

DIN EN 14363



ICS 45.060.01

**Bahnanwendungen –
Fahrtechnische Prüfung für die fahrtechnische Zulassung von
Eisenbahnfahrzeugen –
Prüfung des Fahrverhaltens und stationäre Versuche;
Deutsche Fassung EN 14363:2005**

Railway applications –

Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles –

Testing of running behaviour and stationary tests;

German version EN 14363:2005

Applications ferroviaires –

Essais en vue de l'homologation du comportement dynamique des véhicules ferroviaires –

Essais en ligne et à poste fixe;

Version allemande EN 14363:2005

Gesamtumfang 130 Seiten

Normenausschuss Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm wurde unter Federführung der WG 10 „Zusammenwirken Fahrzeug/Fahrtweg“ (Vorsitz: Deutschland) des CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ (Sekretariat: Deutschland) erarbeitet.

Das zuständige deutsche Arbeitsgremium ist der Arbeitsausschuss 4.02 „Fahrtechnik, Fahrkomfort“ des Normenausschusses Schienenfahrzeuge (FSF).

Deutsche Fassung

**Bahnanwendungen —
Fahrtechnische Prüfung für die fahrtechnische
Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen —
Prüfung des Fahrverhaltens und stationäre Versuche**

Railway applications — Testing for the acceptance of
running characteristics of railway vehicles — Testing of
running behaviour and stationary tests

Applications ferroviaires — Essais en vue de l'homologation
du comportement dynamique des véhicules ferroviaires —
Essais en ligne et à poste fixe

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 3. März 2005 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe	6
4 Stationäre Versuche	12
4.1 Sicherheit gegen Entgleisen beim Befahren von Gleisverwindungen.....	12
4.2 Sicherheit gegen Entgleisen unter Längskrafteinfluss in S-Bögen	29
4.3 Wankverhalten	29
4.4 Ausdrehwiderstand	34
4.5 Messung der quasistatischen Radkraft.....	36
5 Streckenversuche	38
5.1 Allgemeines.....	38
5.2 Art des Streckenversuchs und des Messverfahrens	38
5.3 Beurteilungsgrößen, Grenzwerte und Messgrößen	48
5.4 Durchführen der Streckenversuche.....	58
5.5 Auswerten der Versuche.....	71
5.6 Ergebnisdokumentation.....	76
Anhang A (informativ) Erläuterungen zur Sicherheit gegen Entgleisen	78
Anhang B (normativ) Simulationen zum Nachweis der Sicherheit gegen Entgleisen beim Befahren von Gleisverwindungen	105
Anhang C (normativ) Gleislage von Versuchsgleisen	108
Anhang D (normativ) Koordinatensystem für die Messgrößen	114
Anhang E (normativ) Statistische Auswertung.....	115
Anhang F (informativ) Formelzeichen.....	119
Anhang G (normativ) Betriebsparameter.....	124
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 96/48/EG des Rates vom 23. Juli 1996 über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems.....	125
Literaturhinweise	128

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14363:2005) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

ANMERKUNG Die WG 10 ist reaktiviert worden und hat ihr künftiges Arbeitsprogramm festgelegt. Danach wurde entschieden, die EN 14363 durch weitere Teile zu vervollständigen.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Dezember 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2005 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EG-Richtlinien.

— Richtlinie 96/48/EG des Rates vom 23. Juli 1996 über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems¹⁾

Zum Zusammenhang mit EG-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokumentes ist.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1) Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 235/6 vom 17.09.96

Einleitung

Diese Europäische Norm behandelt die fahrtechnische Prüfung für die Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen. Sie wurde von der Arbeitsgruppe WG 10 „Zusammenwirken Fahrzeug/Fahrweg“ des Technischen Komitees CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erstellt.

Diese Europäische Norm geht von vorhandenen Regeln, Verfahrensweisen und der Betriebspraxis aus. Folgende Grundsätze wurden bei der Erstellung angewendet:

- 1) Das System Eisenbahn setzt umfassende technische Regeln voraus, damit ein störungsfreies Zusammenwirken der Systemkomponenten Fahrzeug und Fahrweg sichergestellt werden kann.
- 2) Aufgrund zahlreicher nationaler und internationaler Regelwerke mussten bisher neue Eisenbahnfahrzeuge vor ihrer Inbetriebnahme immer geprüft und zugelassen werden. Zusätzlich mussten die Voraussetzungen für eine Erweiterung bestehender Zulassungen geprüft werden.
- 3) Die zunehmende Bedeutung des grenzüberschreitenden Eisenbahnverkehrs, insbesondere des Hochgeschwindigkeitsverkehrs, verlangt die Vereinheitlichung vorhandener Regelwerke und macht zum Teil zusätzliche Regeln erforderlich. Dazu bedingen erhebliche Verbesserungen der eisenbahn-spezifischen Mess-, Auswertungs- und Datenverarbeitungstechnik eine Fortschreibung vorhandener Regelwerke.
- 4) Es ist von besonderer Bedeutung, dass das bestehende Sicherheits- und Zuverlässigkeitsniveau bei steigenden Anforderungen hinsichtlich Fahrzeugkonstruktion und Betriebsbedingungen nicht beeinträchtigt wird, z. B. bei der Einführung höherer Fahrgeschwindigkeiten, größerer Radkräfte usw.

Diese Europäische Norm gibt den Stand der Technik bezüglich Versuchsdurchführung und Auswertung der stationären Versuche und Streckenversuche wieder.

Diese Europäische Norm wurde in wesentlichen Teilen aus der UIC 518 abgeleitet, welche bisher noch nicht vollständig durch praktische Anwendungen abgesichert ist. Die Regeln über das Fahrverhalten von Güterwagen der UIC 432 werden in Zukunft ebenfalls einbezogen, sobald die Diskrepanzen zwischen UIC 518 und UIC 432 durch die Expertengruppe der UIC geklärt worden sind. Die Arbeitsgruppe ist sich bewusst, dass die Kombination der geforderten Prüfbedingungen nicht immer erreicht wird. In diesen Fällen können bestehende Regeln dann Ausnahmen erfordern, die gegenüber der Zulassungsstelle begründet werden müssen. Die geänderten Prüfbedingungen sind anzugeben.

Offen ist auch noch die Einbeziehung der Prüfung von Weichenfahrten im abzweigenden Ast mit $R \leq 190$ m bei Anwendung der normalen und vereinfachten Messverfahren. Dazu wird die Beurteilung anhand von Spannungen in kritischen Querschnitten der Weiche (z. B. Zungenbereich) durchgeführt. Die Prüfbedingungen können erst nach zukünftigen Untersuchungen festgelegt werden.

Die Arbeitsgruppe erwartet jedoch, dass durch weitere Untersuchungen und eine möglichst vielseitige Anwendung der Regeln bestehende Unzulänglichkeiten erkannt werden.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm regelt die fahrtechnische Prüfung für die Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen (nachfolgend kurz Fahrzeuge genannt). Der Anwendungsbereich ist auf Eisenbahnen des öffentlichen Verkehrs beschränkt. Die fahrtechnische Prüfung gilt grundsätzlich für Fahrzeuge, die auf Gleisen der Regelspur (1 435 mm) freizügig betrieben werden.

ANMERKUNG 1 Die fahrtechnische Prüfung von

- Bahnen mit abweichender Gleistrassierung, beispielsweise Straßenbahnen, Stadtbahnen und Untergrundbahnen;
- Bahnen mit abweichender Spurweite

kann in Anlehnung an die Regeln dieser Europäischen Norm durchgeführt werden.

Die fahrtechnische Prüfung ist Teil einer Bauartprüfung für

- neu entwickelte Bauarten von Fahrzeugen;
- relevant geänderte Bauarten von Fahrzeugen oder
- Fahrzeuge mit relevant geänderten Betriebsbedingungen.

Die fahrtechnische Prüfung und Zulassung bezieht sich auf das vollständige Fahrzeug einschließlich Fahrwerk. Wird ein bereits geprüftes und zugelassenes Fahrwerk unter einem Fahrzeugkasten abweichender Bauart verwendet, gilt dies als konstruktive Änderung. Es ist wie in 5.2 beschrieben zu verfahren.

ANMERKUNG 2 Über die fahrtechnische Prüfung für die Zulassung hinaus können die Regeln allgemein zur Lösung fahrtechnischer Aufgabenstellungen, beispielsweise

- Prüfen der Forderungen auf Einhaltung von Entwicklungsverträgen,
- Optimieren von Bauteilen, Fahrzeugen oder Fahrwerken,
- Untersuchen von Einflüssen, Einflussgrößen und Abhängigkeiten,
- Überwachen von Fahrweg oder Fahrzeugen im Betrieb

angewendet werden.

Die fahrtechnische Prüfung besteht aus der Prüfung der Fahrfähigkeit (hauptsächlich stationäre Versuche) und der Prüfung des Fahrverhaltens (Streckenversuche).

Die vollständige Anwendung der Regeln und Grenzwerte gilt für die fahrtechnische Prüfung von Fahrzeugen des freizügigen internationalen Verkehrs.

Abweichungen von den Bedingungen dieser Europäischen Norm sind entsprechend den Bestimmungen des Abschnittes 7.1 der Richtlinie 91/440 der EU zulässig.

Die Prüfung für die fahrtechnische Zulassung geht von einem bestimmten Referenzzustand des Gleises aus. Wird dieser auf bestimmten Strecken nicht eingehalten, so müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden (Änderung der Fahrzeuggeschwindigkeit, zusätzliche Versuche usw.).

Bei nationalem oder grenzüberschreitendem Einsatz eines Fahrzeugs kann vom Verantwortlichen des Fahrwegs eine Abweichung von den festgelegten Bedingungen zugelassen werden. Auf mögliche Abweichungen wird in dieser Europäischen Norm hingewiesen.

Von den festgelegten Regeln darf abgewichen werden, wenn mindestens die gleiche Sicherheit wie bei Beachtung dieser Regeln nachgewiesen ist.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Europäischen Norm erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 13674-1, *Bahnanwendungen; Oberbau — Schienen — Teil 1: Vignolschienen ab 46 kg/m*

prEN 13715:2003, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Räder — Radprofile*

prEN 15302, *Bahnanwendungen — Verfahren zur Bestimmung der äquivalenten Konizität*

EN 13848-1 *Bahnanwendungen — Oberbau — Qualität der Gleisgeometrie — Teil 1: Beschreibung der Gleisgeometrie*

UIC 432:2002, *Güterwagen — Fahrgeschwindigkeiten — Einzuhaltende technische Bedingungen* ²⁾

UIC 505-1:2003, *Eisenbahnfahrzeuge — Fahrzeugbegrenzungslinien* ²⁾

UIC 505-4:1977, *Auswirkungen der Anwendung der kinematischen Begrenzungslinien nach den UIC-Merkblättern 505 auf den Abstand fester Gegenstände vom Gleis und auf den Gleisabstand* ²⁾

UIC 505-5:1977, *Gemeinsame Grundbedingungen für die Merkblätter 505-1 bis 505-4; Kommentar über die Ausarbeitung und die Vorschriften dieser Merkblätter* ²⁾

UIC 510-2:2002, *Wagen — Bedingungen für die Verwendung von Rädern verschiedener Durchmesser in Laufwerken unterschiedlicher Bauart* ²⁾

UIC 518:2003, *Fahrtechnische Prüfung und Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen — Fahrsicherheit, Fahrwegbeanspruchung und Fahrverhalten* ²⁾

UIC 530-2:1997, *Güterwagen — Laufsicherheit* ²⁾

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Prüfung für die fahrtechnische Zulassung

Vorgehensweise zur Ermittlung von Zahlenwerten fahr- und schwingungstechnischer Beurteilungsgrößen. Die gewonnenen Werte der Beurteilungsgrößen werden zusammen mit den Grenzwerten im Rahmen der Zulassung des Fahrzeugs verwendet

Zweck der fahrtechnischen Prüfung kann sein:

- Prüfen von Fahrzeugen für die erstmalige Zulassung oder
- Erweitern von Geltungsbereichen bereits erteilter Zulassungen, beispielsweise für konstruktive Änderungen an Fahrzeugen oder die Änderung von Einsatzbedingungen

2) Zu beziehen bei: Eisenbahntechnische Publikationen (ETF); 16 rue Jean Rey, F-75015 Paris

3.2

Prüfverfahren

Gesamtheit zusammengehöriger Regeln für

- Messen und Auswerten fahrzeugspezifischer Größen (Beschleunigungen, Kräfte, Wege am Fahrzeug), welche die Fahrfähigkeit und das Fahrverhalten des Fahrzeuges charakterisieren,
- Erfassen zugehöriger Bedingungen von Fahrweg, Betrieb und Umwelt,
- Beschreiben von Versuchsdurchführung sowie Mess- und Auswertungsverfahren,
- Prüfen der Zulassungsbedingungen.

ANMERKUNG Bild 1 zeigt die Gliederung der Prüfverfahren.

