

DIN EN 16432-1

ICS 93.100

Entwurf

Einsprüche bis 2017-03-27

Ersatz für

E DIN EN 16432-1:2015-04

**Bahnanwendungen –
Feste Fahrbahn-Systeme –
Teil 1: Allgemeine Anforderungen;
Deutsche und Englische Fassung FprEN 16432-1:2017**

Railway applications –
Ballastless track systems –
Part 1: General requirements;
German and English version FprEN 16432-1:2017

Applications ferroviaires –
Voies sans ballast système –
Partie 1: Prescriptions générales;
Version allemande et anglaise FprEN 16432-1:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-01-27 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an fsf@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF), Panoramaweg 1, 34131 Kassel.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 64 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (FprEN 16432-1:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Unterarbeitsausschuss NA 087-00-01-10 UA „Feste Fahrbahn“ im DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF).

Dieses Dokument beruht auf der Grundlage einer englischen Referenzfassung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der FprEN 16432-1 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm- Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Bahnanwendungen — Feste Fahrbahn-Systeme — Teil 1: Allgemeine Anforderungen

Applications ferroviaires — Voie sans ballast systèmes — Partie 1 : Prescriptions générales

Railway applications — Ballastless track systems — Part 1: General requirements

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: Einstufiges Annahmeverfahren
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.8f

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	8
5 Äußere Einwirkung	8
5.1 Verkehrslast	8
5.1.1 Allgemeines	8
5.1.2 Vertikale Belastungen	8
5.1.3 Laterale Belastungen	10
5.1.4 Längsbelastungen	10
5.2 Unterbau	11
5.2.1 Allgemeines	11
5.2.2 Erdbauwerke	12
5.2.3 Brücken	12
5.2.4 Tunnel	13
5.2.5 Übergänge	14
5.3 Umweltbedingungen	14
5.3.1 Allgemeines	14
5.3.2 Wasser	14
5.3.3 Temperatur	15
5.3.4 Erdbeben	15
5.3.5 Chemische Beanspruchung, UV-Beanspruchung und Schadstoffbelastung	15
6 Systemanforderungen	16
6.1 Gleisgeometrie	16
6.2 Gleislagestabilität	16
6.3 Lichtraumprofil	16
6.4 Nutzungsdauer	16
6.5 Instandhaltbarkeit	17
6.6 Nachhaltigkeit	17
6.7 Schall und Erschütterungen	17
6.8 Entgleisung	17
6.9 Elektrische Schnittstellen	17
6.9.1 Allgemeines	17
6.9.2 Elektrische Isolierung zwischen den Schienen	18
6.9.3 Elektrische Schnittstellen zu Bahnstromversorgungssystemen	18
6.9.4 Elektrische Schnittstellen zu Signalsystemen	18
6.9.5 Gleisstromkreis	18
6.9.6 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) mit Signalsystemen	19
6.10 Befestigung von Anlagenteilen	19
Anhang A (informativ) Anstieg der Schienentemperatur durch die Wirbelstrombremse	20
A.1 Bestimmung der Schienentemperatur anhand des Diagramms A.1	20

A.2	Bestimmung des Anstiegs der Schienentemperatur mit Funktionen der Schienenerwärmung und -abkühlung	20
A.2.1	Allgemeines	20
A.2.2	Erwärmung der Schiene.....	21
A.2.3	Abkühlung der Schiene	21
A.2.4	Berechnungsbeispiel.....	21
Anhang B (informativ) Beispiele für schleifenfreie Bereiche und Bereiche mit begrenztem Metallgehalt um EMV sicherzustellen.....		23
B.1	Gleisstromverbindung.....	23
B.2	Detektor- oder Übertragungsschleife	23
B.3	Balise (Eurobalise).....	24
B.4	Radsensor.....	24
Anhang C (informativ) Beispiel eines Balisebefestigungssystems.....		25
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG.....		26
Literaturhinweise.....		32

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (FprEN 16432-1:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zum einstufigen Abstimmungsverfahren vorgelegt.

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

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Diese Europäische Norm ist Teil der Normenreihe prEN 16432 „*Bahnanwendungen — Feste Fahrbahn-Systeme*“ und besteht aus folgenden Teilen:

- *Teil 1: Allgemeine Anforderungen*
- *Teil 2: Teilsysteme und Komponenten*
- *Teil 3: Abnahme (in Vorbereitung)*

Einleitung

Diese Europäische Norm ist für Kunden, Entwickler und Ausschreibende eines Festen Fahrbahn-Systems (FF-System) sowie als Grundlage und zur Abwicklung für Lieferanten und Bauunternehmen vorgesehen.

Der Inhalt und die Beziehungen zwischen den Teilen 1, 2 und 3 sind in Bild 1 dargestellt.

Dieser Teil der Normenreihe EN 16432 behandelt die allgemeinen Anforderungen an Feste Fahrbahn-Systeme.

