{Lw} * \frac{185}{48} * \left(\frac{x_i}{L_i} - \frac{3 * x_i^3}{L_i^3} + \frac{2 * x_i^4}{L_i^4} \right) \quad [\text{mm}] \quad \text{Gleichung 13}$$

Eine vereinfachte Ermittlung des Toleranzfeldes der langwelliger Abweichung bei vorgekrümmten Funktionsebenen von Einfeld- und Zweifeldträgern zwischen dem Trägeranfang bzw. -ende und dem Mittenlager erfolgt nach folgender Gleichung:

$$\Delta z_{i,Lw} = \pm \frac{z_{i,Soll}}{\max z_{Soll}} \quad [\text{mm}] \quad \text{Gleichung 14}$$

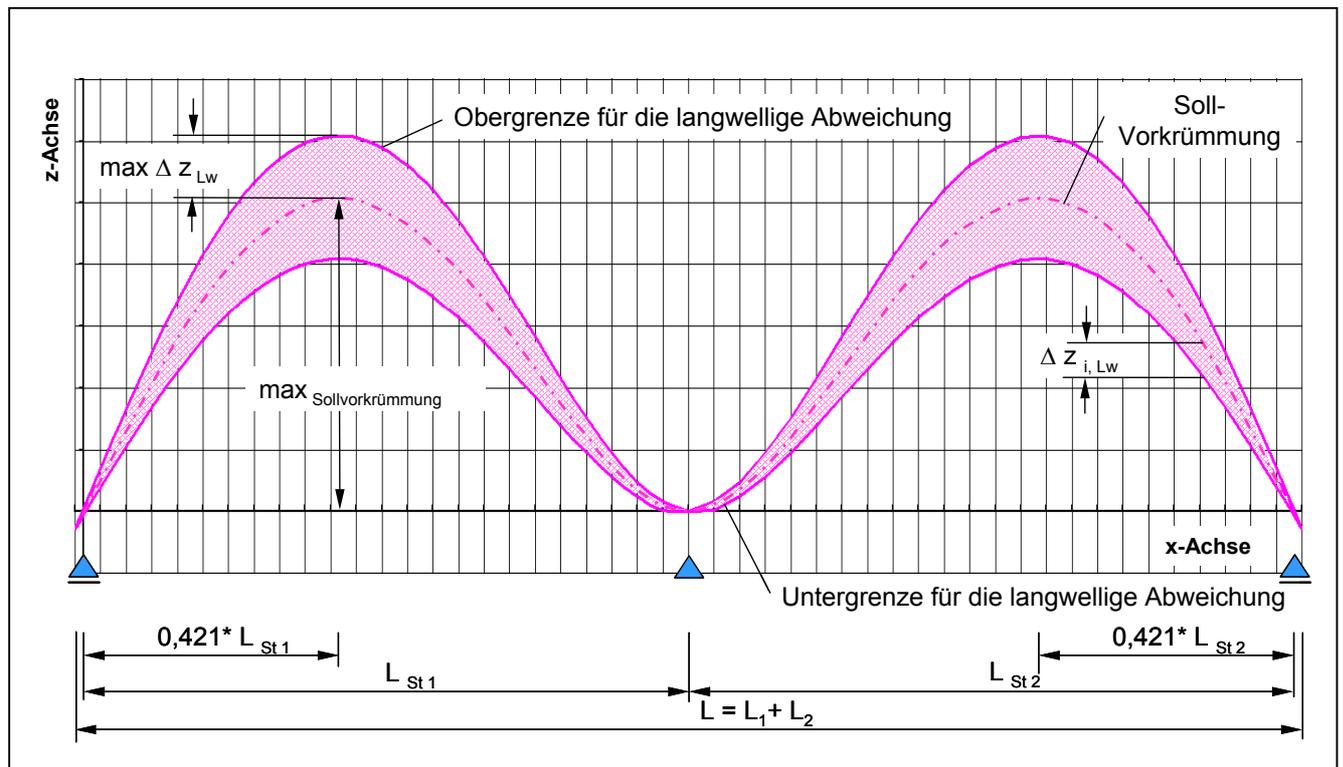


Abbildung 21: Verlauf und Lage des Toleranzfeldes der langwelliger Abweichung bei Zweifeldträgern mit Vorkrümmung am Beispiel der SE

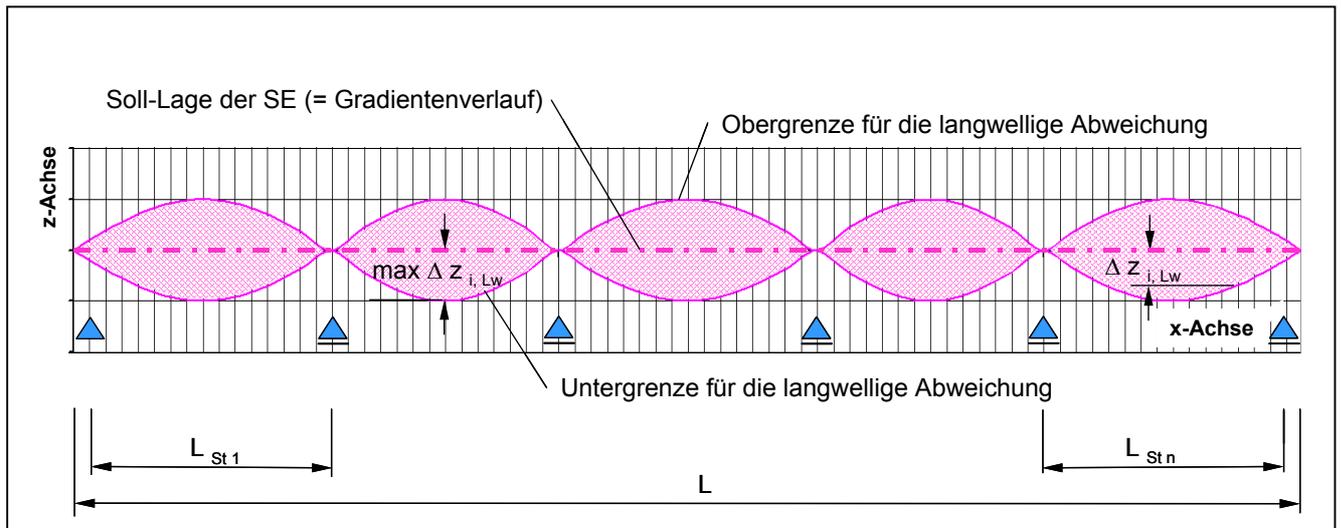


Abbildung 22: Verlauf und Lage des Toleranzfeldes der langwelligen Abweichung am Beispiel der SE einer Spurwechseleinrichtung ohne Soll-Vorkrümmung

6.6.3 Kurzwellige Abweichung

Die kurzwellige Abweichung überlagert die Ist-Lage der langwelligen Abweichung. Sie beinhaltet alle Material-, Fertigungs- und Einbautoleranzen von Funktionsebenenbestimmenden Elementen.

In ihrem Toleranzfeld müssen sowohl alle Absolutwerte an den lokalen Messpunkten der Funktionsfläche, als auch alle Bereiche zwischen den einzelnen Messpunkten, liegen.

Die Toleranzbreite ist, bis auf den Bereich des unmittelbaren Trägeranfangs und –endes, konstant über die Fahrwegträgerlänge (siehe auch Abbildung 23, Abbildung 24 und Abbildung 25).

Die Ausbildung am Trägeranfang und –ende wird durch das dort zulässige NGK (Kap. 6.6.5) geprägt.

Die nachfolgenden Darstellungen zur kurzwelligen Abweichung sind beispielhaft für die z-Koordinate erstellt und analog für die y-Koordinate verwendbar.

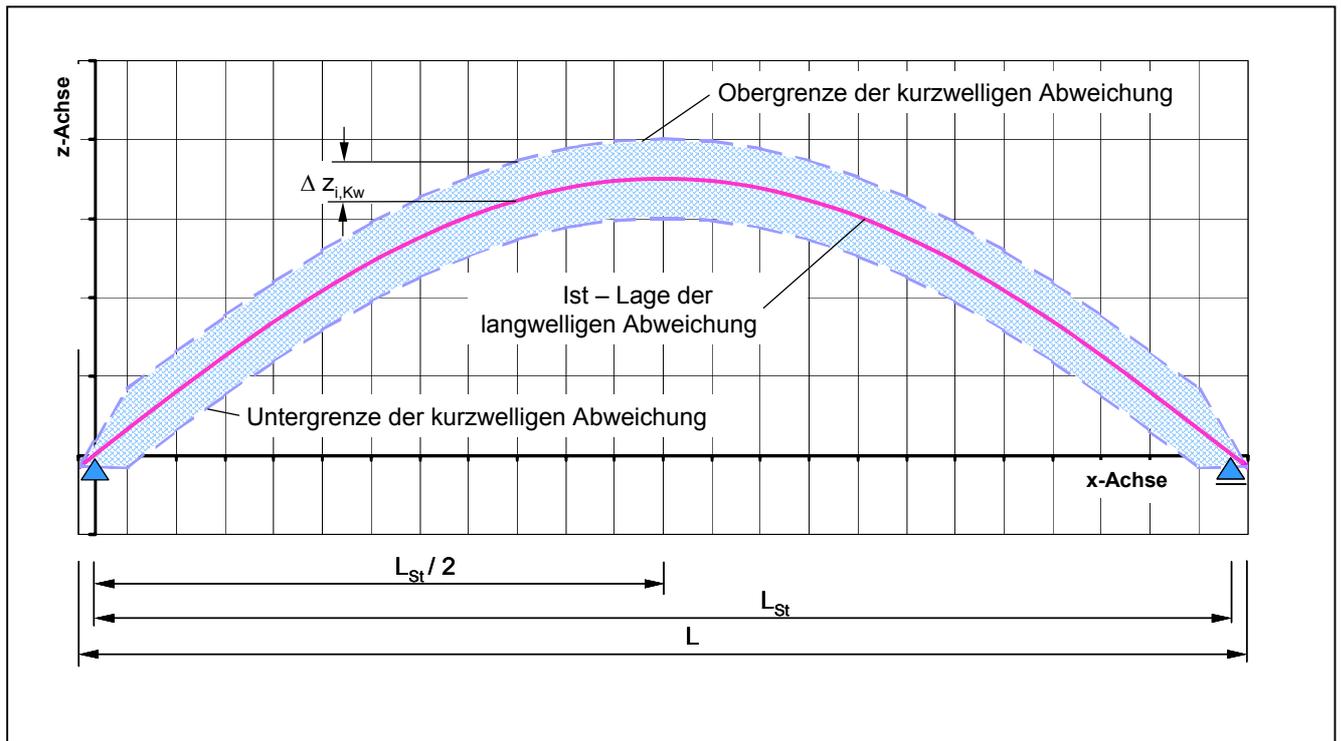


Abbildung 23: Verlauf des Toleranzfeldes der kurzwelligen Abweichung bei Einfeldträgern mit Vorkrümmung am Beispiel der SE

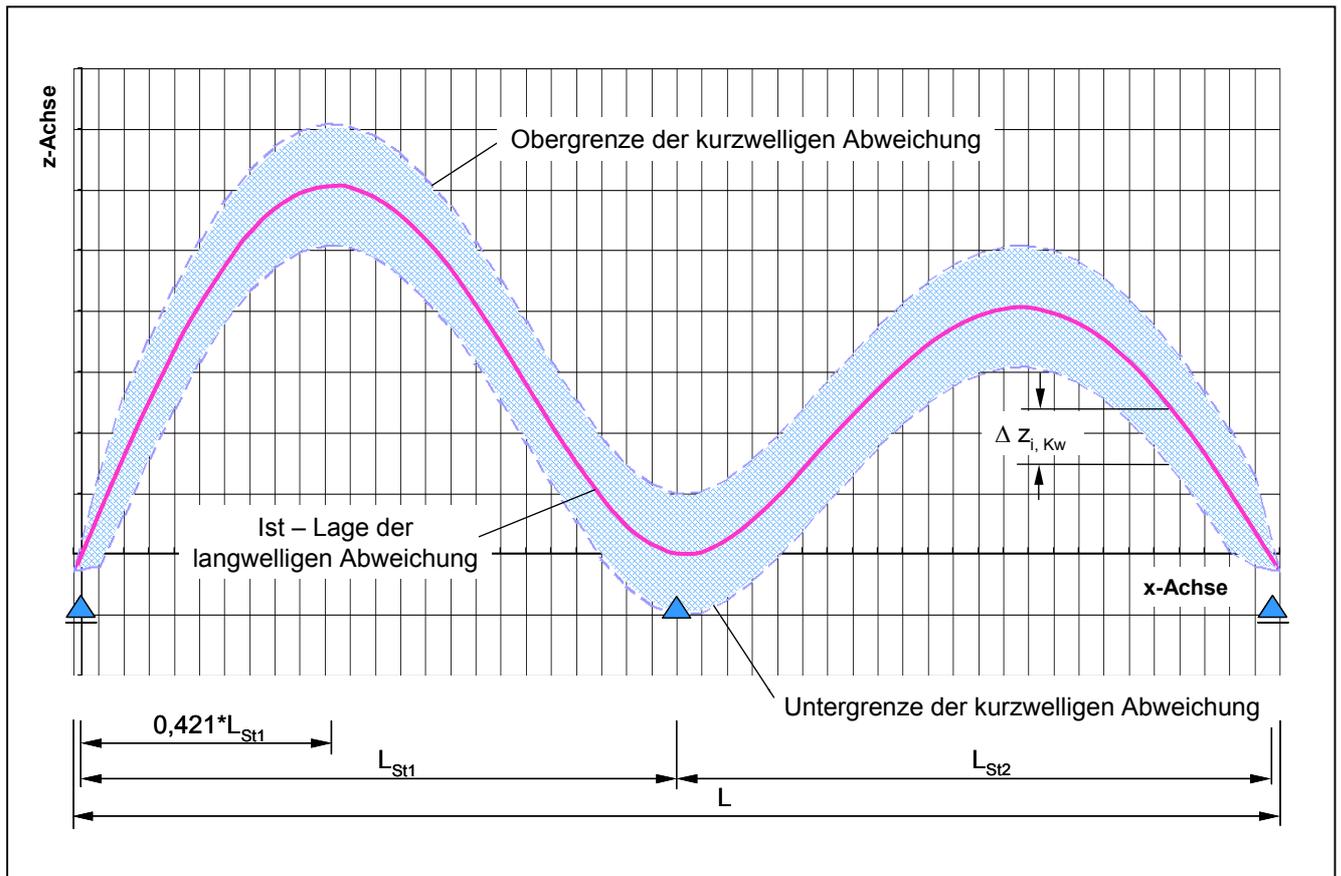


Abbildung 24: Verlauf des Toleranzfeldes der kurzwelligen Abweichung bei Zweifeldträgern mit Soll-Vorkrümmung und Bezug zur Ist-Lage der langwelligen Abweichung am Beispiel der SE

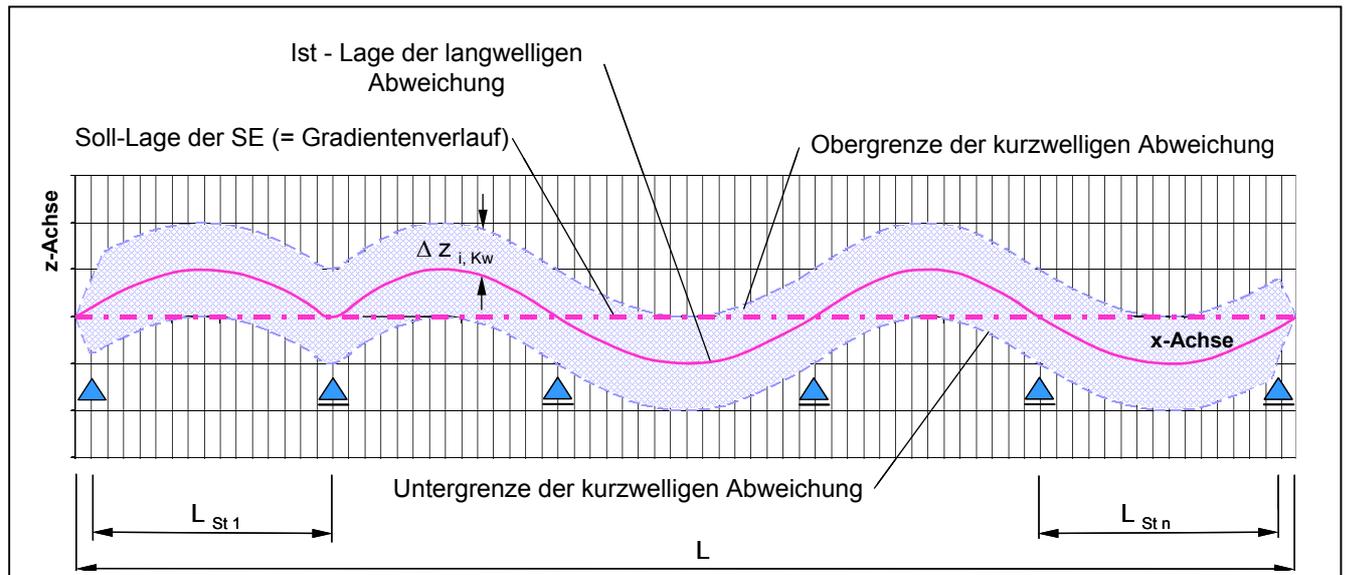


Abbildung 25: Verlauf des Toleranzfeldes der kurzwelligen Abweichung einer Spurwechseleinrichtungen mit Bezug zur Ist-Lage der langwelligen Abweichung am Beispiel der SE

6.6.4 Neigungsänderungskriterium

Als Neigungsänderungskriterium (NGK) wird die Winkelabweichung in mm, ermittelt an den unter Pkt. 6.1 definierten Messpunkten zweier benachbarter 1 m langer Teilelemente einer Funktionsebene in Längsrichtung des Fahrweges (x-Achse), bezeichnet.

Bei der Beurteilung des NGK ist von folgender Betrachtungsweise auszugehen:

Ein sich im Träger befindliches NGK kann für Toleranzbetrachtungen als betriebs- und temperaturabhängig konstant betrachtet werden.

Das sich einstellende NGK am Trägerübergang dagegen besitzt:

- einen festen Anteil aus der Fertigung der Träger, der bestimmt wird durch den Anteil aus der Sollvorkrümmung und der Definition des Toleranzfeldes der kurzwelligen Abweichung am Trägeranfang bzw. -ende,
- zusätzlich einen veränderlichen Anteil, der abhängig ist von der Verformung des Trägers unter den Last- und Temperatureinwirkungen am Aufstellort während der Betriebszeit.

Das heißt, dass abhängig von den Verformungseigenschaften des Trägers die Toleranzfelder für die kurzwellige Abweichung am Trägeranfang und -ende unter Beachtung der systemtechnisch verträglichen Grenzwerte, siehe /MSB AG-GESAMTSYS/ festzulegen sind.

In der Regel soll das zulässige NGK am Trägeranfang und -ende, bezogen auf die Soll-Lage (unter Beachtung der Soll-Vorkrümmung), die Hälfte des zulässigen Wertes im Fahrwegträger nicht überschreiten.

NGK's werden nach Gleichung 15 ermittelt, siehe Abbildung 26.

Gleichung beispielhaft dargestellt für die Z-Koordinate

$$NGK_i = \left[\left(\frac{Z_i - Z_{i-1}}{L_1} \right) + \left(\frac{Z_i - Z_{i+1}}{L_2} \right) \right] \quad \text{Gleichung 15}$$

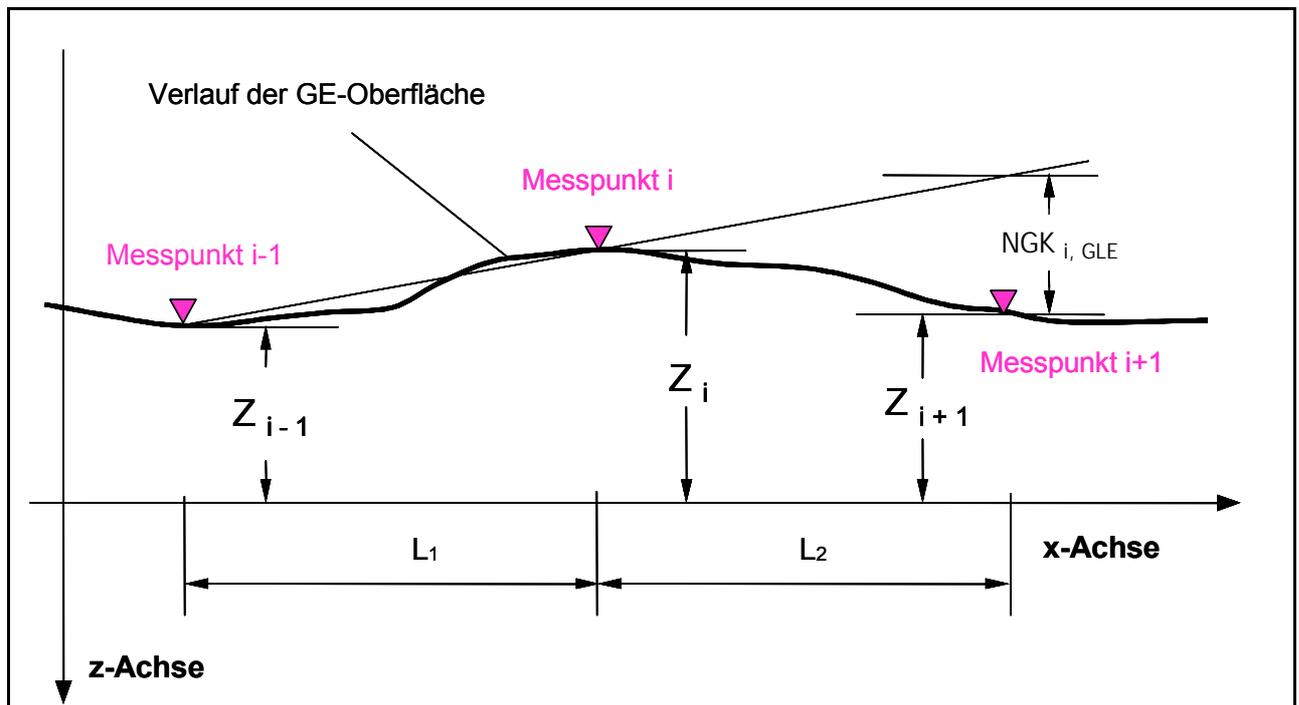


Abbildung 26: Darstellung Neigungsänderungskriterium am Beispiel der GE

6.6.5 Zwickellösung

Zur Anpassung des Toleranzfeldes der kurzweiligen Abweichung am Trägeranfang und –ende, mit der Zielstellung, Einhaltung des Neigungsänderungskriteriums der Funktionsebene (entspr. /MSB AG-GESAMTSYS/) unter allen Betriebsbedingungen (max. Ist-Temperaturdifferenz zwischen Trägerober- und Trägeruntergurt; Trägergeometrie in der Situation belasteter Träger zu unbelasteten) kann die Lage der Funktionsebene am Trägeranfang und -ende mit Hilfe der Zwickellösung optimiert werden. Den Bezug bilden die auf der x-Achse liegenden Messpunkte (siehe Abbildung 4).

Die Zwickellösung wird derzeit nur in der SE, in Abhängigkeit der Trägersteifigkeit in z-Richtung angewandt.

Die prinzipielle Vorgehensweise zur Festlegung der Soll-Lage ist aus Abbildung 27 ersichtlich.

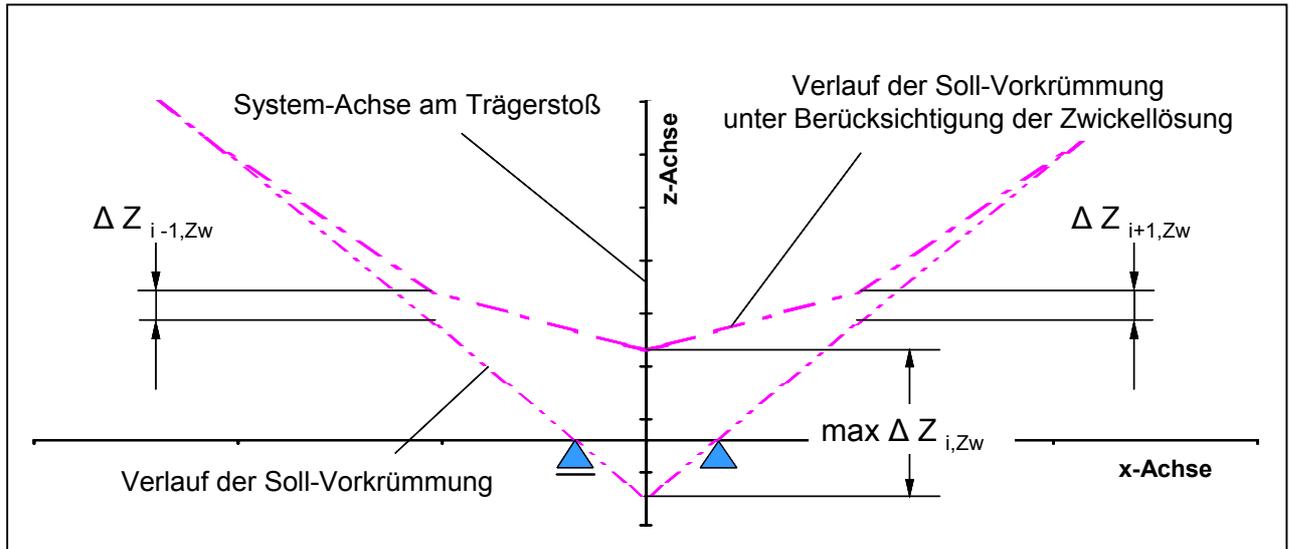


Abbildung 27: Ausführung der Zwickellösung in der SE

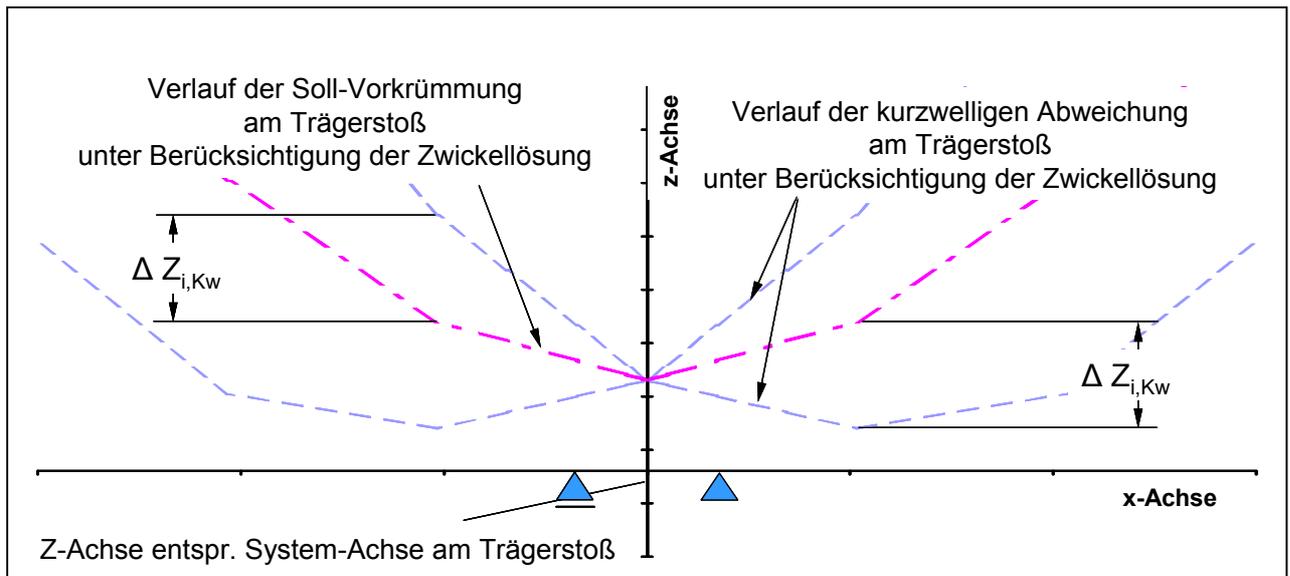


Abbildung 28: Verlauf der kurzweiligen Abweichung der SE am Trägerübergang bei Anwendung der Zwickellösung

Die Berücksichtigung der Zwickellösung zum Zeitpunkt der Trägerfertigung führt zu einer Verschiebung des Toleranzfeldes der kurzweiligen Abweichung im Bereich des Trägeranfanges und -endes, siehe Abbildung 28.

6.6.6 Versatz

Als Versatz wird die Differenz der Absolutwerte zweier benachbarter Funktionsebenenelemente am unmittelbaren Übergang bezeichnet, siehe Abbildung 29 und Abbildung 30.

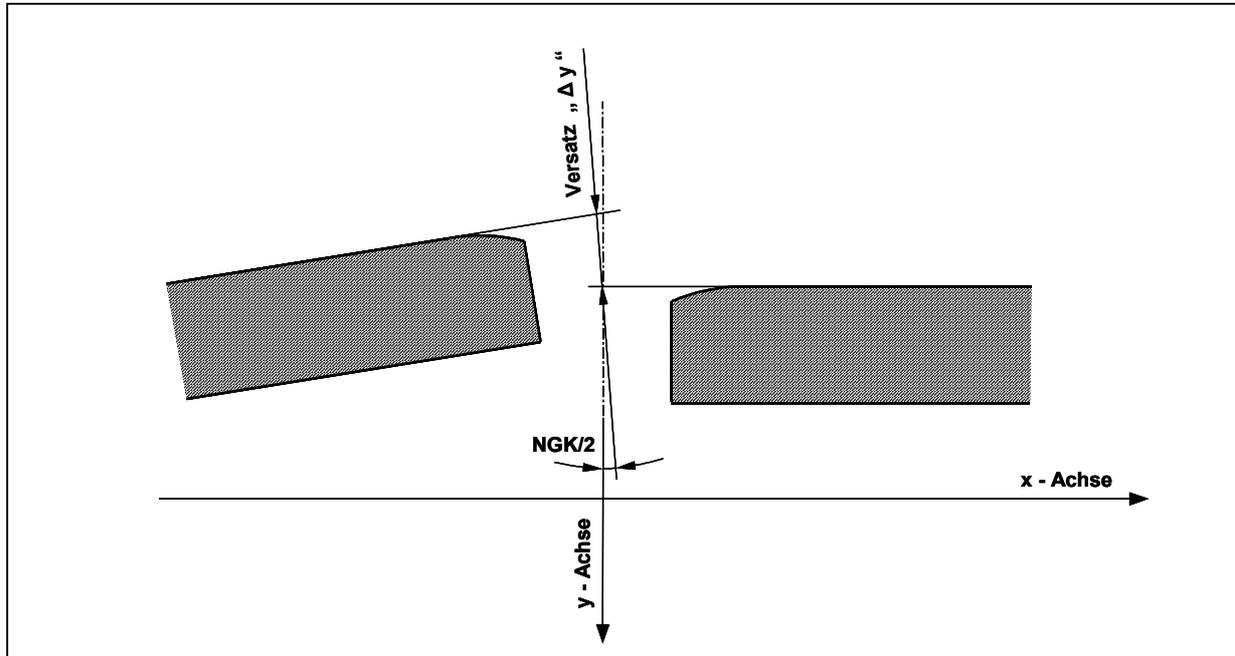


Abbildung 29: Darstellung eines negativen Versatzes an der SFE mit überlagertem NGK

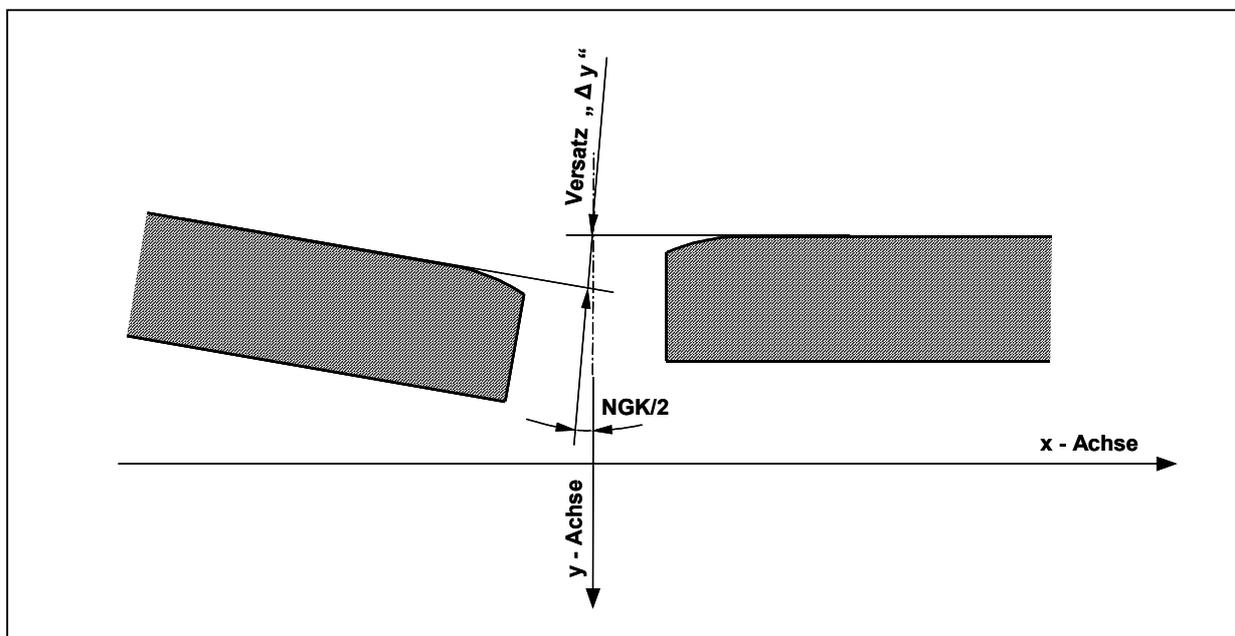


Abbildung 30: Darstellung eines positiven Versatzes an der SFE mit überlagertem NGK

6.6.7 Verkippung

Als Verkippung wird die Verdrehung der Funktionsebene im Messpunkt (Abbildung 4) um die Funktionsebenenlängsachse (x-Achse) bezeichnet.

6.6.8 Querneigungstoleranz

Wird eine Funktionsebene oder ein geometrischer Parameter, wie die Fahrwegquerneigung, aus zwei oder mehreren Teilflächen gebildet (z.B. rechte und linke SE), dann widerspiegelt die Querneigungstoleranz die Abweichung des Mittelwertes der Ist-Lagen (z.B. $z_{i,ist}$) der jeweiligen Teilflächen, am gleichen Bezugspunkt x_i , von der Soll-Lage.

Die Querneigungstoleranz ist nur innerhalb des Trägers definiert und beinhaltet die Ist-Verläufe des Toleranzfeldes der kurzweiligen Abweichungen der betreffenden Funktionsebenen.

6.6.9 Überlagerung von Toleranzen und Lageabweichungen

Die in den vorangegangenen Kapiteln aufgeführten Lageabweichungen und Toleranzen sind jeweils für den Messpunkt definiert. Somit ist z.B. ein Versatz betrachtet über die gesamte Ausdehnung der Funktionsebene in y-Richtung die Summe der Anteile aus Versatz und dem zugehörigen Anteil aus Verkippung (siehe Abbildung 31).

NGK-Werte spiegeln nur die reine Winkelabweichung benachbarter Funktionsebenen unter Ausschluss eventuell zusätzlich vorhandener Versätze wider (siehe Abbildung 29 und Abbildung 30).

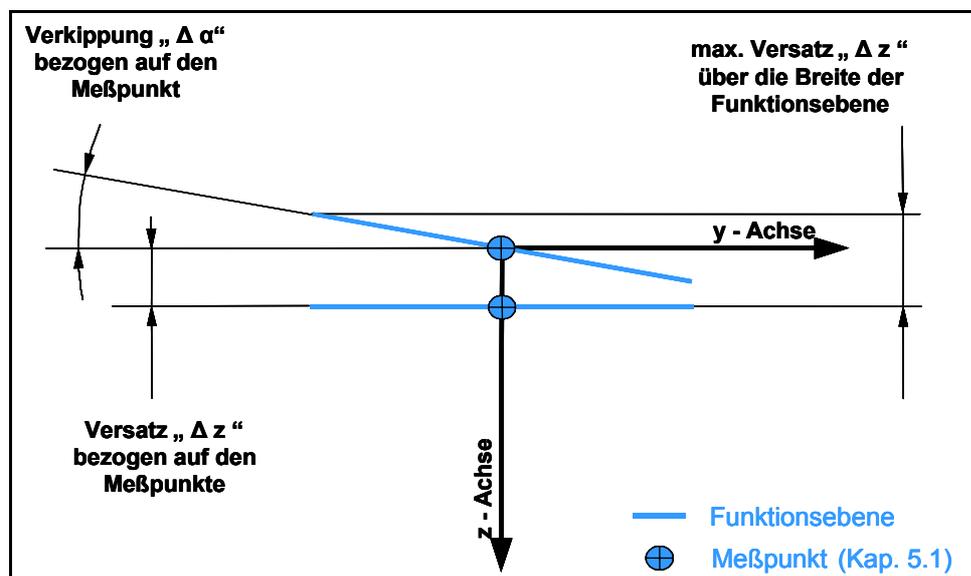


Abbildung 31: Überlagerung von Versatz und Verkippung an gleichen benachbarten Funktionsebenen (z.B. bei Statorpaketen in der Statorebene)

Die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Lageabweichungen und Toleranzen ist Funktionsebenenzugehörig in den nachfolgenden Kapiteln jeweils als Übersicht dargestellt.

6.7 Zulässige Toleranz und Lageabweichungen

6.7.1 Toleranzen und Lageabweichungen für die Statorebene (SE)

Die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Toleranzen und Lageabweichungen der SE in der z-Koordinate ist in der folgenden Übersicht (Abbildung 32) dargestellt.

Die Zusammenhänge in der x- und y-Koordinate wurden aus Gründen der untergeordneten Wertigkeit nicht dargestellt.

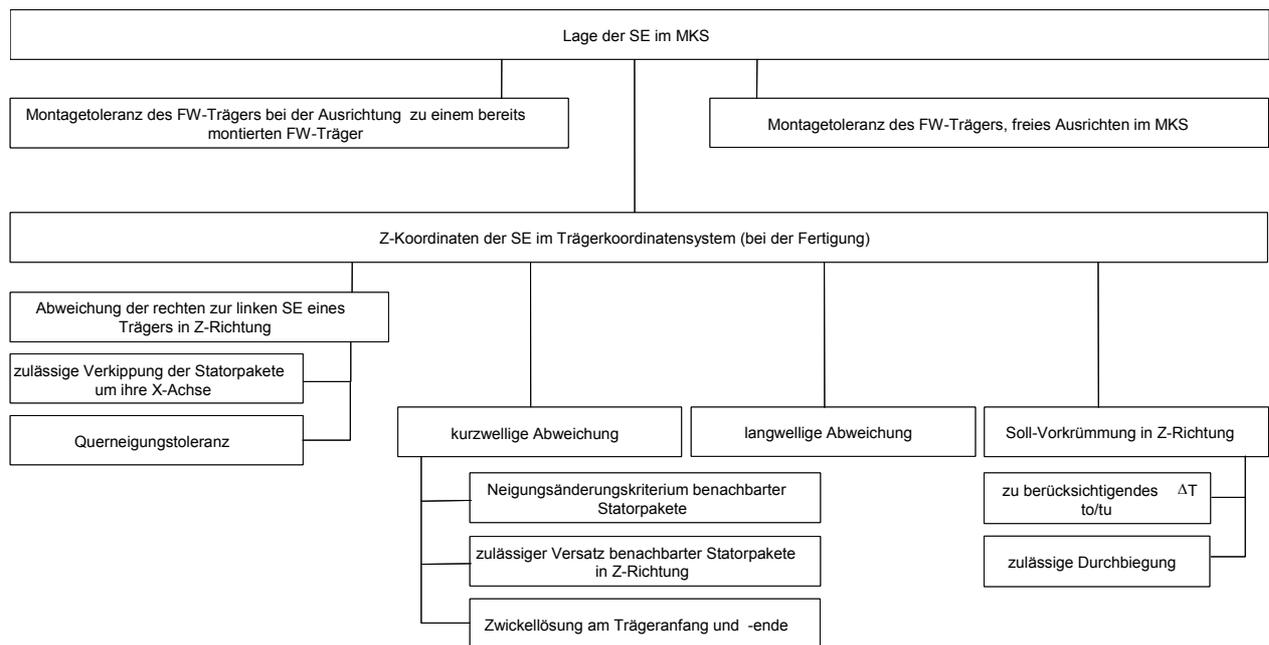


Abbildung 32: Toleranzen und Lageabweichungen der Statorebene (SE) und deren Abhängigkeiten zueinander

6.7.1.1 Zulässige Lageabweichung der Statorpakete in x-Richtung

Die Solllage der einzelnen Statorpakete im Fahrwegträger und somit deren Positionierung in x-Richtung werden projektspezifisch unter Berücksichtigung von /MSB AG-GESAMTSYS/ vorgegeben.

