



Edgar Darr  
Werner Fiebig

# Feste Fahrbahn

Konstruktion und Bauarten für  
Eisenbahn und Straßenbahn

## VDEI-Schriftenreihe

Verband Deutscher Eisenbahn-Ingenieure e.V. (VDEI)

Dr.-Ing. Edgar Darr  
Dipl.-Ing. (FH) Werner Fiebig

# Feste Fahrbahn

Konstruktion und Bauarten für  
Eisenbahn und Straßenbahn

**Eurail**  
**press**

# Vorwort

Die Feste Fahrbahn (FF) – ein Begriff, der die Gemüter einmal bewegte, Emotionen weckte und früher meist mehr Ablehnung als Fürsprache erfuhr. Diese neue, innovative Oberbaukonstruktion liegt heute noch mitten im Spannungsfeld zwischen Tradition und Fortschritt.

Dabei ging auch am Oberbau im 20. Jahrhundert die technische Entwicklung nicht vorbei. Aus der Kiesbettung wurde die Schotterbettung, aus der Holzschwelle wurde die Beton schwelle, aus dem Stoßlückengleis wurde das lückenlos verschweißte Gleis. Auch damals gab es gegen diese neuen Konstruktionselemente zahlreiche Vorbehalte, die durch Schäden an Betonschwellen und durch Gleisverwerfungen im lückenlos verschweißten Gleis noch verstärkt wurden. Der technische Fortschritt lässt sich jedoch nicht aufhalten, neue Konstruktionen werden weiterentwickelt und von ihren Kinderkrankheiten befreit, so dass sie eines Tages als das Selbstverständliche der Welt allgemeine Anwendung finden. Ebenso wie die in der Vergangenheit eingeführten neuen Konstruktionen Beton schwelle und lückenlos verschweißtes Gleis zum Allgemeingut und damit zur Regelkonstruktion des Oberbaus wurden, hat auch die FF in den letzten Jahren als eine innovative Oberbaukonstruktion Anerkennung gefunden.

Bis Ende 1997 mit der Aufgabe betraut, den Gedanken dieser wenig Instandhaltungsaufwand erfordern den Oberbauform weiterzutragen, haben die Verfasser dieser Publikation daran mitgewirkt

- grundsätzliche konstruktive Forderungen an die FF festzulegen [1; 2],
- bereits eingebaute Abschnitte in FF technisch zu beobachten [3],
- Abschnitte für den Einbau von FF vorzubereiten [4; 5] und
- neue und weiterentwickelte Bauarten der FF beim Einbau und zur Betriebserprobung zu begleiten [6; 7].

Von großem Wert waren dabei die bereits vorliegenden teils über Jahrzehnte gesammelten Erfahrungen

- der Technischen Universität München,
- des ehemaligen Bundesbahnzentralamtes München und
- der Beschäftigten vor Ort.

Dank ihrer Erfahrung konnte die Zielstellung in Angriff genommen werden, die FF als einheitliches Ganzes, das heißt das Gesamtsystem FF aus der Sicht

- des Oberbaus und der Vermessung,
- des Erd- und Grundbaus,
- des Tunnel- und Brückenbaus,
- der signal- und elektrotechnischen Belange und
- des Luftschalls und der Erschütterung

zu betrachten.

An dieser Stelle sei besonders den für die einzelnen Fachgebiete berufenen Teilprojektleitern im ehemaligen Projekt Optimierung Feste Fahrbahn der DB AG für ihre meist zusätzlich zu ihrem eigentlichen Aufgabengebiet geleistete Arbeit gedankt. Dank gilt auch all denen, die bei der Umsetzung des technischen Fortschritts offen und hilfreich, teils gegen den Widerstand konservativen Denkens, mitwirkten.

Die Verfasser sehen ihre Aufgabe darin, aus

- der Vielzahl der Entwicklungsrichtungen [8],
- den im Netz der DB AG eingebauten Bauarten [8; 9; 60] und
- den Erfahrungen beim Einbau sowie im Langzeitverhalten [3]

der FF ein objektives Bild aufzuzeichnen und dieser neuen innovativen Oberbaukonstruktion zu dem Ansehen zu verhelfen, das sie verdient.

Mit der vorliegenden 2. überarbeiteten Auflage des Buches wird der Weiter- und Fortentwicklung von Bauarten der Festen Fahrbahn in Deutschland (D) Rechnung getragen, ergänzt um Erfahrungen aus den Niederlanden (NL), Österreich (A) und der Schweiz (CH).

Gegenwärtig sind in diesem Raum mehr als 50 verschiedene Bauarten bekannt, die aber noch nicht alle eine Anwendung fanden. Auf spezielle Modifikationen, wie Schwellentyp, Schwellenlänge und dergleichen, wird hier nicht in jedem Fall näher eingegangen.