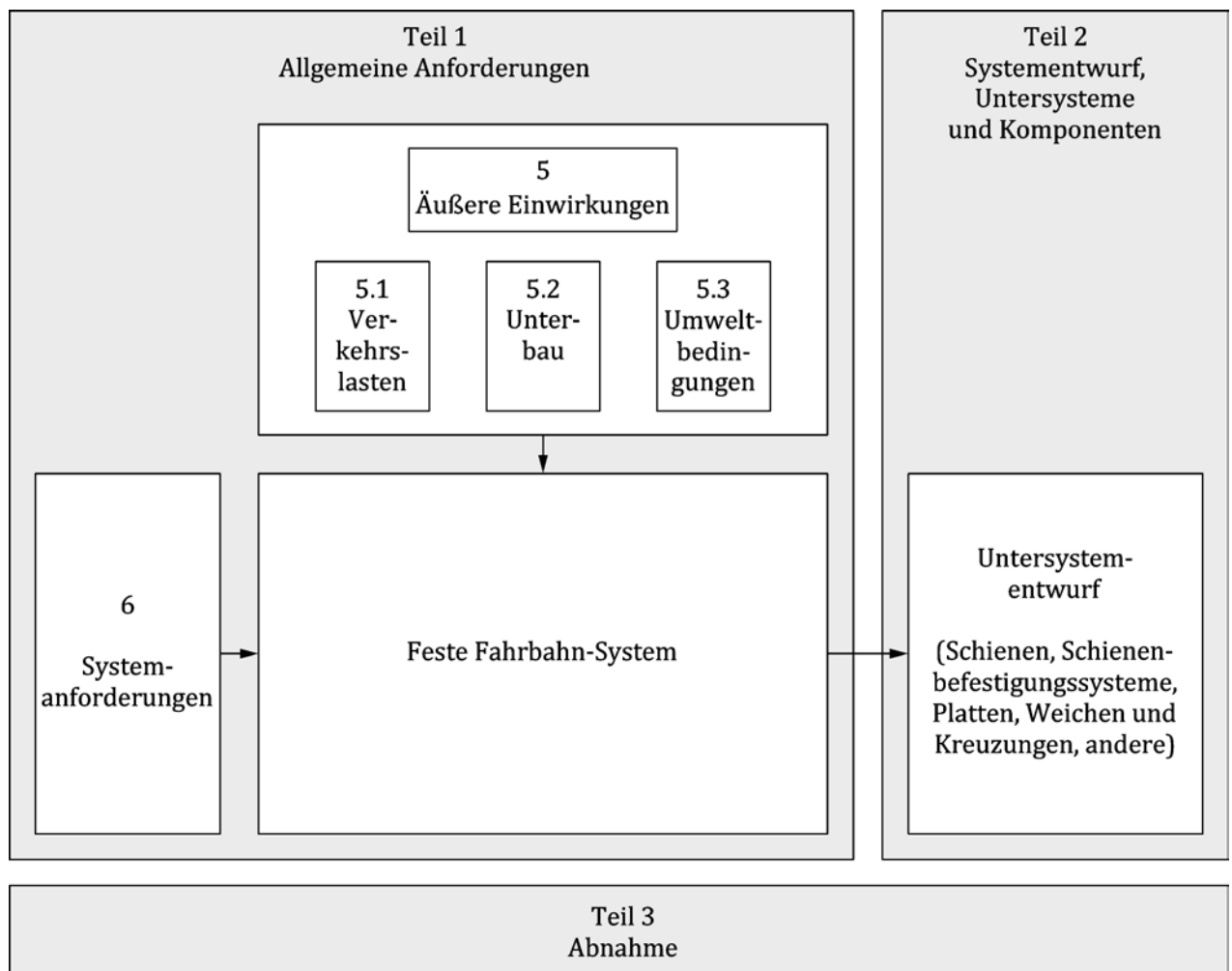


Bild 1 — Aufbau der EN 16432-1, EN 16432-2 und EN 16432-3

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt die allgemeinen Anforderungen an die Konstruktion von Feste Fahrbahn-Systemen (FF-Systemen) fest.

Sie beschreibt keine Anforderungen an die Inspektion, Instandhaltung, Reparatur und den Austausch von FF-Systemen während des Betriebs.

Diese Europäische Norm gilt für alle Eisenbahnen bis zu 250 kN Achslast.

Die Anforderungen dieser Norm gelten für:

- Hauptgleise sowie Weichen, Kreuzungen und Schienenauszugsvorrichtungen;
- verschiedene Unterbauten wie Dämme und Einschnitte, Tunnel, Brücken oder Ähnliches mit oder ohne elastisch gelagerten Gleistragplatten;
- Übergänge zwischen verschiedenartigen Unterbauformen;
- Übergänge zwischen verschiedenen FF-Systemen;
- Übergänge zwischen Schotteroberbau und FF-Systemen.

ANMERKUNG Die Anforderungen an die Eigenschaften der oben aufgeführten Unterbauten sind in dieser Norm beschrieben. Die Konstruktion der Unterbauten wird in anderen Europäischen Normen behandelt, z.B. EN 1992-2, EN 1997-1 usw.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments 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 1990, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991-2:2003, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken*

EN 1997-1, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

EN 1998-1, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten*

EN 50122 (Normenreihe), *Bahnanwendungen — Ortsfeste Anlagen — Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung*

EN 13481-5, *Bahnanwendungen — Oberbau — Leistungsanforderungen für Schienenbefestigungssysteme — Teil 5: Befestigungssysteme für feste Fahrbahn mit aufgesetzten oder in Kanälen eingebetteten Schienen*

EN 13848-5, *Bahnanwendungen — Oberbau — Qualität der Gleisgeometrie — Teil 5: Geometrische Qualitätsstufen — Gleise, Weichen und Kreuzungen*

EN 13848-6, *Bahnanwendungen — Oberbau — Qualität der Gleisgeometrie — Teil 6: Charakterisierung der geometrischen Gleislagequalität*

EN 14363, *Bahnanwendungen — Zulassungsprozess bezüglich der fahrtechnischen Eigenschaften von Eisenbahnfahrzeugen — Prüfung des Fahrverhaltens und stationäre Versuche*

EN 15273-3, *Bahnanwendungen — Begrenzungslinien — Teil 3: Lichtraumprofile*

EN 15528, *Bahnanwendungen — Streckenklassen zur Bewerkstelligung der Schnittstelle zwischen Lastgrenzen der Fahrzeuge und Infrastruktur*

EN 16207, *Bahnanwendungen — Bremse — Anforderungen an Funktion und Leistungsfähigkeit von Magnetschienenbremssystemen für Schienenfahrzeuge*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Nutzungsdauer

angemessener Zeitraum, in dem ein FF-System oder ein Teil davon für den vorgesehenen Verwendungszweck mit geplanter Instandhaltung, jedoch ohne größere Reparaturen zu verwenden ist

3.2

Elektromagnetische Verträglichkeit

EMV

Fähigkeit einer Einrichtung oder eines Systems, in ihrer/seiner elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren, ohne in diese Umgebung unzulässige elektromagnetische Störgrößen einzubringen

3.3

elastisch gelagerte Gleistragplatte

Gleissystem, bei dem die Elastizität zwischen FF-System und Unterbau angeordnet ist

BEISPIEL Zur Schwingungsdämpfung.