An den Übergängen der Fahrwegträgern ist zudem die vorgesehene Lage des Motorwicklungskabels zu beachten.

Die Fertigungstoleranzen für die Aufnahme der Statorpakete sind so zu wählen, dass bei Einhaltung der Vorgaben aus /MSB AG-FW BEM/ (Belastung und Verformung des Fahrweges) benachbarte Statorpakete in x-Richtung berührungsfrei bleiben. Die mechanischen Abstände an den Stirnflächen der Statorpakete sollen im Trägerfeld 0,5 mm bis 2 mm betragen.

6.7.1.2 Zulässige Lageabweichung der Langstatormittenachse in y-Richtung

Die zulässige Lageabweichung der Langstatormittenachse (siehe Abbildung 4) in y-Richtung gegenüber der Solllage beträgt durchgängig:

$$\Delta y_{\max} = \pm 2 \text{ mm}$$

6.7.1.3 Toleranzen der SE in z-Richtung

6.7.1.3.1 Soll-Vorkrümmung

Der theoretische Verlauf zwischen den Lagerachsen von Ein- und Zweifeldträgern kann nach Gleichung 10 bzw. Gleichung 11 ermittelt werden. Für Mehrfeldelemente sind analoge Gleichungen für die Durchbiegung zu verwenden. Als z_{\max} ist die für den jeweiligen Träger charakteristische Durchbiegung unter Fahrzeuglast anzusetzen.

Die Ermittlung der zulässigen Durchbiegung erfolgt nach /MSB AG-FW BEM/.

Bei der Berechnung der Soll-Vorkrümmung ist die Verformung des Trägers aus dem Temperaturunterschied innerhalb des Trägerquerschnittes ΔT_{Be} gemäß /MSB AG-FW BEM/ zu berücksichtigen.

6.7.1.3.2 Langwellige Abweichung der SE

Der Verlauf des Toleranzfeldes der langwelligen Abweichung bezogen auf den Verlauf der Sollvorkrümmung wird trägerbauartabhängig wie folgt beschrieben:

Einfeldträger

$$x_{\text{Trägeranfang}} < x_i < x_{\text{Trägerende}}$$

$$\Delta z_{i,Lw} \Rightarrow \text{Gleichung 12 oder Gleichung 14}$$

Zweifeldträger

$$x_{\text{Trägeranfang}} \leq x_i \leq x_{L_1}$$

$$\Delta z_{i,Lw} \Rightarrow \text{Gleichung 13 oder Gleichung 14}$$

$$x_{L_2} \leq x_i \leq x_{\text{Trägerende}}$$

$$\Delta z_{i,Lw} \Rightarrow \text{Gleichung 13 oder Gleichung 14}$$

Bei Verwendung der Gleichung 12 und Gleichung 13 zur Bestimmung der Ober- und Untergrenze ist

$$\max \Delta z_{Lw} = 1 \text{ mm}$$

einzusetzen.

Mehrfeldträger (Spurwechseleinrichtungen)

$$X_{\text{Trägeranfang}} \leq X_i \leq X_{L_1} \quad \Delta Z_{i,LW} \Rightarrow \text{folgt der math. Beschreibung der Biegelinie}^*$$

$$X_{L_1} \leq X_i \leq X_{L_n} \quad \Delta Z_{i,LW} \Rightarrow \text{folgt der math. Beschreibung der Biegelinie}^*$$

$$X_{L_n} \leq X_i \leq X_{\text{Trägerende}} \quad \Delta Z_{i,LW} \Rightarrow \text{folgt der math. Beschreibung der Biegelinie}^*$$

* siehe Kap. 6.6.2; $\max \Delta Z_{i,LW} = 1\text{mm}$ $i = \text{Anzahl der Felder}$

6.7.1.3.3 Kurzwellige Abweichung gegenüber der SE-IST-Lage (langwellige Abweichung), Toleranzen am Trägerstoß

Der Verlauf des Toleranzfeldes der kurzwelligen Abweichung bezogen auf den Verlauf der langwelligen Ist-Abweichung wird einheitlich für den Ein- und Mehrfeldträger durch folgende Eckdaten beschrieben:

$$X_{\text{Trägeranfang}} ; X_{\text{Trägerende}} \quad \Delta z = 0$$

$$X_{\text{Trägeranfang}} < X_i < X_{0+n*1032} ; X_{L-n*1032} < X_i < X_{\text{Trägerende}} , n = 1, 2..* \quad \Delta z_i \leq \pm 1\text{mm}$$

$$X_{0+n*1032} < X_i < X_{L-n*1032} \quad \Delta z = \pm 1\text{mm}$$

* n ist unter Einhaltung des max. zul. NGK festzulegen

6.7.1.3.3.1 Neigungsänderungskriterium innerhalb der kurzwelligen Abweichung

Innerhalb des Toleranzfeldes der kurzwelligen Abweichung ist in der Statorebene zur Wahrung der Nachbarschaftsbeziehung ein NGK von

$$\text{NGK}_{SE} \leq 1,5\text{mm}$$

einzuhalten.

Für die Bestimmung des Verlaufs des Toleranzfeldes der SE am Trägeranfang und –ende (Trägerübergang) sind die systemtechnischen Grenzwerte aus /MSB AG-GESAMTSYS/ sowie die zulässigen Grenzwerte aus /MSB AG-FW BEM/ zu berücksichtigen.

Als Ausgangsbasis ist, bezogen auf den Soll-Verlauf der Funktionsebene, ein

$$\text{NGK}_{SE,\text{Anfang;Ende}} \leq 0,75\text{mm}$$

anzusetzen.

Für das an diesen Stellen für Kontroll- und Abnahmemessungen zu definierende NGK sind die Messbedingungen und Bezüge unbedingt mit anzugeben.

6.7.1.4 Zulässige Versätze / Verkippung der SE

Die nachfolgenden Toleranzangaben beziehen sich auf die Messpunkte entsprechend Abbildung 4. In x-Richtung wird jeweils der 1. und letzte Vollzahn der benachbarten Statorpakete als Messpunkt benutzt (siehe Kap. 6.1).

Die Toleranzen sind für alle Fahrwegbauarten gleich.

- Versätze:

innerhalb des Trägers $|\Delta z_{i_{\max}}| = 0,4 \text{ mm}$

am Trägerstoß $|\Delta z_{i_{\max}}| = 0,6 \text{ mm}$

Der Versatz am Trägerstoß ist dabei eine reine Montagetoleranz, welche sich erst nach der Trägerfeinpositionierung einstellt.

Der zulässige, maximale Versatz der SE bei Ausfall der Primärbefestigung muss projektspezifisch festgelegt werden.

- Verkippung (bezogen auf den Messpunkt in LA):

$$\Delta \alpha_{SE_{\max}} = \pm \arctan(0,2 \text{ mm} / 92,5 \text{ mm})$$

6.7.1.4.1 Querneigungstoleranz der SE

Die Querneigungstoleranz ist nur für Ein- und Zweifeldträger definiert.

$X_{\text{Trägeranfang}} ; X_{\text{Trägerende}}$ sind rechnerisch $\Delta \alpha = 0^\circ$ zu setzen

$X_{\text{Trägeranfang}} < X_i < X_{\text{Trägerende}}$ $\Delta \alpha_{\max} = \pm \arctan(2 \text{ mm} / 1110 \text{ mm})^*$

* nur unter der Bedingung zulässig, dass die Toleranzen für jede einzeln zu betrachtende SE eingehalten werden.

6.7.2 Toleranzen und Lageabweichungen der Seitenführschienen-Ebene (SFE)

Die Lage der beiden Seitenführebenen ist entscheidend für die horizontale Ausrichtung (Spurführung) des MSB-Fahrzeuges. Beide Ebenen sind über die Spurweite gekoppelt. Die Soll-Lage im Trägerfertigungskoordinatensystem wird durch die Lage der Spurmittenachse bestimmt.

Die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Toleranzen und Lageabweichungen in der y-Koordinate ist in der folgenden Übersicht (Abbildung 33) dargestellt.

Die Zusammenhänge in der x- und z-Koordinate wurden aus Gründen der untergeordneten Wertigkeit nicht dargestellt.

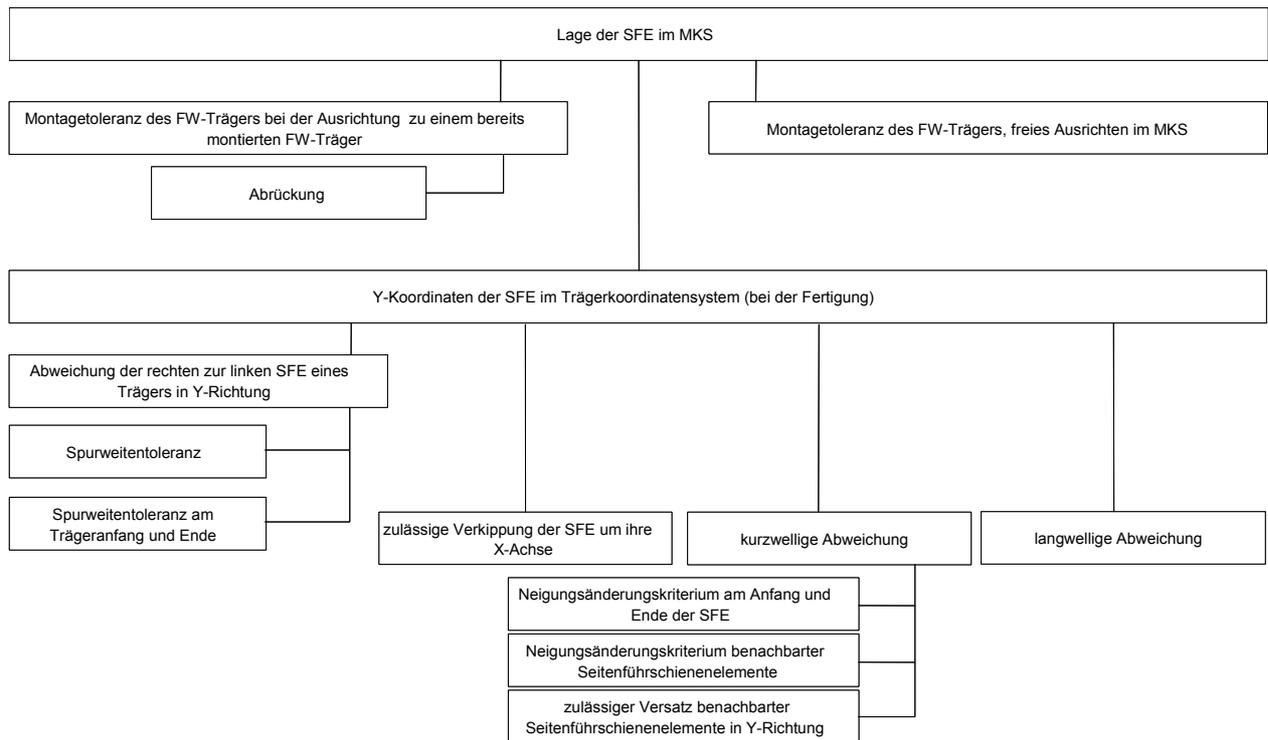


Abbildung 33: Toleranzen und Lageabweichungen der Seitenführebene (SFE) und deren Abhängigkeiten zueinander

6.7.2.1 Toleranzen der SFE in x-Richtung

Zur Bestimmung der Minimalspalte am Fahrwegträgerübergang, d.h. des Abstandes zur Systemachse, sind die Temperaturexpansion /MSB AG-FW BEM/ der Fahrweegelemente, die Anordnung der Fest- und Loslager sowie die zulässigen Verformungen der Unterbauten /MSB AG-GESAMTSYS/ zu berücksichtigen. Es werden folgende Richtwerte angegeben:

Abstand Elementenanfang bzw. –ende von den Systemachsen:

$$\text{Fahrwegträger (12 m} \leq \text{Systemlänge} \leq \text{25 m)} \quad \Delta x_{A,E} = 20\text{mm}$$

Fahrwegplatten (Systemlänge ≤ 6 m)

$$\Delta x_{A,E} = 10 \text{ mm}$$

Zwischengrößen sind entsprechend der Eingangsbemerkungen auszulegen.

Für alle Fahrwegträgerübergänge sind gleich große Trägerstöße bei einer definierten Referenztemperatur anzustreben.

Bei bauartbedingten Unterbrechungen der SFE im Fahrwegträger (z.B. bei Modulbauweise) sind die Lagestabilität und Formabweichung der SFE-Befestigung bei der Ermittlung der Sollspaltbreiten zu berücksichtigen.

Bei Biegeweichen wird der erforderliche Mindestspalt zwischen den SFE Elementen, unter Berücksichtigung der Verformungen in Abbiegestellung, nach Gleichung 16 ermittelt.

$$\Delta x \geq L_M - L_M * (R_H - S/2)/R_H + 2 \quad [\text{mm}]$$

Gleichung 16

Eine Kollision gleicher benachbarter Funktionsebenenelemente ist zu vermeiden.

Die Ausführung der Stöße in der SFE hat nach Abbildung 34 zu erfolgen.

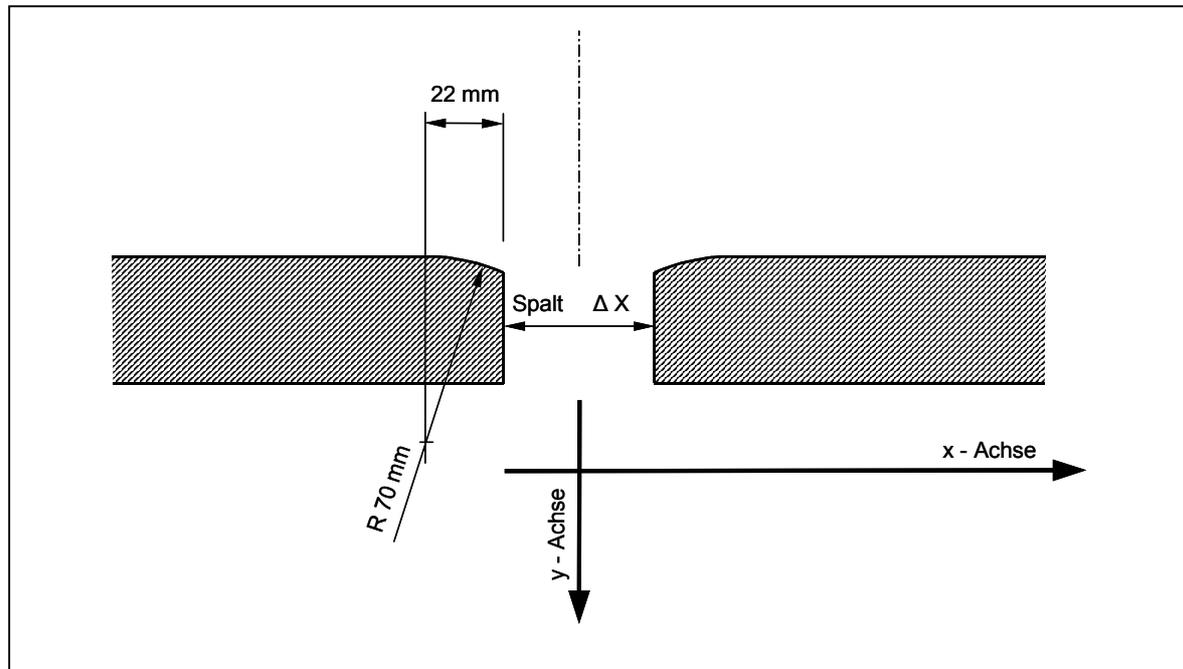


Abbildung 34: Ausbildung der SFE-Oberfläche am Trägerstoß bzw. bei Unterbrechungen

6.7.2.2 Lageabweichung der SFE in y-Richtung

6.7.2.2.1 Soll-Lage

Die Soll-Lage der beiden SFE wird durch die Trassierung vorgegeben. Auf diese Soll-Lagen bezieht sich der Verlauf des Toleranzfeldes der langwelligen Abweichung. Die nachfolgenden Angaben zur lang- und kurzwelligen Abweichung beziehen sich auf jede einzelne SFE. Die zwangsweise vorhandene Abhängigkeit der Ist-Lagen der beiden langwelligen Abweichungen zur Einhaltung der Toleranz der Spurweite ist nicht berücksichtigt.

Eventuelle Verformung durch Fz-Lasteinwirkung und Temperaturdifferenzen im Fahrweg werden bei der Bestimmung der Soll-Lage der SFE nicht berücksichtigt.

6.7.2.2.2 Langwellige Abweichung der SFE

Der Verlauf des Toleranzfeldes der langwelligen Abweichung wird trägerbauartabhängig wie folgt beschrieben.

Einfeldträger

$$x_{\text{Trägeranfang}} < x_i < x_{\text{Trägerende}} \quad \Delta y_{i,Lw} \text{ analog Gleichung 12}^*$$

$$* \quad \begin{array}{ll} L \leq 12384 & \max \Delta y_{Lw} = 1,0 \\ L > 12384 & \max \Delta y_{Lw} = L * 2,0 / 24768 \end{array} \quad \begin{array}{l} \\ [mm] \end{array}$$

Zweifeldträger

$$x_{\text{Trägeranfang}} \leq x_i \leq L_1 \quad \Delta y_{i,Lw} \text{ analog Gleichung 13}^*$$

$$L_2 \leq x_i \leq x_{\text{Trägerende}} \quad \Delta y_{i,Lw} \text{ analog Gleichung 13}^{**}$$

$$* \quad \begin{array}{ll} L_1 \leq 12384 & \max \Delta y_{Lw} = 1,0 \\ L_1 > 12384 & \max \Delta y_{Lw} = L_1 * 2,0 / 24768 \end{array} \quad \begin{array}{l} \\ [mm] \end{array}$$

$$** \quad \begin{array}{ll} L_1 \leq 12384 & \max \Delta y_{Lw} = 1,0 \\ L_1 > 12384 & \max \Delta y_{Lw} = L_2 * 2,0 / 24768 \end{array} \quad \begin{array}{l} \\ [mm] \end{array}$$

Mehrfeldträger (Spurwechseleinrichtungen)

$$x_{\text{Trägeranfang}} \leq x_i \leq L_1 \quad \Delta y_{i,Lw} \Rightarrow \text{folgt der math. Beschreibung der Biegelinie}^*$$

$$L_2 < x_i < L_{n-1} \quad \Delta y_{i,Lw} \Rightarrow \text{folgt der math. Beschreibung der Biegelinie}^*$$

$$L_n \leq x_i \leq x_{\text{Trägerende}} \quad \Delta y_{i,LW} \Rightarrow \text{folgt der math. Beschreibung der Biegelinie}^*$$

$$\begin{aligned}
 * \quad L_i \leq 12384 \quad \max \Delta y_{LW} &= 1,0 \\
 L_i > 12384 \quad \max \Delta y_{LW} &= L_i \cdot 2,0 / 24768 \quad [\text{mm}] \\
 i &= 1, \dots, n
 \end{aligned}$$

siehe Kap. 6.6.2

6.7.2.2.3 Kurzwellige Abweichung gegenüber der SFE-IST-Lage (langwellige Abweichung), Toleranzen am Trägerstoß

Der Verlauf des Toleranzfeldes der kurzwelligen Abweichung bezogen auf den Ist-Verlauf der langwelligen Abweichung wird einheitlich für den Ein- und Mehrfeldträger durch folgende Eckdaten beschrieben:

$$\begin{aligned}
 x_{\text{Trägeranfang}} ; x_{\text{Trägerende}} & \quad \Delta y = 0 \\
 x_{\text{Trägeranfang}} < x_i < x_{0+n \cdot 1032} ; & \\
 x_{L-n \cdot 1032} < x_i < x_{\text{Trägerende}} & \quad n = 1, 2, \dots^* \quad \Delta y_i \leq \pm 2 \text{ mm} \\
 x_{0+n \cdot 1032} < x_i < x_{L-n \cdot 1032} & \quad \Delta y = \pm 2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

* n ist unter Einhaltung des max. zul. NGK festzulegen

Innerhalb des Toleranzfeldes der kurzwelligen Abweichung ist in der Seitenführebene folgende Nachbarschaftsbeziehung einzuhalten:

$$\text{NGK}_{\text{SFE}} \leq 2,0 \text{ mm}$$

Für die Bestimmung des Verlaufs des Toleranzfeldes der SFE am Trägeranfang und –ende (Trägerübergang) ist ein NGK, bezogen auf die Soll-Lage, von

$$\text{NGK}_{\text{SFE,Anfang;Ende}} \leq 1,0 \text{ mm}$$

anzusetzen.

Die zulässigen Grenzwerte aus /MSB AG-FW BEM/ sind dabei einzuhalten.

Für das an diesen Stellen für Kontroll- und Abnahmemessungen zu definierende NGK sind die Messbedingungen mit anzugeben.

6.7.2.2.4 Zulässige Versätze / Verkippung SFE

Die nachfolgenden Toleranzangaben beziehen sich auf die Messpunkte entsprechend Abbildung 4 und den Festlegungen zur Auswahl der zugehörigen x-Koordinate.

Die nachfolgend aufgeführten Toleranzen sind für alle Fahrwegbauarten gleich.

- Versätze: innerhalb des Trägers $|\Delta y_{i_{\max}}| = 0,6 \text{ mm}^*$

* die angenommene Segmentlänge beträgt dabei 6 m,
bei abweichenden Längen ist der Wert aus dem nachfolgendem
Diagramm zu entnehmen:

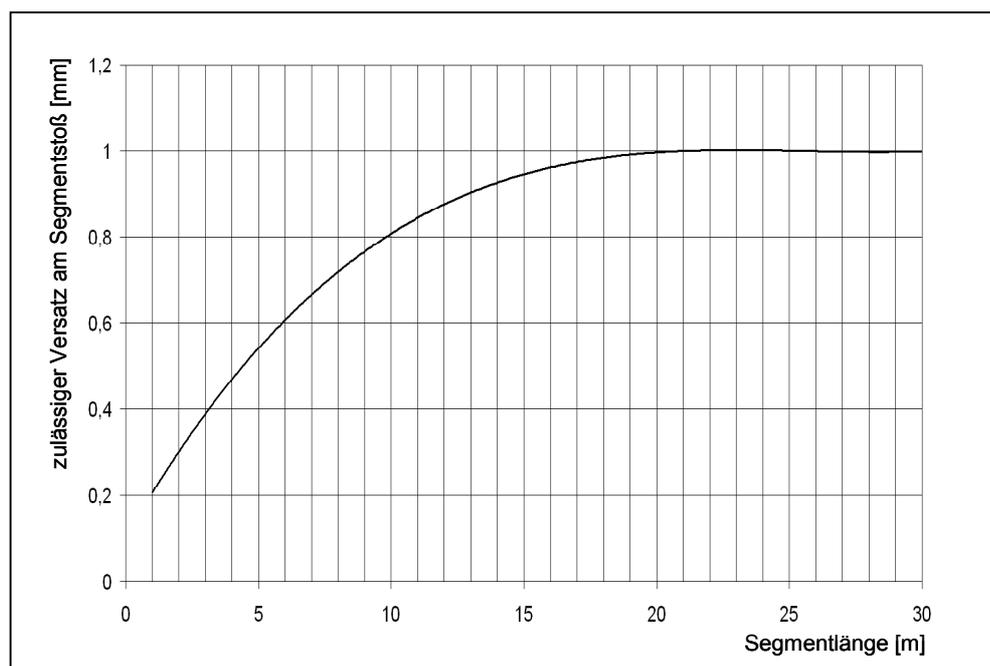


Abbildung 35: Zulässige Versätze in der SFE innerhalb eines Fahrwegträgers in Abhängigkeit der SF-Segmentenlängen

am Trägerstoß

$$|\Delta y_{i_{\max}}| = 1,0 \text{ mm}$$

Der Versatz am Trägerstoß wird nach der Trägerfeinpositionierung eingestellt und setzt eine Toleranz der Spurweite von $\pm 1\text{mm}$ voraus (siehe Pkt. 6.7.2.3).

- Verkippung (bezogen auf den Messpunkt):

innerhalb des Trägers $\Delta \alpha_{\text{SFE}_{\text{max}}} = \pm \arctan(1,0\text{mm}/155\text{mm})$

innerhalb, an SFE-Stößen $\Delta \alpha_{\text{SFE}_{\text{max}}} = \pm \arctan(0,7\text{mm}/155\text{mm})$

am Trägerstoß $\Delta \alpha_{\text{SFE}_{\text{max}}} = \pm \arctan(0,5\text{mm}/155\text{mm})$

6.7.2.3 Zulässige Toleranz der Spurweite (S)

Veränderungen der Spurweite infolge einer gleichmäßigen Änderung der Trägertemperatur gegenüber der Referenztemperatur („Aufstelltemperatur“) sind über die zulässige Toleranz hinaus zu berücksichtigen.

Die Spurweitentoleranz für alle Fahrwegtypen beträgt:

innerhalb des Fahrwegträgers $\Delta S = \pm 2\text{mm}$

am Fahrwegträgeranfang /-ende $\Delta S_{\text{Anfang;Ende}} = \pm 1\text{mm}$

6.7.3 Toleranzen und Lageabweichungen für die Gleitebene (GE)

Die Gleitebene wird beim absetzenden MSB-Fahrzeug zur Funktionsfläche.

Für die Betrachtungen zur Toleranz- und Lageabweichung ist ihr Bezug zum Ist-Verlauf der SE-Ebene über das Zangenmaß gegeben. Das heißt, dass die langwellige Ist-Abweichung der SE für die Ermittlung des Soll-Verlaufes der GE zu berücksichtigen ist (siehe Abbildung 38).

Wird aus fertigungstechnischen Gründen ein Bezug der GE zur Soll-Lage der Statorebene notwendig, sind u.a. bei der Festlegung des Toleranzfeldes für die GE die beiden Extreme der langwelligen Abweichung der SE zu berücksichtigen.

Die Angaben zur Zangenmaßtoleranz und zu den NGK-Grenzwerten der GE sind gleichfalls einzuhalten.

Die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Toleranzen und Lageabweichungen in der z-Koordinate ist in der folgenden Übersicht (Abbildung 36) dargestellt.

Die Zusammenhänge in der x- und y-Koordinate wurden aus Gründen der untergeordneten Wertigkeit nicht dargestellt.

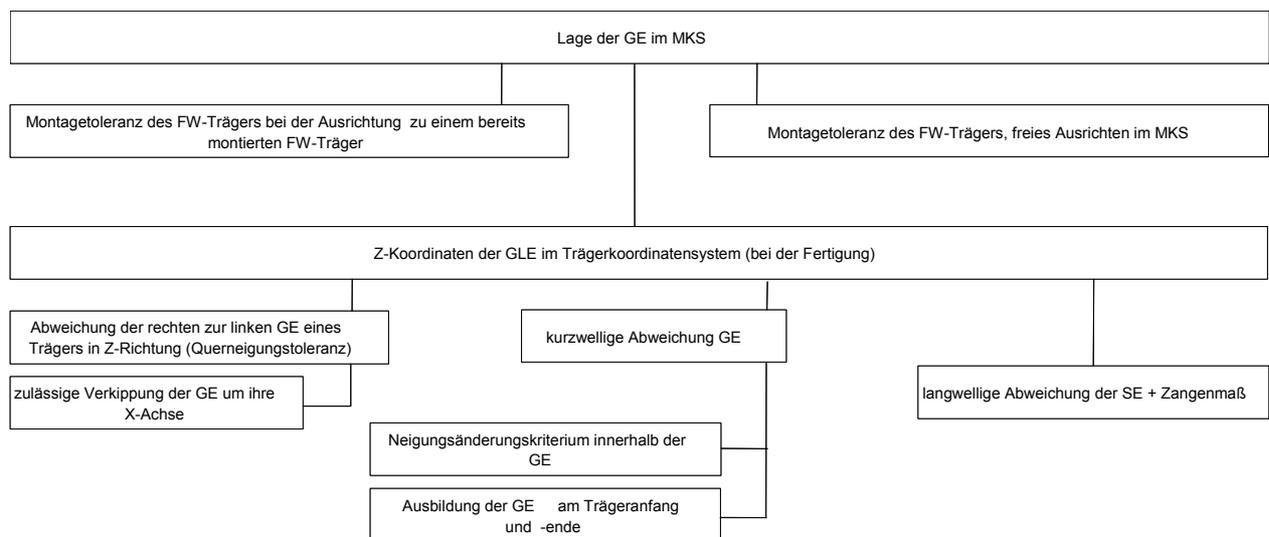


Abbildung 36: Toleranzen und Lageabweichungen der Gleitebene (GE) in z-Richtung und deren Abhängigkeiten zueinander

6.7.3.1 Zulässige Toleranzen der GE in x-Richtung

6.7.3.1.1 Zulässige Spalte in x-Richtung innerhalb der Gleitleiste

Die max. zulässigen Spaltbreiten in Abhängigkeit ihrer Lage im Fahrweg sind in /MSB AG-GESAMTSYS/ definiert.

Bei einer über die gesamte Länge des Fahrwegträgers einteilig ausgeführten GE ist deren Temperatúrausdehnung /MSB AG-FW BEM/, bezogen auf die Systemachsen am Trägeranfang und -ende zu berücksichtigen.

Zur Bestimmung der Minimalspalte, d.h. des Abstandes vom Trägeranfang und -ende zur Systemachse, sind bei Fahrwegträgern zusätzlich die Anordnung der Fest- und Loslager sowie die zulässige Stützenverformung /MSB AG-GESAMTSYS/ zu berücksichtigen.

Es werden folgende Richtwerte angegeben:

Abstand Trägeranfang bzw. –ende von den Systemachsen:

Fahrwegträger ($12 \text{ m} \leq \text{Systemlänge} \leq 25 \text{ m}$) $\Delta x_{A,E} = 20 \text{ mm}$

Fahrwegplatten (Systemlänge $\leq 6 \text{ m}$) $\Delta x_{A,E} = 10 \text{ mm}$

Gleichmäßige Trägerstöße bei Referenztemperatur sind anzustreben.

Bei bauartbedingten Unterbrechungen der GE (z.B. bei Modulbauweise) sind die Lagestabilität und Formabweichung der GE-Elemente bei der Ermittlung der Sollspaltbreiten im Fahrwegträger zu berücksichtigen.

Bei Weichen wird der erforderliche Mindestspalt innerhalb der Weiche zwischen den GE-Elementen nach Gleichung 16 ermittelt.

Die Anzahl der Spalte in der GE soll auf ein Minimum begrenzt werden (6.7.3.3.4).

Eine Kollision gleicher benachbarter Funktionsebenenelemente ist zu vermeiden.

Die Ausführung der Stöße in der GE hat nach Abbildung 37 zu erfolgen.

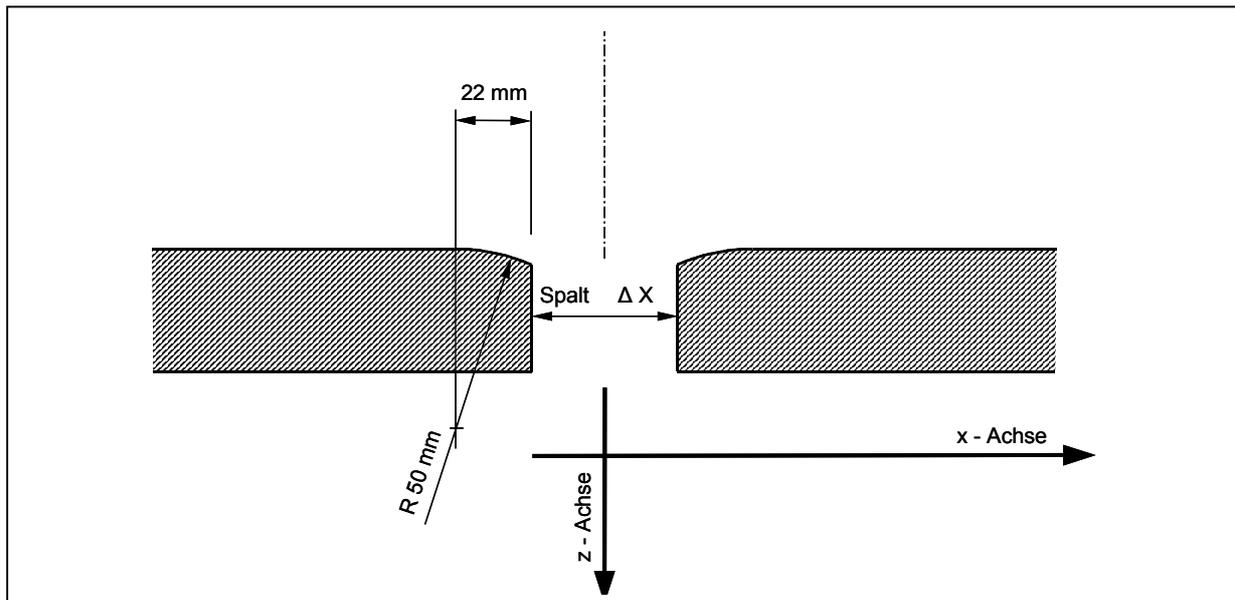


Abbildung 37: Ausbildung der GE-Oberfläche am Trägerstoß bzw. bei Unterbrechungen

6.7.3.2 Zulässige Toleranzen der GE in Y-Richtung

Bezogen auf die Langstatormittenachse (LA) gilt für alle Fahrwegtypen vom Fahrwegträgeranfang bis zum Ende eine einheitliche Toleranz von:

$$\Delta y = \pm 16 \text{ mm}$$

6.7.3.3 Zulässige Toleranzen der GE in z-Richtung

6.7.3.3.1 Soll-Lage

Die Soll-Lage der GE wird durch das Zangenmaß (-398 mm zur Basis SE_{Ist-Lage}) zur SE vorgegeben.

Als Basis für die Ist-Lage wird dabei der über die diskreten Messwerte der SE ermittelte Verlauf der langwelligen Abweichung benutzt (siehe Abbildung 38).

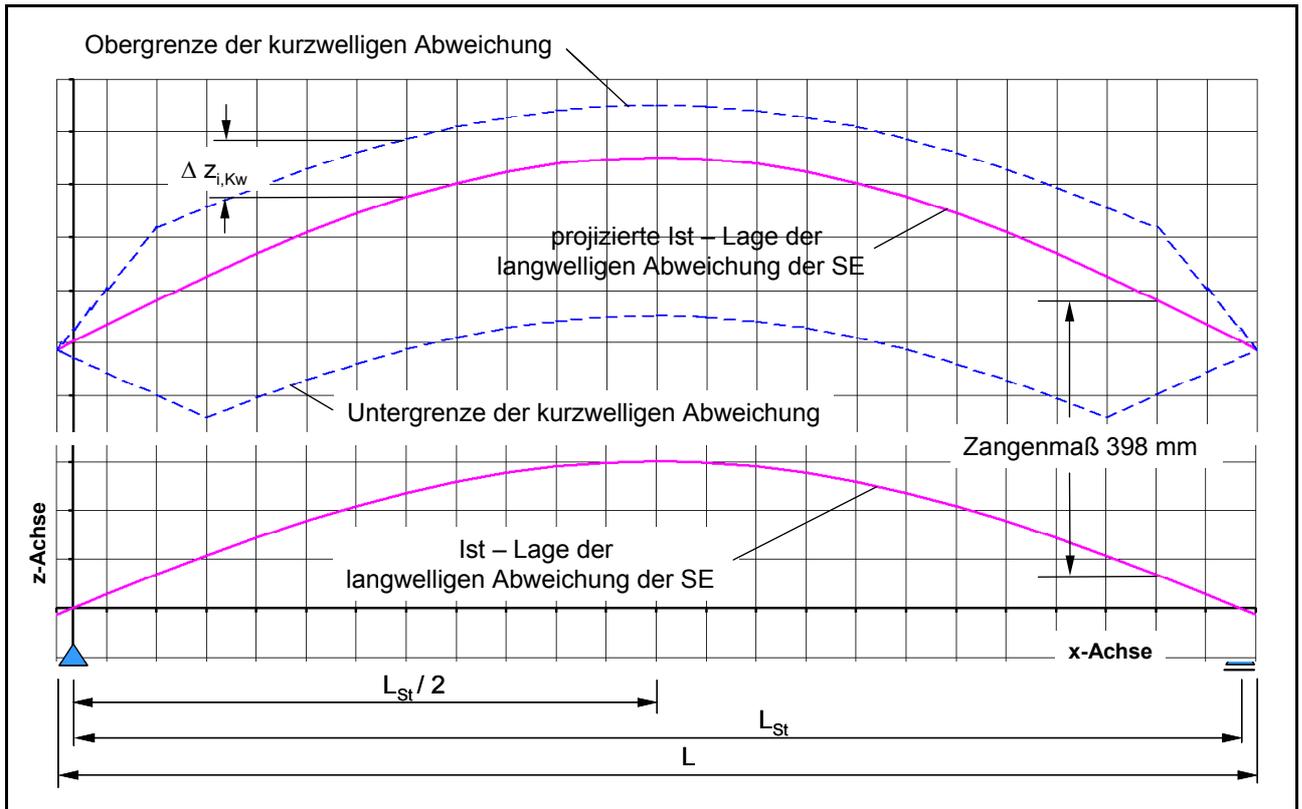


Abbildung 38: Verlauf und Lage der kurzwelligen Abweichung der GE am Beispiel eines Einfeldträgers mit Vorkrümmung

Die nachfolgenden Toleranzangaben sind für jede GE (rechte und linke Seite) gültig. Eine direkte Abhängigkeit der beiden GE Soll-Lagen zueinander ist nicht vorgesehen.

6.7.3.3.2 Langwellige Abweichung der GE

Der Toleranzbereich der GE wird durch den langwelligen IST-Verlauf der Statorebene vorgegeben. Dazu wird dieser um das Zangenmaß verschoben.

Eine separate Betrachtung entfällt (siehe Abbildung 38).

6.7.3.3.3 Kurzwellige Abweichung der GE

Der langwellige IST-Verlauf der Statorebene wird um den Betrag des Zangenmaßes nach oben versetzt.

Darauf aufgelagert werden der obere und untere Grenzbereich, der einheitlich für alle Fahrwegarten durch folgende Eckdaten beschrieben wird:

$$\begin{aligned} X_0; X_L & \Delta z_i = \pm 0,4\text{mm} \\ X_0 < X_i < X_{0+n}; X_{L-n} < X_i < X_L \quad n = 1,2...^* & -3\text{mm} \leq \Delta z_i \leq +5\text{mm} \\ X_{>n} < X_i < X_{<(L-n)} & -3\text{mm} = \Delta z_i = +5\text{mm} \end{aligned}$$

* n ist unter Einhaltung des max. zul. NGK festzulegen

Zusätzlich ist in jedem Punkt das Zangenmaßkriterium (siehe 6.7.3.4) einzuhalten.

Innerhalb des Toleranzfeldes der kurzwelligen Abweichung ist in der GE folgende Nachbarschaftsbeziehung einzuhalten:

$$\text{NGK}_{\text{GE}} \leq 3,0\text{mm}$$

Für die Bestimmung des Verlaufs des Toleranzfeldes der GE am Trägeranfang und –ende (Trägerübergang) ist ein NGK bezogen auf die Soll-Lage der SE von

$$\text{NGK}_{\text{GE,Anfang;Ende}} \leq 1,5\text{mm}$$

anzusetzen.

Die zulässigen Grenzwerte aus /MSB AG-FW BEM/ sind dabei einzuhalten.

6.7.3.3.4 Zulässige Versätze / Verkippung der GE

Die nachfolgenden Toleranzangaben beziehen sich auf die Messpunkte entsprechend Abbildung 4 und den Festlegungen zur Auswahl der zugehörigen x-Koordinate.

Die nachfolgend aufgeführten Toleranzen sind für alle Fahrwegbauarten gleich.

- Versätze:

$$\text{innerhalb des Trägers } |\Delta z_{i_{\max}}| = 0,2\text{mm}^*$$

* Toleranzüberschreitungen werden in Abhängigkeit der Auftretenshäufigkeit in zusammenhängenden Fahrwegsabschnitten unter der in Abbildung 39 dargestellten Bedingungen zugelassen:

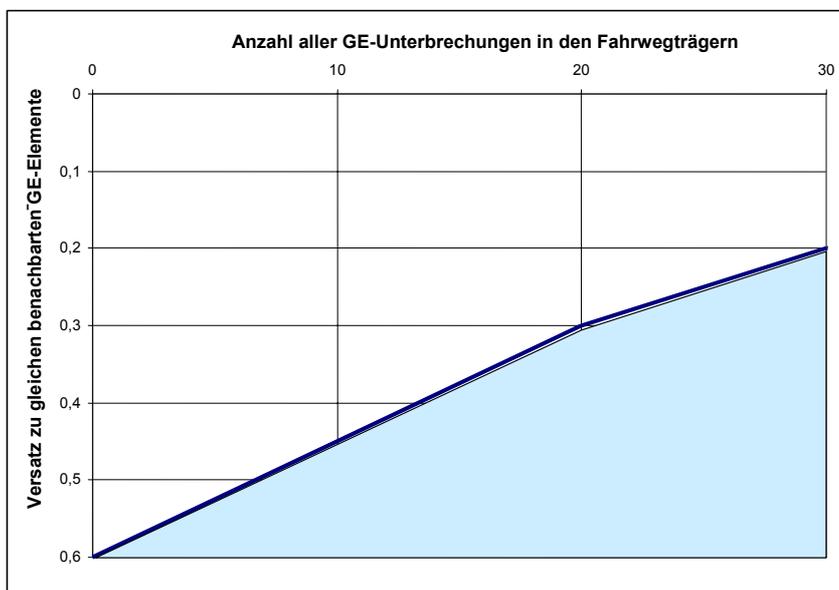


Abbildung 39: Zulässige Versätze in der GE innerhalb des Fahrwegträgers in Abhängigkeit von Größe und Häufigkeit ihres Auftretens

$$\text{am Trägerstoß } |\Delta z_{i_{\max}}| = 0,6\text{mm}$$

Der Versatz am Trägerstoß beinhaltet die Toleranzbreite der kurzwelligen Abweichung für die GE am Trägerstoß, den Anteil der Zangenmaßtoleranz (Kap. 6.7.3.4) sowie die Montagetoleranz.