Neben der Anwendung bei Vollbahnen findet die FF zunehmend Eingang bei Bahnen im ÖPNV. Um dem Rechnung zu tragen, wird diese überarbeitete 2. Auflage mit dem Kapitel 9, FF-Bauarten für den ÖPNV, erweitert. Es sind teils modifizierte Bauarten für Vollbahnen, aber auch eigenständige Entwicklungen, aus deren Vielzahl einige vorgestellt werden.

Die Praxis der vergangenen Jahre hat gezeigt, dass notwendige nachträgliche Korrekturen (Instandhaltungen / Reparaturarbeiten) an der FF vordergründig aus Fehlern in der Herstellung resultieren.

Für erforderliche Instandsetzungsmaßnahmen ist das vom Entwickler der FF erstellte Reparatur- und Havariekonzept anzuwenden, welches Bestandteil der Zulassung ist. Hinweise über durchgeführte Reparaturmaßnahmen sind in [61] zu finden.

Die in diesem Buch beschriebenen Bauarten sind ohne Wertung genannt. Einige der Bauarten werden auch noch in anderen Ländern mit Erfolg angewendet.

Eine Vielzahl von Abbildungen wurde überarbeitet oder neu erstellt; sie haben keinen Maßstab, Maßangaben erfolgen allgemein in Millimeter [mm].

Basis dafür waren unter anderem die mit Quellenachweis verfügbar gemachten Unterlagen. Dafür danken wir vielmals. Abbildungen ohne Quellenachweis wurden vom Autor Werner Fiebig erstellt.

Planer und Anwender sollten sich vor einer Anwendung der FF informieren, ob die betreffende Bauart seitens der zuständigen Behörde eine Zulassung erhalten hat.

Einige in diesem Buch genannte Firmen haben ihren Namen geändert oder existieren in dieser Form als Arbeitsgemeinschaft nicht mehr. Ein Bezug auf aktuelle Firmenstrukturen oder Namen der beim Bau der FF Beteiligten, wird nicht gegeben. Der historische Rückblick sei an dieser Stelle gewahrt.

Die Verfasser danken den Bahnen, den Firmen sowie Fachkollegen, die durch die Bereitstellung von Material in Form von Schriftgut oder Bildern, Hilfe geleistet haben und somit zur Aktualisierung dieser überarbeitete Auflage des 1999 erstmals erschienenen Buches beitrugen.

Wir bedanken uns ferner bei Frau Dipl.-Mathematikerin Renate Fiebig. Sie stand uns seit der ersten Auflage bei der Umsetzung unserer Arbeit helfend zur Seite.

Wir bedanken uns außerdem beim Herausgeber dieses Buches, dem VDEI und dem Eurailpress Tetzlaff-Hestra Verlag.

Berlin, im Mai 2006

Edgar Darr  
Werner Fiebig



# Wissen, was Bahnen bewegt.



[www.eurailpress.com](http://www.eurailpress.com)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	13
<b>1 Geschichtlicher Überblick</b> .....	15
<b>2 Konstruktionsprinzip</b> .....	23
<b>3 Bemessung, Prüfung und Zulassung</b> .....	27
3.1    Bemessung .....	27
3.2    Prüfung .....	30
3.3    Zulassung .....	33
<b>4 Konstruktionselemente</b> .....	35
4.1    Schienen, Schienenbefestigung und Schwellen .....	35
4.1.1    Schienen .....	35
4.1.2    Schienenbefestigung .....	36
4.1.3    Schwellen und Fertigteilplatten .....	44
4.2    Tragschichten .....	49
4.2.1    Gebundene Tragschichten .....	49
4.2.1.1    Betontragschicht (BTS) .....	49
4.2.1.2    Asphalttragschicht (ATS) .....	51
4.2.1.3    Hydraulisch Gebundene Tragschicht (HGT) .....	53
4.2.2    Ungebundene Tragschichten .....	54
4.2.2.1    Frostschutzschicht (FSS) .....	54
4.2.2.2    Untergrund .....	55
<b>5 Bauarten der Festen Fahrbahn für Gleise</b> .....	59
5.1    Stützpunktllagerung der Schienen mit Schwellen .....	60
5.1.1    Eingelagerte Bauarten .....	60
5.1.1.1    Bauart RHEDA .....	61
5.1.1.2    Bauart RHEDA-Berlin .....	69
5.1.1.3    Bauart RHEDA 2000® .....	71
5.1.1.4    Bauart HEITKAMP .....	78
5.1.1.5    Bauart SBV .....	79
5.1.1.6    Bauart ZÜBLIN .....	79
5.1.1.7    Bauart SBB BÖZBERG/STEDEF .....	84
5.1.1.8    Bauart LVT .....	88
5.1.2    Aufgelagerte Bauarten .....	91
5.1.2.1    Bauart SATO .....	93
5.1.2.2    Bauart ATD .....	96
5.1.2.3    Bauart BTD .....	97
5.1.2.4    Bauart WALTER .....	99
5.1.2.5    Bauart GETRAC® .....	100