3.4

Unterbau

Erdbauwerke (Dämme oder Einschnitte) oder Brücken (oder ähnliche Ingenieurbauwerke) und/oder Tunnelsohlen, die unter dem FF-System liegen

3.5

statische Einwirkung

Einwirkung, die keine bemerkenswerte Beschleunigung des Tragwerks oder der Bauteile erzeugt

3.6

quasi-statische Einwirkung

dynamische Einwirkung, die rechnerisch durch statische Ersatzeinwirkung abgebildet wird

3.7

dynamische Einwirkung

Einwirkung, die signifikante Beschleunigungen des Tragwerks oder der Bauteile erzeugt

3.8

außergewöhnliche Belastungen

Belastungen, die die Grenzen in den relevanten Betriebsnormen überschreiten

3.9

Gleislagestabilität

Widerstand des Gleises gegen Verwerfung

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen

CWR	durchgehend geschweißte Schienen (en: Continuously Welded Rail)
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
UV	ultraviolett (Strahlung)
ECB	Wirbelstrombremse (en: Eddy Current Brake)

5 Äußere Einwirkung

5.1 Verkehrslast

5.1.1 Allgemeines

Die Hauptfunktion des Gleises ist die sichere Führung des Fahrzeugs und die Verteilung der Last über das FF-System zum Unterbau. Das FF-System muss die Verkehrslast über die Nutzungsdauer innerhalb der festgelegten Betriebs- und Sicherheitsgrenzen aufnehmen.

Folgende Belastungen können auftreten:

- Statische oder quasi-statische Einwirkungen;
- dynamische Einwirkungen;
- außergewöhnliche Einwirkungen.

Andere Belastungen im Zusammenhang mit Bau, Instandhaltung und Notfallmaßnahmen müssen berücksichtigt werden. In 5.1 dieser Norm werden Anforderungen des Eisenbahnverkehrs an Fahrzeuge beschrieben, die auf den Schienen des FF-Systems fahren.

ANMERKUNG Andere Fahrzeuge, die während des Baus, der Instandhaltung oder während eines Notfalls oder am Bahnübergang auf der Gleisoberfläche neben den Schienen fahren, werden in dieser Norm nicht behandelt.

5.1.2 Vertikale Belastungen

5.1.2.1 Allgemeines

Sofern nicht anders festgelegt, muss das Lastmodell 71 als statische vertikale Last für Eisenbahnverkehr bis zu 250 kN Achslast für die Auslegung der Tragstruktur angewendet werden. Falls festgelegt, kann das FF-System auch für vertikale Belastungen ausgelegt sein, die von kurzer Dauer sind oder während der Nutzungsdauer in Übereinstimmung mit der Streckenklasse nur vereinzelt angewendet werden. Es dürfen auch Modelle verwendet werden, die reale Fahrzeuge repräsentieren.

5.1.2.2 Lastmodell 71

Mit dem Lastmodell 71 nach EN 1991-2:2003, 6.3.2 kann der europäische Eisenbahnverkehr mit allen repräsentativen Fahrzeugtypen bis zu einer Achslast von 250 kN abgebildet werden.

5.1.2.3 Lastmodell nach Streckenklasse

Falls vom Kunden festgelegt, müssen vertikale Lastmodelle in Übereinstimmung mit den Streckenklassen in EN 15528 für die Auslegung des FF-Systems angewendet werden.

5.1.2.4 Betriebsfahrzeug-Modell

Falls vom Kunden festgelegt, muss ein Lastmodell eines Fahrzeugs, das die Bedingungen des Verkehrsbetriebs für die Strecke erfüllt (z. B. für spezielle Bahnfahrzeuge, die auf in sich geschlossenen Eisenbahnstrecken mit einheitlichem Verkehr und begrenzter Anzahl an Fahrzeugtypen während der Nutzungsdauer verkehren), für die Bemessung des FF-Systems verwendet werden.

5.1.2.5 Zusätzliche vertikale Belastungen

Vertikale statische Belastungen wirken ungleichmäßig auf die inneren und äußeren Schienen aufgrund von Zentrifugalwirkungen in Kurven oder ungleichmäßiger Lastverteilung. Solche Auswirkungen müssen auf Basis des angewendeten Fahrzeug-Modells unter Berücksichtigung der Trassierungsparameter, wie Überhöhung und Überhöhungsfehlbetrag, festgelegt werden.

Wenn keine Trassierungsparameter festgelegt sind, muss die Lastverteilung zwischen dem inneren und dem äußeren Rad maximal $\pm 25\%$ äquivalent zum Faktor $k_q = 1,25$ ($\pm 20\%$ äquivalent zum Faktor $k_q = 1,20$, wenn Neigezüge ausgeschlossen sind) betragen.

ANMERKUNG Für weitere Informationen siehe FprEN 16432-2:2016, Anhang A.

5.1.2.6 Dynamische vertikale Belastungen

Dynamische vertikale Belastungen sind abhängig von der Fahrzeuggeschwindigkeit und der Qualität des Fahrzeugs und der Gleise, siehe EN 13848-5 und EN 13848-6.

Die dynamische vertikale Belastung erhält man durch Multiplikation der statischen Belastung des angewendeten Lastmodells mit dem Faktor, z. B. $k_d \times \text{Lastmodell 71}$.

