

DIN EN 16432-2



ICS 93.100

**Bahnanwendungen –
Feste Fahrbahn-Systeme –
Teil 2: Systementwurf, Teilsysteme und Komponenten;
Deutsche Fassung EN 16432-2:2017**

Railway applications –
Ballastless track systems –
Part 2: System design, subsystems and components;
German version EN 16432-2:2017

Applications ferroviaires –
Systèmes de voies sans ballast –
Partie 2: Conception du système, sous-systèmes et composants;
Version allemande EN 16432-2:2017

Gesamtumfang 117 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 16432-2:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

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

Dieses Dokument beruht auf der Grundlage einer englischen Referenzfassung.

Deutsche Fassung

Bahnanwendungen —
Feste Fahrbahn-Systeme —
Teil 2: Systementwurf, Teilsysteme und Komponenten

Railway applications —
Ballastless track systems —
Part 2: System design, subsystems
and components

Applications ferroviaires —
Systèmes de voies sans ballast —
Partie 2: Conception du système, sous-systèmes
et composants

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 28. Mai 2017 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 CEN-CENELEC-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 Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

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



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Symbole und Abkürzungen	9
5 Allgemeines	14
5.1 Festes Fahrbahn-System, Teilsysteme und Komponenten	14
5.2 Teilsystemkonfiguration	15
5.2.1 FF-System mit kontinuierlicher Lagerung und eingebetteten Schienen.....	15
5.2.2 FF-System mit Einzelstützpunkten	15
6 Systemauslegung	16
6.1 Festlegung der Systemkriterien.....	16
6.2 Systemsicherungsplan.....	17
6.3 Systemintegration	17
6.4 Vertikale Gleissteifigkeit	17
6.5 Gleislagestabilität.....	18
6.6 Lastverteilung und -übertragung durch Teilsysteme und Komponenten.....	18
6.6.1 Grundsätze	18
6.6.2 Berechnungsschritte	19
6.6.3 Bestimmung der Kräfte (Schienenstützpunktlasten) zwischen den Teilsystemen Schienenbefestigungssystem und Tragkonstruktion (Fertigteil oder Fahrbahn)	20
6.6.4 Belastung des Fertigteils und Lastverteilung.....	21
6.6.5 Bemessung der Fahrbahn.....	21
6.7 Belastung des Unterbaus	24
6.8 Übergänge	24
7 Schienen.....	25
8 Schienenbefestigungssysteme.....	25
8.1 Allgemeines	25
8.2 Stützpunktabstand.....	25
8.3 Regulierung	25
9 Fertigteilelemente.....	25
9.1 Allgemeines	25
9.2 Generelle Entwurfskriterien	26
9.2.1 Für den allgemeinen Entwurf bereitzustellende Daten	26
9.2.2 Bemessung einzelner Fertigteilelemente.....	26
9.3 Herstellungsverfahren	26
9.3.1 Allgemeine Anforderungen.....	26
9.3.2 Aushärtung.....	27
9.3.3 Oberflächenbeschaffenheit.....	27
9.3.4 Kennzeichnung.....	27
9.4 Qualitätskontrolle	27
9.4.1 Allgemeines	27

9.4.2	Qualitätskontrolle während der Bauartzulassungsprüfungen	27
9.4.3	Qualitätskontrolle während der Herstellung	28
9.5	Betonschwellen, Weichenschwellen und Betonblöcke	28
9.6	Fertigteilplatten und -rahmen	29
9.6.1	Einteilung	29
9.6.2	Bemessung	30
9.6.3	Materialien	31
9.6.4	Geometrische Toleranzen	31
9.6.5	Lagerung, Handhabung, Transport und Installation vor Ort	32
9.7	Füllschicht	33
10	Fahrbahnen (geschichtete Struktur)	33
10.1	Allgemeines	33
10.2	Betonfahrbahnen	33
10.2.1	Anwendung	33
10.2.2	Materialien	33
10.2.3	Funktionale Anforderungen	34
10.3	Asphaltfahrbahnen	37
10.3.1	Anwendung	37
10.3.2	Bemessungsprinzipien	37
10.3.3	Geometrische Anforderungen	37
10.3.4	Asphaltmaterialien und Mischungsentwürfe	38
10.3.5	Materialien für die Deckschicht	38
10.3.6	Anforderungen an Schichten	38
10.4	Ungebundene, hydraulisch gebundene und bitumengebundene Tragschichten	39
10.4.1	Anwendung	39
10.4.2	Hydraulisch gebundene Tragschicht	39
10.4.3	Zementgebundene Tragschicht (CTB)	40
10.4.4	Beton-Tragschicht	40
10.4.5	Bitumenhaltige Tragschicht	40
10.4.6	Ungebundene Tragschicht	40
11	Zwischenschichten	41
11.1	Funktionen der Zwischenschichten	41
11.2	Auswirkungen von Zwischenschichten auf das FF-System	42
Anhang A (informativ)	Vertikale Fahrzeuglast	43
A.1	Verteilung der vertikalen Verkehrslast und Berechnung der Schienenstützpunktlasten	43
A.1.1	Allgemeines	43
A.1.2	Schienenstützpunktlast P_0 (in N)	43
A.1.3	Schienenstützpunktlast P_j (in N) durch Radlasten Q_i (in N)	45
A.2	Biegemoment der Schiene und Schienenfußspannung	46
A.2.1	Biegemoment der Schiene M_0 (in Nmm)	46
A.2.2	Schienenfußspannung σ_0 (in N/mm ²)	46
Anhang B (informativ)	Bemessungsberechnungen für Gleistragplatten, Fahrbahnen, Rahmen und Balken	47
B.1	Allgemeines	47
B.1.1	Einleitung	47
B.1.2	Effektive Dicke der Fahrbahn h_1 (in mm)	48
B.1.3	Bettungsmodul k (in N/mm ³)	49
B.1.4	Tragfähigkeit des Balkens oder der Gleistragplatte/Fahrbahndecke, aufgelagert auf einer zement- oder bitumenhaltigen Tragschicht	52
B.1.5	Gleistragplatte auf Winklerbasis (Westergaard): Biegemomente in Längs- und Querrichtung sowie durch Schienenstützpunktlasten erzeugte Biegezugspannungen	55

B.1.6	Balken nach Winklerbasis (Zimmermann): Biegemoment in Längsrichtung und Zugspannung durch Schienenstützpunktlasten.....	61
B.1.7	Kritische Biegezugspannung in Längsrichtung.....	65
B.1.8	Kritische Biegezugspannung in Querrichtung.....	65
B.2	Spannungen in der Beton-Gleistragplatte/-Fahrbahn durch Temperatur -einwirkung.....	65
B.2.1	Allgemeines	65
B.2.2	Konstante Spannungen σ_c aufgrund von Temperaturwechsel ΔT in Beton-Gleistragplatten oder Fahrbahnen.....	66
B.2.3	Lineare Spannungen σ_w aufgrund von Temperaturänderungen, die in Beton-Gleistragplatten oder Fahrbahnen wirken	67
B.3	Bestimmung der maximal zulässigen Dauerbiegezugfestigkeit aufgrund der Eisenbahnverkehrslast σ_Q	69
B.3.1	Maximal zulässige Biegezugspannung im Winter (Spannungen in Längsrichtung)	69
B.3.2	Maximal zulässige Biegezugspannung im Sommer (Spannungen in Quer- und Längsrichtung).....	69
	Anhang C (informativ) Vertikale Belastung.....	70
	Anhang D (informativ) Berechnungsbeispiele	71
D.1	Bild zum ersten Beispiel (Variante II: System ohne Verbund) und zum zweiten Beispiel (Variante III: System mit Verbund).....	71
D.2	Verteilung der vertikalen Verkehrslast und Berechnung der Schienenstützpunktlasten.....	71
D.2.1	Schienenstützpunktlast P_0 (in N)	71
D.2.2	Schienenstützpunktlasten P_i (in N) durch Radlasten Q_i (in N).....	73
D.2.3	Biegemoment der Schiene und Biegespannung am Schienenfuß.....	80
D.3	Erstes Beispiel (Variante II: System ohne Verbund)	82
D.3.1	Allgemeines	82
D.3.2	Biegemoment durch Schienenstützpunktlast.....	83
D.3.3	Spannungen aufgrund von Temperatureinwirkung	92
D.3.4	Bestimmung der maximal zulässigen Dauerbiegezugfestigkeit durch die Verkehrslast σ_Q	93
D.4	Zweites Beispiel (Variante III: System mit Verbund)	93
D.4.1	Allgemeines	93
D.4.2	Biegemoment aufgrund von Schienenstützpunktlasten.....	95
D.4.3	Spannungen durch Wärmeeinwirkung	106
D.4.4	Bestimmung der maximal zulässigen Dauerbiegezugfestigkeit durch die Verkehrslast σ_Q .	107
	Anhang E (informativ) Qualitätskontrolle — Regelprüfungen und Häufigkeit der Prüfungen.....	109
E.1	Allgemeines	109
E.2	Für die Gleistragplatten zu überprüfende Angaben	109
E.3	Beispiel für die Häufigkeit der Prüfungen.....	111
	Anhang F (informativ) Beispiel einer FF-System-Konstruktionsberechnung und Analyse aufgrund analytischer Werkzeuge	112
	Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG.....	113
	Literaturhinweise.....	115

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 16432-2:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Bahnanwendungen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Februar 2018, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Februar 2018 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Normungsauftrages erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG.

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

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

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

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

Einleitung

Dieser Teil der Normenreihe EN 16432 behandelt die Bemessung von Festen Fahrbahn-Systemen, Teilsystemen und Komponenten und wird im Zusammenhang mit den folgenden Teilen verwendet:

- Teil 1: Allgemeine Anforderungen;
- Teil 3: Abnahme.

Ein Festes Fahrbahn-System (FF-System) darf aus den in 5.1, Bild 1, dargestellten Teilsystemen und Komponenten bestehen, ist jedoch nicht darauf beschränkt. Diese sind in Übereinstimmung mit den Anforderungen in dieser Norm oder, wenn zutreffend, mit anderen bestehenden Europäischen Normen konstruiert.

ANMERKUNG Typische Beispiele sind Schienen, die in EN 13674-1, EN 13674-2 und EN 13674-3 festgelegt sind, oder Schienenbefestigungen für FF-Systeme nach EN 13481-5.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von EN 16432 behandelt die Bemessung von System und Teilsystem und die Anordnung der Komponenten für Feste Fahrbahn-Systeme (FF-Systeme).

Die Konstruktionsanforderungen an das System und das Teilsystem sind den allgemeinen Anforderungen von EN 16432-1:2016 entnommen. Auf Anforderungen an bestehende Teilsysteme oder Komponenten aus anderen Normen ist zu verweisen, sofern zutreffend.