5.2	Stützpunkt lagerung der Schienen ohne Schwellen .....	105
5.2.1	Monolithisch gefertigte Bauarten .....	105
5.2.1.1	Bauart RASENGLEIS für Fernbahnen .....	106
5.2.1.2	Bauart HOCHTIEF/SCHRECK-MIEVES/LONGO .....	108
5.2.1.3	Bauart FFC .....	109
5.2.1.4	Bauart BES .....	112
5.2.1.5	Bauart BTE .....	113
5.2.2	Bauarten mit vorgefertigten Platten .....	115
5.2.2.1	Bauart BÖGL .....	116
5.2.2.2	Bauart ÖBB-PORR .....	121
5.3	Kontinuierliche Lagerung der Schienen .....	127
5.3.1	Eingegossene Schienen – Bauart EDILON .....	127
5.3.2	Eingeklemmte Schienen .....	132
5.3.2.1	Bauart SFF .....	132
5.3.2.2	Bauart SAARGUMMI .....	133
5.4	Übersicht der Konstruktionshöhen der Bauarten für Gleise .....	134
<b>6</b>	<b>Bauarten der Festen Fahrbahn für Weichen .....</b>	<b>135</b>
6.1	Eingelagerte Bauarten mit Schwellen .....	137
6.1.1	Bauart BWG (ATS) .....	138
6.1.2	Bauart BWG (BTS) .....	138
6.1.3	Bauart W&F .....	140
6.1.4	Bauart RHEDA 2000® .....	143
6.1.5	Bauart SBB-Einblockschwelle .....	148
6.1.6	Bauart SBB-Monoblockschwelle .....	150
6.2	Aufgelagerte Bauarten mit Schwellen .....	150
6.3	Bauarten ohne Schwellen .....	151
6.4	Optionale Weichen .....	154
6.5	Übersicht der Konstruktionshöhen und der eingebauten Bauarten für Weichen .....	156
<b>7</b>	<b>Spezielle Bedingungen und Anforderungen .....</b>	<b>159</b>
7.1	Feste Fahrbahn im Tunnel .....	159
7.2	Feste Fahrbahn auf Brücken .....	161
7.2.1	Feste Fahrbahn auf Massivbrücken .....	171
7.2.2	Feste Fahrbahn auf Stahlbrücken .....	173
7.3	Übergänge .....	175
7.3.1	Übergänge im Oberbau .....	176
7.3.1.1	Feste Fahrbahn / Feste Fahrbahn .....	176
7.3.1.2	Feste Fahrbahn / Schotteroerbaubau .....	178
7.3.2	Übergänge Erdbauwerk / Kunstbauwerk .....	182
7.3.2.1	Erdbauwerk / Brücke .....	182
7.3.2.2	Erdbauwerk / Durchlass .....	183
7.3.2.3	Erdbauwerk / Tunnel .....	183

7.4	Signal- und elektrotechnische Anforderungen . . . . .	184
7.4.1	Signaltechnische Anforderungen . . . . .	185
7.4.2	Elektrotechnische Anforderungen . . . . .	187
7.5	Schall und Erschütterungen . . . . .	191
7.5.1	Maßnahmen zum Schallschutz . . . . .	192
7.5.2	Maßnahmen gegen Erschütterungen . . . . .	195
7.6	Vermessung . . . . .	202
<b>8</b>	<b>Dauerbeständigkeit und Wirtschaftlichkeit . . . . .</b>	<b>205</b>
8.1	Dauerbeständigkeit . . . . .	205
8.2	Wirtschaftlichkeit . . . . .	208
<b>9</b>	<b>Bauarten der Festen Fahrbahn für den ÖPNV . . . . .</b>	<b>213</b>
9.1	Konstruktionselemente . . . . .	217
9.1.1	Schienen . . . . .	217
9.1.2	Schienenbefestigung . . . . .	218
9.1.3	Schwellen . . . . .	221
9.2	Tragschichten . . . . .	222
9.3	Bauarten für Gleise . . . . .	222
9.3.1.	Stützpunktllagerung der Schiene mit Schwellen . . . . .	223
9.3.1.1	Bauart RHEDA City . . . . .	223
9.3.1.2	Bauart Berlin NBS . . . . .	223
9.3.1.3	Bauart RHEDA City Berlin (NBS-G) . . . . .	228
9.3.1.4	Bauart ATD-G . . . . .	228
9.3.2	Stützpunktllagerung der Schiene ohne Schwellen . . . . .	234
9.3.2.1	Bauart Light-Rail-System BÖGL . . . . .	234
9.3.2.2	Bauart Rahmengleis WSG . . . . .	238
9.3.2.3	Bauart Längsschwelle . . . . .	240
9.3.2.4	Bauart INPLACE . . . . .	242
9.3.3	Kontinuierliche Lagerung der Schiene . . . . .	248
9.3.3.1	Bauart EDILON . . . . .	248
9.3.3.2	Bauart ORTEC-Flüsterschiene . . . . .	250
9.4	Bauarten für Weichen . . . . .	250
<b>10</b>	<b>Schlussbemerkungen . . . . .</b>	<b>255</b>
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>		<b>261</b>
<b>Inserentenverzeichnis . . . . .</b>		<b>272</b>