Sofern nicht anders festgelegt, muss ein dynamischer Faktor von $k_d = 1,5$ für alle statischen und quasi-statischen Lasten angewendet werden, siehe 5.1.2.2, 5.1.2.3 und 5.1.2.4.

ANMERKUNG Der Faktor 1,5 wird ebenfalls entsprechend der maximalen Sicherheitsgrenze von $5,0 \text{ m/s}^2$ für die vertikale Beschleunigung des Fahrzeugs nach EN 14363 festgelegt.

Alternative Modelle zur Bestimmung der dynamischen Belastungen oder des dynamischen Faktors k_d sind:

- Gleisqualität, dargestellt durch die Normalverteilung der Abweichungen vom vorgesehenen vertikalen Profil der belasteten Schiene innerhalb der folgenden Grenzwerte:
 - a) der Variationskoeffizient muss auf 10% begrenzt sein;
 - b) der Vertrauensbereich beträgt $99,7\%$, sofern nicht anders festgelegt;
- Funktion der spektralen Leistungsdichte (PSD), die die Fahrzeugreaktion in Übereinstimmung mit den festgelegten Grenzen beschreibt (z. B. anhand Mehrkörpersimulation);
- andere Modelle, die die Fahrzeug-Gleis-Unterbau-Interaktion in Kombination mit den Abnahmekriterien beschreiben.

5.1.2.7 Außergewöhnliche vertikale Belastungen

Die Relevanz von außergewöhnlichen Belastungen muss unter Berücksichtigung der geringen Häufigkeit des Auftretens überprüft werden.

5.1.3 Laterale Belastungen

5.1.3.1 Allgemeines

Laterale Belastungen wirken immer zusammen mit den entsprechenden vertikalen Belastungen, siehe 5.1.2.

5.1.3.2 Statische und quasi-statische Führungskräfte

Sofern nicht anders festgelegt, muss eine Summe der seitlichen Führungskräfte (einschließlich Zentrifugalkräften) in Übereinstimmung mit der Sicherheitsgrenze $\Sigma Y_{\max, \lim}$ nach EN 14363 angewendet werden.

$$Y_1 = k_1 \times (10 + 2 \times Q/3) \quad (1)$$

Dabei ist

Y_1 die Summe der seitlichen Führungskräfte, die auf die Schiene wirken, in N;

k_1 1,0 für alle Fahrzeugarten auf fester Fahrbahn;

Q die vertikale statische Radlast, in kN.

Falls vom Kunde festgelegt, müssen andere Modelle zur Bestimmung der statischen und quasi-statischen Führungskräfte angewendet werden.

5.1.3.3 Außergewöhnliche laterale Belastungen

Das Gleissystem muss in der Lage sein, die außergewöhnliche laterale Belastung an jeder Stelle ertragen zu können. Sie sollte nicht zusätzlich zur quasi-statischen lateralen Belastung verwendet werden.

Die außergewöhnliche laterale Belastung, die auf ein einzelnes Rad wirkt, muss nach EN 14363 mit $Y_{ls} = 1,2 \times Q$ angenommen werden.

5.1.4 Längsbelastungen

5.1.4.1 Bremsen und Beschleunigen

Durch Bremsen und Beschleunigen verursachte Längsbelastungen müssen zumindest bis zu der Kraft, die bei $2,5 \text{ m/s}^2$ entsteht, zusammen mit den entsprechenden vertikalen Belastungen berücksichtigt werden. Falls vom Kunden spezifiziert, müssen höhere Beschleunigungen betrachtet werden nach EN 1991-2:2003, 6.5.3.

5.1.4.2 Wirbelstrombremse

Falls zutreffend, müssen die Wirkungen der Wirbelstrombremse berücksichtigt werden. Die Wirkungen der Wirbelstrombremse sind bei regelmäßiger Nutzung als Betriebsbremse abhängig von der wirkenden Bremskraft und dem Zugfolgeabstand. Die Wirkungen bei Einsatz als Schnellbremse sind wesentlich höher und müssen als außergewöhnliche Belastung nach 5.1.2.7 und 5.1.4.3 für Magnetschienenbremsen gehandhabt werden. Die Wirkungen der Wirbelstrombremse hinsichtlich der Belastung des Betriebsgleises sind:

- Vertikale Anziehungskraft zwischen Bremse und ferromagnetischen Komponenten des FF-Systems und der Gleiseinrichtungen;

- a) die maximale vertikale Anziehungskraft durch Magneten muss bei den Schienenfahrzeugen bestimmt und festgelegt werden. Die Anziehungskraft kann sich auf bewegliche Gleiskomponenten (z. B. Anhebung der Zungenschiene bei Weichen) und die Gleisausstattung auswirken;
 - b) Anziehungskräfte zwischen der Bremsvorrichtung und der durchgehenden Schiene sind hinsichtlich der Belastung des FF-Systems unbedeutend, es sei denn, sie überschreiten 40 kN/Drehgestell und je Schiene bei einer Schnellbremsung;
- längsgerichtete Schienenbelastung entsprechend der einwirkenden Bremskraft;
- Erwärmung der Schienen:
- 1) Diese Auswirkung muss durch eine Erhöhung der maximalen Schienentemperatur berücksichtigt werden. Sie muss auch bei der Festlegung der neutralen Schienentemperatur für die durchgehend verschweißten Schienen (CWR) berücksichtigt werden;
 - 2) die maßgebende Schienentemperatur entspricht der Gesamttemperatur des Querschnitts der Schiene, nicht der Oberflächentemperatur;
 - 3) der durch die Wirbelstrombremse verursachte Temperaturanstieg muss auf Grundlage der spezifizierten Leistung der Bremsanordnung und -konfiguration (z. B. Spalt zwischen Schiene und Bremse) ermittelt werden. Der maximale Einfluss der Wirbelstrombremse auf die Betriebsbremse und der Zugfolgeabstands müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Wenn nicht anders vereinbart, sollte das Verfahren nach Anhang A für die Berechnung der Erhöhung der Schienentemperatur aufgrund der Wirbelstrombremse angewendet werden
 - 4) Alternativ dazu muss der maximal zulässige Temperaturanstieg der Schiene durch die Wirbelstrombremse festgelegt werden. Dies erfordert ein fahrzeug- oder gleisseitiges Überwachungssystem für die Schienentemperatur zur Freigabe der Wirbelstrombremse als Betriebsbremse.