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).

prEN 197-1:2014, *Zement — Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement*

EN 206:2013+A1:2016, *Beton — Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*

EN 1097-6:2013, *Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen — Teil 6: Bestimmung der Rohdichte und der Wasseraufnahme*

EN 1992 Normenreihe, *Eurocodes*

EN 1992-1-1:2004, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

EN 1992-2:2005, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 2: Betonbrücken — Bemessungs- und Konstruktionsregeln*

prEN 13043:2015, *Gesteinskörnungen für Asphalt und Oberflächenbehandlungen für Straßen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen*

EN 13108-1:2016, *Asphaltemischgut — Mischgutanforderungen — Teil 1: Asphaltbeton*

EN 13108-5:2016, *Asphaltemischgut — Mischgutanforderungen — Teil 5: Splittmastixasphalt*

EN 13230-1:2016, *Bahnanwendungen — Oberbau — Gleis- und Weichenschwellen aus Beton — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

EN 13230-2:2016, *Bahnanwendungen — Oberbau — Gleis- und Weichenschwellen aus Beton — Teil 2: Spannbeton-Monoblockswellen*

EN 13230-3:2016, *Bahnanwendungen — Oberbau — Gleis- und Weichenschwellen aus Beton — Teil 3: Bewehrte Zweiblockswellen*

EN 13230-4:2016, *Bahnanwendungen — Oberbau — Gleis- und Weichenschwellen aus Beton — Teil 4: Spannbetonschwellen für Weichen und Kreuzungen*

EN 13230-5:2016, *Bahnanwendungen — Oberbau — Gleis- und Weichenschwellen aus Beton — Teil 5: Sonderformen*

prEN 13230-6:2015, *Bahnanwendungen — Oberbau — Gleis- und Weichenschwellen aus Beton — Teil 6: Bemessung*

EN 13242:2002+A1:2007, *Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische für den Ingenieur- und Straßenbau*

EN 13286-47:2012, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 47: Prüfverfahren zur Bestimmung des CBR-Wertes (California bearing ratio), des direkten Tragindex (IBI) und des linearen Schwellwertes*

EN 13481 (alle Teile), *Bahnanwendungen — Oberbau — Leistungsanforderungen für Schienenbefestigungssysteme*

EN 13674-1:2011+A1:2017, *Bahnanwendungen — Oberbau — Schienen — Teil 1: Vignolschienen ab 46 kg/m*

EN 13674-2:2006+A1:2010, *Bahnanwendungen — Oberbau — Schienen — Teil 2: Schienen für Weichen und Kreuzungen, die in Verbindung mit Vignolschienen ab 46 kg/m verwendet werden*

EN 13674-3:2006+A1:2010, *Bahnanwendungen — Oberbau — Schienen — Teil 3: Radlenkerschienen*

EN 13877-1:2013, *Fahrbahnbefestigungen aus Beton — Teil 1: Baustoffe*

EN 13877-2:2013, *Fahrbahnbefestigungen aus Beton — Teil 2: Funktionale Anforderungen an Fahrbahnbefestigungen aus Beton*

EN 13877-3:2004, *Fahrbahnbefestigungen aus Beton — Teil 3: Anforderungen an Dübel für Fahrbahnbefestigungen aus Beton*

EN 14227-1:2013, *Hydraulisch gebundene Gemische — Anforderungen — Teil 1: Zementgebundene Gemische*

EN 16432-1:2017, *Bahnanwendungen — Feste Fahrbahn-Systeme — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe sowie Begriffe nach EN 16432-1.

3.1

Füllschicht

monolithische Schicht, die vorgefertigte Bauteile oder Teilstrukturen eines festen Fahrbahn-Systems (FF-System) verbindet und die Lastübertragung auf die Fahrbahn oder andere unterstützende Systeme ermöglicht

3.2

Fahrbahn

durchgängige Schichtstruktur mit einer harten, beständigen Oberfläche, die den Tragfähigkeitsanforderungen gerecht wird

3.3

Systemauslegung

(en: System Design)

systematischer Prozess, der sicherstellt, dass alle aufgeführten Bauteile so zusammen arbeiten, dass die Leistungsanforderungen erfüllt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Prozess bezieht den Umgang mit den allgemeinen Anforderungen für FF-Systeme nach EN 16432-1 mit ein und kombiniert diese in einer Reihe von Szenarien zur Analyse und für Lösungen, damit endgültige Abmessungen und eine zufriedenstellende Spezifikation erreicht werden.

3.4

Fahrwegsteifigkeit

Resistenz der gesamten Fahrbahnstruktur gegenüber Verformungen in Relation zur angewandten Kraft

4 Symbole und Abkürzungen

Symbole	Definitionen	Einheit
AC	Asphaltbeton (en: Asphalt Concrete)	
CRCP	durchgehend bewehrte Fahrbahn aus Beton (en: Continuously Reinforced Concrete Pavement)	
CTB	zementgebundene Tragschicht (en: Cement Treated Base layer)	
FEM	Finite-Elemente-Methode	
FST	elastisch gelagerte Gleistragplatte (en: Floating Slab Track)	
JPCP	unbewehrte Fahrbahn aus Beton mit Fugen (en: Jointed Plain Concrete Pavement)	
PmB	polymermodifiziertes Bitumen	
RAMS	Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit (en: Reliability, Availability, Maintainability, Safety)	
SLS	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (en: Serviceability Limit State)	
SMA	Splittmastixasphalt	
ULS	Grenzzustand der Tragfähigkeit (en: Ultimate Limit State)	
A	Achslast	N
A_i	Querschnittsfläche einer Schicht basierend auf 1 mm Breite der ersten Schicht berechnet	mm ²
A_{LS}	Kontaktfläche oder der Bereich der Belastungsfläche (en: Contact area or area of the loading surface)	mm ²
a	Stützpunktabstand oder Referenzlänge des eingebetteten Schienenabschnitts	mm
a_s	Berechnung der gesamten Querschnittsfläche der Stahlbewehrung ausgehend von 1 mm Breite der Gleistragplatte	mm ²
α_t	Wärmeausdehnungskoeffizient	1/K
B	Breite der Gleistragplatten oder der Fahrbahn	mm
B_{crit}	Kritische Breite der Gleistragplatten oder der Fahrbahn	mm
B_1 und B_2	Breite der Schicht 1 bzw. Schicht 2	mm
b	Referenzradius der Kontaktfläche	mm
b_B	Halbe Breite der Gleistragplatte oder Breite des Balkens	mm
b_h	Breite des Balkens	mm
b_1	Breite der obersten Schicht (1. Schicht)	mm
b_2	Breite der 2. Schicht	mm
c	Materialkorrekturfaktor für Betonschichten oder hydraulisch gebundene Schichten, z. B. $c = 0,83$	
c_{tot}	Steifigkeit	N/mm

Symbole	Definitionen	Einheit
c_1	Steifigkeit des Befestigungssystems angegeben für dynamische Belastung und niedrige Temperatur	N/mm
c_2	Steifigkeit eines zusätzlichen elastischen Elements (z. B. Betonblock mit Schuh), welches den Stützpunkt unterstützt (wenn zutreffend)	N/mm
Dpr	Proctordichte	g/mm ³
d	Durchmesser der Stahlstäbe Fugen/Riss Breite	mm
E	Elastizitätsmodul	N/mm ²
E_{conc}	Elastizitätsmodul von Beton	N/mm ²
E_{dyn}	Dynamischer Elastizitätsmodul	N/mm ²
E_R	Elastizitätsmodul (in N/mm ²) der Schiene (üblicherweise $E_R = 210\,000\text{ N/mm}^2$)	N/mm ²
E_S	Elastizitätsmodul von Stahl	N/mm ²
E_{V2}	Verformungsmodul	N/mm ²
E_1	Elastizitätsmodul (in N/mm ²) der ersten Schicht eines Balkens oder einer Gleistragplatte/Fahrbahn	N/mm ²
E_2	Elastizitätsmodul (in N/mm ²) des ungebundenen, körnigen Materials oder des Unterbaus	N/mm ²
E_1, E_2, E_3	Elastizitätsmodul des Betons, der ungebundenen Tragschicht und des Unterbaus	N/mm ²
e_a	Abstand zwischen Fahrbahndeckenoberfläche und der neutralen Achse	mm
e_b	Abstand zwischen Fahrbahndeckenboden und der neutralen Achse	mm
f_{ck}	Charakteristische Druckfestigkeit von Beton (Zylinder) nach 28 Tagen	N/mm ²
f_{ctk}	Charakteristische Zugfestigkeit von Beton	N/mm ²
h	Ersatzdicke (en: Equivalent thickness)	mm
h	h_I oder h_{II} oder h_{III} Dicke einer Winkler Gleistragplatte/Fahrbahn Dicke des Systems h_I or h_{II} or h_{III} Dicke des Gleistragplatte/Fahrbahn (in mm) oder h_I or h_{II} or h_{III}	mm
h^*	Referenzdicke der Schicht aufgrund des normierten Elastizitätsmoduls	mm
h_i	Schichtdicke	mm
h_1	Dicke der ersten Schicht eines Balkens oder einer Gleistragplatte/Fahrbahn	mm
h_1^*	Ersatzhöhe des Balkens oder der Gleistragplatte/Fahrbahn mit demselben Elastizitätsmodul wie der darunterliegende Halbraum	mm
h_2^*	Ersatzhöhe der ungebundenen Tragschicht mit demselben Elastizitätsmodul wie der darunterliegende Halbraum	mm
h_2	Dicke der ungebundenen Tragschicht	mm
h_I	Dicke Variante I (eine Schicht)	mm
h_{II}	Ersatzdicke des Halbraums Variante II (mehrere ungebundene Schichten)	mm

Symbole	Definitionen	Einheit
h_{III}	Ersatzdicke des Halbraums Variante III (mehrere verbundene Schichten)	mm
I	vertikales Trägheitsmoment eines T-Trägers	mm ⁴
I_B	vertikales Trägheitsmoment des Balkens	mm ⁴
I_R	vertikales Trägheitsmoment der Schiene	mm ⁴
I_1	Trägheitsmoment der obersten Schicht	mm ⁴
k	Bettungsmodul	N/mm ³
k	Durchlässigkeit	m/s
k_d	dynamischer Lastfaktor	
k_q	Faktor zur Steigerung der statischen Radlast durch zusätzliche vertikale Belastungen (zusätzliche quasi-statische Radlast, die in Kurven auf die außenliegenden Schiene wirkt)	
L	Länge der Gleistragplatte/ Riss- oder Fugenabstand	mm
L_{el}	elastische Länge	mm
l	Fugenabstand oder Rissabstand	mm
l_b	Länge des vollständigen Verbundes zwischen Stahlträger und Beton	mm
l_e	Dehnungslänge der Stahlstäbe	mm
$M_{lat,neigh}$	Biegemoment in Querrichtung hervorgerufen durch benachbarten Stützpunktlasten	Nmm
$M_{lat I,II,III}$	Biegemoment in Querrichtung	Nmm
$M_{lat I}$	Biegemoment in Querrichtung aktiviert in System I	Nmm
$M_{lat II}$	Biegemoment in Querrichtung aktiviert in System II (mehrere ungebundene Schichten)	Nmm
$M_{lat,1}$	Biegemoment in Querrichtung aufgrund von benachbarter Stützpunktlast P_1	Nmm
$M_{long,neigh}$	Zusätzliches Biegemoment in Längsrichtung aktiviert durch benachbarte Stützpunktlasten	Nmm
$M_{long,I}$	Biegemoment in Längsrichtung aktiviert in System I (eine Schicht auf Unterbau)	Nmm
$M_{long,II}$	Biegemoment in Längsrichtung aktiviert in System II (mehrere ungebundene Schichten)	Nmm
$M_{long,1}$	Biegemoment in Längsrichtung aufgrund von benachbarter Stützpunktlast P_1	Nmm
$M_{long,II}$ und $M_{lat II}$	Biegemoment in Längs- und Querrichtung aktiviert in System II (mehrere ungebundene Schichten)	Nmm
$M_{long III}$ und $M_{lat III}$	Biegemoment in Längs- und Querrichtung aktiviert in System III (mehrere gebundene Schichten)	Nmm
$M_{long I,II,III}$	Biegemoment in Längsrichtung	Nmm
$M_{j,r,t}$	radiale und tangentielle Biegemomente	Nmm
$M_{r,t}$	radiale und tangentielle Biegemomente	Nmm