# Die Trasse der Eisenbahn im Grund- und Aufriss



Schriftenreihe für Verkehr  
und Bahntechnik

**VDEI**

herausgegeben vom

Band 3

Manfred Weigend:

## Linienführung und Gleisplangestaltung

Die Trasse der Eisenbahn  
in Grund- und Aufriss

Der praktische Ratgeber für alle  
Planer von Bahnanlagen

Das vom VDEI (Verband Deutscher Eisenbahn-Ingenieure e.V.) herausgegebene Fachbuch beschreibt die Entwicklung der Trassierungselemente in Deutschland bis zum heutigen Stand. Dieses Werk ist die ideale Unterstützung, um Ihren Wissenstand im Bereich der Planung von Bahnanlagen zu vervollständigen und bietet umfassende Hilfestellung bei der Entwurfsarbeit.

Weitere Informationen, das komplette Inhaltsverzeichnis sowie das Vorwort finden Sie unter [www.eurailpress.com](http://www.eurailpress.com)

**Technische Daten:** Titel: Linienführung und Gleisplangestaltung, ISBN 3-7771-0321-7, 120 Seiten, Format 170 x 240 mm, Broschur **Preis:** € 38,- inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten

## Abkürzungsverzeichnis

A	Österreich
ABS	Ausbaustrecke
Abzw	Abzweig
AKFF	Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn
ATS	Asphalttragschicht
BAV	Bundesamt für Verkehr (CH)
BOStrab	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen -Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (D)
BTS	Betontragschicht
BVG	Berliner Verkehrsbetriebe (Berliner VerkehrsGesellschaft)
CH	Schweiz
D	Deutschland
DB	Deutsche Bundesbahn
DB AG	Deutsche Bahn AG
DR	Deutsche Reichsbahn
E	Spanien
e	Spurweite
EBA	Eisenbahn – Bundesamt (D)
ERL	Elastische Rippenplatten Lagerung
ERL-h	Elastische Rippenplatten Lagerung horizontal
Fa.	Firma
FDVK	Flächendeckende Dynamische Verdichtungs-Kontrolle
FF	Feste Fahrbahn
FS	Ferrovie dello Stato (Italienische Staatsbahn)
FSS	Frostschutzschicht
FTP	Fertigteilplatte
FTR	Fertigteilrahmen
GVP	Großflächenverbundplatten (Straßenbahn)
HB	Hauptbahnhof (CH)
Hbf / Bf	Hauptbahnhof / Bahnhof (D)
HGT	Hydraulisch Gebundene Tragschicht
HGV	Hochgeschwindigkeitsverkehr
HSL	High Speed Lines
LRT	Light Rapid Transit
Lt.	Lasttonnen
LVT	Low Vibration Track
MFS	Masse-Feder-System
MRT	Mass Rapid Transit
NBS	Neubaustrecke (D-A-CH) Neues Berliner Straßenbahngleis (Bezeichnung beim (ÖPNV Berlin))
NL	Niederlande
NS	Nederlandse Spoorwegen (Niederländische Bahn)
NSV	Nord-Süd-Verbindung (Berlin)
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen

## Abkürzungsverzeichnis

---

OK	Oberkante
ÖPNV	Öffnlicher Personennahverkehr
PSS	Planumsschutzschicht
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SchO	Schotteroberbau
Skl	Spannklemme
SO	Schienenoberkante
STS	Schottertragschicht
TL	Technische Lieferbedingungen
TS	Tragschicht
UIC	Union Internationale des Chemins de fer
UV	Ultraviolettes Licht
$v_e$	Entwurfsgeschwindigkeit
ZVT-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Stahlbeton

# 1 Geschichtlicher Überblick

Die zunehmende Mobilität von Gesellschaft und Wirtschaft stellt bei erhöhter Konkurrenz durch den Straßenverkehr neue und höhere Anforderungen an die Eisenbahn.

