

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 Tragmagnet - Langstator.....	28
7.3.3.1	Funktionen.....	28
7.3.3.2	Geometrie.....	28

Ausführungsgrundlage**Fahrweg**

7.3.4	Schnittstelle Führomagnet - 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 8.2.1.5.9;
- (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 Fahrwegbemessung 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 Fahrwegbemessung 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

Ausführungsgrundlage

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 Fahrweгаusrüstungselemente (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: $L_{MS} = L_{TM-B, MS} = 24,768 \text{ m}$*

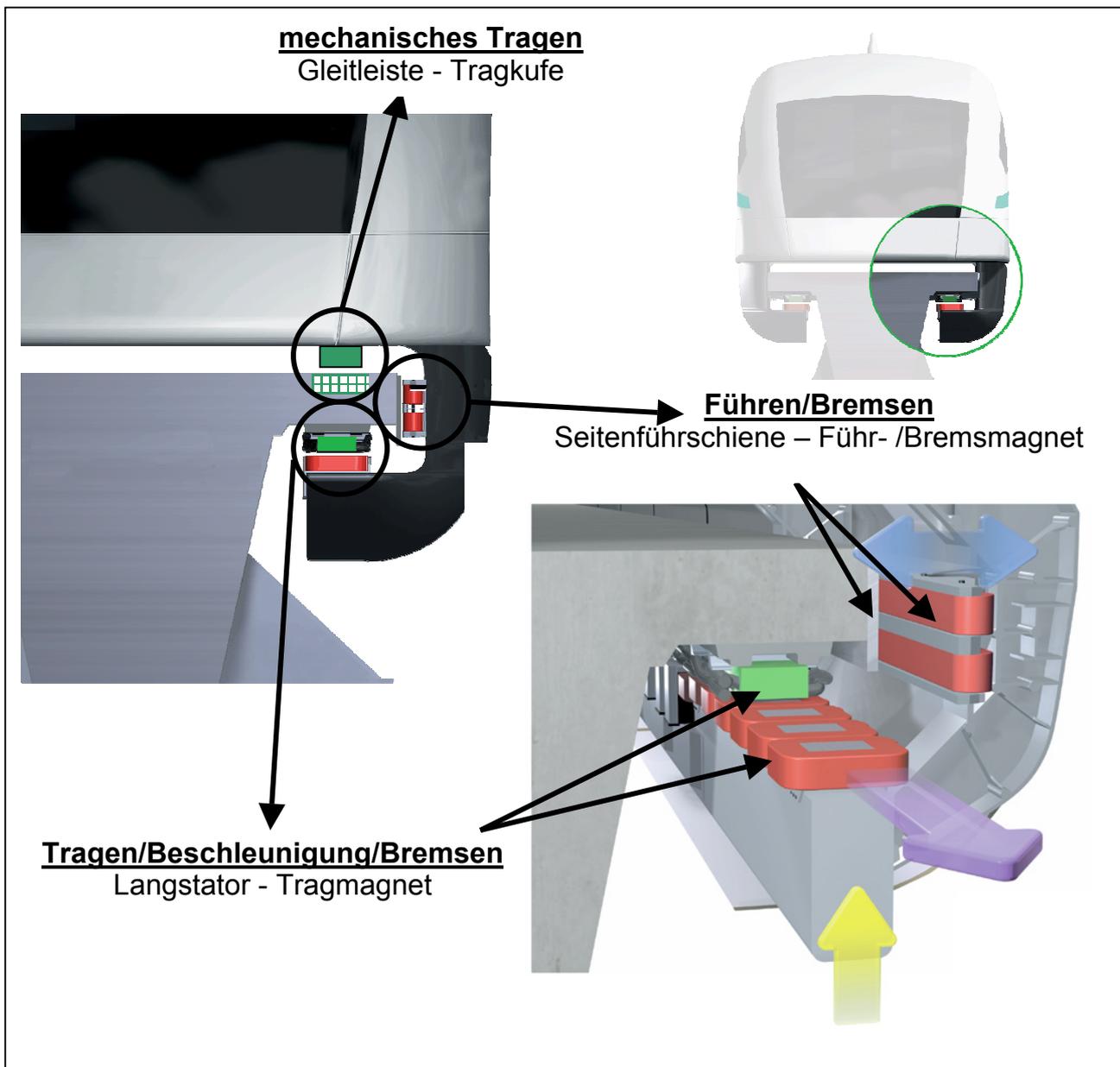


Abbildung 1 - Schnittstellen Fahrzeug – Fahrweg

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 sektionübergreifenden Führungsmagnete vorhanden sind.*

Ausführungsgrundlage

- (4) Die Teilmagnete Tragen TMT(1) und TMT(16) der Ensektionen entsprechen der Verlängerung der Bug- bzw. Heckmagnete.

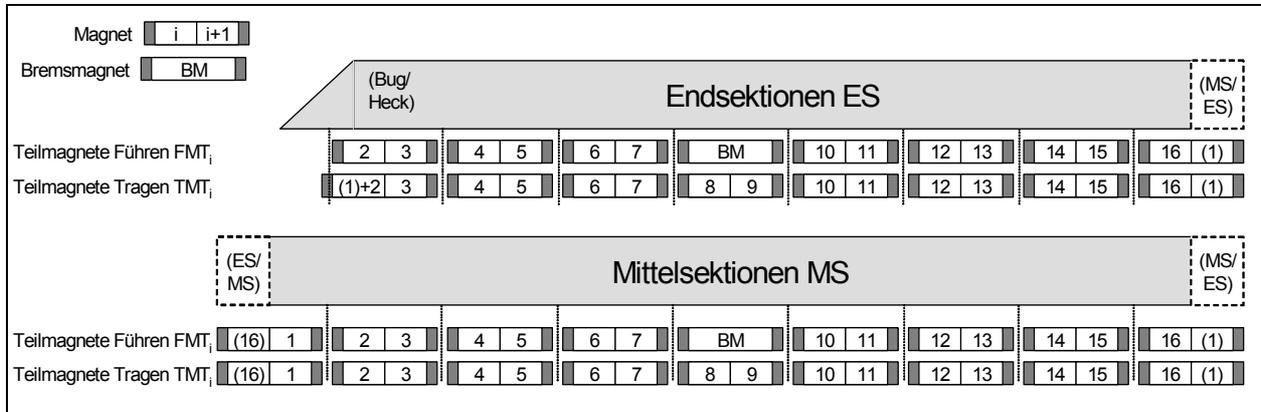


Abbildung 2 - Bezeichnung der Teilmagnete (Tragen und Führen)

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.

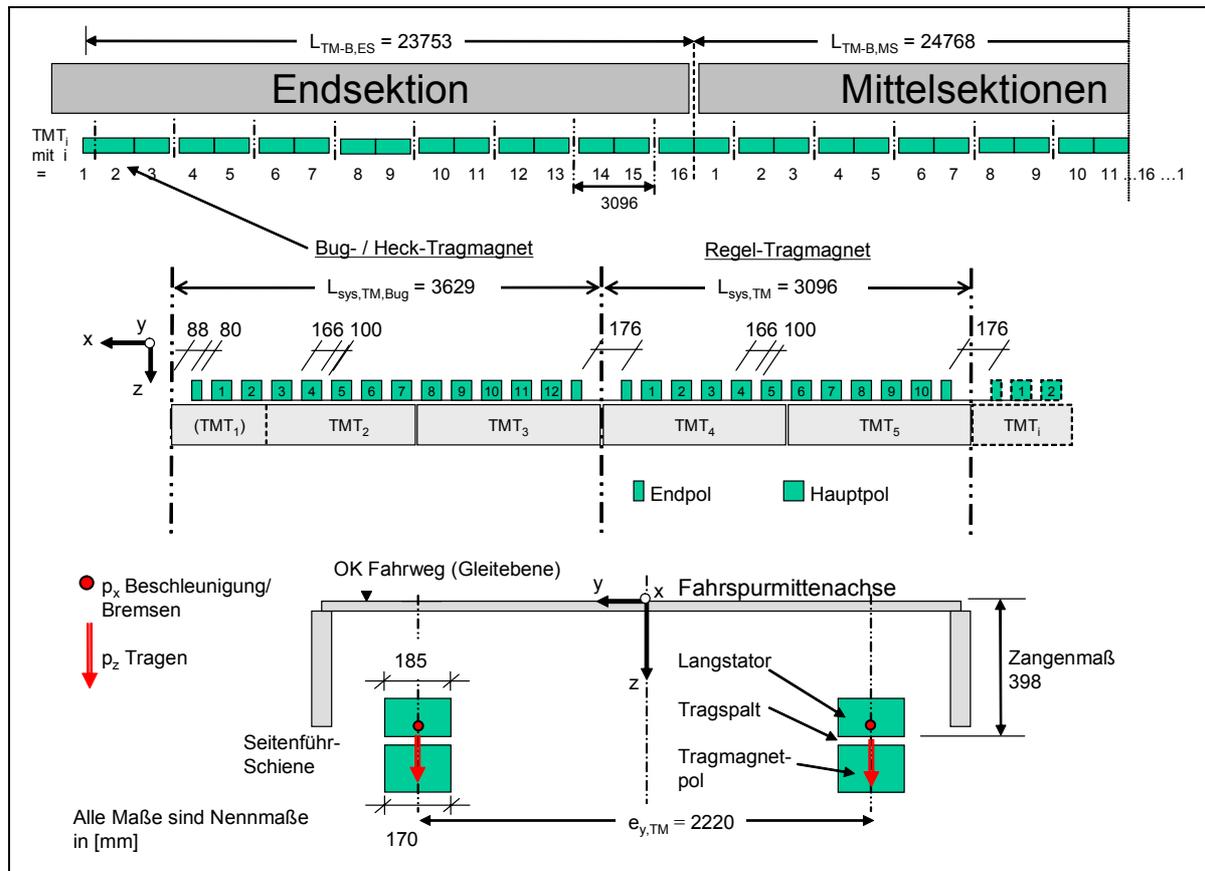


Abbildung 3 - Typische Geometrie der Einwirkungen Tragsmagnet – Langstator

7.3.4 Schnittstelle Führmagnet - Seitenführschiene

7.3.4.1 Funktionen

- (1) Über die beiderseits an Fahrweg und Fahrzeug angeordnete Schnittstelle Führmagnet-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 (Führmagnetsystemlänge $L_{sys,FM} = 3,096$ m) Spalte von 46 mm ($2 \cdot 23$ mm) vorhanden. Die kraftübertragende Pol-Leistenlänge beträgt $L_{PL,FM} = 3,050$ m bzw. $L_{PL,FMT} = 1,525$ m. Die Anordnung der Führmagnete und Führmagnetpole bzw. Teilmagnete über die Fahrzeuglänge ist variabel. Eine typische Anordnung der einzelnen Führmagnete ist in Abbildung 4 dargestellt.
- (2) Die mechanischen Kräfte bei Doppelausfall von benachbarten Führmagnetregelkreisen werden über die Anlaufleisten an den Enden der Führmagnete ($b_{z,AL} = 283$ mm; $b_{x,AL} = 5$ mm; siehe Abbildung 34) auf den Fahrweg übertragen.
- (3) Zur Ermittlung der Einwirkungen infolge Reibung sind typische Reibbeiwerte zwischen Führmagnet und Seitenführschiene der Tabelle 7 zu entnehmen.

Ausführungsgrundlage

Fahrweg

- (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.

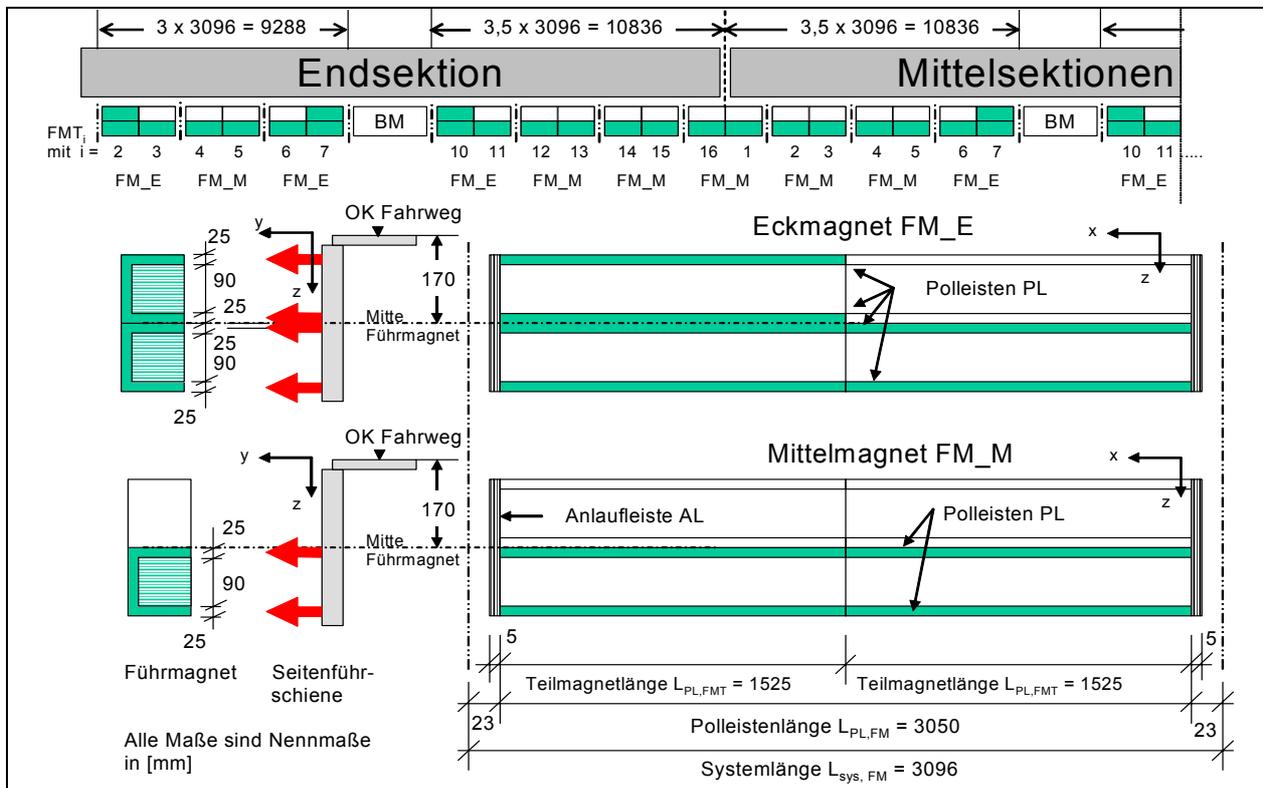


Abbildung 4 - Typische Geometrie der Einwirkungen Führungsmagnet - Seitenführschiene

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.

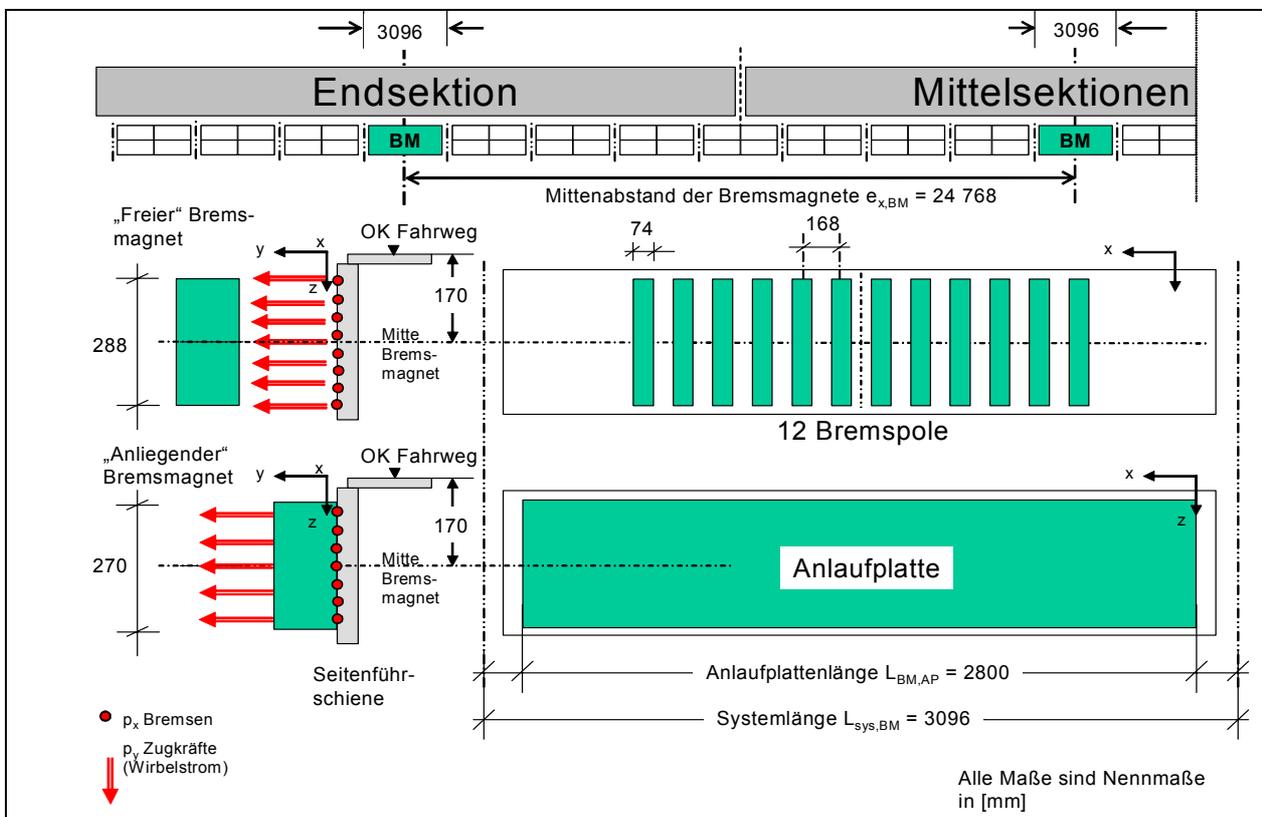


Abbildung 5 - Typische Geometrie der Einwirkungen Bremsmagnet - Seitenführschiene

- (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.

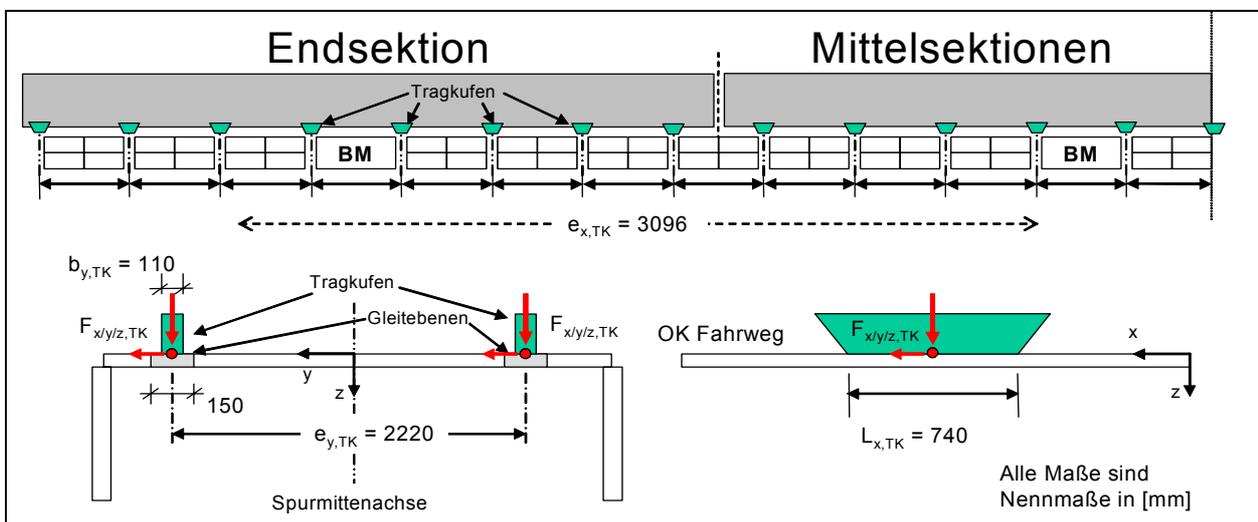


Abbildung 6 - Typische Geometrie der Einwirkungen Tragkufe - Gleitleiste

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 Tragnagnet/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 (Tragnagnet-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 Fahrwegelementen 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 Fahrwegelementen 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)
 - Seitenführschiene, 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 Seitenführschiene 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 Koordinatensystem 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/.