- Verkippung (bezogen auf den Messpunkt in LA):

$$\Delta \alpha_{\text{GE}_{\max}} = \pm \arctan(0,5\text{mm} / 75\text{mm})$$

6.7.3.4 Zangenmaß

Das zulässige Zangenmaß ergibt sich aus der Berechnung der zulässigen kurzwelligen Toleranzen für die Statorebene und die Gleitebene (siehe Kapitel 6.7.3.3.3 und Abbildung 38).

Als Richtwerte für eine punktuelle, stichpunktartige geometrische Kontrolle ohne Betrachtung der langwelligen und kurzwelligen Toleranzen können folgende Maße verwendet werden:

<i>Nennmaß:</i>	<i>398 mm</i>
<i>Richtwert innerhalb des Trägers:</i>	<i>von 393 mm bis 401 mm</i>
<i>Richtwert am Trägeranfang / -ende:</i>	<i>von 397,6 mm bis 398,4 mm</i>

7 Fahrweg-Montage

Die Toleranzen für die Feinpositionierung sind in /MSB AG-FW VERM/ angegeben.

8 Geometrische Anforderungen an den Kalibrierfahrweg

Unabhängig von den vorangegangenen Angaben werden an die Geometrie von Kalibrierträgern (Fahrwegabschnitt innerhalb der Instandhaltungszentrale, dient zur Kalibrierung des MSB-Fahrzeuges) erhöhte Anforderungen gestellt. Dabei gelten zunächst die nachfolgend genannten Toleranzen für den unbelasteten Träger als Randbedingungen:

Für die Statorebene:

$$\begin{aligned} & \Delta z_{\max} = \pm 1 \text{ mm} \\ \text{für } L_{\text{Sys}} \geq 18 \text{ m} & \quad |\Delta z_i| \leq \Delta z_{\max} \\ \text{für } L_{\text{Sys}} < 18 \text{ m} & \quad 0,1 \text{ mm} < |\Delta z_i| < |\Delta z_{\max}| * L_{\text{Sys}} / 18 \text{ m} \end{aligned}$$

Für die Seitenführebene:

$$\begin{aligned} & \Delta y_{\max} = \pm 1 \text{ mm} \\ \text{für } L_{\text{Sys}} \geq 18 \text{ m} & \quad |\Delta y_i| \leq \Delta y_{\max} \\ \text{für } L_{\text{Sys}} < 18 \text{ m} & \quad 0,1 \text{ mm} < |\Delta y_i| < |\Delta y_{\max}| * L_{\text{Sys}} / 18 \text{ m} \end{aligned}$$

Für die Spurweite:

$$\begin{aligned} & \Delta S_{\max} = \pm 0,5 \text{ mm} \\ \text{für } L_{\text{Sys}} \geq 18 \text{ m} & \quad |\Delta S_i| \leq \Delta S_{\max} \\ \text{für } L_{\text{Sys}} < 18 \text{ m} & \quad 0,1 \text{ mm} < |\Delta S_i| < |\Delta S_{\max}| * L_{\text{Sys}} / 18 \text{ m} \end{aligned}$$

Für das Zangenmaß:

$$\begin{aligned} & \Delta Z_{\max} = \pm 1 \text{ mm} \\ \text{für } L_{\text{Sys}} \geq 18 \text{ m} & \quad |\Delta Z_i| \leq \Delta Z_{\max} \\ \text{für } L_{\text{Sys}} < 18 \text{ m} & \quad 0,1 \text{ mm} < |\Delta Z_i| < |\Delta Z_{\max}| * L_{\text{Sys}} / 18 \text{ m} \end{aligned}$$

Darüber hinaus gelten folgende Anforderungen an die Steifigkeit des Trägers:

Bei Belastung des Trägers mit dem Fahrzeuggewicht (Fz vollständig ausgerüstet) gilt für die Differenz zwischen belastetem und unbelastetem Träger in z-Richtung:

$$\begin{array}{ll} \text{für } L_{\text{Sys}} \geq 18\text{m} & \Delta z_{\text{max}} = 1 \text{ mm} \\ & |\Delta z_i| \leq \Delta z_{\text{max}} \\ \text{für } L_{\text{Sys}} < 18\text{m} & 0,1\text{mm} < |\Delta z_i| < |\Delta z_{\text{max}}| * L_{\text{Sys}} / 18\text{m} \end{array}$$

Bei seitlicher Belastung mit 0,3 g:

$$\begin{array}{ll} \text{für } L_{\text{Sys}} \geq 18\text{m} & \Delta y_{\text{max}} = 1 \text{ mm} \\ & |\Delta y_i| \leq \Delta y_{\text{max}} \\ \text{für } L_{\text{Sys}} < 18\text{m} & 0,1\text{mm} < |\Delta y_i| < |\Delta y_{\text{max}}| * L_{\text{Sys}} / 18\text{m} \end{array}$$

9 Lageanforderungen an die Anbau- und Ausrüstungselemente des Fahrweges

9.1 Lage der Motorwicklung

Der für den Einbau der Motorwicklung benötigte Freiraum ist in /MSB AG-GESAMTSYS/ definiert.

Die Lagen der Motorwicklung sind so auszuführen, dass der Freiraum unter allen Betriebsbedingungen eingehalten wird.

Die Anordnung und Lage der einzelnen Phasen zueinander sind in /MSB AG-GESAMTSYS/ definiert.

Die Abstände der Motorwicklungsmäander und deren x-Raster werden durch die gewählte Anordnung der Statorpakete in x-Richtung bestimmt. Das Mäandergrundraster beträgt 258 mm.

9.2 Lage der Lagereferenzleiste

Der für den Einbau der Lagereferenzleiste (LRL) benötigte Freiraum in y- und z-Richtung ist in /MSB AG-GESAMTSYS/ definiert.

Die Anordnung in x-Richtung basiert auf der antriebsperiodenabhängigen Lage der Referenzorte im Träger.

Lagereferenzleisten werden an den Referenzorten des Fahrweges mittels spezieller Halter am Fahrweg befestigt. Die Auslegung und Befestigung der Halter wird projektspezifisch definiert.

Die Referenzorte im Fahrweg werden projektbezogen mit der Auslegung des Antriebes und der Betriebsleittechnik festgelegt.

9.3 Lage der fahrwegseitigen Baugruppen der externen Bordenergieversorgung

9.3.1 Lage der fahrwegseitigen Baugruppen der Stromschienen

Die Lage der Stromschienen wird projektspezifisch für einzelne Fahrwegabschnitte festgelegt.

Der für den Einbau der Stromschienen benötigte Freiraum in y- und z-Richtung ist in /MSB AG-GESAMTSYS/ definiert.

Die prinzipielle Lage der Stromschienenhalter am Fahrweg ist in /MSB AG-FW ÜBG/ festgelegt.

9.3.2 Lage der fahrwegseitigen Baugruppen der induktiven Energieübertragung

Die induktive Bordenergieübertragung befindet sich zur Zeit noch in der Entwicklung. Die Anforderungen an diese Baugruppe werden daher nachgetragen.

Vorübergehend gelten die projektunabhängigen Anforderungen an Baugruppen der „sonstigen Fahrwegausrüstung“ und projektspezifische Vorgaben.

10 Nachweise

Bauteile bzw. Baugruppen sind im Rahmen der Qualitätssicherung nach Fertigungsschritten zu vermessen sowie Soll-Ist-Vergleiche durchzuführen und zu dokumentieren.

In den Fertigungsunterlagen sind hierzu der Zeitpunkt und die zu prüfenden Maße festzulegen. Die zum Zeitpunkt der Prüfung zu betrachtende Toleranz ist entsprechend der Gesamt-Toleranzbetrachtung zu ermitteln.

Die grundsätzlichen Anforderungen zur Qualitätssicherung sowie Bau und Abnahme sind /MSB AG-FW ÜBG/ zu entnehmen.

Zum Nachweis der Einhaltung der Toleranzen gemäß der vorliegenden Ausführungsgrundlage sind für die Abnahmemessung geeignete und anerkannte Messmittel und Meßmethoden anzuwenden.

Anhang III-A Befestigung der Statorpakete (Fahrwegträgerseitig)

Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 40, Abbildung 41, Abbildung 42 bis Abbildung 43) zeigen beispielhaft eine Lösung für die Aufnahme der Statorpakete an einem durchgehenden Statorträgergurt.

Alternativ dazu sind so genannte Inserts möglich. Die angegebenen Maße und Toleranzen gelten für beide Varianten.

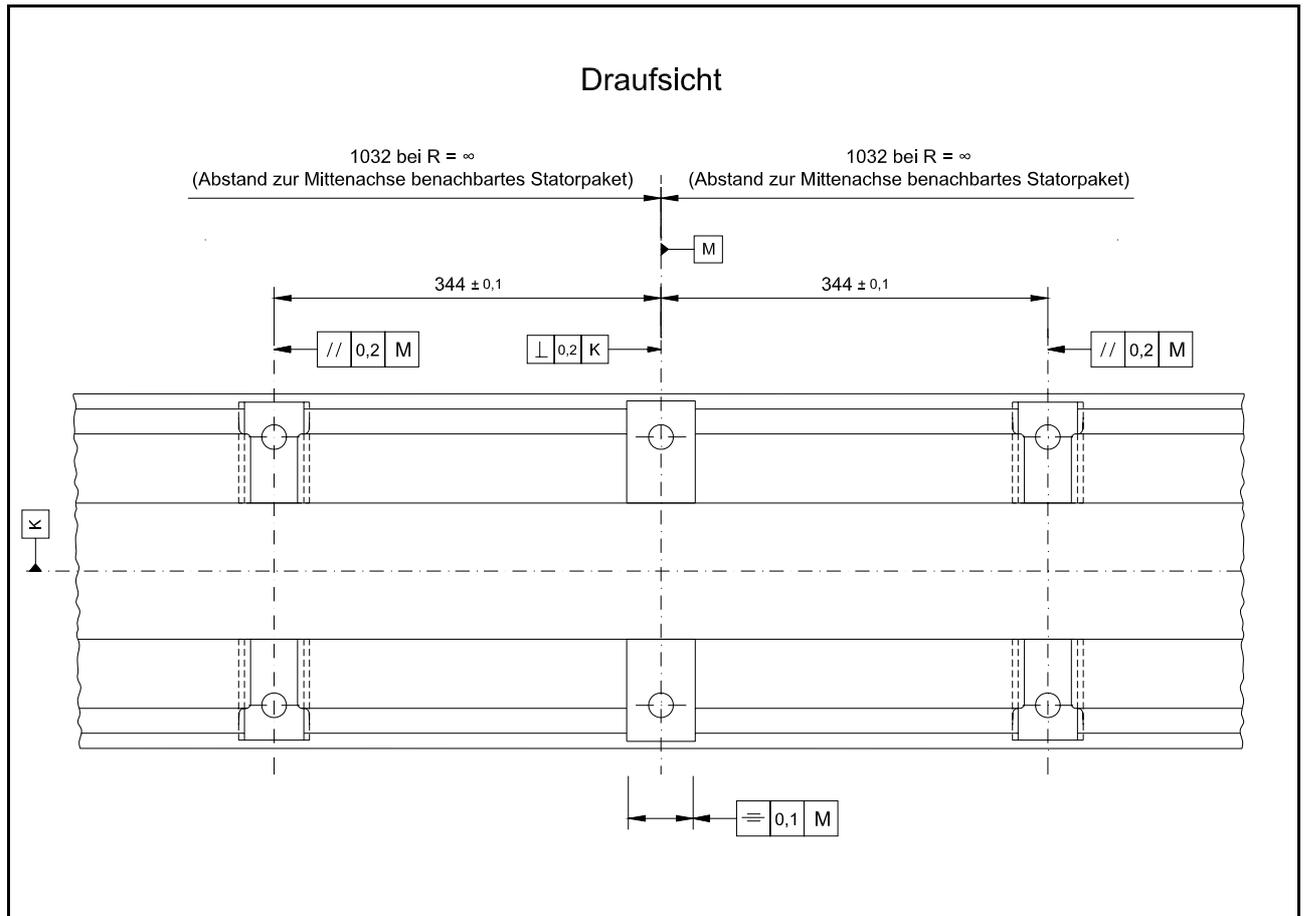


Abbildung 40: Maße und Toleranzen für die Ausführung der Statorpaketaufnahme in Stahlbauweise (Draufsicht)

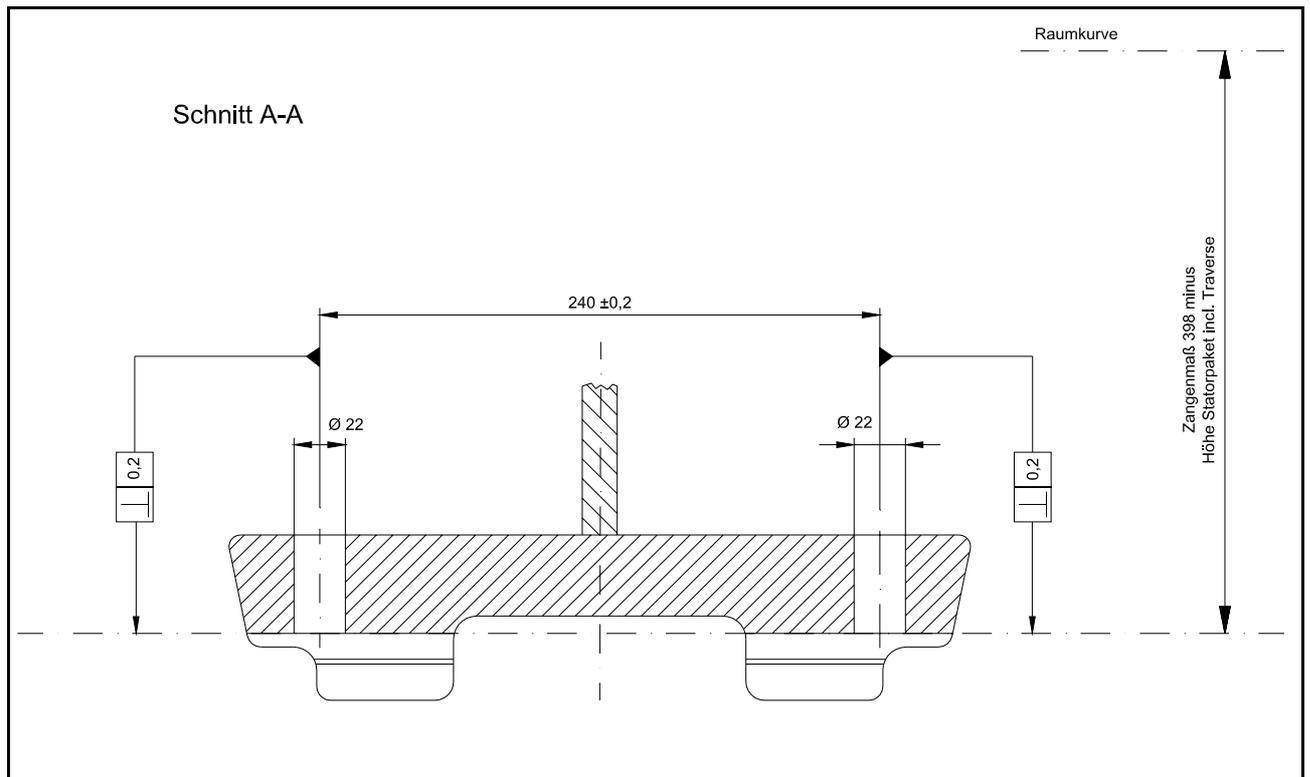


Abbildung 41: Maße und Toleranzen für die Ausführung der Statorpaketaufnahme in Stahlbauweise (Querschnitt)

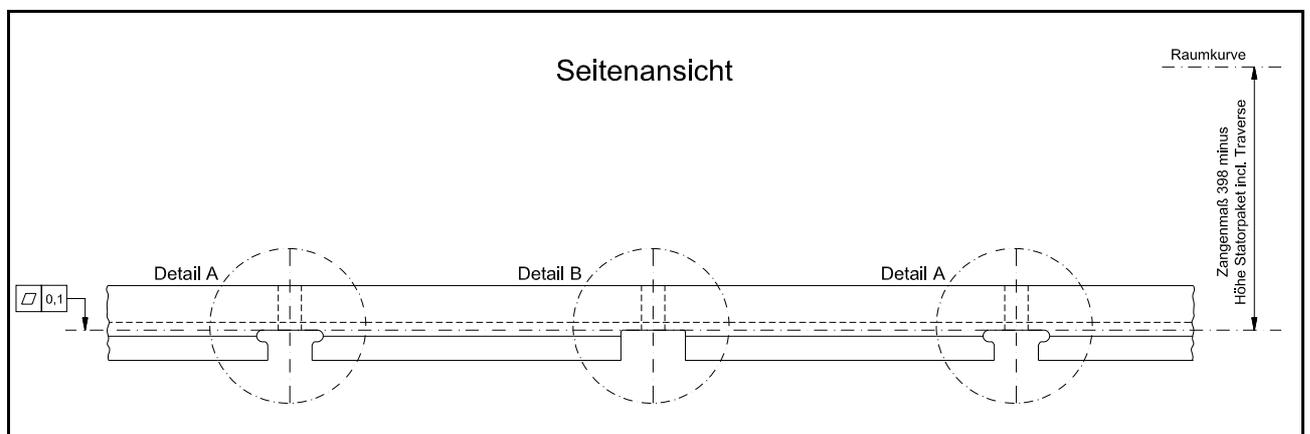


Abbildung 42: Maße und Toleranzen für die Ausführung der Statorpaketaufnahme in Stahlbauweise (Seitenansicht)

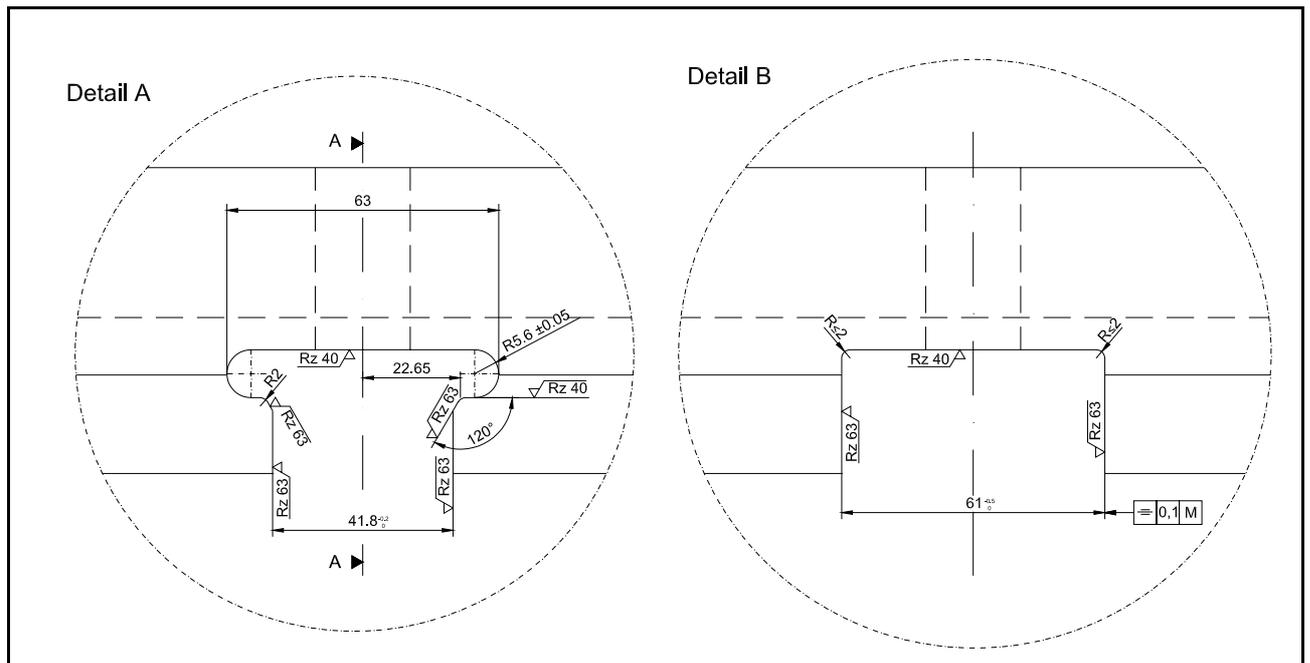


Abbildung 43: Maße und Toleranzen für die Ausführung der Statorpaketaufnahme in Stahlbauweise (Detail A und Detail B)

Anhang III-B Befestigungsachsen des Statorpaketes

Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 44, Abbildung 45 und Abbildung 46) zeigen beispielhaft die Befestigungsachsen des Statorpaketes.

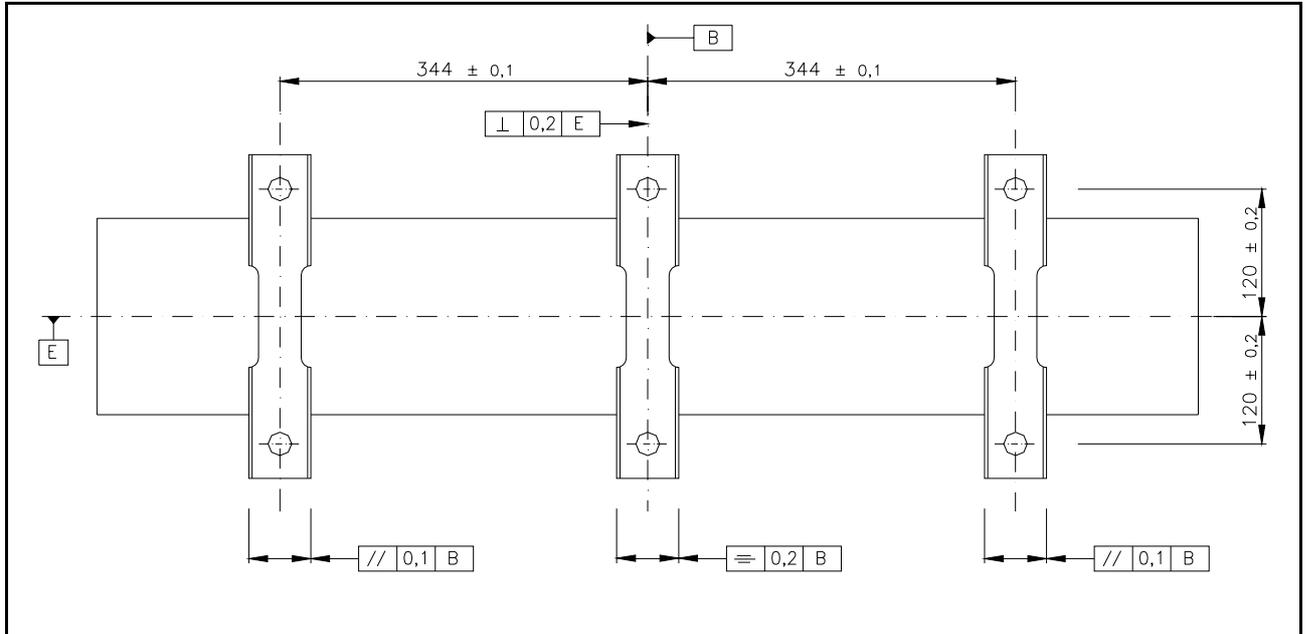


Abbildung 44: Befestigungsachsen des Statorpaketes (Draufsicht)

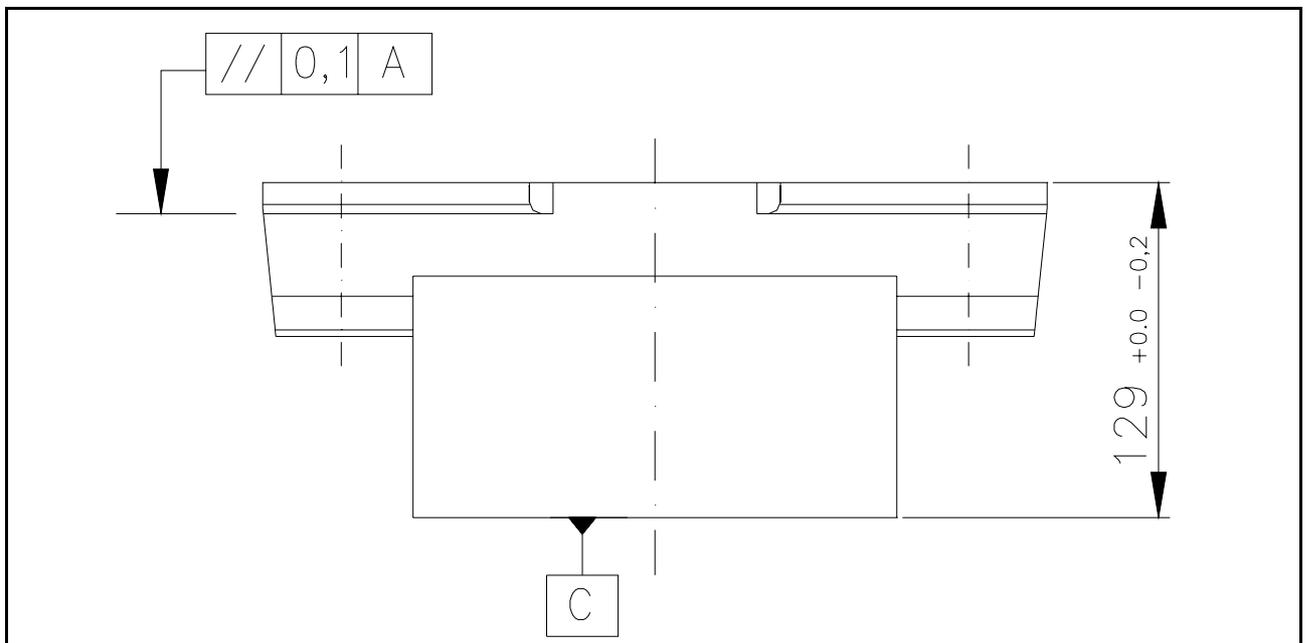


Abbildung 45: Befestigungsachsen des Statorpaketes (Querschnitt)

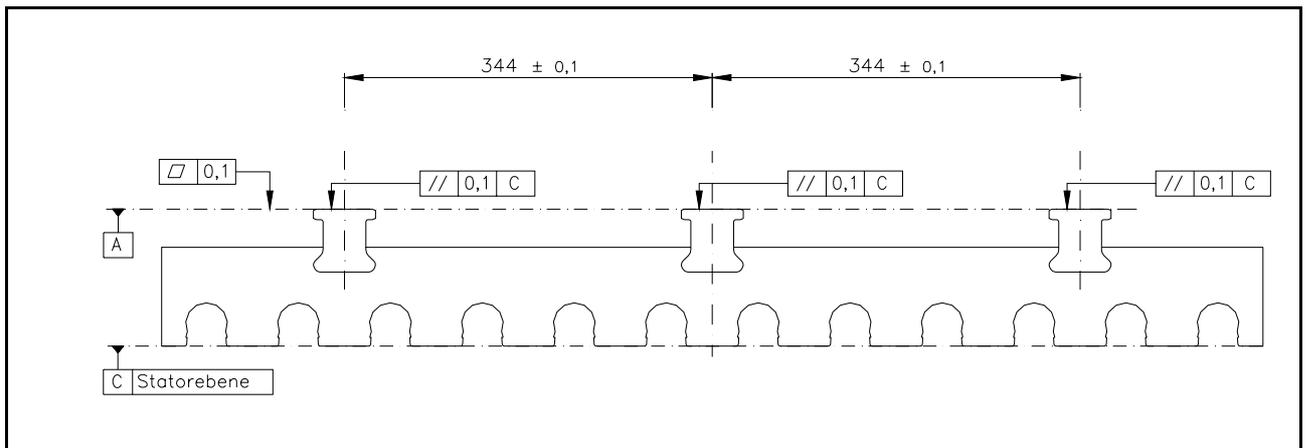


Abbildung 46: Befestigungsachsen des Statorpaketes (Seitenansicht)

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Fahrweg Teil IV Trassierung

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Fahrweg zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007, Weißdruck, Fachausschuss Fahrweg.

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler	2
2	Änderungsübersicht	3
3	Inhaltsverzeichnis	4
4	Allgemeines	8
4.1	Zweck und Anwendungsbereich	8
4.2	Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen	8
4.3	Abkürzungen und Definitionen	8
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien	8
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen	9
5	Trassierung	10
5.1	Allgemeine Trassierungsgrundsätze	10
5.1.1	Fahrwegachse (Raumkurve)	10
5.1.2	Kilometrierung	10
5.1.3	Grund- und Aufrisstrassierung	10
5.1.4	Einrechnung des Trassierungsentwurfes	10
5.2	Trassierungselemente Grundriss	11
5.2.1	Regelfahrweg	11
5.3	Trassierungselemente Aufriss	14
5.3.1	Regelfahrweg	14
5.3.2	Weichen	14
6	Trassierungsparameter	15
6.1	Geometrische Trassierungsparameter	15
6.1.1	Grenzwerte der Fahrweglängsneigung	15
6.1.2	Grenzwerte der Fahrwegquerneigung	16
6.1.3	Fahrwegverwindung und minimal zulässige Verwindungslänge	18
6.1.4	Minimal zulässiger Horizontalradius	19
6.1.5	Minimal zulässiger Vertikalhalbmesser	21
6.1.6	$R_{x,z}$ -Kriterium	23
6.1.7	$R_{x,y}$ -Kriterium	24
6.2	Fahrdynamische Vorgaben	25
6.2.1	Streckenricht- und Streckenhöchstgeschwindigkeit	25
6.2.2	Beschleunigungen	26

6.2.2.1	Antriebs- und Bremsbeschleunigung	27
6.2.2.2	Unausgeglichene Seitenbeschleunigung	27
6.2.2.3	Normalbeschleunigung (Komfortwert).....	29
6.2.3	Rucke	30
6.2.3.1	Seitenruck	31
6.2.3.2	Vertikalruck	32
6.2.3.3	Längsruck.....	33
6.2.3.4	Omnidirektionaler Ruck.....	33
6.2.4	Mindestlänge Sinusoide	34
6.2.5	Mindestlänge Klotoide.....	35
6.2.6	Komfortkriterien in Abhängigkeit der Gesamtfahrzeit der trassierten Strecke	36
7	Stützenteilung und Feldweiten	39
7.1	Einspurfahrweg	39
7.2	Doppel- oder Mehrspurfahrweg	40
8	Spurmittenabstand und Lichtraum	41
8.1	Spurmittenabstand	41
8.1.1	Genauigkeit.....	41
8.1.2	Nichtparallelität von Sinusoiden	41
8.2	Lichtraum und Begrenzungslinien.....	42
9	Spurwechseleinrichtungen	47
9.1	Allgemeines.....	47
9.2	Weichen	47
9.2.1	Allgemein	47
9.2.2	Ausführungsbeispiele Weichen.....	48
9.2.2.1	Schnellfahrweiche	49
9.2.2.2	Langsamfahrweiche	50
9.2.2.3	Überleitverbindung mit Schnellfahrweichen	52
9.2.2.4	Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen	54
9.2.2.5	X-Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen bei Spurmittenabstand 5,10 m	56
9.3	Schiebebühne und Schwenkbühne.....	58
10	Betriebsanlagen	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geometrische und fahrdynamische Eigenschaften der Sinusoide.....	12
Abbildung 2: Geometrische und fahrdynamische Eigenschaften der Klotoide	13
Abbildung 3: Minimaler zulässiger Horizontalradius	20
Abbildung 4: Minimal zulässiger Vertikalhalbmesser	22
Abbildung 5: Vorzeichen der Beschleunigungen	26
Abbildung 6: Fahrkomfort Längs- und Seitenbeschleunigung (nach ISO 2631).....	37
Abbildung 7: Fahrkomfort - Normalbeschleunigung (nach ISO 2631)	38
Abbildung 8: Raumkurvenlängen bei mehreren Fahrspuren	40
Abbildung 9: Lichtraum und Begrenzungslinien der MSB-Einzelspur, $\alpha = 0^\circ$	42
Abbildung 10: Lichtraum und Begrenzungslinien der MSB-Doppelspur, $\alpha = 0^\circ$	43
Abbildung 11: Lichtraum und Begrenzungslinien der MSB-Einzelspur, $\alpha \leq 12^\circ$	44
Abbildung 12: Lichtraum und Begrenzungslinien der MSB-Doppelspur, $\alpha \leq 12^\circ$	45
Abbildung 13: Lichtraum der MSB in Abhängigkeit der $\alpha \leq 12^\circ$	46
Abbildung 14: Gliederung der Spurwechseleinrichtungen	47
Abbildung 15: Krümmungsband Weiche.....	48
Abbildung 16: Trassierungselemente Schnellfahrweiche (Ausführungsbeispiel).....	49
Abbildung 17: Trassierungselemente 2-Wege Langsamfahrweiche (Ausführungsbeispiel).....	50
Abbildung 18: Stellvarianten der 3-Wege Langsamfahrweiche (Ausführungsbeispiel).....	51
Abbildung 19: Trassierungselemente der Überleitverbindung mit Schnellfahrweichen (Ausführungsbeispiel)	52
Abbildung 20: Trassierungselemente der Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen (Ausführungsbeispiel)	54
Abbildung 21: X-Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen (Spurmittenabstand 5,10 m) (Ausführungsbeispiel)	56
Abbildung 22: Schiebebühne (Beispiel)	58
Abbildung 23: Schwenkbühne (Beispiel).....	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Fahrweglängsneigung.....	15
Tabelle 2:	Fahrwegquerneigung	16
Tabelle 3:	Grenzwerte für $R_{x,z}$ bei Fahrwegverwindung.....	23
Tabelle 4:	Richtung von Beschleunigungsüberschuss und -fehlbetrag	28
Tabelle 5:	Spurmittenabstand	41
Tabelle 6:	Trassierungsparameter Schnellfahrweiche (Ausführungsbeispiel)	49
Tabelle 7:	Fahrdynamische Werte Schnellfahrweiche (Ausführungsbeispiel)	49
Tabelle 8:	Trassierungsparameter 2-Wege Langsamfahrweiche (Ausführungsbeispiel)	50
Tabelle 9:	Fahrdynamische Werte der 2-Wege Langsamfahrweiche (Ausführungsbeispiel) ...	50
Tabelle 10:	Trassierungsparameter der Überleitverbindung mit Schnellfahrweichen (Ausführungsbeispiel)	52
Tabelle 11:	Fahrdynamische Werte der Überleitverbindung mit Schnellfahrweichen (Ausführungsbeispiel)	53
Tabelle 12:	Trassierungsparameter der Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen (Ausführungsbeispiel)	54
Tabelle 13:	Fahrdynamische Werte der Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen (Ausführungsbeispiel)	55
Tabelle 14:	Trassierungsparameter der X-Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen (Spurmittenabstand 5,10 m) (Ausführungsbeispiel).....	56
Tabelle 15:	Fahrdynamische Werte der X-Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen (Spurmittenabstand 5,10 m) (Ausführungsbeispiel).....	57

4 Allgemeines

4.1 Zweck und Anwendungsbereich

Das vorliegende Dokument spezifiziert die allgemeingültigen technischen Vorgaben zur Trassierung von Magnetschnellbahnfahrwegen.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

4.2 Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentenbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordneten Dokumente Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/ mit den Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR&IH/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokumentes sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in *Kursiv-Schrift*

dargestellt (siehe /MSB AG-FW ÜBG/).

5 Trassierung

5.1 Allgemeine Trassierungsgrundsätze

Die Trassenführung sollte unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten so gewählt werden, dass bei Betrieb mit dem zugrunde gelegten Sollfahrprofil eine wirtschaftlich optimale Abstimmung zwischen fahrdynamischen Erfordernissen, Fahrkomfort, Baukosten und Instandhaltungsaufwand erreicht wird.

Es sollte angestrebt werden, dass das Fahrzeug große Streckenabschnitte mit gleich bleibender Geschwindigkeit befahren kann.

Weitere trassierungsrelevante Anforderungen beispielsweise aus Gründen der Ökologie, des Schallschutzes, der Bündelung mit anderen Verkehrstrassen, ästhetischen Gesichtspunkten und der Produktgestaltung können auf die Planung der Trassenlage Einfluss nehmen und sind projektspezifisch einzubeziehen.

5.1.1 Fahrwegachse (Raumkurve)

Fahrwegachsen (Raumkurven) setzen sich zusammen aus der räumliche Überlagerung der Grund- und Aufrisstrassierung.

Fahrwegachsen sind mit einer eindeutigen Bezeichnung zu versehen. Diese sollte numerisch und 3-stellig sein.

Bei mehrspurigen Fahrwegen ist jede Fahrwegachse getrennt zu trassieren.

5.1.2 Kilometrierung

Die Kilometrierung ist aufgrund der system- und konstruktionsbedingten Verwendung von Fertigteilen auf die räumliche Abwicklung der Fahrwegachse (Raumkurve) zu beziehen.

5.1.3 Grund- und Aufrisstrassierung

Die Trassierung im Grund- und Aufris soll zunächst getrennt durchgeführt werden.

Die sich durch die Überlagerung der Grund- und Aufrisstrassierung ergebende Raumkurve muss alle in dieser Ausführungsgrundlage enthaltenen Bedingungen erfüllen.

Die Trassierung der gesamten räumlichen Strecke ist mit den maßgeblichen, simulierten Istfahrprofilen auf die durchgängige Einhaltung der projektierten Komfortgrenzwerte zu überprüfen.

5.1.4 Einrechnung des Trassierungsentwurfes

Der Trassierungsentwurf soll auf der Grundlage von Lage- und Höhenplänen und deren Abbildungssysteme durchgeführt werden.

Die geometrische bzw. geodätische Grundlage der Lage- und Höhenpläne ist auf die Anwendungsfähigkeit zu überprüfen.

Für die entwurfstechnischen Folgearbeiten (Festlegung der Stützeinteilung, Brückenbauwerke, Weichenanlagen) sowie für die spätere Bauabsteckung ist der graphische Entwurf nach Lage und Höhe in das Magnetbahnkoordinatensystem MKS /MSB AG-FW VERM/ einzurechnen.

Vorhandene Zwangspunkte sind vermessungstechnisch zu erfassen, zu koordinieren und bei der Einrechnung zu berücksichtigen.

Die Einrechnung ist so vorzunehmen, dass

- der Trassenverlauf innerhalb der üblichen Genauigkeit mit der graphischen Darstellung in den Entwurfsplänen übereinstimmt,
- in den Trassenhauptpunkten streng tangentielle Übergänge vorliegen,
- im Krümmungs- und Querneigungsband ein stetiger Verlauf vorliegt (Ausnahme Krümmungsband Biegeweichen und $v_{\text{höchst}} < 100 \text{ km/h}$) und
- die dreidimensionalen Koordinaten Rechts, Hoch, Höhe aller Trassenhauptpunkte mit den entsprechenden Kilometrierungen ermittelt werden.

In den Berechnungen sind die

- Koordinaten und Höhen auf vier Nachkommastellen (1/10 mm) und
- Winkelangaben auf 5 Nachkommastellen

auszuweisen.

5.2 Trassierungselemente Grundriss

5.2.1 Regelfahrweg

Trassierungselemente des Grundrisses sind:

- Geraden ($R_H = \infty$)
- Kreisbögen ($R_H = \text{konstant}$)
- Sinusoiden (Regelfall als Übergangsbogen)
- Klotoiden (Sonderfall als Übergangsbogen)

Als Übergangsbögen sollten Sinusoiden verwendet werden.

Bei Sinusoiden ergeben sich Krümmung, Querneigung, unausgeglichene Seitenbeschleunigung und Seitenruck als stetige Funktion der Zeit und der gefahrenen Strecke.

Klotoiden als Übergangsbögen können im Beschleunigungs- und Bremsbereich an Stationen und in Bereichen ohne Fahrgäste (z.B. IHZ-Zufahrten) verwendet werden. Dies gilt nur für Streckenabschnitte auf denen die Geschwindigkeit des Sollfahrprofils nicht mehr als 100 km/h beträgt.

Eine spätere Nutzung des Streckenteils mit einer höheren Maximalgeschwindigkeit (z.B. im Falle einer Netzerweiterung und möglichen Durchfahrt an dieser Station) sollte abgeschätzt werden.

Wendelinien (S-Schläge) sind als ein Element (durchgehende Sinusoide) zu trassieren.

