

Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

Teil III

Kinematische Begrenzungslinie

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

1 Verteiler:

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Fahrzeug zur Veröffentlichung freigegeben.

2 Änderungsübersicht

Datum der Freigabe: 15.02.2007; Weißdruck, Fachausschuss Fahrzeug.

3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler:.....	2
2	Änderungsübersicht	3
3	Inhaltsverzeichnis.....	4
4	Allgemeines	6
4.1	Zweck und Anwendungsbereich	6
4.2	Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen.....	7
4.3	Abkürzungen und Definitionen.....	8
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien.....	8
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit der Anforderungen	8
4.6	Referenzen	8
5	Definitionen (Teilsystemspezifisch).....	9
5.1	Koordinatensystem	9
5.2	Begriffe.....	10
5.3	Abkürzungen.....	11
5.4	Definitionen und Bezeichnungen	14
5.5	Trassierungsparameter	17
5.6	Begrenzungslinie	17
6	Nachweisverfahren	19
7	Kinematische Freiheitsgrade Wagenkasten.....	21
7.1	Rollen Wagenkasten.....	21
7.1.1	Begriffe zum Rollen Wagenkasten.....	21
7.1.2	Zu untersuchende Lastfälle Rollen.....	23
7.2	Z-Verschiebungen / Nicken Wagenkasten.....	24
7.2.1	Begriffe zu z-Verschiebungen / Nicken Wagenkasten.....	24
7.2.2	Zu untersuchende Lastfälle z-Verschiebung / Nicken.....	26
7.3	Y-Verschiebung / Gieren Wagenkasten.....	27
7.3.1	Begriffe zu y-Verschiebungen / Gieren Wagenkasten	27
7.3.2	Zu untersuchende Lastfälle y-Verschiebung / Gieren.....	29
8	Kinematik zwischen Schwebegestell und Fahrweg	30
8.1	Kinematische Freiheitsgrade Schwebegestell	30
8.2	Verschiebungen Schwebegestell.....	31
8.2.1	Trag- und Tragkufenspalt.....	31
8.2.2	Führspalt.....	33

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

8.3	Verdrehungen Schwebegestell	34
9	Nachweis der kinematischen Begrenzungslinie Fahrzeug.....	35
9.1	Führungsquerschnitte	35
9.2	Zu betrachtende Lastfälle / Geometrischen Situationen	36
9.2.1	Betriebslastfälle.....	36
9.2.2	Sonderbetriebsfälle	38
10	Anhang (informativ).....	39
10.1	Ableitung der kinematischen Freiheitsgrade Wagenkasten	39
10.1.1	Rollwinkel Wagenkasten	39
10.1.2	z-Verschiebungen und Nickwinkel Wagenkasten	40
10.1.3	y-Verschiebungen und Gierwinkel Wagenkasten	44
10.2	Führspaltkorrektur bei gekrümmtem Fahrweg	45

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Fahrzeugkoordinatensystem.....	9
Abbildung 2:	<i>Seitenansicht und Querschnitt eines Fahrzeugs (Prinzipdarstellung)</i>	14
Abbildung 3:	Relevante geometrische Definitionen von Maßen des Fahrwegs.....	15
Abbildung 4:	Kennzeichnende Größen für die Kinematik von MSB-Fahrzeugen	16
Abbildung 5:	Begrenzungslinie MSB-Fahrzeuge Gerade	17
Abbildung 6:	Begrenzungslinie MSB-Fahrzeuge Kurvenradius 350 m bis 3500 m.....	18
Abbildung 7:	Fahrzeugkinematik - Rollen Wagenkasten	22
Abbildung 8:	Fahrzeugkinematik - z-Verschiebungen / Nicken Wagenkasten	25
Abbildung 9:	Fahrzeugkinematik - y-Verschiebungen / Gieren Wagenkasten.....	28
Abbildung 10:	Fahrzeugkinematik - Spaltbilanz Tragen (z-Richtung).....	31
Abbildung 11:	Fahrzeugkinematik - Spaltbilanz Führen (y-Richtung).....	33
Abbildung 12:	Positionierung Fahrzeug auf Fahrweg	35
Abbildung 13:	Führspaltkorrektur bei Kurvenfahrt	46

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Betriebsfälle Fahrzeugkinematik	36
Tabelle 2:	Einfluss Kurvenradius auf Führungsmagnetluftspalt.....	46

4 Allgemeines

4.1 Zweck und Anwendungsbereich

Die vorliegende „Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage Fahrzeug Teil III – kinematische Begrenzungslinie“ legt das Nachweisverfahren für die Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf von MSB-Fahrzeugen gemäß /MSB AG-FZ GEN/ fest.

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

Die Ausführungsgrundlage beschreibt allgemein den Nachweis des kinematischen Raumbedarfs des Fahrzeugs. Sie ist bei der Nachweisführung für das Fahrzeug mit anzuwenden.¹

Das vorliegende Dokument beinhaltet die

- Definition der zu berücksichtigenden Fahrzeugkinematik,
- Definition der relevanten Einwirkungen,
- Verfahren zum Nachweis der Begrenzungslinie.

Nachfolgende Punkte sind zu beachten:

- Abweichend von /DIN EN 27505/ wird nicht die notwendige Begrenzungslinie berechnet, sondern die Einhaltung der vorgegebenen Begrenzungslinie über eine Hüllraumbetrachtung gemäß /MbBO/, Bild 1 geprüft. Dazu sind die geometrisch möglichen Fahrzeugzustände zu ermitteln und es ist nachzuweisen, dass zur Umgrenzung des lichten Raumes ein Abstand bleibt bzw. die Hülllinie nicht verletzt wird.
- Es gilt die Begrenzungslinie gemäß /MbBO/, Bild 1 (s. auch Kapitel 5.6). Die Ausführungsgrundlage beschreibt die Mindestanforderungen an das Nachweisverfahren. Von der Ausführungsgrundlage darf nur abgewichen werden, wenn ein Nachweis gleicher Sicherheit geführt werden kann.
- Der Nachweis beschränkt sich auf das fahrende Fahrzeug, sowie auf das stehende Fahrzeug mit geschlossenen Einstiegstüren. Geöffnete Einstiegstüren dürfen das Profil der Begrenzungslinie gem. /MbBO/, Bild 1 (s. auch Kap 5.6) nur während des Fahrgastwechsels sowie während des Reinigens und der Instandhaltung überschreiten. Zum Nachweis der kinematischen Begrenzungslinie werden in Anlehnung an /UIC 505-1/ nur betrieblich relevante Fahrzeugzustände und keine Worst-Case-Fälle betrachtet. Gewisse Störfälle, die dazu führen, dass die MSB-Fahrzeuge die Begrenzungslinie überschreiten, müssen vom Hersteller untersucht werden, ihre Auswirkungen müssen ggf. Gegenstand besonderer Maßnahmen (betriebliche Regelungen, Störungsanzeigen usw.) sein, die vom Betreiber festzulegen sind.

¹ Zum allgemeinen Verständnis werden zur Erläuterung des Nachweisverfahrens teilweise ausführungsspezifische Merkmale des Transrapid herangezogen. Projektspezifisch gelten die entsprechenden Merkmale.

4.2 Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentationsbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

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

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

Die Dokumentation zum Fahrzeug beinhaltet folgende Unterlagen:

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

4.3 Abkürzungen und Definitionen

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

4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

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

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

4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit der Anforderungen

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

In den nachfolgenden Kapiteln dieses Dokuments sind gemäß /MSB AG-FZ GEN/

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

gekennzeichnet.

Werden in diesem Dokument Hinweise auf projektspezifische Regelungen im Einzelfall gegeben, bedeutet dies, dass eine Vereinbarung zwischen Hersteller und Unternehmer (z.B. in einem Lastenheft bzw. einer vertraglichen Regelung) unter Hinzuziehung der Genehmigungsbehörde zu treffen ist.

4.6 Referenzen

Dokument	Beschreibung
/DIN 27505/	Schienenfahrzeuge - Fahrzeugbegrenzung und Grenzlinie für feste Anlagen Stand: Entwurf 01.01.1999
/UIC 505-1/	Eisenbahnfahrzeuge - Fahrzeugbegrenzungslinien Stand: November 2003 (9. Ausgabe)

5 Definitionen (Teilsystemspezifisch)

5.1 Koordinatensystem

Koordinatensystem, siehe Abbildung 1:

- x-Richtung : in Richtung Endsektion 1 des Fahrzeugs
- y-Richtung : quer zur Fahrtrichtung in der Gleitebene nach rechts
- z-Richtung : vertikal zur Fahrtrichtung, positive Achse nach unten gerichtet

Ursprung des Koordinatensystems ist die Gradiente des Fahrwegs und in x-Richtung für das Fahrzeug die Fahrzeugmitte, siehe /MSB AG-GESAMTSYS/, Abbildung 3 und Abbildung 4. Für die Betrachtung einzelner Sektionen liegt der Ursprung in x-Richtung in der Mitte der Sektionskupplung.

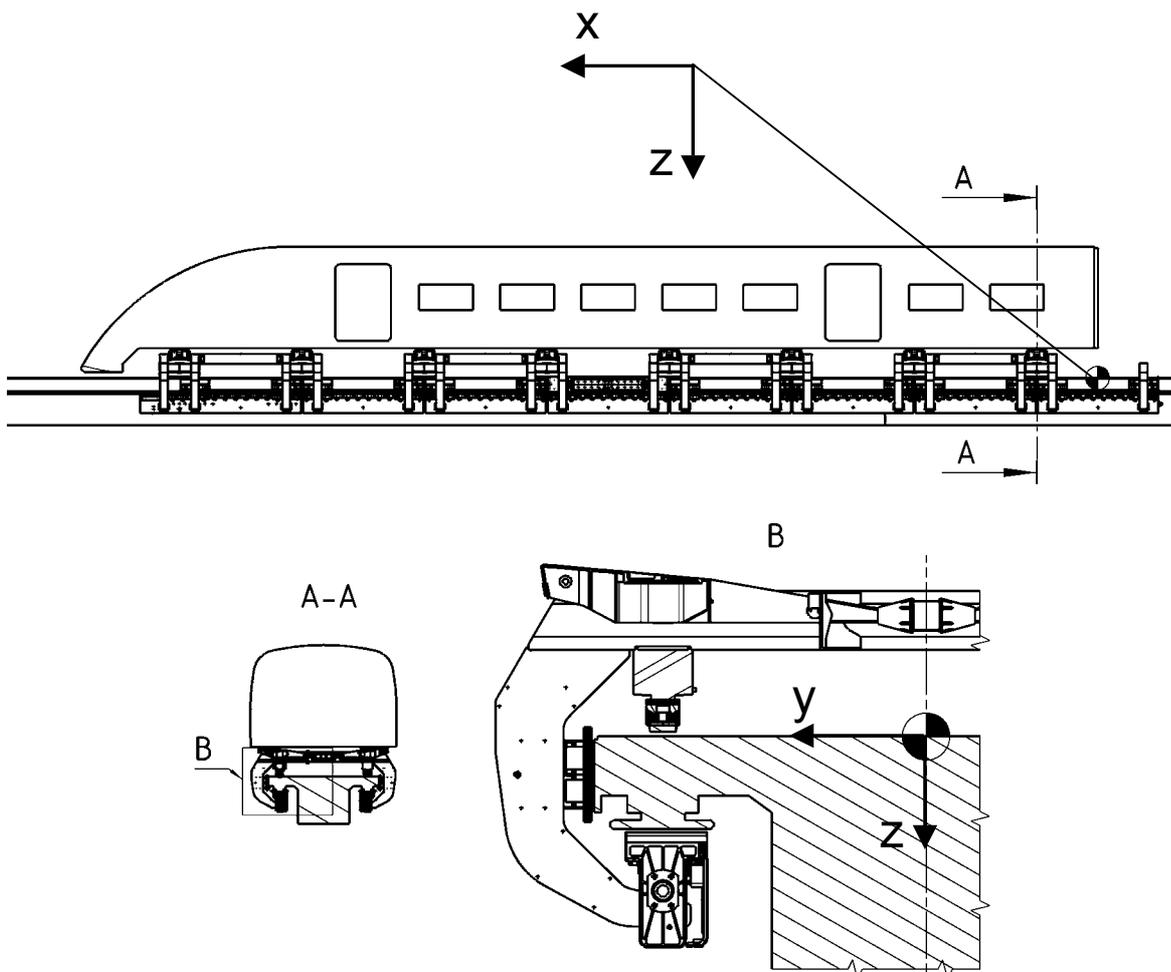


Abbildung 1: Fahrzeugkoordinatensystem

5.2 Begriffe

Es gelten die Begriffsbestimmungen in /MSB AG-ABK&DEF/. Die in diesem Kapitel erläuterten Begriffe sind zum Verständnis des vorliegenden Dokuments erforderlich. Sie ergänzen die Begriffe in /MSB AG-ABK&DEF/.