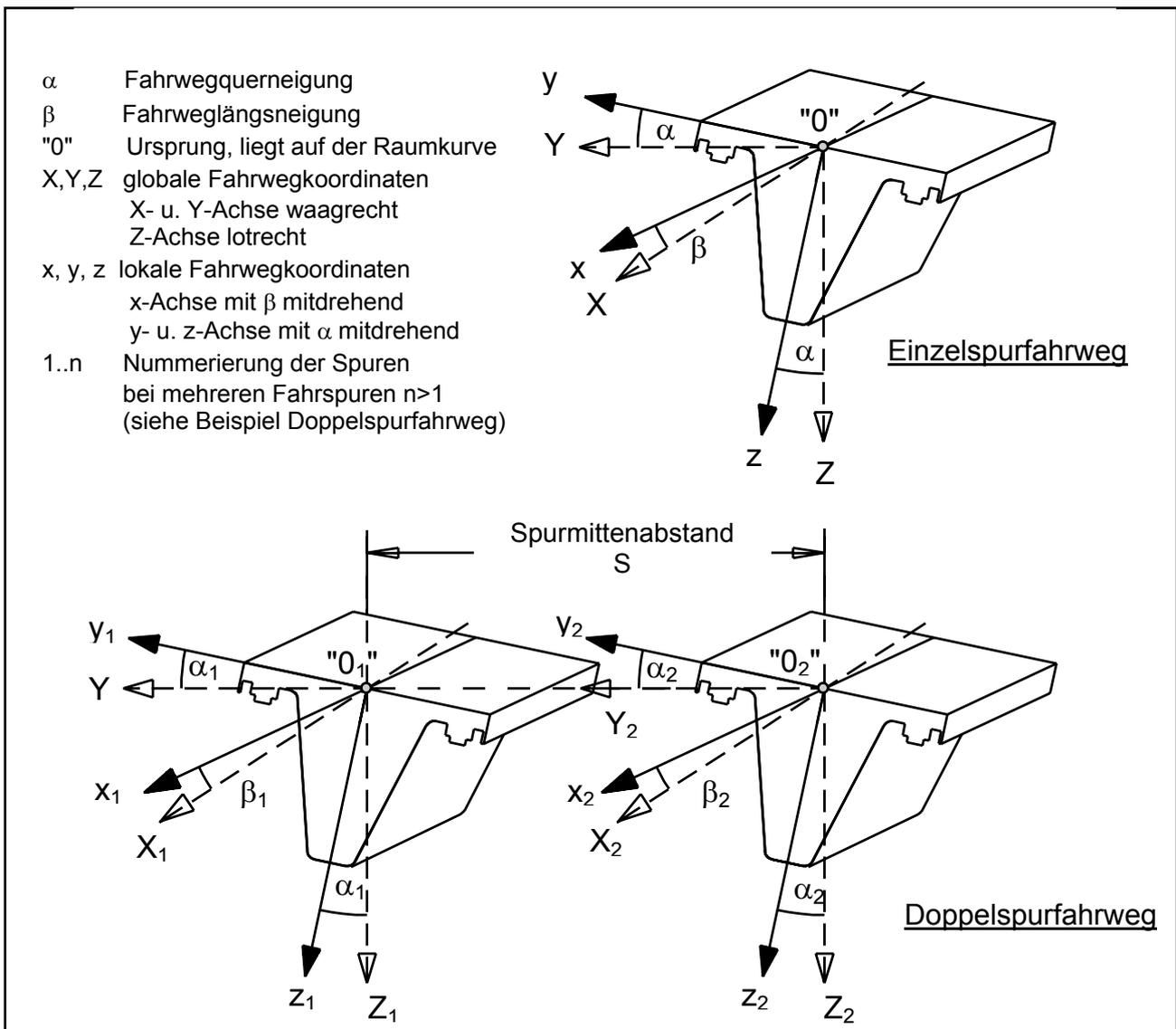


Abbildung 7 - Koordinatensysteme der Einwirkungen

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 Gradientenmitte 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 Newtonsche 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 Fahrweginwirkungen festgelegt. Projektspezifisch können die Beschleunigungswerte nach unten abweichen (Einschränkung der zulässigen Beschleunigungen).

(5) Die Gleichungen (3) und (4) gelten auch für das stehende Fahrzeug.

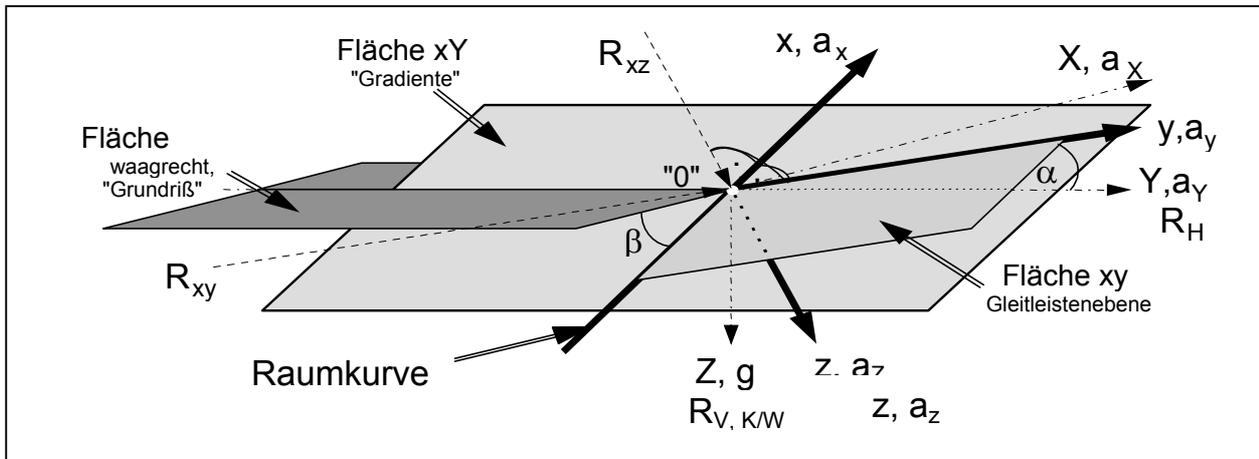


Abbildung 8 - Zusammenhang zwischen Beschleunigungen und Trassierungsparametern

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 Motorabschnittswechsels ist anzusetzen:

$$p_{x, links} = p_{x, rechts} = 0,5 \cdot p_x \tag{ 7}$$

- (7) Beim Wechselschrittverfahren (WSV) ist im Bereich von Motorabschnittswechseln 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.

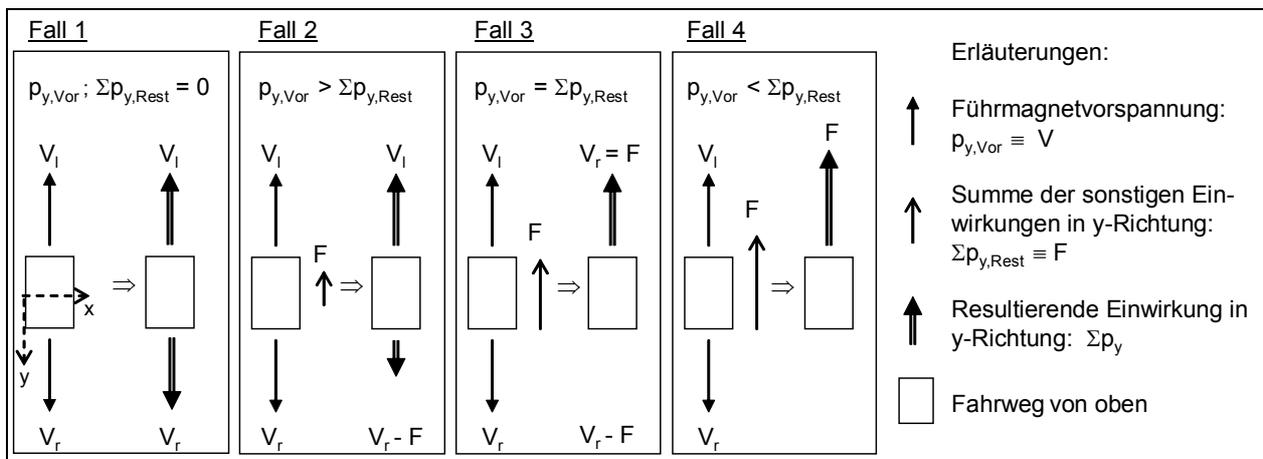


Abbildung 9 - Überlagerungen mit der Führungsmagnetvorspannung

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.

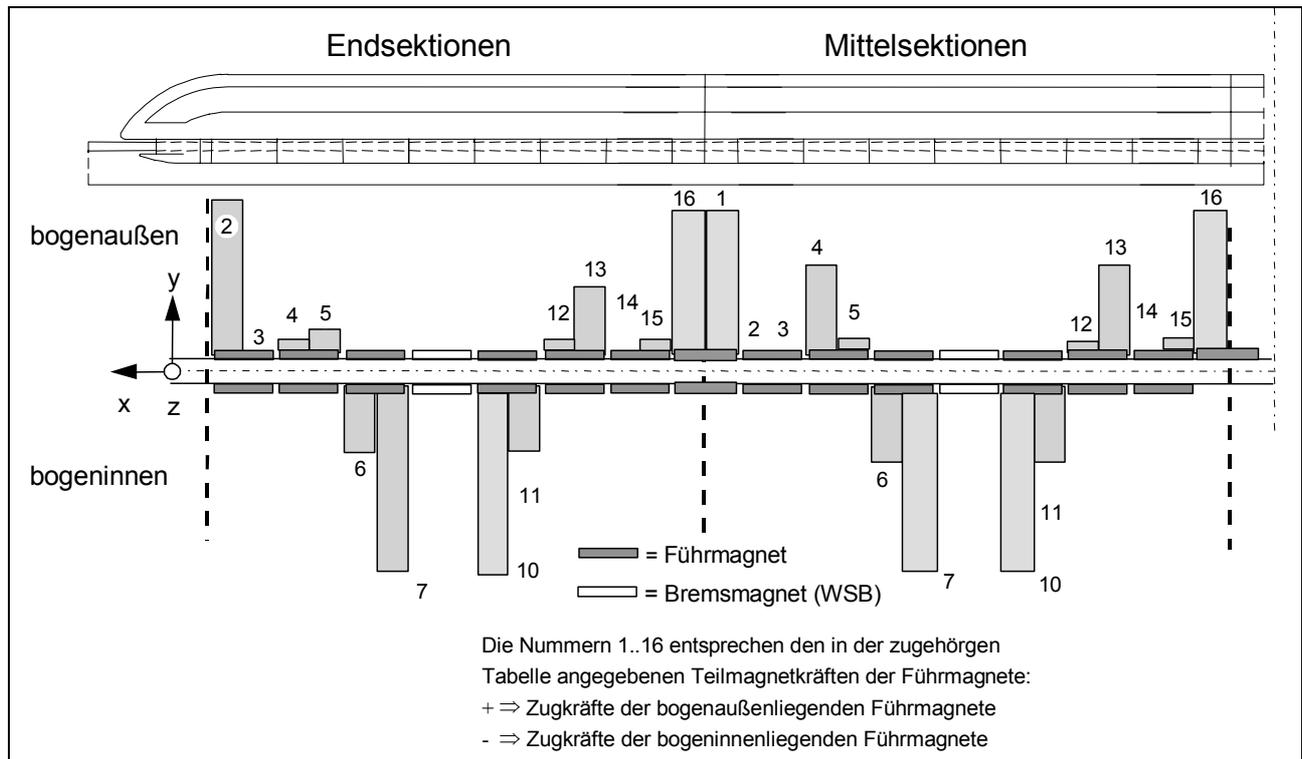
8.2.1.4.3.5 Zwangskräfte bei kleinen Horizontalradien R_H (Q6)

- (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.

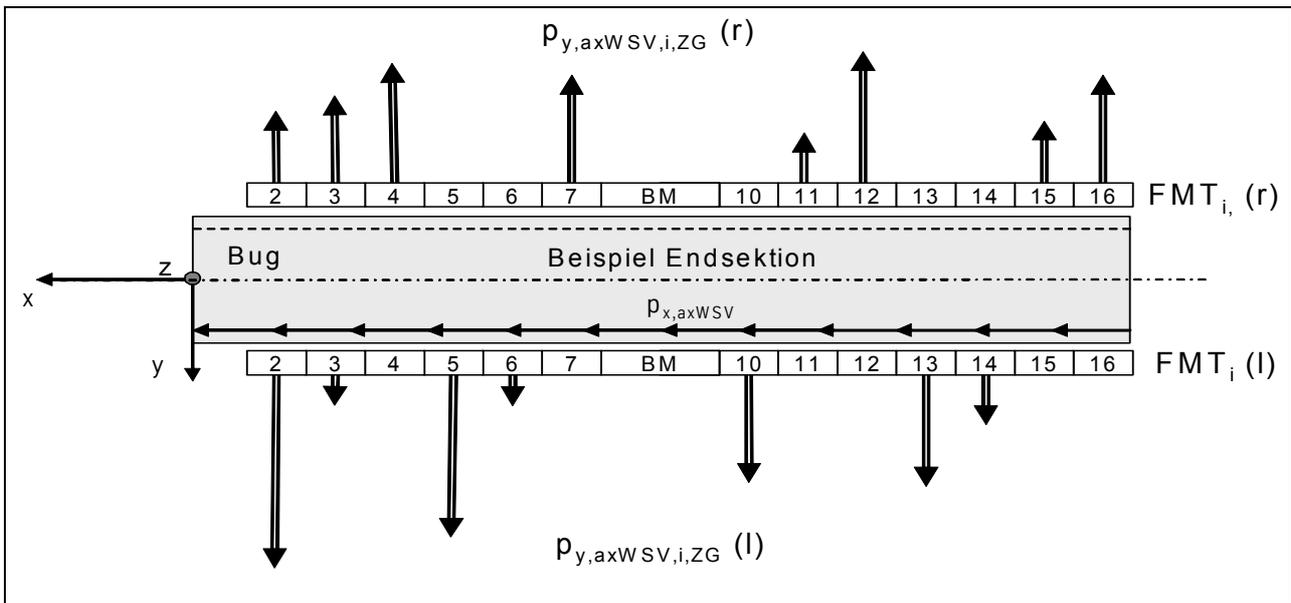


Abbildung 11 - Typische Verteilung der Führungsmagnetkräfte aus $a_{x,WSV}$

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

8.2.1.4.4.2 Bremsen und Beschleunigen

- (1) Die infolge des Schwerpunktabstandes in z-Richtung (siehe Kapitel 8.2.1.3.3) beim Bremsen und Beschleunigen entstehenden Nickmomente der Wagenkästen um die y-Achse sind entsprechend dem Lastbild (Be- und Entlastung) gemäß Abbildung 12 (Kreise der Luftfederverschaltung) zu berücksichtigen (siehe hierzu auch die Kraftverteilung aus der Verkipfung der Trag-Führstruktur nach Kapitel 9.3.1).
- (2) Dieses Lastbild ist der statischen Fahrwegbelastung nach Kapitel 8.2.1.2 ungünstig zu überlagern.
- (3) Bauteildynamik und Regelungsdynamik nach Kapitel 7.4 sind zu berücksichtigen.

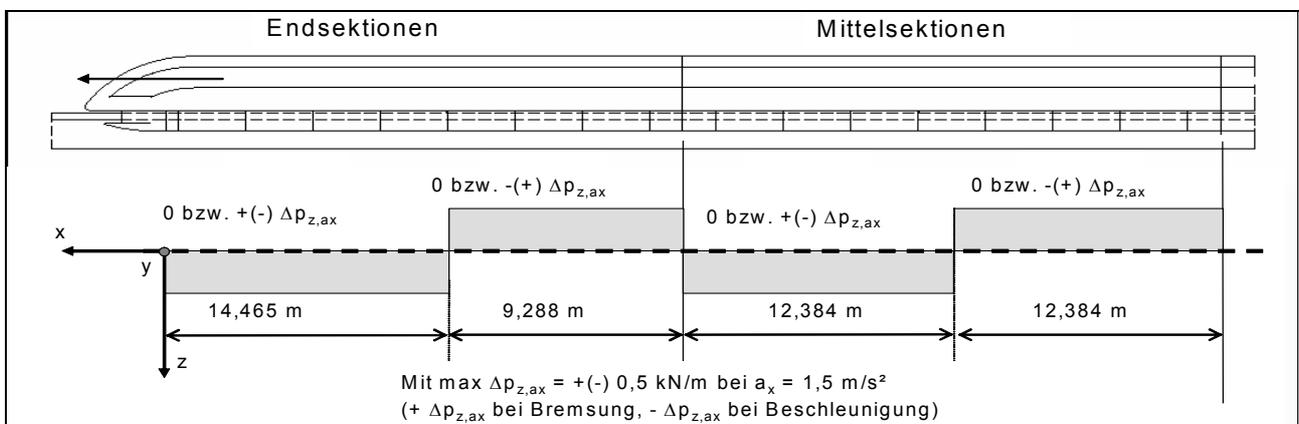


Abbildung 12 - Typische Zusatzlasten in z-Richtung infolge Bremsen/Beschleunigen

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

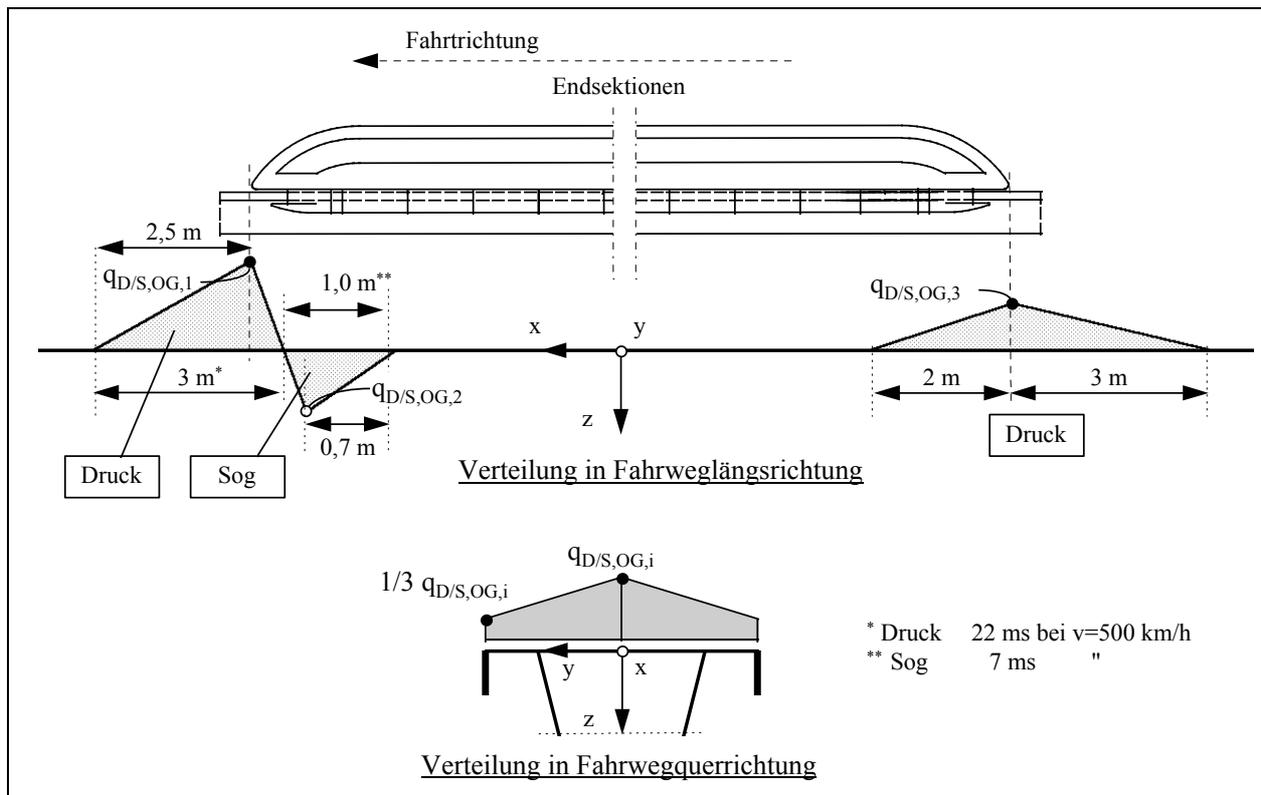


Abbildung 13 - Typische Verteilung der Druck-/Sog-Einwirkung auf die Fahrwegoberseite

- (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.

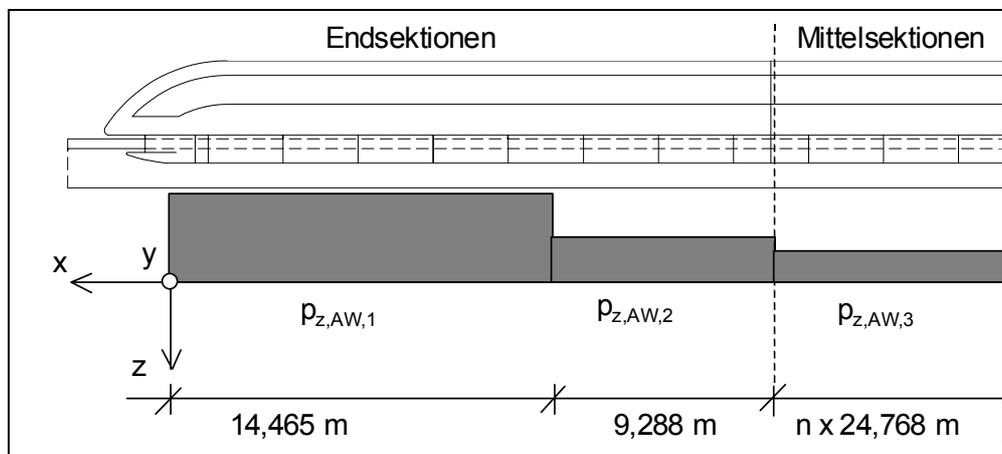


Abbildung 14 - Typisches Lastbild für den aerodynamischen Auftrieb

- (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.

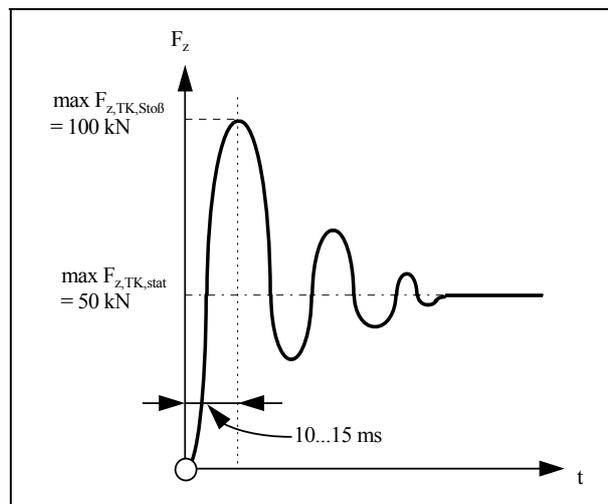


Abbildung 15 - Typischer Kraft-Zeitverlauf der dynamischen Tragkufenkraft

- (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.