Die geometrischen und fahrdynamischen Eigenschaften der Sinusoide bzw. der Klotoide sind nachfolgend in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellt. Die Berechnung der Mindestlänge der Sinusoiden bzw. Klotoiden ist unter Punkt 6.2.4 erläutert.

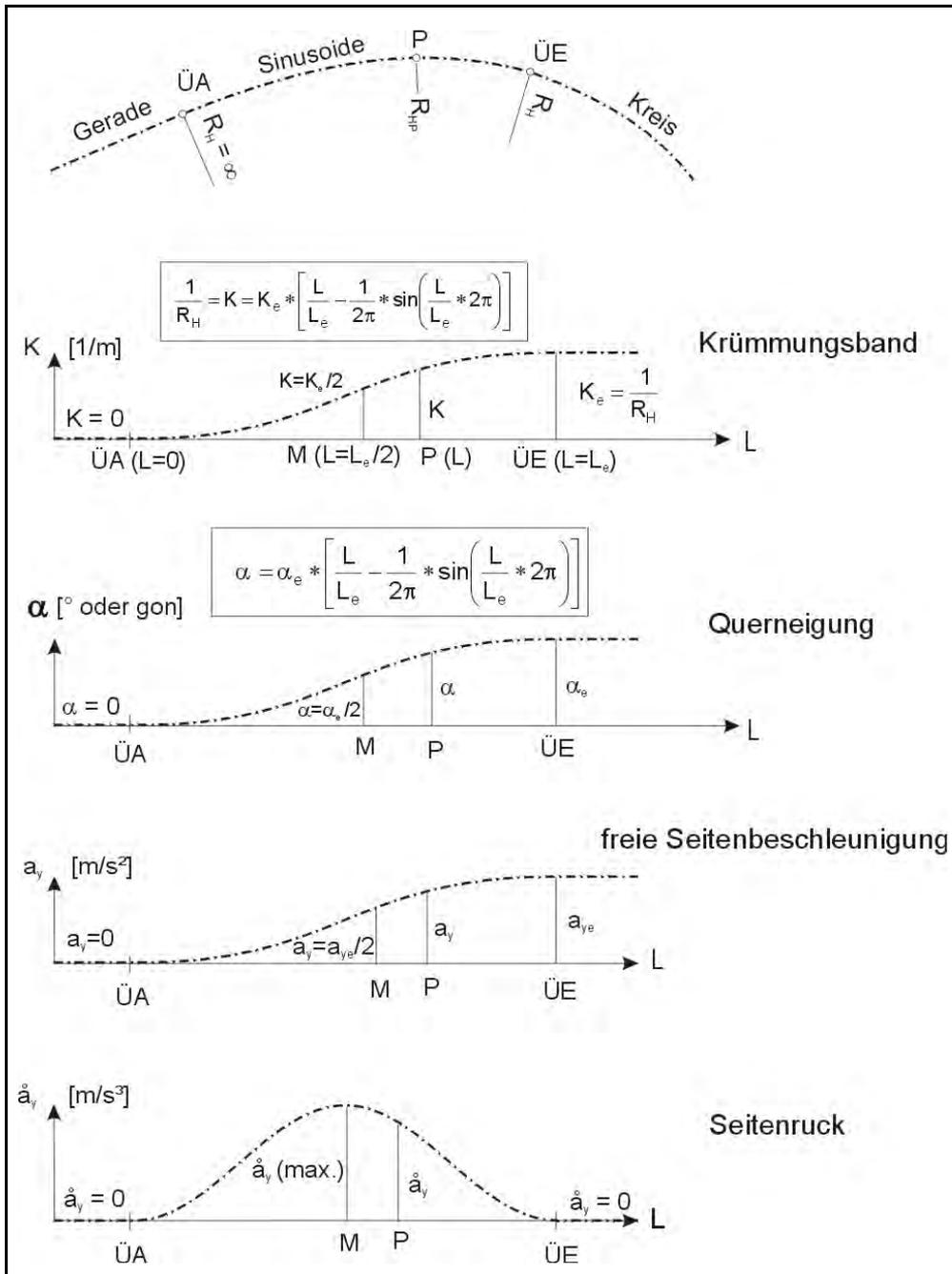


Abbildung 1: Geometrische und fahrdynamische Eigenschaften der Sinusoide

Die Querneigung wird analog zur Krümmung sinusförmig aufgebaut.

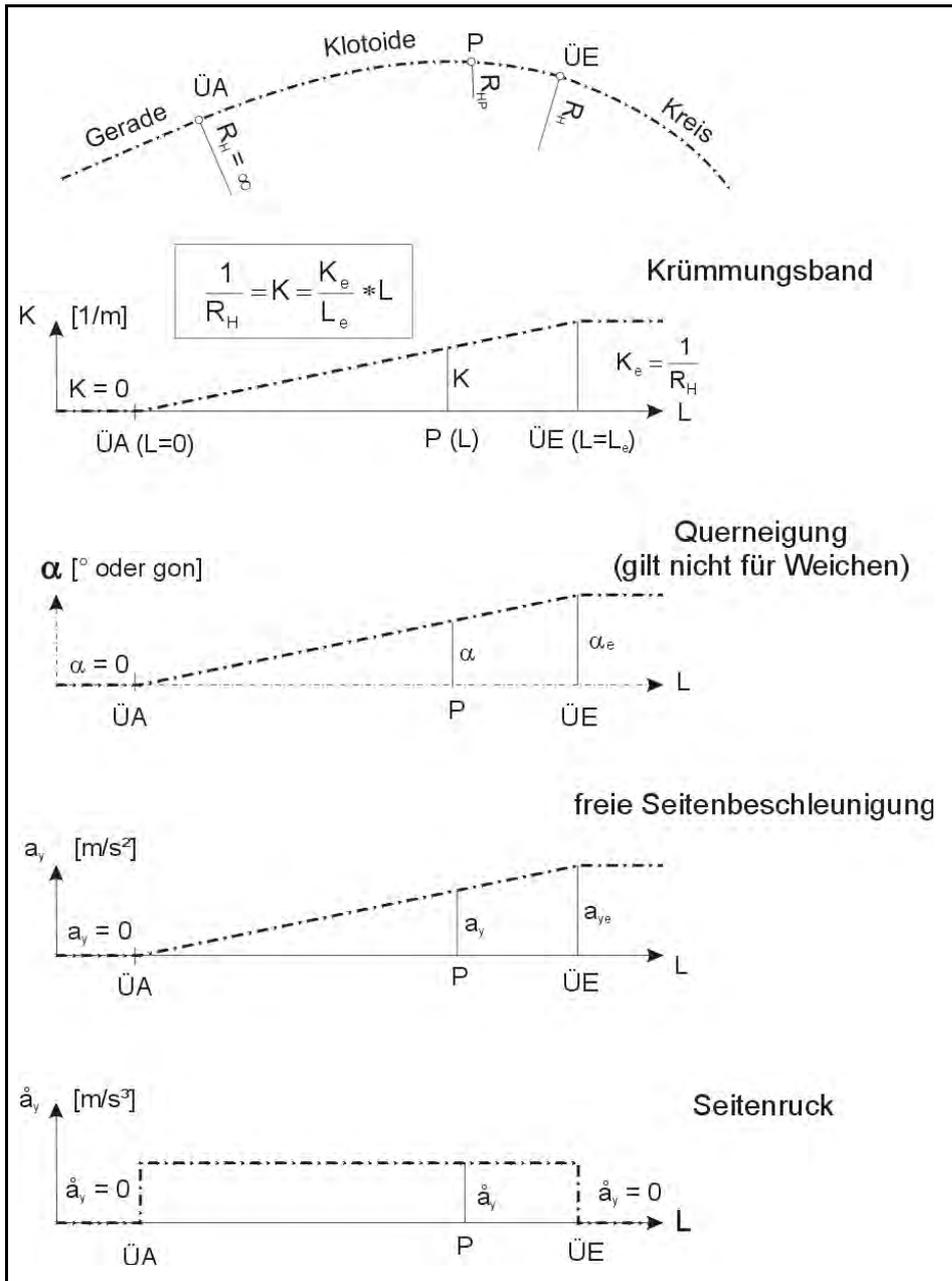


Abbildung 2: Geometrische und fahrdynamische Eigenschaften der Klothoide

5.3 Trassierungselemente Aufriss

5.3.1 Regelfahrweg

Der Aufriss des Regelfahrweges enthält:

- Geraden ($R_V = \infty$)
- Halbmesser (Kreisbögen, $R_V = \text{konstant}$)
- Klotoiden (Übergangsbogen)

Zwischen den Geraden und den Halbmessern sind Klotoiden zur Vermeidung von Krümmungssprüngen im Gradientenverlauf (Vertikalruck $\dot{a}_z = \infty$) einzuschalten.

Die maximal zulässige Längsneigung in den Geraden ist unter Punkt 6.1.1 festgelegt.

5.3.2 Weichen

Weichen dürfen nicht im Bereich von Vertikalausrundungen angeordnet werden. Die maximal zulässige Längsneigung in den Geraden ist unter Punkt 6.1.1 festgelegt.

6 Trassierungsparameter

6.1 Geometrische Trassierungsparameter

Explizit ausgewiesene Sonderfälle sind genehmigungspflichtig.

Für Ausnahmen von den Vorschriften der MbBO gilt MbBO §3 (2) und §5 (1) 2.

6.1.1 Grenzwerte der Fahrweglängsneigung

In Tabelle 1 sind die Grenzwerte der Fahrweglängsneigung aufgeführt.

Ort	Bereich	Grenzwert	Festlegung durch
Freie Strecke, außerhalb von Halteplätzen		$ s = 100 ‰$	MbBO § 13 (2)
Innerhalb von Halteplätzen	Bahnsteigbereich	$ s = 5 ‰$	MbBO § 13 (2)
	Betriebshalteplätze für betrieblich bedingten Halt	$ s = 100 ‰$ gemäß Nachweis der Haltefunktion	MbBO § 13 (2)
	Sonstige Betriebshalteplätze	$ s = 100 ‰$ gemäß Nachweis der Haltefunktion	MbBO § 13 (2)
	Evakuierungshalteplätze	$ s = 5 ‰$	MbBO § 13 (2)

Tabelle 1: Fahrweglängsneigung

Vorzeichenregel: + s = Steigung

- s = Gefälle

6.1.2 Grenzwerte der Fahrwegquerneigung

Zur Ausschaltung bzw. Herabsetzung der bei Kurvenfahrten auftretenden unausgeglichenen Seitenbeschleunigungen sind die Fahrwegebenen quergeneigt anzulegen. Die Grenzwerte sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Die Querneigung wird durch die Drehung der Fahrwegüberbauten um die Fahrwegachse, die in ihrer Höhenlage (Gradiente) erhalten bleibt, erzeugt. Der Fahrzeugschwerpunkt bewegt sich somit stets im gleichen Abstand von der räumlichen Fahrwegachse. Beim Halt (an Bahnsteigen oder Betriebshalteplätzen) verursacht die Querneigung eine Beschleunigung nach bogeninnen.

Ort	Bereich	Grenzwert	Festlegung durch
Freie Strecke, außerhalb von Halteplätzen		$ \alpha = 12^\circ$	MbBO § 13 (3)
		$ \alpha = 16^\circ$ in Sonderfällen	MbBO § 13 (3)
Innerhalb von Halteplätzen	Bahnsteigebereich	$ \alpha = 3,0^\circ *$	Gesamtsystem
	Betriebshalteplätze für betrieblich bedingten Halt	$ \alpha = 6,0^\circ$	Gesamtsystem Entspricht $a_y = 1,0$ m/s ² (Bogeninnen)
	Sonstige Betriebshalteplätze	$ \alpha = 12^\circ$	Gesamtsystem Entspricht $a_y = 2,0$ m/s ² (Bogeninnen)
	Evakuierungshalteplätze	$ \alpha = 6,0^\circ$	Gesamtsystem Entspricht $a_y = 1,0$ m/s ² (Bogeninnen)
Weichen		$ \alpha = 0^\circ$	Gesamtsystem Geradausstellung bzw. Abbiegestellung (rechnerisch bei $ s = 0$ ‰)

Tabelle 2: Fahrwegquerneigung

**) In /MbBO/ § 13 (3) ist die zulässige Querneigung im stehenden Fahrzeug im Bahnsteigbereich auf 3,4° begrenzt. Die max. zul. Querneigung von 3,0° wird aus systemtechnischen Gründen vorgegeben.*

Die Entwässerung des Fahrweges sollte über die Oberseite der Fahrwegüberbauten erfolgen /MSB AG-FW ÜBG/.

Die Mindestquerneigung des Fahrweges beträgt

$$|\alpha| = 1,15^\circ \text{ (entspricht 2 \%)}.$$

(Ausgenommen sind die Bereiche, in denen die Querneigungsrichtung wechselt (z.B. S-Schläge), sowie Abstell-, Instandhaltungsspuren, Stationen und Weichen).

Vorzeichenregel: + α = Rechtsdrehung (in Kilometrierungsrichtung gesehen)

 - α = Linksdrehung (in Kilometrierungsrichtung gesehen)

6.1.3 Fahrwegverwindung und minimal zulässige Verwindungslänge

Die Verwindungsstrecke ist der Übergangsbereich zwischen konstanten Querneigungsabschnitten.

Die Anfangs- und Endpunkte von Verwindungsstrecken und von Übergangsbögen bei der Grundrisstrassierung sollen der Lage nach zusammenfallen.

Im Einzelfall können Verwindungsstrecken auch in Fahrwegabschnitten mit konstanter Grundrisskrümmung angeordnet werden (siehe auch in 5.2.1, Berechnungsformel für die Querneigung α mit L_e = Verwindungslänge).

Der Verlauf der Verwindung im Querneigungsband soll analog dem Verlauf der Krümmung in der Grundrisstrassierung erfolgen.

Bei Verwendung von Sinusoiden in der Grundrisstrassierung soll die Fahrwegverwindung sinusförmig ausgebildet werden. Fällt die Verwindung aber mit einer Klotoiden im Grundriss zusammen, so ist die Verwindung linear, d.h. mit einer gleichmäßigen Querneigungsänderung über die Elementlänge (siehe Abbildung 2), zu gestalten.

	Verwindung	Festlegung durch
Höchstwert	$ \Delta\alpha_{\max} = 0,10 \text{ }^\circ/\text{m}$	Gesamtsystem (Fahrzeuggeometrie)
Grenzwert nach projektspezifischer Abstimmung	$ \Delta\alpha_{\max} = 0,15 \text{ }^\circ/\text{m}$	Gesamtsystem (Fahrzeuggeometrie)

Die minimal zulässige Länge der Verwindungsstrecke ergibt sich aus der maximal zulässigen Verwindung, dem maximalen Seitenruck (siehe 6.2.3.1) und dem maximalen Vertikalruck (siehe 6.2.3.2 und 6.2.4).

6.1.4 Minimal zulässiger Horizontalradius

Für Radien der Kreisbögen ohne unausgeglichene Seitenbeschleunigung gilt:

$$R_H = \frac{\left(\frac{v}{3,6} \right)^2 \cdot \cos \alpha \cdot \cos^2 \beta}{\left(g \cdot \cos \beta + \frac{\left(\frac{v}{3,6} \right)^2}{-R_v} \right) \cdot \sin \alpha} \quad a_y = 0 \text{ m/s}^2 \quad (1)$$

Für Radien der Kreisbögen mit nicht kompensierter unausgeglichener Seitenbeschleunigung gilt:

$$R_H = \frac{\left(\frac{v}{3,6} \right)^2 \cdot \cos \alpha \cdot \cos^2 \beta}{a_y + \left(g \cdot \cos \beta + \frac{\left(\frac{v}{3,6} \right)^2}{-R_v} \right) \cdot \sin \alpha} \quad a_y \leq a_y \text{ max} \quad (2)$$

Vorzeichenregel: + R_H = Rechtsbogen (in Kilometrierungsrichtung gesehen)
 - R_H = Linksbogen (in Kilometrierungsrichtung gesehen)

Die Grenzwerte für a_y sind unter Punkt 6.2.2.2 aufgeführt. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Werte für v , α , β und R_v möglicherweise nicht für den ganzen Kreisbogen gleich bleiben, sondern sich mit der Fortbewegung auf der Raumkurve ändern können. R_H wird mit den vorstehenden Formeln für einen Punkt auf der Raumkurve berechnet. Bei Überlagerung einer Grundrisskrümmung mit einer Vertikalausrundung sind außerdem die Bedingungen des $R_{x,z}$ -Kriteriums und des $R_{x,y}$ -Kriteriums zu beachten (siehe Punkt 6.1.6).

	Minimal zulässiger Horizontalradius	Festlegung durch
Grenzwert	$ R_{H \text{ min}} = 350 \text{ m}$	Gesamtsystem (Fahrzeuggeometrie)

Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt beispielhaft den Verlauf des minimal zulässigen Horizontalradius in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit, wenn fahrdynamische Vorgaben (siehe Kap. 6.2.2.2) zu berücksichtigen sind. Es sind in diesem Beispiel 12° Fahrwegquerneigung vorausgesetzt und für eine unausgeglichene Seitenbeschleunigung von $0,0 \text{ m/s}^2$ bzw. $1,5 \text{ m/s}^2$ die kleinsten Horizontalradien gesucht.

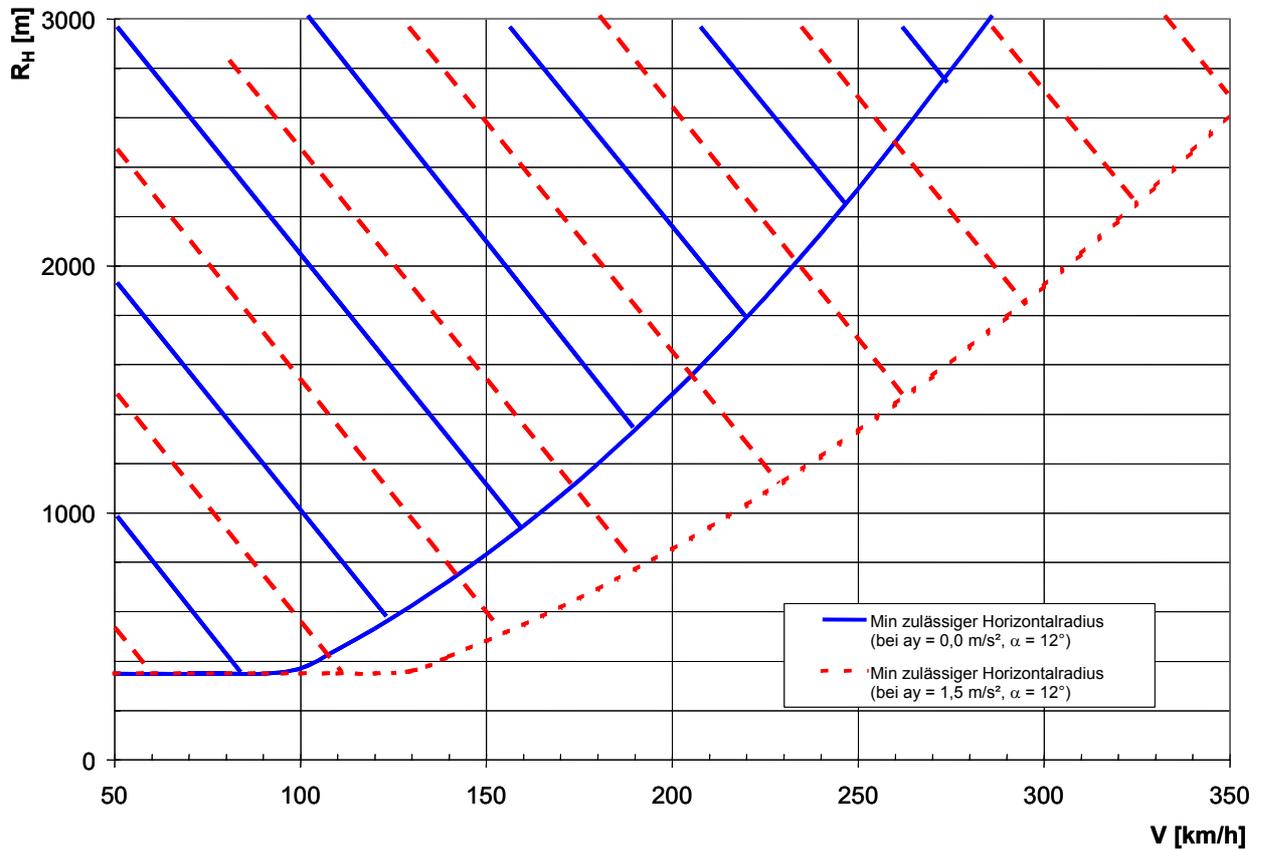


Abbildung 3: Minimaler zulässiger Horizontalradius

6.1.5 Minimal zulässiger Vertikalhalbmesser

Die Halbmesser sollen so gewählt werden, dass möglichst geringe Normalbeschleunigungen auftreten.

Mit den unter 6.2.1 aufgeführten Grenzwerte der Beschleunigungen ergeben sich die Mindestwerte der Ausrundungshalbmesser wie folgt:

$$R_{V \min} = \left| \frac{(\frac{v}{3,6})^2 \cdot \cos\alpha}{g \cdot (\cos\alpha \cdot \cos\beta - 1) + (\frac{v}{3,6})^2 \cdot \frac{\sin\alpha \cdot \cos^2\beta}{R_H} - a_{z \max}} \right| \quad (3)$$

Vorzeichenregel: + R_V = Kuppen
 - R_V = Wannen

Für Kuppen und Wannen gelten unterschiedliche Grenzwerte für $a_{z \max}$.

Auch hier erfolgt die Berechnung für einen Punkt auf der Raumkurve und es muss die mögliche Änderung von v , α , β und R_H während der Fahrt durch den Halbmesser ggf. bei der Ergebnisermittlung berücksichtigt werden.

	Minimal zulässiger Vertikalhalbmesser	Festlegung durch
Grenzwert	$ R_{V \min} = 530 \text{ m}$	Gesamtsystem (Fahrzeuggeometrie)

Weichen sollen nicht im Bereich von Vertikalausrundungen liegen.

Die Vorzeichenregelung ist aufgrund der Verwendung von Übergangsbögen in der Gradientenberechnung erforderlich.

In der nachfolgenden Abbildung 4 sind beispielhaft die minimal zulässigen Vertikalhalbmesser in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit für die jeweils maximal zulässige Normalbeschleunigung an Kuppen und in Wannen dargestellt. Die fahrdynamischen Vorgaben werden zur Berechnung von $R_{V_{min}}$ entsprechend in der o. a. Gleichung (3) eingesetzt.

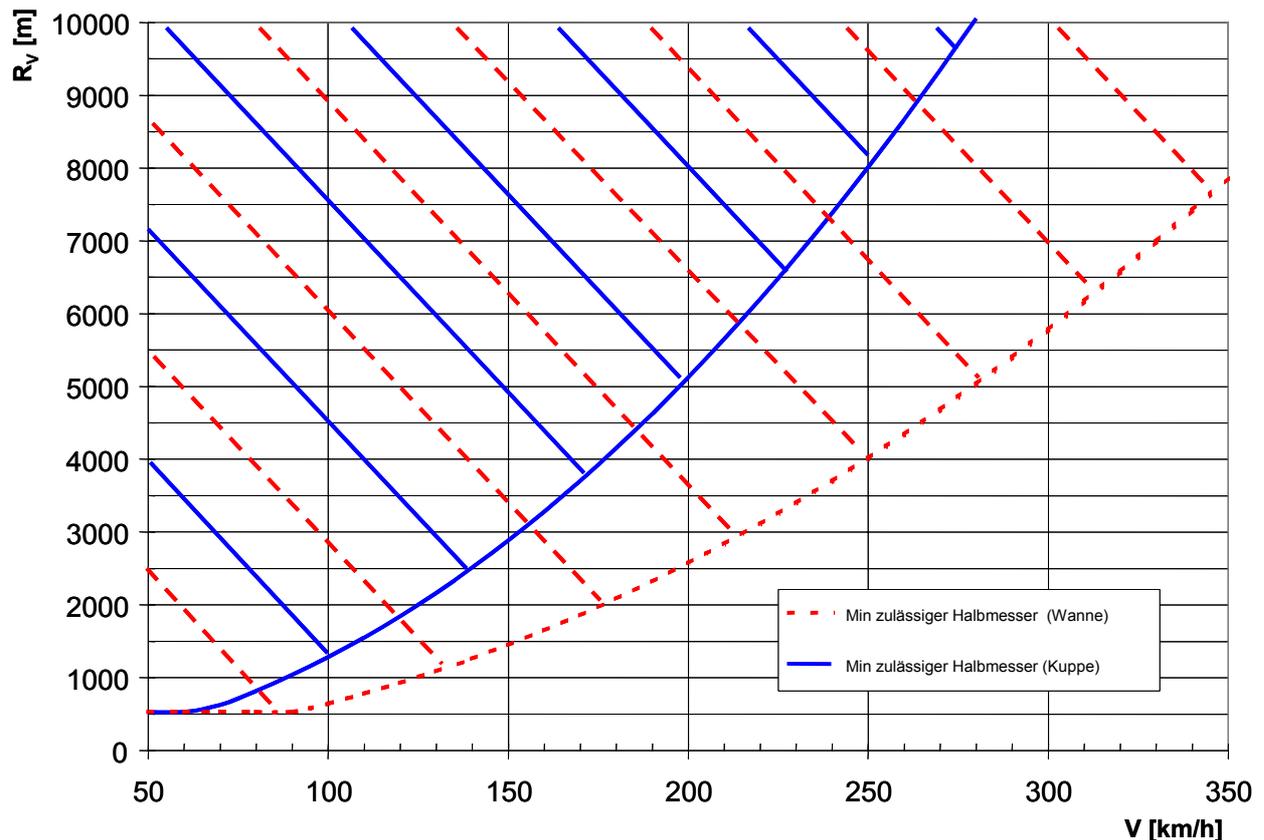


Abbildung 4: Minimal zulässiger Vertikalhalbmesser

6.1.6 $R_{x,z}$ -Kriterium

Bei Überlagerung einer Gradientenkrümmung (Halbmesser) mit einer Horizontalkrümmung (Radius) ist das $R_{x,z}$ -Kriterium (räumliche Halbmesser) zu beachten.

$$\frac{1}{R_{x,z}} = \left| \frac{\cos\alpha}{R_V} - \frac{\sin\alpha \cdot \cos^2\beta}{R_H} \right| \quad (4)$$

Vorzeichenregeln der eingesetzten Parameter siehe in Kapitel 6.1.1 bis 6.1.5.

	Minimal zulässiges $R_{x,z}$ -Kriterium	Festlegung durch
Grenzwert	$ R_{x,z \min} = 530 \text{ m}$ für $\Delta\alpha = 0,00 \text{ } ^\circ/\text{m}$	Gesamtsystem (Fahrzeuggeometrie)

Bei zusätzlicher Überlagerung mit einer Verwindung ist der räumliche Halbmesser abhängig von der örtlich vorhandenen Verwindung.

Die Grenzwerte aus der Tabelle 3 sind abhängig von der jeweiligen projektspezifischen Fahrzeuggeometrie. (Die Zwischenwerte sind linear zu interpolieren).

$\Delta\alpha$ [°/m]	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$R_{x,z \min}$ [m]	530	550	590	630	670	710
$\Delta\alpha$ [°/m]	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11
$R_{x,z \min}$ [m]	770	830	900	990	1100	1230
$\Delta\alpha$ [°/m]	0,12	0,13	0,14	0,15		
$R_{x,z \min}$ [m]	1410	1640	1950	2430		

Tabelle 3: Grenzwerte für $R_{x,z}$ bei Fahrwegverwindung

6.1.7 $R_{x,y}$ -Kriterium

Bei Überlagerung einer Gradientenkrümmung (Halbmesser) mit einer Horizontalkrümmung (Radius) ist das $R_{x,y}$ -Kriterium (räumliche Radius) zu beachten.

$$\frac{1}{R_{x,y}} = \left| \frac{\sin\alpha}{R_V} + \frac{\cos\alpha \cdot \cos^2\beta}{R_H} \right| \quad (5)$$

Vorzeichenregeln der eingesetzten Parameter siehe in Kapitel 6.1.1 bis 6.1.5.

	Minimal zulässiges $R_{x,y}$-Kriterium	Festlegung durch
Grenzwert	$ R_{x,y \min} = 350 \text{ m}$	Gesamtsystem (Fahrzeuggeometrie)

Der zulässige Mindestradius für das $R_{x,z}$ -Kriterium ist mit 530 m festgelegt. Aufgrund dessen ist es nur durch besondere Trassierungsgeometrien möglich, dass zusätzlich der Grenzwert für das $R_{x,y}$ -Kriterium mit 350 m erreicht wird.

Für die mögliche Überlagerung mit einer Verwindung sind in Abhängigkeit mit der Fahrzeuggeometrie projektspezifisch Regelungen zu treffen.

6.2 Fahrdynamische Vorgaben

6.2.1 Streckenricht- und Streckenhöchstgeschwindigkeit

Die Streckenrichtgeschwindigkeit ist das ortsabhängige Minimum aus maximaler Betriebsgeschwindigkeit, der Richtgeschwindigkeit aus Fahrkomfort und weiteren Projektvorgaben (Diagramm siehe /MSB AG-ABK&DEF/).

Für die Fahrwegdimensionierung werden folgende Obergrenzen für die Fahrweg- und Tunnelhöchstgeschwindigkeit festgelegt:

Streckenbereich	Höchstgeschwindigkeit	Festlegung durch
Freie Strecke	$v_{\max} \leq 500 \text{ km/h}$	Fahrweg (Dauerlasten)
Tunnelstrecken (Querschnittsabhängig)	$v_{\max} \leq 500 \text{ km/h}$	Fahrweg (Dauerlasten)
Weichen in Geradausstellung	$v_{\max} \leq 500 \text{ km/h}$	Fahrweg (Dauerlasten)
Weichen in Abbiegstellung	bauartspezifisch	Fahrweg (Dauerlasten)

Unter zusätzlicher Beachtung der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit (projektspezifisch bzw. /MSB AG-GESAMT/) ergibt sich aus den vorgenannten Höchstgeschwindigkeiten die Streckenhöchstgeschwindigkeit.

Die Sollgeschwindigkeit ist das Minimum aus Streckenricht- und Streckenhöchstgeschwindigkeit.

Das für fahrdynamische Simulationen erforderliche Istfahrprofil (Diagramm siehe /MSB AG-ABK&DEF/) wird durch zusätzliche Antriebssimulationen erzeugt, bei denen die tatsächliche, projektbezogene Leistungsfähigkeit des Antriebs beachtet wird.

6.2.2 Beschleunigungen

Die Beschleunigungen sind je nach Wirkrichtung aufgeteilt in:

- Antriebs- bzw. Bremsbeschleunigung a_x
- unausgeglichene Seitenbeschleunigung a_y
- Normalbeschleunigung (Komfortwert) a_z
- Normalfallbeschleunigung (Erdbeschleunigung) g

Die Beschleunigungsgrenzwerte für die unausgeglichene Seitenbeschleunigung und für die Normalbeschleunigung sollen von der räumlichen Fahrwegachse (Raumkurve) eingehalten werden.

Die Einhaltung der Grenzwerte für die Antriebs- bzw. Bremsbeschleunigung erfolgt durch das Subsystem Antrieb (siehe /MSB AG-ANT/).

Aus Gründen des Fahrkomforts sind durch geeignete Wahl der Trassierungsparameter möglichst geringe unausgeglichene Seiten- und Normalbeschleunigungswerte anzustreben. Auf Weichen ist ein Ausgleich der Seitenbeschleunigung nicht möglich, da der Fahrweg dort nicht quergeneigt werden darf.

Die Abbildung 5 zeigt am Querschnitt eines Magnetschnellbahnfahrzeugs (mit Blickrichtung in aufsteigende Kilometrierung) wohin bei einem positiven Vorzeichen die jeweilige Beschleunigung wirkt.

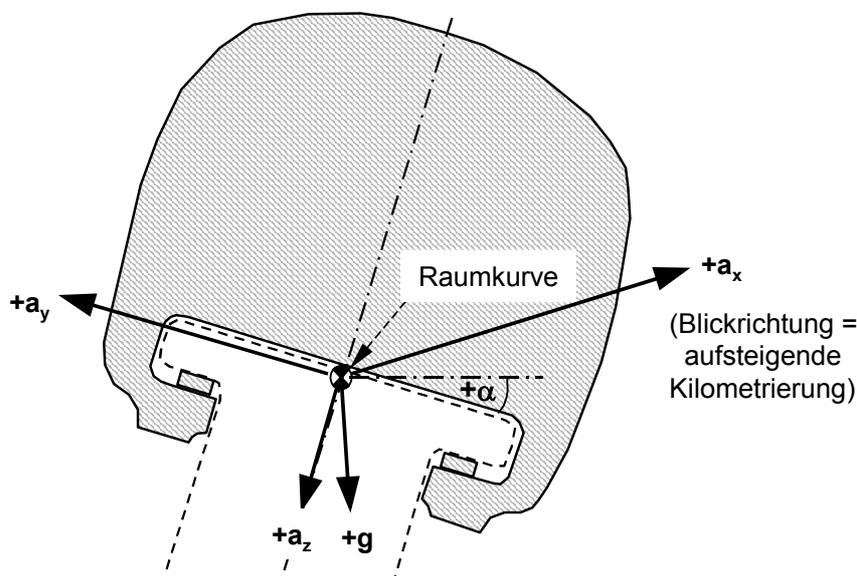


Abbildung 5: Vorzeichen der Beschleunigungen

6.2.2.1 Antriebs- und Bremsbeschleunigung

Die Einhaltung der Grenzwerte für die Antriebs- bzw. Bremsbeschleunigung erfolgt durch das Subsystem Antrieb (siehe /MSB AG-ANT/).

Die Einhaltung der Grenzwerte für die Antriebs- und Bremsbeschleunigung ist unter Berücksichtigung des vorgegebenen Maximalfahrprofils und der aus der Trassierung resultierenden Fahrweglängsneigung punktuell zu überprüfen.

Grenzwert	Antriebs- und Bremsbeschleunigung	Festlegung durch
	$ a_{x \max} = 1,5 \text{ m/s}^2$	MbBO

Komfortbedingte Höchstwerte (Fahrkomfort) können projektspezifisch festgelegt werden.

6.2.2.2 Unausgeglichene Seitenbeschleunigung

Die unausgeglichene Seitenbeschleunigung berechnet sich wie folgt:

$$a_y = \frac{(v/3,6)^2}{R_H} \cdot \cos \alpha \cdot \cos^2 \beta - \left(g \cdot \cos \beta + \frac{(v/3,6)^2}{-R_V} \right) \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

Das Vorzeichen der errechneten unausgegliehenen Seitenbeschleunigung zeigt die Richtung der Beschleunigung für den Fahrgast an:

Bei positivem Vorzeichen in Fahrtrichtung nach links,

Bei negativem Vorzeichen in Fahrtrichtung nach rechts.

Grenzwert	unausgeglichene Seitenbeschleunigung	Festlegung durch
für den Regelfahrweg	$ a_{y \max} = 1,5 \text{ m/s}^2$	MbBO (nach bogenaußen)
für Weichen	$ a_{y \max} = 2,0 \text{ m/s}^2$	Gesamtsystem (Dimensionierung Weichen)

Komfortbedingte Höchstwerte (Fahrkomfort) können projektspezifisch festgelegt werden.

Wird die Geschwindigkeit des Fahrzeugs der Querneigung und dem Radius optimal angepasst, tritt keine Seitenbeschleunigung auf ($a_y = 0$).

Ist die Geschwindigkeit höher, wirkt sie nach bogenaußen, d.h. auf der geneigten Fahrwegfläche nach oben als „Beschleunigungsüberschuss“.

Ist sie niedriger, wirkt sie nach bogeninnen, d.h. auf der geneigten Fahrwegfläche nach unten als Beschleunigungsfehlbetrag (Hangabtrieb).

Den Zusammenhang von jeweiligem Horizontalradius in Fahrtrichtung, zugehöriger Fahrwegquerneigungsrichtung und dem aus der Berechnung vorliegendem Vorzeichen von a_y ist in Tabelle 4 informativ dargestellt.

	Rechtskurve und positive Querneigung	Linkskurve und negative Querneigung
<i>Trassierungsparameter in Fahrtrichtung</i>	<i>R_H und α mit positivem Vorzeichen (+)</i>	<i>R_H und α mit negativem Vorzeichen (-)</i>
<i>a_y mit positivem Vorzeichen (+)</i>	<i>Beschleunigung in Fahrtrichtung nach links = Beschleunigungsüberschuss</i>	<i>Beschleunigung in Fahrtrichtung nach links = Beschleunigungsfehlbetrag</i>
<i>a_y mit negativem Vorzeichen (-)</i>	<i>Beschleunigung in Fahrtrichtung nach rechts = Beschleunigungsfehlbetrag</i>	<i>Beschleunigung in Fahrtrichtung nach rechts = Beschleunigungsüberschuss</i>

Tabelle 4: Richtung von Beschleunigungsüberschuss und -fehlbetrag

In der /MSB AG-FW BEM/ wird die Wirkrichtung der freien Seitenbeschleunigung abweichend von dieser Ausführungsgrundlage ohne Berücksichtigung der Trassierungsrichtung ausschließlich nach bogeninnen und bogenaußen unterschieden. Ein negatives Vorzeichen beschreibt in der /MSB AG-FW BEM/ immer eine Beschleunigung nach bogeninnen (Beschleunigungsfehlbetrag) und ein positives Vorzeichen beschreibt immer eine Beschleunigung nach bogenaußen (Beschleunigungsüberschuss).

6.2.2.3 Normalbeschleunigung (Komfortwert)

Die Normalbeschleunigung (Komfortwert) resultierend aus der Raumkurventrassierung berechnet sich wie folgt:

$$\mathbf{a}_z = \frac{(\mathbf{v}/3,6)^2}{\mathbf{R}_H} \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \beta + \left(\mathbf{g} \cdot \cos \beta + \frac{(\mathbf{v}/3,6)^2}{-\mathbf{R}_V} \right) \cdot \cos \alpha - \mathbf{g} \quad (7)$$

Die Normalbeschleunigung (Komfortwert) innerhalb einer Verwindungsstrecke (Drehung um die Raumkurve) ergibt sich wie folgt:

$$\mathbf{a}_z = \pm \mathbf{b}_G \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha_e - \alpha_a}{\rho^\circ} \cdot \left(\frac{(\mathbf{v}/3,6)}{\mathbf{L}_e} \right)^2 \cdot \sin \left(2\pi \cdot \frac{\mathbf{L}}{\mathbf{L}_e} \right) \quad (8)$$

Die Extremwerte der vg. Normalbeschleunigung (Komfortwert) ergeben sich bei $\mathbf{L} = \mathbf{L}_e / 4$ und bei $\mathbf{L} = 3 \mathbf{L}_e / 4$ wie folgt:

$$\mathbf{a}_z = \pm \mathbf{b}_G \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha_e - \alpha_a}{\rho^\circ} \cdot \left(\frac{(\mathbf{v}/3,6)}{\mathbf{L}_e} \right)^2 \quad (9)$$

Die Normalbeschleunigung, resultierend aus der Verwindung, wirkt mit entgegengesetztem Vorzeichen auf der rechten und linken Fahrzeugseite. In der Addition der beiden vg. Normalbeschleunigungen ist stets der ungünstigere Fall zu berechnen, d.h. das Vorzeichen der zweiten Komponente ist entsprechend dem der Normalbeschleunigungskomponente aus der Trassierung im Aufriss zu wählen.

Grenzwert	Normalbeschleunigung	Festlegung durch
für Kuppen	$\mathbf{a}_{z \max} = -0,6 \text{ m/s}^2$	Gesamtsystem (Dimensionierung Fahrweg), Empfehlung MbBO
für Wannan	$\mathbf{a}_{z \max} = +1,2 \text{ m/s}^2$	Gesamtsystem (Dimensionierung Fahrweg), Empfehlung MbBO

Komfortbedingte Höchstwerte (Fahrkomfort) können projektspezifisch festgelegt werden.

6.2.3 Rucke

Rucke sind differenzielle Änderungen der Beschleunigungen pro Zeiteinheit.

Die Rucke werden auf der räumlichen Fahrwegachse (Raumkurve) berechnet.

Übergangsbögen sollen in der Grundrisstrassierung so trassiert werden, dass die Höchstwerte der Rucke (differenzielle Änderungen der Beschleunigungen pro Zeiteinheit) nicht überschritten werden.

Die Rucke sind je nach Wirkrichtung aufgeteilt in:

- Seitenruck \ddot{a}_y
- Vertikalruck \ddot{a}_z
- Längsruck \ddot{a}_x
- omnidirektionaler Ruck (nicht bei Weichen) \ddot{a}_o

Möglichst geringe Ruckwerte erhöhen das subjektive Fahrempfinden der Passagiere (guter Fahrkomfort). Dies kann z.B. durch Verlängerung von Übergangsbögen im Grundriss erreicht werden.

Die nachfolgend aufgeführten Formeln zur Berechnung der Ruckwerte gelten nur bei analogem Verlauf der Krümmungs- und der Verwindungsstrecken. Liegt kein analoger Verlauf vor, ist die Einhaltung der Grenzwerte punktuell zu prüfen.