Symbole	Definitionen	Einheit
M_0	Schienenbiegemoment	Nmm
$M_{0\text{ I, II, II}}$	Biegemoment	Nmm
n	Anzahl der Züge die Anzahl der Lastspiele, üblicherweise die Anzahl der Achsen	
P_j	Schienenstützpunktlast aufgrund von Radlasten Q_i	N
p	Lastkontaktdruck	N/mm ²
Q_i	Radlasten	N
r	Radius für kreisförmige Kontaktfläche A_{LS} ; $r = \sqrt{\frac{A_{LS}}{\pi}}$	mm
s	Distanz zwischen den Schienenachsen (1,5 m bei normaler Spurweite)	mm
W_F	Widerstandsmoment der Schiene bezogen auf den Schienenfuß	mm ³
x_i	Abstand zwischen Stützpunkt und Position des Rades	mm
x_j	Abstand zwischen Stützpunkt 0 und Stützpunkt j	mm
$X_{s,i}$	Abstand zwischen dem Schwerpunkt der Querschnittsfläche der Schicht A_i und der neutralen Achse des T-Träger-Modells.	mm
y	Vertikale Einsenkung der Gleistragplatte oder Fahrbahn	mm
y_i	Vertikale Verschiebung aufgrund von Q_i	mm
y_0	Schienendurchbiegung	mm
α_s	Gesamte Querschnittsfläche der Stahlbewehrung, basierend auf 1 mm Gleistragplattenbreite berechnet	mm ² /mm
β_{fs}	Biegezugspannung des Betons	N/mm ²
β_j, β_1	Winkel zwischen Gleis in Längsrichtung und Linie zwischen P_0 und benachbarter Schienenstützpunktlast	°
Δd	Veränderung von Riss- oder Fugenbreite	mm
ΔT	Temperaturdifferenz zwischen Oberseite und Unterseite	K
Δt	Temperaturgefälle in Abhängigkeit von der Dicke h_1 der Betongleistragplatte/Fahrbahndecke	K/mm
Δz	Gemessene Veränderung der Durchbiegung aufgrund von $\Delta\sigma_z$	mm
ζ	Normierte Entfernung zu benachbarten Stützpunktlasten aufgrund der elastischen Länge L_{el}	Radiant
ζ_i	$\zeta_i = \frac{x_i}{L_{el}}$	
η_i	Einflussfaktor der Schienendurchbiegung aktiviert durch zusätzliche Radlasten $\eta_i = \frac{\sin \zeta_i + \cos \zeta_i}{e^{\zeta_i}}$	Radiant
$\lambda_{r,j}$	Radialer Einflussfaktor der zusätzlichen Schienenstützpunktlasten	
$\lambda_{r,t}$	Radialer oder tangentialer Einflussfaktor der zusätzlichen Schienenstützpunktlasten	

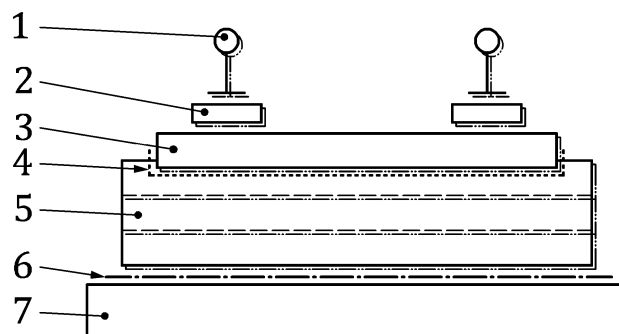
Symbole	Definitionen	Einheit
$\lambda_{r,1}$	Radialer Einflussfaktor der Schienenstützpunktlast P_1	
$\lambda_{t,j}$	Tangentialer Einflussfaktor der zusätzlichen Schienenstützpunktlasten	
$\lambda_{t,1}$	Tangentialer Einflussfaktor der Schienenstützpunktlast P_1	
κ	Dehnungslänge von Stahl l_e (in mm) je Fugen- oder Rissabstand l (in mm) $\kappa = l_e/l$	
μ	Querdehnzahl	
μ_i	Einflussfaktor des Biegemoments aktiviert durch zusätzliche Radlasten	Radiant
μ_j	Einflussfaktor des Biegemoments auf Gleistragplatten/Fahrbahndecke aktiviert durch zusätzliche Schienenstützpunktlasten	
μ_1	Querdehnzahl von Gleistragplatten/Fahrbahndecke – 1. Schicht	
ξ_i	Normierter Abstand zur benachbarten Last basierend auf der elastischen Länge L_{el}	
ξ_j	$\xi_j = x_j/L_{el}$	
σ_c	Konstante Spannung Längsseitige Zugspannung im Winter (berechnet mit max. ΔT)	N/mm ²
σ_e	Eigenspannung	N/mm ²
σ_{lat}	Biegespannung in Querrichtung	N/mm ²
$\sigma_{lat1,bottom}$	Biegespannung in Querrichtung am Boden der ersten Schicht	N/mm ²
$\sigma_{lat1,top}$	Biegespannung in Querrichtung am oberen Ende der ersten Schicht	N/mm ²
σ_{long}	Biegezugspannung in Längsrichtung	N/mm ²
$\sigma_{long1,bottom}$	Biegespannung in Längsrichtung am Boden der ersten Schicht	N/mm ²
$\sigma_{long1,top}$	Biegespannung in Längsrichtung am oberen Ende der ersten Schicht	N/mm ²
σ_Q	Maximal zulässige Dauerbiegezugspannung durch Verkehrslast	N/mm ²
max σ_Q lat	Maximal zulässige Biegespannung in Querrichtung	N/mm ²
max σ_Q long	Maximal zulässige Biegespannung in Längsrichtung	N/mm ²
σ_{r1}	Biegespannung in Schicht 1	N/mm ²
σ_{r2}	Biegespannung in Schicht 2	N/mm ²
σ_w	Lineare Spannung Biegezugspannung in Querrichtung im Winter (berechnet mit max Δt) oder die reduzierte Biegezugspannung in Querrichtung σ_w im Fall von Gleistragplatten/Fahrbahndecken mit einer Dicke von $B < 0,9 B_{crit}$	N/mm ²
σ_z	Vertikale Spannung	N/mm ²
$\Delta\sigma$	Angewandte Veränderung der vertikalen Spannung	N/mm ²
Δz	Gemessene Veränderung der Durchbiegung durch $\Delta\sigma_z$	mm
max σ_z	Maximal zulässige vertikale Spannung	N/mm ²

Symbole	Definitionen	Einheit
σ_0	Biegespannung am Schienenfuß	N/mm ²

5 Allgemeines

5.1 Festes Fahrbahn-System, Teilsysteme und Komponenten

Ein FF-System darf aus den folgenden, in Bild 1 dargestellten Ebenen von Teilsystemen und Komponenten bestehen (ist jedoch nicht darauf beschränkt).



Legende	Einheit	Typ
1	Schiene/Weiche und Kreuzung	Teilsystem
2	Befestigungssystem/System für eingebettete Schienen	Teilsystem
-	Spannelement, Klemme, Zwischenlage usw.	Komponente
-	Klebstoff	Komponente
3	Fertigteil	Teilsystem
-	Gleisschwelle, Betonblock	Komponente
-	Gleistragplatte, Rahmen	Komponente
4	Zwischenschicht, Schuh, Befestigung	Teilsystem
-	Füllbetonschicht	Komponente
5	Fahrbahn	Teilsystem
-	Ein-, mehrschichtige Fahrbahn	Komponente
-	Tragschicht	Komponente
6	Zwischenschicht	Teilsystem
-	Folie, Plane	Komponente
-	Ausgleichsschicht	Komponente
7	Unterbau	System

Bild 1 — FF-System — Teilsysteme und Komponenten

Bild 1 zeigt den Aufbau eines FF-Systems nach den Ebenen Teilsystem und Komponente. Die Reihenfolge der Teilsysteme in vertikaler Richtung sowie das Vorhandensein oder das Fehlen von Teilsystemen und Komponenten innerhalb des FF-Systems hängt von der jeweiligen Konstruktion ab. Zwischenschichten dürfen an verschiedenen Teilsystem-Schnittstellen (Ebenen) verwendet werden.

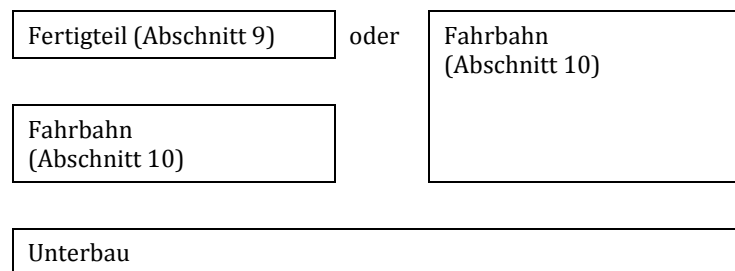
5.2 Teilsystemkonfiguration

5.2.1 FF-System mit kontinuierlicher Lagerung und eingebetteten Schienen

Die Schienen sind eingebettet, umhüllt oder eingebunden durch Elastomermaterial, das jedoch den Schienenkopf frei lässt. Die Umhüllung oder Einbindung darf die erste Ebene der Elastizität darstellen in Übereinstimmung mit den Anforderungen an die Steifigkeit.

Die Tragkonstruktion (Fertigteil oder Fahrbahn) darf mit Spurkanälen oder anderen Bauteilen ausgestattet sein, die zur Kontrolle der Schienengeometrie und zur Ableitung der Lasten konstruiert sind.

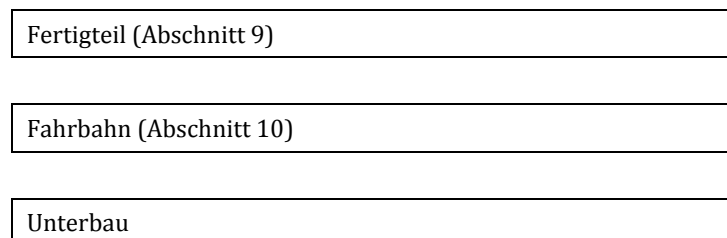
Folgendes Diagramm zeigt die Konfiguration der Teilsysteme.



5.2.2 FF-System mit Einzelstützpunkten

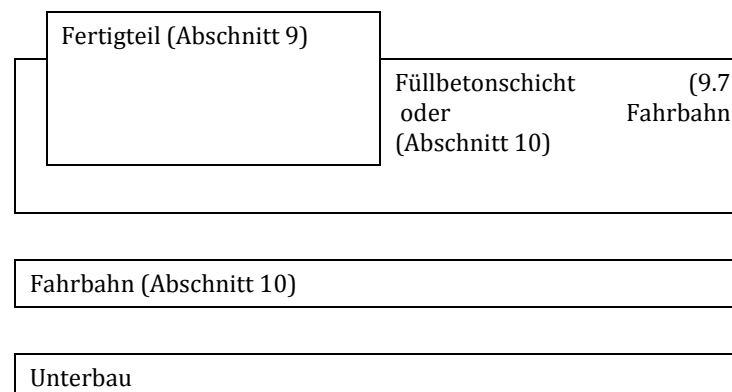
5.2.2.1 FF-System mit Einzelstützpunkten auf Fertigteilen, getragen von einer Fahrbahn

Folgendes Diagramm zeigt die Konfiguration der Teilsysteme.



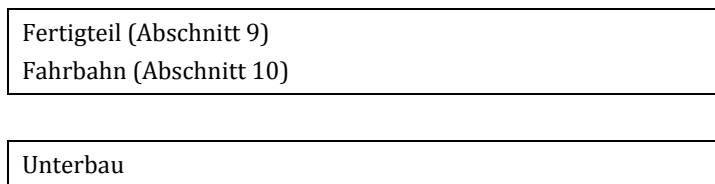
5.2.2.2 FF-System mit Einzelstützpunkten auf einem Fertigteil, unabhängig von der umgebenden Füllbetonschicht oder der Fahrbahn

Folgendes Diagramm zeigt die Konfiguration der Teilsysteme.