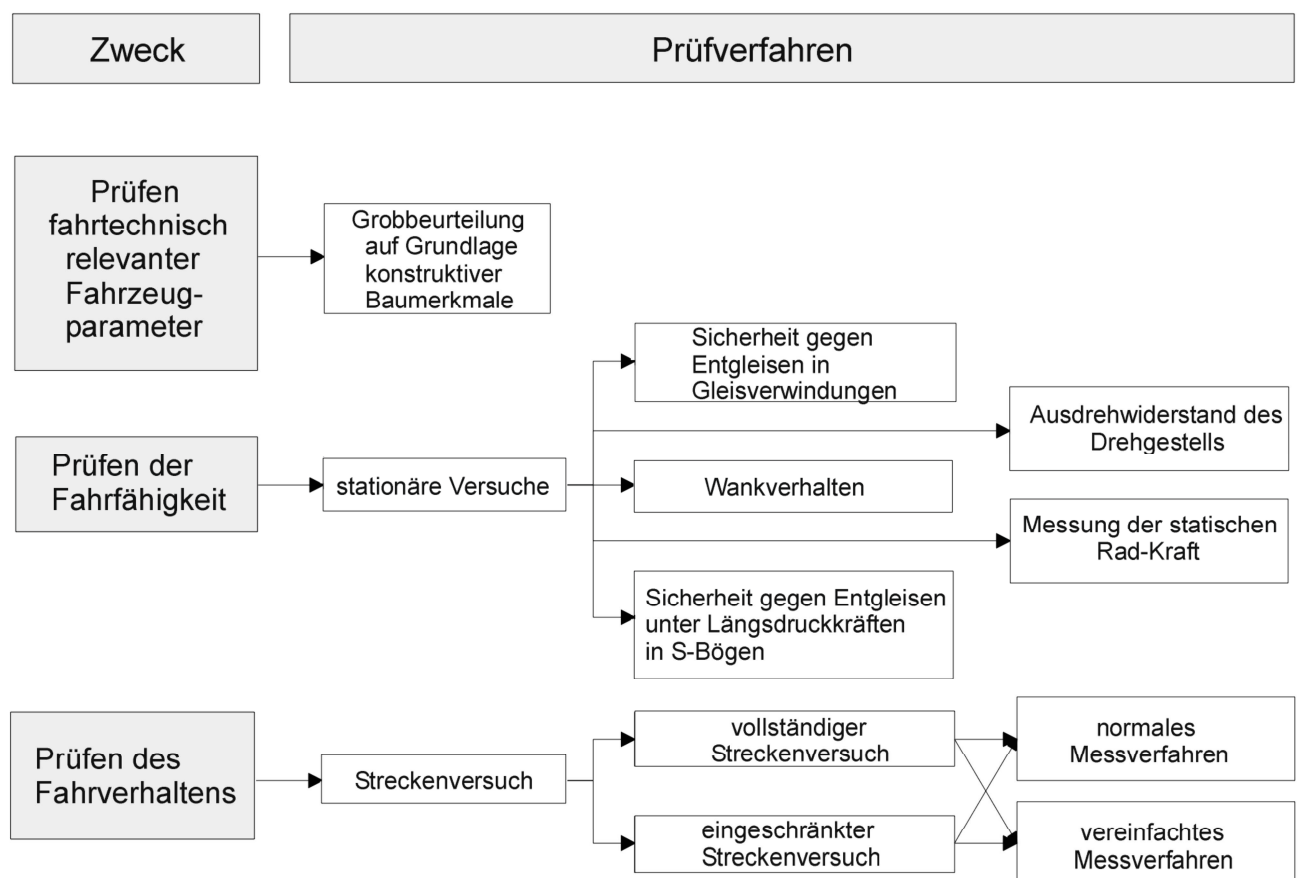


Bild 1 — Gliederung der Prüfverfahren

3.3

fahrtechnisch relevante Parameter

sind die technischen Daten eines Fahrzeugs als fahrtechnisch relevante Fahrzeug- bzw. Fahrwerkparameter, z.B.:

- vorgesehene zulässige Fahrzeughöchstgeschwindigkeit;
- vorgesehener zulässiger Überhöhungsfehlbetrag;
- kleinster befahrbarer Gleisbogenhalbmesser;

- Radsatzfolge;
- Radsatz- und Drehzapfenabstand;
- Schwerpunktshöhe;
- Fahrzeuggewicht;
- Rad- und Radsatzkraftverteilung;
- ungefederte Masse;
- primärgefederte Masse;
- sekundärgefederte Masse;
- Trägheitsmomente des Wagenkastens (um die z-Achse);
- Verwindesteifigkeit des Fahrzeugkastens;
- Verwindesteifigkeit des Fahrwerkrahmens;
- Zugkraft;
- Rad- und Radsatzmaße;
- Radprofile;
- Kennlinie der Primärfederung vertikal;
- Kennlinie der Sekundärfederung vertikal;
- Kennlinie der Radsatzführung;
- Kennlinie der Sekundärfederung quer;
- Ausdrehsteifigkeit des Fahrwerks;
- Trägheitsmoment des Fahrwerks (um die z-Achse).

Diese Fahrzeugparameter müssen den einschlägigen Bau- und Instandhaltungsvorschriften genügen. Die Einhaltung ist vor Beginn der fahrtechnischen Prüfung festzustellen.

3.4

Prüfung der Fahrfähigkeit

Versuche zur Prüfung der Eigenschaft eines Fahrzeugs zum Befahren geometrischer Grenzzustände der Gleistrassierung

ANMERKUNG Die Prüfung der Fahrfähigkeit umfasst überwiegend statische und/oder quasistatische Versuche. Diese beinhalten im Wesentlichen Messungen von Kräften und Wegen zwischen verschiedenen Bauteilen eines Fahrzeuges. Sie sollten vor den Streckenversuchen durchgeführt werden.

3.4.1

Messung der statischen Radkraft

Versuch zur Bestimmung der statischen vertikalen Kraft je Rad

3.4.2**Messung des Ausdrehwiderstandes des Drehgestells**

Versuch zur Bestimmung des Moments, das zur Ausdrehung des durch das Wagenkastengewicht belasteten Drehgestells notwendig ist

3.4.3**Sicherheit gegen Entgleisen in Gleisverwindungen**

Versuch zur Bestimmung der Sicherheit gegen Entgleisen beim Befahren eines Gleises mit Grenzbedingungen der Verwindung

3.4.4**Sicherheit gegen Entgleisen unter Längsdruckkräften in S-Bögen**

Versuch zur Bestimmung der Sicherheit gegen Entgleisen beim Befahren von S-Bögen unter Einwirkung von Längsdruckkräften

3.4.5**Wankverhalten**

Versuch zur Messung der Querverschiebungen und Wankbewegungen eines Fahrzeugs, das einem Überhöhungsüberschuss oder einem Überhöhungsfehlbetrag ausgesetzt ist

3.5**Fahrverhalten**

Eigenschaft eines Fahrzeuges oder Fahrwerkes hinsichtlich des Zusammenwirkens von Fahrzeug und Fahrweg. Zusammengefasst unter dem Begriff Fahrverhalten werden:

- Fahrsicherheit,
- Fahrwegbeanspruchung und
- Schwingungsverhalten.

Maßgebend für die Beurteilung sind:

- Kräfte zwischen Rad und Schiene oder
- Radsatzlagerquerkräfte und/oder
- Beschleunigungen.

Die Prüfung geschieht auf der Grundlage von Streckenversuchen

3.6**Streckenversuch**

fahrtechnischer Versuch auf ausgewählten, relativ kurzen Versuchsgleisen, die bestimmte Merkmale aufweisen müssen. Der Streckenversuch dient der Beurteilung des Fahrverhaltens innerhalb des geplanten Bereichs der Fahrgeschwindigkeit und des Überhöhungsfehlbetrages eines Fahrzeuges.

In Abhängigkeit von den Prüfbedingungen kann der Streckenversuch als

- vollständiger Streckenversuch oder
- eingeschränkter Streckenversuch

durchgeführt werden

3.6.1**vollständiger Streckenversuch**

fahrtechnischer Versuch mit dem gesamten Prüfumfang

3.6.2

eingeschränkter Streckenversuch

fahrtechnischer Versuch zur Erweiterung der Zulassung (siehe Abschnitt 1) mit eingeschränktem Umfang der Prüfung

3.7

Messverfahren

Art und Anzahl der beim Streckenversuch zu messenden Größen. Je nach Art des Fahrzeugs und dem Zweck der Streckenversuche kommt ein

- normales Messverfahren oder
- vereinfachtes Messverfahren

zur Anwendung

3.7.1

Streckenversuch mit normalem Messverfahren

fahrtechnischer Versuch zur Beurteilung von

- Fahrsicherheit;
- Fahrwegbeanspruchung und
- Schwingungsverhalten des Fahrzeugs

mittels direkter Messung der Kräfte zwischen Rad und Schiene sowie Messung von Beschleunigungen am Fahrwerk und im Fahrzeugkasten

3.7.2

Streckenversuch mit vereinfachtem Messverfahren

fahrtechnischer Versuch zur Beurteilung von

- Fahrsicherheit und
- Schwingungsverhalten des Fahrzeugs

mittels gemessenen Radsatzlagerquerkräften, Beschleunigungen am Fahrwerk sowie Beschleunigungen im Fahrzeugkasten

3.8

Prüfumfang

festgelegte Anzahl der Versuchsvarianten bei Streckenversuchen. Der Prüfumfang wird bestimmt durch die

- Prüfbereiche, charakterisiert durch die Gleistrassierung;
- Beladezustände des Versuchsfahrzeugs;
- Ausfallzustände des Versuchsfahrzeugs und die
- Schieneneinbauneigungen des Versuchsgleises

3.9**Versuchsgleis**

ausgewählter Teil des Fahrweges für einen Streckenversuch. Das Versuchsgleis ist abhängig von

- Bauart des Oberbaus;
- Gleistrassierung;
- Schieneneinbauneigung;
- Berührgeometrie Rad/Schiene sowie
- Art und Anzahl der Auswertungsabschnitte

aus dem vorgesehenen Einsatzbereich eines Fahrzeuges auszuwählen

3.10**Versuchsfahrzeug**

Referenzfahrzeug der zu beurteilenden Bauart. Es muss hinsichtlich

- der fahrtechnisch relevanten Fahrzeugparameter sowie
- dem Bau- und Instandhaltungszustand

dem Sollzustand der zu untersuchenden Bauart entsprechen

3.10.1**Fahrzeuge mit konventioneller Technologie**

Fahrzeuge,

- die unter üblichen Betriebsbedingungen verkehren und
- die entweder als komplettes Fahrzeug dem herkömmlichen Stand der Technik entsprechen oder deren das Fahrverhalten beeinflussenden Bauteile dem herkömmlichen Stand der Technik entsprechen

3.10.2**Spezialfahrzeuge**

Fahrzeuge, die entweder einzeln oder in kleiner Stückzahl gebaut werden und zu einer der folgenden Fahrzeugtypen gehören:

- Oberbau-, Bau- und Instandhaltungsfahrzeuge (einschließlich Fahrzeuge zum Eingleisen);
- Spezial-Güterfahrzeuge

3.10.3**Fahrzeug mit neuartiger Technologie**

alle Fahrzeuge, die nicht in den Definitionen für „Fahrzeuge mit konventioneller Technologie“ oder „Spezialfahrzeuge“ erfasst sind

3.10.4**äquivalente Konizität $\tan \gamma_e$**

Parameter zur Charakterisierung der Eigenschaften des Rad-Schiene-Kontaktes. Für einen gegebenen Radsatz auf einem gegebenen Gleis errechnet sich die äquivalente Konizität als die Kegelneigung des Radsatzes mit kegeligen Radprofilen, der die gleiche Wellenlänge des kinematischen Wellenlaufs hat. Zur Bestimmung der Zahlenwerte der äquivalenten Konizität werden die Radprofile mit einem Gleis kombiniert, welches durch die Parameter

- Schienenprofil;
- Einbauneigung der Schienen und
- Spurweite

beschrieben wird. Daraus wird die Funktion $\tan \gamma_e = f(y)$ bei einer Amplitude ± 3 mm errechnet.

ANMERKUNG Zur Klärung von Fragen des Fahrverhaltens kann eine ausführliche Beurteilung des Verlaufes, beispielsweise für den Bereich $1 \text{ mm} \leq y \leq 8 \text{ mm}$, der errechneten Funktion $\tan \gamma_e = f(y)$ notwendig sein.

Die Berechnung der äquivalenten Konizität sollte unter Beachtung von prEN 15302 durchgeführt werden.

4 Stationäre Versuche

4.1 Sicherheit gegen Entgleisen beim Befahren von Gleisverwindungen

4.1.1 Allgemeines

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Versuche dienen dazu sicherzustellen, dass das untersuchte Fahrzeug Gleisverwindungen sicher befahren kann. Im Streckennetz einer Eisenbahn sind Gleisverwindungen unvermeidlich. Sie sind einerseits bedingt durch den Übergang zwischen geradem Gleis und überhöhtem Gleis, andererseits durch unvermeidliche Fehler in der gegenseitigen Höhenlage der beiden Schienen (Instandhaltungsgrenzen).

Dieser Versuch muss bei der erstmaligen Zulassung eines neuen Fahrzeugs durchgeführt werden. Für die Erweiterung einer Zulassung (siehe ANMERKUNG in 5.2.1) muss der Versuch wiederholt werden, falls die Änderung der Parameter die Gefahr des Entgleisens vergrößert. Die wichtigsten Einflüsse auf die Sicherheit gegen Entgleisen sind in A.1 angeführt.

Der Grenzwert $(Y/Q)_{\text{lim}}$ für beginnendes Aufklettern des Spurkranzes wird beeinflusst von

- Spurkranzflankenwinkel,
- den Reibkräften zwischen Rad und Schiene. Diese werden von der Oberflächenbeschaffenheit des Rades und der Schiene am Berührungspunkt und dem Anlaufwinkel zwischen Rad und Schiene bestimmt.