6.2.3.1 Seitenruck

Der Seitenruck berechnet sich wie folgt:

- bei Klotoiden

$$\dot{a}_y = \frac{\Delta a_y}{L_K} \cdot \frac{v}{3,6} \quad (10)$$

- bei Sinusoiden (für den Maximalwert)

$$\dot{a}_y = 2 \cdot \frac{\Delta a_y}{L_S} \cdot \frac{v}{3,6} \quad (11)$$

Höchstwert	Seitenruck	Festlegung durch
Grundsätzlich	$ \dot{a}_{y \max} = 0,5 \text{ m/s}^3$	Gesamtsystem (Fahrkomfort)
Ausnahmen, z.B. für den Bereich von Stationen	$ \dot{a}_{y \max} = 1,0 \text{ m/s}^3$	Gesamtsystem (Fahrkomfort)
Für Weichen (Abbiegestellung)	$ \dot{a}_{y \max} = 2,0 \text{ m/s}^3$	Gesamtsystem (Fahrkomfort)

Sofern bei Einsatz der Magnetschnellbahn im Regionalverkehr regelmäßig mit stehenden Passagieren zu rechnen ist, sind für die Weichenüberfahrten geringere zulässige Seitenruckwerte projektspezifisch festzulegen.

6.2.3.2 Vertikalruck

Der Vertikalruck berechnet sich wie folgt:

$$\dot{a}_z = \frac{\Delta a_z}{L_K} \cdot \frac{v}{3,6} \quad (12)$$

Die Vertikalruckkomponente innerhalb einer Verwindungsstrecke (Drehung um die Raumkurve) ergibt sich wie folgt:

$$\dot{a}_z = \pm b_G \cdot 4\pi^2 \cdot \frac{\alpha_e - \alpha_a}{\rho^\circ} \cdot \left(\frac{(v/3,6)}{L_e} \right)^3 \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{L}{L_e} \right) \quad (13)$$

Die Extremwerte der vg. Vertikalruckkomponente ergeben sich bei $L = 0$, $L = L_e / 2$ und bei $L = L_e$ wie folgt:

$$\dot{a}_z = \pm b_G \cdot 4\pi^2 \cdot \frac{\alpha_e - \alpha_a}{\rho^\circ} \cdot \left(\frac{(v/3,6)}{L_e} \right)^3 \quad (14)$$

Die Vertikalruckkomponente, resultierend aus der Verwindung, wirkt mit entgegengesetztem Vorzeichen auf der rechten und linken Fahrzeugseite. In der Addition der beiden vg. Vertikalruckkomponenten ist stets der ungünstigere Fall zu berechnen, d.h. das Vorzeichen der zweiten Komponente ist entsprechend dem der Vertikalruckkomponente aus der Raumkurventrassierung zu wählen.

Höchstwert	Vertikalruck	Festlegung durch
Grundsätzlich	$ \dot{a}_{z \max} = 0,5 \text{ m/s}^3$	Gesamtsystem (Fahrkomfort)
Ausnahmen, z.B. für den Bereich von Stationen	$ \dot{a}_{z \max} = 1,0 \text{ m/s}^3$	Gesamtsystem (Fahrkomfort)

Sonderfälle mit erhöhtem Vertikalruck sind nach Prüfung auf Kompatibilität im Einzelfall zulässig.

6.2.3.3 Längsruck

Der Längsruck ist nicht in erster Linie vom Verlauf der Raumkurve sondern vom Geschwindigkeitsverlauf abhängig.

Die Betreiberanforderungen an den Längsruck sind durch das Fahrprofil einzuhalten.

6.2.3.4 Omnidirektionaler Ruck

Die räumliche Überlagerung von Längsruck, Seitenruck und Vertikalruck ergibt den omnidirektionalen Ruck.

Dieser berechnet sich wie folgt:

$$\mathring{a}_o = \sqrt{\mathring{a}_x^2 + \mathring{a}_y^2 + \mathring{a}_z^2} \quad (15)$$

Höchstwert	Omnidirektionaler Ruck	Festlegung durch
Grundsätzlich	$ \mathring{a}_{o \max} = 1,0 \text{ m/s}^3$	Gesamtsystem (Fahrkomfort)

Sonderfälle mit erhöhtem omnidirektionalen Ruck sind nach Prüfung auf Kompatibilität im Einzelfall zulässig.

Für Weichen (Abbiegestellung) ist kein Höchstwert für den omnidirektionale Ruck spezifiziert.

6.2.4 Mindestlänge Sinusoide

Im Trassenverlauf wird die jeweilige Sinusoide (unter anderem im S-Schlag) durch die Länge L und die Radien R_{Ha} bzw. R_{He} definiert, wobei ein Radius auch $R_H = \infty$ (Gerade) sein kann.

Die Minimallänge ergibt sich aus den Kriterien des maximalen Seitenrucks, der maximal zulässigen Verwindung oder des maximalen Vertikalrucks über nachfolgend aufgeführte Formeln, wobei die jeweils größere Länge maßgebend ist.

$$L_{S \min} = \left| 2 \cdot \frac{a_{y,e} \cdot \text{SGN}(R_{H,e}) - a_{y,a} \cdot \text{SGN}(R_{H,a})}{\dot{a}_{y \max}} \cdot \frac{v}{3,6} \right| \quad (16)$$

$$L_{S \min} = \left| 2 \cdot \frac{\alpha_e - \alpha_a}{\Delta \alpha_{\max}} \right| \quad (17)$$

$$L_{S \min} = \sqrt[3]{\left(\frac{v}{3,6}\right)^3 \cdot b_G \cdot 4\pi^2 \cdot \frac{|\alpha_e - \alpha_a|}{\rho^o \cdot \dot{a}_{z \max}}} \quad (18)$$

Die aufgeführten Formeln zur Berechnung der Mindestlänge der Sinusoide gelten nur wenn Krümmungs- und Verwindungsstrecken identische Anfangs- und Endpunkte auf der Fahrwegachse haben. Liegt kein identischer Verlauf vor, so ist die Einhaltung der Grenzwerte besonders zu beachten.

Bei Überlagerungen von Verwindungen mit Vertikalausrundungen ist die Einhaltung der Grenzwerte punktuell zu prüfen, da in vg. Formel die Vertikalruckkomponente aus der Raumkurve nicht berücksichtigt ist (siehe 6.2.3.2).

6.2.5 Mindestlänge Klotoide

Im Trassenverlauf wird die jeweilige Klotoide durch den Radius (R_H) bzw. den Halbmesser (R_V) des anschließenden Kreisbogens und die Länge L des Übergangsbogens festgelegt. Dabei ist L so zu wählen, dass der maximale Seiten- bzw. Vertikalruck nicht überschritten wird. Die Minimallänge ergibt sich aus den nachfolgend aufgeführten Formeln:

im Grundriss (im Regelfahrweg nur bei Weichen oder an Zwangspunkten mit $V < 100$ km/h)

$$L_{K \min} = \left| \frac{\Delta a_y}{\overset{\circ}{a}_{y \max}} \cdot \frac{v}{3,6} \right| \quad (19)$$

im Aufriss

$$L_{K \min} = \left| \frac{\Delta a_z}{\overset{\circ}{a}_{z \max}} \cdot \frac{v}{3,6} \right| \quad (20)$$

Bei Überlagerungen von Verwindungen mit Vertikalausrundungen ist die Einhaltung der Grenzwerte besonders zu beachten, da in vg. Formel die Vertikalruckkomponente aus der Verwindung nicht berücksichtigt ist (siehe 6.2.3.2).

6.2.6 Komfortkriterien in Abhängigkeit der Gesamtfahrzeit der trassierten Strecke

Für die Trassierung ist nicht nur die Festlegung der einzelnen Trassierungselemente und deren Kombination aus systemtechnischer Sicht zu prüfen, sondern auch die Kriterien des Fahrkomforts sind zu beachten. Hierbei ist die gesamte Abfolge der Trassierungselemente und deren Einwirken auf den Fahrgast von Wichtigkeit. Es wird nachfolgend die Bemessung und Bewertung des Komforts eines geplanten Streckenverlaufs anhand der Linienführung und des dazu vorgesehenen Maximalfahrprofils unabhängig vom Fahrzeug und des Passagierverhaltens aufgezeigt.

Als Bewertungsmaßstab für die Beurteilung des Fahrkomforts wird dabei der Effektivwert der Beschleunigungen (RMS-Wert) herangezogen. Dieser Wert ergibt sich gemäß Gleichung (21):

$$\mathbf{a}_{\text{eff}} = \mathbf{a}_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{a}^2(t) dt} \quad (21)$$

mit $a(t)$ = Beschleunigungsamplitude zum Zeitpunkt t
und T = Gesamtfahrzeit (vollständige Streckenlänge)

Für den Trassenentwurf werden die nachfolgenden Anforderungen definiert:

Für die Grundrisstrassierung

- Der Effektivwert der unausgeglichenen Seitenbeschleunigung muss unterhalb der in dem Diagramm „Fahrkomfort Längs- und Seitenbeschleunigung“ dargestellten (teilweise extrapolierten) Grenzwerte liegen. Dieses Diagramm ist in Abbildung 6 dargestellt.
- Die Einwirkungszeit entspricht der Gesamtfahrzeit.
- Eine Mindestlänge für die Grundrisselemente Gerade und Kreis ist für die Effektivwertbetrachtung nicht erforderlich.

Für die Aufrisstrassierung

- Der Effektivwert der Normalbeschleunigung muss unterhalb der in dem Diagramm „Fahrkomfort Normalbeschleunigung“ dargestellten Grenzwerte liegen, dieser sollte zum Beispiel zur Vermeidung von Kinetoseeffekten (Reisekrankheit) um 20% unterschritten werden. Dieses Diagramm ist in Abbildung 7 dargestellt.
- Die Einwirkungszeit entspricht der Gesamtfahrzeit.

- Die periodische Anordnung von Ausrundungen über einen längeren Streckenabschnitt sollte vermieden werden.
- Eine Mindestlänge für die Aufrisselemente Gerade und Halbmesser ist nicht erforderlich.

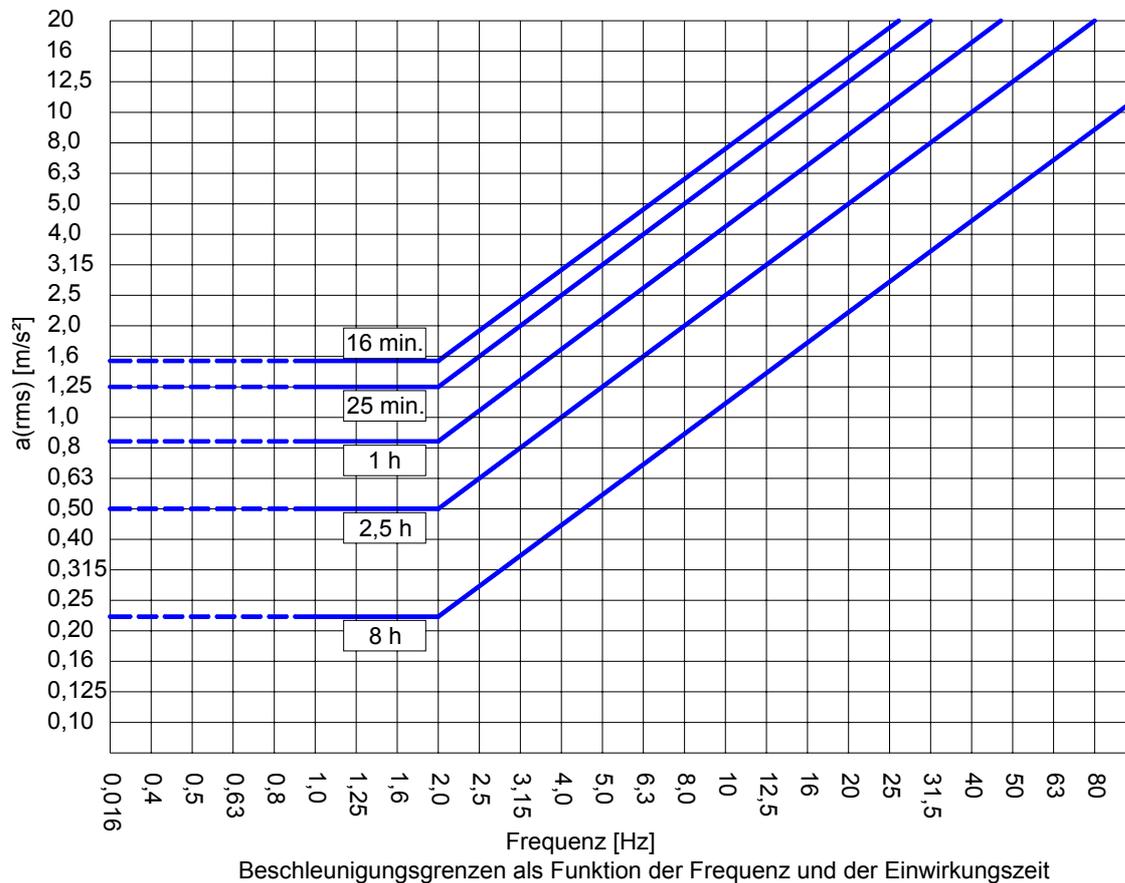


Abbildung 6: Fahrkomfort Längs- und Seitenbeschleunigung (nach ISO 2631)

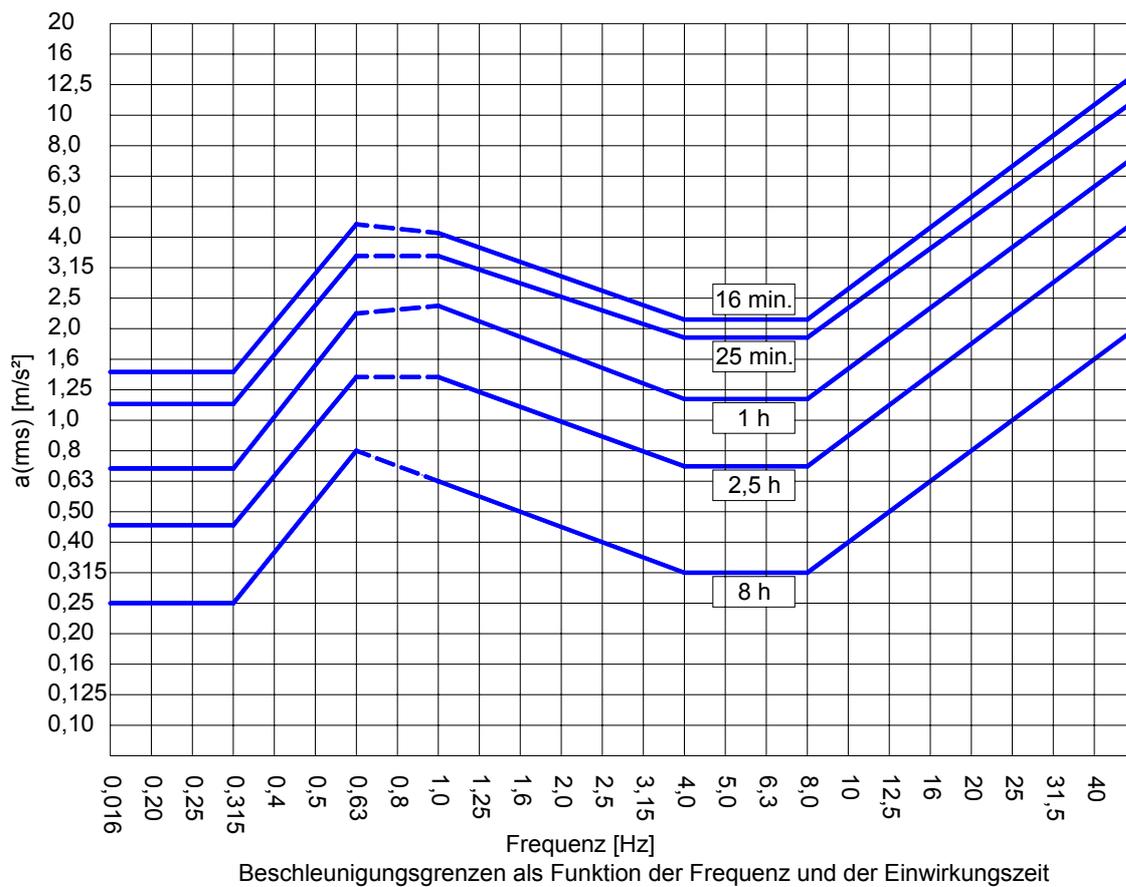


Abbildung 7: Fahrkomfort - Normalbeschleunigung (nach ISO 2631)

7 Stützenteilung und Feldweiten

7.1 Einspurfahrweg

Nach der Festlegung des Raumkurvenverlaufes sind die technisch und wirtschaftlich bevorzugten Feldweiten für die weitere Planung zu beachten. Die Stützenteilungen beziehen sich auf die festgelegten Feldweiten (/MSB AG-FW ÜBG/) und werden der Raumkurve zugeordnet.

Die Feldweiten sind projektspezifisch festzulegen.

An Zwangspunkten können auch kürzere Feldweiten verwendet werden. Dabei ist es möglich, die Feldweite um ein ganzzahliges Vielfaches einer Nut- / Zahnperiode (86 mm) zu verkürzen.

Die Berechnung der Systemlängen von Fahrwegträgern erfolgt mittels folgender Formel:

$$L = n \times 1032 - m \times 86 \quad (22)$$

mit $m \leq 4$ (Anzahl der Kürzungen)

7.2 Doppel- oder Mehrspurfahrweg

Bei der Stützteilung von Doppel- / Mehrspurfahrwegen sind auch gekürzte Feldweiten (/MSB AG-FW ÜBG, 7.1) zu verwenden, um eine annähernd radiale Anordnung der Stützenköpfe zu erzielen. Spurwechseleinrichtungen verbinden Trassierungsachsenabschnitte.

Die räumlichen Längen dieser Trassierungsachsabschnitte zwischen Spurwechseleinrichtungen müssen ein ganzzahliges Vielfaches einer Antriebsperiode (516 mm) betragen.

Dies Trassierungsachsabschnitte können um ein einheitliches ganzzahliges Vielfaches einer Nut- / Zahnperiode (86 mm) verkürzt werden.

Die Abbildung 8 zeigt beispielhaft zwei Trassierungsachsen, die von einem gemeinsamen Startpunkt in einer Spurwechseleinrichtung zu einem gemeinsamen Endpunkt in einer Spurwechseleinrichtung führen und deren Raumlängen der genannten Bedingung entsprechen müssen.

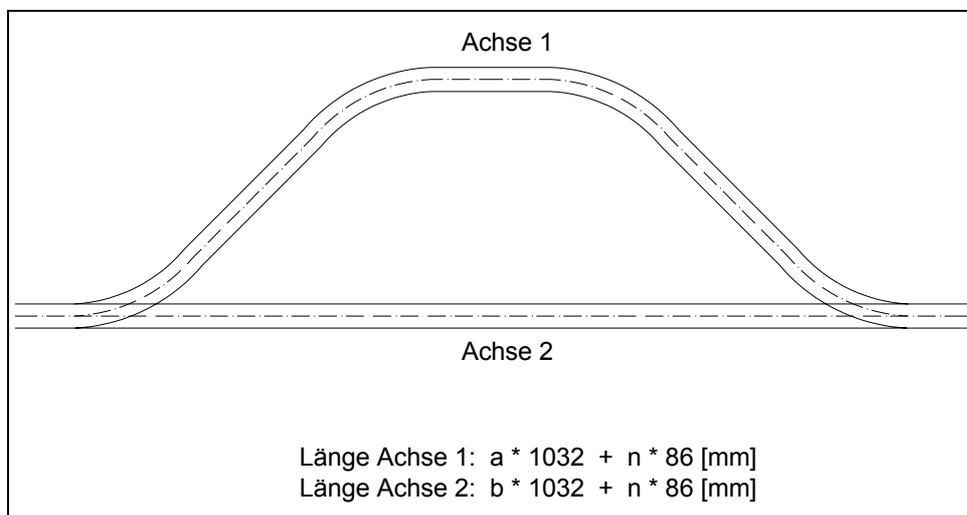


Abbildung 8: Raumpkurvenlängen bei mehreren Fahrspuren

Bei geometrischen Zwängen können die Abweichungen einzelner Trassierungsachsabschnitte (< 516 mm) von der vorgenannten Bedingung auf die Feldweiten innerhalb dieses Trassierungsachsabschnittes gleichmäßig verteilt werden.

Als Richtwerte zur Planung können bei einer Feldweite von 24,7680 m maximal 6,5 mm Verlängerung oder bis zu 0,5 mm Verkürzung eingesetzt werden.

8 Spurmittenabstand und Lichtraum

8.1 Spurmittenabstand

Bei der Trassierung von Parallelspuren sind mindestens die in Tabelle 5 beschriebenen Spurmittenabstände (in Abhängigkeit der Entwurfsgeschwindigkeit v_e) einzuhalten.

Zusätzlich erfolgt in Kategorie 1 ($v_e \leq 300$ km/h) eine Differenzierung des minimalen Spurmittenabstandes durch die verwendete Querneigung (α) und den verwendeten Horizontalradius (R_H) zur Vermeidung von Lichtraumüberschneidungen.

Diese Regelung gilt nur für Querneigungen bis maximal 12° und gleichen Raumkurvenhöhen (Gradienten) der benachbarten Fahrspuren. Bei ungleichen Gradientenhöhen sind die Lichträume beider Fahrspuren bezüglich einer eventuellen Überschneidung zu untersuchen und der Spurmittenabstand S entsprechend anzupassen.

Kategorie	Entwurfsgeschwindigkeit v_e [km/h]	Querneigung α [°]	Horizontalradius R_H [m]	Spurmittenabstand S [m]
1	$v_e \leq 300$			4,40
		$\alpha > 10^\circ$		4,50
		$5^\circ < \alpha \leq 10^\circ$	$R_H \leq 3500$	
2	$300 < v_e \leq 400$			4,80
3	$400 < v_e \leq 500$			5,10

Tabelle 5: Spurmittenabstand

8.1.1 Genauigkeit

Der Spurmittenabstand ist auf 2 Nachkommastellen (gem. /MbBO/) einzuhalten.

8.1.2 Nichtparallelität von Sinusoiden

Bei der Trassierung von Parallelspuren können Sinusoiden nicht geometrisch exakt parallel trassiert werden.

Die Abweichungen sind in dem Raumbedarf für Lageabweichungen und Toleranzen der Fahrwege in Bezug auf die Raumkurve einbezogen und müssen hier nicht berücksichtigt werden.

8.2 Lichtraum und Begrenzungslinien

Die Abbildungen aus der /MbBO/ wurden als Grundlage für die Abbildung 9 bis 13 verwendet und um den Bereich Querneigung ergänzt.

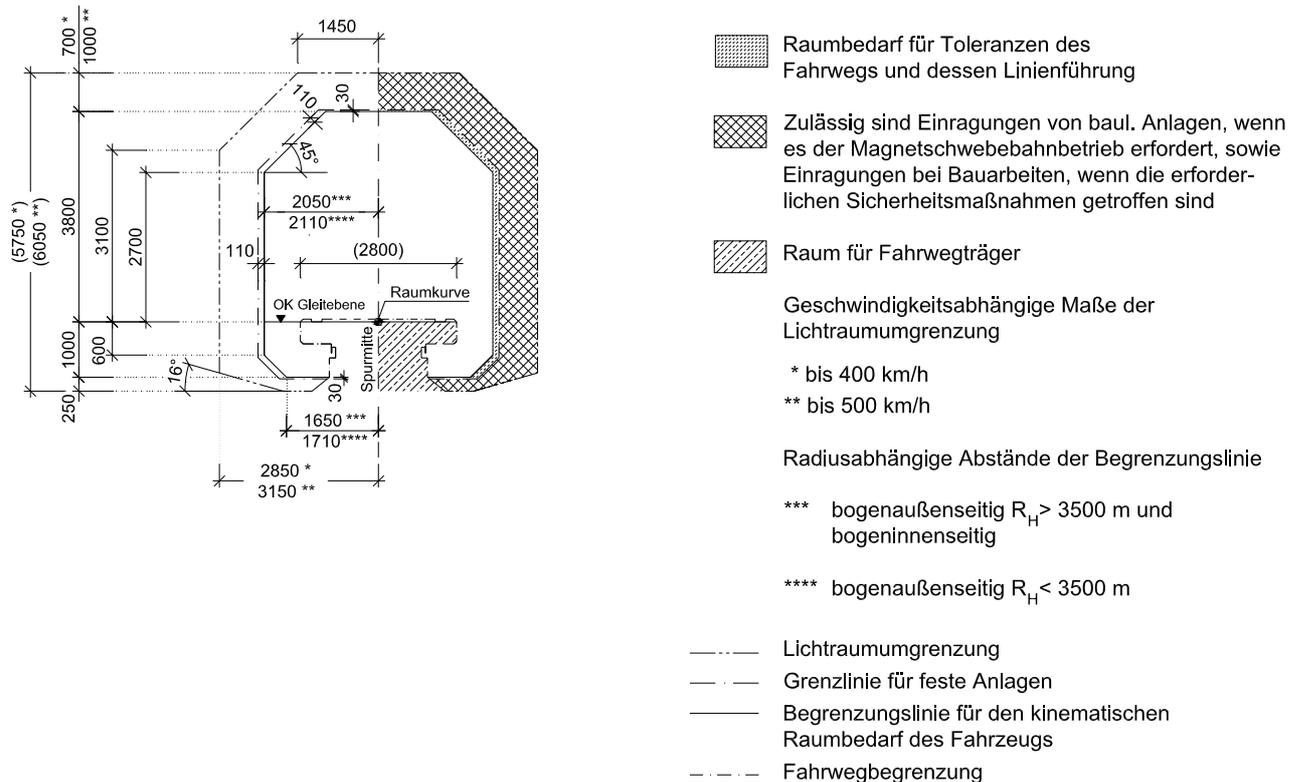


Abbildung 9: Lichtraum und Begrenzungslinien der MSB-Einzelspur, $\alpha = 0^\circ$

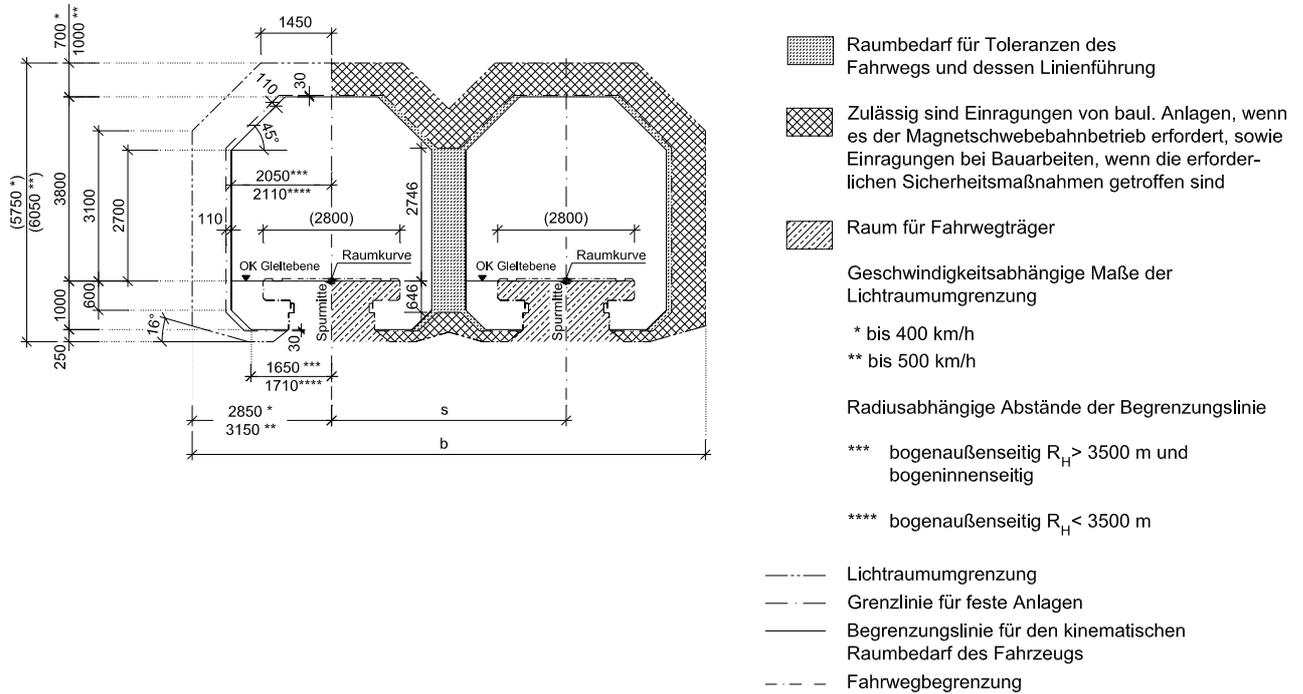
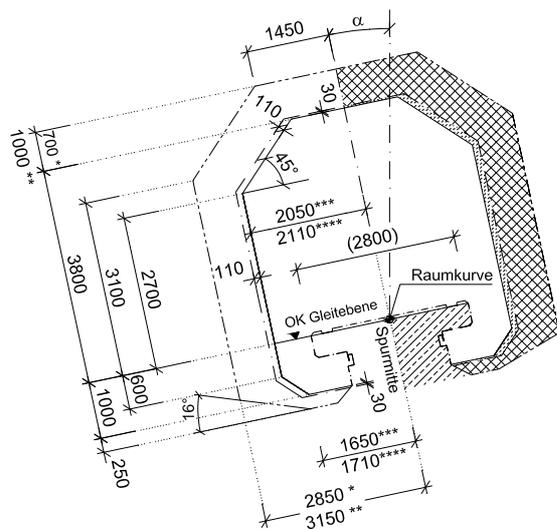


Abbildung 10: Lichtraum und Begrenzungslinien der MSB-Doppelspur, $\alpha = 0^\circ$



-  Raumbedarf für Toleranzen des Fahrwegs und dessen Linienführung
-  Zulässig sind Einragungen von baul. Anlagen, wenn es der Magnetschwebbahnbetrieb erfordert, sowie Einragungen bei Bauarbeiten, wenn die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen getroffen sind

 Raum für Fahrwegträger

Geschwindigkeitsabhängige Maße der Lichtraumumgrenzung

* bis 400 km/h

** bis 500 km/h

Radiusabhängige Abstände der Begrenzungslinie

*** bogenaußenseitig $R_H > 3500$ m und bogeninnenseitig

**** bogenaußenseitig $R_H < 3500$ m

----- Lichtraumumgrenzung

- - - - - Grenzlinie für feste Anlagen

————— Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf des Fahrzeugs

- - - - - Fahrwegbegrenzung

Abbildung 11: Lichtraum und Begrenzungslinien der MSB-Einzelspur, $\alpha \leq 12^\circ$

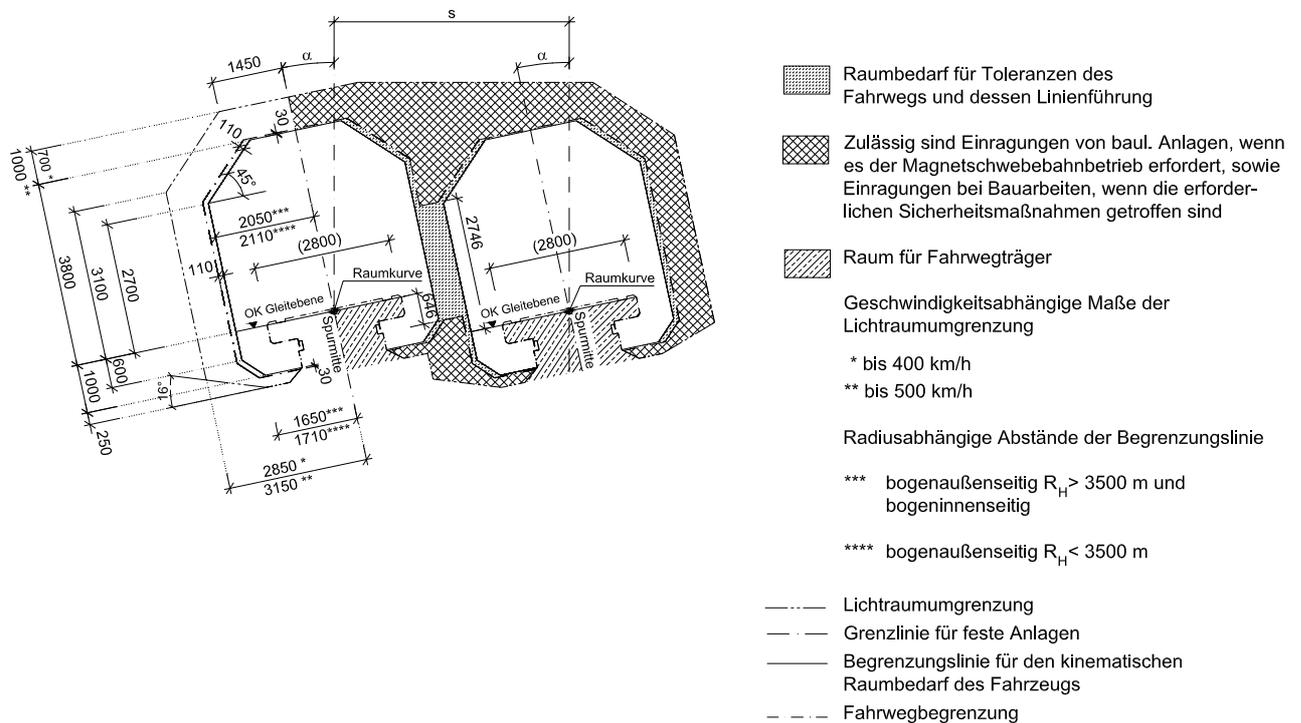
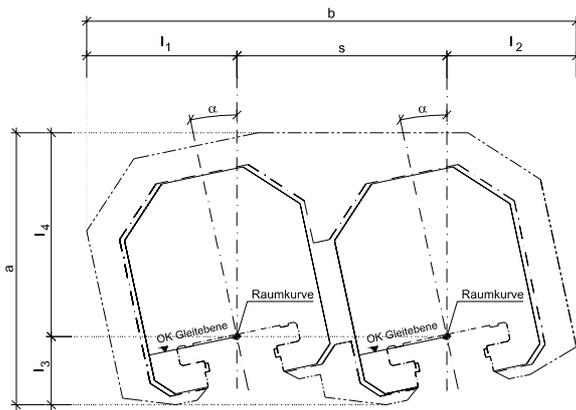


Abbildung 12: Lichtraum und Begrenzungslinien der MSB-Doppelspur, $\alpha \leq 12^\circ$



Berechnung der Breite des Streckenquerschnitts für Doppelspur (b) und Einzelspur (b_E) sowie der Höhe des Streckenquerschnitts (a) in Abhängigkeit der Querneigung (α):

$$l_i = b_i + \Delta_i \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$\Delta_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \times \cos \left[\arctan \left(\frac{a_i}{b_i} \right) - \alpha \right] - b_i;$$

$$b = l_1 + s + l_2$$

$$b = l_1 + l_2$$

$$a = l_3 + l_4$$

Geschwindigkeitsabhängige Abmessungen des Spurmittenabstandes (s)

$s = 4400 \text{ mm}$ bis 300 km/h

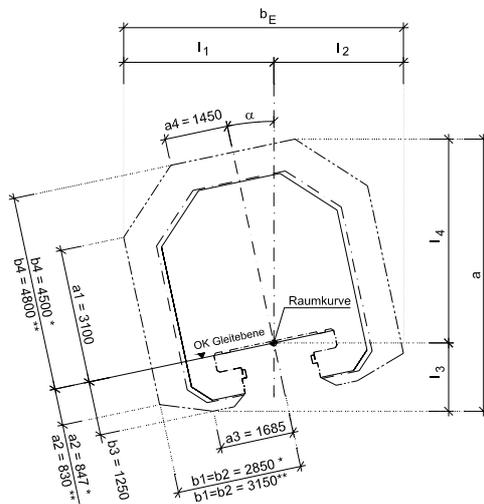
$s = 4800 \text{ mm}$ bis 400 km/h

$s = 5100 \text{ mm}$ bis 500 km/h

Geschwindigkeitsabhängige Maße der Lichtraumumgrenzung

* bis 400 km/h

** bis 500 km/h



- Lichtraumumgrenzung
- - - - - Grenzlinie für feste Anlagen
- Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf des Fahrzeugs
- · - · - Fahrwegbegrenzung

Abbildung 13: Lichtraum der MSB in Abhängigkeit der $\alpha \leq 12^\circ$

9 Spurwechseleinrichtungen

9.1 Allgemeines

In Abbildung 14 sind die derzeitigen Varianten der Spurwechseleinrichtungen dargestellt.

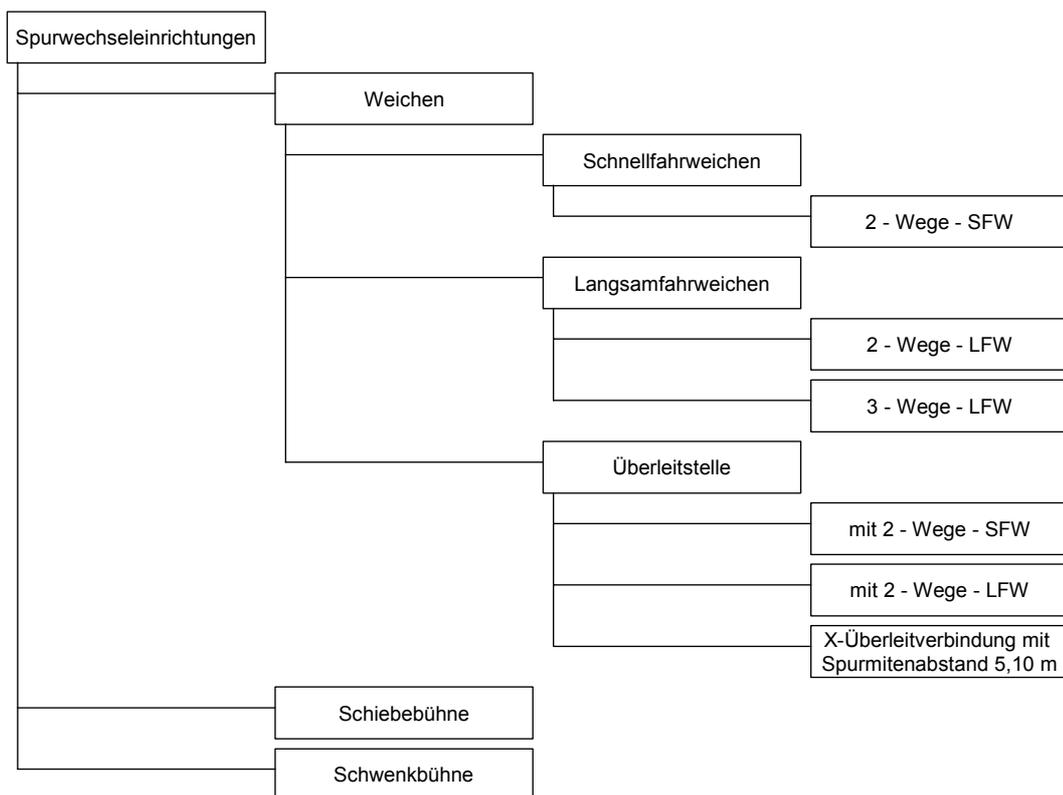


Abbildung 14: Gliederung der Spurwechseleinrichtungen

9.2 Weichen

9.2.1 Allgemein

Folgende Ansätze sind für die Trassierung von Weichen zu beachten:

- Der gesamte Weichenträger kann von der Geradeausstellung in die Abbiegestellung gebogen werden.
- *Im Grundriss erfolgt die geometrische Abfolge: Gerade-Klotoide-Kreis-Klotoide-Gerade. Diese Abfolge nähert sich weitgehend der Biegelinie des Weichenträgers. Abbildung 15 zeigt die Elemente des Krümmungsbandes einer Weiche in Abbiegestellung.*
- *Es wird aus Komfortgründen empfohlen, in der Abbiegespur hinter einer Weiche für die Fahrzeit von 2 Sekunden, eine Gerade ($RH = \infty$) zu trassieren.*

Diese Empfehlung gilt nicht für Überleitverbindungen, da hier nach der ersten Weiche direkt eine zweite befahren wird.

- *In der Gradiente ist nur der Halbmesser $R_V = \infty$ zulässig.*
- *Die planmäßige Querneigung der Weichen beträgt 0° .*
- *Die planmäßige Längsneigung der Weiche beträgt bis zu 100 ‰.*
Bei Verwendung von Längsneigung ungleich 0 ‰ ergeben sich im Grundriss der Abbiegestellung mathematisch nicht definierte Trassierungselemente.