Normalkoordinaten	Zueinander rechtwinklige Koordinaten in einer Ebene senkrecht zur Längsmittellinie des in Soll-Lage liegenden Fahrwegs. Waagrechte Achse (y-Achse): Schnittlinie vorgenannter Ebene mit der Gleitebene (Laufebene bei Schienenfahrzeugen). Vertikale Achse (z-Achse): Senkrecht zu waagrechter Achse, in der Mitte zwischen den Gleitleisten (Schiene bei Schienenfahrzeugen).
Fahrzeugbegrenzungslinie	Umrisslinie, bezogen auf den zu untersuchenden Querschnitt, die von keinem Fahrzeugteil überschritten werden darf (Fahrzeugkontur)
Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf des Fahrzeugs (Kinematische Begrenzungslinie)	Ist die auf die Normalkoordinaten bezogene theoretische Hülllinie eines Fahrzeugs unter Berücksichtigung der ungünstigsten Einstellungen der Schwebegestelle zum Fahrweg und der quasistatischen Verschiebungen des Wagenkastens. Nicht berücksichtigt werden zufallsbedingte Faktoren (Schwingungen, Unsymmetrien).
Rollen	Drehbewegung des Wagenkastens bzw. Schwebegestells um die x-Achse
Nicken	Drehbewegung des Wagenkastens bzw. Schwebegestells um die y-Achse
Gieren	Drehbewegung des Wagenkastens bzw. Schwebegestells um die z-Achse

5.3 Abkürzungen

Es gelten die Abkürzungen gem. /MSB AG-ABK&DEF/. Die in diesem Kapitel erläuterten Abkürzungen sind zum Verständnis des vorliegenden Dokuments erforderlich. Sie ergänzen die Begriffe in /MSB AG-ABK&DEF/.

GE	Gleitebene
GL	Gleitleiste
GLM	Gleitebene Mittenabstand
a_y	Freie y-Seitenbeschleunigung (Kurvenfahrt)
a_z	z-Beschleunigung (g + Wannens- /Kuppenfahrt)
C	Drehpol der Wagenkastenverrollung
c	Federkonstante
C_{piE}	Steifigkeit der z-Absetzfeder i, bezogen auf die Pendelachse
C_{ZF}	Steifigkeit y-Zusatzfeder
C_{1WK}	Rollsteifigkeit Wagenkasten, bezogen auf Pendel
d	Abstand Führomagnetpaltsensoren
F_{Kz1}	z-Kupplungskraft Sektionskupplung Endsektion 1 zu Mittelsektion
F_{Kz2}	z-Kupplungskraft Sektionskupplung Endsektion 2 zu Mittelsektion
F_{mWKy}	y-Massenkraft Wagenkasten (Überhöhungsfehlbetrag)
F_{mWKz}	z-Massenkraft Wagenkasten
F_{piy}	y-Pendelkraft Schweberahmen i
F_{piz}	z-Pendelkraft Schweberahmen i
F_{p1z}	z-Pendelkraft Bugschweberahmen Endsektion
ΔF_{pz}	Abweichung z-Pendelkraft von Nennlast
F_{pzLfi}	z-Pendelkraft Luftfederkreis i
F_{ZFiy}	y-Kraft an y-Zusatzfeder Schweberahmen i
F_{ySW}	Seitenwindkraft auf Endsektion E, Mittelsektion M
F_{zWK}	z-Kräfte Wagenkasten Endsektion E, Mittelsektion M
F_{yWK}	y-Kräfte Wagenkasten Endsektion E, Mittelsektion M
Δf_y	Kraftabhängige statische y-Einfederung der Gestellstruktur bei erregtem Führomagnet und Abweichung von der Nennlast
Δf_z	Kraftabhängige statische Ein- bzw. Ausfederung bei Abweichungen von der Nennlast
Δf_{zG}	Kraftabhängige statische Ein- bzw. Ausfederung der Gestellstruktur bei Abweichungen von der Nennlast
Δf_{zTM}	Kraftabhängige statische Ein- bzw. Ausfederung der Tragmagnetanlenkung bei Ab-

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

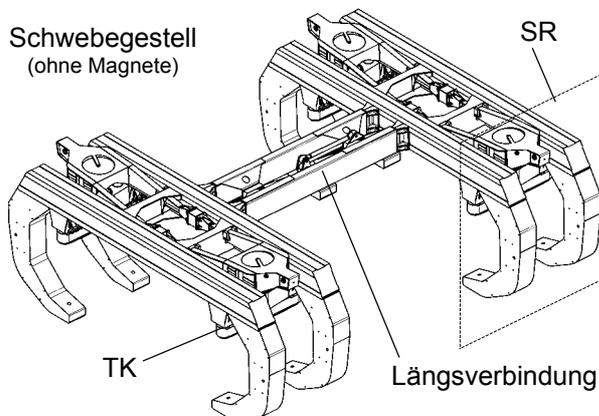
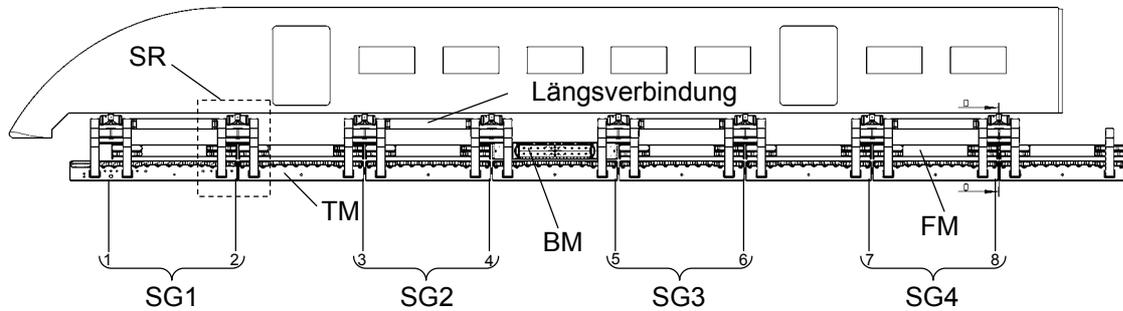
	weichungen von der Nennlast
Δf_{zTK}	Statische Einfederung der Tragkufe bei abgesetztem Fahrzeug
F	Nennspalt Führen
F_R	Führspalt bei Kurvenfahrt (Nennspalt)
f_z	z-Verschiebungen
L_{FM}	Magnetlänge Führungsmagnet
l_p	Länge Pendel
m_{WK}	Masse Wagenkasten
M_T	Rollmoment Wagenkasten
ΔP	Verschleiß Polleiste Führungsmagnet
P	Maximaler Polleistenverschleiß
R	Krümmungsradius Fahrweg (R_{xz} oder R_{xy})
R_{xz}	Radius Kuppe / Wanne
R_{xy}	Radius Kurve
S	Ausladung bei Kurvenfahrt
s_0	Nennluftspalt Tragmagnet / Führungsmagnet
Δs	Dynamische Spaltabweichung Luftspalt Tragen / Führen
Δs_1	Spaltdifferenz in Führungsmagnetmitte bei Kurvenfahrt
Δs_2	Spaltdifferenz am Führungsmagnetende bei Kurvenfahrt
T	Tragkufenspalt
ΔV	Verschleiß Tragkufenbelag
W_z	Nennzangenmaß des Fahrwegs zwischen Oberkante Gleitebene und Unterkante Startpaket
ΔW_z	z-Bautoleranzen Fahrwegzangenmaß
W_y	Spurweite Fahrweg (Abstand Seitenführschiene)
ΔW_y	y-Bautoleranzen Spurweite Fahrweg
x_{iE}	Abstand der z-Absetzfeder i zur Sektionskupplung
x_{NiE}	Abstand der z-Absetzfeder i zum Drehpunkt Wagenkastennicken
x_{si}	Abstand resultierender Kraftangriffspunkt Luftfederkreis i zu Sektionskupplung
x_{sE}	x-Abstand Schwerpunkt Endsektion zu Sektionskupplung
x_{SWE}	Abstand Seitenwindkraft Endsektion zu Sektionskupplung
x_{ZFi}	Abstand y-Zusatzfeder i zu Sektionskupplung
x_{2E}	Abstand Schweberahmen 2 Endsektion zu Sektionskupplung
y_K	y-Verschiebung der Sektionskupplung
y_{sWK}	y-Schwerpunktkoordinate Wagenkasten

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

y_{piE}	y-Verschiebung Pendel i Endsektion
Δy_i	y-Verschiebung Schweberahmen i
Y	Spurweite Fahrzeug
Y_A	Spurweite Fahrzeug bei Ausfallsituationen bzw. bei mechanischem Führen
Y_0	Nennspurweite Fahrzeug bei nicht erregten Führmagneten (abgesetztes Fahrzeug)
Δy	y-Bautoleranzen Spurweite Fahrzeug
y_p	y-Koordinate Wagenkastenpendelkraftangriffspunkt
z_K	z-Verschiebung der Sektionskupplung
z_{sE}	z-Abstand Schwerpunkt Endsektion zu Sektionskupplung
z_{piE}	z-Verschiebung Pendel i Endsektion
z_{sWK}	z-Schwerpunktkoordinate Wagenkasten
z_C	z-Koordinate Drehpunkt Wagenkastenverrollung
Δz_i	z-Verschiebung Schweberahmen i
Z	Zangenmaß zwischen Unterkante Tragkufe und Oberkante Tragmaagnet
Z_0	Nennzangenmaß Fahrzeug zwischen Unterkante Tragkufe und Oberkante Tragmaagnet bezogen auf die Nennlast am Tragmaagnet (schwebendes Fahrzeug)
ΔZ	z-Bautoleranzen Fahrzeug-Zangenmaß
α	Fahrweg - Querneigungswinkel
γ bzw. γ_{xz}	Nickwinkel (Drehung um y-Achse)
γ_{0xz}	Statischer Nickwinkel aus Unsymmetrie Beladung
δ bzw. δ_{xy}	Gierwinkel (Drehung um die z-Achse)
δ_{0xy}	Statischer Gierwinkel aus Unsymmetrie Beladung
η bzw. η_{yz}	Rollwinkel (Drehung um x-Achse)
η_{0yz}	Statischer Rollwinkel aus Unsymmetrie Beladung
η_{yzFy}	Rollwinkel Wagenkasten aus Fliehkraft und Seitenwind
$\eta_{yz\alpha'}$	Rollwinkel Wagenkasten aus Fahrwegüberhöhung

5.4 Definitionen und Bezeichnungen



- SG = Schwebegestell
- SR = Schweberahmen
(2 Gestellbügel + Verbindungsteile)
- TM = Tragmagnet
- FM = Führmagnet
- BM = Bremsmagnet
- TK = Tragkufe
- WK = Wagenkasten

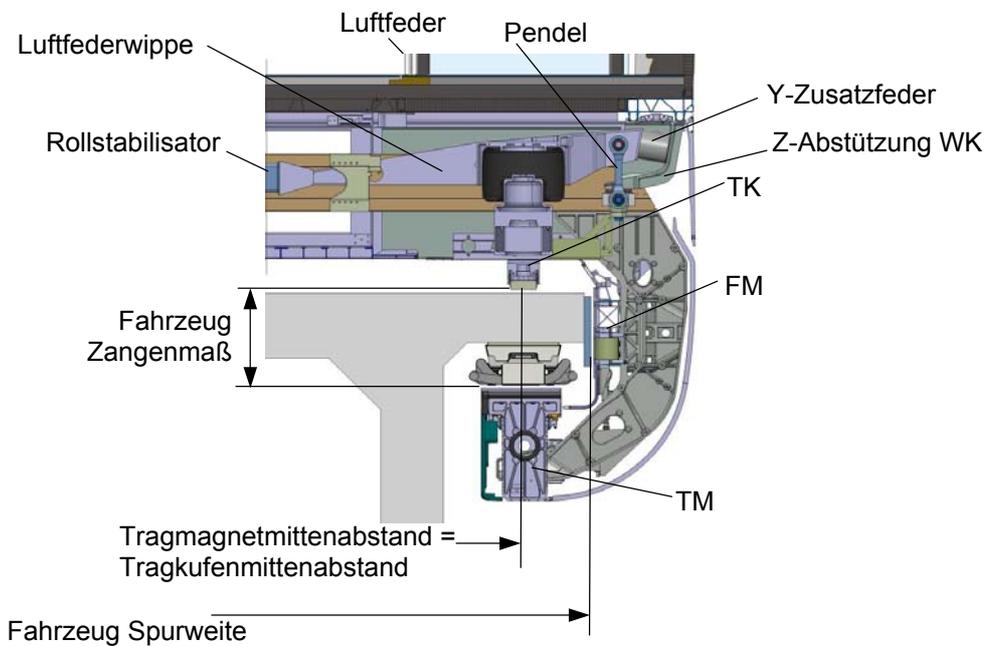


Abbildung 2: Seitenansicht und Querschnitt eines Fahrzeugs (Prinzipdarstellung)