Wenn ein untersuchtes Referenzfahrzeug mit einer entsprechend den Versuchsbedingungen validierten Berechnung der Sicherheit gegen Entgleisen existiert, dann darf auf Versuche verzichtet werden, wenn die neuen Berechnungsergebnisse unterhalb eines reduzierten Grenzwertes von $(Y/Q)_{\text{lim}} = 0,9 \times 1,2 = 1,08$ liegen (Sicherheitsabstand von 10 % zum Grenzwert).

4.1.2 Prüfbedingungen

4.1.2.1 Allgemeines

Das Risiko für das Aufklettern des Spurkranzes an der Schiene wird durch das Verhältnis zwischen der horizontalen Führungskraft Y und der vertikalen Radkraft Q bestimmt.

Zur Bewertung wird die quasistatische Führungskraft des bogenäußeren, vorlaufenden Rades beim Befahren eines Bogens mit einem Halbmesser von $R = 150 \text{ m}$ verwendet.

Die Radentlastung beinhaltet folgende Einflüsse:

- Verwindung auf Basis des Radsatzabstandes im Drehgestell (siehe 4.1.2.2.3);
- Verwindung auf Basis des Drehgestellmittenabstandes (bei Drehgestellfahrzeugen) oder des Radsatzabstandes (bei Fahrzeugen mit zwei Radsätzen) (siehe 4.1.2.2.3);
- Hysterese während der Verwindung;
- außermittige Schwerpunktslage und Eigenverwindung von Drehgestell und Fahrzeugkasten aufgrund von Toleranzen;
- außermittige Schwerpunktslage infolge von Überhöhungsüberschuss oder -fehlbetrag. Dieser Einfluss wird im Versuch eliminiert;
- Momentenwirkung der Radsatzlagerquerkräfte.

Der Einfluss der Überhöhung wird nicht berücksichtigt. Es wird vorausgesetzt, dass die Abnahme der Führungskräfte in größeren Bogenradien einen größeren Einfluss auf die Sicherheit gegen Entgleisen hat als die stärkere Entlastung des führenden Rades infolge der größeren zulässigen Überhöhung in diesen Gleisbogenhalbmessern.

4.1.2.2 Bedingungen für das Gleis

4.1.2.2.1 Allgemeines

Es ist denkbar, für die Prüfbedingungen eine Kombination aller schlechtesten Bedingungen, die auftreten könnten, anzunehmen. Die Überlagerung dieser Bedingungen würde aber eine unrealistische Situation ergeben, von der die Erfahrung gezeigt hat, dass sie nicht erforderlich ist.

Informationen über die Zusammenhänge, die zur Definition der Versuchsbedingungen für europäische Vollbahnen geführt haben, sind in den ERRI-Berichten B 55 und C 138 enthalten. Bezüglich anderer Trassierungen können in dieser Norm keine Informationen angegeben werden.

ANMERKUNG Diese Versuchsbedingungen wurden von ERRI in mehreren Berichten von B 55 und C 138 entwickelt und dokumentiert. Sie werden seit 1983 in Europa angewendet und führten zu einem sicheren Betrieb der Fahrzeuge.

4.1.2.2.2 Gleisgrenzverwindung

Die Gleisgrenzverwindung berücksichtigt die Verwindung aus der Trassierung und dem maximal zulässigen Fehler der gegenseitigen Höhenlage (Instandhaltungsgrenze) und beträgt bei den europäischen Eisenbahnen

$$g_{\text{lim}} = \min\left(7,0; \frac{20}{2a} + 3,0\right)$$

mit $2a$ als Längsbasis in m und g_{lim} in ‰. Der Geltungsbereich ist auf $2a \leq 20$ m begrenzt. ³⁾

4.1.2.2.3 Fahrzeugprüfverwindung

Unter Berücksichtigung der o. g. Ausführungen sind die anzuwendenden Bedingungen für Fahrzeugprüfungen

— für Drehgestell-Prüfverwindung:

$$g_{\text{lim}}^+ = 7 \quad \text{für } 2a^+ \leq 4 \text{ m und}$$

$$g_{\text{lim}}^+ = \frac{20}{2a^+} + 2,0 \quad \text{für } 2a^+ > 4 \text{ m}$$

mit $2a^+$ als Radsatzabstand im Drehgestell in m und g_{lim}^+ in ‰.

3) In den Streckennetzen der DB, NS, ÖBB, PKP, SNCF wurden mehrere Messungen durchgeführt, die zur Festlegung der Gleisgrenzverwindung in Abhängigkeit von der Längsbasis führten. Diese Messungen umfassten einen Längenbereich von 1,8 m bis 19,8 m.

— für Fahrzeugkasten-Prüfverwindung

$$g_{\text{lim}}^* = 7 \quad \text{für } 2a \leq 4 \text{ m und}$$

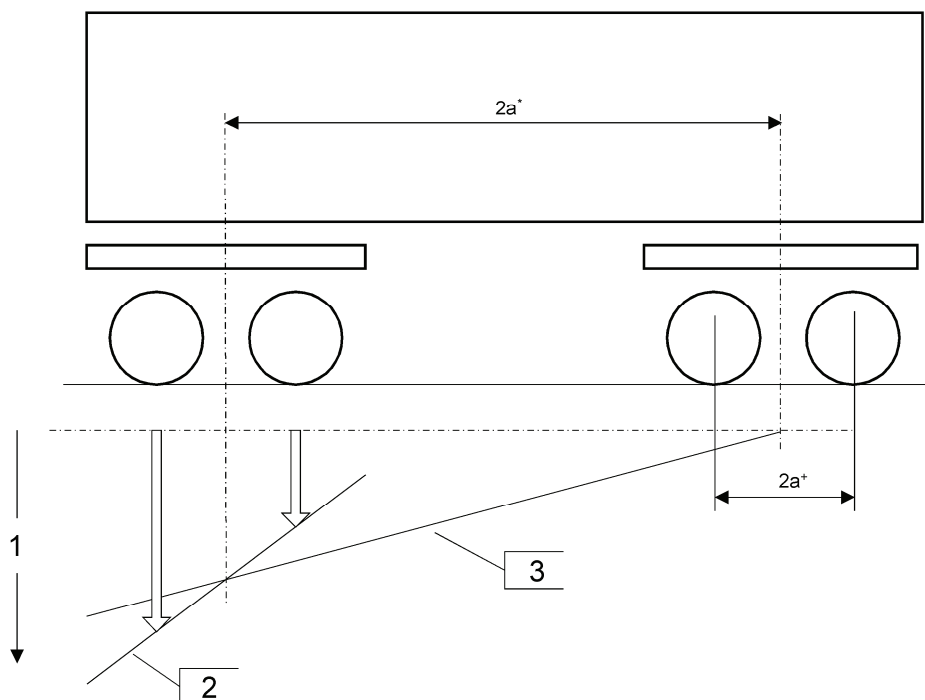
$$g_{\text{lim}}^* = \frac{20}{2a} + 2,0 \quad \text{für } 4 \text{ m} < 2a \leq 20 \text{ m}$$

$$g_{\text{lim}}^* = 3 \quad \text{für } 20 \text{ m} < 2a \leq 30 \text{ m}$$

$$g_{\text{lim}}^* = \frac{90}{2a} \quad \text{für } 2a > 30 \text{ m}$$

mit $2a$ als Längsbasis der Verwindung in m (bei Einzelwagen entspricht die Längsbasis der Verwindung $2a^*$, also dem Drehgestellmittenabstand bei Drehgestellwagen bzw. dem Radsatzabstand bei Wagen mit einzelnen Radsätzen) und g_{lim}^* in ‰.

Bei Drehgestellfahrzeugen müssen die Drehgestell-Prüfverwindung (Längsbasis $2a^*$) und die Fahrzeugkasten-Prüfverwindung (Längsbasis $2a^*$), wie in Bild 2 gezeigt, überlagert werden.

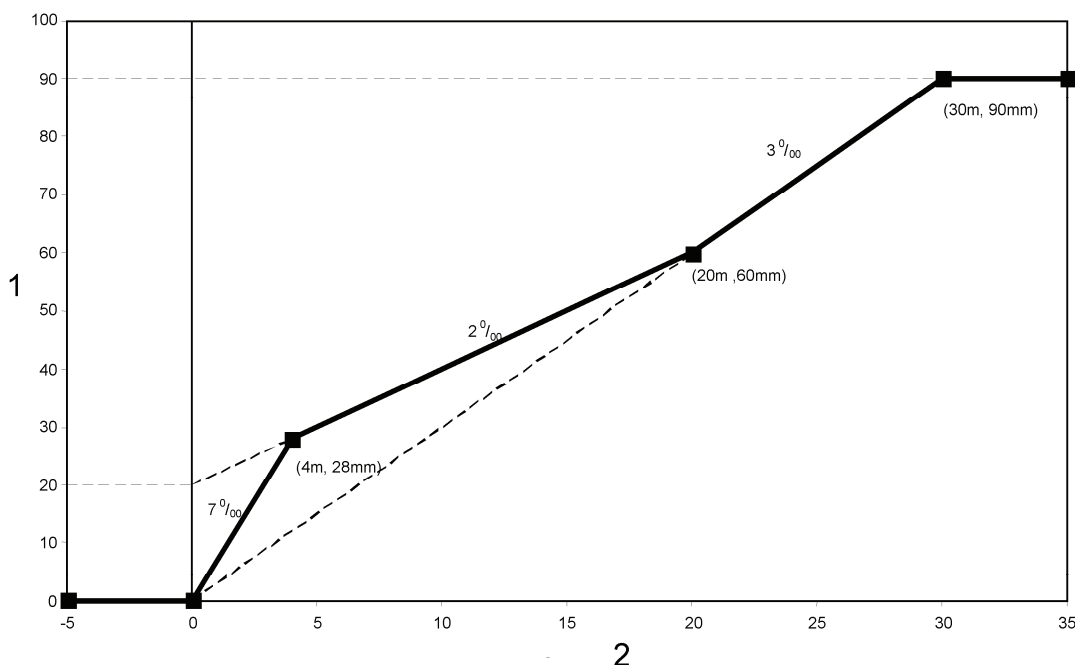


Legende

- 1 Verwindehöhe
- 2 Drehgestell-Prüfverwindung
- 3 Fahrzeugkasten-Prüfverwindung

Bild 2 — Überlagerung der Drehgestell- und Fahrzeugkasten-Prüfverwindung

Die angegebenen Fahrzeugprüfverwindungen gelten nur bis zu einer Längsbasis von $2a^* = 20$ m. Für Werte von $2a^*$ über 20 m wird eine Fahrzeugprüfverwindung von $g_{lim}^* = 3$ ‰ verwendet. Bild 3 zeigt die Werte der Prüfverwindungen in Abhängigkeit der Längsbasen $2a^*$ und $2a^*$. Der Größtwert der Verwindungshöhe muss 90 mm betragen, was einer Verwindung von 3 ‰ bei einer Basis 30 m entspricht. Für Längsbasen über 30 m muss die vertikale Höhendifferenz der Prüfverwindung 90 mm betragen.



Legende

- 1 Verwindehöhe h
2 Längsbasis $2a$

Bild 3 — Werte der Prüfverwindung

4.1.2.2.4 Gleisbogen zur Ermittlung von Führungskräften

Das Gleis muss einen Bogen mit einem Halbmesser von $R = 150$ m enthalten.

Die Untersuchung bezieht sich auf quasistatische Führungskraft des bogenäußeren, führenden Rades.

4.1.2.2.5 Schienenzustand

Die Versuche müssen bei trockenem Schienenzustand durchgeführt werden, um hohe Reibkräfte zwischen Rad und Schiene zu berücksichtigen.

Zur Beschreibung des Schienenzustandes ist es erforderlich

- Y_i und Q_i am bogeninneren führenden Rad;
 - den Anlaufswinkel α und
 - die mittlere Radkraft des führenden Radsatzes
- zu messen und wie unten beschrieben auszuwerten.

Während der Versuche sollte der Reibungskoeffizient mindestens 80 % des Wertes für trockene Schienen betragen. Dafür muss die Bedingung

$$(Y/Q)_i \geq 0,8 \tau_{tr} + \gamma$$

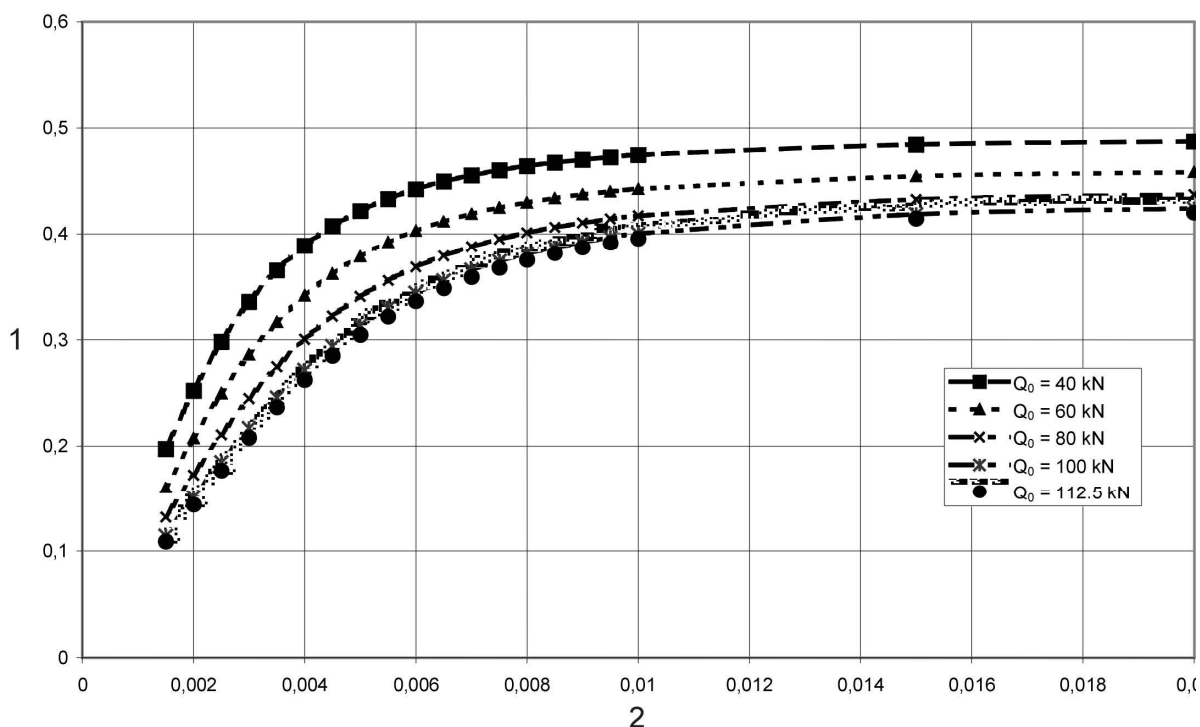
als Funktion des Anlaufwinkels erfüllt werden. In der Gleichung ist der Kontaktwinkel γ im Fahrflächenbereich einzusetzen, z. B. mit

$$\gamma = 0,025$$

für das Radprofil S1002 (nach prEN 13715).