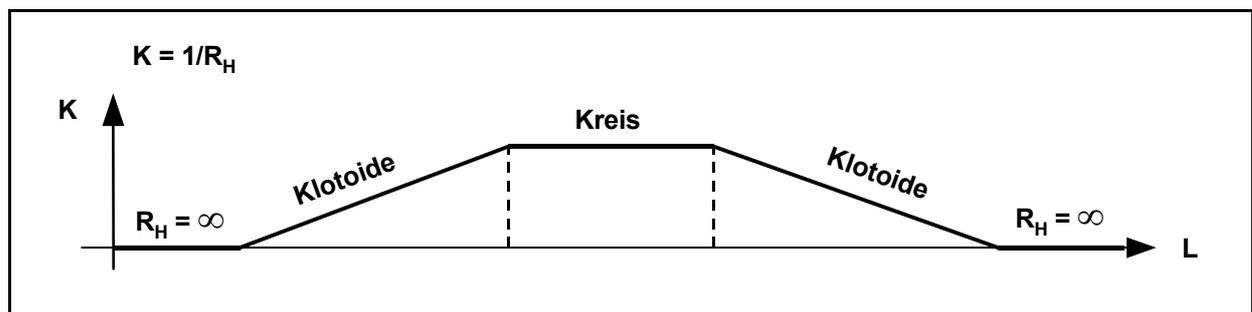


Abbildung 15: Krümmungsband Weiche

9.2.2 Ausführungsbeispiele Weichen

Nachfolgend sind derzeit bekannte Ausführungsbeispiele dargestellt. Projektspezifisch können weitere Weichen definiert werden.

Die Ausführungsbeispiele enthalten die geometrische Abfolge der Trassierungselemente sowie eine Tabelle mit den Höchstgeschwindigkeiten und den daraus resultierenden Seitenbeschleunigungen und Seitenrucken.

Die Titel „Mittelstrecken-/Langstrecken Anwendung“ und „Regionalanwendung“ erfolgten aufgrund der Fahrzeuggestaltung (sitzende Passagiere – stehende Passagiere).

Dabei sind die Werte für die „Regionalanwendung“ als Empfehlung zu verstehen.

Die in den folgenden Tabellen angegebenen Empfehlungen für Regionalanwendungen basieren auf Komfortuntersuchungen mit dem Schwerpunkt auf stehenden Passagieren.

Überleitverbindungen bestehen aus 2 Biegeweichen und einer Verriegelungseinheit.

X-Überleitverbindungen bestehen aus 4 Biegeweichen, der Spurmittenabstand beträgt 5,100 m. Bei Abbiegestellung ist es notwendig, auch die nicht befahrenden Biegeweichen in die Abbiegestellung zu stellen, da sonst die Begrenzungslinie für feste Einbauten überschritten wird (Kapitel 8.2).

9.2.2.1 Schnellfahrweiche

Die Trassierungselemente der Schnellfahrweiche sind in Abbildung 16 als Grundriss unmaßstäblich dargestellt und in Tabelle 6 aufgelistet.

Die fahrdynamischen Werte zu dieser Weiche sind in der Tabelle 7 zusammengestellt.

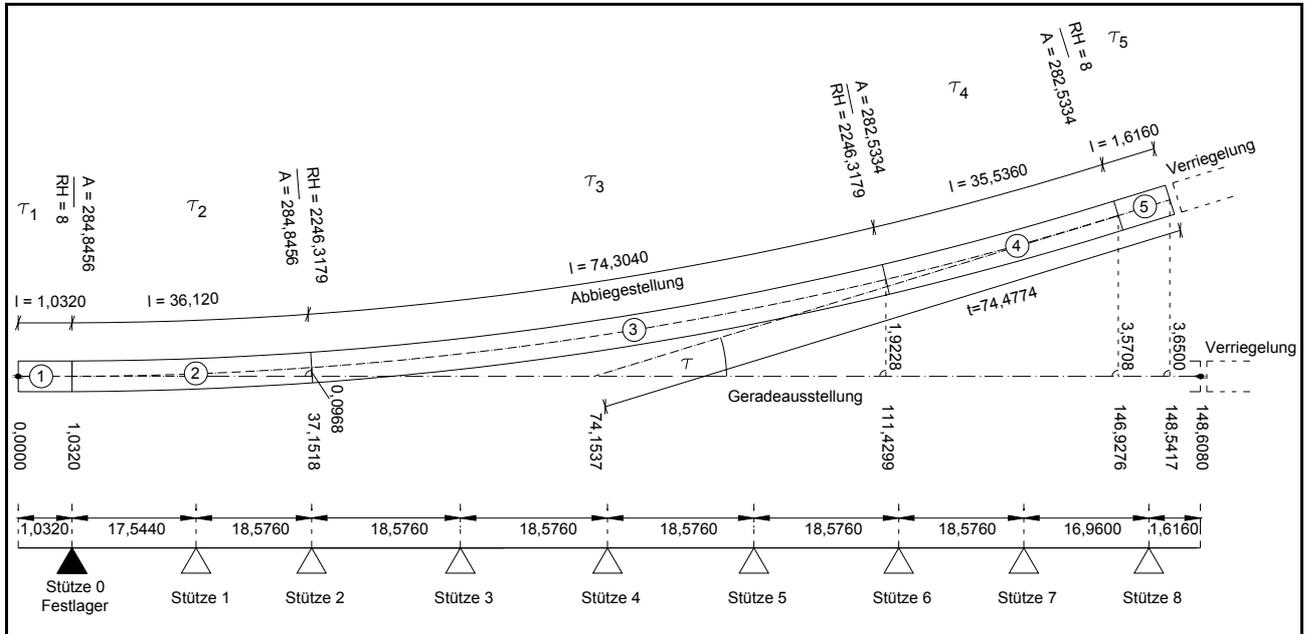


Abbildung 16: Trassierungselemente Schnellfahrweiche (Ausführungsbeispiel)

Nr.	Element	Länge [m]	Radius [m]	Abszisse [m]	Ordinate [m]	τ [gon]	τ [°]
	WA			0,0000	0,0000	0,00000	0,00000
1	Gerade	1,0320		1,0320	0,0000	0,00000	0,00000
2	Klotoide	36,1200		37,1518	0,0968	0,51183	0,46065
3	Kreisbogen	74,3040	-2246,3179	111,4299	1,9228	2,10582	1,89524
4	Klotoide	35,5360		146,9276	3,5708	0,50356	0,45320
5	Gerade	1,6160		148,5417	3,6500	0,00000	0,00000
Σ		148,6080				3,12121	2,80909

Tabelle 6: Trassierungsparameter Schnellfahrweiche (Ausführungsbeispiel)

Größe		Mittelstrecken- / Langstrecken- anwendung		Regionalanwendung (Empfehlung)	
Höchstgeschwindigkeit Geradeausstellung	$V_{\text{höchst}}$	500	[km/h]	500	[km/h]
Höchstgeschwindigkeit Abbiegestellung	$V_{\text{höchst}}$	195	[km/h]	155	[km/h]
Unausgeglichene Seitenbeschleunigung	a_y	1,31	[m/s ²]	0,83	[m/s ²]
Seitenruck (1. / 2. Klotoide)	\ddot{a}_y	1,96 / 1,99	[m/s ³]	0,98 / 1,00	[m/s ³]

Tabelle 7: Fahrdynamische Werte Schnellfahrweiche (Ausführungsbeispiel)

9.2.2.2 Langsamfahrweiche

Die Trassierungselemente der Langsamfahrweiche sind in Abbildung 17 als Grundriss unmaßstäblich dargestellt und in Tabelle 8 aufgelistet.

Die fahrdynamischen Werte zu dieser Weiche sind in Tabelle 9 der zusammengestellt.

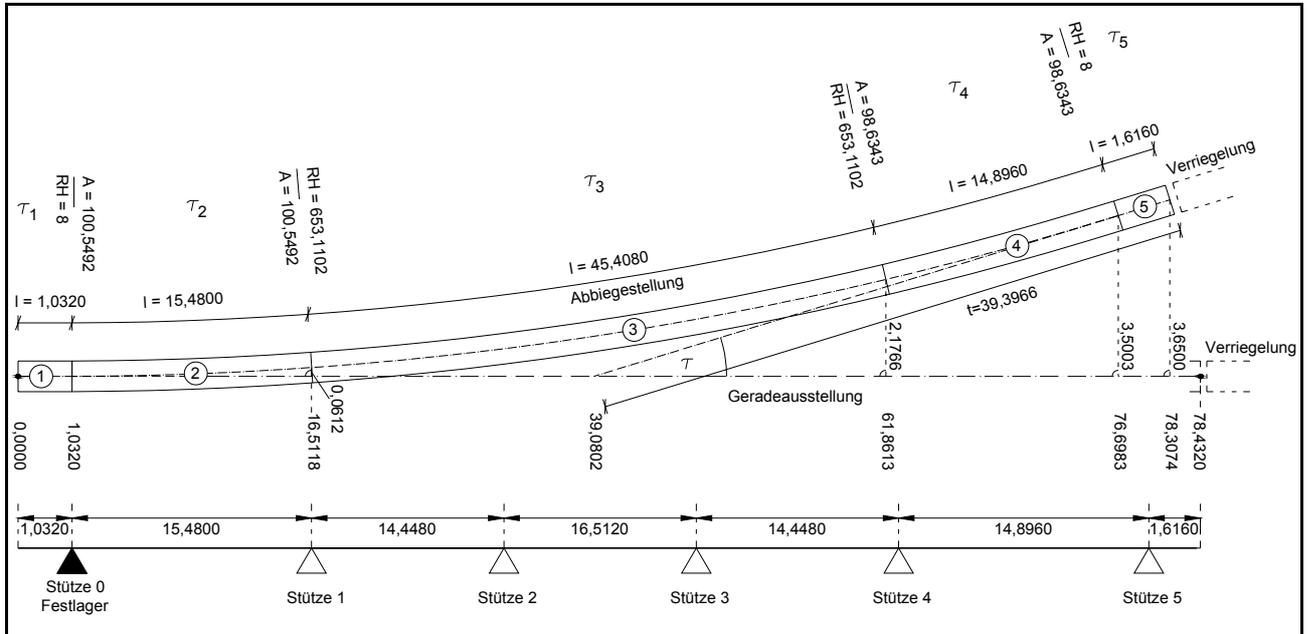


Abbildung 17: Trassierungselemente 2-Wege Langsamfahrweiche (Ausführungsbeispiel)

Nr.	Element	Länge [m]	Radius [m]	Abszisse [m]	Ordinate [m]	τ [gon]	τ [°]
	WA			0,0000	0,0000	0,00000	0,00000
1	Gerade	1,0320		1,0320	0,0000	0,00000	0,00000
2	Klotoide	15,4800		16,5118	0,0612	0,75446	0,67901
3	Kreisbogen	45,4080	-653,1102	61,8613	2,1766	4,42615	3,98354
4	Klotoide	14,8960		76,6983	3,5003	0,72599	0,65339
5	Gerade	1,6160		78,3074	3,6500	0,00000	0,00000
Σ		78,4320				5,90660	5,31594

Tabelle 8: Trassierungsparameter 2-Wege Langsamfahrweiche (Ausführungsbeispiel)

Größe		Mittelstrecken-/Langstrecken-/anwendung		Regionalanwendung (Empfehlung)	
Höchstgeschwindigkeit	$V_{\text{höchst}}$	500	[km/h]	500	[km/h]
Höchstgeschwindigkeit	$V_{\text{höchst}}$	97	[km/h]	77	[km/h]
Unausgeglichene	a_y	1,10	[m/s ²]	0,69	[m/s ²]
Seitenruck	\ddot{a}_y	1,91 / 1,98	[m/s ³]	0,95 / 0,99	[m/s ³]

Tabelle 9: Fahrdynamische Werte der 2-Wege Langsamfahrweiche (Ausführungsbeispiel)

Titel Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage
 Fahrweg, Teil IV, Trassierung

Die geometrischen Abmessungen der 3-Wege Langsamfahrweiche entsprechen denen der 2 – Wege Langsamfahrweiche (siehe Abbildung 17 und Tabelle 8) mit der Geradeausrichtung als Symmetrieachse.

In Abbildung 18 sind die Stellvarianten dargestellt.

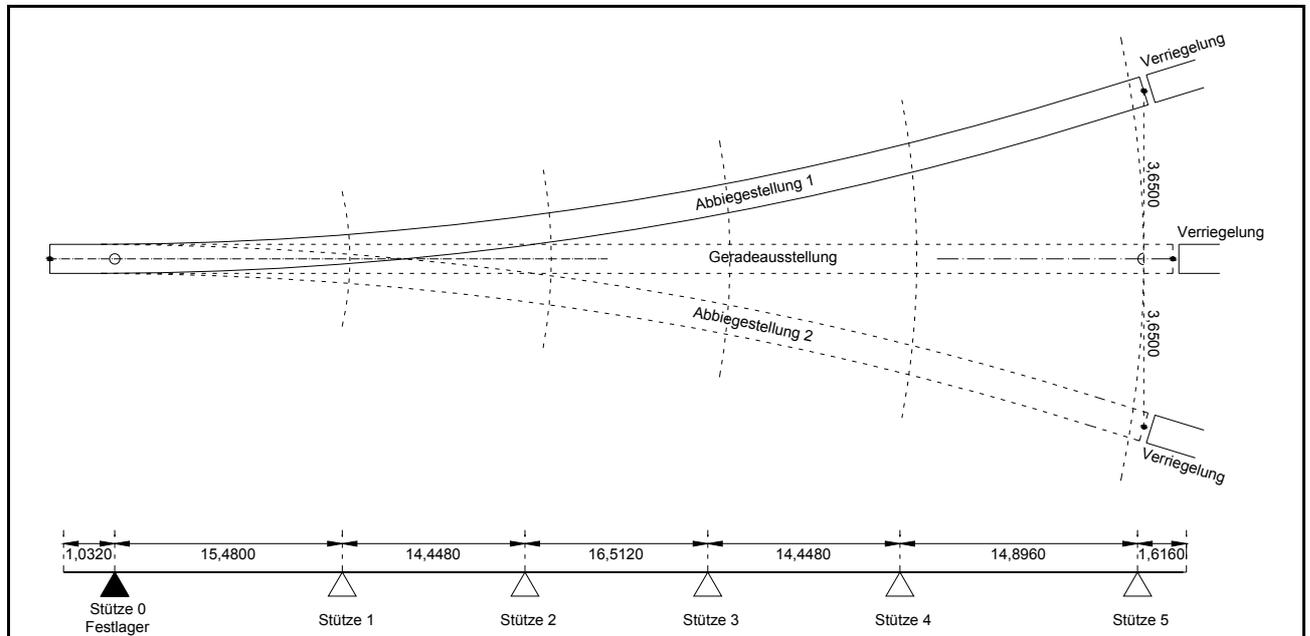


Abbildung 18: Stellvarianten der 3-Wege Langsamfahrweiche (Ausführungsbeispiel)

9.2.2.3 Überleitverbindung mit Schnellfahrweichen

Überleitverbindungen zwischen parallel geführten Fahrwegen werden durch die Kombinationen von mehreren Biegeweichen hergestellt.

Abbildung 19 zeigt unmaßstäblich die Folge der Trassierungselemente für eine Überleitverbindung mit Schnellfahrweichen, die Tabelle 10 die Trassierungselemente.

Die fahrdynamischen Werte zu dieser Überleitverbindung enthält Tabelle 11.

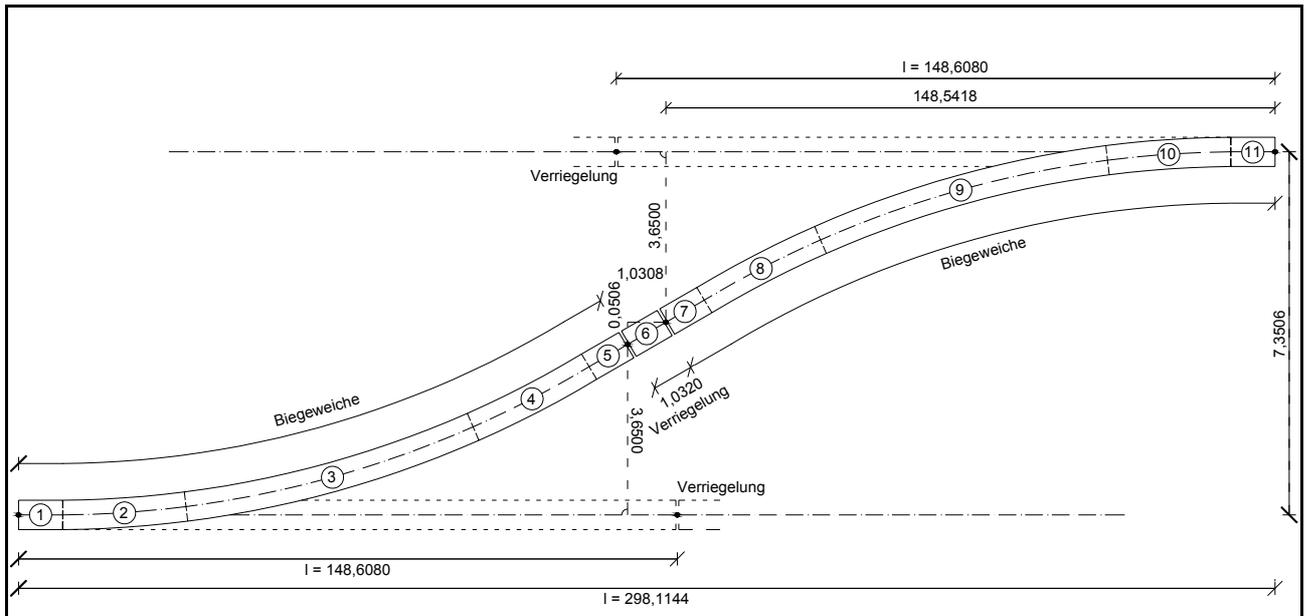


Abbildung 19: Trassierungselemente der Überleitverbindung mit Schnellfahrweichen (Ausführungsbeispiel)

Nr.	Element	Länge [m]	Radius [m]	Abszisse [m]	Ordinate [m]	τ [gon]	τ [°]
	WA			0,0000	0,0000	0,00000	0,00000
1	Gerade	0,5000		0,5000	0,0000	0,00000	0,00000
2	Klotoide	36,6520		37,1518	0,0992	0,51687	0,46518
3	Kreisbogen	74,3040	-2257,1800	111,4300	1,9252	2,09569	1,88612
4	Klotoide	36,0680		147,4591	3,5969	0,50863	0,45777
5	Gerade	1,0840		148,5418	3,6500	0,00000	0,00000
6	Gerade	0,5000		149,5726	3,7006	0,00000	0,00000
7	Gerade	1,0840		150,6553	3,7537	0,00000	0,00000
8	Klotoide	36,0680		186,6844	5,4254	-0,50863	-0,45777
9	Kreisbogen	74,3040	+2257,1800	260,9626	7,2514	-2,09569	-1,88612
10	Klotoide	36,6520		297,6144	7,3506	-0,51687	-0,46518
11	Gerade	0,5000		298,1144	7,3506	0,00000	0,00000
Σ		298,248				0,00000	0,00000

Tabelle 10: Trassierungsparameter der Überleitverbindung mit Schnellfahrweichen (Ausführungsbeispiel)

Größe		Mittelstrecken- / Langstrecken- anwendung		Regionalanwendung (Empfehlung)	
Höchstgeschwindigkeit Geradeausstellung	$v_{\text{höchst}}$	500	[km/h]	500	[km/h]
Höchstgeschwindigkeit Abbiegestellung	$v_{\text{höchst}}$	196	[km/h]	124	[km/h]
Unausgeglichene Seitenbeschleunigung	a_y	1,31	[m/s ²]	0,53	[m/s ²]
Seitenruck (1. / 2. Klotoide)	\ddot{a}_y	1,95 / 1,98	[m/s ³]	0,49 / 0,50	[m/s ³]

Tabelle 11: Fahrdynamische Werte der Überleitverbindung mit Schnellfahrweichen (Ausführungsbeispiel)

9.2.2.4 Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen

Die Abbildung 20 zeigt unmaßstäblich die Trassierungsfolge für eine Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen, die Tabelle 12 die Trassierungselemente.

Die fahrdynamischen Werte zu dieser Überleitverbindung enthält Tabelle 13.

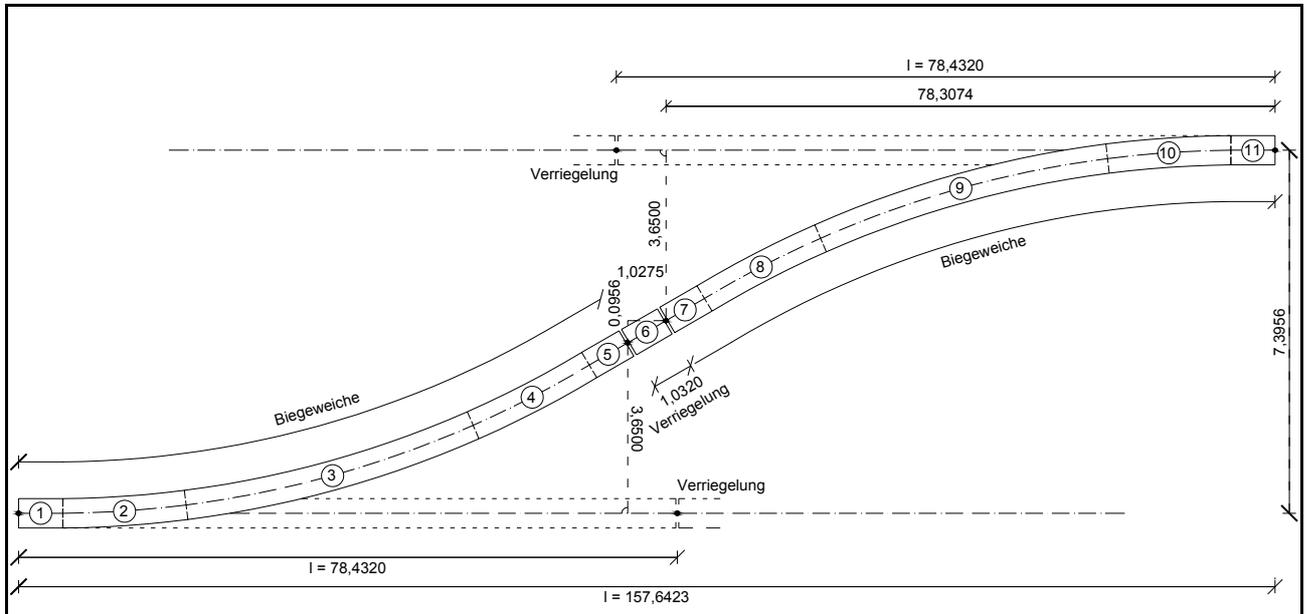


Abbildung 20: Trassierungselemente der Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen (Ausführungsbeispiel)

Nr.	Element	Länge [m]	Radius [m]	Abszisse [m]	Ordinate [m]	τ [gon]	τ [°]
	WA			0,0000	0,0000	0,00000	0,00000
1	Gerade	1,0320		1,0320	0,0000	0,00000	0,00000
2	Klotoide	15,4800		16,5118	0,0612	0,75446	0,67901
3	Kreisbogen	45,4080	-653,1102	61,8613	2,1766	4,42615	3,98354
4	Klotoide	14,8960		76,6983	3,5003	0,72599	0,65339
5	Gerade	1,6160		78,3074	3,6500	0,00000	0,00000
6	Gerade	1,0320		79,3349	3,7456	0,00000	0,00000
7	Gerade	1,6160		80,9440	3,8953	0,00000	0,00000
8	Klotoide	14,8960		95,7810	5,2190	-0,72599	-0,65339
9	Kreisbogen	45,4080	+653,1102	141,1305	7,3345	-4,42615	3,98354
10	Klotoide	15,4800		156,6103	7,3956	-0,75446	-0,67901
11	Gerade	1,0320		157,6423	7,3956	0,00000	0,00000
Σ		157,8960				0,00000	0,00000

Tabelle 12: Trassierungsparameter der Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen (Ausführungsbeispiel)

Größe		Mittelstrecken- / Langstrecken- anwendung		Regionalanwendung (Empfehlung)	
Höchstgeschwindigkeit Geradeausstellung	$v_{\text{höchst}}$	500	[km/h]	500	[km/h]
Höchstgeschwindigkeit Abbiegestellung	$v_{\text{höchst}}$	97	[km/h]	61	[km/h]
Unausgeglichene Seitenbeschleunigung	a_y	1,10	[m/s ²]	0,44	[m/s ²]
Seitenruck (1. / 2. Klotoide)	\dot{a}_y	1,91 / 1,98	[m/s ³]	0,47 / 0,49	[m/s ³]

Tabelle 13: Fahrdynamische Werte der Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen (Ausführungsbeispiel)

9.2.2.5 X-Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen bei Spurmittenabstand 5,10 m

Die Anordnung von Langsamfahrweichen zu einer X-Überleitverbindung bei einem Spurmittenabstand von 5,10 m kann als platz sparende Variante trassiert werden (Abbildung 21, Tabelle 14, Tabelle 15).

Die offenen Enden der geraden Fahrwege müssen bei der Überleitung nach außen geschwenkt werden, um die erforderlichen Lichträume freizuhalten.

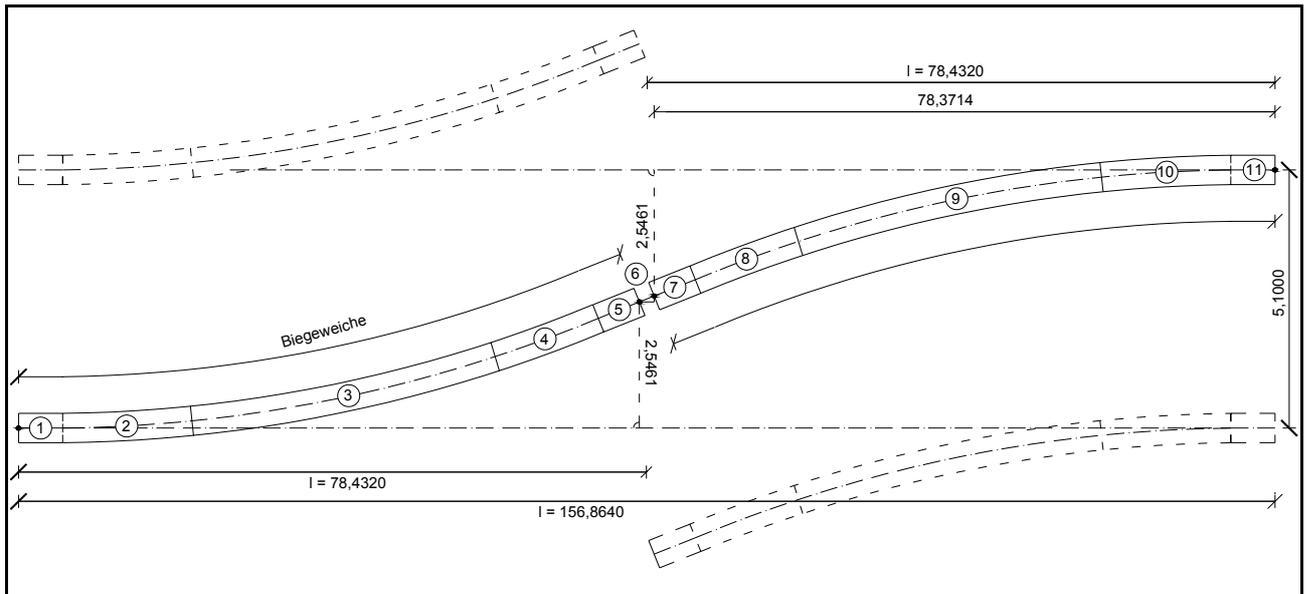


Abbildung 21: X-Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen (Spurmittenabstand 5,10 m) (Ausführungsbeispiel)

Nr.	Element	Länge [m]	Radius [m]	Abszisse [m]	Ordinate [m]	τ [gon]	τ [°]
	WA			0,0000	0,0000	0,00000	0,00000
1	Gerade	1,0320		1,0320	0,0000	0,00000	0,00000
2	Klotoide	15,4800		16,5119	0,0426	0,52604	0,47344
3	Kreisbogen	45,4080	-936,7000	61,8915	1,5181	3,08612	2,77751
4	Klotoide	14,8960		76,7588	2,4416	0,50619	0,45557
5	Gerade	1,6160		78,3714	2,5461	0,00000	0,00000
6	geom. Spalt	0,1216		78,4926	2,5539	0,00000	0,00000
7	Gerade	1,6160		80,1053	2,6584	0,00000	0,00000
8	Klotoide	14,8960		94,9726	3,5820	-0,50619	-0,45557
9	Kreisbogen	45,4080	+936,7000	140,3521	5,0574	-3,08612	-2,77751
10	Klotoide	15,4800		155,8320	5,1000	-0,52604	-0,47344
11	Gerade	1,0320		156,8640	5,1000	0,00000	0,00000
Σ		157,8960				0,00000	0,00000

Tabelle 14: Trassierungsparameter der X-Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen (Spurmittenabstand 5,10 m) (Ausführungsbeispiel)

Größe		Mittelstrecken- / Langstrecken- anwendung		Regionalanwendung (Empfehlung)	
Höchstgeschwindigkeit Geradeausstellung	$v_{\text{höchst}}$	500	[km/h]	500	[km/h]
Höchstgeschwindigkeit Abbiegestellung	$v_{\text{höchst}}$	109	[km/h]	69	[km/h]
Unausgeglichene Seitenbeschleunigung	a_y	1,98	[m/s ²]	0,39	[m/s ²]
Seitenruck (1. / 2. Klotoide)	\dot{a}_y	1,91 / 1,98	[m/s ³]	0,47 / 0,50	[m/s ³]

Tabelle 15: Fahrdynamische Werte der X-Überleitverbindung mit Langsamfahrweichen (Spurmittenabstand 5,10 m) (Ausführungsbeispiel)

9.3 Schiebebühne und Schwenkbühne

Im Grundriss wird die Schiebebühne (Abbildung 22) bzw. die Schwenkbühne (Abbildung 23) als Gerade ($R_H = \infty$) trassiert.

Im Gradientenverlauf ist eine Ausbildung als Kuppe oder Wanne möglich.

Die Schiebebühne und die Schwenkbühne werden mit stehendem Fahrzeug bewegt. Längsneigungen sind gemäß Kapitel 6.1.1 anzuwenden.

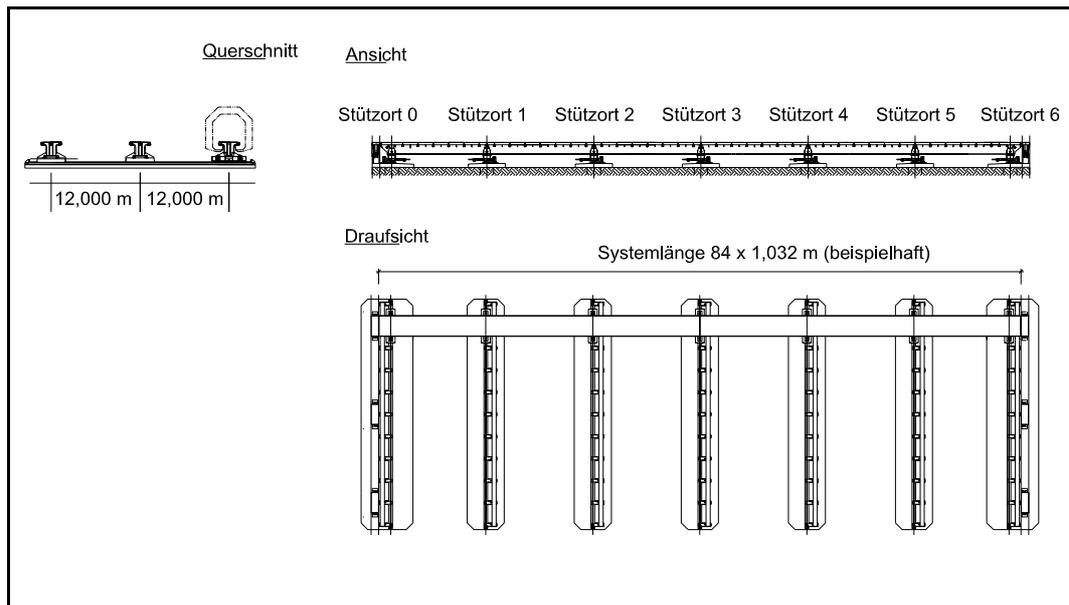


Abbildung 22: Schiebebühne (Beispiel)

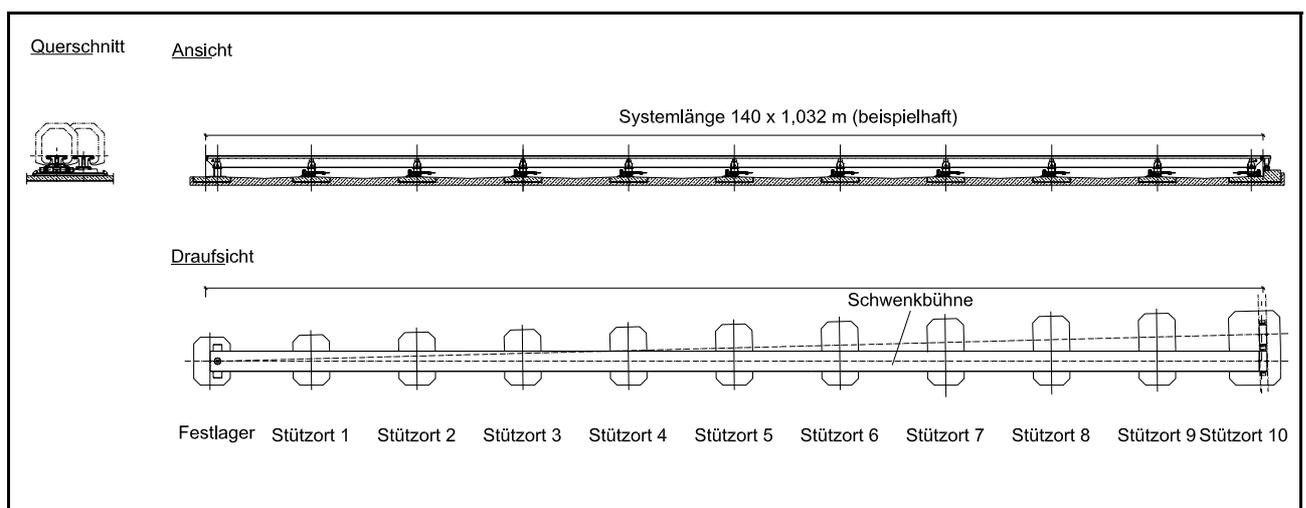


Abbildung 23: Schwenkbühne (Beispiel)

10 Betriebsanlagen

Betriebsanlagen wie Stationen oder Instandhaltungsanlagen werden projektspezifisch ausgelegt.

Sie sind daher nicht Bestandteil dieser Ausführungsgrundlage zum Trassieren von Magnetschnellbahnfahrwegen.

Die in diesem Dokument genannten trassierungstechnischen Grenzwerte gelten jedoch auch für die Betriebsanlagen.

Innerhalb von Betriebsanlagen können unter den vorgenannten Bedingungen Klotoiden als Übergangsbögen als Trassierungselemente im Grundriss verwendet werden.

Wird ein Bahnsteig zwischen den Fahrwegen eines quergeneigten Doppelspurfahrweges geplant, ist durch parallelen Höhenversatz der Gradienten der Höhenunterschied zwischen den Einstiegsniveaus auszugleichen, damit der Bahnsteig in Querrichtung horizontal verlaufen kann.

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Fahrweg Teil V Vermessung

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Fahrweg zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007, Weißdruck, Fachausschuss Fahrweg.

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler	2
2	Änderungsübersicht	3
3	Inhaltsverzeichnis.....	4
4	Allgemeines.....	6
4.1	Zweck und Anwendungsbereich	6
4.2	Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen.....	6
4.3	Abkürzungen und Definitionen	6
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien.....	6
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen	7
5	Koordinatensysteme	8
5.1	Landeskoordinatensysteme	8
5.2	Magnetschnellbahn-Koordinatensystem (MKS).....	8
5.3	Trägerfertigungs-Koordinatensystem (TFK).....	9
5.4	Raumkurven-Koordinatensystem (RKK).....	9
6	Anforderungen an das Magnetschnellbahn-Koordinatensystem (MKS)	10
6.1	Eigenschaften	10
6.2	Festlegung der Lagekomponenten	11
6.2.1	Abbildung und Transformation	13
6.3	Höhenkomponente.....	14
6.4	Realisierung	15
7	Übergeordnetes Festpunktnetz des MKS	16
7.1	Lagebestimmung.....	16
7.2	Höhenbestimmung	17
7.3	Vermarkung.....	18
7.4	Transformation des Planungssystem in das MKS	19
8	Trassenbegleitendes Festpunktnetz im MKS.....	20
8.1	Lagebestimmung.....	21
8.2	Höhenbestimmung	22
9	Feinpositionierung der Fahrwegträger	23
10	Dokumentation	25
Anhang V-A	Gauß-Krüger-Koordinatensystem	26
Anhang V-B	Universale, transversale Mecatorabbildung	27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Parameterdarstellung des Magnetschnellbahnkoordinatensystem (MKS) 11
Abbildung 2: Seitliche Begrenzung des MKS..... 12
Abbildung 3: Beispiele für die Ausführung von Festpunktvermarkungen..... 18
Abbildung 4: Empfohlenes trassenbegleitendes Festpunktfeld 20
Abbildung 5: Anforderungen an die Feinpositionierung von Fahrwegträgern 23
Abbildung 6: Maßstabsverzerrung beim Gauß-Krüger-System 26
Abbildung 7: Maßstabsverzerrung beim UTM-System 27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abbildungsverzerrungen 12

4 Allgemeines

4.1 Zweck und Anwendungsbereich

Das vorliegende Dokument spezifiziert die Anforderungen an die Vermessung von Magnetschnellbahnwegen. Die daraus zu erstellenden Festpunktnetze (Lage und Höhe) bilden die Grundlagen für die Planung, den Bau und für die Vermessungstechnische Überwachung im Zuge der Instandhaltung von Magnetschnellbahnfahrwegen.

Diese Ausführungsgrundlage gilt projektunabhängig und dient als Grundlage für weiterführende Vermessungs- und Berechnungskonzepte.

Ergänzend sind zur Verbesserung der Anschaulichkeit in diesem Dokument Erläuterungen und Begründungen zu den dargestellten Vermessungs- und Berechnungsverfahren aufgeführt.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

4.2 Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentenbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordneten Dokumente Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/ mit den Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR&IH/
 - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokumentes sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in Kursiv-Schrift

dargestellt (siehe /MSB AG-FW ÜBG/).

5 Koordinatensysteme

Als technische Planungsgrundlage für Magnetschnellbahnprojekte können zunächst vorliegende amtlichen Kartenwerke auf der Basis der Landeskoordinatensysteme genutzt werden.

Für die Feintrassierung der Raumkurven der jeweiligen Fahrwege inkl. Stützen- und Trägerteilung (/MSB AG-FW TRAS/) und für die Realisierung des Bauwerkes ist ein einheitliches, spannungsarmes und bauwerksnahes, geodätisches Bezugssystem zu schaffen.

Trotz fortschreitender Verbesserungen der Landesnetze hinsichtlich Homogenität und Genauigkeit, die im Zuge der Satellitenmesstechnik erreicht wurden, weisen vorhandene Festpunktfelder – je nach Lokalität und Historie bedingt – nach wie vor verschiedene Mängel auf, wie zum Beispiel

- *unterschiedliche Abbildungseigenschaften,*
- *Aktualitätsunterschiede,*
- *mangelnde Qualität (Genauigkeit), Stabilität, Dichte und Konfiguration.*

5.1 Landeskoordinatensysteme

Im Vermessungswesen werden die Koordinatensysteme für die Lage und Höhe aufgrund der unterschiedlichen Rechenflächen (Rotationsellipsoid bzw. Quasigeoid) getrennt.

Die Höhe bezieht sich auf das Quasigeoid, einer Niveaufläche in der Höhe des mittleren Meeresspiegels, auf dem alle Lotrichtungen senkrecht stehen.

Für das Lagesystem verwendet man überwiegend konforme (d.h. differentiell winkeltreue) Abbildungen der durch ein Rotationsellipsoid angenäherten Erdoberfläche der jeweiligen Berechnungs- oder Kartenebene.

Die in der Landesvermessung verwendeten Koordinatensysteme können i.d.R. aufgrund von Abbildungsverzerrungen und Inhomogenitäten infolge unterschiedlicher Beobachtungsverfahren, Aktualitätsunterschieden und Netzspannungen (z.B. Deformationen) für die weiterführenden Vermessungen nicht verwendet werden. Diese Einflüsse überlagern sich und können zu einem für die Magnetschnellbahn unverträglichen Genauigkeitsverlust bei der Fahrwegvermessung führen.

Informationen zur Abbildung und Maßstabsverzerrung sind für das Gauß-Krüger-Abbildungssystem im Anhang A bzw. das ETRS89/UTM-Abbildungssystem im Anhang B dargestellt.

5.2 Magnetschnellbahn-Koordinatensystem (MKS)

Für die Feintrassierung und Realisierung des Bauwerkes ist in einem Magnetschnellbahn-Koordinatensystem (MKS) ein Festpunktnetz zu planen, zu vermarken, geodätisch zu bestimmen, zu berechnen und zu unterhalten, das die speziellen Anforderungen erfüllt. (Kapitel 6).

5.3 Trägerfertigungs-Koordinatensystem (TFK)

Die Planung, die Fertigung und die Abnahme von Fahrwegträgern erfolgt im für jeden Träger festgelegten Trägerfertigungs-Koordinatensystem (TFK) /MSB AG-FW GEO/.