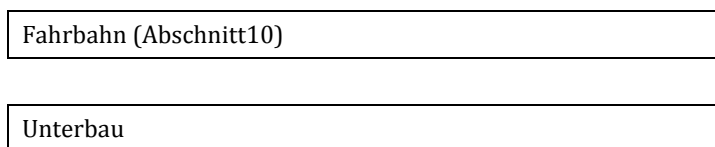
5.2.2.3 FF-System mit Einzelstützpunkten auf einem Fertigteil monolithisch in eine Fahrbahn integriert

Folgendes Diagramm zeigt die Konfiguration der Teilsysteme.



5.2.2.4 FF-System mit Einzelstützpunkten auf einer Betonfahrbahn

Folgendes Diagramm zeigt die Konfiguration der Teilsysteme.



6 Systemauslegung

6.1 Festlegung der Systemkriterien

Die gesamte Systemauslegung muss sicherstellen, dass das FF-System während seiner vorgegebenen Lebensdauer sicher und effektiv mit den Schnittstellenelementen des Eisenbahnsystems integriert ist. Dies schließt Auswirkungen auf und von folgenden Systemen mit ein:

- Signalsystem (einschließlich Induktionseffekten, Interferenzen der Bewehrung usw.);
- Unterbau (z. B. Erdbauwerke, Gründungen, Tunnel, Brücken, Viadukte usw.);
- elektrische Stromversorgung (z. B. Anforderungen zu Streuströmen, Zugang zu Kabeln usw.);
- andere elektrische Systeme (z. B. Telekommunikation);
- betriebliche Einrichtungen (z. B. Entwässerung, Instandhaltbarkeit und Zugänglichkeit).

Dies erfordert von Anfang an ein hochentwickeltes Konzept, um die anwendbaren allgemeinen Anforderungen verständlich zu machen, einschließlich:

- Verständnis der Interaktion des Systems mit den vorhandenen Unterbauten und Interpretation der notwendigen Parameter, die diese beeinflussen, wie z. B. Setzung, Biegung usw.;
- Erfassung der geforderten Verkehrs- und außergewöhnlichen Belastungen;
- Erfassung anderer umgebungsbedingten Einwirkungen (einschließlich Entwässerung usw.);
- Risikofaktoren, die die Dauerfunktionstüchtigkeit beeinträchtigen, wie z. B. Schwinden, Eindringen von Wasser, Temperatur usw.;
- Verständnis der Schnittstellen, insbesondere derjenigen, die durch Übergänge in und zwischen Unterbauten und Gleiskomponenten entstehen, wie z. B. Weichen und Kreuzungen;

- Parameter, die das Umweltverhalten beeinflussen (z. B. Erschütterungsemissionen);
- Kombination von Annahmen oder Angaben hinsichtlich:
 - Bauverfahren,
 - Gleislagestabilität in vertikaler, lateraler und längsgerichteter Richtung unter Einbeziehung dynamischer Effekte,
 - Schiene und Komponenten für ihre Befestigung.

6.2 Systemsicherungsplan

Der Systemsicherungsplan legt fest, wie ein System Übereinstimmung mit den an es gestellten Anforderungen demonstriert, und legt die Annahmekriterien fest, nach denen die Verifikation erfolgt.

Der Systemsicherungsplan sollte im Verlauf des Entwurfsprozesses entwickelt und überarbeitet werden.

Die Abnahmekriterien sollten auf Grundlage von Risiko festgelegt werden und dürfen physikalische Prüfungen und/oder Simulationsverfahren miteinbeziehen.

6.3 Systemintegration

Durch die Systemintegration wird sichergestellt, dass die Kompatibilität zwischen Teilsystemen des Gleises und externen Schnittstellen angemessen berücksichtigt wird. Dies muss Schadens- und Ausfallarten des FF-Systems, des Teilsystems und der Komponenten miteinbeziehen.

Danach muss der detaillierte Entwurfsprozess strukturiert werden, damit sichergestellt ist, dass alle Komponenten (z. B. Schichten usw.) berücksichtigt werden und die Interaktionen, interne Lasten und Auswirkungen der Lastverteilung behandelt werden.

Es können verschiedene Ansätze verwendet werden, um sicherzustellen, dass alle Aspekte berücksichtigt werden, einschließlich:

- Risikomanagement;
- FMEA;
- RAMS;
- Analyse des Grenzzustands.

6.4 Vertikale Gleissteifigkeit

Der Wert der Gleissteifigkeit wird in dieser Norm nicht festgelegt. Er ist nur ein Eingabeparameter für die Berechnungen. Die in Anhang D gegebenen Werte dienen nur dazu, das Berechnungsverfahren zu verdeutlichen. Sie sind nicht als Wertempfehlungen zu handhaben. Der erforderliche Wert sollte vom Käufer des FF-Systems vorgegeben werden und die zulässige Biegezugspannung am Schienenfuß und die Gegebenheiten während des Einsatzes berücksichtigen.

Die Gleissteifigkeit ergibt sich durch die Kombination der Steifigkeit der verschiedenen Bestandteile. Verschiedene Kombinationen können das gleiche Gesamtergebnis ergeben. Veränderungen der Gleissteifigkeit sollten schrittweise, entlang einer vorgegebenen Übergangslänge vorgenommen werden.

6.5 Gleislagestabilität

Die Gleislagestabilität in Querrichtung muss nach EN 16432-1 nachgewiesen werden durch:

- Fixierungen an Schnittstellen zwischen Teilsystemen und Komponenten, die zur Begegnung horizontaler Kräfte gestaltet sind,
- Anwendung der lateralen und longitudinalen Widerstandskraft zwischen Fertigteil und Unterbau, siehe Tabelle 1, muss zu einer lateralen Verschiebung von nicht mehr als 2 mm führen.

Tabelle 1 — Beispiel für minimalen Quer- und Längswiderstand in Abhängigkeit von Schienentemperaturbereichen durch Sonneneinstrahlung (andere Effekte z. B. durch Wirbelstrombremse ausgeschlossen)

Art des Widerstands	Schienentemperaturbereich ΔT K (Differenz zwischen der neutralen/spannungsfreien Temperatur und der maximalen Schienentemperatur durch Sonneneinstrahlung)	Gleiswiderstand kN/m
in Querrichtung	≤ 45	≥ 25
in Längsrichtung	≤ 45	≥ 14

6.6 Lastverteilung und -übertragung durch Teilsysteme und Komponenten

6.6.1 Grundsätze

Die auf einem vorgefertigten Element oder Fahrbahn montierte Schiene muss nach EN 16432-1 als ein Balken auf einer durchgehenden oder diskret gelagerten elastischen Bettung betrachtet werden. Das Trägheitsmoment des Schienenprofils, der Abstand der Schienenbefestigungssysteme sowie die Stützpunktsteifigkeit beeinflussen die Verteilung der an der Schiene angreifenden vertikalen und horizontalen Kräfte in Längsrichtung.

Die Tragkonstruktion aus Fertigteilen und/oder einer Fahrbahn (einzel-/mehrfachgeschichtet) muss so bemessen sein, dass sie die Last durch Biegung (Balken und Rahmen hauptsächlich in Längsrichtung; Gleistragplatten in Längs- und Querrichtung) auf den Unterbau verteilt. Das Biegeverhalten muss elastisch und je nach Ausführung des Systems (z. B. Asphaltsschichten, die als Zwischen- oder Ausgleichsschicht in Tunnelsohlen verwendet werden) ohne oder mit begrenzten plastischen Verformungen sein.

Die Bemessung muss basierend auf ausgewählten Teilsystemen und/oder Komponenten und den entsprechenden Materialeigenschaften (z. B. Ermüdungsfestigkeit, Temperaturkoeffizient usw.) erfolgen. Die endgültige Konstruktion (Querschnitt, Abmessungen, Beschreibung der Komponenten, verwendete Materialien und Herstellverfahren) sowie das/die angewendete(n) Bemessungsverfahren müssen dokumentiert werden.

Die Bemessungsberechnung für das FF-System muss durch einen der folgenden zwei Ansätze durchgeführt werden:

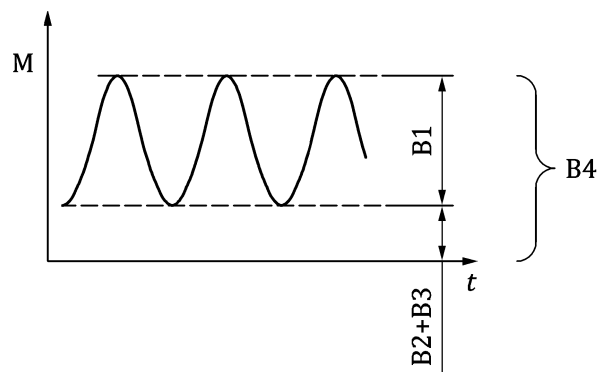
- analytische Berechnungen;
- validierte numerische Werkzeuge.

ANMERKUNG 1 Beispiele für analytische Berechnungen sind in Anhang F, Bild F.1, und in den informativen Anhängen A, B und C angegeben.

ANMERKUNG 2 Beispiel für ein validiertes numerisches Werkzeug: die FEM.

Die Biegemomente und die resultierenden Biegezugspannungen aus verschiedenen Lastfälle dürfen getrennt voneinander bestimmt und abschließend überlagert werden, siehe Bild 2.

Die Dauerbiegezugfestigkeit für dynamische Verkehrsbelastungen, welche basierend auf gegebenen konstanten Spannungen (z. B. Temperaturbelastung) berechnet werden, muss höher sein als die Spannung, welche durch die gegebene Verkehrsbelastung (einschließlich statischer und dynamischer Faktoren) erzeugt wird.



Legende

- B1** Bestimmung des Biegemoments (Biegezugspannungen) infolge von Schienenstützpunktlasten
- B2** Bestimmung des Biegemoments, verursacht durch den Temperaturgradienten Δt (in K/mm) von tragenden Teilsystemen wie Gleistragplatten, Fahrbahnen, Rahmen oder Balken infolge Oberflächenerwärmung
- B3** Bestimmung der durch Abkühlung ΔT (in K) verursachten Zugkraft von tragenden Teilsystemen wie Gleistragplatten, Fahrbahnen, Rahmen oder Balken
- B4** Überlagerung von Biegemomenten aus Verkehrsbelastung und Wärmeeinwirkung
- M** Biegemoment

Bild 2 — Ermüdungsmodellierung – Überlagerung von konstanten und wechselnden Lasten

6.6.2 Berechnungsschritte

6.6.2.1 Bestimmung des Biegemoments (Biegezugspannung) infolge von Schienenstützpunktlasten

Die analytischen Modelle sind:

elastisch gelagerte Platte nach Winkler (Westergaard) zur Bestimmung der längsgerichteten und lateralen Biegemomente und elastisch gelagerter Balken (Zimmermann) zur Bestimmung des längsgerichteten Biegemoments. Die höheren Werte für die längsgerichtete Spannung müssen als B1 verwendet werden.

Alternativ können folgende numerische Verfahren verwendet werden:

- FEM für die Bemessung des Systems einschließlich Teilsystemen und/oder Komponenten;
- die Mehrschichtentheorie, anwendbar nur für Asphaltfahrbahnen.