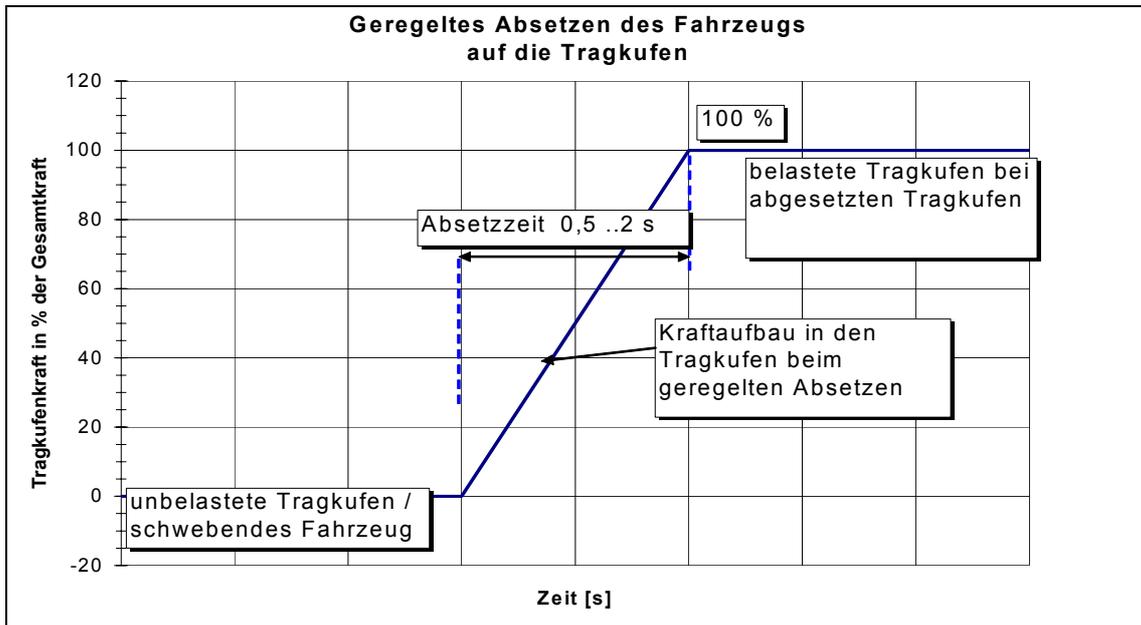


Abbildung 16 – Typische, vereinfachte Zeitfunktion des geregelten Absetzens des Fahrzeugs

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.

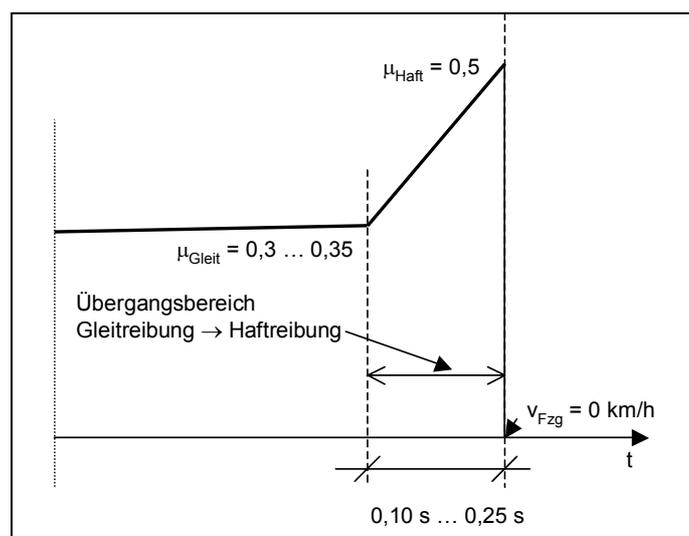


Abbildung 17 - Typische Beschleunigungs-Zeit-Funktion beim Ausgleiten auf den Tragkufen

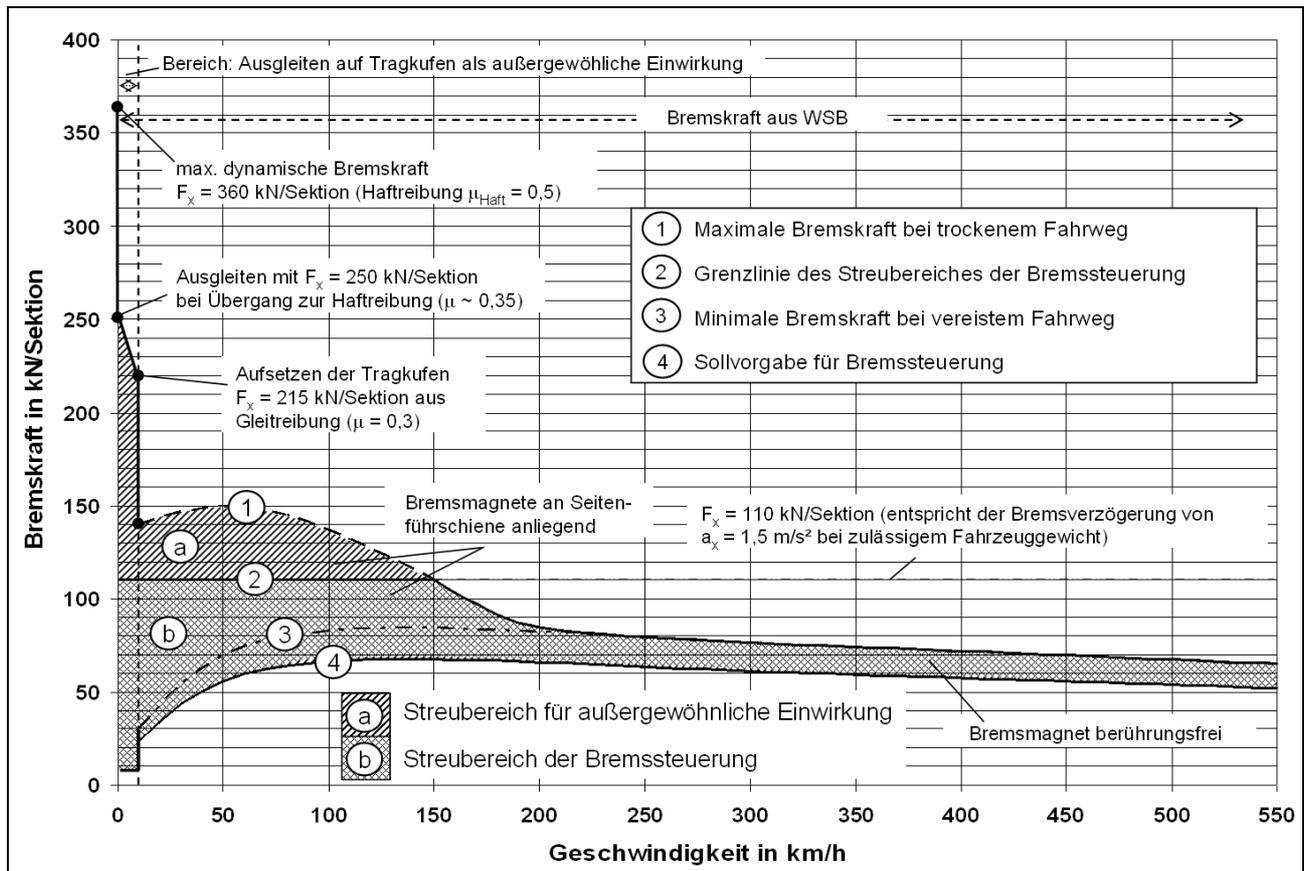


Abbildung 18 - Bremskraftverlauf der „Sicheren Bremse“

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.

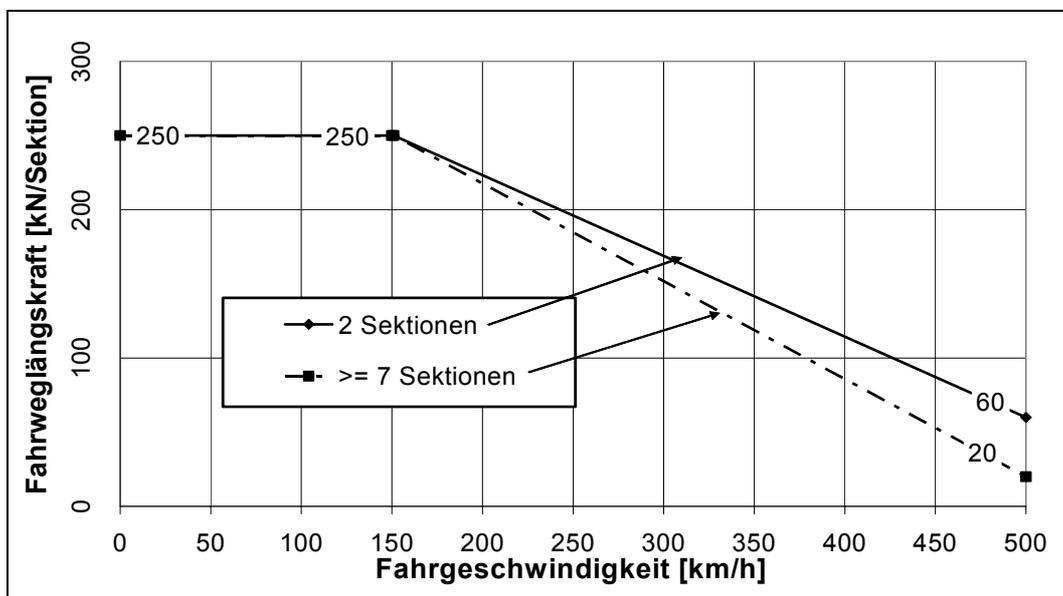


Abbildung 19 - Geschwindigkeitsabhängigkeit der x-Kräfte infolge Fehlfunktion des Antriebs

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

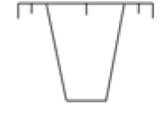
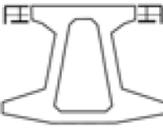
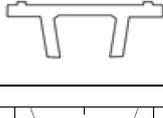
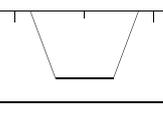
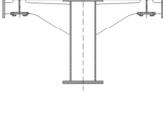
Bauweise	Querschnitt	Temperatur- schwankung T_N	Linearer Tempera- turunterschied $\Delta T_{z,My}$ vertikal [K]	Linearer Tempera- turunterschied $\Delta T_{y,Mz}$ lateral [K]
		1	2	3
Betonbauweise (Bauhöhe: 2 m)		$-15\text{ °C} \leq T_N \leq 35\text{ °C}$	$-5 \leq \Delta T_{z,My} \leq 17$	$-10 \leq \Delta T_{y,Mz} \leq 10$
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 $v_{b,10} = 36$ m/s
 - Windzone II $v_{b,10} = 40$ m/s
 - Windzone III $v_{b,10} = 46$ m/s
 - Windzone IV $v_{b,10} = 52$ 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		
		$h_{G,Gelände} \leq 4,0$ m	$4,0$ m $<$ $h_{G,Gelände} \leq 13,0$ m	$13,0$ m $<$ $h_{G,Gelände} \leq 20,0$ 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 Pfeiler 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 .

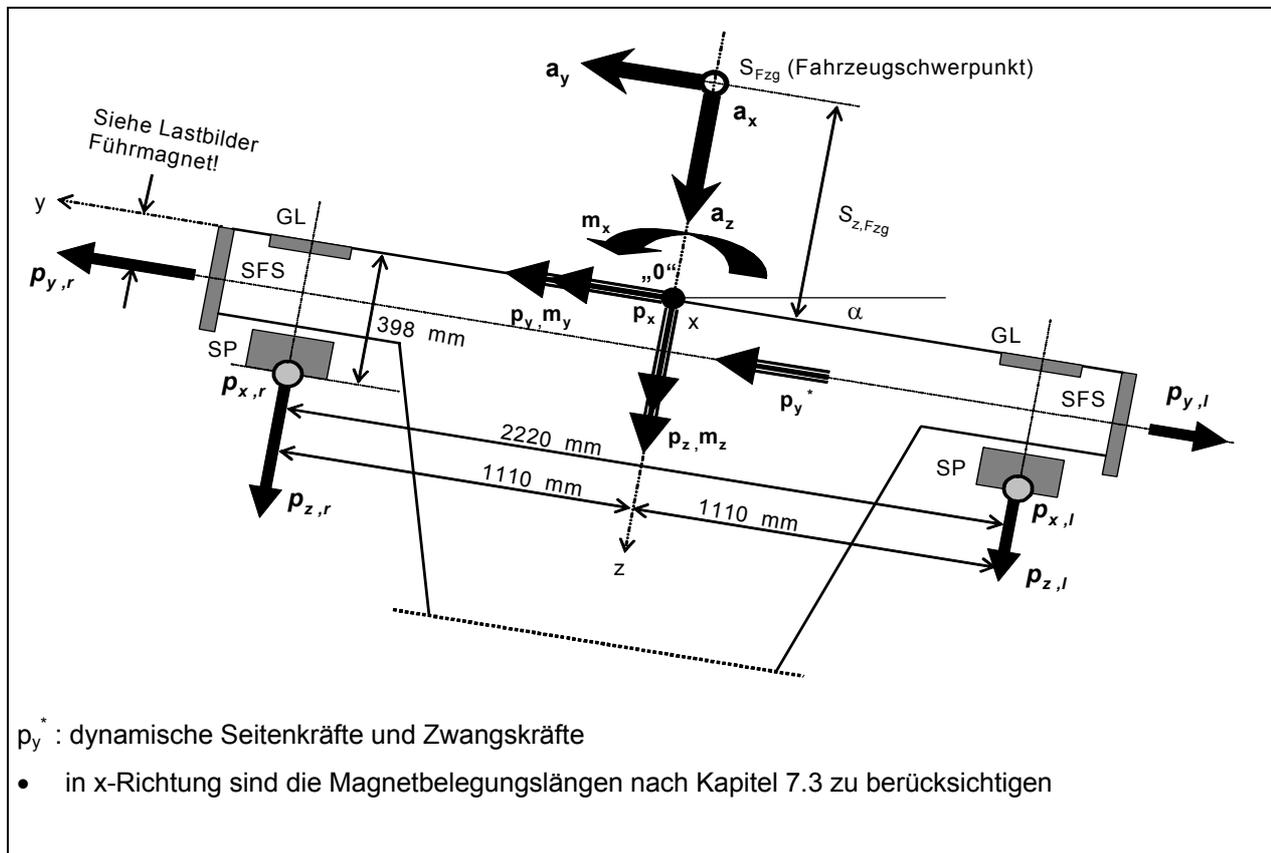


Abbildung 20 - Globales Lastbild des schwebenden Fahrzeugs

- (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.

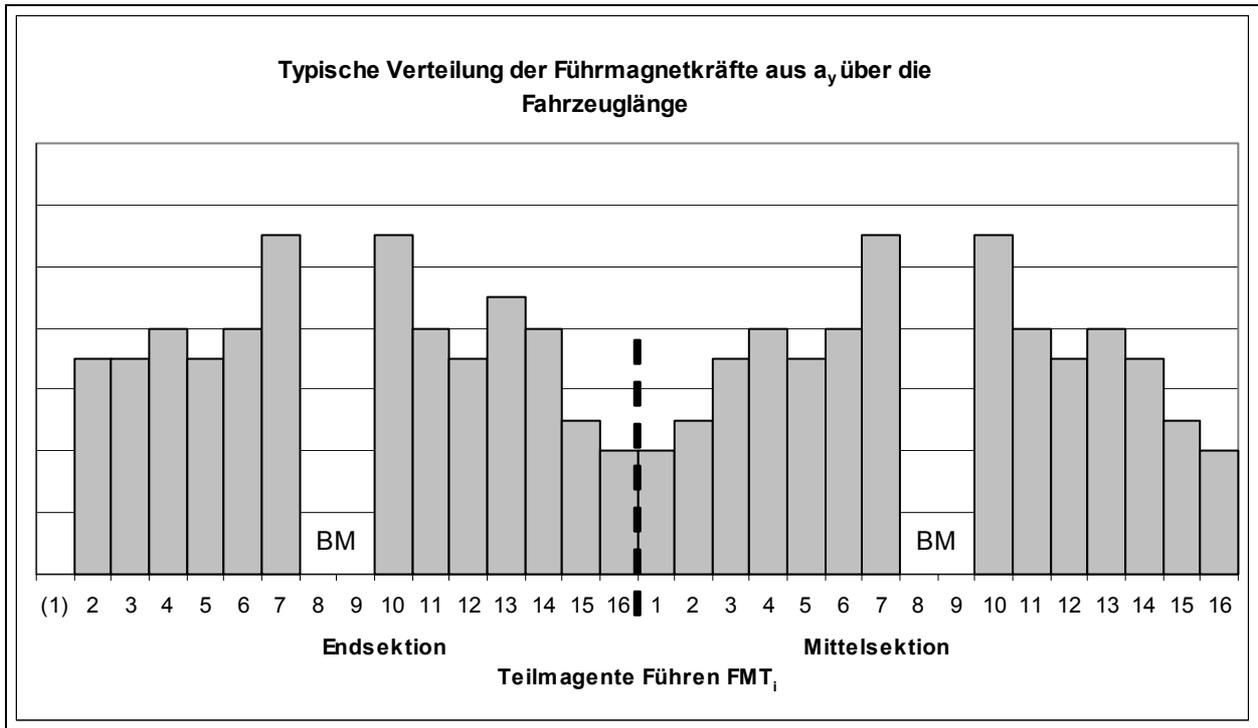


Abbildung 22 - Typisches Lastbild der Kraftverteilung von $p_{y,ay}$ nach Gleichung (10)

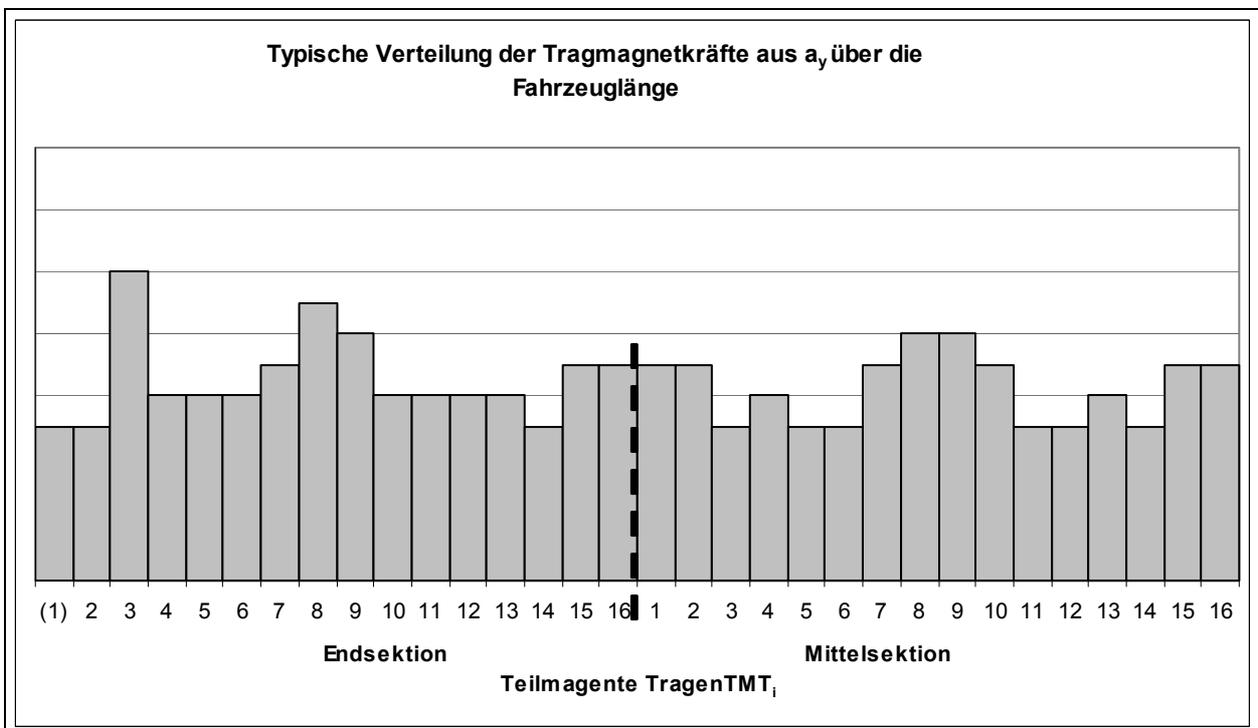


Abbildung 23 - Typisches Lastbild der Kraftverteilung von $p_{z,ay}$ nach Gleichung (11)