5.1.4.3 Außergewöhnliche Belastungen

Magnetschienenbremsen werden als Notbremsen und nicht als Betriebsbremsen genutzt. Deshalb müssen Wärmewirkungen und Längsbelastungen als außergewöhnliche Gleisbelastungen betrachtet werden. Solange eine Notbremsung die Schienentemperatur um nicht mehr als 6 Kelvin (K) erhöht, ist diese Erhöhung durch die in der Bemessung angesetzten Sicherheitsbeiwerte abgedeckt und keine weitere Berechnung erforderlich.

Im Fall, dass Magnetschienenbremsen nicht nur für den Notfall als Bremssystem verwendet werden, muss EN 16207 angewendet werden.

5.2 Unterbau

5.2.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt beschreibt allgemeine Anforderungen an das FF-System hinsichtlich der Eigenschaften des Unterbaus.

Die maßgebenden Eigenschaften des Unterbaus sind in diesem Abschnitt separat für Erdbauwerke (Einschnitte, Dämme oder geländegleiche Erdbauwerke), Brücken und Tunnel beschrieben. Zudem werden die Übergänge zwischen diesen Unterbauten behandelt.

5.2.2 Erdbauwerke

5.2.2.1 Allgemeines

Die Erdbauwerke (Einschnitte, Dämme oder geländegleiche Erdbauwerke), die das FF-System tragen, müssen die vertikalen und horizontalen Belastungen aus dem FF-System ohne Verlust der tragenden Funktion oder übermäßige Verformung in den Untergrund ableiten. Die Konstruktion des FF-System muss auf den Eigenschaften und der Leistungsfähigkeit der Erdbauwerke basieren, wie in EN 1997-1 festgelegt.

Für ein FF-System ist es notwendig, die plastischen (Setzungen oder Hebungen) sowie die elastischen Verformungen aufgrund variabler Belastung zu begrenzen. Die Auslegungsgrenzen dieser Parameter müssen bei der Bemessung des FF-Systems und für die Festlegung der Spezifikation der Erdbauarbeiten angewendet werden.

Während des Baus sind geeignete Prüfungen durchzuführen, um sicherzustellen, dass das Verformungsverhalten des Unterbaus bei Belastung dem geplanten Verhalten entspricht.

ANMERKUNG In EN 1997-2 sind verschiedene Standardprüfungen aufgeführt, um die Parameter für Erdbauwerke wie Verdichtung, Stabilität, Tragfähigkeit, Wasserdurchlässigkeit und Frostopfindlichkeit zu messen.

5.2.2.2 Steifigkeit

Die Steifigkeit des Unterbaus muss für die Bemessung des FSF-Systems festgelegt werden. Wenn der Verformungsmodul E_{v2} auf das Erdplanum angewendet wird, sollte er mindestens 60 N/mm^2 betragen.

5.2.2.3 Tragfähigkeit

Die maximal zulässige Spannung, die durch das FF-System aufgebracht wird, muss angegeben werden. Sofern nicht anders festgelegt, darf die durch Verkehrsbelastung wirkende vertikale Spannung $0,05 \text{ N/mm}^2$ nicht überschreiten.

5.2.2.4 Plastische Verformung

Das FF-System lässt eine erhebliche plastische Verformung des Unterbaus nicht zu, welche die Auslegungsgeschwindigkeit oder die Fahrzeuglaufgüte für den Eisenbahnverkehr nachteilig beeinträchtigen würde. Es müssen Grenzwerte für die plastische Verformung, z. B. infolge von Setzungen oder Hebungen, festgelegt werden. Es muss sichergestellt werden, dass die Zunahme weiterer Verformungen nicht größer ist als der für die Bemessung zu berücksichtigende Grenzwert. Folglich ist es von grundlegender Bedeutung, dass jede Verformung des Unterbaus vor dem Bau des FF-Systems nahezu abgeschlossen ist.

5.2.2.5 Gefrieren und Auftauen des Bodens

Die Eigenschaften des Unterbaus bei Frost-Tau-Wechsel im Boden dürfen sich nicht nachteilig auf die Eigenschaften des FF-Systems, die Streckengeschwindigkeit und die Fahrzeuglaufgüte des Eisenbahnverkehrs auswirken.

5.2.3 Brücken

5.2.3.1 Allgemeines

Brückenbauwerke und FF-System beeinflussen sich gegenseitig. Daher muss ihr Zusammenwirken berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 Ein Leitfaden für das Zusammenwirken von Brücken und Gleisstrecken ist in EN 1991-2:2003, 6.5.4 gegeben.

Eine integrierte Bemessung von Brücke und Gleis sollte erfolgen, wo zutreffend. Falls Brücke und Gleisstrecke unabhängig voneinander bemessen werden, muss überprüft werden, ob die erforderlichen Eigenschaften des FF-Systems denen entsprechen, die für die Bemessung des Brückenbauwerks angesetzt wurden. Wenn die Kompatibilität nachgewiesen ist, sind keine zusätzlichen Prüfungen des Brückenentwurfs notwendig. Falls keine Kompatibilität nachgewiesen wurde, müssen die Konstruktionen des FF-Systems und der Brücke aufeinander abgestimmt werden, um eine Kompatibilität zu erreichen.