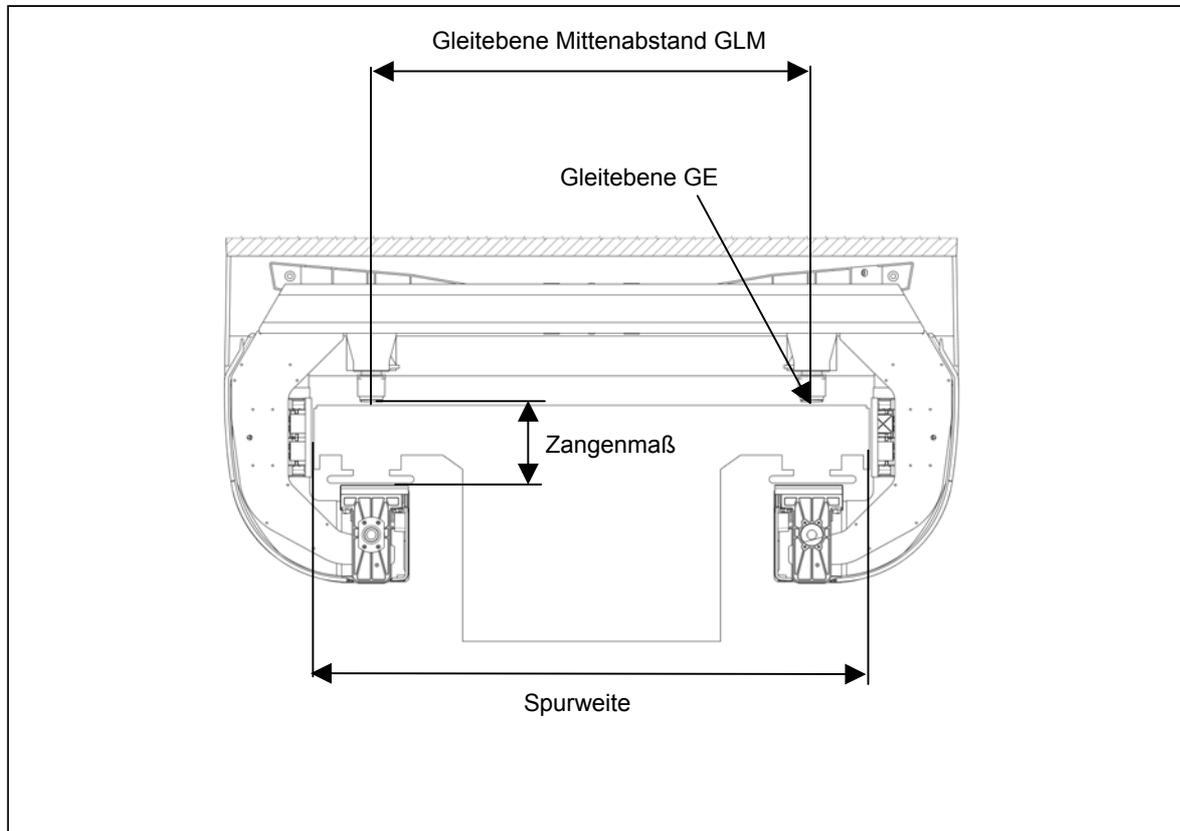


Abbildung 3: Relevante geometrische Definitionen von Maßen des Fahrwegs

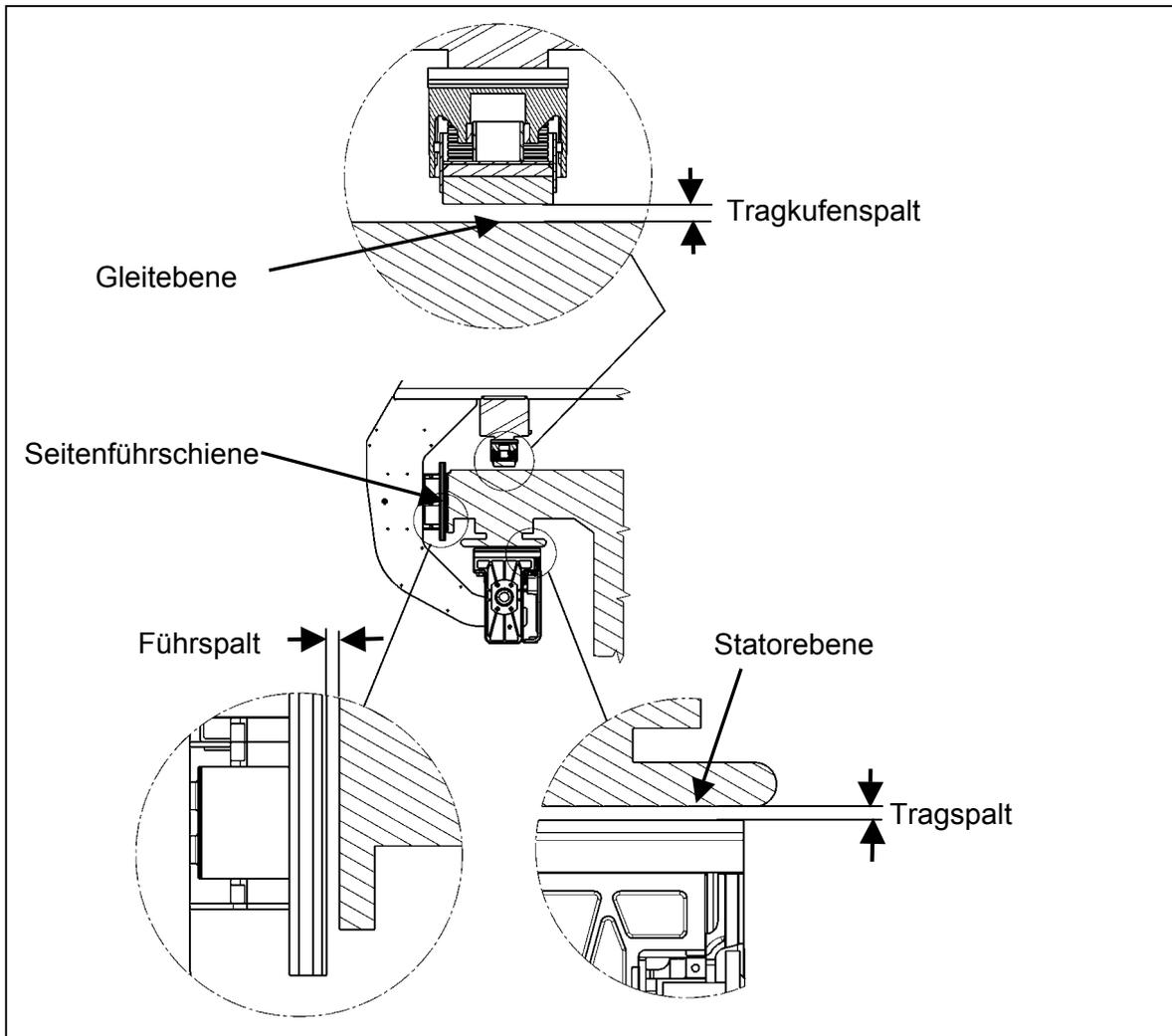


Abbildung 4: Kennzeichnende Größen für die Kinematik von MSB-Fahrzeugen

5.5 Trassierungsparameter

Folgende Trassierungsparameter sind zu betrachten:

- Wanne: Vertikalradius R_{xz} 530 m
- Kuppe: Vertikalradius R_{xz} 530 m
- Kurve: Horizontalradius R_{xy} 1000 m

Abweichende Werte können projektspezifisch vereinbart werden. Kleinere spezifizierte Trassierungsparameter sind durch den Hersteller unter dem Gesichtspunkt der Berührungsfreiheit zwischen Fahrweg und Fahrzeug nachzuweisen.

Diese Untersuchungen sind nicht Bestandteil der Nachweise zur kinematischen Begrenzungslinie.

5.6 Begrenzungslinie

Die in Abbildung 5 angegebene Begrenzungslinie entspricht der Begrenzungslinie Linie C /MbBO/ für Geraden. Abbildung 6 zeigt die Begrenzungslinie für Kurvenradien < 3500 m. In /MbBO/ nicht angegebene Maße der Fahrwegbegrenzung sind ohne Angabe von Toleranzen ergänzt.

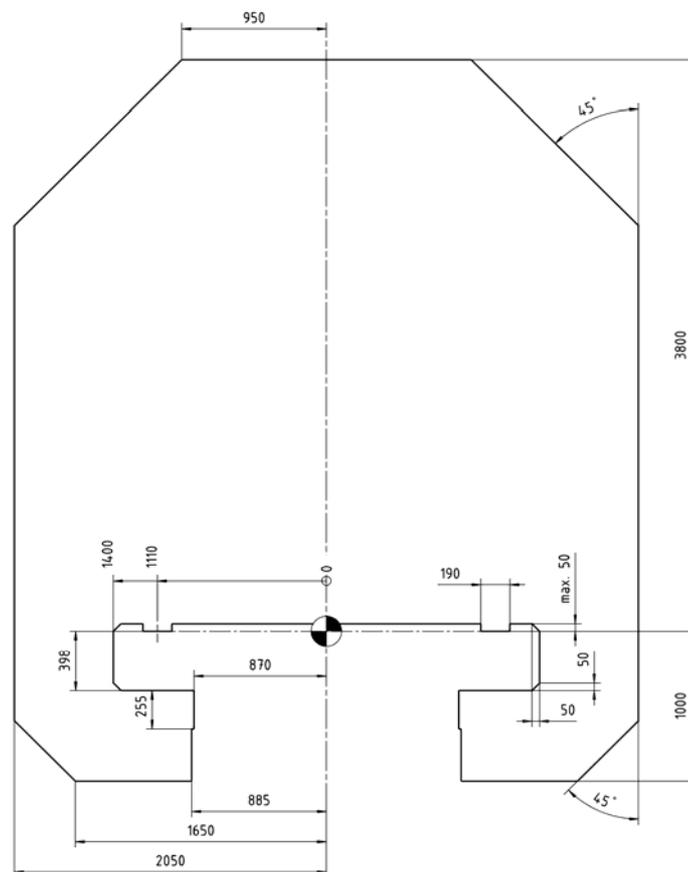


Abbildung 5: Begrenzungslinie MSB-Fahrzeuge Gerade

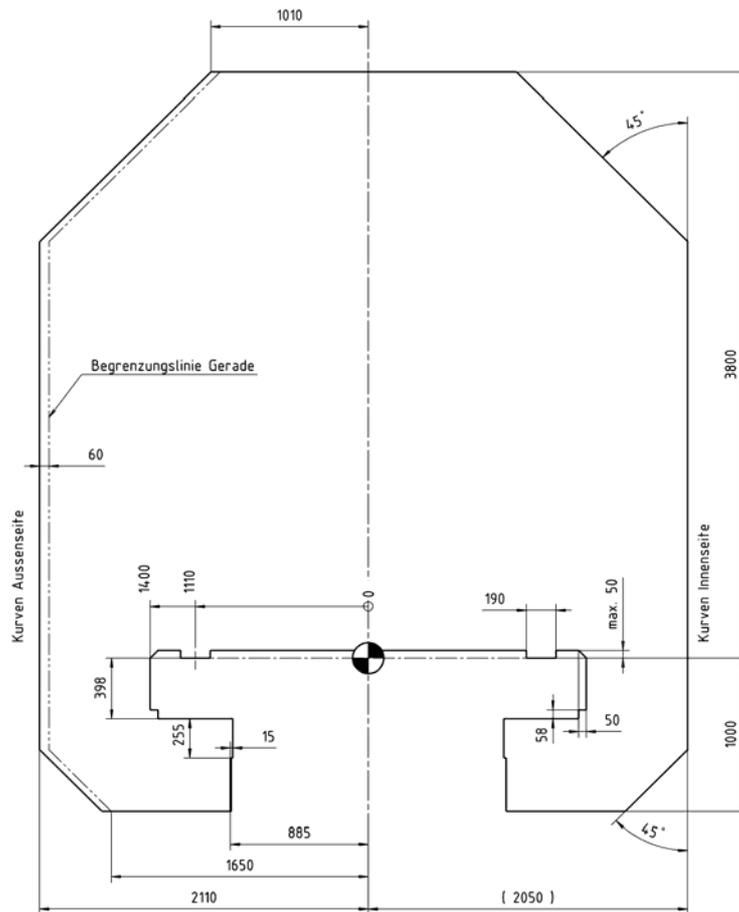


Abbildung 6: Begrenzungslinie MSB-Fahrzeuge Kurvenradius 350 m bis 3500 m

6 Nachweisverfahren

Für den Nachweis der Begrenzungslinie für den kinematischen Raumbedarf des MSB-Fahrzeugs, nachfolgend als kinematische Begrenzungslinie bezeichnet, sollte nachfolgende Vorgehensweise angewendet werden. Abweichungen müssen projektspezifisch vereinbart werden.

Die Verschiebungen sowie Verdrehungen des Wagenkastens und die Verschiebungen der Schwebestelle sind auf den Fahrweg zu beziehen.

Die Überlagerung der Wagenkastenverschiebungen mit den Verschiebungen der Schwebestelle ergibt die Gesamtverschiebungen des Wagenkastens.

Die Gesamtverschiebung des Wagenkastens ist aus der Überlagerung der Wagenkastenverschiebung mit den Verschiebungen der Schwebestelle zu bestimmen.

Die resultierenden Verschiebungen der Fahrzeugaußenkontur sind gegen die Begrenzungslinie der /MbBO/ zu prüfen.

Der Wagenkasten ist dabei als Starrkörper zu betrachten. Die zu berücksichtigenden Elastizitäten der Schwebestelle sind dabei in die entsprechenden Verschiebungen der Schwebestelle einzurechnen.

Die Verschiebungen / Verformungen des Wagenkastens und der Schwebestelle sind getrennt zu ermitteln und abschließend zu überlagern.

Die Ableitung der Verschiebungen erfolgt für den Wagenkasten im Kapitel 7, für die Schwebestelle im Kapitel 8.

Für diese abschließende Überprüfung der Begrenzungshülle können analytische Verfahren oder geeignete Softwareanwendungen (z.B. CAD-Softwareprodukte) eingesetzt werden.