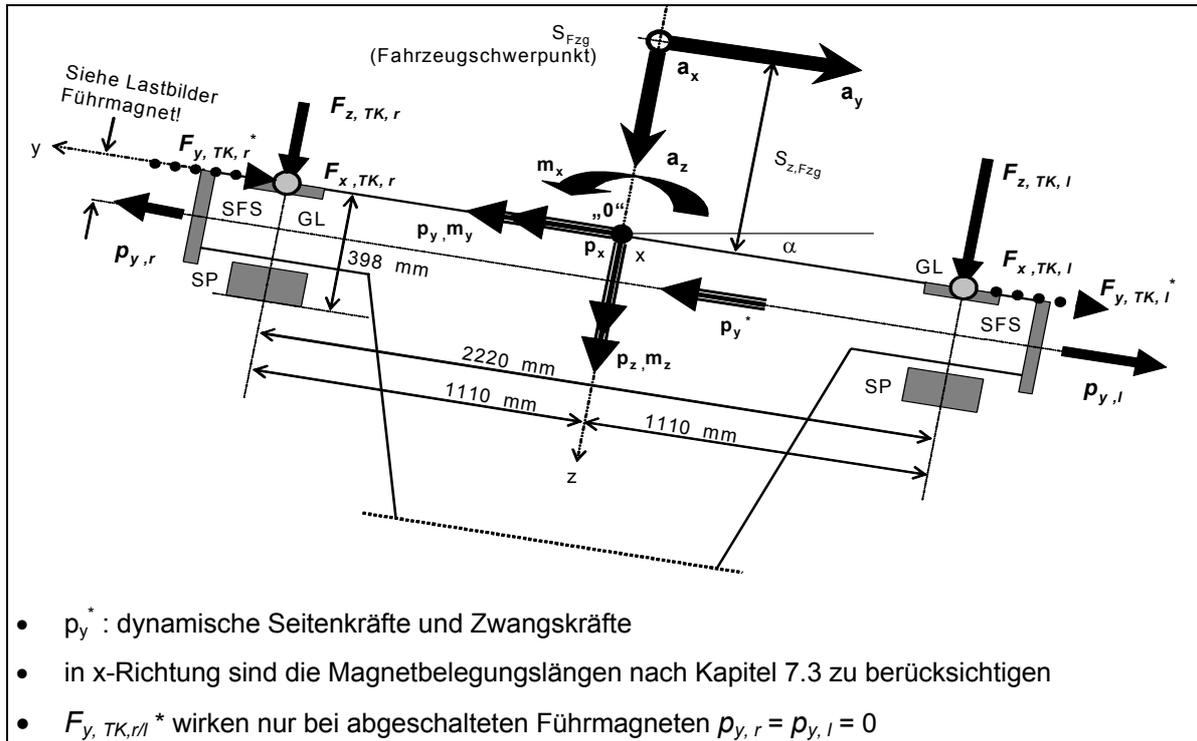


Abbildung 24 - Globales Lastbild des absetzenden / stehenden Fahrzeugs

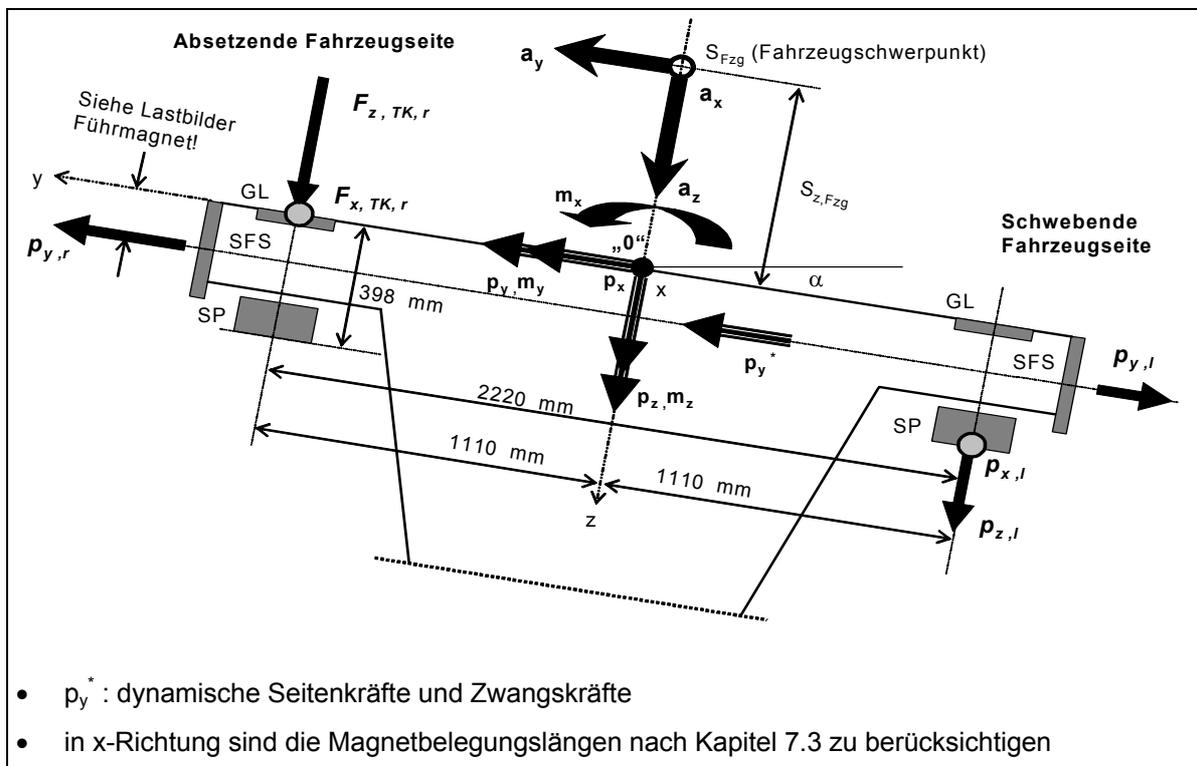


Abbildung 25 - Globales Lastbild für die Bemessungssituation Q11i

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 .

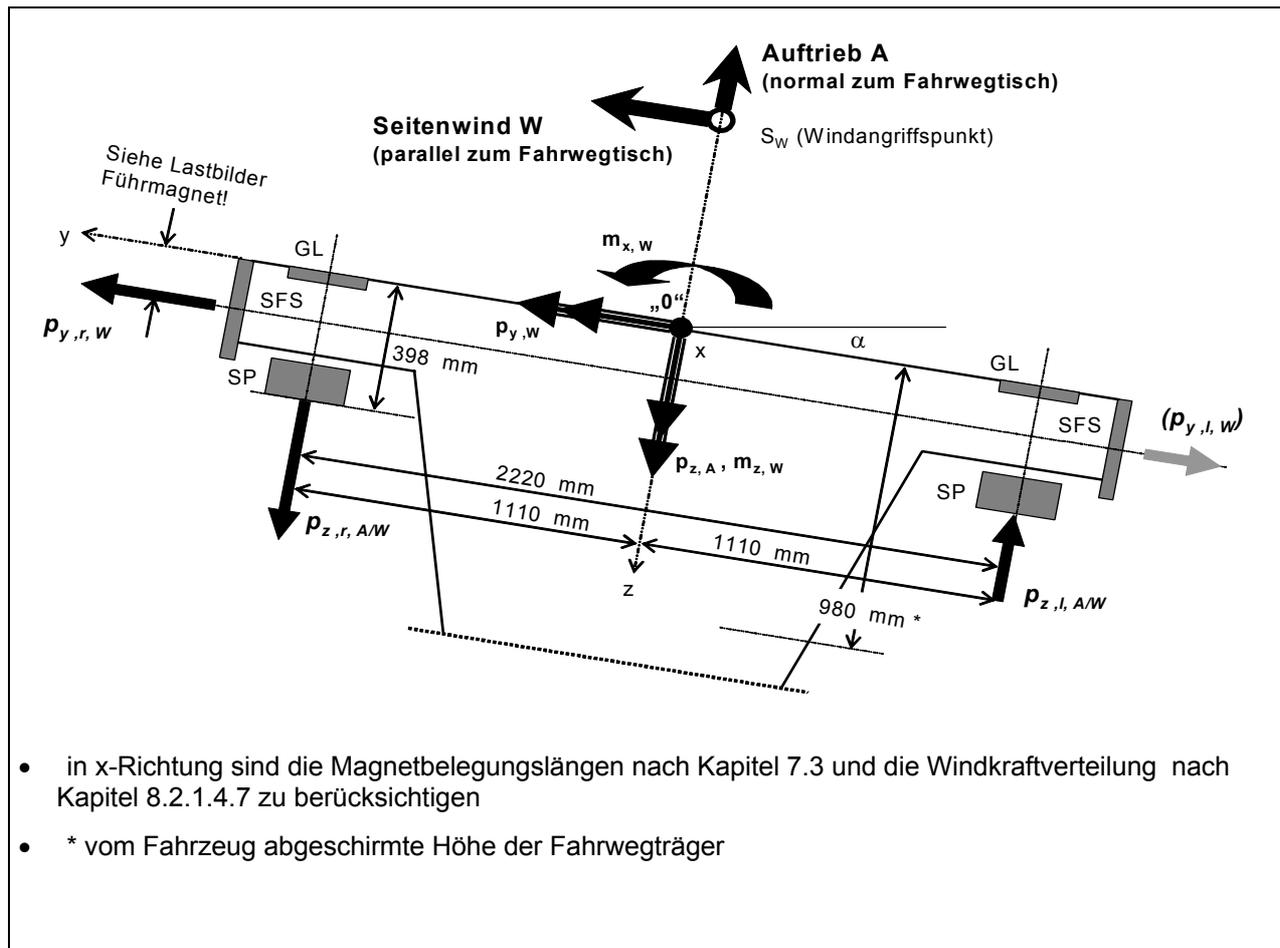


Abbildung 26 - Globales Lastbild "Wind" und "Auftrieb" bei schwebendem Fahrzeug

- (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.

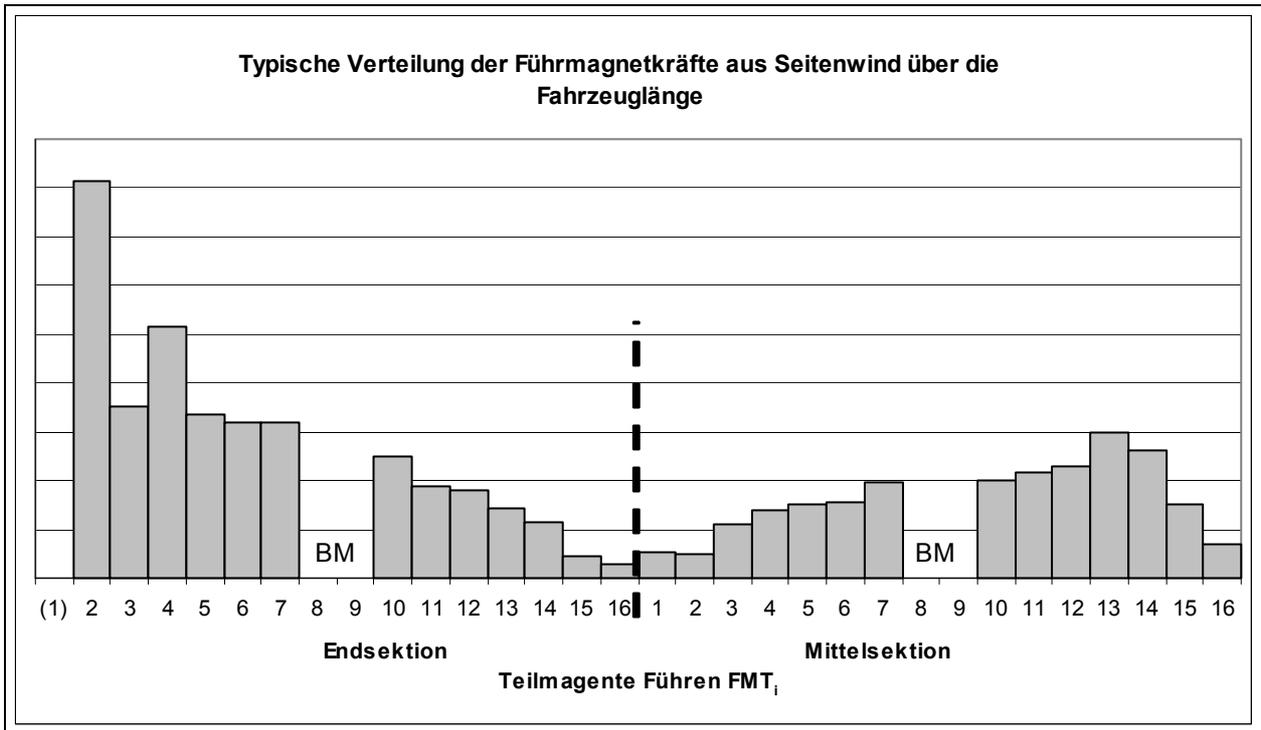


Abbildung 27 - Typisches Lastbild für $p_{y,W}$ bei $v_W = 25$ m/s und $v_{Fzg} = 500$ km/h

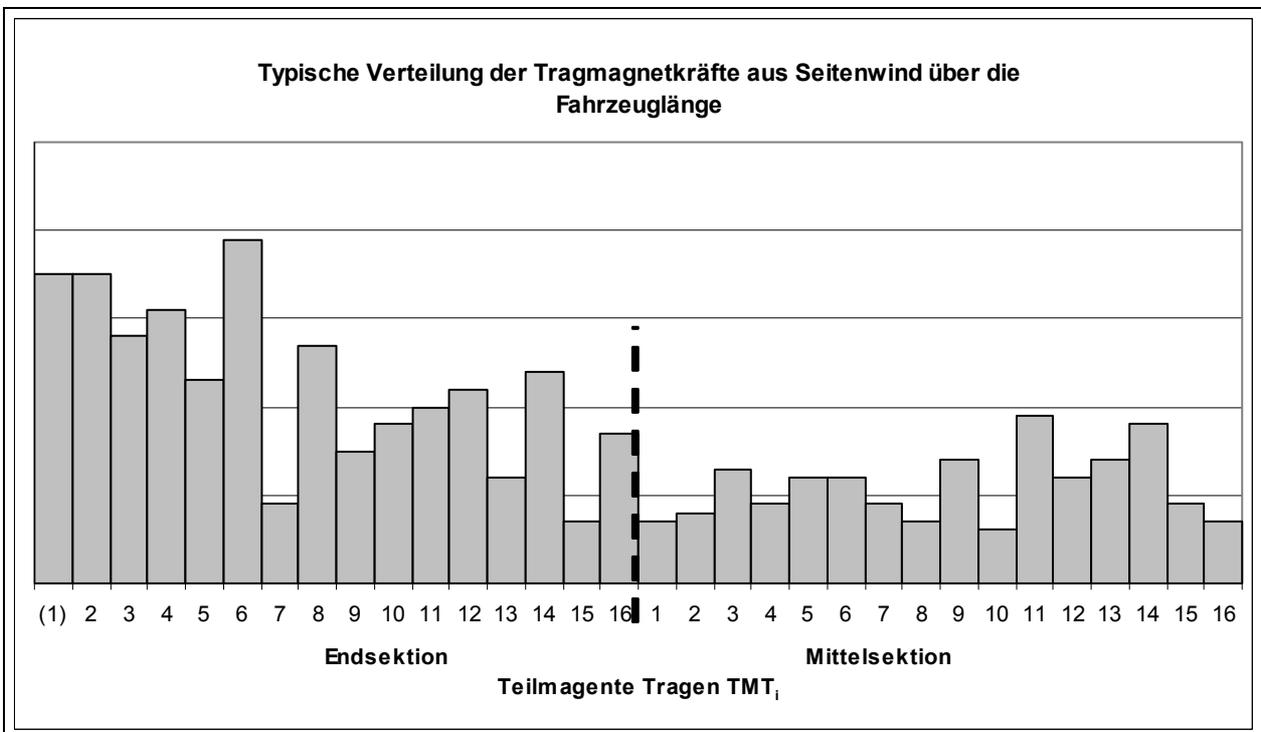


Abbildung 28 - Typisches Lastbild für $p_{z,W}$ bei $v_W = 25$ m/s und $v_{Fzg} = 500$ km/h

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;

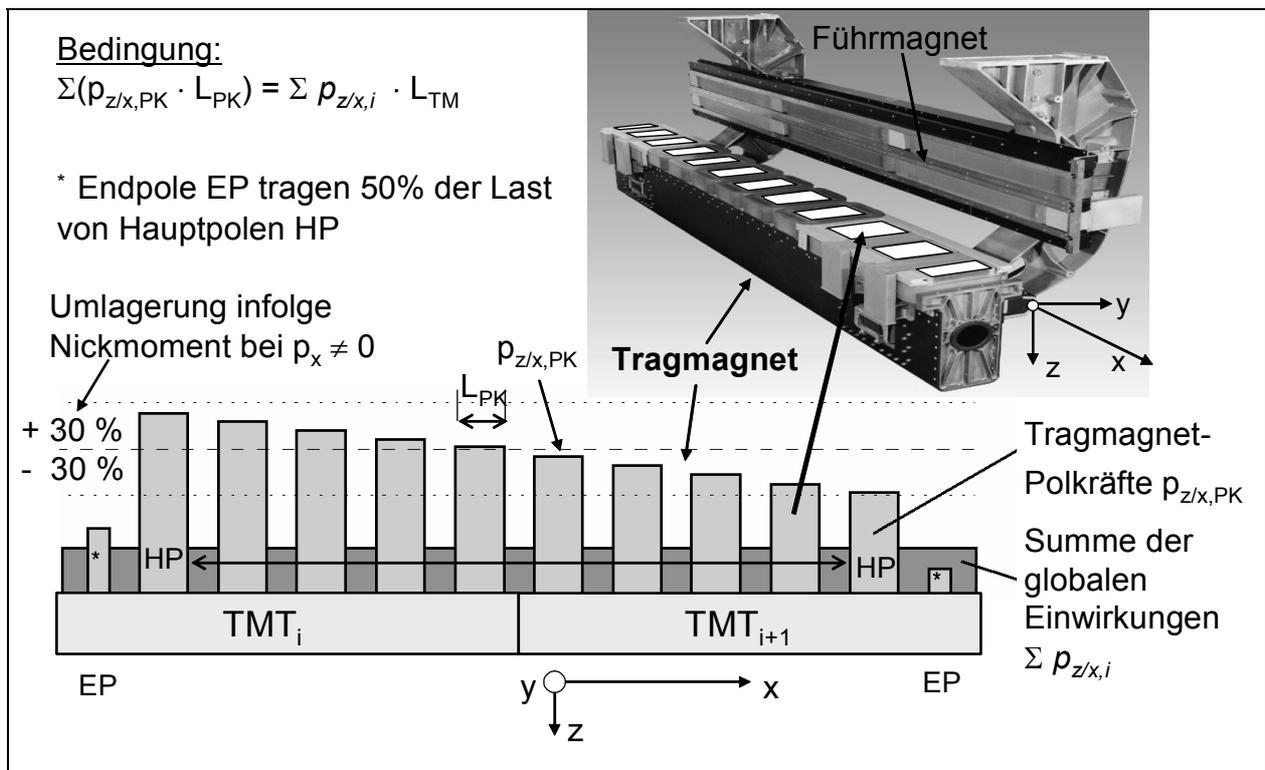


Abbildung 29 - Typisches Lastbild Tragmagnet bei Betrieb ohne technische Ausfälle

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.

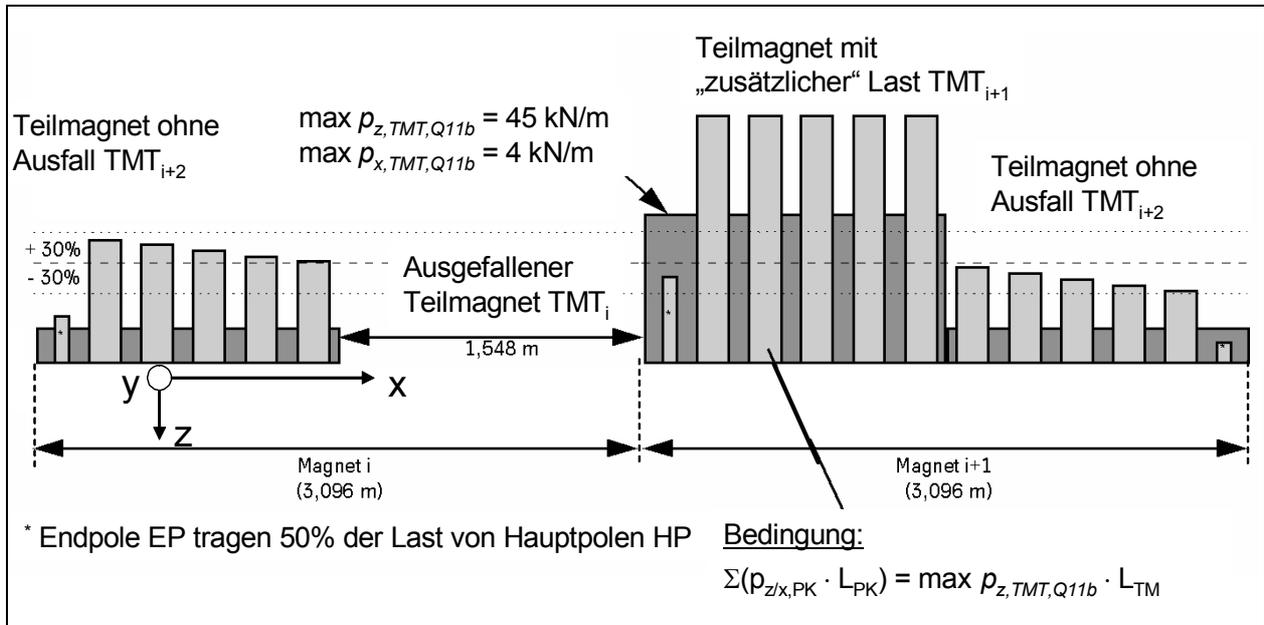


Abbildung 30 - Typisches Lastbild bei Ausfall eines Magnetregelkreises Tragen (Q11b)

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.

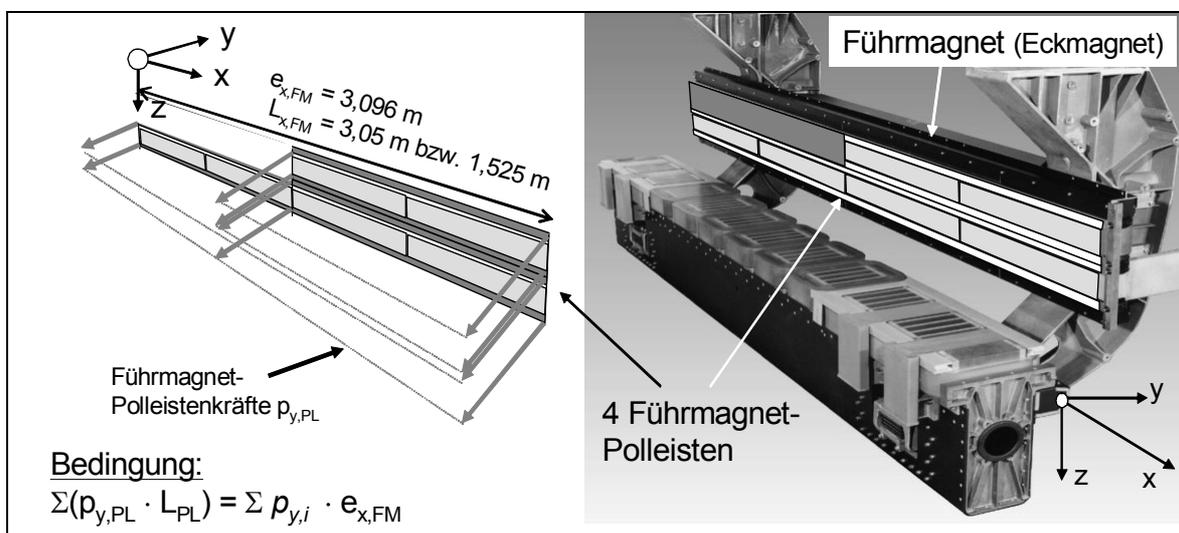


Abbildung 31 - Typisches Lastbild eines Führmagneten (Eckmagnet)

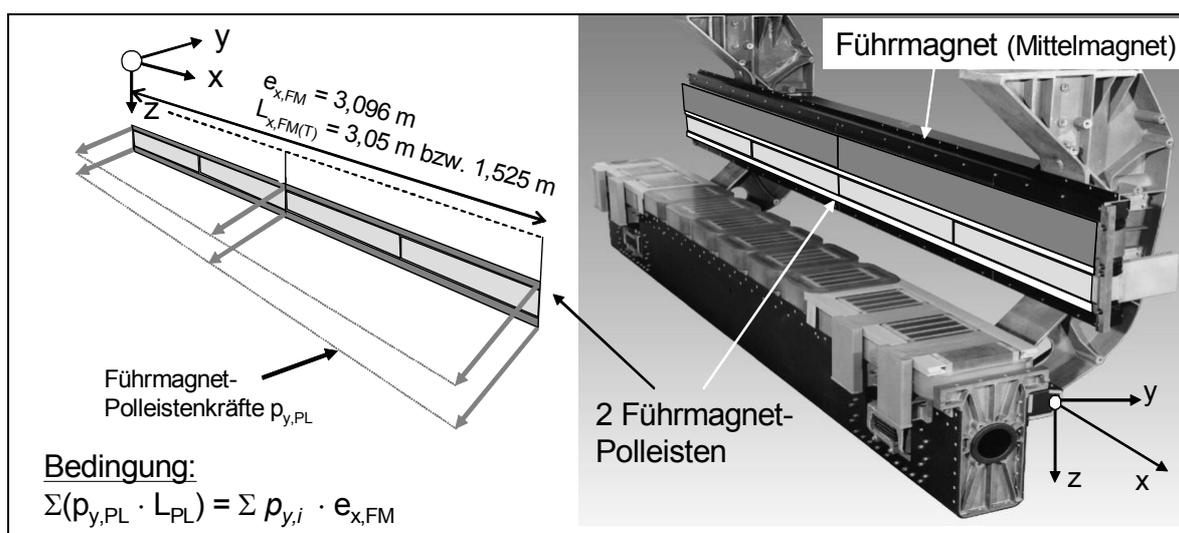


Abbildung 32 - Typisches Lastbild eines Führmagneten (Mittelmagnet)

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.