Eine Grundvoraussetzung für den spurgeführten Verkehr, wie ihn die Eisenbahn darstellt, ist der sichere und stabile Lauf der Fahrzeuge am Berührungs punkt Rad/Schiene. Genügten in den Anfängen der Eisenbahn noch Steinquader als Einzelstützen für die Schienen, so kam man nach Problemen, besonders in der Spurhaltung, bald zu einer sicheren Spurführung mittels Querschwellen. Diese übernahmen neben der Funktion der Spurhaltung gleichzeitig die Funktion der Lastübertragung. Als lastverteilendes Element der vom Zugverkehr in die Schienen und Schwellen eingetragenen Kräfte wurde zwischen Untergrund und Schwellen zuerst Kiessand und später Schotter verwendet, worin die Schwellen eingebettet sind. So wurde für den Fahrweg der Eisenbahn der Schotteroerba (SchO) entwickelt (Abb. 1.1), der weit über ein Jahrhundert hinweg bis in die heutige Zeit hinein bestimmend ist.

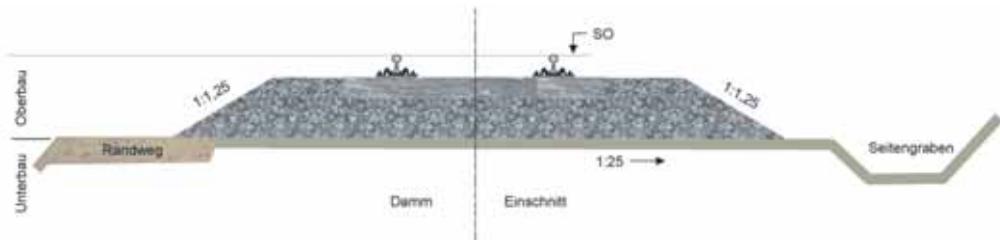
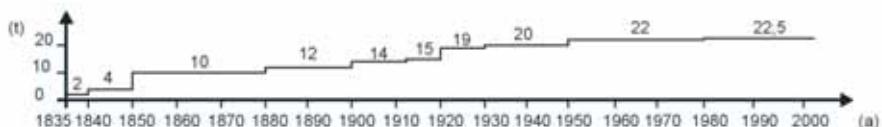
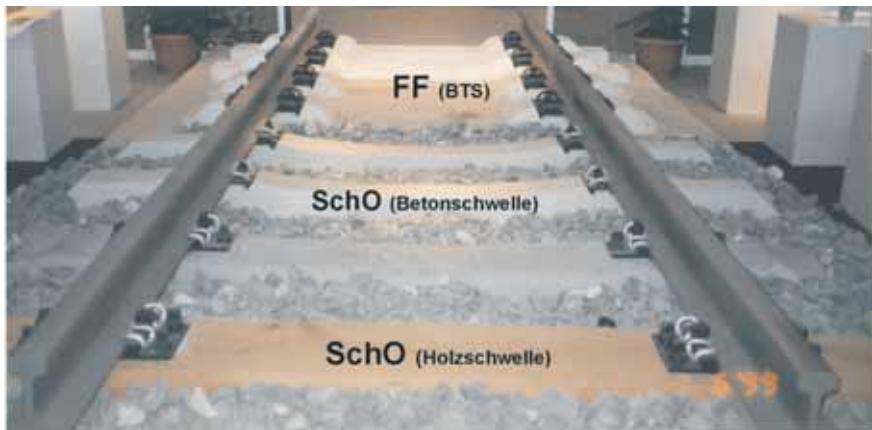


Abbildung 1.1: Schotteroerba, Querschnitt einer eingleisigen Strecke mit Holzschwellen

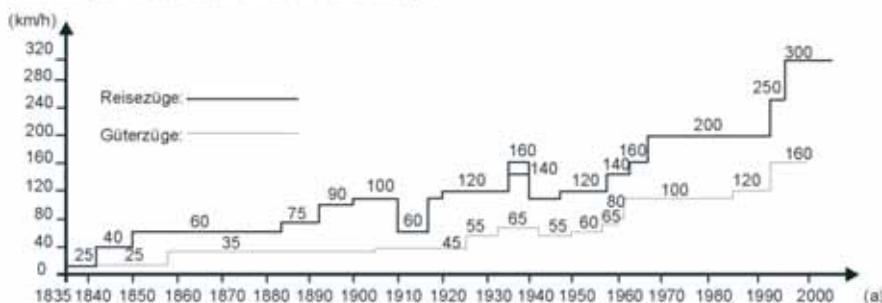
Schaut man zurück in die Eisenbahngeschichte [10; 69], so ist zu vermerken, dass die Radsatzlasten von 2 Tonnen im Jahre 1835 auf gegenwärtig 22,5 Tonnen gestiegen sind und bei Planungen heute bereits eine Radsatzlast von 25 Tonnen zu berücksichtigen ist. Waren es damals für Reise- und Güterzüge Geschwindigkeiten von 25 km/h, bei denen man fast noch „nebenher laufen“ konnte, so erreichten 100 Jahre später die Reisezüge bereits Geschwindigkeiten von 140 km/h, in Einzelfällen sogar 160 km/h und Güterzüge 65 km/h. Heute sind in Deutschland die Spitzengeschwindigkeiten für Reisezüge im Hochgeschwindigkeitsverkehr (HGV) 300 km/h bis 330 km/h und für schnell fahrende Güterzüge 160 km/h. Die Entwicklung des Oberbaus vom Schotteroerba mit Holz- und Betonschwellen zur Festen Fahrbahn sowie der Radsatzlasten und Geschwindigkeiten in Deutschland [69] zeigt Abb. 1.2.