Folgende Randbedingungen sind für das Nachweisverfahren, soweit anwendbar, zugrunde zu legen:

- Zur Ableitung der Verschiebungen aus Rollen / Nicken / Gieren werden Drehpole angenommen. Durch Überlagerung der Verschiebungen verschiebt sich der resultierende Drehpol. Die Lage des resultierenden Drehpols schließt aufgrund der kinematischen Zwangsbedingungen gewisse Überlagerungen aus.
Die Lage des resultierenden Drehpols muss geprüft werden. Ggf. muss bei Überlagerung der Einzelverschiebungen eine nachträgliche Korrektur der Einzelbewegungen erfolgen.
- Bautoleranzen des Wagenkastens sind zu berücksichtigen. Die Bautoleranzen der Schwebestelle sind zu vernachlässigen, da Trag- und Führspalte auf das spezifizierte Maß eingestellt werden.
- Der spezifizierte fahrzeugseitige Verschleiß an den Tragkufenbelägen und den Polleisten der Führungsmagnete ist zu berücksichtigen.
- *Fahrwegseitiger Verschleiß und fahrwegseitige Bautoleranzen bleiben unberücksichtigt. Diese werden über den Bereich B /MbBO/ Bild 1 erfasst.*
- Durchbiegungen und Elastische Verformungen (Biegung, Torsion) für den Wagenkasten müssen nicht berücksichtigt werden.
Für die Schwebestelle müssen die elastischen Verformungen aus Tragen (z-Lasten) und Führen (y-Lasten) berücksichtigt werden.

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

- Luftfederung:
Die Fälle druckbeaufschlagte bzw. entleerte Luftfederbälge sind zu differenzieren. Bei drucklosen Luftfedern ist die Abfederung über die Absetzfedern zu berücksichtigen.
- Gummi- und Stahlfedern:
Einfedern unter statischer Last ist zu berücksichtigen, ggf. Berücksichtigung zusätzlicher Einfederung aus dynamischen Beanspruchungen. Einfederungen aufgrund von Federungstoleranzen können vernachlässigt werden. *Diese sind in den Einstelltoleranzen der Magnetanlenkungen enthalten.*
- *Die Trag-/Führfunktion des MSB-Fahrzeugs ist als aktives System realisiert, die Funktion einzelner Systeme wird bei Versagen auf Grund der redundanten Ausführung durch benachbarte Systeme übernommen. Entsprechende Nachweise werden u.a. über FMEA-Analysen bei der Entwicklung der Transrapid-Fahrzeuge erbracht. Das ausreichende Tragverhalten wird zusätzlich über die Nachweisführung abgesichert.*
Ein Bauteilversagen von Strukturbaugruppen des Trag- / Führsystems (Bauteile im primären Kraftfluss, z.B. Gestellbügel) darf nicht dazu führen, dass die Begrenzungslinien gemäß Kapitel 5.6 verletzt werden.
- *Bei spezifiziertem Ausfall der magnetischen Trag- bzw. Führfunktion werden die Lasten mechanisch über die Tragkufen bzw. Führungsmagnete abgetragen.*
Dieser Zustand ist bei der Ableitung der Trag- bzw. Führspalte zu berücksichtigen.
- Seitenwindeinfluss ist zu berücksichtigen. Der Auftrieb auf den Wagenkasten kann vernachlässigt werden. Lokale aerodynamische Lasten aus Zugbegegnung und Tunnelfahrt können ebenfalls vernachlässigt werden.²
- Die verschiedenen Beladungszustände sind zu berücksichtigen (Fahrzeugeigengewicht, mittleres und zulässiges Fahrzeuggewicht sowie maximales Fahrzeuggewicht, siehe auch /MSB AG-FZ BEM/).
Maximale Wagenkastenzuladung: Ansatz des größeren Wertes von
 - a. 30 % Überlast bezogen auf die maximale Nutzlast bei Maximalauslastung,
 - b. Zuladung bei Evakuierungslastfall (maximales Fahrzeuggewicht), falls für die Anwendung zutreffend.
- Ein zusätzlicher Freiraumbedarf für Anbauten an den Wagenkasten (z.B. Funkantennen, Abbildung 12) ist projektspezifisch zu berücksichtigen.

² Lokale Auswirkungen werden auf Grund der Starrkörperbetrachtung des Wagenkastens nicht berücksichtigt. Die erforderliche Fahrzeugsteifigkeit wird in /MSB AG-FZ BEM/ behandelt.

7 Kinematische Freiheitsgrade Wagenkasten

Der Wagenkasten verfügt über folgende Starrkörperfreiheitsgrade:

- z-Verschiebung Wagenkasten (ein-, ausfedern),
- y-Verschiebungen (Querverschiebungen),
- Rollen um die Längsachse (Wanken bei Schienenfahrzeugen),
- Nicken um die Querachse (ungleiche z-Verschiebung),
- Gieren um die Hochachse (ungleiche y-Verschiebung).

Die z-Verschiebungen werden nachfolgend zusammen mit dem Nicken Wagenkasten, die y-Verschiebungen zusammen mit dem Gieren Wagenkasten betrachtet.

Um die absoluten Wagenkastenverschiebungen zu erhalten, sind die Verschiebungen der Schwebestelle den folgend abgeleiteten Verschiebungen zu überlagern.

Die Ausführungen in den Unterkapiteln zu Kapitel 7 sind zu beachten.

7.1 Rollen Wagenkasten

Betrachtet wird das quasistatische Rollen des Wagenkastens aufgrund der Eigenschaften der Sekundärfederung. Anschläge, die die Bewegung des Wagenkastens zu den Schwebestellen begrenzen, werden berücksichtigt. Kennzeichnende Größe ist der Rollwinkel η_{yz} .

7.1.1 Begriffe zum Rollen Wagenkasten

7.1.1.1 Drehpunkt Wagenkastenverrollung

Der Drehpol der Wagenkastenverrollung C (Wankpol C bei Schienenfahrzeugen) ist aufgrund der Pendeleigenschaften nicht ortsfest. Für reines Rollen liegt er in Fahrzeugmitte in der Sektionskupplung (Abbildung 7). Infolge der durch das Schwerkraftpendel bedingten Seitenverschiebung des Wagenkastens wandert der Drehpol C nach oben.

Da Infolge der Drehpunktverschiebung nach oben der Rollwinkel reduziert würde, wird für den Nachweis der Drehpol C in die Sektionskupplung gelegt und als ortsfest angenommen.

7.1.1.2 Unsymmetrie η_{0yz}

Unsymmetrie η_{0yz} heißt der statische Rollwinkel des Wagenkastens bei waagrechtem Fahrweg infolge der Außermittigkeit der Belastung. Die Außermittigkeit wird durch die Lage des Wagenkastenschwerpunktes x_{SE} erfasst.

7.1.1.3 Fahrwegüberhöhung

Unter Fahrwegüberhöhung (Querneigung α) wird die Höhendifferenz der Statorebenen Innenbogen zu Außenbogen verstanden.

7.1.1.4 Rollen infolge Überhöhungsfehlbetrag

Der Überhöhungsfehlbetrag ist das Maß, um den die tatsächliche Fahrwegüberhöhung von der ausgleichenden Überhöhung abweicht. Für die Untersuchungen wird die maximale Seitenbeschleunigung a_y angesetzt.

7.1.1.5 Rollen infolge Schwerkraft

Wenn das Fahrzeug auf einem überhöhten Fahrweg steht, dessen Gleitebene mit der Waagrecht einen Winkel α bildet, verrollt der Wagenkasten und bildet mit der Senkrechten zum Fahrweg einen Winkel η_{yz} .

Der Rollwinkel ist abhängig vom Beladungszustand des Fahrzeugs. Es wird der größte Beladungswert im ungünstigsten Beladungszustand berücksichtigt.

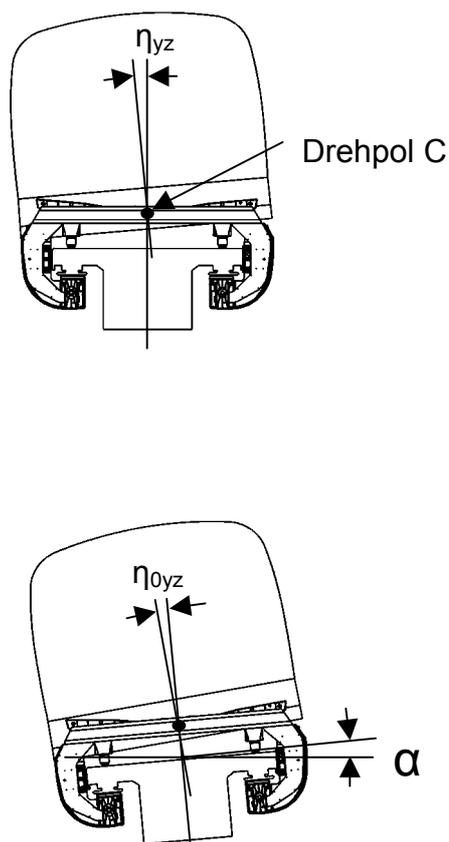


Abbildung 7: Fahrzeugkinematik - Rollen Wagenkasten

7.1.2 Zu untersuchende Lastfälle Rollen

Der **Rollwinkel** kann nach Kapitel 10.1.1 berechnet werden. Die Berechnungsmethode gilt für MSB-Fahrzeuge gemäß /MSB AG-FZ GEN/.

Bei der Ermittlung der Rollsteifigkeit werden die Absetzfedern vernachlässigt. Im Falle druckloser Luftfedern, d.h. bei Abstützung des Wagenkastens auf den 16 Absetzfedern, ergibt sich eine höhere Rollsteifigkeit und damit ein reduzierter Rollwinkel. Durch die gleichzeitige Niveauabsenkung des Wagenkastens entfernt sich die Struktur von der Begrenzungslinie. Daher wird für das Rollen eine intakte Luftfederung (sofern vorhanden) betrachtet.

Folgende Fälle sind zu prüfen:

- Fahrzeug steht auf maximal überhöhtem Fahrweg – Rollen durch Schwerkraft
- Fahrzeug fährt auf Fahrweg mit Überhöhungsfehlbetrag – Rollen durch Fliehkraft

Für beide Fälle ist der Einfluss aus Seitenwind und Unsymmetrie η_{0yz} zu berücksichtigen.

Die Eingabeparameter zur Ableitung der Rollwinkel Wagenkasten sind unter Kapitel 9 angegeben. Abhängig von der Lastfallüberlagerung sind in dem Kapitel die zu berücksichtigende Daten wie Fahrwegtrassierung, anzusetzenden Querschleunigungen, Wagenkastenmassen, Unsymmetrien der Beladung und Seitenwindgeschwindigkeiten angegeben.

7.2 Z-Verschiebungen / Nicken Wagenkasten

Betrachtet wird das quasistatische Ein-/Ausfedern und Nicken des Wagenkastens aufgrund der Sekundärfederungseigenschaften.

Anschläge, die die Bewegung des Wagenkastens zu den Schwebegestellen begrenzen, werden berücksichtigt. Kennzeichnende Größe: Verschiebung z und Nickwinkel γ_{xz} .

7.2.1 Begriffe zu z-Verschiebungen / Nicken Wagenkasten

7.2.1.1 Drehpunkt Wagenkastennicken

Bei aktiver Luftfederung liegt der Drehpunkt in der Sektionskupplung (Abbildung 8).

Bei Vollentlüftung eines Luftfederkreises liegt der Drehpunkt der Wagenkastennickbewegung idealisiert in dem Niveauerfassungspunkt des benachbarten aktiven Luftfederkreises der Sektion. Die Niveauerfassungspunkte sind fahrzeugspezifisch und liegen für MSB-Fahrzeuge gemäß /MSB AG-FZ GEN/ im ersten und letzten Schweberrahmen der Sektion (Abbildung 8).

7.2.1.2 Fahrzeughöhe

Betrachtet werden die Fahrzeughöhen für das leere (unbeladene) und volle (beladene) Fahrzeug.

7.2.1.3 Senkrechte Verschiebungen f_1 nach unten

Die senkrechte Verschiebung f_1 ³ setzt sich zusammen aus der Einfederung Δf_z sowie den zusätzlichen Verschiebungen f_z (siehe 7.2.1.5). Bei schwebendem Fahrzeug setzt sich die Einfederung Δf_z aus dem Federweg der Sekundärfederung, dem Federweg der Tragsmagnetanlenkung und der Gestellelastizität der Schwebestelle zusammen. Bei abgesetztem Fahrzeug setzt sich die Einfederung Δf_z aus dem Federweg der Sekundärfederung und der Einfederung der Tragkufe zusammen. Die Federwege der Sekundärfederung entsprechen den abgeleiteten Wagenkastenverschiebungen.

Die Einfederung der Schwebestelle wird unter 8.1 getrennt betrachtet.

Es wird das senkrechte Einfedern bei max. betrieblicher Zuladung berücksichtigt.

7.2.1.4 Senkrechte Verschiebung f_2 nach oben

Die senkrechte Verschiebung f_2 ergibt sich aus der Ausfederung Δf_z der Sekundärfederung und der Schwebestelle.

Bei schwebendem Fahrzeug setzt sich die Ausfederung Δf_z aus dem Federweg der Sekundärfederung, dem Federweg der Tragsmagnetanlenkung und der Gestellelastizität der Schwebestelle zusammen.