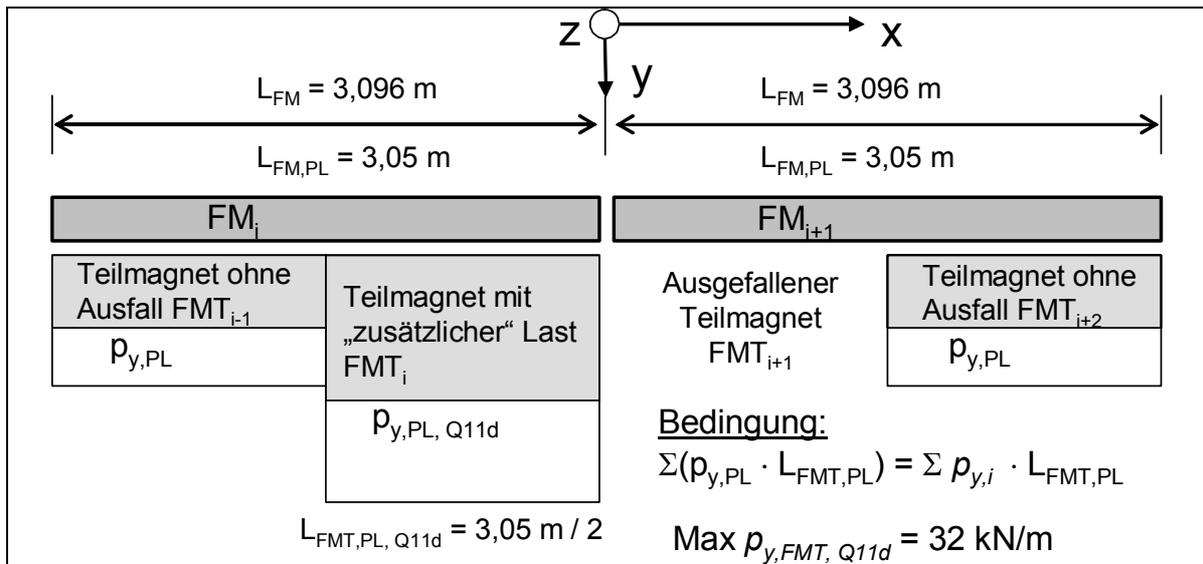


Abbildung 33 - Typisches Lastbild bei Ausfall eines Magnetregelkreises Führen (Q11d)

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.

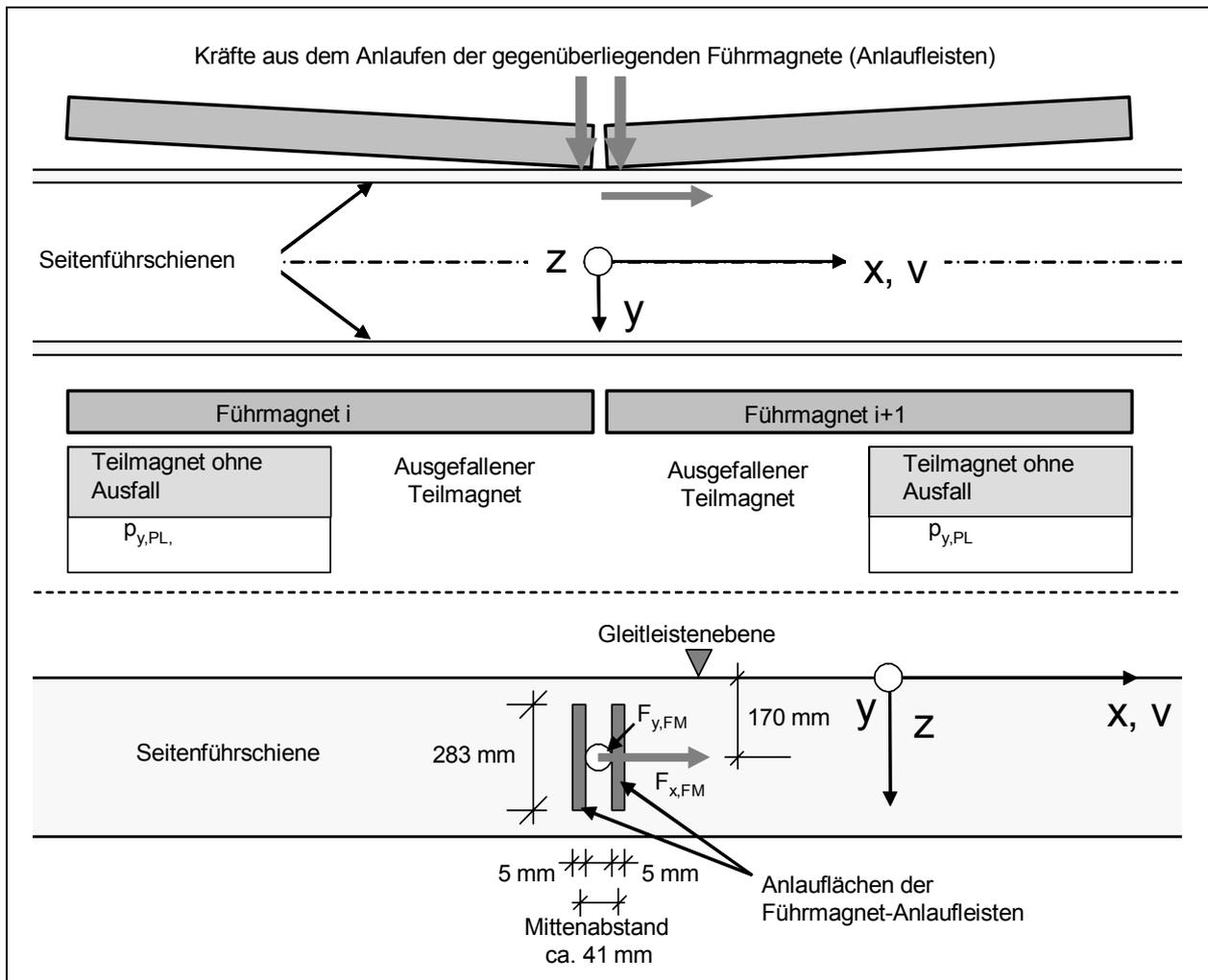


Abbildung 34 - Typisches Lastbild bei Doppelausfall von Magnetregelkreisen Führen (Q11e)

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).

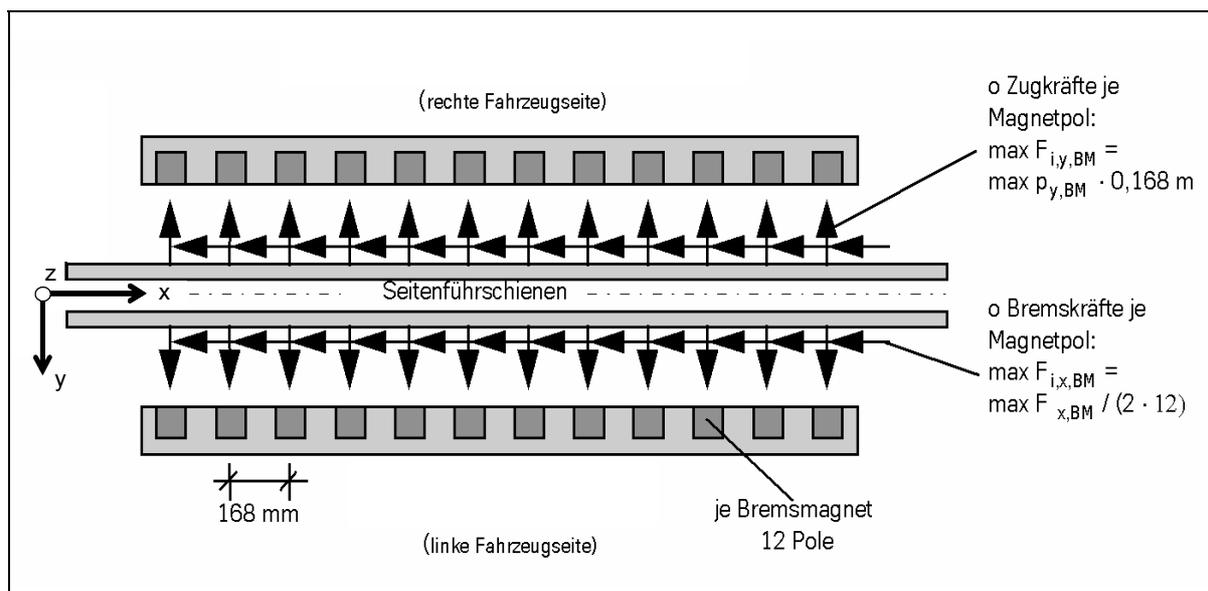


Abbildung 35 - Typisches Lastbild der Bremsmagnete (berührungslos bzw. anliegend)

9.3.3.2 Lokale Bauteildynamik

Siehe Kapitel 7.4.4.

9.3.4 Schnittstelle Tragkufe - Gleitleiste

9.3.4.1 Einwirkungen aus häufigen Bemessungssituationen (Q1...Q10)

- (1) Das Lastbild der Tragkufen infolge Einwirkungen bei häufigen Betriebssituationen (stehendes absetzendes Fahrzeug bzw. stehendes abgesetztes Fahrzeug) ist Abbildung 36 zu entnehmen (siehe auch Kapitel 9.2).
- (2) *Alle Einwirkungen aus dem Fahrzeug werden dabei über die Tragkufen in den Fahrweg eingeleitet.*

9.3.4.2 Einwirkungen aus nicht häufigen Bemessungssituationen

9.3.4.2.1 Doppelausfall von Magnetregelkreisen Tragen (Q11c)

- (1) Als Einwirkung aus der Tragkufe ist die in Kapitel 8.2.1.5.4 angegebene max. Stoßkraft anzusetzen. Dabei ist davon auszugehen, dass die direkt der Tragkufe zugeordneten 2 Teilmagnete Tragen (TMT_i und TMT_{i+1}) inaktiv sind.

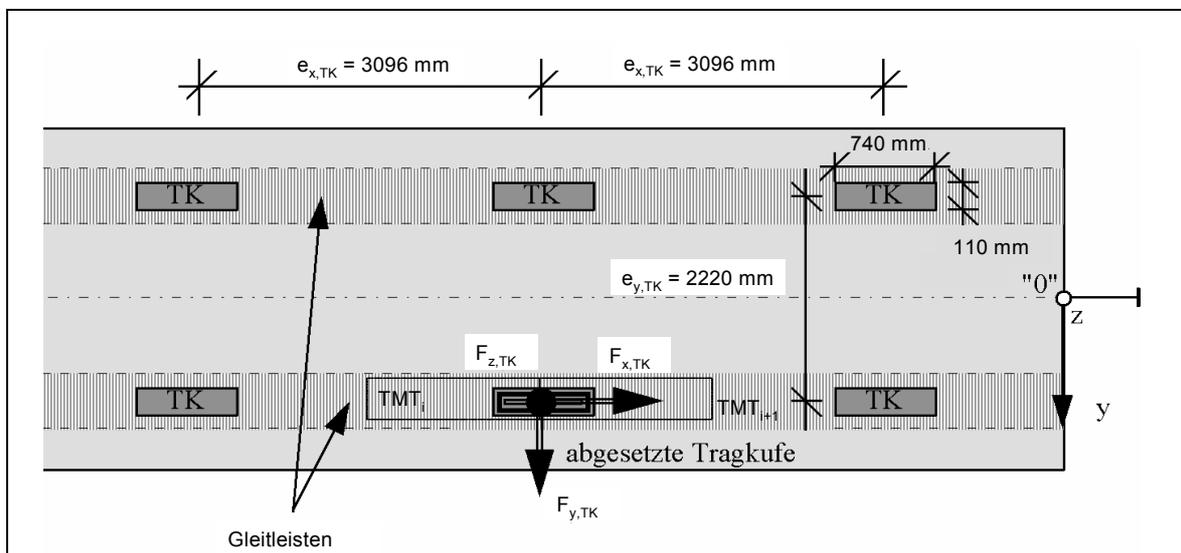


Abbildung 36 - Typisches Lastbild der Tragkufen

9.3.4.2.2 Einsatz der fahrzeugseitigen „Sicheren Bremse“ (Q11f)

- (1) Für die Bemessungssituation „absetzendes Fahrzeug“ der „Sicheren Bremse“ sind die Lastbilder der Abbildung 36 und Abbildung 24 anzusetzen.

9.3.4.2.3 Einseitiges Absetzen des Fahrzeugs (Q11i)

- (1) *Bei der Bemessungssituation "Einseitiges Absetzen des Fahrzeugs" tragen die auf einer Fahrzeugseite angeordneten Kufen (siehe auch Abbildung 25).*

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 Personenzüge.
 - 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

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	Zwangskräfte 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)

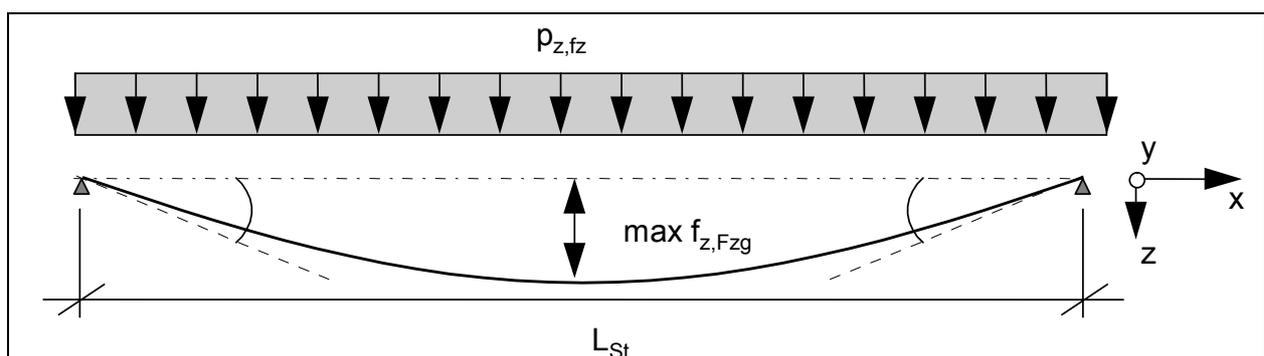


Abbildung 37 - Zulässige Verformung in z-Richtung infolge Fahrzeug bei Einfeldträgern

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:

$$\max f_{z,Fzg} \leq L_{St} / 4800 \quad (29)$$

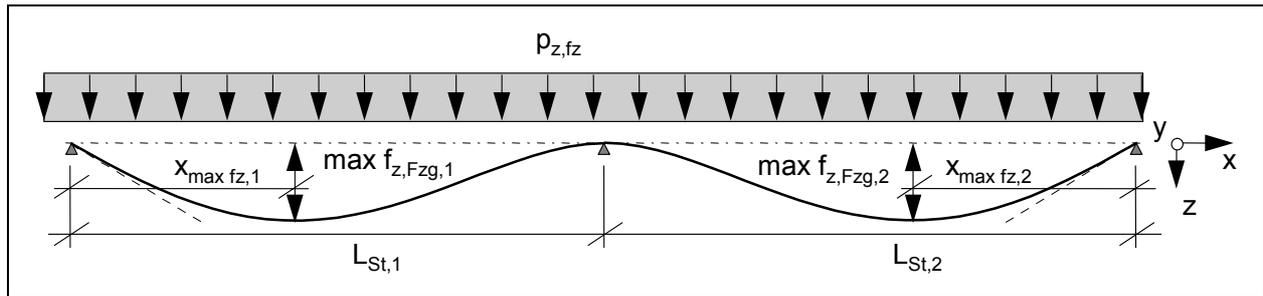


Abbildung 38 - Durchbiegung in z-Richtung bei Zweifeldträgern mit gleicher Stützweite

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.

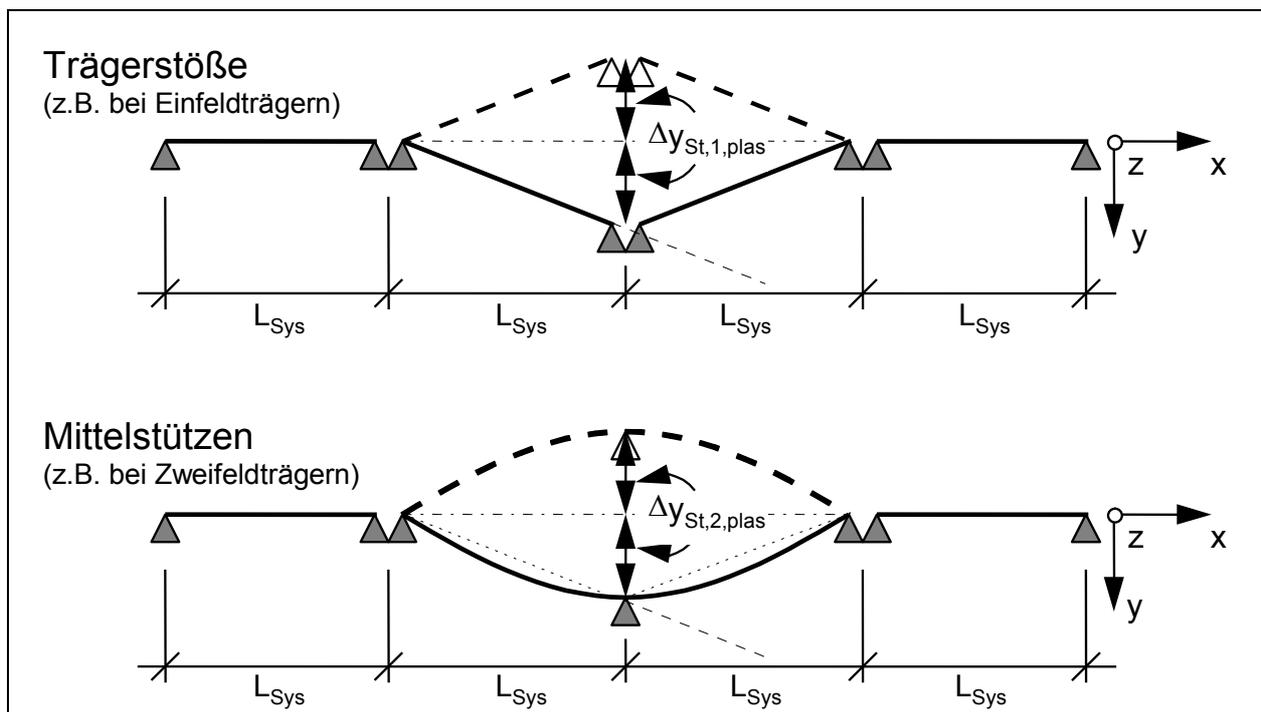


Abbildung 39 - Plastische Verformungen der Unterbauten in y-Richtung (Beispiel)