6.6.2.2 Bestimmung des Biegemoments, verursacht durch den Temperaturgradienten Δt (in K/mm) von tragenden Teilsystemen wie Gleistragplatten, Fahrbahnen, Rahmen oder Balken infolge Oberflächenerwärmung

Die analytischen Verfahren sind randgestützte Balken oder Platten. Ein alternatives numerisches Verfahren ist die FEM.

6.6.2.3 Bestimmung der durch Abkühlung ΔT (in K) verursachten Zugkraft von tragenden Teilsystemen wie Gleistragplatten, Fahrbahnen, Rahmen oder Balken

Das analytische Verfahren ist das des Reibungsmodells oder CRCP-Modells nach B.2.1. Ein alternatives Verfahren ist die FEM.

6.6.2.4 Überlagerung von Biegemomenten aus Verkehrsbelastung und Wärmeeinwirkung

Die Lastüberlagerung darf nach dem Ermüdungsmodell (Smith) vorgenommen werden, siehe B.3. Ein alternatives Verfahren ist die FEM.

6.6.3 Bestimmung der Kräfte (Schienenstützpunktlasten) zwischen den Teilsystemen Schienenbefestigungssystem und Tragkonstruktion (Fertigteil oder Fahrbahn)

6.6.3.1 Vertikale Schienenstützpunktlasten

Zur Bestimmung der vertikalen Belastungen, die zwischen Schiene und Tragkonstruktion (Fertigteil/Fahrbahn) wirken, muss das folgende Verfahren angewendet werden:

- charakteristischer (statischer) Lastfall, der auf die Schiene wirkt plus quasistatische und dynamische Einwirkungen, ausgewählt nach EN 16432-1;
- durch ein Befestigungssystem gehaltene oder eingebettete Schiene, die als unendlicher langer Balken mit einzelner oder durchgehender elastischer Bettung (Winkler) modelliert wird, um Schienenstützpunktlasten zu berechnen, die zwischen Schiene und Tragkonstruktion wirken, siehe Anhang A oder FEM, kalibriert durch Anhang A.

Die Schienenstützpunktlasten müssen zusammen mit folgenden Parametern angegeben werden: Kraft (in N), Kontaktfläche (in mm²) oder vertikale Spannung (in N/mm²).

Falls Fertigteile (z. B. Betonblöcke, Gleisschwellen) verwendet werden, um die Lasten in die Tragkonstruktion weiter zu verteilen, sollte eine entsprechende Vergrößerung der Kontaktfläche berücksichtigt werden, siehe Anhang B.

6.6.3.2 Laterale Schienenstützpunktlasten

Die lateralen Lasten nach EN 16432-1 müssen in Übereinstimmung mit der lateralen Steifigkeit des FF-Systems in Längsrichtung verteilt werden.

Wenn die laterale Steifigkeit des FF-Systems nicht festgelegt ist, darf die horizontale Kraft wie folgt verteilt werden:

- 60 % der horizontalen Radlast, die auf den Stützpunkt unter dem Rad wirkt;
- 20 % der horizontalen Radlast, die jeweils auf die Stützpunkte vor und nach dem Rad wirkt.

6.6.4 Belastung des Fertigteils und Lastverteilung

6.6.4.1 Allgemeines

Die vertikale und horizontale Belastung von Fertigteilen unterscheidet sich je nach Beitrag zur Gesamttragfähigkeit durch:

- hauptsächliche Lastverteilung durch Erhöhen der Kontaktfläche (Betonblöcke),
- hauptsächliche Lastverteilung durch Querbiegung (Gleisschwellen) oder Längsbiegung (Balken oder Rahmen) oder die Kombination von beiden (Gleistragplatten/Fahrbahn).

6.6.4.2 Belastung von Querelementen (Gleisschwellen) und Lastverteilung in Querrichtung

Die Belastung der Gleisschwellen, die ein eigenständiges Teilsystem darstellen (Gleisschwelle durch Fahrbahn unterstützt), muss nach den Verfahren von prEN 13230-6:2015 erfolgen. Eurocodes sind nicht anwendbar.

Die positiven und negativen Biegemomente dürfen aus den Schienenstützpunktlasten nach prEN 13230-6:2015, 9.5, berechnet werden.

prEN 13230-6:2015 ist ebenfalls auf alle Fertigteile anwendbar, die der Funktion und den Bemessungsprinzipien der Gleisschwellen folgen.

6.6.4.3 Längsbalken, Rahmenlasten und Lastverteilung in Längsrichtung

Bemessungskriterien für längsgerichtete Tragstrukturen, die die Belastung durch Biegung verteilen (Biegefestigkeit), sind die auftretenden maximalen Biegezugspannungen. Der Längsbalken mit durchgehender elastischer Lagerung (Winkler) darf als Bemessungsmodell verwendet werden, siehe Anhang B oder FEM, kalibriert durch Anhang A.

Es muss die maßgebliche Kombination von Schienenstützpunktlasten (vertikal/horizontal) zur Bestimmung des maximalen Biegemoments im Tragwerk verwendet werden. Schienenstützpunktlasten, die eine Reduzierung des Biegemoments zur Folge haben, müssen aus dem Modell entfernt werden. Folglich wird ein iterativer Ansatz zur Bestimmung der maßgebenden Anzahl und Anordnung der Schienenstützpunktlasten benötigt.

Längsbalken, die die Schienen unterstützen, müssen miteinander (Rahmen) oder mit der Tragkonstruktion verbunden werden, um alle lateralen Belastungen aufzunehmen zu können, siehe 6.6.3.2, und um die Schienengeometrie und die Spurweite zu kontrollieren.

6.6.4.4 Belastung der Gleistragplatten oder Rahmen sowie Lastverteilung in Längs- und Querrichtung

Es können Modelle für die Fahrbahn angewendet werden, siehe 6.6.5, Anhang B oder nach Anhang B kalibrierte FEM. Begrenzte Abmessungen (Breite und Länge) des vorgefertigten Elements müssen bei einer Reduzierung des Biegemoments und einer Erhöhung der Vertikalspannungen berücksichtigt werden.

FEM sollte unter Verwendung kalibrierter Modelle angewendet werden.

6.6.5 Bemessung der Fahrbahn

6.6.5.1 Berechnungsmodelle und -grenzen

Bemessungskriterien für alle geschichteten Strukturen/Fahrbahnen sowie Fertigteilplatten, die nach den Bemessungsprinzipien für Fahrbahnen gefertigt sind und die Belastung durch Biegung (Biegewiderstand)

verteilen, sind die in der Schicht/den Schichten auftretenden maximalen Biegezugspannungen. Die Belastung von Tragschichten, die aus ungebundem Material bestehen, muss anhand vertikaler Druckspannungen bewertet werden. Sicherheitsfaktoren, welche bei Verkehrslasten zur Berechnung von Vertikalspannungen auf ungebundenem, körnigen Material angewendet werden, dürfen reduziert werden.

Die folgenden Modelle dürfen bei der Bemessung der Fahrbahn angewendet werden:

- Gleistragplatte und Balken mit durchgehender elastischer Lagerung (Winkler), die für Betonfahrbahnen anwendbar sind sowie für andere Schichten mit hohem Biegewiderstand und hoher Materialfestigkeit, siehe Anhang B oder FEM;
- die Mehrschichtentheorie (Halbraum) darf für die Bemessung von Asphaltfahrbahnen sowie für ungebundene Schichten angewandt werden.

Zur Optimierung der Bemessung (hauptsächlich der einzelnen Schichtdicken und -breiten) wird dringend empfohlen, die Finite-Elemente-Modelle anzuwenden, die anhand der in Anhang B angegebenen Bemessungsverfahren kalibriert und verifiziert werden sollten.

Die maßgebliche Kombination von Schienenstützpunktlasten muss zur Bestimmung des maximalen Biegemoments im Fahrbahn-System verwendet werden, siehe Anhang B.

Die maßgebliche Biegezugspannung aller Schichten in einem Mehrschichtensystem muss berechnet werden. Die Spannungen dürfen die Dauerbiegezugfestigkeiten nicht überschreiten, siehe Anhang B.

6.6.5.2 Durchgehend bewehrte Betonfahrbahn (CRCP)

Die Auslegung von CRCP-Schichten basiert auf dem Rissverhalten, bei dem es sich entweder um zufällige Rissbildung (nicht gefugt) oder um gesteuerte Rissbildung (gefugt) handelt. Die durchschnittliche Rissbreite und der Rissabstand von CRCP mit ungesteuerter oder gesteuerter Rissbildung wird hauptsächlich durch den Bewehrungsgrad und die Zugfestigkeit des Betons beeinflusst. Die Berechnungen des Bewehrungsgrades und des Riss- bzw. Fugenabstands dürfen nach B.2.2 oder anhand der FEM durchgeführt werden.

Die Dauerbiegezugfestigkeit darf nach Anhang B berechnet werden. Die höhere, nach B.2.3 (Temperaturgradient Δt in K/mm) und nach B.2.2 (Temperaturunterschied ΔT in K) berechnete Spannung muss als zeitlich konstante Spannung zur Bestimmung der Dauerbiegezugfestigkeit angenommen werden.

ANMERKUNG 1 Sofern nicht anders festgelegt, sind die Eingabeparameter für die Bemessung einer CRCP und Fahrbahndecke nach 10.2.3.2:

- Elastizitätsmodul des Betons $E = 34\,000\text{ N/mm}^2$;
- Querdehnzahl des Betons $\mu = 0,15$;
- Wärmeausdehnungskoeffizient des Betons $\alpha_t = 1,0 \times 10^{-5}\text{ 1/K}$;
- Elastizitätsmodul der Stahlbewehrung $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$;
- Stahlbewehrung; Wärmeausdehnungskoeffizient $\alpha_t = 1,2 \times 10^{-5}\text{ 1/K}$.

ANMERKUNG 2 Die zulässige Dauerbiegezugfestigkeit für CRCP mit zufälliger Rissbildung nach 10.2.3.2, die durch Verkehrsbelastung aktiviert wird, beträgt typischerweise $0,85\text{ N/mm}^2$ in Längsrichtung und $2,1\text{ N/mm}^2$ in Querrichtung. Die zulässige Dauerbiegezugfestigkeit bei gefugtem CRCP mit kontrollierter Rissbildung nach 10.2.3.2, die durch den Verkehr aktiviert wird, beträgt typischerweise $1,8\text{ N/mm}^2$ (Fugenabstand 2,60 m) bis $2,0\text{ N/mm}^2$ (Fugenabstand 1,95 m) in Längsrichtung und $2,1\text{ N/mm}^2$ in Querrichtung.

6.6.5.3 Unbewehrte Betonfahrbahn mit Fugen (JPCP)

Die Konstruktion von JPCP basiert auf der kontrollierten Rissbildung durch Querscheinfugen. Die maximal zulässige Dauerbiegezugfestigkeit aus Verkehrslast σ_Q sollte mit den Verfahren nach 6.6.1 berechnet werden.

ANMERKUNG Falls nicht anders festgelegt, sind die Parameter für die Bemessung einer JPCP und Baustoffe der Betontragschicht nach 10.2.2:

- Elastizitätsmodul des Betons $E = 34\,000\text{ N/mm}^2$;
- Querdehnzahl des Betons $\mu = 0,15$;
- Wärmeausdehnungskoeffizient des Betons $\alpha_t = 1,0 \times 10^{-5}\text{ 1/K}$.

6.6.5.4 Asphaltfahrbahnen

Die maximal zulässige Dauerbiegezugfestigkeit aus Verkehrslast, siehe B1 in Bild 2, sollte mit den Verfahren aus 6.6.1 berechnet werden.