Bei abgesetztem Fahrzeug entspricht die Ausfederung Δf_z dem Federweg der Sekundärfederung, d.h. den abgeleiteten Wagenkastenverschiebungen.

Die Ausfederung der Schwebestelle wird unter 8.1 getrennt betrachtet.

Es wird das senkrechte Ausfedern bei unbesetztem Wagenkasten unter Berücksichtigung der dynamischen Verschiebungen und des Neuzustands berücksichtigt.

³ Bezeichnung siehe /DIN 27505/

7.2.1.5 Zusätzliche vertikale Verschiebungen f_z

Zusätzliche senkrechte Verschiebungen infolge einer Längs- und Querneigung des Wagenkastens.

- Querabsenkung einer Wagenkastenseite: Einfederung phasengleich an allen Schweberrahmen zur gleichen Fahrwegseite hin. Die Verschiebungen werden unter dem Kapitel Rollen 7.1 erfasst.
- Längsabsenkung eines Wagenkastenendes: Einfederung phasengleich an den gegenüberliegenden Schweberrahmen der Schwebegestelle (Nicken), z.B. bei Ausfall eines Luftfederkreises.
- Zusätzliche senkrechte Verschiebung aus der Tragspaltregelung der Schwebegestelle. Die Verschiebungen der Schwebegestelle werden unter Kapitel 8.1 bei der Kinematik Schwebegestell berücksichtigt.

7.2.1.6 Unsymmetrie γ_{0xz}

Unsymmetrie γ_{0xz} heißt der statische Nickwinkel des Wagenkastens bei waagrechtem Fahrweg infolge Außermittigkeit der Belastung in Fahrzeuginnenrichtung. Der Einfluss wird über die Lage des Wagenkastenschwerpunktes berücksichtigt.

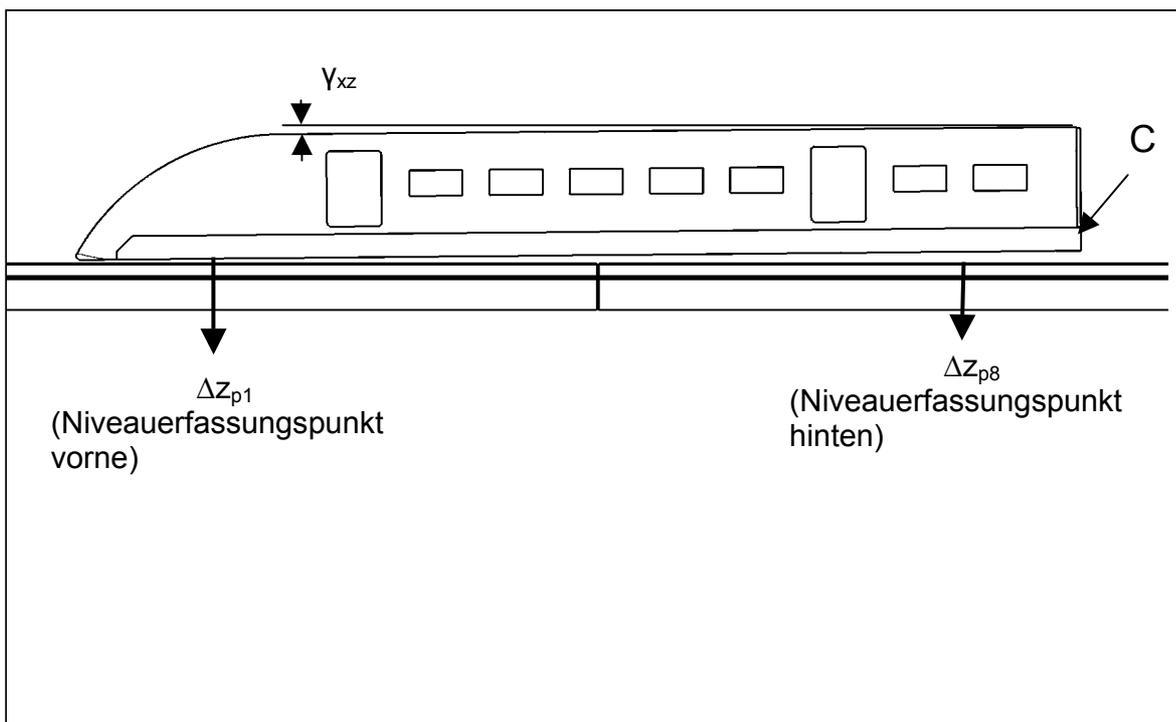


Abbildung 8: Fahrzeugkinematik - z-Verschiebungen / Nicken Wagenkasten

7.2.2 Zu untersuchende Lastfälle z-Verschiebung / Nicken

Das höchste z-Niveau Wagenkasten stellt sich bei aktiver Luftfederung (druckbeaufschlagte Luftfedern) ein. Bei Ausfall einzelner Luftfedern wird durch die Niveauregelung das Niveau gehalten, es treten vernachlässigbare Nickbewegungen auf. Die betrieblichen Nickbewegungen werden unter Berücksichtigung des aktiven Luftfedersystems abgeleitet.

Die maximalen Nickbewegungen ergeben sich für den „theoretisch konstruierbaren“ Störbetriebsfall eines drucklosen Luftfederkreises.

Die Ausführung der Luftfederkreise und die Zuordnung der Luftfedern zu den Luftfederkreisen muss so erfolgen, dass die Auftretenswahrscheinlichkeit einer unzulässigen Nickbewegung vernachlässigbar ist.

Die maximalen Nickwinkel einer Sektion ergeben sich für den Fall eines aktiven Luftfederkreises (z-Niveau im Niveauerfassungspunkt in Nennlage) und eines drucklosen Luftfederkreises (z-Niveau abgesenkt auf die Absetzfedern). Informativ sind die Beziehungen zur Ableitung der Nickwinkel im Anhang mit aufgeführt. Der Fall einer Ausfederung nach oben (Druck Luftfederkreise über Nenndruck) wird nicht betrachtet, da für diesen Fall der Nickwinkel gegenüber den genannten Störbetriebssituationen deutlich kleiner ist und über den Lastfall Leergewicht bzw. Beladungsunsymmetrie ohnehin erfasst ist.

Der **Nickwinkel und die z-Verschiebungen Wagenkasten** können nach Kapitel 10.1.2 berechnet werden.

- Fahrzeug im Nennbetrieb (zwei aktive Luftfederkreise) mit max. z-Niveau nach Kapitel 10.1.2.1
- Fahrzeug auf drucklosen Luftfedern nach Kapitel 10.1.2.4 mit minimalem z-Niveau
- Fahrzeug im Störbetrieb bei drucklosem Bugluftfederkreis nach Kapitel 10.1.2.2 mit maximalem negativem Nickwinkel (Bugabsenkung)
- Fahrzeug im Störbetrieb bei drucklosem Heckluftfederkreis nach Kapitel 10.1.2.3 mit maximalem positivem Nickwinkel (Heckabsenkung)

Folgende Fälle sind zu untersuchen:

- Ein-/Ausfedern Wagenkasten durch einzelne Beladungszustände (Leergewicht, max. Gewicht nach Kapitel 6)
- Fahrzeug fährt auf Fahrweg mit vertikalem Radius R_{xz}
- Ein-/Ausfedern eines Wagenkastenendes durch Anfahren / Bremsen bei maximaler Beschleunigung / Verzögerung

Für die Fälle ist der Einfluss aus Seitenwind und Unsymmetrie γ_{0xz} zu berücksichtigen.

Zusätzlich ist durch den Hersteller der Fehlerfall „Absenken eines Wagenkastenendes durch Ausfall eines Luftfederkreises“ zu bewerten und eine ggf. notwendige betriebliche Zusatzmaßnahme zu definieren.

Bei allen Nachweisen ist ausschließlich die Endsektion zu betrachten. Durch die Nachweise werden die Mittelsektionen mit abgedeckt.

Die Eingabeparameter zur Ableitung der Nickwinkel und z-Verschiebungen des Wagenkastens sind unter Kapitel 9 angegeben. Abhängig von der Lastfallüberlagerung sind in dem Kapitel die zu berücksichtigende Daten wie anzusetzenden Beschleunigungen / Verzögerungen, Wagenkastenmassen und Unsymmetrien der Beladung angegeben.

7.3 Y-Verschiebung / Gieren Wagenkasten

Betrachtet wird das quasistatische Gieren des Wagenkastens aufgrund der Eigenschaften Sekundärfederung.

Die Querverschiebungen bzw. das Gieren Wagenkasten hängen von den Federungseigenschaften der Sekundärfederung (Schwerkraftpendel, Anordnung der y-Zusatzfedern) ab.

Kennzeichnende Größe: Querverschiebung y , Gierwinkel δ_{xy} (siehe Abbildung 9).

7.3.1 Begriffe zu y-Verschiebungen / Gieren Wagenkasten

7.3.1.1 Drehpunkt Gierbewegung

Der Drehpunkt liegt in der Sektionskupplung.

7.3.1.2 Geometrische Ausragung

Außermittigkeit eines Fahrzeugteils infolge Kurvenfahrt

Auf ein und derselben Seite der Fahrwegmitte wird unterstellt, dass alle Punkte des gleichen Wagenkastenquerschnitts die gleiche geometrische Ausragung haben (Betrachtung als Starrkörper).

7.3.1.3 Ausladung S

Außermittigkeit der Fahrzeugendquerschnitte infolge Kurvenfahrt.

7.3.1.4 Unsymmetrie δ_{0xy}

Unsymmetrie δ_{0xy} heißt der statische Gierwinkel des Wagenkastens bei geradem Fahrweg infolge Außermittigkeit der Belastung in Fahrzeuginnenrichtung. Der Einfluss wird über die Lage des Wagenkastenschwerpunktes berücksichtigt.

7.3.1.5 Querverschiebungen

Die Querverschiebung Wagenkasten setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

- Geometrische Verschiebung infolge der Fahrzeugstellung im Bogen und in der Gerade bei senkrecht zum Fahrweg stehender Fahrzeughochachse;
- Quasistatische Verschiebung y der Sekundärfederung;
- Quasistatische laterale Verschiebung der Schwebegestelle. Die Verschiebungen der Schwebegestelle werden unter Kapitel 8.1 bei der Kinematik Schwebegestell berücksichtigt.

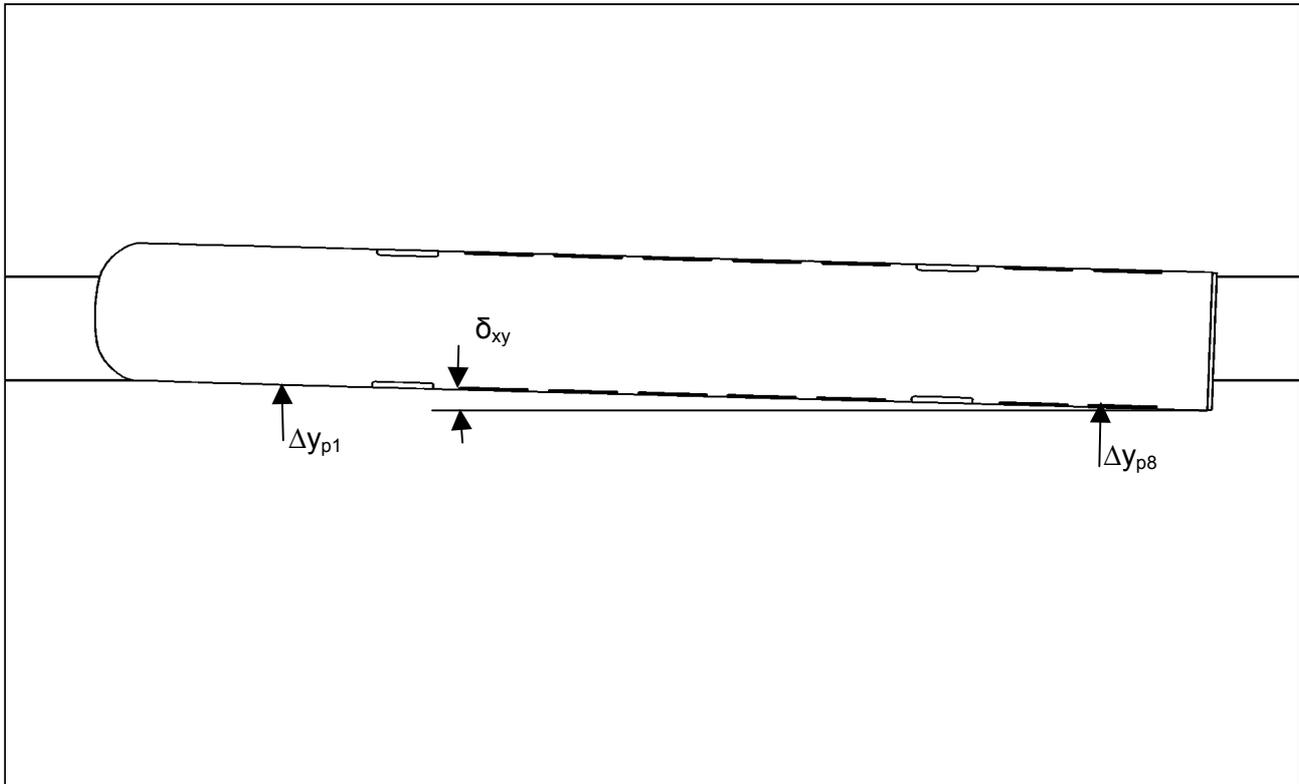


Abbildung 9: Fahrzeugkinematik - y-Verschiebungen / Gieren Wagenkasten

7.3.2 Zu untersuchende Lastfälle y-Verschiebung / Gieren

Die **Gierwinkel und y-Verschiebungen Wagenkasten** können nach Kapitel 10.1.3 berechnet werden.