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 $k \leq 1$

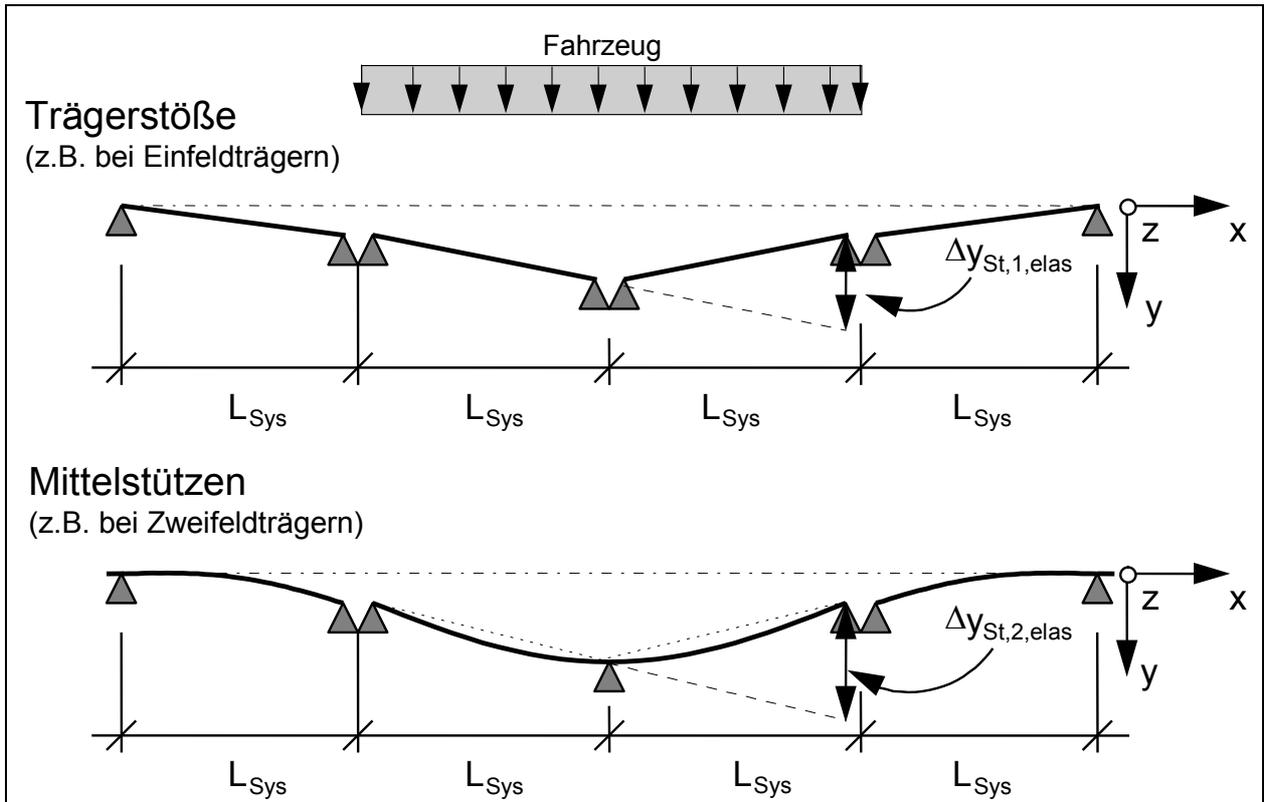


Abbildung 40 - Elastische Verformungen der Unterbauten in y-Richtung (Beispiel 1)

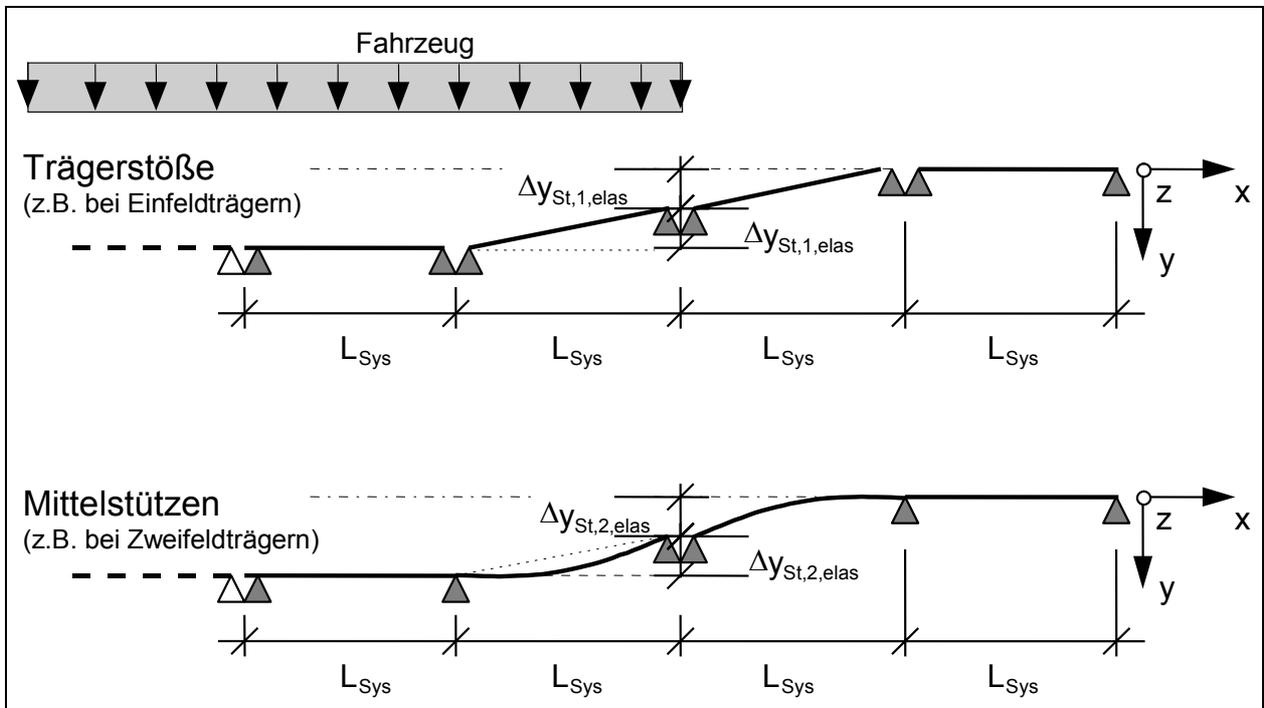


Abbildung 41 - Elastische Verformungen der Unterbauten in y-Richtung (Beispiel 2)

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 konstruktionsbauart- 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.

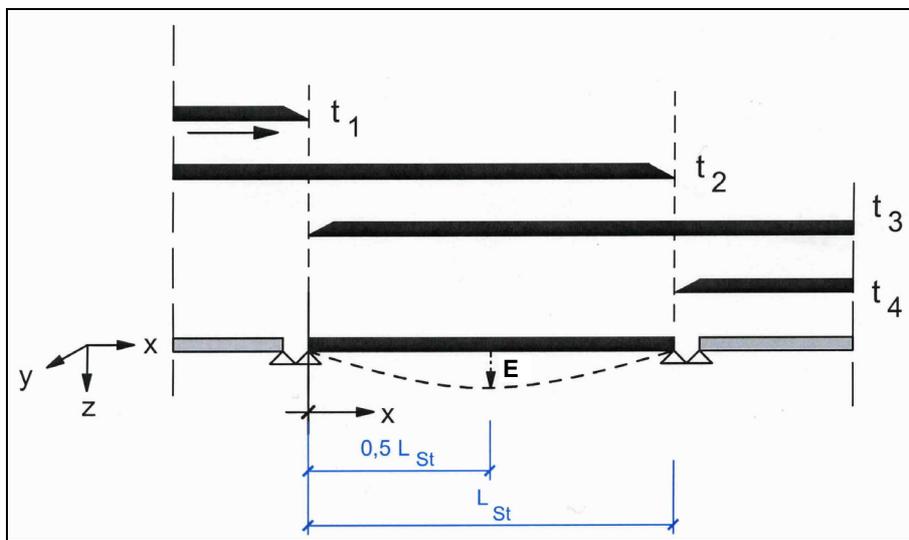


Abbildung 42 – Fahrzeugüberfahrt am Einfeldträger mit Bewertungsgröße w in Feldmitte

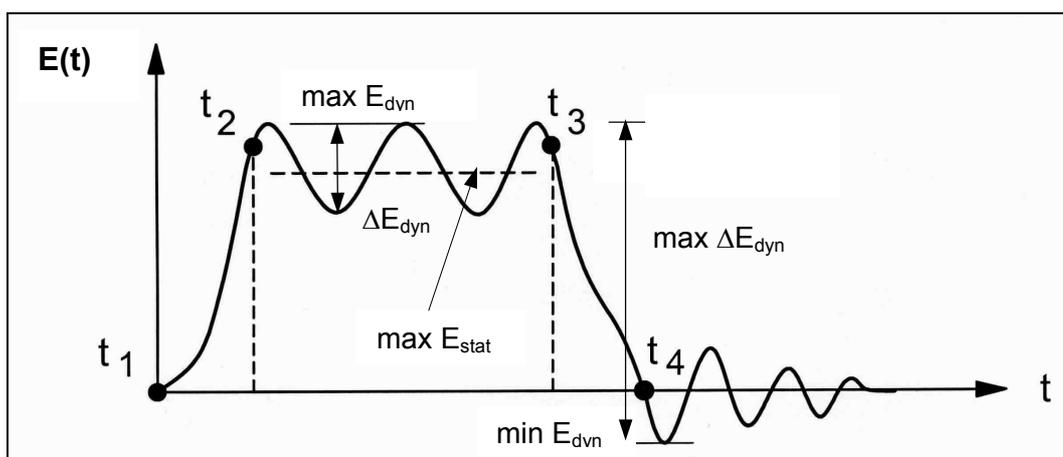


Abbildung 43 - Beanspruchungs-Zeit-Verlauf infolge Fahrzeugüberfahrt am Einfeldträger

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 konstanter 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 $\varphi_{B_{g,z,WSE}}$ dienen zur Ermittlung der maximalen Beanspruchungsamplitude $\max \Delta E_{dyn} = \varphi_{B_{g,z,WSE}} \cdot \max E_{stat} = \max E_{dyn} - \min E_{dyn}$, 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:

$$\Delta E_{dyn} = 2 \cdot \gamma_{Fl} \cdot \max E_{stat} \cdot (\varphi_{B_{g,z}} - 1) < \Delta E_{cut-off-limit} / \gamma_{Mf}$$

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;

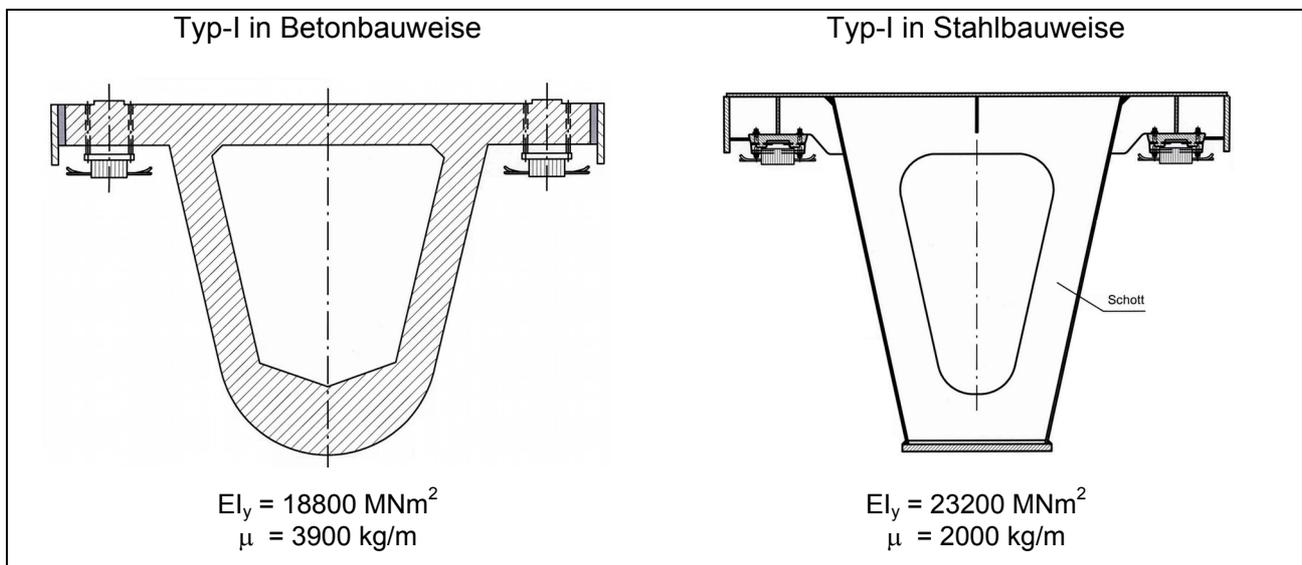


Abbildung 44 - Fahrwegträger für Anwendungsbeispiel – Querschnitte im Feldbereich

(3) Ermittlung der k-Werte zum Ablesen der globalen Schwingbeiwerte aus den Diagrammen

- Für den Fahrwegträger Typ-I in Betonbauweise:

$$f_{z,1} = \frac{\pi}{2 \cdot 24,768^2} \cdot \sqrt{\frac{1,88 \cdot 10^{10}}{3900}} = 5,62 \text{ Hz} \rightarrow k = \frac{L_{\text{St}} \cdot f_{z,1}}{V_{\text{Fzg}}} = \frac{24,768 \cdot 5,62}{125} = 1,11$$

$$\Rightarrow \text{aus Abbildung 55: } \varphi_{\text{Bg,z}} = 1,15 + 1,0 \cdot (1,4 - k) = 1,44$$

$$\Rightarrow \text{aus Abbildung 56: } \varphi_{\text{Bg,z,WSE}} = 1,8$$

- für den Fahrwegträger Typ-I in Stahlbauweise:

$$f_{z,1} = \frac{\pi}{2 \cdot 24,768^2} \cdot \sqrt{\frac{2,32 \cdot 10^{10}}{2000}} = 8,72 \text{ Hz} \rightarrow k = \frac{24,768 \cdot 8,72}{125} = 1,73$$

$$\Rightarrow \text{aus Abbildung 55: } \varphi_{\text{Bg,z}} = 1,15$$

$$\Rightarrow \text{aus Abbildung 56: } \varphi_{\text{Bg,z,WSE}} = 1,3$$

(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 $\varphi_{\text{Bg,z,WSE}}$ 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	Fahrzeuglänge	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 Fahrzeuglängen 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

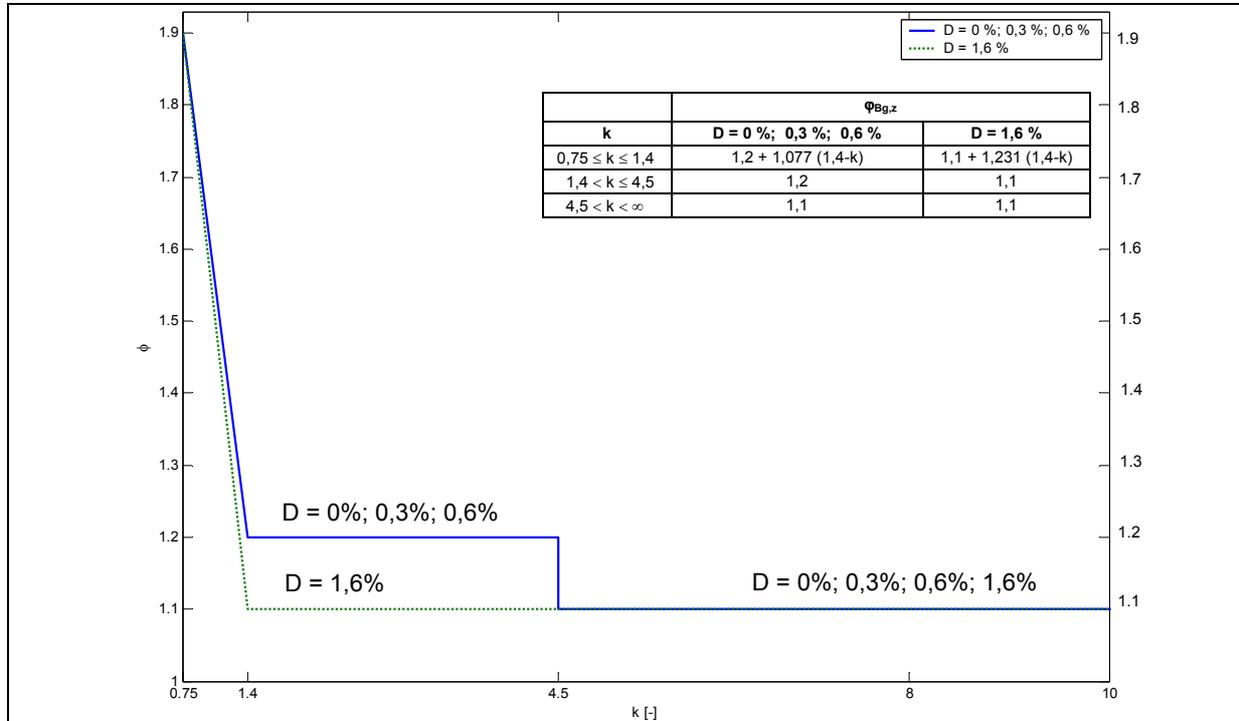


Abbildung 45 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384 \text{ m}$ – 2 Sektionen-Fahrzeug

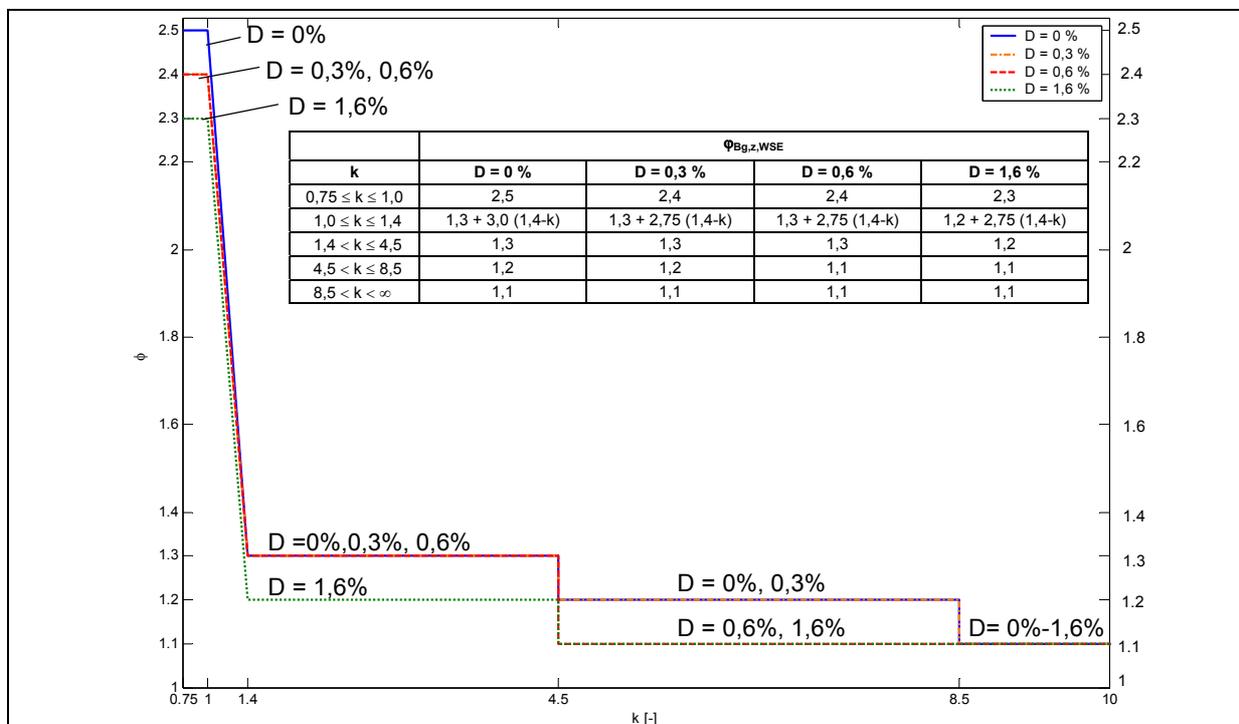


Abbildung 46 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384 \text{ m}$ – 2 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.2.2 Schwingbeiwerte für 4-Sektionen-Fahrzeuge

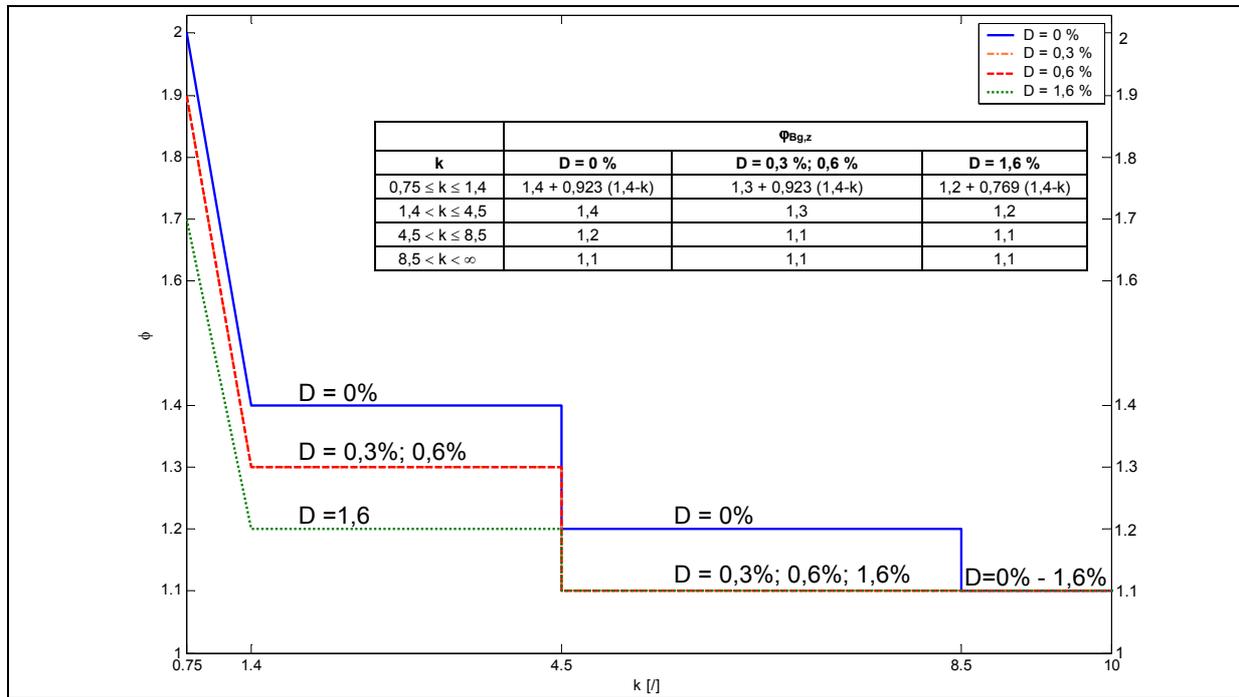


Abbildung 47 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 4 Sektionen-Fahrzeug