Sofern nicht anders festgelegt, sollte der Elastizitätsmodul auf $E = 5\,000\text{ N/mm}^2$ (jährlicher Mittelwert) und die mittlere Dauerbiegezugfestigkeit auf $0,80\text{ N/mm}^2$ festgelegt werden.

6.6.5.5 Tragschichten

6.6.5.5.1 Zementgebundene oder bitumenhaltige Tragschicht

Die maximal zulässige Dauerbiegezugfestigkeit aus Verkehrslast σ_Q sollte mit den Verfahren aus 6.6.1 berechnet werden.

Für zementgebundene Tragschichten gilt:

- Sofern nicht anders festgelegt, sollte der Elastizitätsmodul auf einen Bereich von $E = 5\,000\text{ N/mm}^2$ bis $E = 15\,000\text{ N/mm}^2$ festgelegt werden. Bei einer Druckfestigkeit von $\geq 15\text{ N/mm}^2$ kann die maximal zulässige Dauerbiegezugfestigkeit auf $0,80\text{ N/mm}^2$ gesetzt werden.

Für bitumenhaltige Tragschichten (Asphalt) gilt:

- Sofern nicht anders festgelegt, sollte der Elastizitätsmodul auf $E = 5\,000\text{ N/mm}^2$ (jährlicher Mittelwert) und die mittlere Dauerbiegezugfestigkeit auf $0,80\text{ N/mm}^2$ festgelegt werden.

6.6.5.5.2 Ungebundene Tragschichten

Vertikale Spannungen, welche durch statische, quasistatische und dynamische Verkehrsbelastungen auf die ungebundenen Tragschichten wirken, können anhand der Einsenkung der Gleistragplatte oder der Fahrbahn berechnet werden.

$$\sigma_z = k \times y \quad (1)$$

Dabei ist

- σ_z die vertikale Spannung (in N/mm^2);
- k der Bettungsmodul (in N/mm^3), siehe Anhang B;
- y die vertikale Einsenkung der Gleistragplatte oder Fahrbahn (in mm).

Alternativ darf die vertikale Spannung durch die Lastverteilung in Übereinstimmung mit dem Verfahren in Anhang C berechnet werden.

Sofern nicht anders festgelegt, muss ein dynamischer Faktor von 1,17 (DAF_2) entsprechend einem Konfidenzniveau von 68,7% (Standardabweichung $t=1$) zur Bestimmung der dynamischen Spannung angewendet werden.

Ungebundene Schichten, Planum und Untergrund sind von der Gefahr einer Rissbildung oder eines anderen plötzlich auftretenden Versagens nicht betroffen. Die maßgebliche Versagensart ist eine ungleichmäßige, plastische Verformung entlang der Tragschicht von Gleistragplatte/Fahrbahn. Folglich darf das Konfidenzniveau zur Festlegung der dynamischen Faktoren zur Bemessung von solchen Teilsystemen auf 68,7 % reduziert werden.

Sofern nicht anders festgelegt, dürfen die durch Verkehrslasten auf ungebundenes, körniges Material (Bestimmung nach Anhang B und Anhang C) wirkenden vertikalen Spannungen $\sigma_z = 0,050 \text{ N/mm}^2$ nicht überschreiten

oder

kann die maximal zulässige Spannung durch Verkehrslasten (vertikale Druckfestigkeit von ungebundenen Materialien) nach Heukelom und Klomp wie folgt berechnet werden:

$$\max \sigma_z = \frac{0,006 \times E_{\text{dyn}}}{1 + 0,7 \log(n)} \quad (2)$$

Dabei ist

- | | |
|------------------|--|
| $\max \sigma_z$ | die maximal zulässige vertikale Spannung (in N/mm^2); |
| n | die Anzahl der Züge; sofern nicht anders festgelegt $n = 2 \times 10^6$; |
| E_{dyn} | der dynamische Elastizitätsmodul (in N/mm^2), vom Kunden festgelegt; sofern nicht festgelegt und sofern E_{v2} angewendet wird, ist $E_{\text{dyn}} = E_{v2}$ nach 10.4.6. |

6.7 Belastung des Unterbaus

Sofern nicht anders festgelegt, sollten die durch Verkehrslasten verursachten vertikalen Spannungen, die auf den Untergrund oder das Planum wirken, sowie die maximal zulässige vertikale Spannung (vertikale Druckfestigkeit) nach 6.6, Anhang C oder FEM bestimmt werden.

6.8 Übergänge

Eine Sonderkonstruktion ist erforderlich zwischen:

- FF-System und Schottergleis,
- verschiedenen Arten von FF-Systemen (für die Übergänge der Steifigkeit).

Am Übergang zwischen FF-System und Schottergleis können verschiedene vertikale Einsenkungen der Schiene auftreten. Diese unterschiedlichen Einsenkungen können ähnliche Lastverteilungen wie bei einer plötzlichen Änderung der Steifigkeit bewirken, was zu einer erhöhten Setzung des Schottergleises und zu einer erhöhten Gefahr der Schädigung der Schottergleisaufgaben führt.

Deshalb sollte der Übergangsbereich so bemessen werden, dass unterschiedliche Setzungen auf ein Minimum reduziert werden:

- am Übergang sollte keine schlagartige Steifigkeitsänderung auftreten. Aus diesem Grund dürfen elastische Zwischenplatten bzw. -lagen, Schwellenbesohlungen oder Unterschottermatten verwendet werden;
- die gebundenen Tragschichten nach 10.4 dürfen unter dem Schotter für eine bestimmte Länge weitergeführt werden;
- der Schotter darf verklebt werden;
- es könnten zusätzliche Schienen verlegt werden, um die Lastverteilung zu erhöhen.

Am Übergang zwischen den FF-Systemen und bei unterschiedlichen Schieneneinsenkungen wird empfohlen, dass jeder Steifigkeitsbereich eine Mindestlänge von V (in m/s) $\times 0,5$ (in s) haben sollte.

Bei Hochgeschwindigkeitsanwendungen sollte der Unterschied bei der Durchbiegung unter Bemessungslasten nach EN 16432-1:2017, 5.1.2 für jede zwischenliegende Übergangslänge 0,5 mm nicht überschreiten.

7 Schienen

Das zu berücksichtigte Schienenprofil muss EN 13674-1, EN 13674-2 und EN 13674-3 entsprechen. Falls andere Schienenprofile verwendet werden, muss die Funktionskompatibilität nachgewiesen werden.

8 Schienenbefestigungssysteme

8.1 Allgemeines

Die Anforderungen an Schienenbefestigungssysteme sind in EN 13481-5 festgelegt.

8.2 Stützpunktabstand

Falls die Schiene nicht kontinuierlich gelagert ist, ist sie üblicherweise in einem Abstand von 0,6 m bis 0,75 m gelagert. Die Auswirkung der Abstände außerhalb dieses Bereichs müssen einzeln auf Grundlage der Verkehrsbeanspruchungen, der Gleisgeometrie und der Streckengeschwindigkeit bewertet werden. Dies sollte durch geeignete Prüfdaten unterstützt werden.

8.3 Regulierung

Regulierungen der Schienengeometrie dürfen durch die Befestigungssysteme ermöglicht werden.

9 Fertigteilelemente

9.1 Allgemeines

Die integrierten Fertigteile ergeben FF-Systeme in Kombination mit vor Ort hergestellten Komponenten, wie Füllschichten, Fahrbahnen, hydraulisch gebundenen Tragschichten usw. Eigenschaften der Fertigteile, der vor Ort hergestellten Komponenten und ihrer Verbundeigenschaften bestimmen das Systemverhalten hinsichtlich der Gleisstabilität und der Systemsteifigkeit. Die Eigenschaften eines steifen oder elastischen Gleises müssen in die Bemessung des Systems und in die Berechnung des Gleismodells mit einbezogen werden. Zwei Arten von Fertigteilen haben sich durchgesetzt. Die erste besteht aus Elementen mit geringer Größe oder linearen Elementen wie Gleisschwellen, Betonblöcken und Weichenschwellen. Die zweite besteht aus Elementen mit zweidimensionaler Tragwirkung wie Gleistragplatten, Rahmen usw.

9.2 Generelle Entwurfskriterien

9.2.1 Für den allgemeinen Entwurf bereitzustellende Daten

- Geometrische und mechanische Daten jedes Elementes. Falls nichtlineare Berechnungsverfahren bei der Systembemessung vorgesehen sind, sollten Einzelheiten zur Bewehrung und die Stoffgesetze der Materialien angegeben werden;
- Eigenschaften der Verbindungen zu Elementen „in situ“ oder anderen Fertigteil-elementen des Systems. Themen wie punktförmige oder kontinuierliche elastische oder steife, gebundene oder ungebundene Verbindungen sind maßgeblich. Das spezifische Last-Verformungs-Verhalten sollte festgelegt werden;
- allgemeiner Bauprozess, einschließlich der Herstellung der Fertigteil-elemente, Handhabung, Transport und Bauphasen, damit die Belastungen hinsichtlich dieser einzelnen Schritte berücksichtigt werden.

9.2.2 Bemessung einzelner Fertigteil-elemente

9.2.2.1 Lastverteilung und innere Kräfte

Als Ergebnis der Systembemessung erhält man die Lastverteilung und die auf die Fertigteile aus Beton wirkenden Kräfte des FF-Systems, ebenso sind die Kräfte und Spannungen für das Verbundsystem und die Bauteile gegeben.

Die Lastübertragung muss innerhalb einer Kontaktfläche stattfinden, die für das Fertigteil und die stützende Struktur zulässige Spannungen bewirkt.

9.2.2.2 Bemessung

Die allgemeinste Methode ist die Anwendung bestehender Normen für Elemente wie Gleisschwellen, Betonblöcke und Weichenschwellen. Dies wird in den Normenreihen EN 13230 und EN 13481 behandelt. Der Systementwickler muss die Toleranzen der Fertigteilkomponenten zur Verfügung stellen, welche nötig sind, um die geforderte Gleisqualität des gesamten FF-Systems sicherzustellen.

Für Elemente wie Rahmen oder Gleistragplatten, die nicht von den oben genannten Normen abgedeckt sind, dürfen allgemeine Bemessungsverfahren kontinuierlicher Medien angewendet werden, z. B. die Normenreihe EN 1992.

9.3 Herstellungsverfahren

9.3.1 Allgemeine Anforderungen

Einzelheiten über die Produktionsstätte und deren Ausrüstung sind Teil des Verfahrens zur Fertigteilherstellung. Nachbehandlungsverfahren, Entschalung und Transportbedingungen der Fertigteil-elemente aus Beton sind Teil des Herstellungsverfahrens. Jede Änderung im Herstellungsprozess muss überprüft und aufgezeichnet werden.

Die Temperaturen des Betons und der Luft müssen mindestens während der Testphase der Herstellung überwacht werden. Wo die Beziehung zwischen Beton- und Lufttemperatur während aller Phasen der Nachbehandlung offenkundig ist, ist es zulässig, dass die Lufttemperatur innerhalb der unmittelbaren Umgebung der Nachbehandlung anstatt der Betontemperatur gemessen wird.

Wenn die Temperatur im Beton gemessen wird, ist diese so nah wie möglich am Mittelpunkt der Tiefe und der Breite des Elements zu messen.

9.3.2 Aushärtung

Die Aushärtung und der Schutz sollten so bald wie möglich nach dem Verdichten des Betons beginnen und nach EN 13230-1:2016, 6.2, Bild 4 und Bild 5 fortgeführt werden, um Dauerhaftigkeit sicherzustellen.

Das Aushärtungsverfahren für das Bauteil muss in Übereinstimmung mit den erforderlichen Schnittstellenbedingungen ausgewählt werden, z. B. dem in der Systemauslegung festgelegten Verbund.