Folgende Fälle sind zu untersuchen:

- Fahrzeug fährt auf Fahrweg mit Überhöhungsfehlbetrag – Verschiebung und Gieren durch Fliehkraft
- Fahrzeug fährt auf Fahrweg mit horizontalem Radius R_{xy} .

Für beide Fälle ist der Einfluss aus Seitenwind und Unsymmetrie δ_{0xy} zu berücksichtigen.

Die geometrische Ausragung und die Ausladung S bei Überlagerung aller Verschiebungen (Wagenkasten und Fahrwerk) können durch geeignete Berechnungsverfahren (z.B. CAD-Modelle) ermittelt werden.

Die Eingabeparameter zur Ableitung der Gierwinkel und y-Verschiebungen sind unter Kapitel 9 angegeben. Abhängig von der Lastfallüberlagerung sind in dem Kapitel die zu berücksichtigenden Daten wie Fahrwegtrassierung, anzusetzenden Querschleunigungen, Wagenkastenmassen, Unsymmetrien der Beladung und Seitenwindgeschwindigkeiten angegeben.

8 Kinematik zwischen Schwebegestell und Fahrweg

Die Ausführungen in den Unterkapiteln zu Kapitel 8 sind zu beachten.

8.1 Kinematische Freiheitsgrade Schwebegestell

Das berührungsfreie Tragen und Führen ermöglicht folgende Starrkörperfriheitsgrade der Schwebestelle:

- *z-Verschiebung Schwebegestell durch Tragspaltregelung*
- *y-Verschiebung Schwebegestell durch Führspaltregelung (Spurmittenregelung)*
- *Rollen um die Längsachse infolge ungleicher Tragspalte links / rechts (ungleiche z-Verschiebungen)*
- *Nicken um die Querachse infolge ungleicher Tragspalte vorne / hinten (ungleiche z-Verschiebung)*
- *Gieren um die Hochachse infolge ungleicher Führspalte vorne / hinten (ungleiche y-Verschiebung)*

Bei Normalbetrieb ergeben sich die Relativbewegungen der Schwebestelle zum Fahrweg aus den dynamischen Spaltabweichungen an den Trag- und Führungsmagneten.

Bei Störungen im elektromagnetischen Trag-/Führsystem treten die maximalen Verschiebungen auf. Diese möglichen Bewegungen sind wie folgt eingegrenzt:

- *In z-Richtung nach oben durch die Minimalspaltüberwachung bzw. im Grenzfall durch Touchieren Tragmagnet an Stator, nach unten mechanisch durch die Tragkufe.*
- *In y-Richtung mechanisch durch den Spurkanal der Führungsmagnete (Anlaufen Führungsmagnet an Seitenführschiene).*

Die Trag- bzw. Führspalte werden an der Position der Spaltsensoren gemessen.

Folgende Betriebszustände müssen berücksichtigt werden:

- Geregelt absetzen des Gesamtfahrzeugs im Stand
- Normalbetrieb mit Tragspalt und Spurmittenregelung

Neben den Betriebszuständen sind folgende Sonderbetriebsfälle zu berücksichtigen:

- Absetzen einzelner Schweberrahmen nach Ausfall zweier zugeordneter Tragregelkreise (lokales mechanisches Tragen auf Tragkufe)
- Ausfall zweier zugeordneter Führungsmagnetregelkreise (lokales mechanisches Führen mit Führungsmagnet)
- Geregelt absetzen des Gesamtfahrzeugs aus niedriger Geschwindigkeit nach Zwangsbremmung mit Wirbelstrombremse
- Ungeregeltes einseitiges Absetzen bei Kurzschluss in der Antriebswicklung

8.2 Verschiebungen Schwebegestell

Nachfolgend werden die Luftspalte zwischen Schwebegestellen und Fahrweg abgeleitet.

Diese bestimmen die möglichen Verschiebungen der Schwebegestelle und deren Stellung zum Fahrweg.

8.2.1 Trag- und Tragkufenspalt

Im Nennzustand schwebt das Fahrzeug bei einem definierten Tragspalt s_0 . Eine Verschiebung des Fahrzeugs nach oben wird durch das Anliegen des Tragsmagnets an der Statorebene, nach unten durch das Berühren der Tragkufe mit der Gleitebene begrenzt.

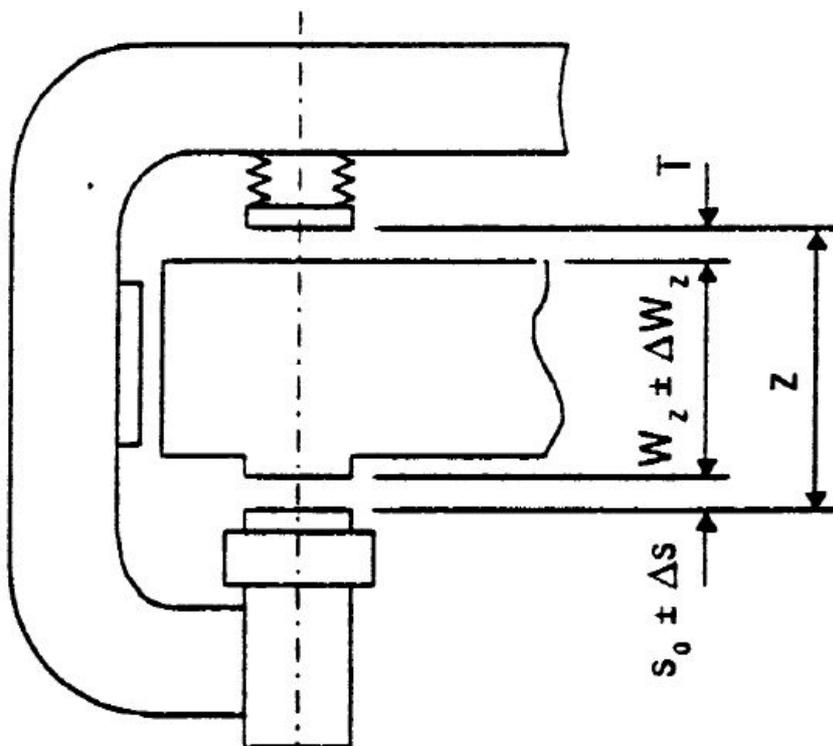


Abbildung 10: Fahrzeugkinematik - Spaltbilanz Tragen (z-Richtung)

Ausführungsgrundlage

Fahrzeug

Das **Ist-Zangenmaß des Fahrzeugs** zwischen Tragmagnetoberkante und Tragkufenunterkante berechnet sich bei Berücksichtigung des Kufenverschleißes ΔV allgemein zu

$$Z = Z_0 \pm \Delta z + \Delta f_z + \Delta V \quad \text{Gl. 1}$$

Die Toleranzen ΔW_z Fahrweg werden bei Nachweis der Begrenzungslinie 5.6 zu Null gesetzt.

Für das **schwebende Fahrzeug** ist bei Abweichung von der Nennlast die Ein-/Ausfederung des der Schwebestelle sowie der Tragmagnetanlenkung einzurechnen.

$$\Delta f_z = \Delta f_{zG} + \Delta f_{zTM} \quad \text{Gl. 2}$$

Für das **abgesetzte Fahrzeug** ist das Ausfedern der Schwebestelle und der Tragmagnetanlenkung sowie das Einfedern der Tragkufe zu berücksichtigen.

$$\Delta f_z = \Delta f_{zG} + \Delta f_{zTM} + \Delta f_{zTK} \quad \text{Gl. 3}$$

In den Bauunterlagen wird das schwebende Fahrzeug in Nennlage dargestellt.

$$\Delta f_z = 0$$

Der **Tragspalt** legt die maximale Verschiebung des Schweberahmens nach oben fest. Er ergibt sich bei Berücksichtigung der Tragdynamik nach

Abbildung 10 zu

$$s = s_0 \pm \Delta s \quad \text{Gl. 4}$$

Für die Untersuchungen entspricht der Spalt s_0 dem max. Verschiebungswert nach oben.

Der **Tragkufenspalt** legt die maximale Verschiebung des Schweberahmens nach unten fest. Er ergibt sich bei Berücksichtigung der Tragdynamik nach

Abbildung 10 zu

$$T = Z_0 + \Delta z + \Delta V - W_z - (s_0 \pm \Delta s) \quad \text{Gl. 5}$$

8.2.2 Führspalt

Im Nennzustand schwebt das Fahrzeug bei einem definierten Führspalt F . Eine laterale Verschiebung des Fahrzeugs wird in beiden Richtungen \pm durch das Anliegen Führungsmagnet an der Seitenführschiene des Fahrwegs begrenzt.

Die Spurweite des Fahrzeugs zwischen den Führungsmagneten beträgt bei Spurmittenregelung

$$Y = Y_0 \pm \Delta y - \Delta f_y \quad \text{Gl. 6}$$

Für das **schwebende Fahrzeug** kommt es bei Abweichung von der Nennlast zur Ein-/ Ausfederung der Schwebegestelle Δf_y . Dieser Wert ist in der Regel vernachlässigbar.

Der maximale Führspalt tritt bei mechanischem Führen auf. Der Führungsmagnet einer Schweberrahmenseite liegt an der Seitenführschiene an und ist kraftlos. Der gegenüberliegende Führungsmagnet ist kraftbelastet.

Die Fahrzeugspurweite beträgt dann

$$Y_A = Y_0 \pm \Delta y + \Delta P \quad \text{Gl. 7}$$

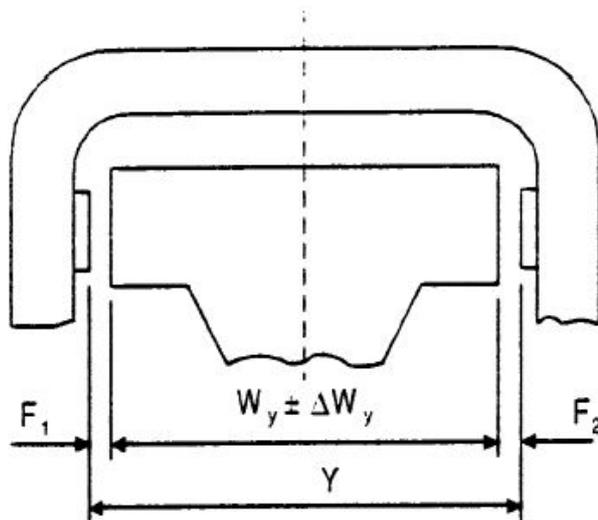


Abbildung 11: Fahrzeugkinematik - Spaltbilanz Führen (y-Richtung)

P stellt den maximalen Abrieb der Polleisten dar.

Da es sich um einen ungünstigsten spezifizierten Verschleißzustand handelt, ist der Verschleiß nicht für alle Führungsmagnete gleichzeitig anzusetzen. Daher wird der volle Verschleiß nur für eine Fahrzeugseite angesetzt.

$$\Delta P = P$$

Damit berechnet sich die Summe beider Führspalte zu

$$F_{Amax} = Y_0 + \Delta y + P - W_y \quad \text{Gl. 8}$$

Die Toleranzen ΔW_y Fahrweg werden bei Nachweis der Begrenzungslinie 5.6 zu Null gesetzt.

Der Wert der Verschiebung des Schwebegestells aus der Nennlage heraus beträgt für die am Fahrweg anliegende Schweberrahmenseite

$$dy = F_{Amax} - F$$

wobei F dem Nennspalt der Ausgangssituation entspricht.

Die Reduzierung der Führspalte bei Kurvenfahrt nach 10.2 kann bei Kurvenradien < 1000 m berücksichtigt werden.

8.3 Verdrehungen Schwebegestell

Die z- und y-Verschiebungen der Schwebegestelle (Trag- und Führspalt, Tragkufenspalt) bewirken Roll-, Nick- und Gierbewegungen des Schwebegestells.

Für die kinematische Begrenzungslinie Fahrzeug stellen sich die ungünstigen Wagenkastenpositionen bei Ansatz von Verschiebungen (Trag- und Führspalt) ein.

Die Verdrehungen Nicken und Gieren reduzieren die Verschiebungen Wagenkasten und müssen nicht betrachtet werden.

Das Rollen der Schwebegestelle muss berücksichtigt werden, da sich der Rollwinkel Fahrzeug vergrößert.

9 Nachweis der kinematischen Begrenzungslinie Fahrzeug

9.1 Führungsquerschnitte

Nachfolgende Ausführungen zur Behandlung der Führungsquerschnitte sind zu beachten:

Die Einstellung des Fahrzeugs zum Fahrweg wird über die Fahrzeugquerschnitte festgelegt.

MSB-Fahrzeuge verfügen über 4 Schwebegestelle je Sektion.

Für den Nachweis der kinematischen Begrenzungslinie werden die Führungsquerschnitte in das erste und letzte Schwebegestell gelegt.