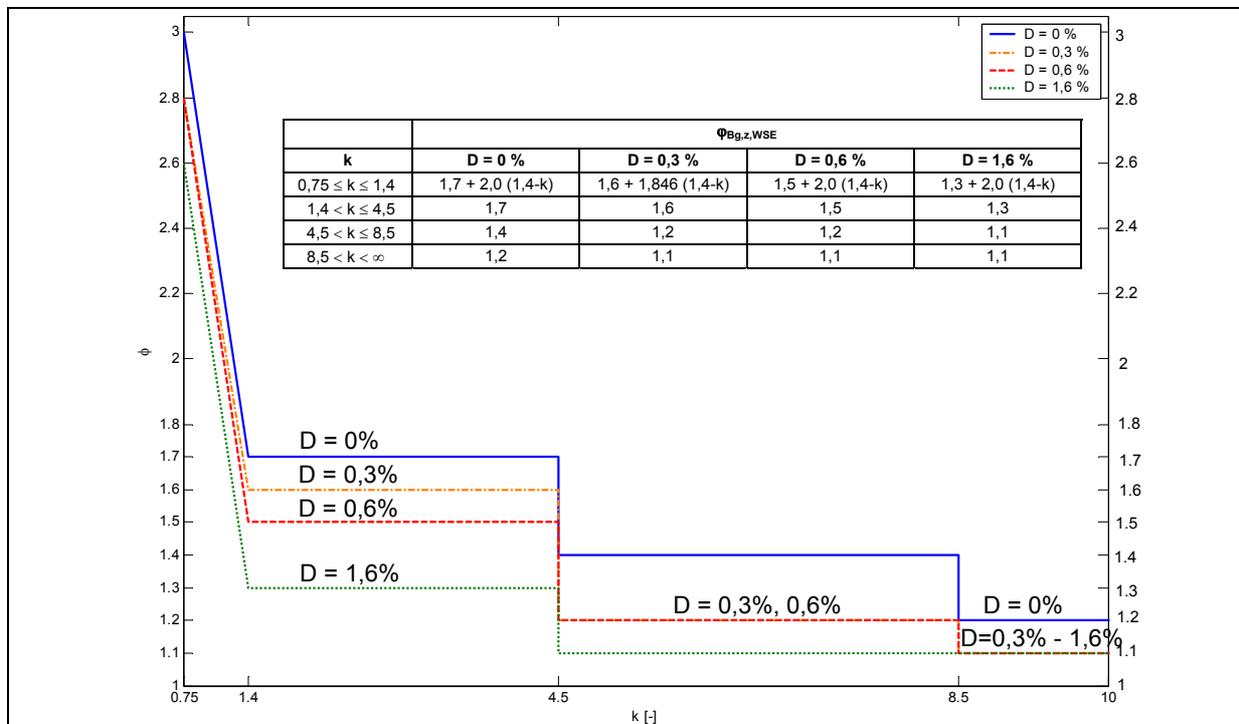


Abbildung 48 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 4 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.2.3 Schwingbeiwerte für 6-Sektionen-Fahrzeuge

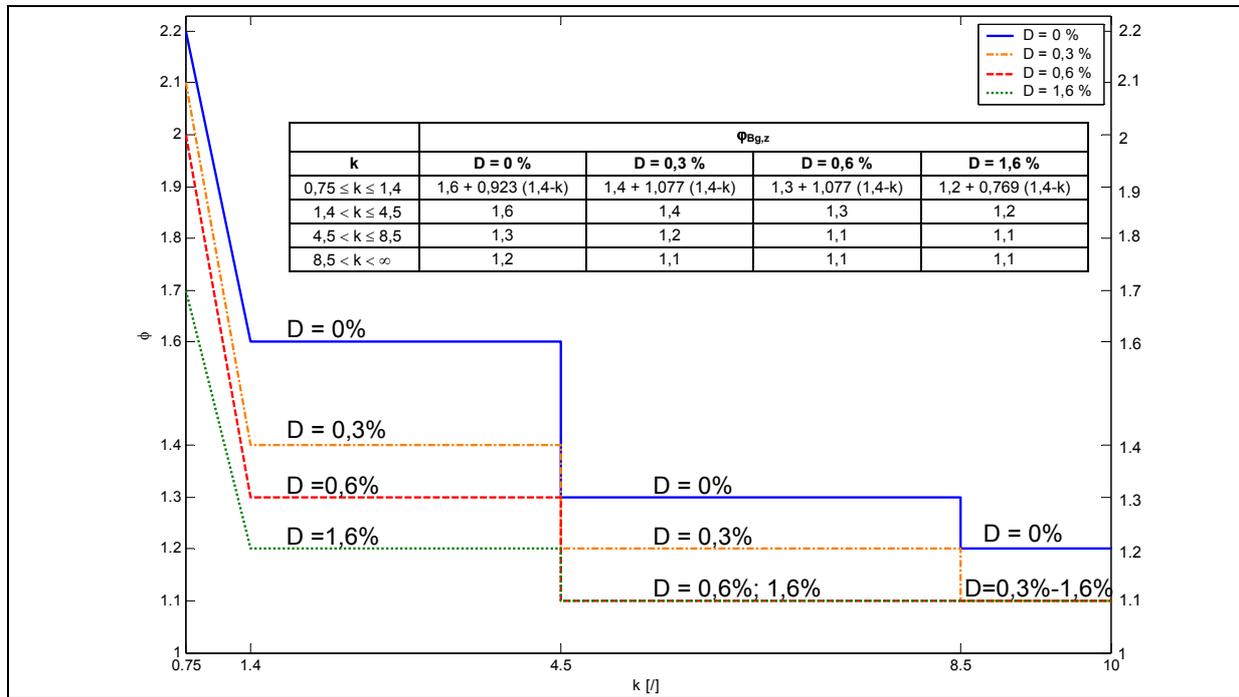


Abbildung 49 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 6 Sektionen-Fahrzeug

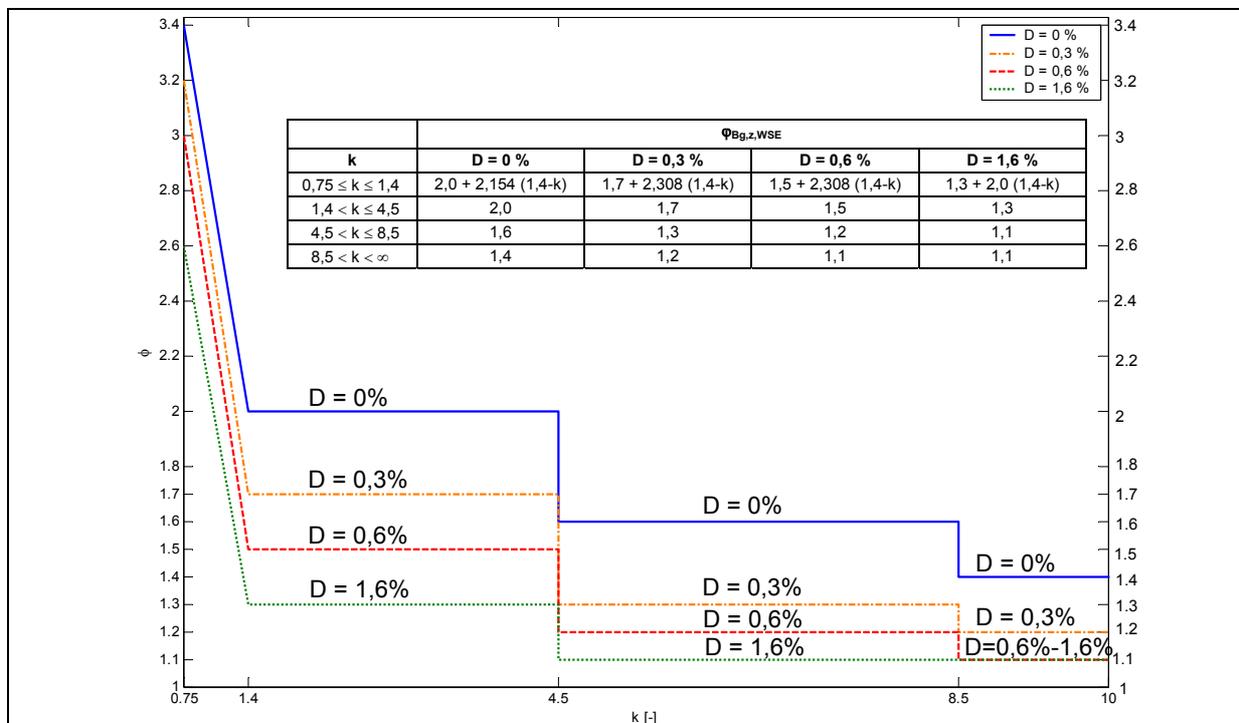


Abbildung 50 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 6 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.2.4 Schwingbeiwerte für 10-Sektionen-Fahrzeuge

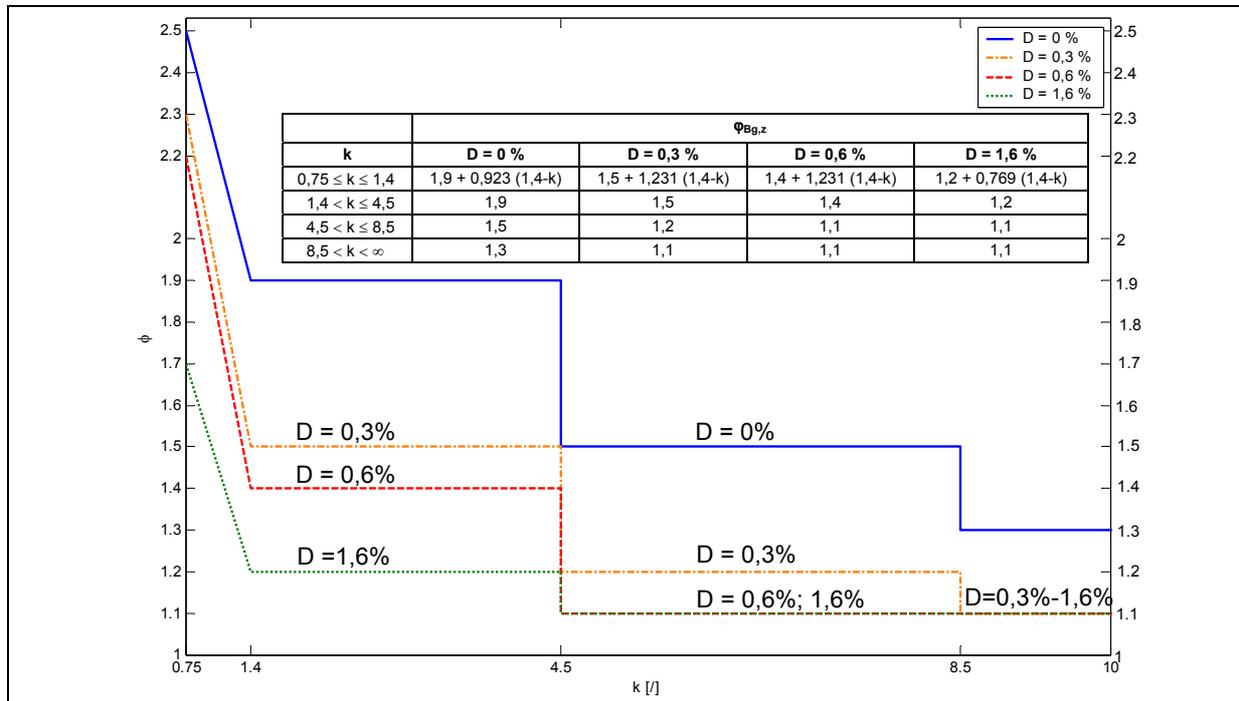


Abbildung 51 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 10 Sektionen-Fahrzeug

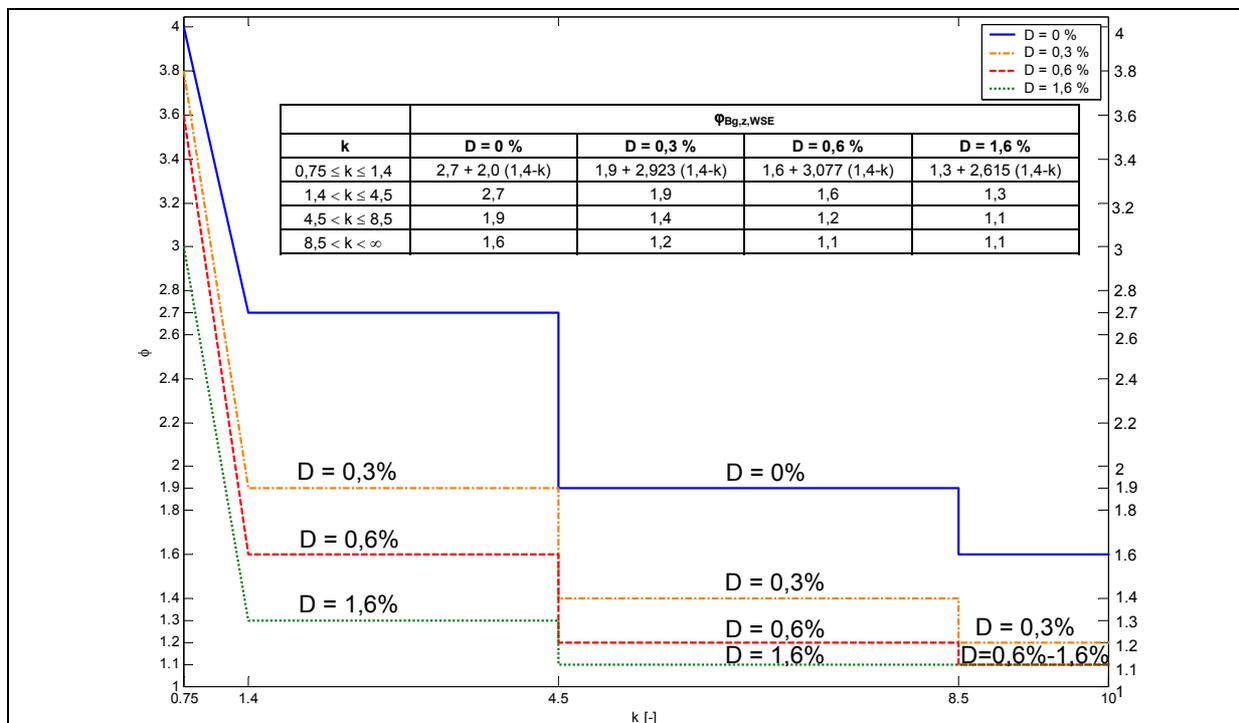


Abbildung 52 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 12,384$ m – 10 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.3 Schwingbeiwertdiagramme für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768 \text{ m}$

11.2.4.3.1 Schwingbeiwerte für 2-Sektionen-Fahrzeuge

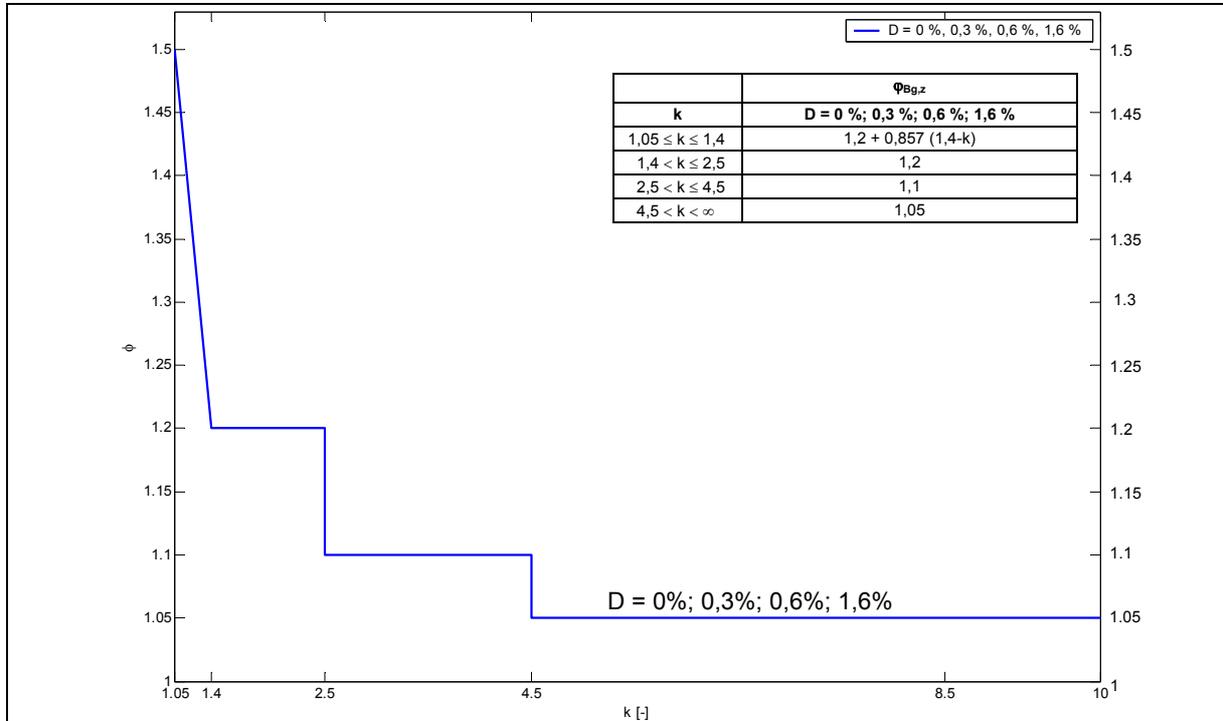


Abbildung 53 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768 \text{ m}$ – 2 Sektionen-Fahrzeug

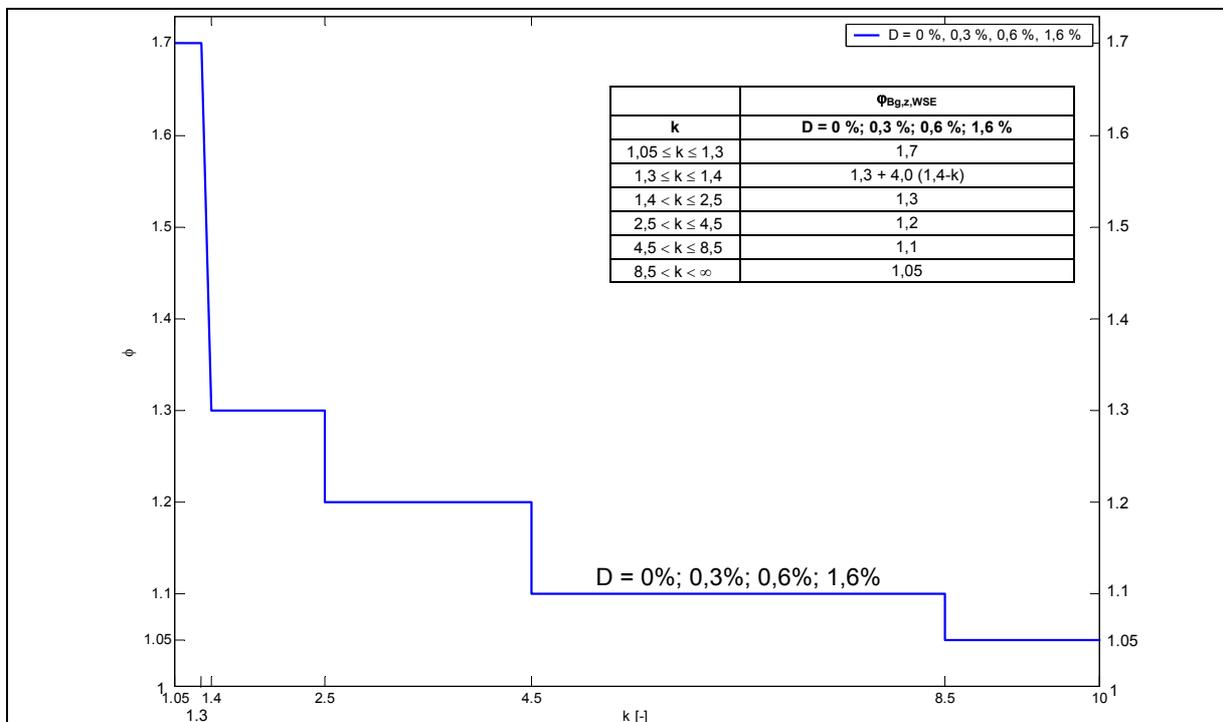


Abbildung 54 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768 \text{ m}$ – 2 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.3.2 Schwingbeiwerte für 4-Sektionen-Fahrzeuge

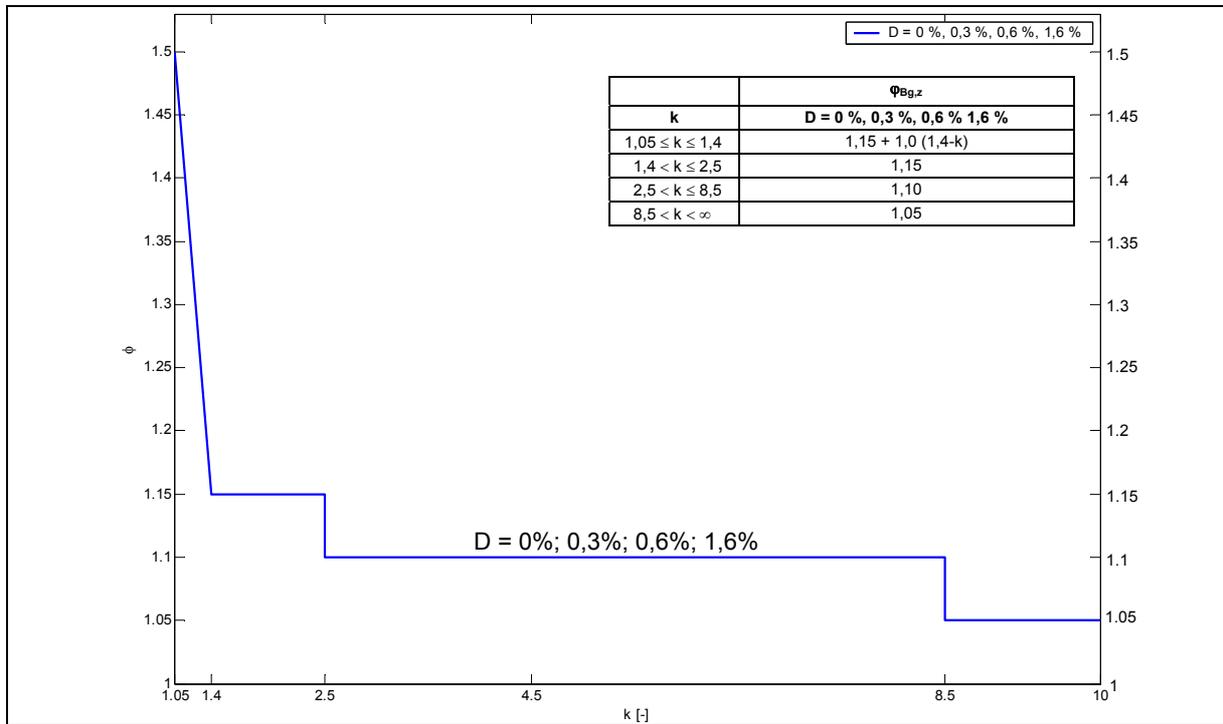


Abbildung 55 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768 \text{ m}$ – 4 Sektionen-Fahrzeug