9.3.3 Oberflächenbeschaffenheit

Zur Spezifikation der Oberflächeneigenschaften eines Fertigteils sollte Bezug genommen werden auf EN 13230-1:2016 für Gleis- und Weichenschwellen aus Beton und EN 13369:2013, J.4 für Oberflächeneigenschaften, die bei anderen Fertigteilen beschrieben werden müssen.

9.3.4 Kennzeichnung

Es wird empfohlen jedes Element dauerhaft zu kennzeichnen, damit die Rückverfolgbarkeit sichergestellt ist.

9.4 Qualitätskontrolle

9.4.1 Allgemeines

Es muss ein Qualitätsmanagementsystem betrieben werden, das in einem Qualitätshandbuch definiert und fortgeschrieben wird. Dieses Handbuch muss alle Handlungen, Funktionen und Hilfsmittel, Verfahren und Methoden erwähnen, die Belegmaterial darüber schaffen und bereitstellen, dass die Qualität der gelieferten Betonelemente sowie die Serviceleistungen den Anforderungen entsprechen.

Das Qualitätshandbuch muss einen Qualitätsplan für die Herstellung von Betonelementen enthalten, der mindestens Folgendes festlegt und genau beschreibt:

- die Organisation, Struktur und Verantwortlichkeiten;
- alle Materialien, Prozesse und Verfahren für Herstellung, Lagerung und Transport der Betonelemente;
- alle Prüfungsanforderungen einschließlich Festlegung der Prüfeinrichtung, Prüfverfahren, Häufigkeit der Durchführung der Prüfungen usw.;
- alle anderen Verfahren der Qualitätskontrolle zur Sicherstellung und Überprüfung, dass die Betonelemente und Serviceleistungen den Anforderungen entsprechen.

9.4.2 Qualitätskontrolle während der Bauartzulassungsprüfungen

Die Qualitätsdokumente, die im Zusammenhang mit Fertigteilen für die Bauartzulassung vorgelegt werden müssen, sind mindestens folgende:

- detaillierte Zeichnungen der Elemente und einbezogener Komponenten;
- detaillierte Angaben über das Bewehrungssystem (einschließlich Verankerungssystem für vorgespannte Elemente), wenn zutreffend;
- detaillierte Angaben über die Materialzusammensetzung;
- Verfahren, das darlegt, wie alle Anforderungen erfüllt werden. Dies schließt ein:
 - geometrische Prüfungen mit Beschreibung der Messmittel und Messverfahren für jede Abmessung;

- Berechnungen und optionale Belastungstests an Betonelementen mit Beschreibung der Messmittel und -verfahren;
- allgemeine Beschreibung des Herstellungsverfahrens,
- ein Prüfbericht, der die Übereinstimmung der Elemente mit den Abmessungen und den maximalen festgelegten Toleranzen zeigt.

9.4.3 Qualitätskontrolle während der Herstellung

Vor Beginn der Herstellung muss ein Qualitätsplan, einschließlich aller Qualitätsdokumente bezüglich der Abnahme der Baustoffe und Herstellung der Betonelemente, erstellt werden.

Bei Routineprüfungen können alternative Versuchsanordnungen verwendet werden, wenn der Nachweis erbracht werden kann, dass die Ergebnisse den anerkannten Versuchsanordnungen entsprechen.

Der Qualitätsplan muss mindestens Folgendes detailliert angeben:

- die Häufigkeit der Prüfung jeder Abmessungsanforderung;
- die Häufigkeit von Lastprüfungen auf Betonelementen, falls dies Teil der Qualitätskontrolle ist;
- die zur Erhöhung der Prüffrequenz verwendeten Mechanismen, falls Mängel festgestellt werden;
- Maßnahmen bei Auftreten von Fehlern, die Nachbesserungsarbeiten und eine erneute Konformitätsüberprüfung sicherstellen oder die Zulassung zur Lieferung verweigern.

ANMERKUNG Für vorgefertigte Gleistragplatten, siehe Anhang E, Tabelle E.2.

9.5 Betonschwellen, Weichenschwellen und Betonblöcke

- a) Betonschwellen, Weichenschwellen und Betonblöcke, die von Fahrbahnen getragen werden, sind in der Normenreihe EN 13230 festgelegt;
- b) Betonschwellen, Weichenschwellen und Blöcke, die unabhängig vom umgebenden Beton sind und durch steife Zwischenschichten oder Schnittstellen miteinander verbunden sind, sind in der Normenreihe EN 13230 festgelegt;
- c) Bei Betonschwellen, Weichenschwellen und Blöcken, die unabhängig vom umgebenden Beton sind und durch elastische Zwischenschichten oder Schnittstellen miteinander verbunden sind, sind in der Normenreihe EN 13230 und in EN 13481-5 festgelegt;
- d) Betonschwellen, Weichenschwellen und Betonblöcke, die in die Gleistragplatte oder die Fahrbahn integriert sind (monolithische Systeme) und dafür ausgelegt sind, zusammen der Belastung standzuhalten, muss ein beständiger Verbund mit der Gleistragplatte nachgewiesen werden. Außer für Bemessungen sind die maßgeblichen Verfahren in EN 13230-1:2016, EN 13230-2:2016, EN 13230-3:2016, EN 13230-4:2016 und EN 13230-5:2016 festgelegt. Für die Bemessung, Herstellung und Annahme von Fertigteilen, die ihre tragende Funktion nur im Verbundverhalten mit der vor Ort hergestellten Betonplatte erfüllen, ist nur EN 13230-1:2016 anzuwenden, ausgenommen die Absätze zur Prüfung von Schwellen und Weichenschwellen 7.1 bis 7.3.

ANMERKUNG Für a), b) und c) kann die Bemessung durch das in prEN 13230-6:2015 beschriebene Prüfverfahren nützlich sein.

Die Auslegungslast darf prEN 13230-6:2015, Anhang A, entnommen werden. Dafür muss die Steifigkeit des Schotters durch die der elastischen Bettung ersetzt werden. Zudem muss die Unregelmäßigkeit der

Auflagerbedingungen für die Schotterparameter k_r , $k_{i,r}$ und $k_{i,c}$ entsprechend prEN 13230-6:2015 angepasst werden.

9.6 Fertigteilplatten und -rahmen

9.6.1 Einteilung

9.6.1.1 Einteilung in Längsrichtung

Durchlaufend in Längsrichtung (verbundene Gleistragplatten):

Fertigteilplatten werden vor Ort eingebaut und durch Stahl und eine Betonverfüllung an den Fugen zu einem monolithischen, dauerhaften Gleissystem verbunden.

Unabhängig in Längsrichtung:

Offene Fugen ermöglichen den Längenausgleich zwischen angrenzenden Platten. Der Widerstand gegen Quer- und Längsverschiebung sollte z.B. durch konische Vergussöffnungen oder andere Festhaltungen sichergestellt werden.

9.6.1.2 Einteilung anhand der Auflagerbedingungen der Tragschicht

Nach Montage und Ausrichtung der Fertigteilplatten muss der Spalt zwischen den Fertigteilplatten und der Tragkonstruktion vergossen werden, so dass die Fertigteilplatten fest mit der Tragkonstruktion, wie z. B. Tragschicht aus Beton, Tunnelsohle, Brückenkonstruktion, hydraulisch gebundene Tragschicht oder Masse-Feder-System, verbunden sind. Für den Verguss darf ein selbstverdichtender Beton oder Mörtel verwendet werden, um Vibrationen im Hinblick auf die exakt ausgerichteten Schienen zu vermeiden. Alternativ dazu dürfen bitumenhaltige Baustoffe oder Baustoffe mit geringer Festigkeit für den Verguss verwendet werden. Es muss sichergestellt sein, dass das Vergussmaterial ein geringes Schwindverhalten aufweist und sich nicht plastisch verformt. Der Vergussbeton oder -mörtel verbindet die Fertigteilplatte mit der Tragkonstruktion und dient der Ausrichtung der Fertigteilplatten. Bezüglich der Dicke gibt es verschiedene Möglichkeiten:

— dünn: kompakter Aufbau, keine Bewehrung;

oder

— dick: zur Begrenzung der Rissbildung bewehrt.

Zur Reduzierung von Schwingungen und Körperschall und zur Verteilung der Lastspitzen oder zur Vermeidung von steilen Lasteinwirkungen darf eine elastische Schicht unterhalb der Fertigteilplatten oder im Allgemeinen auf allen Oberflächen der Tragkonstruktion angebracht werden. Daraus folgt, dass sich die Fertigteilplatten wie ein leichtes Masse-Feder-System verhalten.

9.6.1.3 Einteilung nach Art der Bewehrung

— Bewehrte Betonfertigteilplatten mit schlaffer Bewehrung;

— vorgespannte, bewehrte Betonfertigteilplatten (in Längsrichtung und in Querrichtung oder nur in Querrichtung);

— kombinierte Lösungen für die Bewehrung, z. B. die Verwendung von Stahlfaserbeton zur Unterstützung der Bewehrung in Bereichen von Auflagerpunkten und zur Vermeidung von Einflüssen auf elektromagnetische Gleisinstallationen;

— Fasern.

9.6.1.4 Einteilung nach Funktion und Lastverteilungscharakteristik

Die Klassifizierung eines vorgefertigten Bauteils hängt von dessen Funktion und Lastverteilungscharakteristika ab. Neben einem Bauteil, das die Last zweidimensional verteilt, kann auch eine Gleistragplatte als Satz von Betonschwellen, die miteinander verbunden sind, konstruiert werden.

9.6.2 Bemessung

9.6.2.1 Allgemeines

Die Konstruktions-Bemessungsprinzipien aus EN 1992 können angewendet werden, siehe z. B. 9.6.2.2. Im Fall, dass eine Gleistragplatte als Teil der Betongleisschwellen fungiert, dürfen die Konstruktions-Bemessungsprinzipien nach EN 13230 Serie, siehe 9.5, und die Konstruktion der Fahrbahndecke nach Abschnitt 10, anstelle von 9.6.2 angewendet werden.

9.6.2.2 Bemessung der aktiven und passiven Bewehrung, Grenzzustände, Überprüfung der Ermüdung

Für die Anwendung von EN 1992-1-1 sollten die folgenden Anforderungen erfüllt sein:

- Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) nach EN 1992-2:2005, Abschnitt 6 und EN 1992-1-1;
- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) nach EN 1992-2:2005, Abschnitt 7 und EN 1992-1-1;
- Überprüfung der Ermüdung nach EN 1992-2:2005, Abschnitt 6.8.

Es ist nicht nötig die Dauerdruckfestigkeit von Beton zu überprüfen, wenn die Maximalspannungen bei häufiger Belastung unter $0,5 f_{ck}$ liegen (eine Dauerzugfestigkeit von $0,5 f_{ctk}$ darf ebenfalls erlaubt sein).

f_{ck} charakteristische Druckfestigkeit von Beton (Zylinder) nach 28 Tagen;

f_{ctk} charakteristische Zugfestigkeit von Beton.

ANMERKUNG Die Überprüfung der Zugspannung bei vorgespannter Bewehrung kann nach prEN 13230-6:2015 erfolgen. Desweiteren:

- Schadensäquivalente Spannungen für den Ermüdungsnachweis nach EN 1992-2:2005, Anhang N;
- allgemeine Bewehrungsregeln nach EN 1992-2:2005, Abschnitt 8;
- Konstruktionsregeln nach EN 1992-2:2005, Abschnitt 9;
- Bemessung der Bewehrung nach EN 1992-2:2005, Abschnitt 6 (Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit) und EN 1992-2:2005, Abschnitt 7 (Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit).