Die Koordinatenachsen werden mit Y, X und Z bezeichnet /MSB AG-FW GEO/ und sind in dieser Ausführungsgrundlage nicht beschrieben.

5.4 Raumkurven-Koordinatensystem (RKK)

Die Funktionsebenen Statorebene (SE), Seitenführschiene (SFE) und Gleitebene (GE) /MSB AG-FW GEO/, der Lichtraum und die Begrenzungslinien /MSB AG-FW TRAS/ sowie die Einbauträume der Fahrwegausrüstung /MSB AG-FW ÜBG/ beziehen sich auf das der Raumkurve mit der örtlichen Querneigung folgende Koordinatensystem.

Die Koordinatenachsen werden mit y,x und z bezeichnet /MSB AG-FW GEO/ und in dieser Ausführungsgrundlage nicht beschrieben.

6 Anforderungen an das Magnetschnellbahn-Koordinatensystem (MKS)

Das Magnetschnellbahn-Koordinatensystem (MKS) ist als technisches Sondernetz zu definieren und geodätisch zu realisieren.

Das MKS ist in zwei Netzstufen anzulegen:

- (1) Übergeordneter Festpunktnetz (1. Ordnung) mit Punktabständen von ca. 3 km als Grundlage der Feintrassierung.
- (2) Trassenbegleitendes Festpunktnetz (2. Ordnung) mit Punktabständen von ca. 200 m, als Grundlage der baubegleitenden Vermessungsarbeiten.

Im MKS werden die Zwangspunkte der Trassierung als Grundlage für die Feintrassierung erfasst.

Dies erfolgt durch geodätisches Aufmaß bzw. durch Transformation (siehe Abschnitt 7.4), wenn diese Zwangspunkte nicht im MKS vorliegen. Weiterhin dient es zur Ausführung aller nachfolgenden vermessungstechnischen Arbeiten bei der Bauausführung.

6.1 Eigenschaften

Das MKS projiziert die Erdoberfläche zweckmäßig konform (d.h. differentiell winkeltreu) in die Planungs- und Rechenebene.

Auftretende (unvermeidbare) Längenverzerrungen werden auf eine Größenordnung beschränkt, die für ein Projekt mit großer Sensibilität für Längentreue unkritisch sind.

An das MKS werden Anforderungen hinsichtlich

- der Qualität der Vermarkung (frostfreie Gründung, gleichmäßige Zentriergenauigkeit),
 - der Homogenität (gleiches Entstehungsdatum, gleichwertige Beobachtungsverfahren),
 - der Nachbarschaftstreue (hoher Qualitätsanspruch an geometrische Nachbarschaftsbeziehungen),
 - einer angemessenen Punktdichte (zweckmäßig für Planung, Absteckung, Abnahme und Abrechnung) sowie
 - einer geeigneten Konfiguration (zweckmäßige Absteckungsgeometrie)
- gestellt.

Die Realisierung des MKS erfolgt getrennt in die Grundriss- und Aufrisskomponente.

Dies erfolgt aufgrund der unterschiedlichen Art der Bezugsflächen für die Lage (Rotationsellipsoid) und die Höhe (Niveaufläche) sowie der teilweise auch heute noch unterschiedlicher Messmethoden für die Bestimmung der Lage und Höhe.

6.2 Festlegung der Lagekomponenten

Als Lagekomponente des MKS wird ein ebenes Rechts-/Hoch-System als schiefachsige, konforme Abbildung des Ellipsoids gewählt.

Bei dieser Abbildung wird eine geodätische Linie, welche durch den Punkt P_0 und das Azimut α definiert ist, längentreu abgebildet.

Zur Minimierung der Längenverzerrungen, wachsend mit seitlichem Abstand a , wird die geodätische Linie als ausmittelnde Gerade rechnerisch über den Trassenverlauf gelegt.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft die fiktive Lage einer Magnetschnellbahntrasse und eine vorteilhaft dazu angelegte geodätische Linie sowie die Achsbezeichnungen.

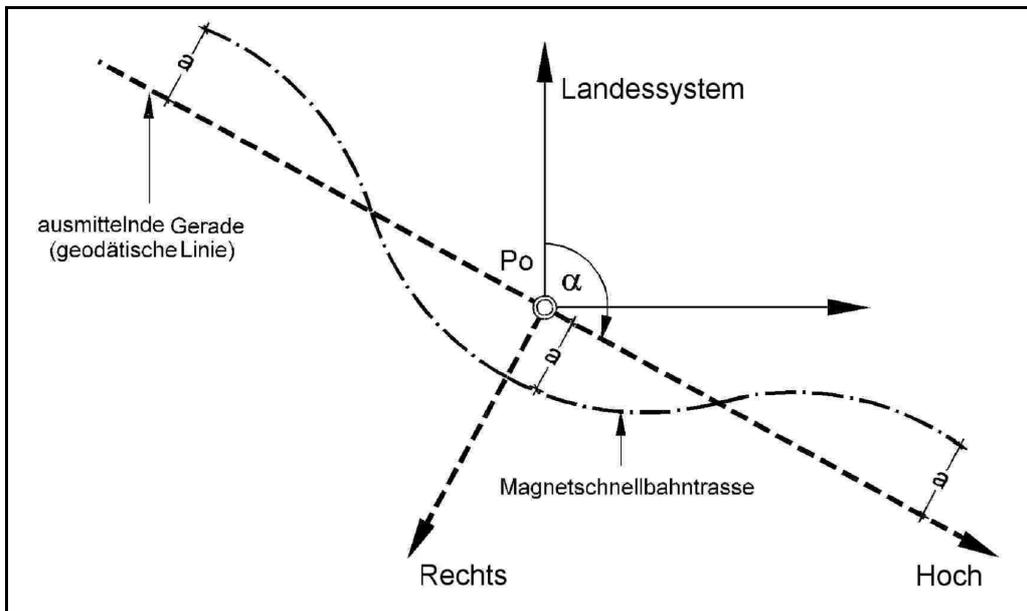


Abbildung 1: Parameterdarstellung des Magnetschnellbahnkoordinatensystem (MKS)

Die verbleibenden Längenverzerrungen (Maßstabdifferenzen) können abgeschätzt werden mit:

$$Lv \approx \frac{a^2}{2 \cdot R_m^2} \quad (1)$$

mit R_m = mittlerer Erdradius (6378 km)

Die Zunahme dieser Längenverzerrungen mit wachsender Entfernung von der ausmittelnden Geraden zeigt Tabelle 1 an berechneten Beispielen.

Seitlicher Abstand <i>a</i> [km]	Längenverzerrung <i>Lv</i> pro 100 m [mm/100 m]
10	+0,1
25	+0,8
50	+3,1
75	+6,9

Tabelle 1: Abbildungsverzerrungen

Der maximale seitliche Abstand der Trasse zur gewählten geodätischen Linie durch P_0 sollte etwa 25 km betragen.

Durch diese Beschränkung liegen die verbleibenden Abweichungen (Abbildungsverzerrungen) in einer Größenordnung von 1 mm pro 100 m und somit innerhalb von tolerierbaren Größen. Sie können somit bei allen nachfolgenden Berechnungen / Vermessungen vernachlässigt werden.

Notwendige Berechnungen können dann nach den einfachen Formeln der ebenen Trigonometrie erfolgen. Insbesondere kann auf das Anbringen von Abbildungs-Reduktionen verzichtet werden.

Ist die Empfehlung des maximalen seitlichen Abstandes von $a \leq 25$ km nicht einzuhalten, werden mehrere MKS-Abschnitte mit ausreichend großen Überlappungsbereichen (mindestens jeweils 3 Punkte des übergeordneten Festpunktrahmens, entsprechend ca. 6 km Länge) festgelegt. Eine solche Anordnung zeigt Abbildung 2.

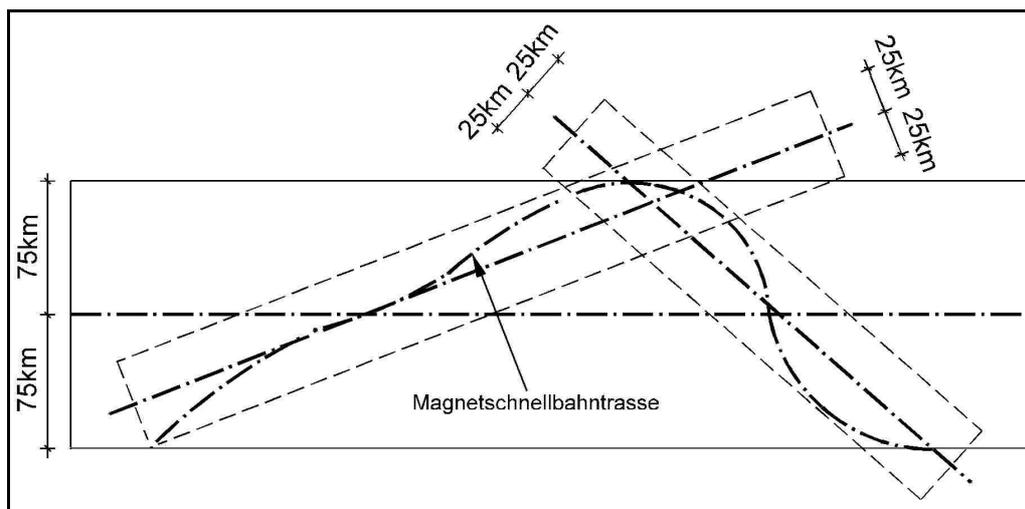


Abbildung 2: Seitliche Begrenzung des MKS

Unabhängig von den Eigenschaften der vg. Abbildung müssen Streckenmessungen (neben den üblichen instrumentellen und atmosphärischen Korrekturen) bei der Bestimmung der Festpunktnetze und der Bauausführung geometrisch reduziert werden (Reduktion auf die Horizontale und den Bauhorizont sowie Berücksichtigung der Erdkrümmung).

Die Festlegung des MKS (Lage) sollte in folgenden Teilschritten erfolgen:

- (1) Kartenmäßige Festlegung einer ausmittelnden Geraden derart, dass die seitlichen Abstände zwischen Trasse und ausgleichender Geraden nicht mehr als 25 km betragen (ggf. Unterteilung in mehrere Abschnitte).
- (2) Graphische Festlegung eines auf der ausmittelnden Geraden gelegenen Bezugspunktes P_O (φ_o, λ_o) im mittleren Bereich der Trasse (ggf. mit gerundeten ellipsoidischen Koordinaten).
- (3) Graphische oder rechnerische Festlegung des ellipsoidischen Azimuts α der ausmittelnden Geraden in diesem Bezugspunkt P_O .
- (4) Festlegung des MKS derart, dass
 - der Nullpunkt identisch ist mit dem vorgenannten Bezugspunkt P_O und
 - die positive Hochachse der geographischen Nordrichtung in P_O entspricht.
- (5) Abbildung dieses nordorientierten Systems in die Karten- bzw. Rechenebene nach den Gesetzen einer schiefachsigen konformen Abbildung. Hier wird die durch den Bezugspunkt P_O (φ_o, λ_o) unter dem geografischen Richtungswinkel α verlaufende ausmittelnde Gerade (entspricht auf dem Ellipsoid einer geodätischen Linie) im ebenen System längentreu abgebildet.
- (6) Drehung in das (in Trassenhaupttrichtung orientierte) (Rechts, Hoch)-Koordinatensystem mit anschließender additiver Nullpunktverschiebung mit den Werten $Hochwert_o$ und $Rechtswert_o$ (zur Vermeidung negativer Koordinaten).
 - $Hochwert = Rechtswert_{LK} \cdot \sin(\alpha) + Hochwert_{LK} \cdot \cos(\alpha) + Hochwert_o$
 - $Rechtswert = Rechtswert_{LK} \cdot \cos(\alpha) - Hochwert_{LK} \cdot \sin(\alpha) + Rechtswert_o$ (2)

6.2.1 Abbildung und Transformation

Auf der Grundlage der genannten Festlegungen (φ_o, λ_o und α) findet die rechnerische Abbildung der in der Regel aus GPS-Messungen abgeleiteten ellipsoidischen Koordinaten für die Punkte des übergeordneten Festpunktrahmens (vergl. Kapitel 7.1) statt.

Dieser Abbildung werden zweckmäßig dieselben ellipsoidischen Kenngrößen (große Halbachse und Abplattung) des Bezugsellipsoides (z.Z. WGS84) zugrunde gelegt, auf denen die ellipsoidischen Koordinaten basieren.

Auf die Darstellung der umfangreichen und unübersichtlichen Funktionen zur schiefachsigen konformen Abbildung wird hier verzichtet. Die mathematischen Grundlagen sind der geodätischen Fachliteratur zu entnehmen.

Bei den vorgenannten Transformationsgleichungen handelt es sich um Reihen, deren Entwicklung sich auf eine entsprechende Rechengenauigkeit beschränkt. Dadurch ergibt sich neben den vg. Längenverzerrungen seitlich der längentreu abzubildenden Linie (und der daraus folgenden maximalen Streifenbreite von 25 km nach jeder Seite; siehe Abschnitt 6.2) auch eine Begrenzung des Anwendungsgebietes (Längenausdehnung).

Diese Begrenzung ist wesentlich abhängig von folgenden Parametern:

- (1) Geografische Breite φ_0 des Bezugspunktes P_0 ,
- (2) Orientierung α der Hauptachse (Hoch),
- (3) Längenausdehnung des MKS,
- (4) Streifenbreite des MKS und
- (5) Abbruchkriterium im angewendeten Berechnungsprogramm.

Um Berechnungsfehler vernachlässigbar klein zu halten, werden als zulässige Berechnungsgenauigkeiten festgelegt:

- (1) Maximal 1 mm zwischen benachbarten Punkten im Abstand von 1 km,
- (2) Maximal 20 mm für den entferntesten Punkt bezogen auf den Koordinatenursprung.

Um spätere Höhenreduktionen gering zu halten, wird das MKS in einem mittleren Bauhorizont festgelegt. Rechentechnisch erfolgt die Berücksichtigung des Bauhorizontes zweckmäßig durch Anpassung der Parameter des Bezugsellipsoides in den vg. Berechnungen. In Abhängigkeit von der Topographie im Streckenverlauf kann so u.U. auf das Anbringen von Höhenreduktionen verzichtet werden, was insbesondere bei der Feintrassierung und den baubegleitenden Absteckungsarbeiten von Vorteil ist.

6.3 Höhenkomponente

Als Höhensystem wird ein Festpunktfeld geschaffen, das die für die Magnetschnellbahntrasse notwendige Nachbarschaftsgenauigkeit gewährleistet.

Das Höhennetz wird über Anschlussmessungen an die Höhenbezugsfläche der Landesvermessung angebunden. Dies dient dazu, die Abstimmung mit anderen Fachplanungen sowie die Übernahme von Daten der vorhandenen Infrastruktur zu vereinfachen.

Die Ausgleichung des Höhennetzes ist durch eine zwangsfreie Lagerung durchzuführen.

Bei unterschiedlichen Landeshöhennetzen innerhalb des Trassenverlaufes können Teilabschnitte gebildet werden. Werden einzelne Punkte oder Punktgruppen an mehrere Höhensysteme (z.B. Systeme der Deutsche Bahn AG, Wasser- und Schifffahrtsverwaltung usw.) angeschlossen, sind zur eindeutigen Identifikation unabhängige Punktnummern zu vergeben.

6.4 Realisierung

Das MKS wird durch die Gesamtheit aller Lage- und Höhenfestpunkte realisiert. Der Netzaufbau wird (jeweils für Lage und Höhe) in zwei Stufen durchgeführt, diese gliedern sich in:

- (1) Schaffung eines übergeordneten Festpunktnetzes mit Punktabständen von ca. 3000 m (vgl. Kapitel 7) zur Durchführung der für die Feintrassierung erforderlichen Arbeiten und zur späteren abschnittswisen Integration des trassenbegleitenden Festpunktfeldes. Die ebenen Koordinaten (Rechtswert/Hochwert) bzw. die Höhe werden nach den Vorgaben gemäß Kapitel 6.2 und 6.3 ermittelt.
- (2) Schaffung des trassenbegleitenden Festpunktnetzes mit Punktabständen von ca. 200 m (vgl. Abschnitt 8) für die bauausführenden Vermessungsarbeiten. Die Koordinierung dieser Punkte (Lage und Höhe) erfolgt unter Zwangsanschluss an den übergeordneten Festpunktrahmen.

Für den Netzaufbau in zwei Stufen bestehen u.a. folgende Gründe:

- (1) Die notwendige Netzhomogenität über die gesamte Planungs- und Bauphase;
- (2) Die fachlich ausgewogene und unter vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand vorzunehmende Anbindung an das Landessystem (siehe Abschnitt 7.4);
- (3) Unterschiedliche zur Anwendung kommende Messverfahren.

7 Übergeordnetes Festpunktnetz des MKS

Nach dem geodätischen Grundprinzip "Vom Großen ins Kleine" ist ein grobmaschiges Netz mit Punktabständen von ca. 3000 m entlang der Trasse anzulegen. Dieses Punktfeld dient zunächst der Feinplanung bzw. Feintrassierung.

Darüber hinaus bildet es vor allem den Rahmen, in den das trassenbegleitende Festpunktnetz für die baubegleitenden Vermessungsarbeiten (siehe Abschnitt 8) eingebunden wird.

Die Punkte des übergeordneten Festpunktnetz sind so zu erkunden, dass

- (1) eine dauerhafte Punktstabilität gewährleistet ist,
- (2) GPS-Messungen durchgeführt werden können (geringe Abschattungen),
- (3) Zwangspunkte für die Feintrassierung erfasst werden können,
- (4) der spätere Anschluss des trassenbegleitenden Festpunktnetzes (mit höherer Punktdichte) ermöglicht wird (Zugänglichkeit, Sichtverbindungen, Standsicherheit) und
- (5) nach Möglichkeit Sichtverbindungen zu den benachbarten Punkten des übergeordneten Festpunktnetzes bestehen.

Die Erkundung ist in einem Netzentwurf inkl. Erläuterungsbericht unter Berücksichtigung der zum Einsatz kommenden Messverfahren zu dokumentieren.

Mittels einer simulierten Ausgleichsberechnung ist der Netzentwurf bzgl. Qualität und Wirtschaftlichkeit zu prüfen und ggf. zu optimieren.

Die ebenen Koordinaten (Rechtswert/Hochwert) bzw. die Höhe werden nach den Vorgaben gemäß Kapitel 6.2 und 6.3 ermittelt.

7.1 Lagebestimmung

Die Lagebestimmung der Punkte des übergeordneten Festpunktnetzes sollte mit satellitengestützten Messverfahren erfolgen.

Zur unabhängigen Maßstabskontrolle sind ausgewählte Seitenlängen des Festpunktnetzes mittels konventioneller Messverfahren (elektrooptische Distanzmessung) zu bestimmen.

Die freie Lagerung im Landessystem erfolgt über identische Punkte (z.B. EUREF-, DREF-Punkte oder TPs höherer Ordnung). Eine Maßstabsreduktion ist bei Bedarf anzuwenden.

Die resultierenden Lagekoordinaten werden nach Kapitel 6.2 in das ebene, rechtwinklige MKS umgerechnet.

Alle Parameter sind gemeinsam mit den GPS-Messungen dreidimensional auszugleichen.

Die aufgeführten Lagegenauigkeiten sind einzuhalten:

- Punktbezogene Genauigkeit nach HELMERT < 5 mm
- Relative Genauigkeit der Basislinien < (5 mm + 1 ppm)

7.2 Höhenbestimmung

Die Höhenbestimmung der Festpunkte des übergeordneten Festpunktrahmens erfolgt mittels geometrischem Feinnivellement.

Der aufgeführte Widerspruch (D) des Hin- und Rücknivellements zwischen zwei benachbarten Festpunkten ist einzuhalten :

$$D[\text{mm}] = \pm 3 \cdot \sqrt{S[\text{km}]} \quad (3)$$

Zur Definition des Höhensystems des MKS sowie zum verfahrensmäßigen Ablauf der Ausgleichung siehe Abschnitt 6.3.

7.3 Vermarkung

Die einzelnen Festpunkte (Lage und Höhe) sind standsicher und dauerhaft zu vermarken.

Die Vermarkung (Beispiele siehe Abbildung 3) ist wegen einer möglichen Anfangssetzung frühzeitig vorzunehmen.

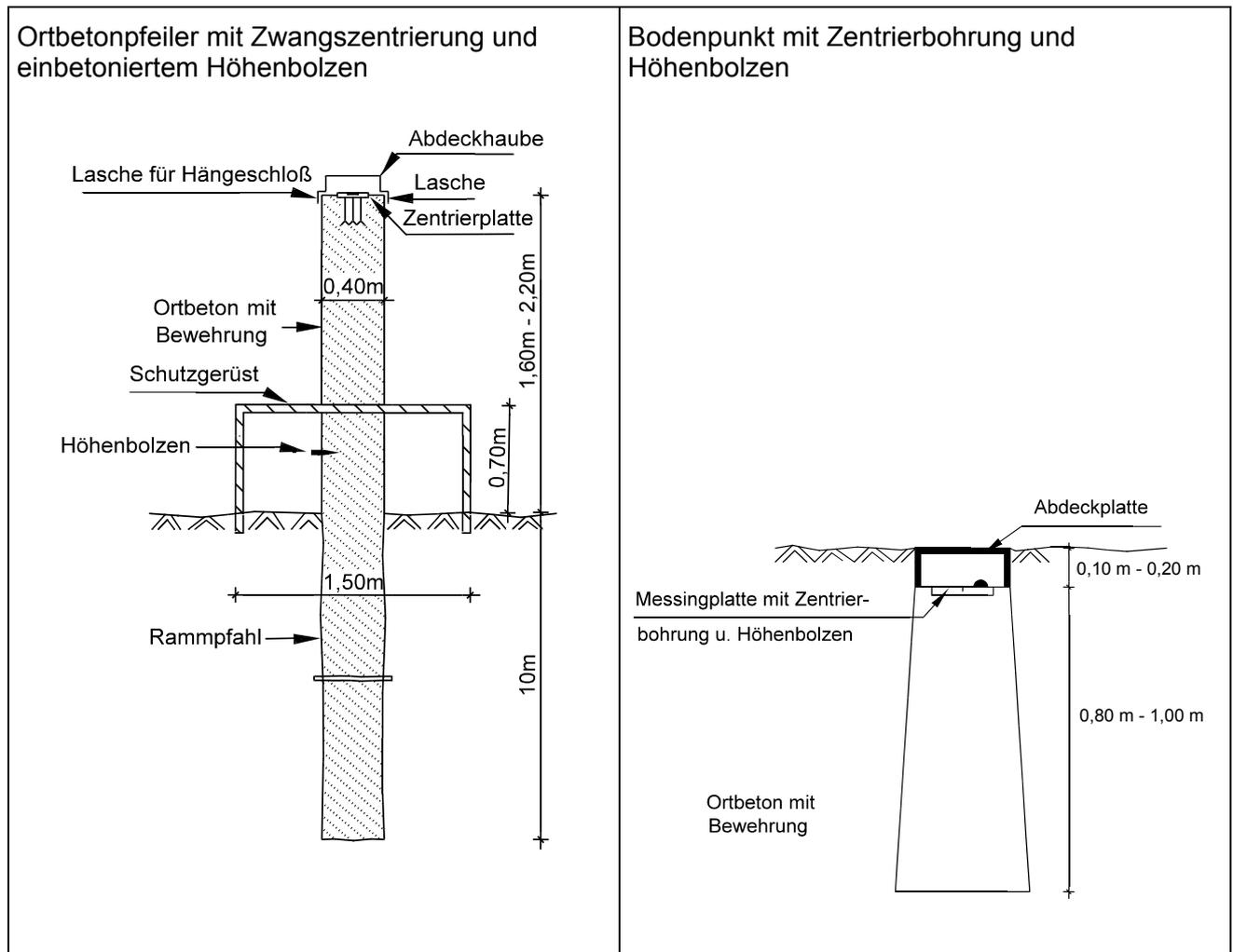


Abbildung 3: Beispiele für die Ausführung von Festpunktvermarkungen

7.4 Transformation des Planungssystem in das MKS

Die Planungsunterlagen aus dem Landessystem sind jeweils abschnittsweise über eine 4 Parameter-Transformation in das MKS zu überführen.

Dazu sind aus jeweils zwei benachbarten Festpunkten des übergeordneten Festpunktnetzes für die 4-Parameter-Lagetransformationen die Parameter

- (1) 2 x Translation
- (2) 1 x Rotation
- (3) 1 x Maßstabsfaktor

zu ermitteln.

Grafische Planungsinhalte sind über die ermittelten Transformationsparameter abschnittsweise zu transformieren.

8 Trassenbegleitendes Festpunktnetz im MKS

Als Grundlage aller baubegleitenden Vermessungsarbeiten (Absteckung, Feinpositionierung, Abnahme usw.) ist das in Kapitel 7 beschriebene übergeordnete Festpunktnetz zu verdichten.

Die Punktabstände des trassenbegleitendes Festpunktnetzes betragen ca. 200 m.

Der seitliche Abstand der Festpunkte zum geplanten Fahrweg beträgt i.d.R. 30 m bis 60 m (siehe Abbildung 4).

In Sonderfällen (z.B. Stationsbereiche, Kreuzungsbauwerke) ist ein kleineres Verdichtungsintervall bzw. ein kleinerer seitlicher Abstand zur Magnetschnellbahntrasse möglich.

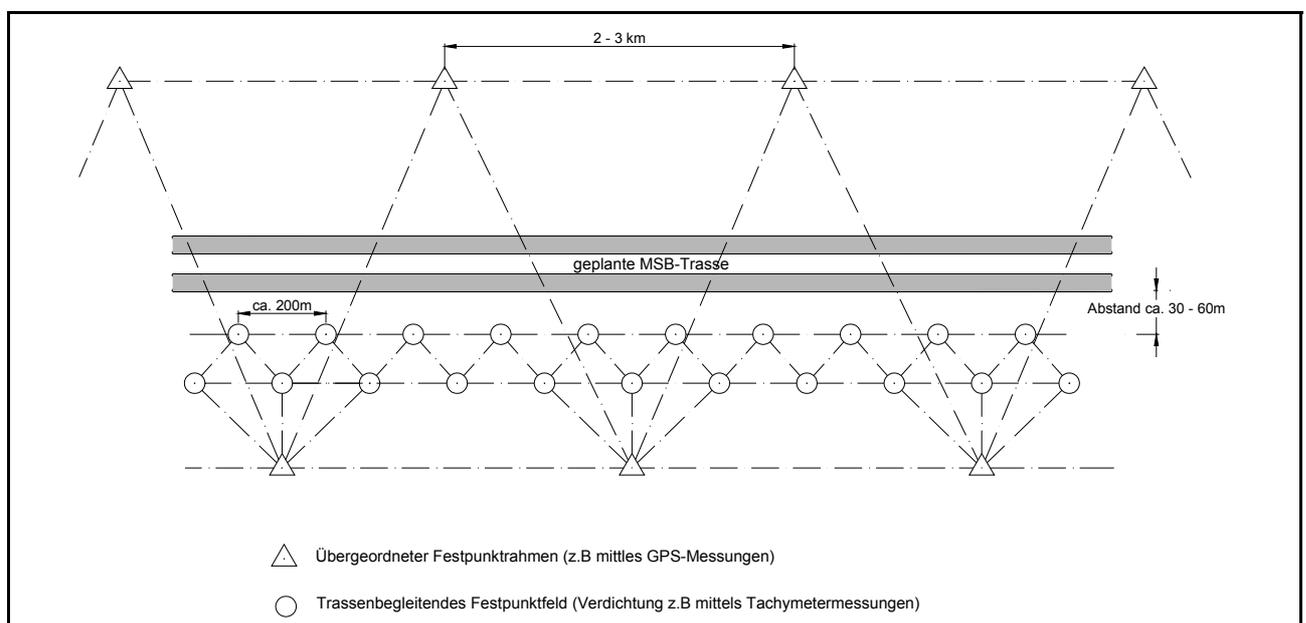


Abbildung 4: Empfohlenes trassenbegleitendes Festpunktfeld

Die Koordinierung dieser Punkte (Lage und Höhe) erfolgt unter Zwangsanschluss an das übergeordnete Festpunktnetz.

8.1 Lagebestimmung

Die Lagebestimmung des trassenbegleitenden Festpunktfeldes ist entsprechend dem jeweiligen Stand der Messtechnik mit hoher Genauigkeit durchzuführen.

Die aufgeführten Lagegenauigkeiten sind einzuhalten:

- Punktbezogene Genauigkeit nach HELMERT < 2 mm

Die Messgenauigkeiten für das trassenbegleitende Lagefestpunktnetz sind wie folgt festgelegt:

Standardabweichung des arithmetischen Mittels

- einer gemessenen Richtung $s_{a(Hz)} = 0,2 \text{ mgon}$
- einer gemessenen Strecke zum benachbarten Punkt $s_{a(Sh)} = 1,0 \text{ mm}$

Die Koordinatenberechnung (Lage) aller zwischen zwei Punkten des übergeordneten Festpunktrahmens neu festgelegten Festpunkte erfolgt durch gemeinsame Netzausgleichung im ebenen (Rechtswert/Hochwert)-System des MKS.

Den einzelnen Messelementen ist ein ihren Standardabweichungen entsprechendes Gewicht zuzuordnen.

Die nachfolgend aufgeführte Ausgleichsgenauigkeit ist einzuhalten:

$$s_{a((\Delta\text{Rechts}, \Delta\text{Hoch})} = 1,0 \text{ mm} \quad \text{ausgeglichenen Koordinatendifferenz}$$

Standardabweichungen der ausgeglichenen Koordinatendifferenzen $\Delta\text{Rechtswert}$ bzw. $\Delta\text{Hochwert}$ zweier benachbarter trassenbegleitender Festpunkte

8.2 Höhenbestimmung

Die Höhenbestimmung des trassenbegleitenden Festpunktnetzes erfolgt mittels geometrischem Feinnivellement.

Der aufgeführte Widerspruch (D) des Hin- und Rück-Nivellement zwischen zwei benachbarten trassenbegleitenden Festpunkten ist einzuhalten :

$$D[\text{mm}] = \pm 3 \cdot \sqrt{S[\text{km}]} \quad (4)$$

Die Messwerte sind abschnittsweise zu Höhennetzen zusammenzustellen und unter Zwangsanschluss an den übergeordneten Höhenfestpunktrahmen auszugleichen.

Werden Höhenpunkte des Landeshöhenfestpunktfeldes in das MKS einbezogen, so sind diese wie Neupunkte zu behandeln, d.h. die bereits vorliegenden Landeshöhen bleiben unberücksichtigt.

Die nachfolgend aufgeführte Ausgleichungsgenauigkeit ist einzuhalten:

$$s_{a(\Delta\text{Höhe})} = 1,0 \text{ mm} \quad \text{ausgeglichenen Höhenunterschied}$$

Standardabweichung eines ausgeglichenen Höhenunterschiedes zweier benachbarter trassenbegleitender Festpunkte

9 Feinpositionierung der Fahrwegträger

Die Feinpositionierung der Fahrwegträger erfolgt zeitlich versetzt nach der Grobmontage (dem Auflegen) der Fahrwegträger.

Das Verfahren zur Feinpositionierung ist projektabhängig zu erstellen.

Die geometrischen Anforderungen an die Funktionsebenen innerhalb der Fahrwegträger sind in /MSB AG-FW GEO/ beschrieben.

Dabei sind für die beiden Funktionsebenen Statorebene SE (in z-Richtung) und Seitenführebene SFE (in y-Richtung) die langwelligigen Abweichungen unter Berücksichtigung der berechneten Soll-Vorkrümmung zu berechnen.

Die Anforderungen an die relative räumliche Lage werden aus den zulässigen langwelligigen Abweichung innerhalb der Fahrwegträger abgeleitet.

Die Einhaltung der zulässigen Toleranzen für diese langwellige Abweichungen in y- und z-Richtung des TFK (Trägerfertigungskoordinatensystem, (/MSB AG-FW GEO/)) verhindert unplanmäßige Beschleunigungen und Rucke.

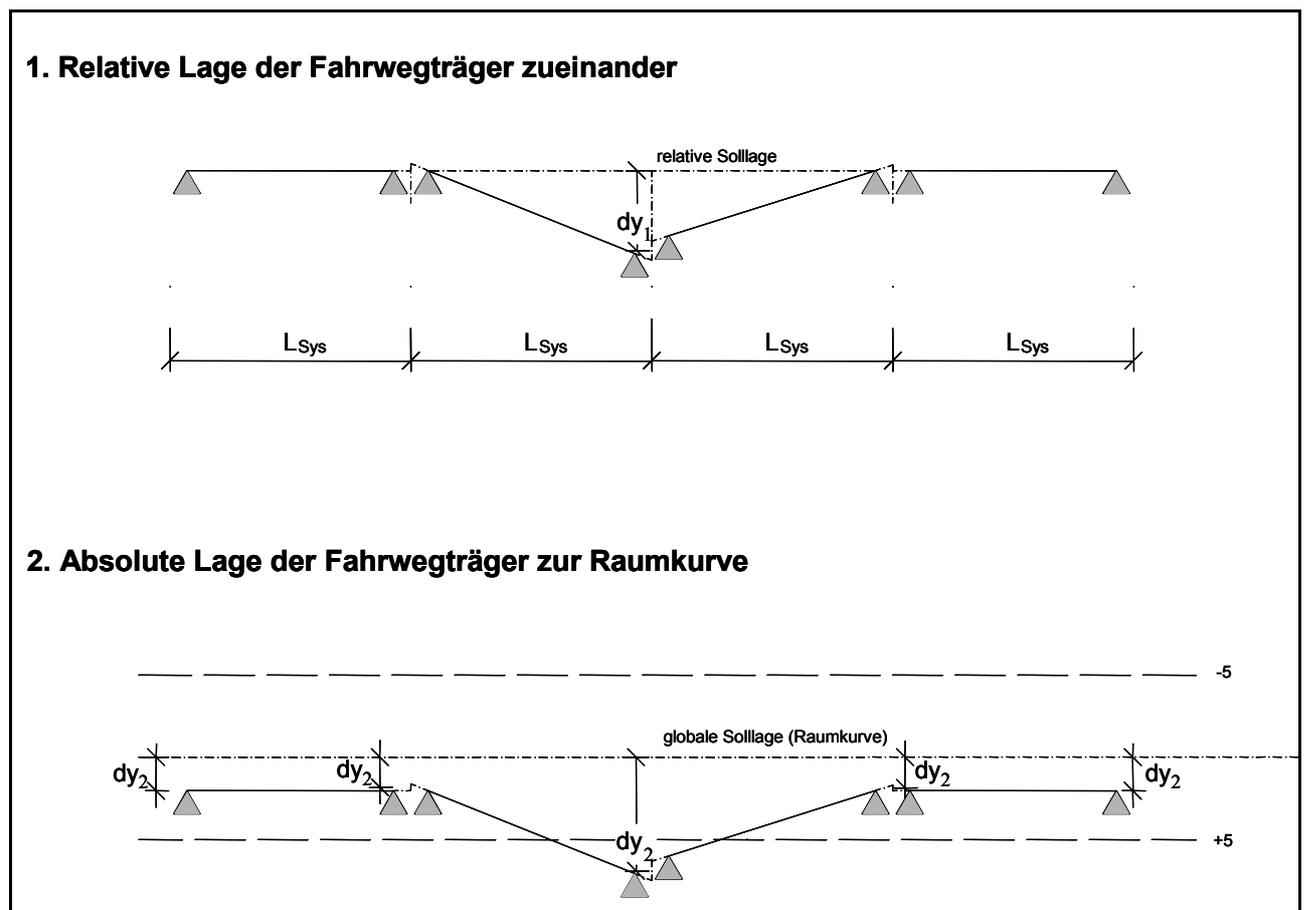


Abbildung 5: Anforderungen an die Feinpositionierung von Fahrwegträgern

Für die Feinpositionierung eines Fahrwegträgers unterteilen sich die Anforderungen an die

- relative räumliche Lage (jeweils unter Betrachtung des vorherigen und nachfolgenden Fahrwegträger) und
- absolute räumliche Lage (Lage des Fahrweg zur Raumkurve).

Die Messpunkte an den Funktionsebenen Statorebene (SE), Seitenführschiene (SFE) und Gleitebene (GE) sind in /MSB AG-FW GEO/ innerhalb des Trägers definiert.

Die Anforderungen beziehen sich auf die gemittelte Trägerlage im Trägerstoß (Systemachse). Die zulässige Toleranz der relative räumlichen Lage der Fahrwegträger (Träger übergreifend) beträgt im Trägerstoß:

Für Trägerlängen > 12,384 m:

$$dy_1 = \pm \frac{2,0}{24768} \cdot L_{\text{sys}} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

$$dz_1 = \pm \frac{2,0}{24768} \cdot L_{\text{sys}} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

mit L_{sys} = Feldweite (z.B. 24768 mm)

Für Trägerlängen < 12,384 m:

$$dy_1 = \pm 1,0 \quad [\text{mm}]$$

$$dz_1 = \pm 1,0 \quad [\text{mm}]$$

Die geometrischen Anforderungen an den Versatz und das NGK im Trägerstoß sind in /MSB AG-FW GEO/ definiert.

Die zulässige Toleranz der absoluten räumlichen Lage der Fahrwegträger zur geplanten Raumkurve beträgt im Trägerstoß:

$$dy_2 = \pm 5,0 \quad [\text{mm}]$$

$$dz_2 = \pm 5,0 \quad [\text{mm}]$$

10 Dokumentation

Die Anforderungen an die Qualitätssicherung und Dokumentation sind in /MSB-AG FW ÜBG/ festgelegt.

Anhang V-A Gauß-Krüger-Koordinatensystem

Amtliche topografische Kartenwerke, insbesondere großer und mittlerer Maßstäbe, bauen auf dem Gauß-Krüger-Koordinatensystem auf.

Gauß-Krüger-Koordinaten sind eine konforme Abbildung des Erdellipsoids in die Ebene.

Die Erde wird in 3° breite Meridianstreifen aufgeteilt. Seine begrenzenden Meridiane liegen genau 3° auseinander. In der Mitte des Meridianstreifens verläuft der s.g. Mittelmeridian.

Jeder Meridianstreifen erhält eine Kennziffer. Diese leitet sich nach der klassischen Festlegung aus den ganzzahligen Vielfachen von 3° für den Mittelmeridian ab (0°, 3°, 6°, ...).

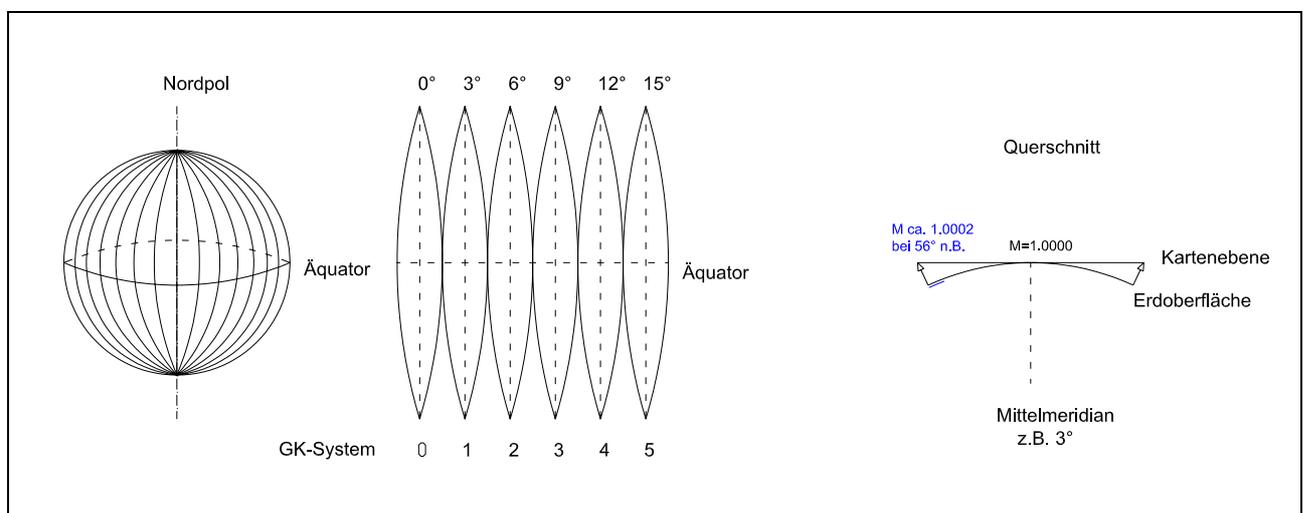


Abbildung 6: Maßstabsverzerrung beim Gauß-Krüger-System

Zur Kartenabbildung wird die gekrümmte Erdoberfläche auf die Kartenebene projiziert. Die dabei entstehenden Abbildungsverzerrungen nehmen mit zunehmender Entfernung zum Mittelmeridian zu (siehe Abbildung 6).

Diese lokal unterschiedlichen Längenverzerrungen müssen bei der Feinplanung (Feintrassierung) und der örtlichen Umsetzung von allen relevanten Teilsystemen der Magnetschnellbahn rechnerisch berücksichtigt werden. Eine durchgehende Trassierungsberechnung mit „wahren“ Längen ist nicht möglich.