Neben den sich erhöhenden Radsatzlasten und Geschwindigkeiten nahm auch die Länge und Anzahl der Züge zu. Dies hat einen großen Einfluss auf die Stabilität der Eisenbahnstrecken.

In die größtenteils vor über 100 Jahren hergestellten Erdbauwerke und den im Laufe der Zeit immer wieder verstärkten Oberbau werden durch die erhöhten Belastungen statische und dynamische Kräfte eingetragen, die diese nicht mehr schadlos aufnehmen können.



Entwicklung der Radsatzlasten für Reise- und Güterzüge



Entwicklung der Geschwindigkeit in km/h für Reise- und Güterzüge

**Abbildung 1.2: Entwicklung des Oberbaus sowie der Radsatzlasten und Geschwindigkeiten in Deutschland**

Durch stabilisierende Maßnahmen war die Standsicherheit den modernen Erfordernissen für einen guten Fahrkomfort auch bei hohen Geschwindigkeiten anzupassen. Wurden in der Vergangenheit immer nur Einzelkomponenten der bekannten Konstruktion Schiene – Schwelle – Schienenbefestigung – Schotter und auch des Unterbaus betrachtet und an diesen Verbesserungen durchgeführt, so fanden neue Wege, die das bisher Bekannte vergessen lassen sollten, wenig Zustimmung, dafür um so mehr Ablehnung. Zu sehr hatte man sich an das vertraute Bekannte gewöhnt und nahm dessen Nachteile als gegeben hin, um so kritischer wurden dagegen die Bedenken gegen die neue Konstruktion FF herausgestellt und schließlich als Argumente für deren Ablehnung benutzt.

Erst mit der Einführung des Hochgeschwindigkeitsverkehrs in Japan im Zeitraum 1960/1970 – später auch in Frankreich und seit über einem Jahrzehnt auch in Deutschland – wurde deutlich, dass die Leistungsgrenze des klassischen SchO erreicht war. Da-

über hinweg täuschen auch nicht die im Einzelfall im SchO erreichten Weltrekorde für Schienenfahrzeuge zuerst bei der Deutschen Bundesbahn mit 406,9 km/h und später bei der Französischen Staatsbahn mit sogar 515,3 km/h. Dem Einsatz neuer und schnellerer Fahrzeuge muss auch im Fahrweg Rechnung getragen werden, indem im Oberbau auf lange Sicht neue Lösungen entstehen, die ein dauerhaft stabiles und elastisches Fahrverhalten gewährleisten und damit einen hohen Fahrkomfort garantieren. Es ist außerdem ein Fahrweg zu schaffen, der eine hohe Verfügbarkeit besitzt und nicht, wie der SchO, permanent einer Instandhaltung unterzogen werden muss.

Wie sollte aber solch eine neue, innovative Oberbaukonstruktion aussehen?

Es galt, den Schotter als lastübertragendes Element des klassischen Querschwellenoberbaus, der sich im HGV als schwächste Komponente erwiesen hat, durch ein anderes und lagebeständigeres Material, wie Beton oder Asphalt, zu ersetzen. Die Materialien Beton bzw. Asphalt weisen im Gegensatz zum Schotter unter der Belastung des Eisenbahnverkehrs bei entsprechender Bemessung der Schichtdicke keine oder nur geringfügige plastische Verformungen auf. Um die für das Rad/Schiene-System im Oberbau erforderliche Elastizität zu erreichen, sind entsprechende Werkstoffe, die nach einer genau definierten Elastizität bemessen sind, unter der Schiene und/oder unter der Schwelle angeordnet.

Diese Modifizierung führte zu dem Begriff schotterloser Oberbau, wofür

- im Deutschen, abgeleitet von der stabilen festen Lage, die Bezeichnung Feste Fahrbahn (FF),
- im Französischen die Bezeichnung Voie sur dalle (Vsd) und
- im Englischen die Bezeichnung Slab track (St) oder auch Ballastless track

verwendet wird.

Der Begriff schotterloser Oberbau ist insofern nicht immer zutreffend, da bei einigen Konstruktionen Schotter verwendet wird, dessen Funktion jedoch nicht mit dem des SchO vergleichbar ist.