Der Reibungskoeffizient τ_{tr} repräsentiert das Verhältnis zwischen der horizontalen Reibkraft und der Vertikalkraft. Bild 4 zeigt dieses Verhältnis für verschiedene Radaufstandskräfte in Abhängigkeit des Anlaufwinkels. Erläuterungen und die zugehörigen Gleichungen befinden sich in A.3.

Treten während der Versuche Reibwerte über 100 % von τ_{tr} auf, so dürfen die Versuche wiederholt werden.



Legende

- 1 Verhältnis Querreibkraft zu Vertikalkraft τ_{tr}
- 2 Anlaufwinkel [rad]

Bild 4 — Verhältnis von Querreibkraft zu Vertikalkraft für trockenen Schienenzustand

Um den Schienenzustand während der Versuche bestimmen zu können, ist es notwendig, den Anlaufwinkel zu messen.

Das beschriebene Verfahren ist nicht anwendbar, wenn der Anlaufwinkel sehr klein ist (z. B. unter 0,001 5 rad). Bei Drehgestellen mit einem derartig kleinen Anlaufwinkel können die Reibbedingungen anhand des führenden Radsatzes eines anderen Fahrzeuges mit größerem Anlaufwinkel bestimmt werden.

4.1.2.3 Bedingungen für das Fahrzeug

4.1.2.3.1 Allgemeines

Der Einfluss von Fahrzeugkonstruktion und Lastverteilung auf die Sicherheit gegen Entgleisen muss analysiert werden. Einflüsse sowohl der Krümmungs- als auch der Fahrtrichtung sind zu berücksichtigen. Die Versuchsbedingungen und die zu untersuchenden Radsätze sind aufgrund dieser Analyse festzulegen. (Bei Einzelfahrzeugen mit zwei Radsätzen oder Drehgestellen müssen die beiden äußeren Radsätze als führende Radsätze untersucht werden.)

4.1.2.3.2 Beladezustand

Während der Versuche muss das Versuchsfahrzeug die übliche betriebsmäßige Ausstattung aufweisen. Personen- und Güterfahrzeuge müssen im Leerzustand geprüft werden.

Bei Fahrzeugen mit nichtlinearer Federung müssen die Versuche für die ungünstigste Kombination aus Beladezustand und Steifigkeit durchgeführt werden (z. B. bei zweistufigen Federn bei einer Belastung oberhalb des Eingriffspunktes der zweiten Feder, bei der in vollständiger Fahrzeug-Prüfverwindung die zweite Federstufe gerade noch wirksam/in Kontakt bleibt).

4.1.2.3.3 Bedingungen für Fahrzeuge mit Luftfedern

Die Sicherheit gegen Entgleisen muss im Luft- und Notfederbetrieb geprüft werden.

Im Luftfederbetrieb kann die Radlastverteilung durch das Ansprechverhalten der Niveauregulierung beeinflusst werden. Die Art der Luftfedersteuerung (z. B. 4-Punkt-Steuerung, 3-Punkt-Steuerung, 2-Punkt-Steuerung) hat großen Einfluss auf die Versuchsdurchführung; Anhang A.4 gibt einige zusätzliche Informationen.

Der Einfluss der Reaktionszeit der Niveauregelung ist zu untersuchen. Dazu muss während des Versuchs der Einfluss der Niveauregelung durch Einbeziehung von Pausen berücksichtigt werden, die sicherstellen, dass sich das System stabilisiert.

4.1.2.3.4 Bedingungen für Fahrzeuge mit aktiven Systemen im Fahrwerk

Bei der Planung der Versuche muss die Auswirkung möglicher zusätzlicher Einflüsse wie

- Ansprechzeit des Systems;
- Toleranzen von Lage- und Kraftmessungen im System;
- Ausfallsverhalten

berücksichtigt werden.

4.1.2.3.5 Bedingungen für Fahrzeuge mit Drehgestellen mit mehr als zwei Radsätzen je Drehgestell

Die Drehgestell-Prüfverwindung bezieht sich auf die äußeren Radsätze des Drehgestells. Die Verwindewege für die dazwischen liegenden Radsätze sind zu interpolieren.

4.1.2.3.6 Bedingungen für Gliederfahrzeuge

Bei Gliederfahrzeugen, bei denen die benachbarten Fahrzeugkästen von einem gemeinsamen Drehgestell oder Gelenk getragen werden, muss der Einfluss der Fahrzeugkastenverbindungen untersucht werden, um ihre Signifikanz zu ermitteln. Die Versuchsbedingungen und die zu untersuchenden Radsätze werden aufgrund dieser Analyse festgelegt.

Zwischenfahrwerke oder -drehgestelle müssen auch geprüft werden. Es könnte nötig sein, mehr als einen Wagenkasten gleichzeitig zu verwinden.

Anhang A.5 gibt zusätzliche Informationen und Beispiele.

4.1.2.3.7 Bedingungen für Fahrzeuge mit mehr als zwei Federstufen

Der Begriff Federstufe bedeutet hier eine Bewegungsmöglichkeit zwischen angrenzenden Körpern, die Federn oder Dämpfer enthalten kann, aber nicht muss. A.6 zeigt zwei Beispiele solcher Systeme, es sind allerdings viele andere Varianten bekannt.

Die anzuwendende Fahrzeugprüfverwindung für die einzelnen Federstufen muss analog zu den Regeln definiert werden, die für Drehgestell-Fahrzeuge in 4.1.2.2.3 angeführt sind. In A.6 sind Beispiele für solche Fahrzeuge dargestellt.

4.1.2.3.8 Bedingungen für Fahrzeuge mit einstellbaren Radsätzen

Bei Fahrzeugen mit Einrichtungen zur Steuerung der Radsätze können die Gleisbedingungen (z. B. S-Bögen) zu Anlaufwinkeln führen, die größer sind als diejenigen, welche man im Versuchsgleis erhält. Dies muss im Versuch berücksichtigt werden. Die ungünstigsten Betriebsbedingungen hinsichtlich des Anlaufwinkels müssen bestimmt werden. Im Allgemeinen sind in Vollbögen die Anlaufwinkel und damit die Führungskräfte sehr niedrig. Jedoch können im Übergangsbogen oder Gleisgegenbogen Steuerungseinrichtungen entgegengerichtete Anlaufwinkel verursachen.

Um die größten Führungskräfte während des Versuchs prüfen zu können, müssen diese abweichenden Anlaufwinkel durch geeignete Verfahren simuliert werden (z. B. durch Entfernen der Steuerungseinrichtung und Feststellen der Radsätze auf diesen Anlaufwinkel).

Für Fahrzeuge mit selbststeuernden Radsätzen oder anderen Fahrwerken, bei denen die Berührgeometrie zwischen Rad und Schiene einen bedeutenden Einfluss auf die Steuerwirkung sowie die resultierenden Anlaufwinkel ausübt, sind entsprechende Untersuchungen durchzuführen (z. B. erzwungener Anlaufwinkel, Veränderung der Berührgeometrie).

4.1.3 Prüfverfahren

4.1.3.1 Allgemeines

Für die allgemeine Anwendung gibt es zwei Verfahren zur Prüfung der Sicherheit gegen Entgleisen:

- 1) **Prüfung in verwundenem Messgleisbogen**
Prüfung der Sicherheit gegen Entgleisen durch Versuche in einem Versuchsgleisbogen mit vorgegebenen Verwindungen.
- 2) **Prüfung auf Verwindeprüfstand und ebenem Messgleisbogen**
 - Messung der minimalen Radkraft $Q_{a,min}$ auf einem Verwindeprüfstand,
 - Messung der Führungskraft Y_a auf einem geeigneten Messgleisbogen,
 - Berechnung des Verhältnisses $(Y/Q)_a$.

Ein drittes im Folgenden beschriebenes Verfahren ist ebenfalls möglich; dieses darf jedoch nur unter den in 4.1.3.4.1 festgelegten Bedingungen angewendet werden.

- 3) **Prüfung auf Verwindeprüfstand und Ausdrehprüfstand**
 - Messung der minimalen Radkraft $Q_{a,min}$ auf einem Verwindeprüfstand,
 - Messung des Ausdrehmomentes und der mittleren Radkraft in einem kleinen Gleisbogenhalbmesser.

Die Verfahren 1 und 2 erfordern die direkte Messung der Kräfte zwischen Rad und Schiene.

4.1.3.2 Verfahren 1: Prüfung in verwundenem Messgleisbogen

4.1.3.2.1 Allgemeines

Die Sicherheit gegen Entgleisen wird durch Messen der Führungs- und Radkraft bei Fahrt über ein Versuchsgleis mit vorgegebenen Verwindungen geprüft.

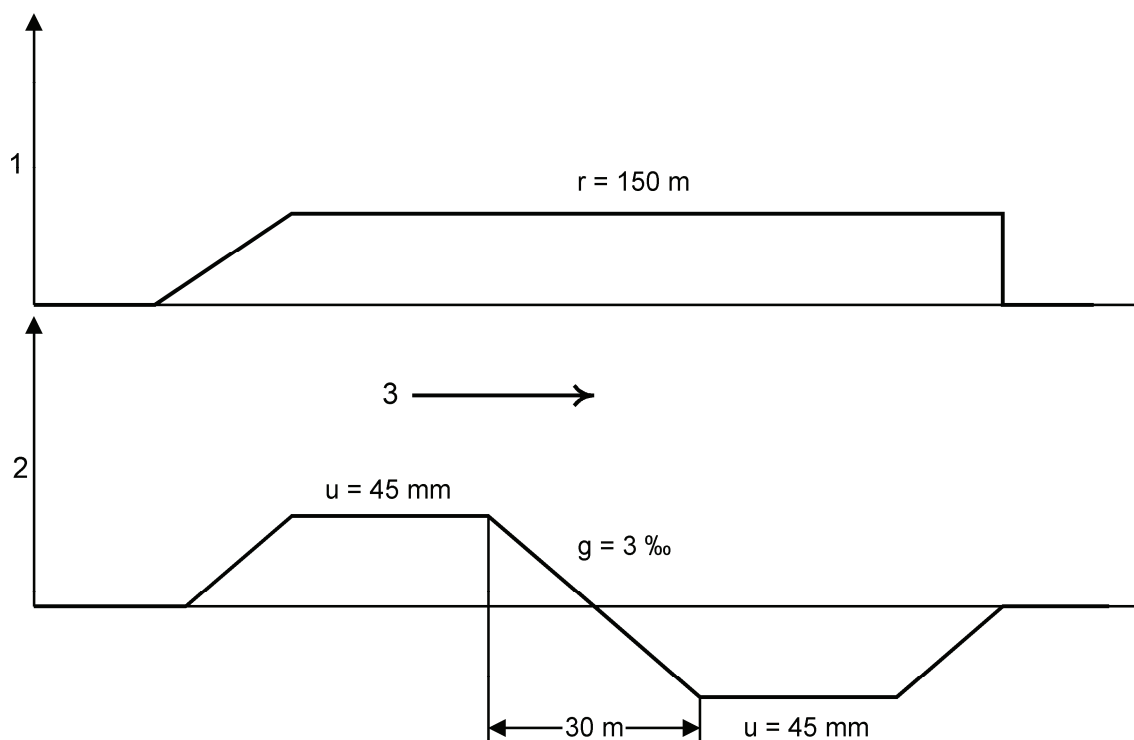
4.1.3.2.2 Prüfbedingungen

4.1.3.2.2.1 Bedingungen für den Messgleisbogen

Der Versuch muss auf einem Versuchsgleis mit folgenden Eigenschaften durchgeführt werden:

- Gleisbogen mit einem Halbmesser von $R = 150 \text{ m}$;
- ein Abschnitt des Gleises mit konstanter Krümmung muss eine Verwindung von 3 ‰ aufweisen;
- die Verwindung wird durch Höhenänderung der äußeren Schiene hergestellt;
- das Versuchsgleis muss bezüglich Schienenprofil, Spurweite und Unterhaltungszustand die üblichen Bedingungen eines typischen Gleises widerspiegeln.

Bild 5 zeigt ein Beispiel für ein solches Versuchsgleis.