Es müssen Maßnahmen an den Schienenstützpunkten hinsichtlich der Abhebekräfte, welche durch Verformungen der Brücke, insbesondere Endverdrehungen, hervorgerufen werden, getroffen werden.

5.2.3.2 Langfristige Verformung der Brücke

Es sind Vorkehrungen hinsichtlich langfristiger Verformungen (einzeln oder wiederkehrend) des Brückenüberbaus nach Herstellung des FF-Systems (z. B. dauerhafte Belastung, jahreszeitliche Temperaturverformungen, Kriechen und Schwinden) in die Konstruktion des FF-Systems mit einzubeziehen, falls die Deformation f in Bezug auf die Verformungslänge L den Wert $f/L = 1/5\,000$ überschreitet.

5.2.3.3 Bewegung der Brücke aufgrund Belastungen/Einwirkungen

Es müssen Vorkehrungen hinsichtlich Einwirkungen des Eisenbahnverkehrs und umgebungsbedingte Belastungen auf die Brücke und ihre Auswirkungen auf das FF-System in folgenden Fällen getroffen werden:

- falls der Drehwinkel der angrenzenden Brückenüberbauten bei Zwischenstützen $1/1\,000$ überschreitet, oder bei Endstützen $2/1\,000$ überschreitet;
- bei ungleichen lateralen Bewegungen zwischen angrenzenden Brückenüberbauten an Pfeilern und zwischen Brückenüberbau und Widerlager. Bei der Berechnung von Bewegungen muss der Zustand der Lager berücksichtigt werden (z. B. internes Spiel und Verformung des Lagers);
- vertikale Einsenkungsunterschiede der Brücke an den Tragwerksfugen;
- wenn bei FF-Systemen mit Fertigteilen, die auf einer Fahrbahn aufgelagert werden (z. B. Gleisschwellen auf Asphalt), die Einsenkung durch Verkehrsbelastung $f/L = 1/10\,600$ bei zweigleisigen Strecken und $f/L = 1/6\,400$ bei eingleisigen Strecken überschreitet.

5.2.4 Tunnel

5.2.4.1 Allgemeines

Die Errichtung von FF-Systemen in Tunneln hängt üblicherweise vom verfügbaren Querschnitt, den Betriebs- und Sicherheitsanforderungen und der Instandhaltung des Gleises ab.

5.2.4.2 Aerodynamik

Die Gestaltung des FF-Systems sollte sich im Tunnelbereich wie in den Portalbereichen nicht Nachteilig auf die Aerodynamik der fahrenden Züge auswirken, entsprechend EN 14067-5:2006+A1:2010, C.3.

5.2.4.3 Tunnelbauwerksfugen

Prognostizierte Werte für unterschiedliche Bewegungen zwischen Tunnelsegmenten müssen für den Entwurf des FF-Systems als Eingabeparameter bestimmt werden. Bewegungen aufgrund von Temperatureinflüssen und Schwindeffekten müssen für unterschiedliche Bewegungen zwischen Tunnelsegmenten berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Signifikante differentielle vertikale Bewegungen treten im allgemeinen nicht auf, da Schubverbinder gewöhnlich zwischen benachbarten Tunnelsegmenten vorgesehen sind.

5.2.5 Übergänge

Übergänge zwischen Erdbauwerken, Brücken und Tunneln müssen einen allmählichen Übergang hinsichtlich Gleisgeometrie und Gleissteifigkeit sicherstellen.

Das FF-System muss so konstruiert sein, dass alle bleibenden, langfristigen Änderungen der Gleisgeometrie aufgrund von Setzungen und Steifigkeitseigenschaften des Unterbaus berücksichtigt werden. Anpassung der Gleisgeometrie zur Minimierung der dynamischen Anregung des Fahrzeugs muss gegeben sein.

Die Länge der Übergangszone ist abhängig von der Entwurfsgeschwindigkeit, von den Setzungsunterschieden und der Steifigkeit des angrenzenden Tragwerks und des Unterbaus. Deshalb muss sichergestellt sein, dass unterschiedliche Setzungen an den Übergängen zwischen Eisenbahnbrücken und Erdbauwerken auf ein Niveau begrenzt sind, das den Anforderungen aus dem Fahrbetrieb genügt.

5.3 Umweltbedingungen

5.3.1 Allgemeines

Das FF-System muss unter maßgeblichen und charakteristischen Umweltbedingungen einwandfrei funktionieren. Diese Bedingungen sind in repräsentative physikalische und chemische Einwirkungen unterteilt.

Dieser Unterabschnitt legt die Anforderungen an FF-Systeme fest, die aus einwirkenden Umwelteinflussgrößen sowie anthropogenen Auswirkungen hervorgehen, wie:

- Wasser, einschließlich Schnee und Eis;
- Temperatur;
- Erdbeben;
- UV-Strahlung;
- chemische Beanspruchung;
- UV-Belastung und Verschmutzung.

5.3.2 Wasser

Die Beanspruchung durch Wasser muss für die gesamte Nutzungsdauer des FF-Systems berücksichtigt werden. Während der Planungsphase müssen die folgenden Beanspruchungsarten durch Wasser berücksichtigt werden:

- Regenwasser, eingedrungenes Wasser im Tunnel, Grundwasser, (schmelzender) Schnee, Eis und Hagel, Luftfeuchte;
- unter Druck stehendes Wasser, entweder Grundwasser oder steigendes Wasser;
- wiederholendes Einfrieren und Auftauen von Wasser;
- Löschwasser.

Für Wasser mit gelösten chemischen Substanzen, z. B. Salz, Metalle oder Oxide, siehe 5.3.5.

Für den Einfluss von Wasser auf die elektromagnetische Verträglichkeit, siehe 6.9.6.