Die Positionierung des Wagenkastens zu den beiden Schwebegestellen erfolgt über die Lage der Anlenkkonsolen der x-Anlenkung Wagenkasten (x- und y-Position Mitte Schwebegestell, y-Position Mitte Wagenkasten).

Die Stellung der beiden mittleren Schwebegestelle ist für diese definierte Wagenkastenposition zu prüfen.

Die beiden mittleren Gestelle stehen sowohl zum Fahrweg als auch zum Wagenkasten in einer festen Beziehung. Fahrwegseitig über die Trag- und Führspalte, wagenkastenseitig über die Pendel (y- und z-Wege).

Kommt es infolge dieser Gestelle zu einer geometrischen Zwangsbedingung, so ist die Stellung des Wagenkastens zu korrigieren, ansonsten bleiben die mittleren Schwebegestelle unberücksichtigt.

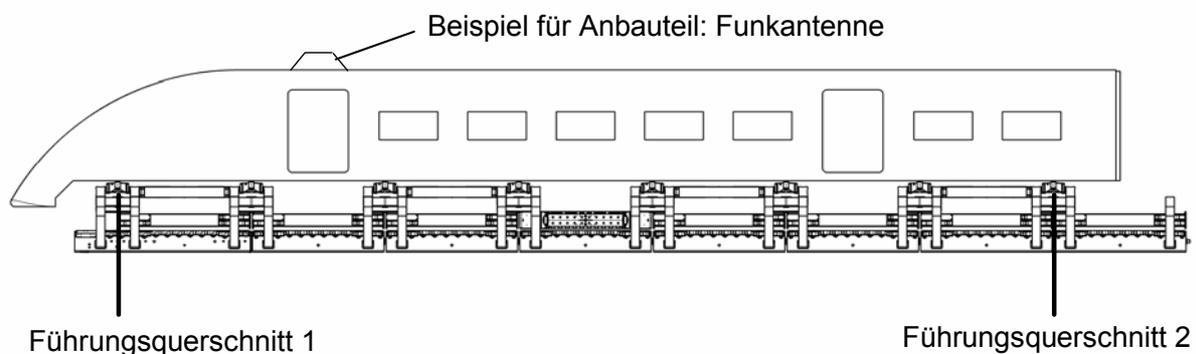


Abbildung 12: Positionierung Fahrzeug auf Fahrweg

9.2 Zu betrachtende Lastfälle / Geometrischen Situationen

Als Mindestanforderung müssen die Betriebslastfälle gem. Kapitel 9.2.1 nachgewiesen werden.

Die Sonderbetriebsfälle, siehe Kapitel 9.2.2 müssen durch den Hersteller bezüglich möglicher Auswirkungen untersucht werden. Ggf. notwendige betriebliche Maßnahmen müssen benannt und mit dem Betreiber und der Genehmigungsbehörde abgestimmt und festgelegt werden.

9.2.1 Betriebslastfälle

Die folgende Tabelle enthält die zu betrachtenden Lastfallkombinationen A bis D des fahrenden Zuges. Zusätzlich ist der Tabelle zu entnehmen, welche Einwirkungen bei der Ermittlung der Fahrzeugkinematik überlagert werden. Die für den Nachweis der kinematischen Begrenzungslinie in Instandhaltungsanlagen zu beachtenden Einwirkungen sind mit dem Betreiber abzustimmen.

Betriebsfälle Fahrzeugkinematik	Fall			
	A	B	C	D
Massenkräfte aus:				
• Leergewicht		X		X
• Maximale betriebliche Zuladung (1,3 fache maximale Nutzlast)	X		X	
• Maximale Verzögerung / Beschleunigung a_x	X	X	X	X
• Maximale Seitenbeschleunigung a_y	X	X		
• Maximale Vertikalbeschleunigung aus Wanne / Kuppe a_z			X	X
• Unsymmetrie der Zuladung	X		X	
Trassierung				
• Fahrzeug in der Kurve	X	X		
• Fahrzeug in der Geraden, Wanne / Kuppe incl. Fahrdynamik			X	X
Seitenwind				
• Betrieblich dauernd wirkender Seitenwind	X	X	X	X

Tabelle 1: Betriebsfälle Fahrzeugkinematik

Die anzusetzenden Werte für Windgeschwindigkeiten, Gewichte und Trassierung, sowie die Unsymmetrie der Zuladung sind projektspezifisch festzulegen. Die Lastfallüberlagerung kann ebenfalls projektspezifisch abweichend festgelegt werden.

Werden projektspezifisch keine abweichenden Vereinbarungen getroffen, gelten folgende Werte:

- Trassierungsparameter nach Kapitel 5.5
Die anzusetzende Fahrdynamik Wagenkasten aus Fahrwegfolgen beträgt $\Delta z = \pm 10 \text{ mm}$ (Erfahrungswert).
- Betrieblicher Seitenwind $v_w = 10 \text{ m/s}$.

- Da die maximalen **Schwebegestellverschiebungen** nicht von Federungseigenschaften abhängen, wird konservativ eine „Extremstellung“ des ersten Schwebegestells (Führungsquerschnitt Bug der Sektion nach Kapitel 9.1) bei gleichzeitiger Nennlage des zweiten Schwebegestells (Führungsquerschnitt Heck der Sektion nach Kapitel 9.1) angenommen. Diese Vorgehensweise ist sinnvoll, da nur das erste bzw. letzte Schwebegestell betrachtet wird und die beiden dazwischen liegenden mittleren Schwebegestelle unberücksichtigt bleiben. Bei Berücksichtigung dieser dazwischen liegenden mittleren Gestelle ergeben sich kleinere Nick- und Gierwinkel.

Schwebegestellposition Führungsquerschnitt Bug:

Die Führungsmagnete der Führungsquerschnitte liegen bei Kurvenfahrt kurveninnenseitig an, der betrieblich zulässige Verschleiß der Polleisten wird berücksichtigt.

Für die z-Lage der Schweberahmen werden zwei Fälle unterschieden:

- a) der Tragsmagnet des ersten Gestells liegt an der Fahrwegunterkante an (Maximales Nicken Wagenkasten infolge Schwebegestellverschiebungen nach oben)
- b) die Tragkufe des ersten Gestells liegt unter Ansatz der statischen Einfederung und des zulässigen betrieblichen Verschleißes auf der Gleitleiste (Maximales Nicken Wagenkasten infolge Schwebegestellverschiebungen nach unten)

Schwebegestellposition Führungsquerschnitt Heck:

Nennmaße für Trag-, Führ- und Kufenspalte.

- Beispiele für die Spaltmaße:

Tragspalt	10 mm
Führspalt	11 mm
Tragkufenspalt	16 mm.

- Beispiele für Verschleißwerte:

Für die Tragkufenbeläge und Polleisten wird der betriebliche Verschleiß, nicht der maximal mögliche Verschleiß angesetzt. Die Verschleißparameter sind projektspezifisch festzulegen.

Kufenbeläge:

CFC:	1,5 mm
GKB 5:	5 mm
Polleisten Führungsmagnet:	1,0 mm.

9.2.2 Sonderbetriebsfälle

Im Rahmen der Untersuchung von Störfällen sollten folgende Fälle durch den Hersteller bewertet werden. Die Fälle werden nicht mit anderen Lastfällen überlagert. Worst case Lastfälle: Störfälle im Sinne einer Grenzbetrachtung, die von ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit her vernachlässigbar sind:

- Ausfall einzelner Luftfederkreise
- Wagenkasten auf Absetzfedern (leere Luftfedern)

Sonderlastfälle: spezifizierte Sonderbetriebsfälle:

- Maximaler Seitenwind 37 m/s
- maximale Wagenkastenzuladung (Evakuierungsfall)
- einseitig ungeregeltes Absetzen bei Wicklungskurzschluss
- maximaler Tragkufenverschleiß

Der maximale Verschleiß darf nur bei dem als Sonderbetriebsfall geltenden mechanischen Tragen eines Schweberrahmens bis zu einem projektspezifisch festzulegenden Halteplatz (s. auch /MSB AG-BLT/, Kapitel 6.3.3.1) ausgenutzt werden. Nach Eintreten dieses Ereignisses wird eine Instandhaltungsmaßnahme durchgeführt.

Die Schwebegestelle (Führungsquerschnitte) sind in Nennlage anzuordnen.

10 Anhang (informativ)

10.1 Ableitung der kinematischen Freiheitsgrade Wagenkasten

10.1.1 Rollwinkel Wagenkasten

Die Pendelkräfte ΔF_{pz} aus y-Wagenkastenkräften F_{yWK} berechnen sich zu

$$\Delta F_{pz} = 0,5 \cdot F_{yWK} \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{y_p} \quad \text{Gl. 9}$$

mit $F_{yWK} = F_{ySW} + F_{mWKy}$ Gl. 10

$F_{mWKy} = m_{WK} \cdot a_y$ Gl. 11

Der Rollwinkel Wagenkasten aus Seitenwind- und Fliehkraft η_{yzFy} ergibt sich zu

$$\eta_{yzFy} = \frac{M_T}{c_{\eta WK}} = \frac{2 \cdot \Delta F_{pz} \cdot y_p}{c_{\eta WK}} = F_{yWK} \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{c_{\eta WK}}$$

$$\eta_{yzFy} = (m_{WK} \cdot a_y + F_{ySW}) \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{c_{\eta WK}} \quad \text{Gl. 12}$$

Der Rollwinkel Wagenkasten aus Fahrwegüberhöhung $\eta_{yz\alpha'}$ ergibt sich mit dem Rollmoment $M_{T\alpha'}$

$$M_{T\alpha'} = (z_{sWK} - z_C) \cdot \sin \alpha' \cdot F_{mWKz}$$

mit $F_{mWKz} = m_{WK} \cdot a_z$ z-Massenkraft Wagenkasten

$$\eta_{yz\alpha'} = \frac{M_T}{c_{\eta WK}} = F_{mWKz} \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{c_{\eta WK}} \cdot \sin \alpha'$$

$$\eta_{yz\alpha'} = \frac{M_T}{c_{\eta WK}} = m_{WK} \cdot a_z \cdot \frac{z_{sWK} - z_C}{c_{\eta WK}} \cdot \sin \alpha' \quad \text{Gl. 13}$$

10.1.2 z-Verschiebungen und Nickwinkel Wagenkasten

10.1.2.1 Aktive Luftfederung

Die folgende Ableitung der z-Pendelkräfte erfolgt für ein 3 Sektionenfahrzeug unter dem Ansatz der 5 + 3 Luftfederverschaltung der Endsektion. Da für die Untersuchung die Endsektion relevant ist, spielt die Anzahl der Sektionen keine Rolle. Eine Änderung der Luftfederverschaltung erfordert eine Anpassung der Gleichungen.

Ein Wagenkasten wird statisch bestimmt über zwei Luftfederkreise abgestützt. Dabei werden die Schweberahmen 1 bis 5 der Endsektion (Bug) durch den Luftfederkreis 1, die Schweberahmen 6 bis 8 der Endsektion und Schweberahmen 1 – 4 der Mittelsektion über den Luftfederkreis 2 versorgt. Die Luftfedern eines Kreises verfügen über den gleichen Druck p_1 bzw. p_2 mit den Pendelkräften F_{pzLF1} (Luftfederkreis 1) und F_{pzLF2} (Luftfederkreis2).

Die Pendelkraft des ersten Schweberahmens beträgt aufgrund der eingebauten Luftfeder

$$F_{p1z} = 0,5 \cdot F_{pzLF1} \quad \text{Bug Schweberahmen} \quad \text{Gl. 14}$$

Die restlichen Pendelkräfte ergeben sich zu

$$F_{piz} = F_{pzLF1} \quad i = 2,5 \text{ Endsektion} \quad \text{Gl. 15}$$

$$F_{piz} = F_{pzLF2} \quad i = 6,8 \text{ Endsektion} \quad \text{Gl. 16}$$

$$F_{piz} = F_{pzLF2} \quad i = 1,4 \text{ Mittelsektion} \quad \text{Gl. 17}$$

Die Pendelkräfte F_{pzLF1} und F_{pzLF2} sowie die Kupplungskraft F_{Kz} berechnen sich über das z.B. mittels Determinanten zu lösende Gleichungssystem.

$$A \cdot \bar{x} = b \quad \text{zu}$$

$$\begin{bmatrix} 18 & 28 & 0 \\ 9 & 6 & 1 \\ 9x_{s1} & 6x_{s2} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{pzLF1} \\ F_{pzLF2} \\ F_{Kz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \cdot F_{zWKE} + F_{zWKM} \\ F_{zWKE} \\ F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE} \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 18}$$

10.1.2.2 Bugluftfederkreis drucklos

Bei drucklosem Bugluftfederkreis stützt sich der Wagenkasten Endsektion auf die den Schweberrahmen 1 bis 5 über die Absetzfedern ab.

Für die Ableitung der Pendelkräfte und den Nickwinkel wird unterstellt, dass die restlichen Pendelasten über die Luftfederung abgestützt werden.