Legende

- 1 Krümmung
- 2 Überhöhung
- 3 Fahrtrichtung

Bild 5 — Beispiel eines Versuchsgleises

Die Prüfbedingungen in 4.1.2.2.5 (trockener Schienenzustand) müssen eingehalten werden.

Der Versuch muss mindestens dreimal durchgeführt werden.

4.1.3.2.2 Fahrzeugbedingungen

Wenn die Fahrzeugprüfverwindung größer als 3 ‰ ist, muss die zusätzliche Verwindung im Fahrzeug beispielsweise durch Beilagen unter den Federn hergestellt werden. A.7 enthält Vorschläge für die Anordnung der Beilagen und die Berechnung ihrer Stärke.

Die Fahrtrichtung und die Krümmungsrichtung müssen so gewählt werden, dass das Rad mit der kleinsten Radkraft eines außen liegenden Radsatzes das vorlaufende und anlaufende Rad ist.

Der Einfluss von Längskräften im Zug muss minimiert werden. Das Fahrzeug darf nicht gebremst werden und die Geschwindigkeit muss konstant sein und darf 10 km/h nicht überschreiten.

4.1.3.2.3 Messgrößen, Messpunkte und Auswertung der Messungen

Folgende Größen müssen gemessen werden:

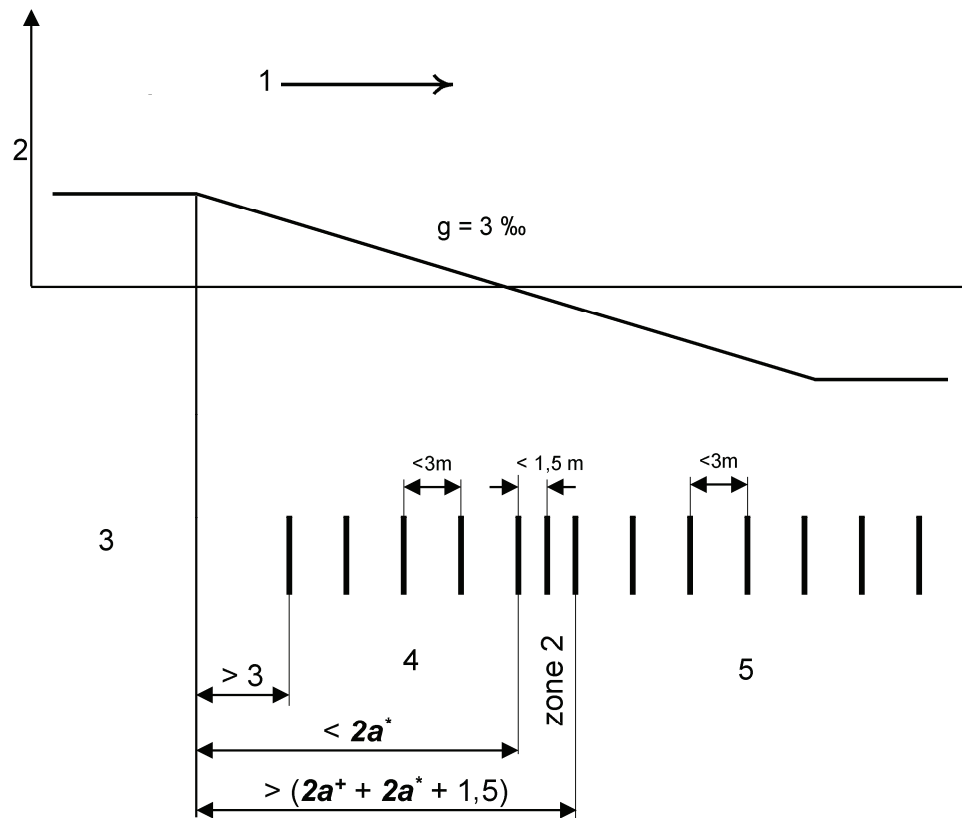
- Führungskräfte am inneren und äußeren Rad des untersuchten Radsatzes Y_i , Y_a ,
- Radkräfte am inneren und äußeren Rad des untersuchten Radsatzes Q_i , Q_a ,
- Anlaufwinkel eines vorlaufenden Radsatzes α (siehe 4.1.2.2.5),
- Radanhebung des äußeren Rades des untersuchten Radsatzes Δz im gesamten Bogen.

Kräfte zwischen Rad und Schiene können gemessen werden durch

- geeignete Einrichtungen an den Schienen oder
- geeignete Einrichtungen am Fahrzeug.

Falls die Kräfte zwischen Rad und Schiene durch ortsfeste Messstellen an den Schienen gemessen werden, so sind für die Positionierung der Messstellen die folgenden in Bild 6 veranschaulichten Bedingungen einzuhalten:

- die Messstellen müssen sich innerhalb des verwundenen Teiles des Versuchsgleises befinden,
- in Bereich 2, in dem die Gleisverwindung erstmals das ganze Fahrzeug beeinflusst, darf der Abstand zwischen zwei Messstellen nicht größer als 1,5 m sein,
- in den anderen Bereichen des verwundenen Versuchsgleises darf der Abstand zwischen zwei Messstellen nicht größer als 3 m sein.



Legende

- 1 Fahrtrichtung
- 2 Überhöhung
- 3 Position der Messstellen
- 4 Bereich 1
- 5 Bereich 3

Bild 6 — Gleisfeste Messstellen bei der Anwendung von Verfahren 1

Für jede Messstelle muss der Wert $(Y/Q)_a$ des vorlaufenden Radsatzes ermittelt werden. Die Radanhebung des äußeren Rades des vorlaufenden Radsatzes Δz muss kontinuierlich erfasst werden.

Um die Reibverhältnisse zwischen Rad und Schiene bestimmen zu können, müssen $(Y/Q)_i$ und α als Mittelwert aller Messstellen oder der kontinuierlich aufgezeichneten Signale ermittelt werden.

Bei fahrzeugbezogenen Messungen ist die Auswertung der Messsignale entsprechend durchzuführen.

4.1.3.2.4 Beurteilungsgrößen

Die Bewertung wird mit dem Größtwert $(Y/Q)_{a,max}$ aller Messstellen und der maximalen Radanhebung Δz des äußeren Rades des untersuchten Radsatzes durchgeführt.

4.1.3.2.5 Grenzwerte

Das Fahrzeug gilt als sicher gegen Entgleisen, wenn die Bedingung

$$(Y/Q)_{a,max} \leq (Y/Q)_{lim}$$

bei jedem Versuch erfüllt wird.

Der Grenzwert $(Y/Q)_{\text{lim}} = 1,2$ wurde nach Untersuchungen der europäischen Eisenbahnen⁴⁾ für einen Spurkranzflankenwinkel von 70° festgelegt (entsprechend einem Reibwert $\mu = 0,36$ nach A.2). Für andere Flankenwinkel wird der Grenzwert berechnet nach

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\tan \gamma - 0,36}{1 + 0,36 \tan \gamma}$$

Weitere Hintergrundinformationen über die Beurteilungsgröße (Y/Q) und den Grenzwert sind in A.2 enthalten.

Wird der Grenzwert $(Y/Q)_{\text{lim}}$ überschritten, kann zusätzlich die Sicherheit gegen Entgleisen anhand der Bedingung

$$\Delta z_{\text{max}} \leq \Delta z_{\text{lim}} = 5 \text{ mm}$$

überprüft werden (d. h., dass das Fahrzeug nicht wirklich entgleist ist). In diesem Falle gilt das Fahrzeug als sicher gegen Entgleisen, wenn zusätzlich folgende Bedingungen erfüllt sind:

- der Spurkranzwinkel übersteigt an keiner Stelle des Profils 70° (dazu muss das Radprofil gemessen werden und im Versuchsbericht dokumentiert werden),
- es kann nachgewiesen werden, dass der anlaufende Spurkranz und die äußere Schiene trocken und schmierstofffrei sind, und
- der Versuch wurde mindestens dreimal durchgeführt und die Bedingung $\Delta z_{\text{max}} \leq \Delta z_{\text{lim}} = 5 \text{ mm}$ immer eingehalten.

4.1.3.3 Verfahren 2: Prüfung am Verwindeprüfstand und im ebenen Versuchsgleis

In Verfahren 2 wird das Verhältnis $(Y/Q)_a$ berechnet. Hierzu wird die Reduzierung der vertikalen Radkraft Q_a in einem Verwindeprüfstand und die Führungskraft Y_a auf einem geeigneten Versuchsgleisbogen gemessen.

4.1.3.3.1 Versuchsbedingungen für Messungen der minimalen Radkraft am Verwindeprüfstand

Die Bedingungen für die Fahrzeugprüfverwindungen in 4.1.2.2.3 sind Grundlage für diesen Versuch. Allerdings ist nach 4.1.3.2.5 eine Radanhebung bis zu 5 mm zulässig. Folglich wird die wirksame Verwindung des Fahrzeuges um diesen Anteil vermindert.

Folgende Werte müssen am Verwindeprüfstand verwendet werden:

- Für die Drehgestell-Prüfverwindung:

$$g_{\text{lim}}^+ = 7 - \frac{5}{2a^+} \quad \text{für } 2a^+ < 4 \text{ m und}$$

$$g_{\text{lim}}^+ = \frac{15}{2a^+} + 2,0 \quad \text{für } 2a^+ \geq 4 \text{ m}$$

4) Die Untersuchungen sind in verschiedenen Berichten von ERRI B55 dokumentiert (siehe [4] in Literaturhinweisen)

mit $2a^*$ als Radsatzabstand im Drehgestell in m und g_{lim}^* in ‰ und

— für die Fahrzeugkasten-Prüfverwindung:

$$g_{\text{lim}}^* = 7 \quad \text{für } 2a < 4 \text{ m und}$$

$$g_{\text{lim}}^* = \frac{15}{2a^*} + 2,0 \quad \text{für } 4 \text{ m} \leq 2a \leq 20 \text{ m}$$

$$g_{\text{lim}}^* = 3 - \frac{5}{2a^*} \quad \text{für } 20 \text{ m} < 2a \leq 30 \text{ m}$$

$$g_{\text{lim}}^* = \frac{85}{2a^*} \quad \text{für } 2a > 30 \text{ m}$$

mit $2a$ als Längsbasis der Verwindung in m (bei Einzelwagen entspricht die Längsbasis der Verwindung $2a^*$, also dem Drehgestellmittenabstand bei Drehgestellwagen bzw. dem Radsatzabstand bei Wagen mit einzelnen Radsätzen) und g_{lim}^* in ‰.

Bei Drehgestellfahrzeugen müssen die Drehgestell- und Fahrzeugkasten-Prüfverwindungen wie in Bild 2 dargestellt überlagert werden.

Die Messung muss an einem geeigneten Prüfstand durchgeführt werden, an dem mindestens die Abstützungen der zwei Radsätze eines Drehgestells angehoben und abgesenkt werden können. Damit können sowohl die Drehgestell-Prüfverwindung als auch die Wagenkasten-Prüfverwindung simuliert werden.

4.1.3.3.2 Messgrößen, Messpunkte und Auswertung der Messungen der minimalen Radaufstandskraft im Verwindeprüfstand

Die Verschiebungen Δz_{jk} der Räder müssen während des Verwindungsversuches kontinuierlich gemessen werden. Ebenso müssen die Radkräfte Q_{jk} aller Räder mit passenden Vorrichtungen gemessen werden.

Bei diesem Versuch am Verwindeprüfstand werden folgende Fahrzeugparameter bestimmt:

$Q_{0,j}$ Mittlere Radsatzkraft für jeden Radsatz im ebenen Gleis (Verwindung $g = 0$)

ΔQ_{jk} Abweichung der Radkraft von Q_0 aufgrund der überlagerten Drehgestell- und Fahrzeugkastenverwindung, der exzentrischen Schwerpunktslage sowie Torsionsreibung und Eigenverwindung

$Q_{jk,\text{min}}$ Minimale Radkraft aufgrund der überlagerten Drehgestell- und Wagenkastenverwindung, der exzentrischen Schwerpunktslage sowie Torsionsreibung und Eigenverwindung

A.8 und A.9 enthalten Richtlinien für die Versuchsdurchführung und Auswertung.

4.1.3.3.3 Versuchsbedingungen für die Messungen im ebenen Messgleisbogen

Das Versuchsgleis besteht aus einer Geraden und einem Gleisbogen mit $R = 150 \text{ m}$ ohne Übergangsbogen, Verwindung und Überhöhung.

Das Versuchsgleis muss bezüglich Schienenprofil, Spurweite und Unterhaltungszustand die üblichen Bedingungen eines typischen Gleises widerspiegeln.

Die Fahrtrichtung und die Krümmungsrichtung müssen so gewählt werden, dass das Rad mit der kleinsten Radkraft eines außen liegenden Radsatzes das vorlaufende und anlaufende Rad ist.

Die Prüfbedingungen in 4.1.2.2.5 (trockener Schienenzustand) müssen eingehalten werden.

Der Einfluss von Längskräften im Zug muss minimiert werden. Das Fahrzeug darf nicht gebremst werden. Die Geschwindigkeit muss konstant gehalten werden und darf 10 km/h nicht überschreiten.

Der Versuch muss mindestens dreimal durchgeführt werden.

4.1.3.3.4 Messgrößen, Messpunkte und Auswertung der Messungen im ebenen Messgleisbogen

Die Kräfte können mit

- entsprechenden Vorrichtungen an den Schienen oder
- entsprechenden Vorrichtungen an den Fahrzeugen

gemessen werden.