9.6.2.3 Dauerhaftigkeit, Betonüberdeckung, Umgebungsbedingungen, Materialeigenschaften, Begrenzung der Rissbreite

- Die Dauerhaftigkeit und die Betonüberdeckung der Bewehrung muss EN 1992-2:2005, Abschnitt 4 entsprechen, einschließlich des nationalen Anwendungsdokuments, durch das normalerweise die allgemeinen Anforderungen verbessert werden, indem sie die Vorteile von hochwertigem Zement aufführen oder vorgespannte Spannglieder genauer beschreiben;
- die Expositionsklassen in Bezug auf umgebungsbedingte Einwirkungen müssen EN 206:2013+A1:2016, 4.1 oder EN 1992-1-1:2004, Tabelle 4.1 entsprechen;

- die mechanischen Eigenschaften von Beton und Stahl müssen EN 1992-2:2005, Abschnitt 3 oder EN 206 entsprechen;
- die Begrenzung der Rissbreite muss EN 1992-2:2005, 7.3 entsprechen;
- es können zusätzliche zweckmäßige Begrenzungen der Rissbreite aus EN 1992-1-1:2004, 7.3 miteinbezogen werden sowie genau festgelegte Versuchsmethoden zur Überprüfung der tatsächlichen Rissbildung als Alternative zur Berechnung.

9.6.3 Materialien

Spezielle Materialien und Elemente sind:

- Beton, Stahlfaserbeton, Polypropylenfaser-Beton,
- mindestens Bewehrungsstahl der Sorte B 500 A/B, Spannstahl,
- Schienenbefestigung zur Vormontage im Werk,
- Distanzstücke zum Betonieren, Kunststoffdübel,
- Fixieren einer eventuellen, elastischen Schicht mit Klebstoff oder durch Hydrowachsen,
- Erdungsanschlüsse.

Vorspannung:

- Mit direktem Verbund nach EN 1992-1 und EN 1992-2,
- Fertigteilplatten mit nachträglichem Verbund nach EN 1992-1 und EN 1992-2.

ANMERKUNG Anforderungen an die Rohmaterialien, siehe Anhang E, Tabelle E.1.

9.6.4 Geometrische Toleranzen

Es muss ein Qualitätsmanagementsystem betrieben werden, das in einem Qualitätshandbuch definiert und fortgeschrieben wird. Dieses Handbuch muss alle Prüfungsanforderungen, einschließlich Festlegung der Prüfeinrichtung, Prüfverfahren, Häufigkeit der Prüfungen usw. abdecken. Die geometrischen Toleranzen müssen in diesem Qualitätshandbuch festgelegt sein.

Insbesondere müssen die folgenden Qualitätsmerkmale überprüft werden:

- Länge;
- Breite;
- Dicke;
- Stützpunktstand;
- Längs- und Querausrichtung der Schienenstützpunkte;
- Maße der Vergussöffnungen;
- äußerer und innerer Abstand der Stützpunkte;

- Tiefenmaß;
- Neigung;
- Oberfläche und Ebenheit.

ANMERKUNG Beispiel eines Qualitätsplans, siehe Anhang E, Tabelle E.3.

9.6.5 Lagerung, Handhabung, Transport und Installation vor Ort

9.6.5.1 Allgemeines

Die herausragende Leistung eines FF-Systems erfordert ein hohes Maß an Genauigkeit und Qualität während der Lagerung, der Handhabung, des Transports und des vor-Ort-Einbaus der Gleistragplatte. Dieser Abschnitt legt die Mindestanforderungen fest. Jede Gleistragplatte muss mit Angaben zu Typ, Chargennummer und Herstellungsdatum dauerhaft gekennzeichnet werden.

9.6.5.2 Lagerung, Handhabung und Transport

Unzulässige und unvorhergesehene Belastungen, Spannungen und Durchbiegungen in den Gleistragplatten müssen in jedem Zustand und unter allen Umständen vermieden werden. Es muss eine Verfahrensanweisung bereitgestellt werden, damit gewährleistet ist, dass die Gleistragplatten sicher gelagert, gehandhabt und transportiert werden. Diese Verfahrensanweisung enthält:

- die maximale Anzahl an Gleistragplatten, die übereinander gelagert werden können;
- Methode der Lagerung der Gleistragplatten (3-Punkt-Lagerung, 4-Punkt-Lagerung usw.);
- die für die Lagerung, die Handhabung und den Transport der Gleistragplatten verwendete Ausrüstung.

9.6.5.3 Einbau vor Ort

Es muss eine Verfahrensanweisung hinsichtlich des Einbaus vor Ort der Fertigteilplatten als Teil des Gleissystems bereitgestellt werden. Diese Verfahrensanweisung enthält eine schrittweise Anleitung über den Einbau der Gleistragplatten, wodurch die Einhaltung der im Qualitätsplan festgelegten geometrischen Toleranzen sichergestellt wird:

- vertikale Gleislage;
- horizontale Gleislage;
- Spurweite;
- Stützpunktabstand.

Es sollte sichergestellt werden, dass die Gleistragplatten durchgehend gelagert und gebettet sind. Falls die Gleistragplatten vor Ort mit Beton untergossen werden, sollte der gesamte Boden der Gleistragplatten durchgängig unterfüllt sein, was mit geeigneten Maßnahmen, z. B. einer Endoskop-Prüfung, überprüft und nachgewiesen werden muss. Bei anderen Arten des Untergießens müssen ähnliche Verfahren angewandt werden. Der maximal akzeptable Bereich ohne Kontakt muss festgelegt werden.

Informationen zu den Qualitätskontrollen während des Einbaus vor Ort sind in Anhang E, Tabelle E.4 gegeben.

9.7 Füllschicht

Wenn vorgefertigte Betonblöcke oder Gleisschwellen genutzt werden (nicht im Fall von vorgefertigten Gleistragplatten), bildet die Oberfläche der Füllschicht den oberen Abschluss des FF-Systems.

Die Oberfläche sollte eben sein und mit integriertem Gefälle zur Entwässerung.

Die Füllschicht wird in Kombination mit vorgefertigten Bauteilen auf einer Fahrbahndecke oder ähnlichen Tragstrukturen montiert. Sie wird in einer zweiten Arbeitsphase im Anschluss an die Konstruktion der Fahrbahndecke oder einer anderen Art von Tragstruktur und der Montage von vorgefertigten Bauteilen platziert. Die Füllschicht muss aus einem Guss sein und die vorgefertigten Elemente mit dem Fahrbahnsystem verbinden und dabei die Verbindung zur Fahrbahn oder einer anderen Tragstruktur gewährleisten.

Risse in der Füllschicht sind erlaubt, solange die Funktionalität des FF-Systems gewährleistet ist.

10 Fahrbahnen (geschichtete Struktur)

10.1 Allgemeines

FF-Systeme mit kontinuierlicher Lagerung durch einen Unterbau, z. B. Dämme, Brücken, Tunnel, und durchgehender Lastverteilung in den Unterbau sollten mit einer ein- oder mehrschichtigen Fahrbahn aus gebundenen Materialien, wie z. B. Beton, Asphalt oder Verbundstoffe, und ungebundenen Materialien hergestellt werden. Die Fahrbahn (ein- oder mehrschichtig) muss als monolithische Struktur wirken, auch in Bezug auf den Umgang mit horizontalen Belastungen und Abhebekräften. Dies muss durch einen dauerhaften Verbund der Schichten, Reibung, Verbindungselemente oder eine Kombination verschiedener Maßnahmen erreicht werden.

Die Steifigkeit der Materialien der einzelnen Schichten der Fahrbahn sollte von unten (Schnittstelle zum Unterbau) nach oben (Schnittstelle zum nächsten Teilsystem) ansteigen.

10.2 Betonfahrbahnen

10.2.1 Anwendung

Betonfahrbahnen sollten vor Ort als einschichtige Betondecke oder mehrschichtig (Betondecke und andere zementgebundene Schichten) hergestellt werden, um Einzelstützpunkte (Befestigungssysteme), eingebettete Schienen oder Fertigteillemente zu stützen.

Die Bemessungsprinzipien müssen 6.6.5 entsprechen.

Betonfahrbahnen für das FF-System müssen EN 13877-1 und EN 13877-2 entsprechen.

10.2.2 Materialien

Die Bemessung und die Materialien des Betons müssen EN 13877-1 entsprechen. Der Beton muss EN 206 entsprechen. Folgende Anforderungen an den Beton müssen durch die projektspezifische Auslegung der FF-Systeme bestimmt werden:

- Expositionsklasse;
- Mindestdruckfestigkeit;
- Mindestbiegezugfestigkeit;
- maximaler Wasser-Zement-Wert;

- Luftporengehalt.

Die folgenden Empfehlungen sollten berücksichtigt werden:

- Mindestdruckfestigkeit der Klasse C 30/37;
- Mindestbiegezugfestigkeit der Klasse F4,5 (4,5 N/mm²);
- Wasser-Zement-Wert mit weniger als 0,45 (Schwinden);
- Minimaler Zementanteil von 340 kg/m³;
- die Verwendung von Zement mit niedrigem Alkali-Anteil mit einem Gesamt-Alkalianteil, ausgedrückt als Na₂O Equivalent, von weniger oder gleich 0,8 % und einem SO₃-Gehalt von weniger oder gleich 3,0 %;
- die Gesamtmasse an reaktiven Alkalien im Beton sollte 3,0 kg/m³ nicht überschreiten;
- Portlandzement CEM I.

Ein vom Typ CEM I abweichender Zement sollte nur verwendet werden, wenn die Dauerhaftigkeit der Fahrbahn nachgewiesen wird.

10.2.3 Funktionale Anforderungen

10.2.3.1 Allgemeines

Im Hinblick auf die in Längsrichtung kontinuierliche Dimensionierung und Herstellung der Fahrbahn müssen entsprechende Maßnahmen zur Risskontrolle festgelegt werden. Das Rissverhalten der Betonfahrbahn muss in der Bemessung der Fahrbahn berücksichtigt werden, durch Maßnahmen zur Kontrolle der Rissbreite, siehe 6.6.5.2 für CRCP und/oder durch Herstellen von abgedichteten Fugen, siehe 6.6.5.3 für CRCP mit Fugen.

10.2.3.2 Durchgehend bewehrte Fahrbahn aus Beton

Die Bewehrungsstäbe in Längs- und Querrichtung müssen in der Mitte oder nahe der Mitte der Betonschicht verlegt werden (nahe der neutralen Achse der Schicht), um die Rissbildung aufgrund von Schwinden und Abkühlung zu kontrollieren und eine Querkraftübertragung am Riss zu ermöglichen. Die Längs- und Querbewehrung sollte nicht auf Biegung beansprucht werden, die durch Zuglasten oder Umwelteinwirkungen entsteht. Folglich sollte die Dauerbiegezugfestigkeit, siehe 6.6.5.2, als Bemessungskriterium verwendet werden.

Die maximale Rissbreite darf 0,5 mm nicht überschreiten, sofern nicht anders festgelegt.

Der typische Bewehrungsgrad ist wie folgt (jedoch nicht darauf beschränkt):

- 0,8 % bis 0,9 % der Betonfahrbahnquerschnittsfläche bei CRCP;
- 0,4 % bis 0,5 % der Querschnittsfläche bei bewehrter Betonfahrbahn mit Fugen (en: jointed reinforced concrete pavements, JRCP);
- andere Ausführungen sind möglich.

Der Wirkungsgrad und die Dauerhaftigkeit der Querkraftübertragung am Riss erfordern Minstdurchmesser der Bewehrungsstäbe, z. B. 20 mm für Bewehrungsstäbe in Längsrichtung.