Alle relevanten Bauteile (z.B. Fahrwegträger, Langstatoren) und z.B. das Ausrüstungsverzeichnis wären im Planungskoordinatensystem mit entsprechenden Maßstabsfaktoren zu berücksichtigen.

Anhang V-B Universale, transversale Mercatorabbildung

Für die Landesvermessung aller Bundesländer wird das ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) mit UTM-Abbildung ab 2009 verbindlich vorgeschrieben.

Das ETRS89 ist ein dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem. Es bezieht sich auf geozentrische Koordinaten deren Ursprung im Geozentrum (Massenmittelpunkt der Erde) liegt. Bei der UTM-Abbildung wird das Erdellipsoid in 6°-breite Streifen eingeteilt, die alle durch die Pole laufen und im Äquator die größten Abstände zueinander haben.

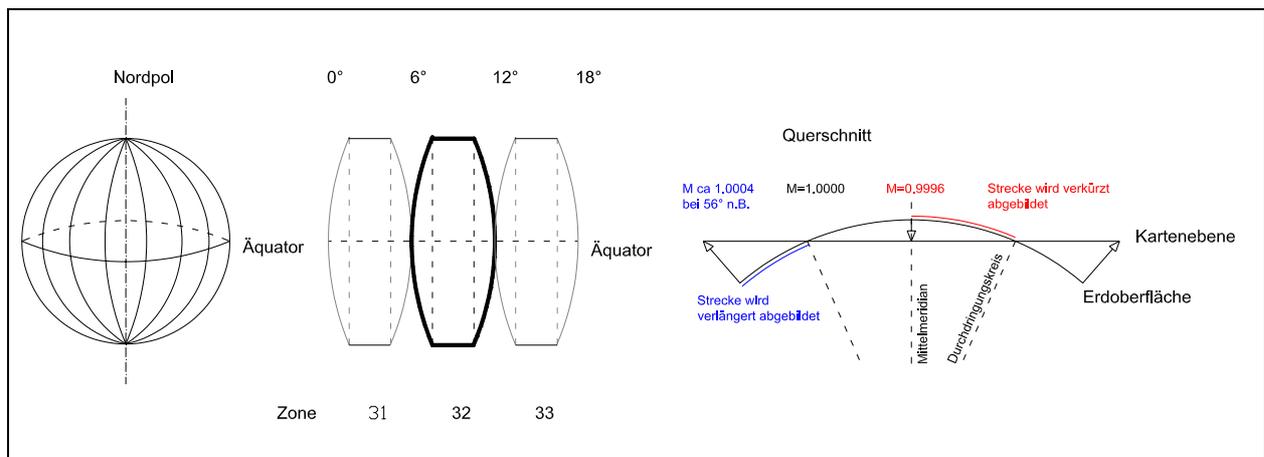


Abbildung 7: Maßstabsverzerrung beim UTM-System

Zur UTM-Abbildung wird die gekrümmte Erdoberfläche auf die Kartenebene über 2 Durchdringungskreise projiziert. Nur auf den Durchdringungskreisen ist die Abbildung längentreu. Zwischen den Durchdringungskreisen werden die Strecken gestaucht, außerhalb der Durchdringungskreise werden die Strecken gedehnt (siehe Abbildung 7).

Diese lokal unterschiedlichen Längenverzerrungen müssen bei der Feinplanung (Feintrassierung) und der örtlichen Umsetzung von allen relevanten Teilsystemen der Magnetschnellbahn rechnerisch berücksichtigt werden. Eine durchgehende Trassierungsberechnung mit „wahren“ Längen ist nicht möglich.

Alle relevanten Bauteile (z.B. Fahrwegträger, Langstatoren) und z.B. das Ausrüstungsverzeichnis wären im Planungskoordinatensystem mit entsprechenden Maßstabsfaktoren zu berücksichtigen.

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Fahrweg Teil VI Instandhaltung

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.
Alle Rechte vorbehalten

1 Verteiler

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Fahrweg zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007, Weißdruck, Fachausschuss Fahrweg.

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler	2
2	Änderungsübersicht	3
3	Inhaltsverzeichnis.....	4
4	Allgemeines.....	6
4.1	Zweck und Anwendungsbereich	6
4.2	Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen.....	6
4.3	Abkürzungen und Definitionen	7
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien.....	7
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen	7
5	Anforderungen an die Fahrweginstandhaltung	8
5.1	Grundlagen	8
5.2	Vorgaben und Empfehlungen für die Instandhaltungsstrategie	9
5.2.1	Vorgaben.....	9
5.2.2	Empfehlungen	10
5.3	Anforderungen an das Personal	10
6	Wartung.....	11
7	Inspektionen.....	12
7.1	Allgemeine Anforderungen an Inspektionen	12
7.2	Überwachungen	12
7.3	Untersuchungen.....	13
7.4	Begutachtungen	14
7.5	Sonderinspektionen	15
8	Instandsetzung.....	16
9	Sonstige Maßnahmen	17
10	Anforderungen an die Abläufe von Instandhaltungsvorgängen	18
11	Technische Hinweise zur Durchführung der Inspektionen.....	20
11.1	Möglichkeiten der Überwachung.....	20
11.2	Automatisierungsgrad der Inspektionen.....	20
11.3	Inspektion der Geometrie.....	20
11.4	Visuelle Inspektionen	21
11.5	Inspektion mittels stationärer Messeinrichtungen	21
11.6	Sonstige Inspektionen.....	21

12	Grundlegende Anforderungen an die Dokumentation.....	22
----	--	----

4 Allgemeines

4.1 Zweck und Anwendungsbereich

Das vorliegende Dokument spezifiziert bindend die allgemeingültigen Vorgaben zur Instandhaltung von Magnetschnellbahnfahrwegen, soweit Sicherheit und Ordnung betroffen sind. Darüber hinaus enthält diese Ausführungsgrundlage Empfehlungen.

Dieses Dokument ist eine der Grundlagen, die bei der Auslegung, Planung, Realisierung und dem Betrieb von Anwendungsprojekten der Magnetschnellbahn zu berücksichtigen sind.

Die Festlegungen des Dokumentes sind denen der MbBO nachgeordnet und lehnen sich an den bestehenden Stand der Technik für die Instandhaltung von Bauwerken an.

Der Teil VI der Ausführungsgrundlage Fahrweg ist im Zusammenhang mit den Teilen I bis V der Ausführungsgrundlage Fahrweg, der Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und den die anderen Teilsysteme betreffenden Ausführungsgrundlagen zu verwenden.

Das vorliegende Dokument beinhaltet:

- allgemeine Anforderungen an die Fahrweginstandhaltung;
- grundlegende Anforderungen an die Vorgänge bei der Fahrweginstandhaltung;
- grundlegende Anforderungen an die technische Durchführung der Überwachung;
- grundlegende Anforderungen an die Dokumentation;

Die Anforderungen des vorliegenden Dokumentes sind projektspezifisch und dem jeweiligen Projektstand entsprechend zu präzisieren und zu ergänzen.

Anforderungen zur Instandhaltbarkeit der einzelnen Baugruppen sind der /MSB AG-FW ÜBG/ zu entnehmen.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

4.2 Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentenbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordneten Dokumente Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/ mit den Anlagen:
 - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
 - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
 - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
 - Anlage 4: Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR&IH/

- Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

Die Baugruppen des Fahrweges sind in der Ausführungsgrundlage Fahrweg Teil I definiert.

Die Begriffe Mangel, Fehler und Schaden werden in der Ausführungsgrundlage Fahrweg, abweichend von den Begrifflichkeiten in den anderen Ausführungsgrundlagen, entsprechend den Begrifflichkeiten des Bauwesens verwendet.

Ein Mangel im Sinne des Dokumentes ist eine unzulässige Abweichung einer Baugruppe vom Sollzustand die bereits im Moment der Abnahme vorliegt. Dabei ist unerheblich, ob der Mangel bereits im Moment der Abnahme oder erst später erkannt wird. Ein Mangel kann einen oder mehrere Schäden verursachen.

Ein Fehler ist eine nicht zielführende Aktion bzw. eine Unterlassung welche zu einem oder mehreren Mängeln und / oder einem oder mehreren Schäden führen kann.

Ein Schaden ist eine unzulässige Abweichung einer Baugruppe vom Sollzustand, welche während der Nutzung eintritt.

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokumentes sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in *Kursiv-Schrift*

dargestellt (siehe /MSB AG-FW ÜBG/).

5 Anforderungen an die Fahrweginstandhaltung

5.1 Grundlagen

Die Instandhaltung des Fahrweges beinhaltet gemäß DIN 31051

- (1) Inspektion,
- (2) Wartung,
- (3) Instandsetzung und Verbesserungen

der benannten Komponenten des Fahrweges (die Verbesserungen werden im vorliegenden Dokument zusammen mit sonstigen, z.B. betrieblich bedingten Maßnahmen behandelt).

Übergeordnetes Ziel der Instandhaltung ist die Schaffung der technischen Voraussetzungen für das Aufrechterhalten des bestimmungsgemäßen Betriebs der Magnetschnellbahn. Eine präventive und zustandsorientierte Instandhaltung soll sicherstellen, dass Reparaturen mit der Folge von Fahrbetriebsstörungen nicht erforderlich werden.

Die Überwachung und Prüfung des Fahrwegs soll betriebsbegleitend und soweit möglich automatisiert durchgeführt werden. Das erreichte Sicherheitsniveau darf dabei nicht niedriger liegen als bei einer herkömmlichen Bauwerksprüfung auf der Grundlage von /DIN 1076/ bzw. dem gültigen Regelwerk der Rad/Schiene Technik. Die in diesen Vorschriften angegebenen Zeitintervalle können jedoch sinnvoll den Besonderheiten einer Magnetschnellbahnstrecke angepasst werden.

Die regelmäßige Überwachung bezweckt, Mängel und etwa eingetretene Schäden so rechtzeitig zu erkennen, dass erforderliche Maßnahmen bereits in einem frühen Stadium der Entstehung ergriffen werden können, bzw. Mängel und etwa eingetretene Schäden zu beseitigen, bevor die Sicherheit und Verfügbarkeit beeinträchtigt werden.

Darüber hinaus soll das erforderliche Datenmaterial für eine vorausschauende Instandhaltungsplanung bereit gestellt werden.

Die Unabhängigkeit hinsichtlich der technischen Entscheidungen des mit der Instandhaltung für den Fahrweg betrauten Personals in Bezug auf

- (1) die Notwendigkeit der Durchführung von Inspektionsmaßnahmen;
- (2) die technische Freigabe;

ist durch entsprechende organisatorische Regelungen sicherzustellen.

Für die Bauwerke des Fahrweges gemäß /MSB AG-FW ÜBG/ ist ein projektspezifisches Instandhaltungskonzept zu erstellen, welches Festlegungen für die Überwachung und Prüfung der Ingenieurbauwerke des Fahrweges für die Magnetschnellbahn hinsichtlich ihrer Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit enthält.

Hinweis: Gemäß MbBO besteht hinsichtlich Daten und Erkenntnissen, welche für die Bauwerksüberwachung und die Bauwerksprüfung relevant sind und die im Rahmen des Betriebes erfasst und ausgewertet werden, Auskunftspflicht gegenüber der überwachenden und prüfenden Stelle.

Es ist sicherzustellen, dass neben dem Anlagenverantwortlichen, dem Betriebsleiter und den zuständigen Aufsichtsorganen auch Dritte, welche ein berechtigtes Interesse an den Untersuchungsergebnissen nachweisen können (z. B. Baulastträger kreuzender Verkehrswege), über die für sie relevanten Ergebnisse der Instandhaltung unterrichtet werden.

5.2 Vorgaben und Empfehlungen für die Instandhaltungsstrategie

5.2.1 Vorgaben

Die Instandhaltung des Fahrweges beruht auf einem bekannten Zustand. Dieser Zustand wird im Rahmen der Herstellung und Inbetriebnahme des Fahrweges als „Nullzustand“ am fertiggestellten Fahrweg(abschnitt) vor dem erstmaligen Befahren mit einem MSB-Fahrzeug aufgenommen und dokumentiert.

Während des anschließenden Betriebs werden laufend alle wesentlichen Veränderungen vom ursprünglichen "Nullzustand" dokumentiert und bewertet und ggf. als neuer Referenzzustand festgelegt.

Eventuell vorzunehmende Bauteilsubstitutionen an der bestehenden Ausrüstung (z.B. Tausch eines Statorpaketes) können zu einem neu festzulegenden Referenzzustand führen, welcher der künftigen Überwachung zu Grunde zu legen ist.

Instandhaltungsprogramme sind gemäß „Grundsätze und Verfahren für die Aufstellung des Instandhaltungsprogramms“, Kapitel 5.3.3 in /MSB AG-GESAMTSYS/ und der /MSB AG-BTR&IH/ zu erstellen.

Für alle Baugruppen sind Instandhaltungsprogramme durch den jeweiligen Hersteller / Lieferanten zu erstellen.

Die einzelnen Instandhaltungsprogramme sind in einem Instandhaltungsprogramm zusammenzufassen.

Das daraus entwickelte Instandhaltungsprogramm Fahrweg muss kompatibel zu den Anforderungen des Gesamtsystems sein.

Das Instandhaltungsprogramm Fahrweg ist auf Basis der Bauwerksdatenbank zu erstellen.

Zu jeder im Instandhaltungsprogramm enthaltenen Einzelmaßnahme ist durch den jeweiligen Hersteller / Lieferanten eine Arbeitsanweisung für die Instandhaltung gemäß Kapitel 5.3.3 in /MSB AG-GESAMTSYS/ und /MSB AG-BTR&IH/ zu erstellen.

Die Konstruktion von Bauteilen und Baugruppen des Fahrwegs ist gemäß Ausführungsgrundlage Fahrweg Teil I fehlertolerant auszulegen, so dass Instandsetzungen nicht unmittelbar nach Schadensfeststellung erfolgen müssen.

Instandhaltungsrelevante Rückmeldungen anderer Teilsysteme (z.B. Trag- Führsignale aus dem Fahrzeug) sind bei der Instandhaltung des Fahrweges zu berücksichtigen.

Die Instandhaltung muss ausschließlich durch entsprechend qualifiziertes Personal durchgeführt werden (s. auch /MSB AG-BTR&IH/).

Mögliche Einwirkungen Dritter sind projektspezifisch in der Instandhaltungsstrategie zu berücksichtigen.

Erkenntnisse und Dokumentationen aus der Fertigung und Inbetriebnahme sind für die Instandhaltung zu dokumentieren und heranzuziehen.

5.2.2 Empfehlungen

Die Überwachung des Fahrweges (ggf. mit Ausnahme der Sonderbauwerke und der Streckenperipherie) sollte ständig (bzw. in kurzen Zeitabständen) und soweit möglich automatisiert und weitestgehend betriebsbegleitend erfolgen.

Instandhaltungsmaßnahmen sollten weitestgehend vom Fahrweg (Sonderfahrzeug) aus durchgeführt werden.

Die Instandhaltungsmaßnahmen sollten so geplant werden, dass sie innerhalb der projektspezifisch hierfür definierten Freiräume durchgeführt werden können.

Der für die Instandhaltungsmaßnahmen zur Verfügung stehende Zeitraum ist projektspezifisch festzulegen (er sollte in der projektspezifisch zu definierenden Betriebspause erfolgen).

Die Auswertung und Begutachtung der ermittelten Inspektionsergebnisse soll zeitnah erfolgen.

An projektspezifisch zu definierenden Trassenpunkten sollten speziell überwachte Referenzobjekte definiert werden.

Die Überwachung der Referenzobjekte soll unter Einbeziehung der sonstigen Erkenntnisse aus Betrieb und Instandhaltung eine Zustandsanalyse für den Fahrweg ermöglichen.

Bauwerkserhaltende Maßnahmen (z.B. die Erneuerung des Korrosionsschutzes an Stahlbauteilen nach größeren Zeiträumen) sollten in der Instandhaltungsplanung gesondert betrachtet werden.

Baugruppen, bei denen während der geforderten Nutzungsdauer der Strecke ein planmäßiger Austausch erforderlich ist bzw. deren Ausfallwahrscheinlichkeit einen Austausch erwarten lässt sollten projektspezifisch in ausreichender Anzahl bevorratet werden.

5.3 Anforderungen an das Personal

Übergeordnete Anforderungen an das Personal sind in der Ausführungsgrundlage Gesamtsystem definiert.

Die Leiterin oder der Leiter der den Fahrweg überwachenden und prüfenden Stelle muss zur Führung der Bezeichnung „Ingenieur/in“ berechtigt sein. Die Position muss durch eine Person mit der hierfür erforderlichen Fachkenntnis und einer einschlägigen mindestens fünfjährigen Berufserfahrung besetzt werden.

6 Wartung

Planung, Durchführung und Nachbereitung der Wartung müssen auf Basis der in Kapitel 5.3.3 in /MSB AG-GESAMTSYS/ und der in /MSB AG-BTR&IH/ definierten Vorgaben erfolgen.

Angaben zur Wartung der Baugruppen in den Instandhaltungsprogrammen und in den Instandhaltungsanleitungen haben bauart- und herstellerspezifisch zu erfolgen.

Es gelten folgende Grundsätze für die Wartung:

- (1) die Wartung der einzelnen Baugruppen soll den Betrieb des Systems nicht behindern;
- (2) die Wartung soll innerhalb der projektspezifisch definierten Zeiten durchgeführt werden können;
- (3) die Wartung soll innerhalb des projektspezifisch für die Instandhaltung zu definierenden Freiraums durchgeführt werden können;
- (4) die Wartung soll mit den projektspezifisch definierten Ressourcen (Personal, Ausrüstung) und Abläufen durchgeführt werden können;
- (5) die Realisierbarkeit der Wartungsarbeiten soll (ggf. an einem Prototyp) unter anwendungsnahen Randbedingungen nachgewiesen werden.

7 Inspektionen

7.1 Allgemeine Anforderungen an Inspektionen

Planung, Durchführung und Nachbereitung der Inspektionen müssen auf Basis der in Kapitel 5.3.3 in /MSB AG-GESAMTSYS/ und der in /MSB AG-BTR&IH/ definierten Vorgaben erfolgen.

Inspektionen untergliedern sich in:

- (1) Überwachungen
- (2) Untersuchungen
- (3) Begutachtungen
- (4) Sonderinspektionen

Angaben zur Inspektion der Baugruppen in den Instandhaltungsprogrammen und in den Instandhaltungsanleitungen haben bauart- und herstellerepezifisch zu erfolgen.

Es gelten folgende Grundsätze für Inspektionen:

- (5) Die Inspektionen der einzelnen Baugruppen sollen den Betrieb des Systems nicht behindern;
- (6) Die Inspektionen sollen innerhalb der projektspezifisch definierten Zeiten durchgeführt werden können;
- (7) Die Inspektionen sollen innerhalb des projektspezifisch für die Instandhaltung zu definierenden Freiraums durchgeführt werden können;
- (8) Die Inspektionen sollen mit den projektspezifisch definierten Ressourcen (Personal, Ausrüstung) und Abläufen durchgeführt werden können;
- (9) Die Realisierbarkeit der Inspektionen ist nachzuweisen.

Dies sollte ggf. an einem Prototyp unter anwendungsnahen Randbedingungen erfolgen.

Die Intervalle der Inspektionen sind gemäß „Grundsätze und Verfahren für die Aufstellung des Instandhaltungsprogramms“ bauartabhängig und projektspezifisch zu definieren.

Wenn die Inspektion der Baugruppen des Fahrweges nicht in Anlehnung an /DIN 1076/ bzw. dem aktuellen Stand der Technik im Rad/Schiene Bereich erfolgt, ist der Nachweis gleicher Sicherheit erforderlich.

7.2 Überwachungen

Die Überwachung erfolgt durch jährliche Besichtigung des Fahrweges und / oder Bildaufnahmen.

Darüber hinaus sind in kürzeren Zeitabständen (ggf. laufend) ergänzende Verfahren (z.B. Überwachung Funktionsebenengeometrie) anzuwenden.

Überwachungen sind ein Teil der planmäßig durchzuführenden Inspektionen.

Sie können sowohl fahrzeuggestützt, als auch sonderfahrzeuggestützt erfolgen. Projektspezifische Verfahren sind darüber hinaus möglich.

Die Überwachung des Fahrweges hat projektspezifisch sowie hersteller- und bauartabhängig zu erfolgen.

Unabhängig von bauartspezifischen Besonderheiten ist bei der Überwachung besonderes Augenmerk auf Folgendes zu richten:

- (1) Überwachung der kurzwelligen Geometrie der Funktionsebenen;
- (2) Überwachung der langwelligen Fahrweggeometrie;
- (3) Zustandsüberwachung der Lager;
- (4) Oberflächenveränderungen (z.B. Risse im Beton, Abblättern des Korrosionsschutzes);
- (5) Überwachung der Fahrwegausrüstung;
- (6) Überwachung der definierten Freiräume ;
- (7) Überwachung der Sonderbauwerke und der Streckenperipherie;
- (8) Feststellung der Auswirkungen äußerer Einflüsse (Anprall an Straßenquerungen, Winterdienst, Vegetation, Erdbeben, Vandalismus, etc.);
- (9) ggf. Überwachung ausgewählter Referenzobjekte.

Die Ergebnisse sind gemäß projektspezifischer Vorgabe ständig und zeitnah auszuwerten, so dass eventuelle, die Sicherheit und Ordnung gefährdende Mängel/Schäden ohne Zeitverzug gefunden werden können.

Die Notwendigkeit von Referenzobjekten, sowie deren Anzahl und Lage ist projektspezifisch zu bestimmen.

Hinweis: Hierbei handelt es sich beispielsweise um einzelne, in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde und ggf. deren anerkannten Sachverständigen festgelegten Fahrwegträger in exponierter Lage. Diese sind messtechnisch besonders zu überwachen (z.B. Temperaturgang, Karbonarisierung, Schichtdicke des Korrosionsschutzes, etc.).

Die Ergebnisse der Überwachung der Referenzträger dienen der Beurteilung des Gesamtzustandes der Trasse und der Bewertung von Einzelbefunden.

7.3 Untersuchungen

Die Fristen für die Untersuchungen sind auf die Besonderheiten der Bauform, die Beanspruchung und die Empfindlichkeit der Baugruppen abzustimmen. Die Fristen sind für alle Baugruppen des Fahrweges bauartspezifisch im projektspezifischen Instandhaltungsprogramm (*Inspektionspläne*) anzugeben.

Die Baugruppen des Fahrweges sind im Rahmen der Untersuchung regelmäßig handnah auf offensichtliche Mängel oder Schäden hin zu untersuchen. Diese handnahe Untersuchung ist zunächst jährlich durchzuführen.

In Abhängigkeit von den projektspezifischen Randbedingungen kann dieses Intervall verändert werden.

Der maximale Zeitabstand zwischen zwei Untersuchungen beträgt sechs Jahre.

Bei der handnahen Untersuchung ist insbesondere auf Mängel/Schäden zu achten, die äußerlich erkennbar sind, mit den Fahrweg-Überwachungssystemen jedoch nicht festgestellt werden können.

Die Untersuchung beinhaltet ebenfalls eine Sichtung und Bewertung der Überwachungsergebnisse für den Streckenabschnitt, der einer handnahen Besichtigung unterzogen werden soll.

7.4 Begutachtungen

Bei einer Begutachtung ist festzustellen, ob:

- (1) die Tragfähigkeit der Baugruppen noch den Vorgaben der Planung und dem Stand der vorangegangenen Begutachtung entspricht;
- (2) ein Fortschreiten von Mängeln und Schäden innerhalb der nächsten sechs Jahre in einem Ausmaß zu befürchten ist, dass Gebrauchstauglichkeit oder Tragfähigkeit wesentlich beeinträchtigt werden könnten;
- (3) Mängel, Schäden oder Maßabweichungen vom planmäßigem Zustand vorhanden sind, die eine verstärkte Inspektion erforderlich machen.

Die Begutachtung erstreckt sich über alle Baugruppen des Fahrweges. Betriebliche Einwirkungen, die eine für den Fahrweg nicht unerhebliche Bedeutung aufweisen (z. B. Geländebewuchs, Änderung der Randbebauung im trassennahen Umfeld), sind zu berücksichtigen.

Begutachtungen sind alle sechs Jahre durchzuführen.

Der zeitliche Abstand zwischen einer Untersuchung und einer Begutachtung soll nicht größer als 3 Jahre sein.

Bei der Begutachtung sind alle wesentlichen Mängel und Schäden am Fahrweg zu bewerten und zu dokumentieren. Die ggf. eingetretene Beeinträchtigung der Tragfähigkeit, die noch vorhandene Sicherheit und die Dauerhaftigkeit sind festzustellen, zu bewerten und ebenfalls zu dokumentieren.

Soweit nötig, sind darüber hinaus Sonderinspektionen (z.B. zusätzliche geodätische Messungen am Fahrweg) zu veranlassen.

Zum Nachweis der Begutachtung ist ein detaillierter Bericht über Inspektionsumfang, Inspektionstiefe und die Inspektionsergebnisse zu erstellen. In diesem Bericht ist eine Prognose über den weiteren Verlauf der festgestellten Schäden und Mängel zu erstellen. Ferner sind darin Empfehlungen zur Änderung der Instandhaltungsfristen und zu den in dem nächsten Begutachtungsintervall erforderlichen Instandsetzungen zu formulieren.

Wenn Verfahren zur automatisierten Fahrwegüberwachung installiert und eingesetzt werden und / oder Referenzobjekte überwacht werden, können deren Inspektionsergebnisse als Teil der Begutachtung genutzt werden.

Wenn die Begutachtung der Baugruppen des Fahrweges nicht in Anlehnung an /DIN 1076/ bzw. dem aktuellen Stand der Technik im Rad/Schiene Bereich erfolgt, soll die Begutachtung durch die Auswertung der Ergebnisse der vorangegangenen Inspektionen erfolgen.

Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- (4) Permanente Überwachung des Fahrweges, bzw. der unter diese Regelung fallenden Baugruppen;
- (5) Dokumentation und Bewertung aller Inspektionsergebnisse;
- (6) Auswertung der Erkenntnisse aus der Überwachung der Referenzträger;
- (7) Regelmäßige handnahe Besichtigung im Rahmen der Untersuchungen mit Schwerpunkt auf denjenigen Baugruppen, welche nicht automatisiert überwacht werden;
- (8) Zugänglichkeit zur Fahrwegdokumentation.

7.5 Sonderinspektionen

Sonderinspektionen müssen nach besonderen, den Zustand des Fahrweges beeinflussenden Ereignissen durchgeführt werden, oder wenn es nach den Ergebnissen der Bauwerksinspektionen festgelegt wurde.

Ereignisse, die eine Sonderinspektion erfordern, können sein:

- (1) Erkenntnisse aus der Überwachung, Untersuchung und Begutachtung;
- (2) Anprall von (Straßen-)Fahrzeugen an den Fahrweg;
- (3) unvorhergesehene Betriebsart eines Fahrzeuges mit erheblicher Auswirkung auf den Fahrweg;
- (4) Abschluss von bauwerkserhaltene Maßnahmen oder Instandsetzungsmaßnahmen am Fahrweg, wenn die Möglichkeit besteht, dass bei diesen Arbeiten Schäden am Fahrweg hervorgerufen wurden;
- (5) Außergewöhnliche Umwelteinflüsse.

Die Aufzählung ist nicht abschließend.

Im Rahmen einer Sonderinspektion kann die Standsicherheit der Baugruppen auch experimentell (z. B. durch Belastungsversuche) nachgewiesen werden. Dabei ist die Durchführung durch rechnerische Untersuchungen so zu begleiten, dass Schäden am Fahrweg durch Überbeanspruchung ausgeschlossen werden. Die Planung und Durchführung dieser Versuche dürfen nur durch dafür besonders qualifiziertes Personal erfolgen und bedürfen der Zustimmung der zuständigen Aufsichtsorgane.

8 Instandsetzung

Planung, Durchführung und Nachbereitung der Instandsetzung müssen auf Basis der in Kapitel 5.3.3 in /MSB AG-GESAMTSYS/ und der in /MSB AG-BTR&IH/ definierten Vorgaben erfolgen.

Es gelten folgende Grundsätze für die Instandsetzung:

- (1) Die Instandsetzung der einzelnen Baugruppen soll den Betrieb des Systems nicht behindern;
- (2) Die Instandsetzung soll innerhalb der projektspezifisch definierten Zeiten durchgeführt werden können;
- (3) Die Instandsetzung soll innerhalb des projektspezifisch für die Instandhaltung zu definierenden Freiraums durchgeführt werden können;
- (4) Die Instandsetzung soll mit den projektspezifisch definierten Ressourcen (Personal, Ausrüstung) und Abläufen durchgeführt werden können;
- (5) Die Realisierbarkeit der Instandsetzungsarbeiten soll (ggf. an einem Prototyp) unter anwendungsnahen Randbedingungen nachgewiesen werden.

Die zu erstellenden Anleitungen für die Fahrweginstandsetzung müssen zumindest die folgenden Punkte beinhalten:

- (6) Benötigtes Personal (Anzahl und Qualifikation);
- (7) Benötigte Ausrüstung und Materialien;
- (8) Benötigte Arbeitszeit;
- (9) Technologische Vorgaben (z.B. Aushärtedauern, etc.);
- (10) Aussagen zu Umwelteinflüssen.

Umfangreiche betriebsbeeinflussende Instandsetzungsmaßnahmen sind separat und projektspezifisch als sonstige Maßnahme zu betrachten (Beispiele hierfür sind die grundlegende Erneuerung des Korrosionsschutzes an Stahlbauteilen oder eine grundlegende Betonsanierung).

9 Sonstige Maßnahmen

Sonstige Maßnahmen können betrieblich bedingt oder aus der Instandhaltung heraus erforderlich werden und sind projektspezifisch zu definieren.

Typischerweise gehören hierzu:

- (1) Verbesserungen von/an Baugruppen;
- (2) umfangreiche betriebsbeeinflussende Instandsetzungsmaßnahmen;
- (3) Maßnahmen der Vegetationskontrolle und -pflege;
- (4) Maßnahmen des Winterdienstes.

Sinngemäß gelten auch bei der Durchführung der sonstigen Maßnahmen die technischen Anforderungen an die Instandhaltung wie in diesem Dokument beschrieben. Es sind rechtzeitig vor Ausführung der Maßnahmen projektspezifische Konzepte und Programme zu entwickeln.

10 Anforderungen an die Abläufe von Instandhaltungsvorgängen

Folgende Anforderungen werden an die Abläufe von Instandhaltungsvorgängen gestellt:

- (1) übergeordnet gelten die Vorgaben in /MSB AG-GESAMTSYS/ und /MSB AG-BTR&IH/;
- (2) bewährte, nicht zeitkritische, bei jeder Witterung ausführbare und vom Personal nur geringe Spezialkenntnisse verlangende Instandsetzungsverfahren sollen bevorzugt verwendet werden;
- (3) der Zustand vor erstmaliger Nutzung (Zeitpunkt der Erstellung) bzw. nach erfolgter Instandsetzung (Ist-Zustand) muss die planmäßigen Vorgaben erreichen; dieser Zustand ist zu dokumentieren, er dient anschließend als Referenzzustand für die Bewertung eingetretener Änderungen;
- (4) Feststellung des Ist-Zustandes; der sich zeitabhängig ändernde Ist-Zustand, im Idealfall jederzeit bekannt, wird mit dem Referenzzustand verglichen und im Hinblick auf die eingetretenen Änderungen bewertet; die Grenze, bei der Maßnahmen ausgelöst werden müssen, ist zu definieren und am Fahrweg festzustellen;
- (5) *für alle Baugruppen ist eine präventive, zustandsorientierte Instandhaltung anzustreben;*
- (6) *aus technischen, wirtschaftlichen oder betrieblichen Gründen kann von der präventiven Instandhaltung abgewichen werden;*
- (7) *durch zusätzliche oder in engeren Zeitabständen durchgeführte Inspektionen kann eine Nutzungsverlängerung von Baugruppen erreicht werden;*
- (8) schwere Schäden am Fahrweg, die sich nicht durch einfache Reparatur beheben lassen, sind in der Instandhaltungsplanung zu berücksichtigen;
- (9) die erforderlichen Maßnahmen (Notabstützung, Austausch ganzer Träger usw.) sind konzeptionell so weit vorzuplanen, dass nach Eintritt des Schadensereignisses zeitnah mit den Instandsetzungsarbeiten begonnen werden kann;
- (10) Maßnahmen an Anlagen Dritter sind gemäß den allgemeinen gesetzlichen Bestimmungen vorzunehmen;
- (11) ausdrücklich wird auf das Magnetschwebbahnplanungsgesetz (MBPIG) und die projektspezifisch abzuschließenden Kreuzungsvereinbarungen verwiesen;
- (12) Maßnahmen im unmittelbaren Trassenumfeld bedürfen projektspezifischer Übergabe- und Freigabeverfahren.

Hinweis: Folgende Schritte sind dabei typischerweise zu beachten:

- (13) *Erstellung eines Arbeitsauftrages z.B. durch die mit der Instandhaltung des Fahrwegs beauftragte Organisationseinheit und Abstimmung mit dem Fahrdienst;*
- (14) *protokollierte Übergabe des Arbeitsbereiches (z.B. Fahrwegabschnitt) vom Fahrbetrieb an die Instandhaltung;*
- (15) *Durchführung der Maßnahmen und Aufnahme der für die Dokumentation benötigten Informationen;*
- (16) *technische Freigabe des Arbeitsbereiches durch die Instandhaltung;*

(17) *protokollierte Übernahme des Arbeitsbereiches von der Instandhaltung durch den Fahrdienst;*

(18) *Dokumentation der durchgeführten Maßnahmen.*

Hinweis: Zur Arbeitserleichterung können die Betriebsabteilungen gemeinsam gegenüber der mit der Instandhaltung des Fahrwegs betrauten Stelle durch eine/n „Kordinator/in Fahrbetrieb/Bauwerksprüfung“ vertreten werden. Der/die Koordinator/in ist gegenüber der mit der Instandhaltung des Fahrweges betrauten Stelle sowie den Aufsichtsorganen berichts- und auskunftspflichtig.

11 Technische Hinweise zur Durchführung der Inspektionen

11.1 Möglichkeiten der Überwachung

Üblicherweise lassen sich die anzuwendenden Überwachungsverfahren wie folgt gliedern:

- (1) Messungen aus dem Fahrzeug heraus (fahrbetriebsbegleitend);*
- (2) Messtechnische Überwachung vom Sonderfahrzeug aus (in der Regel während der Fahrbetriebspausen);*
- (3) Stationäre messtechnische Überwachung (in der Regel permanent);*
- (4) Sonstige Verfahren.*

Bei der Wahl der Überwachungssysteme soll denjenigen Systemen der Vorzug gegeben werden, die Schäden oder Veränderungen, die auf Schäden hindeuten, möglichst frühzeitig erkennen.

Der Datentransfer der Ergebnisse einzelner Überwachungen erfolgt in der Regel nicht online.

Die Auswertung der Daten erfolgt daher im allgemeinen zeitlich versetzt, wobei bauart- und projektspezifische Randbedingungen bei der Festlegung der Auswertezeiträume zu berücksichtigen sind.

Über die Notwendigkeit der Onlineübertragung von Informationen der Überwachung in die Betriebsleitzentrale ist projektspezifisch zu entscheiden.

11.2 Automatisierungsgrad der Inspektionen

Es ist anzustreben, die Überwachung des Fahrweges so weit wie möglich zu automatisieren.

Der Grad der Automatisierung und die zu erfüllenden Aufgaben der automatisierten Inspektionen sind projektspezifisch zu definieren.

Ist es vorgesehen, aus der automatisierten Inspektion einzelner Baugruppen Rückschlüsse auf den Zustand einer größeren Menge von Baugruppen zu ziehen, so ist die Anzahl und Exposition der Überwachungssensorik so festzulegen, dass eine abgesicherte Aussage ermöglicht wird.

Die Funktionsfähigkeit der automatisierten Inspektionssysteme ist zu überwachen. Es ist festzulegen, wie der Ausfall des automatisierten Systems erkannt wird.

Projektspezifisch ist festzulegen, durch welche Maßnahmen auch nach Ausfall eines einzelnen automatisierten Systems die Erfüllung der Inspektionsaufgaben sichergestellt wird.

Für Baugruppen mit besonderer Sicherheitsrelevanz kann es bei automatisierter Inspektion erforderlich werden, eine unabhängige Kontrollmöglichkeit zur Verifizierung des Mess- bzw. Prüfergebnisses vorzusehen.

11.3 Inspektion der Geometrie

Die Inspektion der Fahrweggeometrie umfasst die Inspektion der kurzwelligen und der langwelligen Geometrie.

In beiden Fällen hat die Überwachung auf Basis des dokumentierten Referenzzustandes zu erfolgen.

Die Inspektion der kurzwelligen Geometrie (Versatz, NGK, Spurweite, Zangenmaß, Spalte) hat entsprechend dem Stand der Technik zu erfolgen.

Die Einhaltung der in der /MSB AG-FW GEO/ definierten Vorgaben ist zu überwachen.

Bauartspezifische Randbedingungen (Ausfalloffenbarung, Redundanz, Fehlerwege) sind bei der Festlegung der Inspektionstechnik zu berücksichtigen.

Die Inspektion der langwelligen Geometrie erfolgt auf Basis einer Referenzmessung und entsprechend dem Stand der Technik. Geodätische Messungen sind während der Inbetriebnahme durchzuführen und zu dokumentieren (siehe Kap. 10).

Spätere geodätische Messungen können dazu eingesetzt werden um festgestellte Veränderungen zu quantifizieren bzw. die Veränderungen zu bewerten.

11.4 Visuelle Inspektionen

Visuelle Inspektionen können sowohl handnah als auch automatisiert durchgeführt werden.

Die Festlegungen hierzu sind projektspezifisch und entsprechend dem aktuellen Stand der Technik zu treffen.

11.5 Inspektion mittels stationärer Messeinrichtungen

Stationäre Messeinrichtungen werden an Referenzobjekten installiert.

Sie haben dem aktuellen Stand der Technik zu entsprechen und sind bauartabhängig und in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde und ggf. deren anerkannten Sachverständigen auszuwählen.

Es ist festzulegen, wie der Ausfall stationärer Messeinrichtungen erkannt wird.

Werden Wetterdaten entlang der Strecke aufgenommen, so sollten die Messstellen in unmittelbarer Nähe einzelner Referenzobjekte liegen, um direkte Zusammenhänge zwischen Wetterdaten und Messdaten herstellen zu können.

11.6 Sonstige Inspektionen

Projektspezifisch sind weitere notwendige Inspektionen zu definieren, welche aus Sicht der Instandhaltung erforderlich sind oder betriebliche Aspekte wie die Freiraumüberwachung, Schnee- und Eisaufwuchs, Vegetationskontrolle u.ä. abdecken.

Diese Inspektionen haben dem aktuellen Stand der Technik zu entsprechen und sind bauartabhängig und in Abstimmung mit der zuständigen Aufsichtsbehörde und ggf. deren anerkannten Sachverständigen auszuwählen.

12 Grundlegende Anforderungen an die Dokumentation

Übergeordnet gelten die Vorgaben in /MSB AG-GESAMTSYS/ und /MSB AG-BTR&IH/.

Projektspezifisch ist eine Bauwerksdatenbank zu erstellen.

Sie ist entweder aus dem systemtechnischen Ausrüstungsverzeichnis heraus zu erstellen oder es ist ein eindeutiger Zusammenhang zu diesem Dokument herzustellen.

Die Bauwerksdatenbank enthält objektbezogen alle wichtigen Daten des Fahrweges (bzw. verweist darauf) die zur Erfüllung der Überwachungs- und Prüfaufgaben erforderlich sind.

Alle relevanten Ergebnisse der Instandhaltung müssen Eingang in die Bauwerksdatenbank finden.

Die Bauwerksdatenbank muss mindestens folgende Angaben enthalten:

- (1) Darstellung und Kurzbeschreibung der Baugruppen bzw. Ausrüstungsteile;
- (2) Art und Ort der Lagerung von Unterlagen oder Speicherung von Daten, denen Detailangaben über Planung, Genehmigung, Herstellung, bisherige Untersuchungs- und Vermessungsergebnisse entnommen werden können;
- (3) Durchgeführte Erhaltungs- und Instandhaltungsmaßnahmen;
- (4) Wesentliche Änderungen an Fahrwegausrüstung oder tragender Konstruktion.

Die Datenbank ist fortlaufend zu aktualisieren und zu pflegen.

Die Daten sind aus den Phasen:

- (5) Bauwerksplanung und Genehmigung;
- (6) Bauwerkserstellung;
- (7) Inbetriebnahme;
- (8) Bauwerksabnahme;
- (9) laufende Instandhaltung, Instandsetzung und Umbau

zu gewinnen.

Projektspezifisch ist zu definieren, wie die Daten aufzubereiten und darzustellen sind.

Die Dokumentation soll einen Trend in den Änderungen von Zuständen erkennbar machen.

Dafür ist es beispielsweise erforderlich, Lagerwege auf eine immer gleiche Bezugstemperatur zu beziehen.