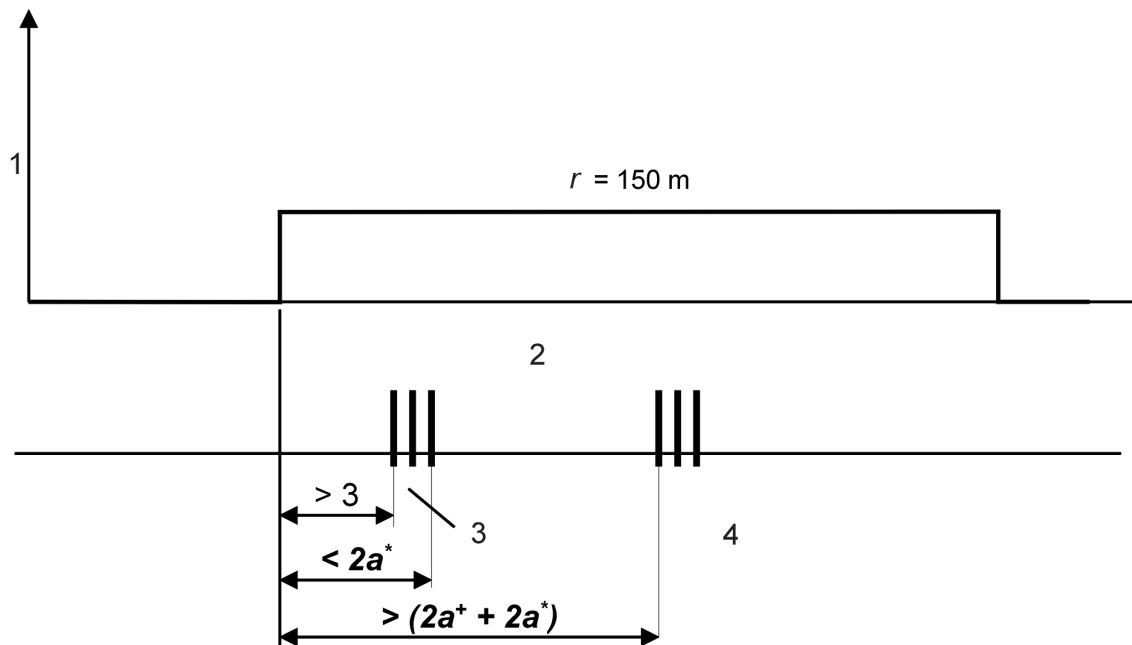
Folgende Größen müssen gemessen werden:

- Führungskräfte am inneren und äußeren Rad des zu untersuchenden Radsatzes Y_i , Y_a ,
- vertikale Radkraft am inneren Rad des zu untersuchenden Radsatzes Q_i ,
- Anlaufwinkel eines führenden Radsatzes α (siehe 4.1.2.2.5).

Bei Anwendung von ortsfesten Messstellen müssen diese folgende Bedingungen erfüllen:

- mindestens drei Messstellen müssen sich im Bereich 1 am Anfang des Gleisbogens zwischen 3 m und $2a^*$ befinden (Dies stellt sicher, dass an den Messstellen die Ausdrehung des Drehgestells noch nicht abgeschlossen ist.)
- mindestens drei Messstellen müssen sich im Bereich 2 befinden, wo sich das ganze Fahrzeug im Bereich der konstanten Krümmung befindet.

Bild 7 zeigt ein Beispiel für die Anordnung der Messstellen im Versuchsgleis mit Gleisbogen $R = 150$ m.



Legende

- 1 Krümmung
- 2 Messstellen
- 3 Bereich 1
- 4 Bereich 2

Bild 7 — Anordnung der ortsfesten Messstellen zur Bestimmung von Y und Q

Für jede Messstelle müssen die Werte von Y_a und Y_i des zu untersuchenden Radsatzes aufgezeichnet werden. Die Bewertung wird mit den Mittelwerten $Y_{a,med}$ und $Y_{i,med}$ der Messstellen getrennt für den Bereich 1 und den Bereich 2 durchgeführt.

Um die Reibverhältnisse zwischen Rad und Schiene zu bestimmen, müssen $(Y/Q)_i$ und α , als Mittelwerte aller Messstellen oder der kontinuierlich aufgezeichneten Signale berechnet werden.

Für die Auswertung von Y_i muss die Wirkrichtung der Kräfte berücksichtigt werden (in den meisten Fällen entgegen Y_a).

Bei Anwendung von fahrzeugbezogenen Messsystemen ist die Auswertung übereinstimmend mit den obigen Bedingungen durchzuführen.

4.1.3.3.5 Beurteilungsgrößen

Die Sicherheit gegen Entgleisen muss für die zu untersuchenden Radsätze des Fahrzeuges bestimmt werden. Die folgende Gleichung muss für jeden zu untersuchenden Radsatz berechnet werden:

$$\left(\frac{Y}{Q}\right)_{ja} = \frac{Y_{ja,med}}{Q_{jk,min} + \Delta Q_{jH}}$$

Dabei ist

- $Y_{ja,med}$ die quasistatische Führungskraft aus den Versuchen im Versuchsgleis (siehe 4.1.3.3.5);
- $Q_{jk,min}$ die minimale Radkraft aus den Versuchen am Verwindeprüfstand (siehe 4.1.3.3.3);
- ΔQ_{jH} die Radkraftänderung aufgrund des Moments der Führungskraftsumme.

$$\Delta Q_{jH} = (Y_{ja} + Y_{ji}) \frac{h}{2b_A}$$

Dabei ist

- h die wirksame Höhe der Primärquerfederung über der Schienenoberkante;
- $2b_A$ der Abstand der Rad/Schiene-Berührungspunkte in Querrichtung (üblicherweise 1 500 mm).

Das Fahrzeug gilt als sicher gegen Entgleisen, wenn die Bedingung

$$(Y/Q)_{ja} \leq (Y/Q)_{lim}$$

erfüllt ist.

4.1.3.3.6 Grenzwerte

Nach Untersuchungen der europäischen Eisenbahnen⁵⁾ wurde der Grenzwert $(Y/Q)_{lim} = 1,2$ für einen Spurkranzflankenwinkel von 70° festgelegt (entsprechend einem Reibwert $\mu = 0,36$ nach A.2). Für andere Flankenwinkel, wird der Grenzwert berechnet nach

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\tan \gamma - 0,36}{1 + 0,36 \tan \gamma}$$

Weitere Hintergrundinformationen über die Beurteilungsgröße (Y/Q) und den Grenzwert sind in A.2 enthalten.

4.1.3.4 Verfahren 3: Versuch auf dem Verwindeprüfstand und Ausdrehprüfstand

4.1.3.4.1 Allgemeines

Im Verfahren 3 werden Prüfstandsversuche zur Messung der Radentlastung und des Ausdrehmomentes des Drehgestells angewendet. Dieses Verfahren darf unter folgenden Voraussetzungen benutzt werden:

- Fahrzeug mit konventioneller Technologie (siehe 3.10.1) mit den Baumerkmale :
 - zwei Drehgestelle mit je zwei Radsätzen je Fahrzeug;
 - Spurkranzflankenwinkel zwischen 68° und 70°.

ANMERKUNG In den Verfahren 1 und 2 wird das Verhältnis von Querkraft zu vertikaler Kraft im Kontaktpunkt von Rad und Schiene bestimmt. Die Erfahrung hat gezeigt, dass Verfahren 3 aufgrund der einfacheren Messung leichter durchführbar ist.

Falls es nicht gelingt, die Einhaltung der Grenzwerte des Verfahrens 3 nachzuweisen, können validierte Simulationsrechnungen nach Anhang B angewendet werden. Können auch die Bedingungen des Verfahrens nach Anhang B nicht eingehalten werden, muss entweder Verfahren 1 oder 2 verwendet werden.

5) Die Untersuchungen sind in verschiedenen Berichten von ERRI B55 dokumentiert (siehe [4] in Literaturhinweisen).

4.1.3.4.2 Versuchsbedingungen für die Messung der minimalen Radkraft am Verwindeprüfstand

Für diesen Versuch wird die Gleisgrenzverwindung nach 4.1.2.2.2 verwendet.

Folgende Werte müssen am Verwindeprüfstand verwendet werden:

— für Drehgestelle:

$$g_{\text{lim}}^+ = 7 \quad \text{wenn } 2a^+ < 5 \text{ m und}$$

$$g_{\text{lim}}^+ = \frac{20}{2a^+} + 3,0 \quad \text{wenn } 2a^+ \geq 5 \text{ m}$$

mit $2a^+$ als Radsatzabstand im Drehgestell in m und g_{lim}^+ in ‰;

— für Wagenkästen:

$$g_{\text{lim}}^* = \frac{20}{2a^*} + 3,0$$

mit $2a^*$ als Längsbasis des Fahrzeuges (Drehgestellmittenabstand) in m und g_{lim}^* in ‰.

Der Versuch muss als kombinierter Fahrzeugkasten- und Drehgestellverwindeversuch durchgeführt werden, wie er in A.9.3 beschrieben ist. Dieser Versuch ist identisch mit dem in Verfahren 2 verwendeten, jedoch mit unterschiedlichen Prüfverwindungen.

Die Messung muss an einem geeigneten Prüfstand durchgeführt werden, an dem mindestens die Abstützungen der zwei Radsätze eines Drehgestells angehoben und abgesenkt werden können. Damit können sowohl die Drehgestellprüfverwindung als auch die Fahrzeugkastenprüfverwindung simuliert werden.

4.1.3.4.3 Messgrößen, Messpunkte und Auswertung der Messungen der minimalen Radaufstandskraft im Verwindeprüfstand

Die Verschiebungen Δz der Räder müssen während des Verwindeversuches kontinuierlich gemessen werden. Des Weiteren müssen die Radkräfte Q_{jk} an den Rädern mit den größten prozentualen Entlastungen mit geeigneten Mitteln gemessen werden.

4.1.3.4.4 Bedingungen für die Messung des Ausdrehwiderstands des Drehgestells

Die Versuchsbedingungen wie in 4.4.2 beschrieben müssen eingehalten werden.

4.1.3.4.5 Messgrößen, Messpunkte und Auswertung der Messungen des Ausdrehwiderstandes

Dies ist in 4.4.3 beschrieben.

4.1.3.4.6 Beurteilungsgrößen

Die Analyse des Verwindeversuches muss für den vorlaufenden Radsatz durchgeführt werden. Dabei wird die relative Radentlastung $\frac{\Delta Q}{Q_0}$ und der Drehgestell-Ausdrehfaktor X mit

Q_0 mittlere Radkraft des untersuchten Radsatzes im ebenen Gleis (Verwindung $g^0 = 0$);

ΔQ Radkraftänderung von Q_0 bei Prüfverwindung

verwendet.

Aus den Ergebnissen der Messung des Ausdrehwiderstands in engen Bögen (siehe 4.4.2) ist der Drehgestell-Ausdrehfaktor X nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$X = \frac{M_{zR,min}}{2a + 2Q_0}$$

Dabei ist

$M_{zR,min}$ das für die Ausdrehung des Drehgestells gegenüber dem Fahrzeugkasten erforderliche Moment bei einem Ausdrehwinkel von $\psi = \frac{a^*}{R_{min}}$.

Der Versuch ist in 4.4 beschrieben.

4.1.3.4.7 Grenzwerte

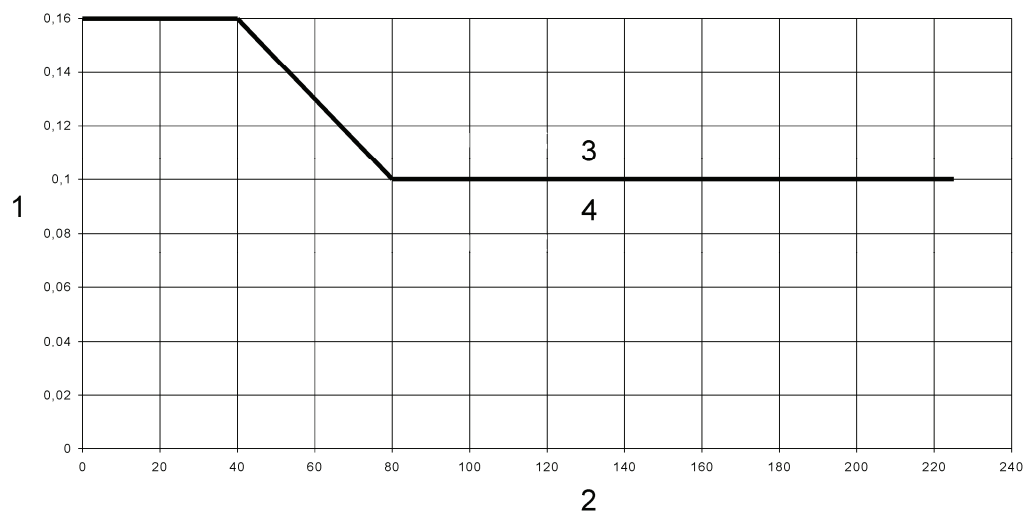
Die folgenden Bedingungen müssen eingehalten werden:

$$\frac{\Delta Q}{Q_0} \leq 0,6$$

$X \leq 0,1$ bei Personenzugfahrzeugen und Lokomotiven.

Bei Güterwagen muss X unter der in Bild 8 dargestellten Grenze liegen.

Beide Bedingungen müssen gleichzeitig eingehalten werden.