Die FF verlangt im Gegensatz zum SchO einen setzungsfreien oder zumindest setzungsfreien Untergrund. Damit boten sich anfänglich vordergründig Tunnel an. Das klassische Element im Streckennetz der Eisenbahn, das Erdbauwerk, trat wegen der Befürchtung von unkontrollierbaren Setzungen vorerst in den Hintergrund. Für Brücken bestanden wegen der Besonderheiten der Durchbiegung bei Belastung und Längenänderung infolge von Temperaturschwankungen Bedenken und Vorbehalte.

Erste Versuche, den Schotter durch ein lagebeständigeres Material zu ersetzen, gehen bis in die 1920er Jahre [62] zurück.

Einige Jahrzehnte nach dem Ende des 2. Weltkrieges wurde mit der Weiterentwicklung des Eisenbahnwesens der Gedanke der FF erneut aufgegriffen und besonders in Japan und einigen europäischen Ländern vorangebracht.

Die Japanischen Eisenbahnen haben mit der Einführung des HGV auf der in SchO erstellten Shinkansenstrecke Tokio-Osaka in den Jahren 1960 – 1970 wegen des hohen Instandhaltungsaufwandes frühzeitig die Konsequenzen gezogen. Nachdem im Zeitraum von 1972 – 1979 auf einem ca. 12 km langen Streckenabschnitt der Japanese National Railway (JNP) mit der FF positive Erfahrungen gewonnen wurden, orientierte man sich generell an dieser Bauweise im HGV. Weitere 110 Steckenabschnitte im Raum Tokio sind danach in FF gebaut worden. Die HGV-Strecken in Japan werden im Freien ausnahmslos in aufgeständerter Bauweise oder im Tunnel gebaut.

Dagegen beschränkten sich verschiedene europäische Bahnen auf Erprobungen in kleineren Abschnitten, die sich zwar in einigen Fällen durchaus bewährten, aber wegen der hohen Kosten und fehlender Erfahrung über das Langzeitverhalten keine generelle Weiterverbreitung fanden.

Bis 1970 wurde in Europa in 40 Streckenabschnitten mit insgesamt ca. 37 km Länge zur Erprobung die FF eingebaut, so u. a. bei der

- DB                       in 17 Abschnitten mit 7.177 m
- SNCF                    in 10 Abschnitten mit 13.053 m
- SBB                     in 1 Abschnitt mit 9.700 m

Ein weiterer Einbau von FF erfolgte von 1980-1991 unter anderem bei der

- SNCF                   mit 13 km
- DB                      mit 24 km
- FS                      mit 25 km

Erste Versuche mit Einzelstützen auf einer BTS gehen bei der DB auf das Jahr 1959 im Hengstenbergtunnel mit 233 m und im Schönsteiner Tunnel mit 190 m zurück. Diese Abschnitte sind, bedingt durch das Versagen der Befestigungsbolzen infolge Abrostens, jedoch inzwischen wieder ausgebaut worden. Erste Einbauten der FF auf Erdbauwerken erfolgten bei der DB im Jahr 1967 im Bahnhof Hirschaid auf einer Länge von 225 m in drei Versuchsabschnitten mit Fertigteilplatten und Fertigteilrosten, die jedoch 1990 wegen instabiler Gleislage infolge Setzungen im Untergrund wieder ausgebaut wurden.

Die Erfolge der Bauindustrie mit vorgefertigten Bauteilen veranlassten auch die DR im Jahre 1964 einen ersten ca. 30 m langen Abschnitt (Abb. 1.3 – Reproduktion aus [43]), bezeichnet als Bauart DR 1 und mit der Schienenbefestigung Federnagel ausgerüstet, herzustellen. Ein weiterer ca. 2000 m langer Versuchsabschnitt in der Bauart DR 2 mit Schienenbefestigung K wurde 1965 auf der Strecke Magdeburg-Dessau mit 4,99 m langen vorgefertigten Gleistragplatten eingerichtet [43]. Nach nahezu 20-jähriger Liegezeit scheiterte die Erprobung daran, dass für die auf einer Schotter- bzw. Kiesbettung lagenden Platten kein setzungssarmer Untergrund hergestellt worden war, wodurch sich diese teilweise senkten und keine entsprechenden Hilfsmittel für die Wiederherstellung der Sollgleislage zur Verfügung standen.