Das FF-System muss über ein Entwässerungssystem mit ausreichender Kapazität, Stabilität und Sicherheit gegen Grundwasserdruck verfügen, das ein schnelles Abfließen von Überschusswasser ermöglicht und leicht instandzuhalten ist.

Das FF-System muss für Schneeanfall entsprechend ausgelegt sein und für Schneeräumungsmaßnahmen zugänglich sein, z. B. Schneepflug.

Die Entwässerungssysteme des Ober- und Unterbaus müssen aufeinander abgestimmt sein.

Wenn Grundwasserdruck an der Schnittstelle zwischen Unterbau und FF-System entsteht, muss das FF-System darauf ausgelegt sein.

5.3.3 Temperatur

Die Beanspruchungen aus Temperatur und Temperaturänderungen müssen in der Planungsphase für die Nutzungsdauer eines FF-Systems berücksichtigt werden. Bei der Bemessung müssen die unterschiedlichen Beanspruchungen aus Temperatur berücksichtigt werden.

Die folgenden Beanspruchungsarten müssen berücksichtigt werden:

- Beanspruchung durch Lufttemperatur und Auswirkung von Sonneneinstrahlung;
- Auswirkungen von Temperaturgradienten während der Erwärmung und Abkühlung;
- Auswirkungen durch Temperaturänderungen;
- thermische Auswirkungen aufgrund der Belastung von Schienenfahrzeugen, z. B. Wirbelstrombremse nach 5.1.4.2;
- thermische Einwirkungen bei Einbau- und Instandhaltungsarbeiten;
- Einwirkungen aus Temperaturbeanspruchungen im Unterbau sowie in der elastisch gelagerten Gleistragplatte, siehe 5.2.

Das FF-System muss seine vorgesehene Funktion erfüllen und dabei innerhalb des vom Kunden festgelegten Temperaturbereichs sicher und dauerhaft betrieben werden können.

Die thermischen Auswirkungen während des Baus, der Instandhaltung und des Betriebs müssen berücksichtigt werden.

Besondere Aufmerksamkeit sollte den thermischen Einwirkungen geschenkt werden, die zu horizontalen und vertikalen Bewegungen, dem Zusammenwirken von Unterbauten und dem Zusammenwirken mit anderen Gleissystemen, wie z. B. Schottergleis und elastisch gelagerter Gleistragplatte, beitragen.

5.3.4 Erdbeben

Die Empfindlichkeit des Unterbaus gegenüber Erdbeben muss, wenn erforderlich, für die gesamte Nutzungsdauer des FF-Systems berücksichtigt werden.

Anforderungen an das FF-System hinsichtlich Erdbeben sollten nach EN 1990 und EN 1998-1 festgelegt werden.

5.3.5 Chemische Beanspruchung, UV-Beanspruchung und Schadstoffbelastung

Beanspruchungen durch Chemikalien, UV-Licht und Verschmutzung müssen während der Nutzungsdauer des FF-Systems berücksichtigt werden. Während der Entwurfsphase müssen folgende Beanspruchungen berücksichtigt werden:

- durch Chemikalien im Grundwasser (natürlich oder aufgrund von Versickerung);
- durch Chemikalien im Regenwasser und in der Luft (z. B. Luftverschmutzung durch Industrie oder Salzwerke);
- durch UV und/oder Ozon;
- durch Chemikalien von Schienenfahrzeugen und durch Chemikalien aus Transportbehältern;
- durch Chemikalien, die auf oder in der Nähe des Gleises verwendet werden, z. B. enteisende Flüssigkeiten;
- durch Chemikalien, die in Gleisvorrichtungen verwendet werden, z. B. Schmiermittel und/oder Fett.

Die Gefährdungen durch die Beanspruchung durch Chemikalien müssen beim Entwurf, beim Bau und bei den Instandhaltungsanforderungen, einschließlich Möglichkeiten zur Risikoreduktion, berücksichtigt werden.

6 Systemanforderungen

6.1 Gleisgeometrie

Das Gleis muss eine präzise und dauerhafte Gleisgeometrie aufweisen.

In FF-Systemen dürfen engere Grenzen im Vergleich zur geschotterten Fahrbahn festgelegt werden. Dies wird durch moderne Installationsverfahren ermöglicht und bietet konstruktive Vorteile, siehe 5.1.2.6, hinsichtlich Robustheit, Lärmentwicklung, Instandhaltungsintervalle und den Fahrkomfort.

ANMERKUNG Die Mindestanforderungen an die Qualität der Gleisgeometrie während des Betriebs sind in EN 13848-6 festgelegt. Die Sicherheitsgrenzen für jeden Parameter sind in EN 13848-5 festgelegt. Die Charakterisierung der Qualität der Gleisgeometrie ist in EN 13848-1 festgelegt.

6.2 Gleislagestabilität

Das Gleis muss so konstruiert sein, dass es widerstandsfähig gegen Verwerfungen ist, die sich aus längsgerichteten Kräften im Gleis ergeben und insbesondere durch thermische Einwirkungen hervorgerufen werden.

Die Gleislagestabilität sollte durch Berechnung, die das Flächenträgheitsmoment des FF-Systems beinhaltet, nachgewiesen werden, normalerweise mit Befestigungen zwischen den Subsystemen nach EN 16432-2:2016, 6.5.

Alternativ müssen die Mindestwerte der Widerstandsfähigkeit der Fahrbahn in Längsrichtung und Querrichtung festgelegt werden.

6.3 Lichtraumprofil

Die Oberflächengestaltung des FF-Systems muss dem Lichtraumprofil (Freihaltung des Lichtraums) nach EN 15273-3 entsprechen.

6.4 Nutzungsdauer

FF-Systeme sollten eine Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren aufweisen, es sei denn, der Kunde legt eine andere Anforderung fest. Für Teilsysteme und Komponenten, bei denen eine kürzere Nutzungsdauer aufgrund von Verschleiß oder Ermüdung zu erwarten ist, z. B. bei Schienen, müssen Möglichkeiten zum Austausch vorhanden sein.