Legende

- 1 „X“-Faktor
- 2 Radsatzlast $2Q_0$ in kN
- 3 unzulässig
- 4 zulässig

Bild 8 — Maximal zulässiger Faktor X für Güterwagen

4.2 Sicherheit gegen Entgleisen unter Längskrafteinfluss in S-Bögen

Längskräfte in Zügen können das Risiko einer Entgleisung beim Befahren von S-Bögen erhöhen. Für konventionelle Züge (außer Züge für den Güterverkehr) wird das Risiko niedrig eingeschätzt. Dennoch sollte bei der Entwicklung nicht konventioneller Konfigurationen das Risiko betrachtet werden. Für den Fall der Güterwagen ist das anzuwendende Nachweisverfahren in der UIC 530-2 angegeben.

4.3 Wankverhalten

4.3.1 Allgemeines

Der hier beschriebene Versuch dient zur Bestimmung der Bewegungen des Fahrzeugkastens in Quer- und Wankrichtung, die durch eine Seitenbeschleunigung (in der Gleisebene) verursacht werden. Der Versuch kann angewendet werden, um

- Fahrzeugdaten, die für die kinematische Begrenzungslinie verwendet wurden, zu verifizieren und
- um die Querverschiebung des Stromabnehmers (für angetriebene Fahrzeuge mit Oberleitung) zu prüfen und damit nachzuweisen, dass das Risiko von Kontaktverlust zwischen Stromabnehmer und Fahrdrabt gering ist.

ANMERKUNG Mittels dieses Versuchs kann auch geprüft werden, wie weit die Wankigenschaften und bestimmte Kenngrößen der Federung mit den Auslegungsdaten übereinstimmen.

Die Wankigenschaften können mittels zweier Verfahren bestimmt werden:

- 1) Versuch am Prüfstand
Messung des Wankwinkels und der Querverschiebung auf einem Prüfstand, der ein überhöhtes Gleis simuliert, Berechnung des Neigungskoeffizienten aus den Messergebnissen.
- 2) Streckenversuch
 - Messung der Beschleunigung im Fahrzeugkasten waagrecht quer und des Überhöhungsfehlbetrages in Gleisbögen sowie Berechnung des Neigungskoeffizienten aus den Messergebnissen oder
 - Messung des Wankwinkels in den Federstufen, Berechnung des Neigungskoeffizienten aus den Messergebnissen.

Verfahren 1 ermöglicht eine umfassende Analyse des Wankverhaltens (Wanken und Querbewegung), Verfahren 2 beschränkt sich auf die Ermittlung des Wankverhaltens und muss für bestimmte Fahrzeuge durch Messung und Auswertung der Querbewegung zwischen Drehgestell und Wagenkasten vervollständigt werden. Das angewandte Prüfverfahren muss den Erfordernissen der Einschränkungsberechnung entsprechen.

4.3.2 Prüfbedingungen

4.3.2.1 Allgemeine Fahrzeugbedingungen

Im Allgemeinen ist der Versuch für ein einzelnes Fahrzeug durchzuführen. Im Falle von Gelenkfahrzeugen, bei denen sich die benachbarten Fahrzeugkästen auf einem gemeinsamen Drehgestell abstützen, muss der Einfluss der Fahrzeugkastenverbindungen untersucht werden, um deren Auswirkung festzustellen. Die Versuchsbedingungen müssen als Ergebnis dieser Analyse festgelegt werden, und es könnte notwendig sein, mehr als ein Fahrzeug gleichzeitig zu prüfen.

Es kann vorteilhaft sein, die Dämpfer auszubauen, um die Reibung im System zu reduzieren.

4.3.2.2 Beladezustand

Das Versuchsfahrzeug muss die übliche betriebsmäßige Ausstattung aufweisen. Bezüglich der Besetzung mit Personen bzw. der Ladung sind

- Triebwagen,
- Reisezugwagen und
- Güterwagen

leer und beladen zu untersuchen.

Bei der Herstellung des Beladezustandes muss die Schwerpunktshöhe des beladenen Fahrzeugkastens der des jeweiligen Zustandes im Betrieb entsprechen.

4.3.2.3 Bedingungen für Fahrzeuge mit Luftfedern

Der Einfluss der Ansprechzeit der Luftfedersteuerung muss untersucht werden. Wenn die Ansprechzeit, verglichen mit dem passiven System, nicht vernachlässigt werden kann, darf bei Anwendung des Verfahrens 1 (Prüfstand) die Luftfedersteuerung nicht wirken. Dazu müssen die Luftfederventile von der Luftversorgung getrennt werden.

Bei Verwendung von Verfahren 2 kann die Luftfedersteuerung im Allgemeinen nicht getrennt werden. Hier wirkt sich die Luftfedersteuerung so auf die Ergebnisse aus, wie das im Betrieb des Fahrzeugs der Fall ist.

4.3.2.4 Bedingungen für Fahrzeuge mit aktiven Systemen im Fahrwerk

Bei der Planung der Versuche muss die Auswirkung möglicher zusätzlicher Einflüsse wie

- Ansprechzeit des Systems,
- Toleranzen von Lage und Kräften und
- Ausfallsverhalten

berücksichtigt werden.

4.3.2.5 Bedingungen für den Prüfstand

Die Messung muss an einem geeigneten Prüfstand durchgeführt werden, der über ein zunächst ebenes, nivelliertes Gleis verfügt. Die Gleisebene (Aufstandspunkte der Räder) muss in beide Richtungen unter allen Radsätzen des Fahrzeuges geneigt (überhöht) werden können.

Die Prüfüberhöhung muss die Reaktionen aus Überhöhungsfehlbetrag bzw. -überschuss sowie dynamischer Effekte abdecken.

Die Neigung der Gleisebene muss stufenweise bis zu dem für das Fahrzeug gültigen Größtwert erhöht werden. Die Lastverteilung in der Federung muss während des gesamten Versuchs mit der Lastverteilung im Betrieb auf dem Gleis übereinstimmen. Die Versuche müssen für beide Richtungen der Überhöhung durchgeführt werden. Es muss eine vollständige Hystereseschleife erreicht werden. Für eine zweifelsfreie Auswertung muss der Versuch bis zu einem Überhöhungswert 10 % bis 20 % oberhalb des für die Auswertung spezifizierten Wertes erfolgen.

4.3.3 Messgrößen und Beurteilungsgrößen

4.3.3.1 Verfahren 1 — Versuch am Prüfstand

Die vertikale und horizontale Verschiebung an markierten Stellen des Fahrzeugkastens und einem Radsatz muss mittels einer geeigneten Ausrüstung so gemessen werden, dass folgende Größen abgeleitet werden können:

- η^* Wankwinkel des Fahrzeugs relativ zum Radsatz,
- h_P Höhe eines definierten Punktes P in der längsmittigen Ebene des Fahrzeugs,
- y_P Querverschiebung des Fahrzeugkastens im Punkt P relativ zur senkrechten Achse des Radsatzes,
- Δy^* Querverschiebung in der Sekundärfederung, gemessen in Höhe der Queranschlüge (notwendig für die Berechnung der Wankpolhöhe),
- η^+ Drehgestell-Wankwinkel relativ zu den Radsätzen,
- y_{bog} Querverschiebung des Drehgestells relativ zur senkrechten Achse des Radsatzes,
- η^0 Wankwinkel der Radsätze relativ zur ungeneigten Gleisebene (Überhöhungswinkel).

Bild 9 zeigt die Situation am Prüfstand. Die Messwerte und die abgeleiteten Größen müssen für jede Überhöhung — vom größten negativen bis zum größten positiven Wert — ermittelt und ausgewertet werden.

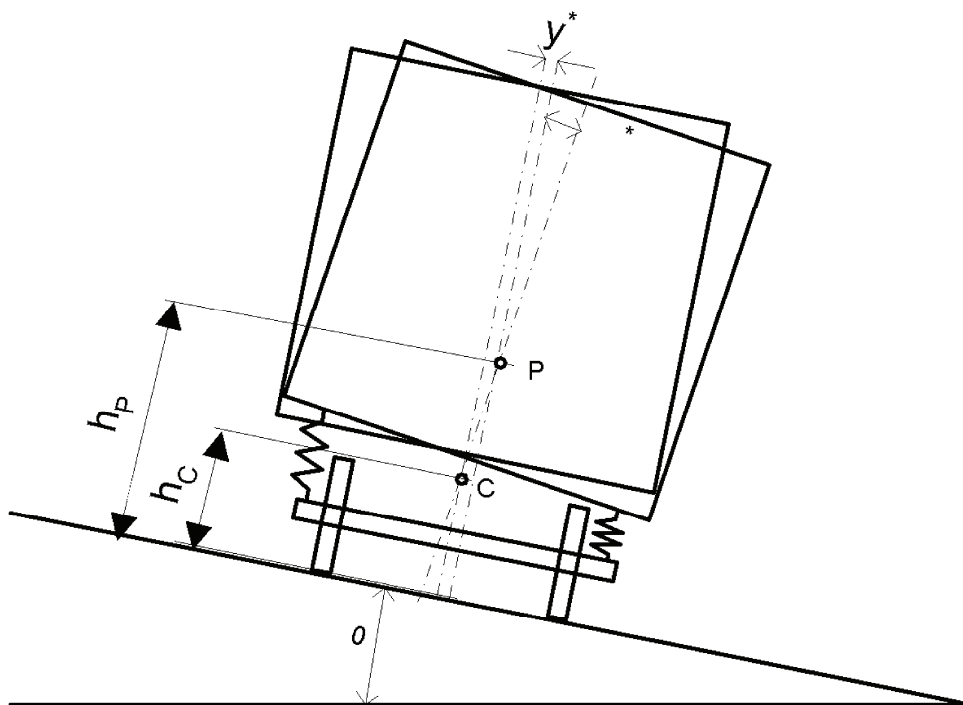


Bild 9 — Fahrzeug am überhöhten Gleis

Die Ergebnisse sind in Diagrammen $\eta^* = f(\eta^0)$ und $y^* = f(\eta^0)$ darzustellen.

Bild 10 zeigt das Beispiel eines Diagrammes $\eta^* = f(\eta^0)$. Die Kreuzsymbole im Diagramm bezeichnen die Messwerte verschiedener Überhöhungswinkel. Es zeigt sich eine Hystereseschleife für die gemessenen Wankwinkel, die durch Reibung in der Federung verursacht wird. Weiter weist die Federung ein freies Spiel auf, welches den Sprung im Diagramm verursacht. Bei linearem Verhalten ist der Neigungskoeffizient durch lineare Regression zu ermitteln.

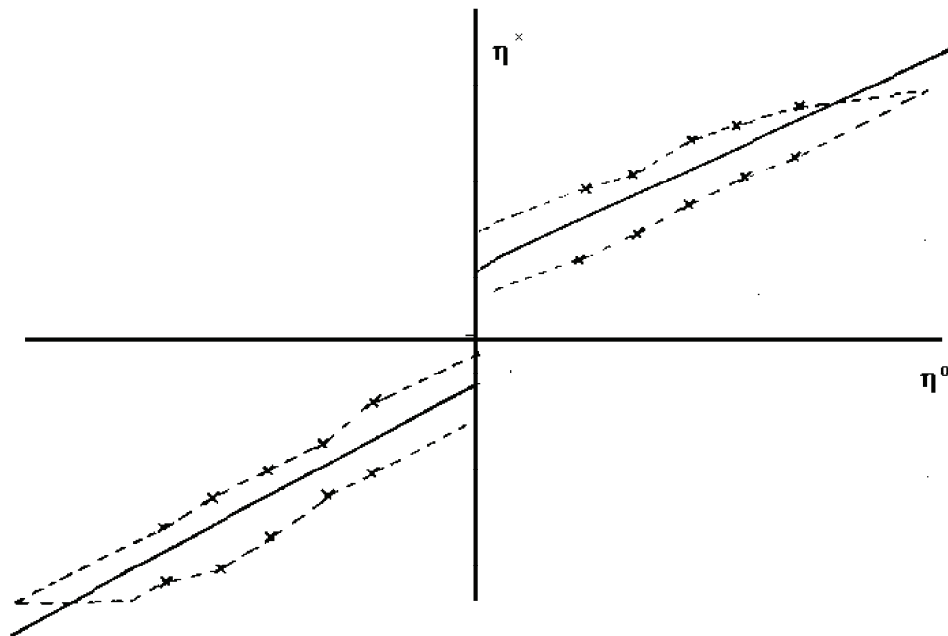


Bild 10 — Beispiel für ein Diagramm des Neigungswinkels

4.3.3.2 Verfahren 2 — Streckenversuch

Die Bestimmung der Wankigenschaften des Fahrzeugs im Rahmen von Streckenversuchen kann mittels Messungen von

- $\ddot{y}^*$ Querbeschleunigung im Fahrzeugkasten,
- $\ddot{y}$ Querbeschleunigung der Radsätze (Querbeschleunigung auf Gleisebene)

oder mittels Messungen von

- $\Delta\eta^*$ Differenz der Wankwinkel zwischen Fahrzeugkasten und Drehgestellrahmen bei Drehgestellfahrzeugen oder zwischen Fahrzeugkasten und Radsätzen bei Fahrzeugen mit zwei Radsätzen,
- $\Delta\eta^+$ Differenz der Wankwinkel zwischen Drehgestellrahmen und Radsatz bei Drehgestellfahrzeugen und
- $\ddot{y}$ Querbeschleunigung der Radsätze (Querbeschleunigung auf Gleisebene)

erfolgen.

Die Auswertung ist mit den Mittelwerten der Auswertungsabschnitte in Prüfbereichen der Gleisbögen durchzuführen. Die Behandlung der Messsignale ist in 5.5 beschrieben. Es müssen mindestens 25 Auswertungsabschnitte zugrunde gelegt werden.