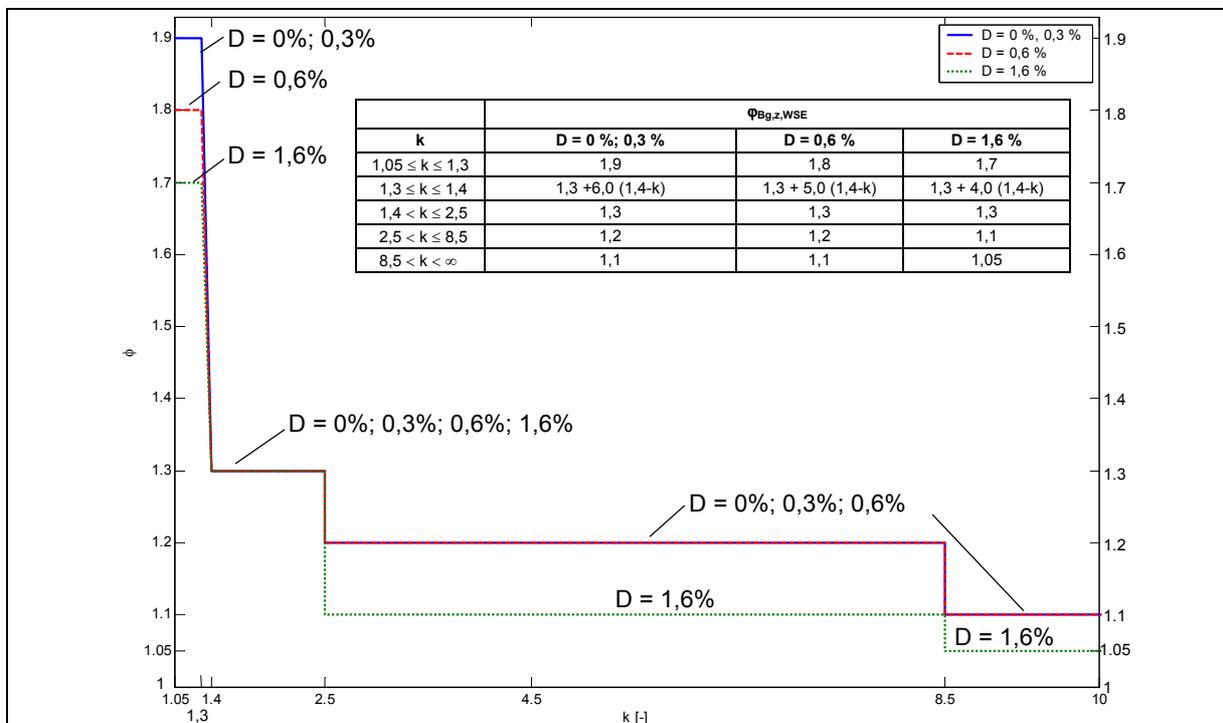


Abbildung 56 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768 \text{ m}$ – 4 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.3.3 Schwingbeiwerte für 6-Sektionen-Fahrzeug

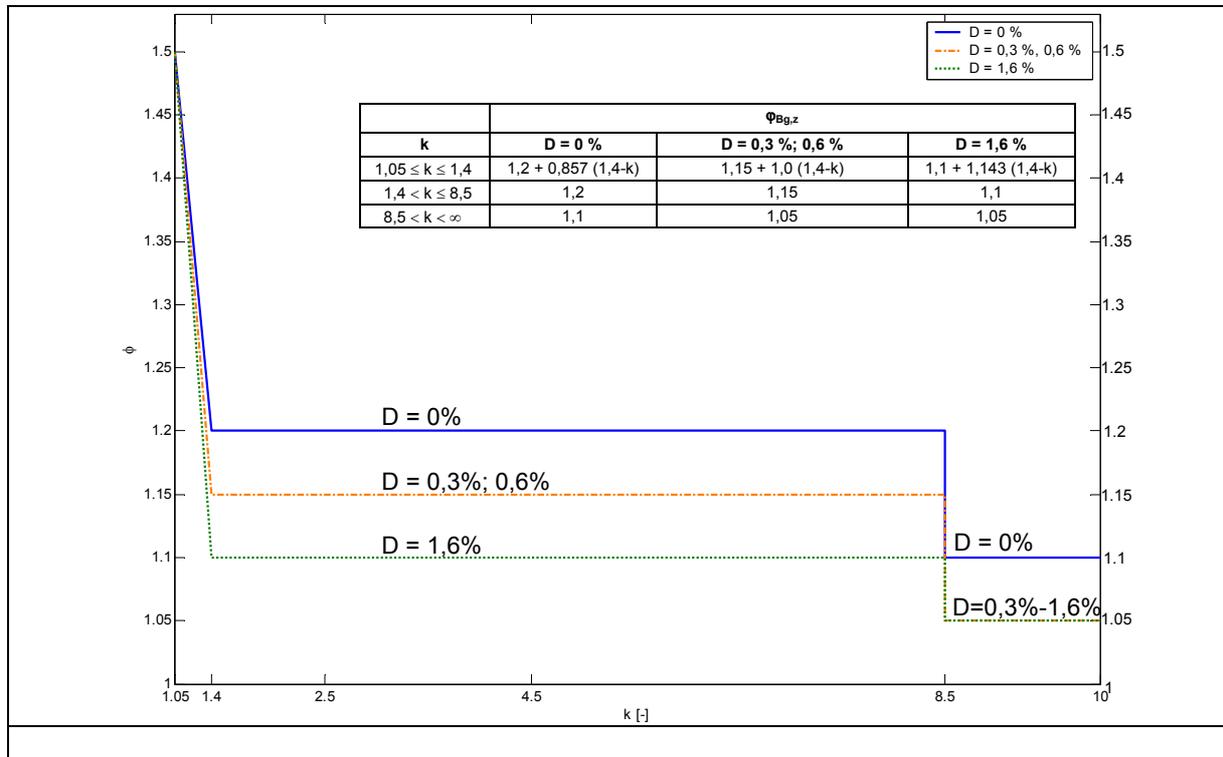


Abbildung 57 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 6 Sektionen-Fahrzeug

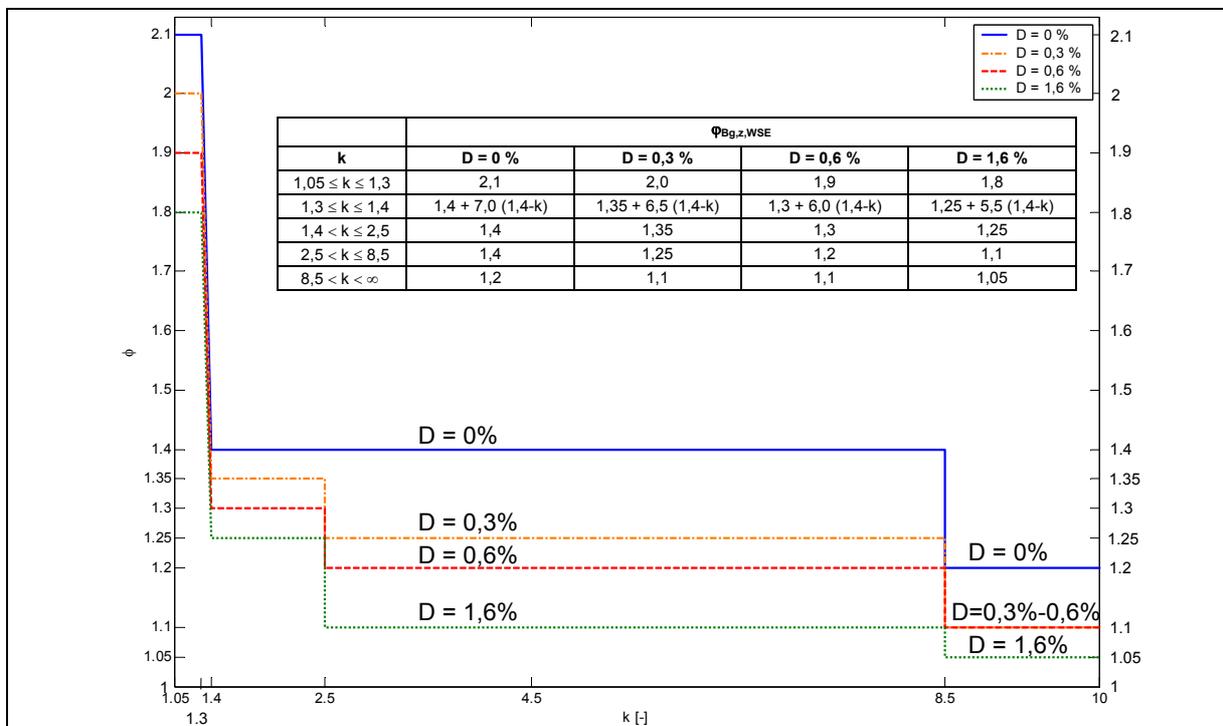


Abbildung 58 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 6 Sektionen-Fahrzeug

11.2.4.3.4 Schwingbeiwerte für 10-Sektionen-Fahrzeug

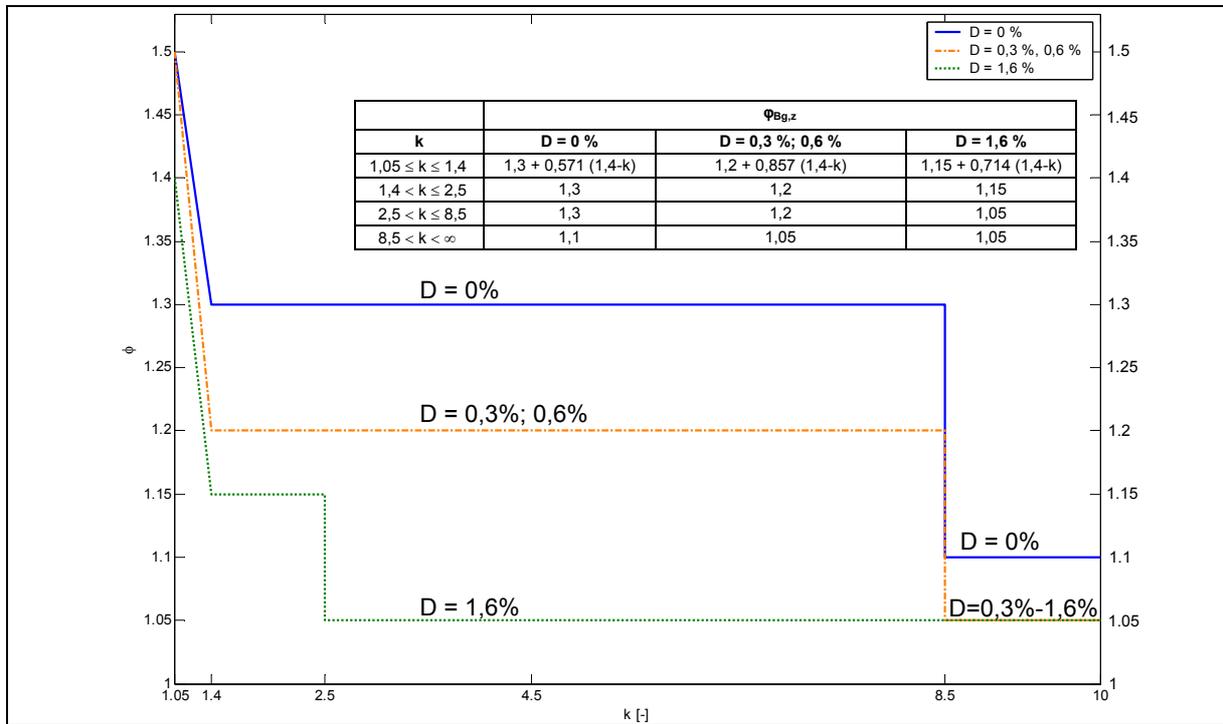


Abbildung 59 - $\Phi_{Bg,z}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 10 Sektionen-Fahrzeug

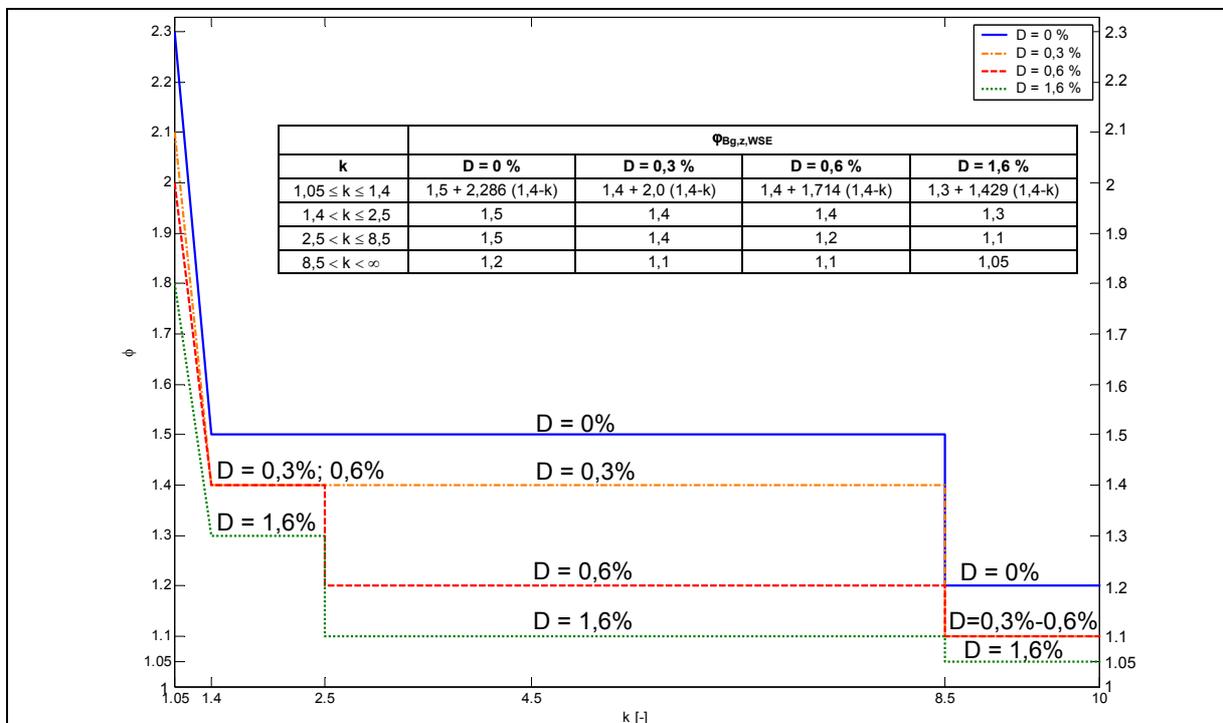


Abbildung 60 - $\Phi_{Bg,z,WSE}$ für Einfeldträger mit $L_{St} = 24,768$ m – 10 Sektionen-Fahrzeug

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]	Fübmagnetkräfte $p_{y,w,FMTi}$ 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, $v_w = 25 \dots 40$ 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	-	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]	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	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]	Fühhmagnetkräfte $p_{y,W,FMTi}$ 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, $v_W = 25 .. 40$ 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	-	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, $v_w = 25 .. 40$ 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, $v_W = 10 .. 25$ 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, $v_w = 25 \dots 40$ 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	-	1,2	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	0,7	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	0,7	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	0,5	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	0,6	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	0,5	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	0,4	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	0,4	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	0,4	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	0,4	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	0,3	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	0,3	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	0,3	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	0,1	0,2	0,2
12		0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	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	0,2	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	0,2	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)

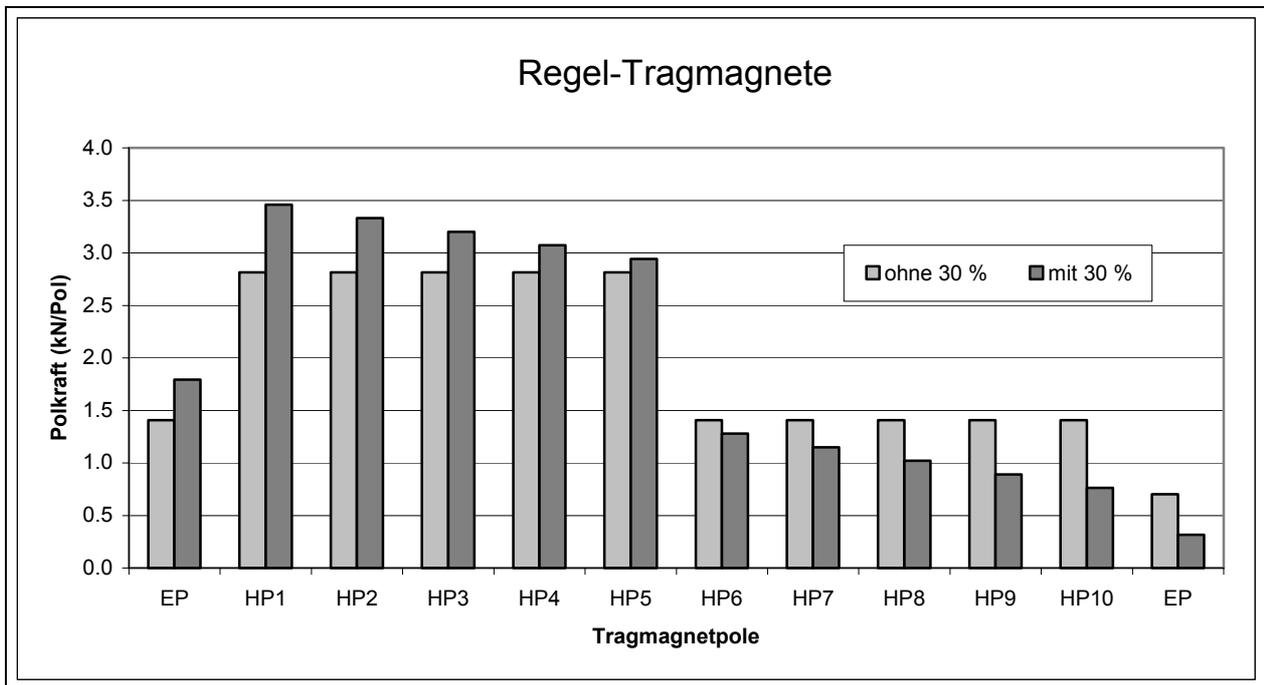


Abbildung 61 - Tragmagnet-Polkräfte; Beispiel für Regel-Tragmagnete

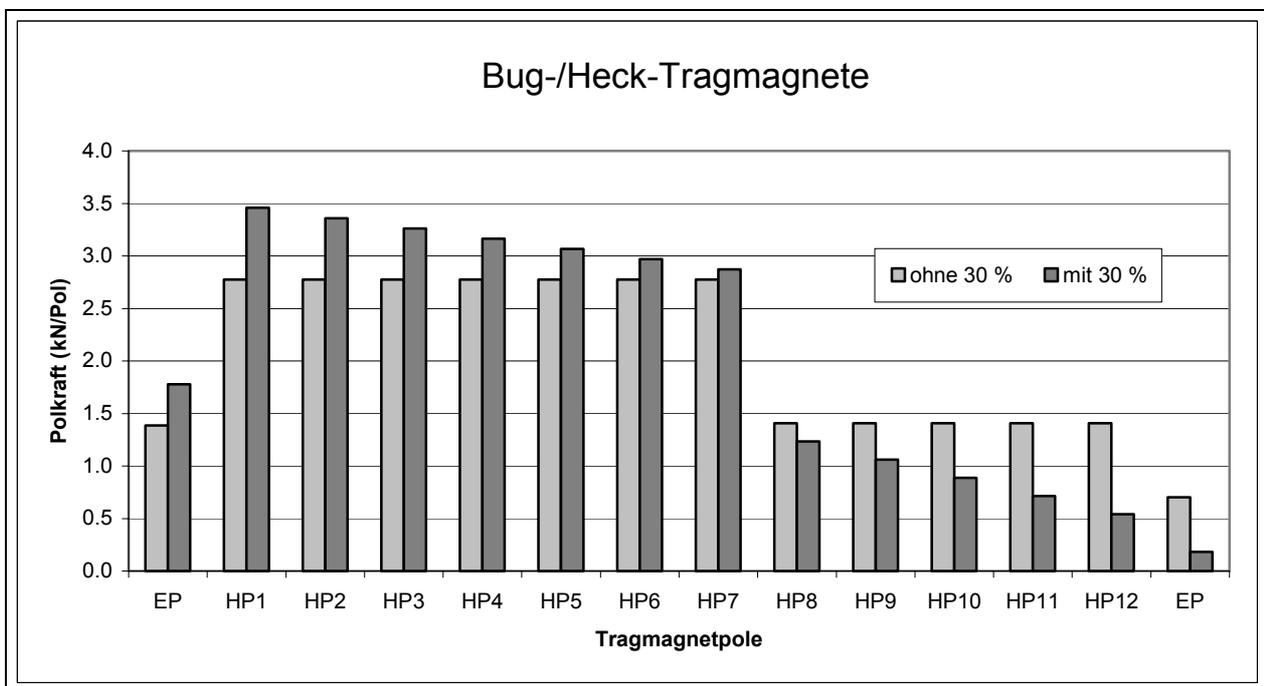


Abbildung 62 - Tragmagnet-Polkräfte; Beispiel für Bug-/Heck-Tragmagnete