6.5 Instandhaltbarkeit

Die Anforderungen an die Instandhaltbarkeit eines FF-Systems müssen während des Entwurfs berücksichtigt werden. Dies muss die Inspektion, die Reparatur und den Austausch von Komponenten und Teilsystemen oder des vollständigen FF-Systems beinhalten, sowie die üblichen Wartungsarbeiten, z.B. Belastung des durchgehend verschweißten Gleises, Schienenfehler, Gleisgeometriekorrektur, Schleifen.

6.6 Nachhaltigkeit

Die Nachhaltigkeit des FF-Systems betrifft vorrangig ökologische Auswirkungen.

Hauptkennwerte der ökologischen Eigenschaften sind:

- Energieverbrauch;
- CO₂-Emission;
- Wiederverwendbarkeit;
- ökologische Auswirkungen (z. B. Landschaftsästhetik und Umwelt).

Falls erforderlich, muss eine Bewertung der Nachhaltigkeit durchgeführt werden.

6.7 Schall und Erschütterungen

Schall- oder Erschütterungsanforderungen können anwendbar sein. Um die Anforderungen an den Lärmschutz zu erfüllen, können spezielle Eigenschaften zur Schallminderung in das FF-System integriert werden.

Erschütterungsanforderungen können eine Anpassung der strukturellen Eigenschaften des Gleissystems erforderlich machen, um die festgelegte Leistung zu erfüllen. Die Gleissteifigkeit kann deshalb durch Erschütterungsanforderungen bestimmt sein.

6.8 Entgleisung

Die Konstruktion des FF-Systems muss die Auswirkungen auf das System durch ein entgleistes Rad sowie die Wahrscheinlichkeit und die Folgen des Kippens eines entgleisten Fahrzeugs berücksichtigen. Die Notwendigkeit für Schutzmaßnahmen gegen Entgleisung kann unter Einbeziehung der ortsspezifischen Probleme hinsichtlich der Folgen der Entgleisung sowie der Wahrscheinlichkeit des Auftretens gefordert werden.

6.9 Elektrische Schnittstellen

6.9.1 Allgemeines

Dieser Unterabschnitt beschreibt allgemeine Anforderungen an das FF-System im Hinblick auf elektrische und mechanische Schnittstellen mit:

- Bahnstromversorgungssystemen;
- Signalsystemen;
- anderen Gleisausstattungen.

6.9.2 Elektrische Isolierung zwischen den Schienen

Sowohl das Bahnstromversorgungs- als auch das Signalsystem haben Anforderungen hinsichtlich der Isolierung zwischen den Schienen. Deshalb muss eine Mindestisolierung zwischen den Schienen vorhanden sein. Diese Anforderungen werden mit dem Widerstand von Schienenbefestigungssystemen in $k\Omega$ dargestellt. Der Wert wird mit dem Abstand zwischen den Schienenbefestigungssystemen oder der Länge des Probekörpers multipliziert, um einen Widerstand zwischen den Schienen pro Gleislänge in $\Omega \times km$ zu erhalten.

6.9.3 Elektrische Schnittstellen zu Bahnstromversorgungssystemen

Bei elektrifizierten Eisenbahnstrecken sind die Fahrschienen Teil der Rückleitung, außer in Sonderfällen. Die strukturellen und elektrischen Eigenschaften des FF-Systems müssen mit den Anforderungen hinsichtlich der elektrischen Sicherheit, der Erdung, des Potentialausgleichs und der Rückleitung abgestimmt werden, wie in der Normenreihe EN 50122 festgelegt.

Aspekte, die Berücksichtigung erfordern sind unter anderem:

- Isolierung der Schienen zum Tragwerk und zum Erdreich;
- Gefahren von Lichtbogenbildung und anderen Arten von unerwartetem elektrischen Kontakt zwischen Stromschienen und der Bewehrung von Betonbauteilen;
- Bereitstellung von Kabelkanälen und Raum für die elektrische Verbindung zu den Schienen;
- längsgerichteter Widerstand der Fahrschienen, der für mit Gleichstrom elektrifizierte Eisenbahnstrecken wesentlich sein kann. Dieser ergibt sich aus der Querschnittsfläche einer Schiene und der Stahlsorte.

ANMERKUNG 1 Die elektrische Konstruktion der Rückleitung und ihrer Erdung ist für die Fertigstellung des FF-Systems erforderlich.

ANMERKUNG 2 Zusätzliche elektrische Anforderungen entstehen aus der Notwendigkeit des Signalsystems, siehe 6.9.4, 6.9.5 und 6.9.6.

Installationen von Stromschienen müssen EN 50122-1 entsprechen. Folgende Punkte müssen besonders berücksichtigt werden:

- Gefahr eines elektrischen Schlags durch direkten Kontakt zwischen Personen und Stromschienen;
- Verfahren zum Befestigen der Isolatoren der Stromschiene an der Schiene, um die Wahrscheinlichkeit zu reduzieren, dass leitende Fremdkörper die Stromschienen mit leitenden Teilen des Gleises verbinden.

6.9.4 Elektrische Schnittstellen zu Signalsystemen

Die Konstruktion des FF-Systems muss die Randbedingungen des Signalsystems berücksichtigen.

6.9.5 Gleisstromkreis

Die Fahrschienen sind Teil des Signalsystems. Die Fahrschienen müssen über eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit verfügen, um den Gleisstromkreis zu bilden.

Der Gleisstromkreis nutzt die Isolierung zwischen den Schienen, um ein Schienenfahrzeug zu erkennen. Das Erkennungsprinzip beruht darauf, dass die Achsen des Fahrzeugs die zwei Schienen kurzschließen. Es muss eine Mindestisolierung zwischen den Schienen nach EN 13481-5 vorhanden sein.