4.3.4 Beurteilungsgrößen

4.3.4.1 Allgemeines

Für die Auswertung sind verschiedene Vorgehensweisen möglich:

- 1) Bestimmen der Wankwege definierter Punkte am Fahrzeugkasten einschließlich Stromabnehmer. bestimmt werden. Ausgehend von $\eta^* = f(\eta^0)$ und $y^* = f(\eta^0)$ kann das grundsätzliche Wankverhalten des Fahrzeuges
- 2) Bestimmen von Neigungskoeffizient s_R und Wankpolhöhe h_C .
- 3) Bestimmen des Neigungskoeffizienten s_R .

Die Verwendung eines Neigungskoeffizienten setzt ein annähernd lineares Verhalten voraus. Bei wesentlichen Nichtlinearitäten (z. B. Spiel in den seitlichen Gleitstücken, Querfederung mit progressivem Steigkeitsverlauf) muss eine genauere Auswertung durchgeführt werden.

Die Auswertungen nach 2) und 3) beziehen sich auf das in UIC 505 beschriebene Verfahren zur Berechnung der Fahrzeugeinschränkung.

4.3.4.2 Verfahren 1 — Versuch im Prüfstand

Bei der Messung auf einem Prüfstand wird der Neigungskoeffizient berechnet als

$$s_R = \frac{\eta^*}{\eta^0}$$

Die Wankpolhöhe wird berechnet als

$$h_C = h_P - \frac{y_P - \Delta y^*}{\eta^*}$$

4.3.4.3 Verfahren 2 — Streckenversuch

Aus den Streckenversuchen kann nur auf den Neigungskoeffizienten geschlossen werden. Er kann abgeleitet werden als

$$s_R = g \cdot \frac{\Delta \eta^+ + \Delta \eta^*}{\ddot{y}} \quad \text{bei Streckenversuchen mit Messung der Wankwinkeldifferenzen in Primär- und Sekundärfederung oder}$$

$$s_R = \frac{\ddot{y}^*}{\ddot{y}} - 1 \quad \text{bei Streckenversuchen mit Messung der Beschleunigungen im Fahrzeugkasten.}$$

4.3.5 Grenzwerte

Falls zutreffend, müssen die gemessenen Werte mit den Werten verglichen werden, die für eine dynamische Fahrzeugeinschränkungsrechnung oder eine Einschränkungsberechnung nach UIC 505 verwendet wurden.

Für ein Fahrzeug mit Stromabnehmer muss die aus den Messwerten abgeleitete Querverschiebung des Stromabnehmers mit den spezifizierten Werten verglichen werden.

4.4 Ausdrehwiderstand

4.4.1 Allgemeines

Der in diesem Abschnitt beschriebene Versuch dient zur Bestimmung des Ausdrehmoments zwischen Fahrzeugkasten und Drehgestell. Eine Anwendung ist die Messung des Ausdrehmomentes, welches bei der Fahrt durch Gleisbögen, Weichen, Kreuzungen usw. erzeugt wird. Dieser Versuch kann ausgeführt werden, um den Nachweis der Sicherheit gegen Entgleisen nach Verfahren 3 (siehe 4.1.3.4) zu erbringen.

4.4.2 Prüfbedingungen

4.4.2.1 Allgemeines

Die Versuche müssen in beiden Drehrichtungen bis zu einem Ausdrehwinkel von

$$\Delta\psi^* = \frac{a^*}{R_{\min}} + \frac{0,020}{2a^+}$$

durchgeführt werden. Dieser Winkel entspricht dem Ausdrehwinkel, der sich im kleinsten, für das Fahrzeug festgelegten Gleisbogenhalbmesser $R_{\min}$ unter Berücksichtigung des Spurspiels einstellen kann.

Der Versuch muss über die Ausgangsstellung des Drehgestells (Ausdrehwinkel Null) hinaus fortgesetzt werden, so dass geschlossene Hysteresenschleifen erreicht werden.

Die Ausdrehgeschwindigkeit muss über mindestens ± 75 % des gesamten Ausdrehwinkels 1 Grad/Sekunde betragen.

ANMERKUNG Beim Betrieb des Fahrzeugs können durchaus höhere Ausdrehgeschwindigkeiten als der genannte Wert auftreten. Das geschieht allerdings bei kleineren Ausdrehwinkeln. Eine Kombination von maximalem Ausdrehwinkel und maximaler Geschwindigkeit ist unrealistisch.

4.4.2.2 Fahrzeugbedingungen

Das Versuchsfahrzeug muss die übliche betriebsmäßige Ausstattung aufweisen. Bezüglich der Besetzung mit Personen bzw. der Ladung sind

- Triebwagen,
- Reisezugwagen und
- Güterwagen

leer und beladen zu untersuchen. Der simulierte Beladezustand sollte der geplanten, zulässigen Besetzung oder Ladung entsprechen.

Das Drehgestell muss unter einem Fahrzeugkasten geprüft werden, bei dem alle Verbindungselemente angebracht sind.

Für Fahrzeuge mit Luftfedern müssen die Versuche im Luft- und Notfederbetrieb durchgeführt werden.

4.4.2.3 Prüfstandsbedingungen

Der Prüfstand muss geeignet sein, das für die Ausdrehung des Drehgestells bis zum maximalen Drehwinkel erforderliche Moment aufzubringen. Die Eigenschaften des Prüfstands, insbesondere sein Reibungsverhalten sollten berücksichtigt werden.

4.4.3 Messwerte und Beurteilung

Die Ausdrehwinkel $\Delta\psi^*$ und das für die Ausdrehung des Drehgestells notwendige Moment M_z müssen kontinuierlich erfasst und in einem Diagramm $M_z = f(\Delta\psi^*)$ dargestellt werden. Bild 11 zeigt ein Beispiel eines derartigen Diagramms.

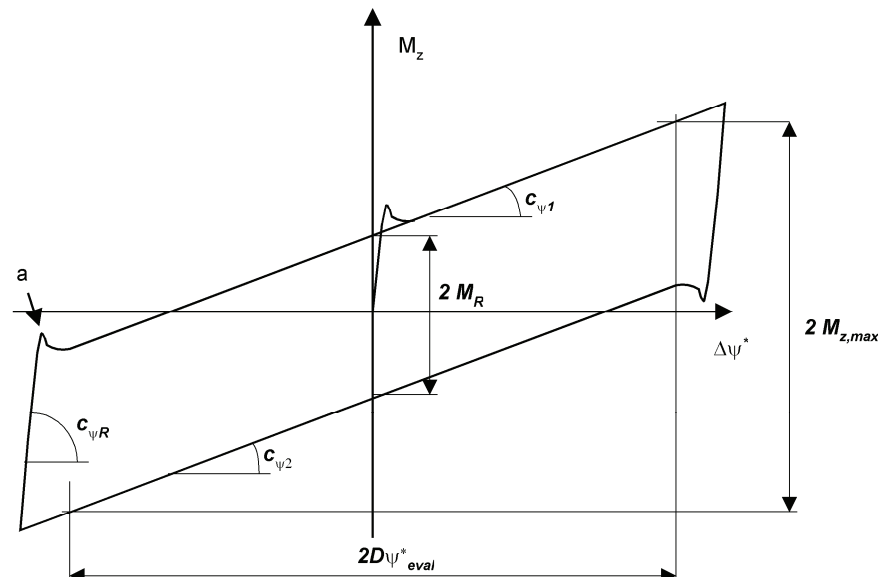


Bild 11 — Ausdreh-Diagramm eines Drehgestells

Das Diagramm zeigt die Amplitude der Hysterese M_R , die durch Reibung und Dämpfung im System hervorgerufen wird.

Die mittlere Steigung

$$c_{\psi} = \frac{c_{\psi1} + c_{\psi2}}{2}$$

ist die Ausdrehsteifigkeit der Sekundärfederung. Wenn die Ausdrehung des Drehgestells mittels Gleitplatten zwischen Fahrzeugkasten und Drehgestell ermöglicht wird, dann wird c_{ψ} zu Null.

Die serielle Steifigkeit der Reibung oder des Dämpfungselementes $c_{\psi R}$ kann für das Verständnis des dynamischen Fahrzeugverhaltens maßgebend sein.

Die Einzelheit a im Diagramm kann durch die Prüfstandseigenschaften entstehen (insbesondere Trägheitsmoment von Prüfstand und Drehgestell) und muss bei der Auswertung außer Acht gelassen werden.

Das Ausdrehmoment $M_{z,max}$ des Fahrzeugs im kleinsten Bogenradius R_{min} ohne Berücksichtigung des Spurspiels beträgt

$$\Delta\psi_{eval}^* = \frac{a^*}{R_{min}}$$

und ist für Verfahren 3 des Nachweises der Sicherheit gegen Entgleisen (siehe 4.1.3.4) erforderlich.

4.5 Messung der quasistatischen Radkraft

4.5.1 Allgemeines

Der in diesem Abschnitt beschriebene Versuch dient der Beurteilung der Fahrzeugmasse sowie der Verteilung der Radkräfte (Radlasten).

Dies beinhaltet Versuche für die Fahrzeugparameter

- Fahrzeugmasse,
- vertikale Radsatzkraft,
- vertikale Radkraft.

4.5.2 Prüfbedingungen

4.5.2.1 Fahrzeugbedingungen

Das Versuchsfahrzeug muss die übliche betriebsmäßige Ausstattung aufweisen. Bezüglich der Besetzung mit Personen bzw. Ladung können

- Triebwagen,
- Reisezugwagen und
- Güterwagen

leer und beladen untersucht werden.

Den Versuchen kann eine Einstellung des Federungssystems vorangehen, die im Allgemeinen anstatt einer direkten Messung von Kräften lediglich eine Prüfung der Abmessungen erfordert.

Die Einflüsse der Reibung sind so weit wie möglich einzuschränken. Dieses kann durch die folgende Vorgehensweise erreicht werden.

BEISPIEL Das Fahrzeug fährt mit geringer Geschwindigkeit auf den Prüfstand, nachdem es vorher einen ebenen Gleisabschnitt befahren hat, auf dem das Federsystem aktiviert wurde. Danach und während des gesamten Wiegevorgangs werden am Fahrzeug keine Änderungen vorgenommen oder Einstellungen geändert.

Während der Messung wird das Fahrzeug keinen äußeren Kräften ausgesetzt. Die Bremsen sind gelöst und die Einstellung der Radsätze wird nicht beschränkt. Sämtliche Zwischenwagenverbindungen innerhalb des Fahrzeuges werden wenn möglich gelöst.

Es werden vier vollständige Wiegevorgänge durchgeführt. Hierzu wird das Fahrzeug je zweimal in beide Fahrtrichtungen über die Messeinrichtung gefahren.

4.5.2.2 Prüfstandsbedingungen

Der Prüfstand muss für die Messung der Radkräfte geeignet sein.

Vorzugsweise sollten die Radkräfte an allen Rädern eines Fahrzeugs oder Drehgestells gleichzeitig gemessen werden. Es darf jedoch auch eine Messvorrichtung zur gleichzeitigen Messung der Radkräfte eines Radsatzes verwendet werden, wobei die Radsätze nacheinander auf der Messeinrichtung zu positionieren sind.

Der Prüfstand und das anschließende Gleis müssen gerade und eben sein und dürfen keine Verwindung aufweisen. Die folgenden geometrischen Abweichungen müssen eingehalten werden:

- Verwindung, vertikale Messrichtung: Die Überhöhungsdifferenz zwischen jeweils zwei benachbarten Radsätzen darf während der Messung 1 mm nicht überschreiten
- Richtung, horizontale Messrichtung: Die größte Abweichung von der Geraden muss kleiner als 5 mm sein.

4.5.3 Messgrößen und Auswertung

Die Radkraft Q_{jk} aller Räder ist zu messen. Die Auswertung erfolgt durch Berechnung des arithmetischen Mittelwertes aus allen Messwerten eines Rades, die während der Wiegevorgänge ermittelt wurden.

4.5.4 Beurteilungsgrößen

Für die Beurteilung sind folgende Gleichungen zu verwenden:

Gesamtmasse des Fahrzeugs:
$$m_{\text{fzg}} = \frac{\sum_{j=1}^n (Q_{j1} + Q_{j2})}{g}$$

Mittlere Radsatzkraft des Fahrzeugs:
$$2Q_0 = \frac{m_{\text{fzg}} g}{n}$$

Radsatzkraft je Radsatz:
$$2Q_j = Q_{j1} + Q_{j2}$$

Größte Radsatzkraft des Fahrzeugs:
$$2Q_{0,\max} = \max (Q_{j1} + Q_{j2}) \text{ für } j = 1, n$$

Quotient der Radkraftabweichung je Radsatz:
$$\Delta q_j = \frac{|Q_{j1} - Q_{j2}|}{2Q_{0,j}}$$

Quotient der Abweichung zwischen größter und mittlerer Radsatzkraft:

$$\Delta 2q_{0,\max} = \frac{2Q_{0,\max} - 2Q_{0,\text{mean}}}{2Q_{0,\text{mean}}}$$

Quotient der Summe der Radkraftabweichungen der Räder einer Seite (1 oder 2) des Fahrzeugs und des Mittelwerts aller Radkräfte:

$$\Delta q_{\text{seite}} = \left| \frac{\sum_{j=1}^n (Q_{j1} - Q_{j2})}{m_{\text{fzg}} g} \right|$$

Dabei ist

n Anzahl der Radsätze im Fahrzeug.

4.5.5 Grenzwerte

Grenzwerte sollten zwischen den relevanten Parteien festgelegt werden.