Die auf die Pendelachse bezogenen Kräfte der Absetzfedern betragen

$$F_{piZE} = c_{piE} \cdot z_{piE}$$

Mit dem Abstand x_{NiE} der Absetzfeder zum angenommenen Nickdrehpunkt des Wagenkastens (Niveaumesspunkt des benachbarten Luftfederkreises) ergibt sich für den Nickwinkel η eine Einfederung der Absetzfedern von

$$z_{piE} = \tan \eta \cdot x_{NiE} \quad \text{Gl. 19}$$

Die Pendelkräfte berechnen sich zu

$$F_{piZE1} = c_{piE} \cdot z_{piE} \quad i = 1,5 \text{ Endsektion 1 (Bugluftfederkreis drucklos)} \quad \text{Gl. 20}$$

$$F_{piZE1} = F_{pzLF2} \quad i = 6,8 \text{ Endsektion 1} \quad \text{Gl. 21}$$

$$F_{piZE1} = F_{pzLF2} \quad i = 1,4 \text{ Mittelsektion} \quad \text{Gl. 22}$$

$$F_{p1ZE2} = 0,5 \cdot F_{pzLF1} \quad \text{Bugschweberahmen Endsektion 2} \quad \text{Gl. 23}$$

$$F_{piZE2} = F_{pzLF1} \quad i = 2,5 \text{ Endsektion 2} \quad \text{Gl. 24}$$

Der Nickwinkel η , die Luftfederkreiskräfte F_{pzLF1} und F_{pzLF2} sowie die Kupplungskräfte F_{Kz1} (Endsektion 1) und F_{Kz2} (Endsektion 2) ergeben sich durch Lösen des folgenden Gleichungssystems:

$$A \cdot \bar{x} = \bar{b} \text{ zu}$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^5 (c_{piE} \cdot x_{NiE}) & 9 & 28 & 0 & 0 \\ \sum_{i=1}^5 (c_{piE} \cdot x_{NiE}) \cdot x_{iE} & 0 & 6 \cdot x_{s2} & 0 & 0 \\ \sum_{i=1}^5 (c_{piE} \cdot x_{NiE}) & 0 & 6 & 1 & 0 \\ 0 & 9 & 6 & 0 & 1 \\ 0 & 9 \cdot x_{s1} & 6 \cdot x_{s2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tan \eta \\ F_{pzLF1} \\ F_{pzLF2} \\ F_{Kz1} \\ F_{Kz1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \cdot F_{zWKE} + F_{zWKM} \\ F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE} \\ F_{zWKE} \\ F_{zWKE} \\ F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE} \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 25}$$

Für nichtlineare Kennlinien c_{iE} bzw. c_{piE} muss die Lösung des Gleichungssystems ggf. iterativ erfolgen.

10.1.2.3 Luftfederkreis Sektionsübergang E/M drucklos

Bei drucklosem Luftfederkreis am Sektionsübergang E/M stützt sich der Wagenkasten Endsektion auf die Schweberahmen 1 bis 5 über die Luftfedern des Bugluftfederkreises und die Absetzfedern der Schweberahmen 6 bis 8 ab.

Für die Ableitung der Pendelkräfte und den Nickwinkel wird nur die Endsektion betrachtet, d.h. die Stützwirkung der Mittelsektion bleibt unberücksichtigt. Der Niveaufassungspunkt (z-Verschiebung Null) befindet sich am Schweberahmen 2. Dieser Punkt ist zugleich Drehpunkt.

Die auf die Pendelachse bezogenen Kräfte der Absetzfedern betragen

$$F_{pizE} = c_{piE} \cdot z_{piE}$$

Mit dem Abstand x_{NiE} der Absetzfeder zum angenommenen Nickdrehpunkt des Wagenkastens (Niveaumesspunkt des Bugluftfederkreises) ergibt sich für den Nickwinkel η eine Einfederung der Absetzfedern von

$$z_{piE} = \tan \eta \cdot x_{NiE} \quad \text{Gl. 26}$$

Die Pendelkräfte berechnen sich zu

$$F_{p1z} = 0,5 \cdot F_{pzLF1} \quad \text{Bugschweberahmen} \quad \text{Gl. 27}$$

$$F_{piz} = F_{pzLF1} \quad i = 2,5 \text{ Schweberahmen 2 bis 5} \quad \text{Gl. 28}$$

$$F_{pizE1} = c_{piE} \cdot z_{piE} \quad i = 6,8 \text{ (Luftfederkreis 2 drucklos)} \quad \text{Gl. 29}$$

Der Nickwinkel η und die Luftfederkreiskräfte F_{pzLF1} ergeben sich durch Lösen des folgenden Gleichungssystems:

$$A \cdot \bar{x} = b \text{ zu} \quad \text{Gl. 30}$$

$$\begin{bmatrix} 9 & \sum_{i=6}^8 [c_{iE} \cdot (x_{2E} - x_{iE})] \\ 9 \cdot x_{s1} & \sum_{i=6}^8 [c_{iE} \cdot (x_{iE} \cdot x_{2E} - x_{iE}^2)] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{pzLF1} \\ \tan \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{zWKE} \\ F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE} \end{bmatrix}$$

10.1.2.4 Alle Luftfederkreise drucklos - Abstützung auf Absetzfedern

Bei drucklosen Luftfedern stützt sich der Wagenkasten ausschließlich auf die Absetzfedern ab. Die auf die Pendelachse bezogenen Kräfte der Absetzfedern betragen

$$F_{\text{pizE}} = c_{\text{piE}} \cdot z_{\text{piE}}$$

Der Nickdrehpunkt Wagenkasten liegt in der Sektionskupplung. Mit der Verschiebung z_0 der Sektionskupplung ergeben sich für die z-Wege der Absetzfedern folgende Werte

$$z_{\text{piE}} = z_K + \Delta z_{\text{piE}} \quad \text{Gl. 31}$$

und mit dem Abstand x_{iE} der Absetzfeder zur Sektionskupplung der Nickwinkel η zu

$$\eta = \arctan \frac{z_{\text{piE}}}{x_{iE}} \quad \text{Gl. 32}$$

Die Pendelkräfte berechnen sich zu

$$F_{\text{pizE1}} = c_{\text{piE}} \cdot z_{\text{piE}} \quad \text{Endsektion} \quad \text{Gl. 33}$$

Der Nickwinkel η und die statische Grundeinfederung z_K ergeben sich aus folgendem Gleichungssystem:

$$A \cdot \bar{x} = b \quad \text{zu}$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^8 c_{\text{piE}} + \sum_{i=1}^4 c_{\text{piM}} & \sum_{i=1}^8 (c_{\text{piE}} \cdot x_{iE}) \\ \sum_{i=1}^8 (c_{\text{piE}} \cdot x_{iE}) & \sum_{i=1}^8 (c_{\text{piE}} \cdot x_{iE}^2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_0 \\ \tan \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5F_{zWKE} + 0,25F_{zWKM} \\ 0,5(F_{zWKE} \cdot x_{sE} + F_{xWKE} \cdot z_{sE}) \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 34}$$

10.1.3 y-Verschiebungen und Gierwinkel Wagenkasten

Analog zu den z-Pendellasten und dem Nickwinkel lassen sich die y-Pendellasten und der Gierwinkel Wagenkasten ableiten. Es wird ebenfalls eine 5 + 3 Luftfederverschaltung der Endsektion zugrunde gelegt.

Parallel zu den Pendeln sind an den Schweberahmen 2 und 3 sowie 6 und 7 y-Zusatzfedern angeordnet.

Wie bereits erwähnt, erfordert die Änderung der Luftfederverschaltung bzw. der Anordnung der y-Zusatzfedern eine Anpassung der Gleichungen.

Die statische Grundverschiebung in lateraler Richtung beträgt y_0 , diese entspricht der y-Verschiebung der Sektionskupplung y_K .

Die y-Zusatzverschiebung aus Gieren Δy_i für die Schweberahmen $i = 1,8$ resultiert aus dem Gierwinkel δ_{xy}

$$\tan \delta_{xy} = \frac{\Delta y_i}{x_{ZF_i}} \quad \text{Gl. 35}$$

Die y-Verschiebung der Angriffspunkte Pendel der Endsektion beträgt

$$y_{pi} = y_K + \Delta y_i \quad \text{mit } i = 1,8 \quad \text{Gl. 36}$$

Die Pendelkräfte berechnen sich zu

$$F_{piy} = \frac{y_{pi}}{l_p} \cdot F_{piz} \quad i = 1,8 \quad \text{Gl. 37}$$

Die Kräfte an der y-Zusatzfeder erhält man aus der Beziehung

$$F_{ZFiy} = c_{ZF} \cdot y_{pi} \quad \text{Gl. 38}$$

Der Gierwinkel δ_{xy} und die statische Grundeinfederung y_K ergeben sich aus folgendem Gleichungssystem:

$$A \cdot \bar{x} = b \quad \text{mit}$$

$$f_1 = 2 \sum_{i=1}^8 (F_{pizE} \cdot \frac{x_{iE}}{l_p}) + c_{ZF} \cdot (x_{2E} + x_{3E} + x_{6E} + x_{7E})$$

$$f_2 = 2 \sum_{i=1}^8 (F_{pizE} \cdot \frac{x_{iE}^2}{l_p}) + c_{ZF} \cdot (x_{2E}^2 + x_{3E}^2 + x_{6E}^2 + x_{7E}^2)$$

$$f_3 = \frac{2}{l_p} \sum_{i=1}^8 F_{pizE} + \frac{2}{l_p} \sum_{i=1}^4 F_{pizM} + 6 c_{ZF}$$

$$f_4 = \frac{2}{l_p} \sum_{i=1}^8 (F_{pizE} \cdot x_{iE} + c_{ZF} + x_{2E} \cdot (x_{2E} + x_{3E} + x_{6E} + x_{7E}))$$

$$\begin{bmatrix} f_1 & f_2 \\ f_3 & f_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_0 \\ \tan \delta_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{yWKE} \cdot x_{sE} + F_{ySWE} \cdot x_{SWE} \\ F_{yWKE} + 0,5F_{yWKM} + F_{ySWE} + 0,5F_{ySWM} \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 39}$$

10.2 Führspaltkorrektur bei gekrümmtem Fahrweg

Bei gekrümmtem Fahrweg ergeben sich aufgrund der Seitenführschienenkrümmung über die Magnetlänge ortsabhängige Abweichungen des realen Luftspalts vom Sollspalt. Die Größe dieser Abweichung ist abhängig vom Kurvenradius R und von der Lage der Spaltsensoren (Abstand d). Die Fahrwegkrümmung reduziert den freien Luftspalt. Nach Abbildung 13 liegt an der Messposition der Spaltsensoren der Sollluftspalt vor, zwischen den Sensoren wird der Luftspalt um Δs_1 reduziert, am Magnetende um Δs_2 erhöht. Relevant ist der Spalt Δs_1 .

Der Summenspalt bei Kurvenfahrt beträgt

$$F_R = \Delta s_1 + \Delta s_2 \quad \text{Gl. 40}$$

$$F_R = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{L_{FM}}{2}\right)^2} \quad \text{Gl. 41}$$

Die Spaltdifferenz in Führungsmagnetmitte berechnet sich zu

$$\Delta s_1 = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}, \quad \text{Gl. 42}$$

die Spaltdifferenz am Führungsmagnetende zu

$$\Delta s_2 = F_R - \Delta s_1 \quad \text{Gl. 43}$$

Korrekturwerte für eine ausgeführte Magnetlänge $L_{TM} = 3050$ mm und einem Sensorabstand von ca. 2300 mm.

Radius [m]	F_R [mm]	Δs_1 [mm]	Δs_2 [mm]
350	3,3	1,8	1,5
1000	1,2	0,7	0,5
2000	0,6	0,3	0,3
Gerade	0	0	0

Tabelle 2: Einfluss Kurvenradius auf Führmagnetluftspalt

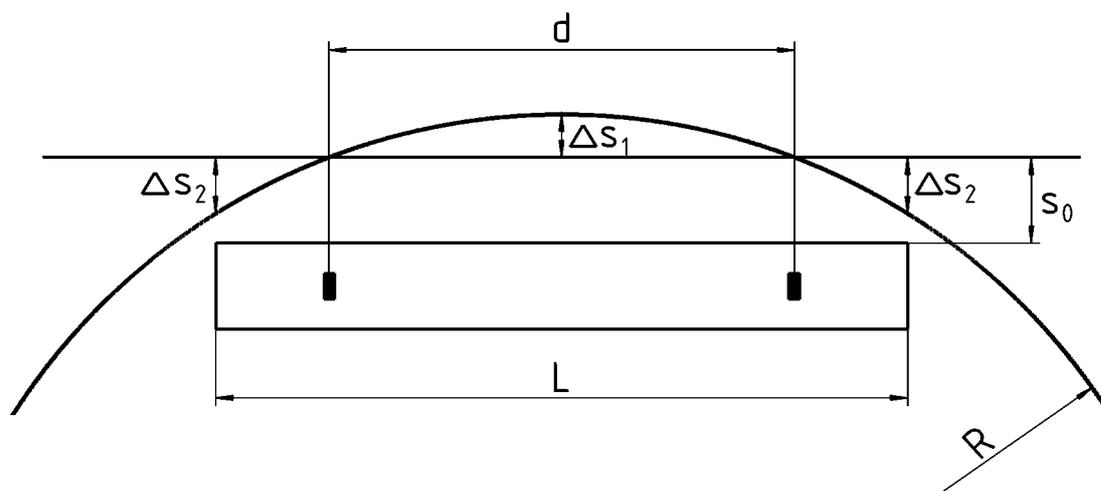


Abbildung 13: Führspaltkorrektur bei Kurvenfahrt