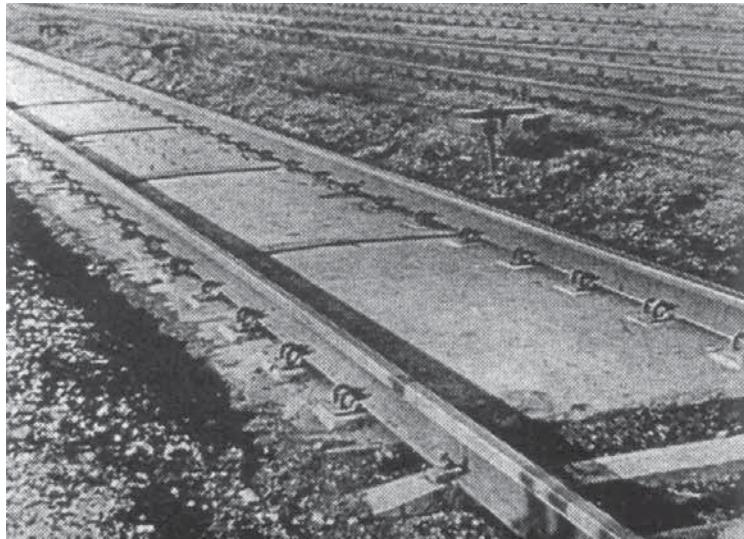


Abbildung 1.3: Bauart DR 1 mit Federnageloberbau im Bahnhof Dessau

Der erste Abschnitt in FF auf Erdbauwerken mit Schwellen wurde 1972 bei der DB im Bf Rheda-Wiedenbrück (Abb. 5.2) gebaut. Dies war der Ausgangspunkt für die bis in die heutige Zeit dominierende Bauart RHEDA. Ein weiterer Versuchsabschnitt mit einer BTS auf Erdbauwerken folgte im Jahr 1977 auf dem Streckenabschnitt Dachau-Karlsfeld im Bereich München, wo neben der Bauart RHEDA auch 4,80 m lange Fertigteilplatten und 7,20 m lange Fertigteilroste (Abb. 1.4) zur Erprobung eingebaut wurden [60]. Einen 1988



Abbildung 1.4: Bauart Fertigteilrahmen und Fertigteilplatte Bauart Karlsfeld



**Abbildung 1.5: Bauart Fertigteilrahmen (unten) und Bauart SBV im Bf Hösbach**

unternommenen Versuch mit Fertigteilrahmen und Schwellen mit Bitumenverguss (Bauart SBV) auf einer ATS mit Schottereindeckung zeigt Abb. 1.5. Die im Bf Hösbach eingebauten Bauarten werden jedoch nicht weiter verfolgt.

Obwohl die Weiche das schwächste Glied im Oberbau ist, verlief die Erprobung von Weichen in FF noch zaghafter als für das Gleis. So wurden im Jahr 1972 erstmals auf einer Ort betonplatte als schwellenlose Bauart mit elastischer Schienenbefestigung zwei Weichen im Bf Rheda-Wiedenbrück im Zusammenhang mit dem Einbau der Bauart RHEDA im durchgehenden Hauptgleis und eine weitere Weiche im Bf Oelde in FF errichtet. Darauf wurden nur noch Weichen in FF mit Schwellen zur Erprobung eingebaut, und zwar je eine Weiche

- 1986 im Bf Schwetzingen als eingelagerte Bauart mit in die BTS eingegossenen gummi ummantelten Schwellen (elastische Schwellenlagerung),
- 1987 im Bf Gütersloh als aufgelagerte Bauart auf einer BTS mit elastischer Schwellenlagerung (elastisches Material unter der Schwelle), wobei die Seitenkräfte durch Bolzen vor den Schwellenköpfen aufgenommen werden,
- 1988 im Bf Nürnberg-Stein als in die ATS eingegossene Bauart analog der Bauart SBV mit elastischer Rippenplattenlagerung und
- 1991 im Bf Gessertshausen als in die BTS eingegossene Bauart jedoch ohne Längseisen durch die Schwellen.

Mit der Einführung des HGV bei der DB im Jahre 1991 wurde es versäumt, die FF im größeren Umfang zur Anwendung zu bringen. So war auf den HGV-Strecken der NBS Hannover–Würzburg nur in drei Tunneln (Mühlberg-, Einmalberg- und Sengebertunnel) sowie auf der NBS Mannheim–Stuttgart in einem Tunnel (Marksteintunnel) lediglich auf einer Gesamtlänge von 19,7 km Gleis in FF ohne eine einzige Weiche gebaut worden [63]. Danach trat ein Stillstand bei der Anwendung der FF ein.

Erst ab 1993 wurden im verstärkten Maße Abschnitte in FF gebaut, so bei der

- NBS Würzburg–Aschaffenburg mit ca. 15 km Gleis,
- ABS Berlin–Hamburg mit ca. 28 km Gleis,
- ABS Berlin–Halle/Saale mit ca. 39 km Gleis und 13 Weichen auf Stahlschwellen und der
- Grunderneuerung der Stadtbahn Berlin mit ca. 31 km Gleis und 29 Weichen.

Schließlich wurde im Jahre 1995 mit der Erprobung von drei Weichen mit Betonschwellen auf einer ATS im Bf Niederau der Strecke Dresden–Leipzig und von zwei Weichen mit Betonschwellen in einer BTS im Bf Kleinwarnow der Strecke Berlin–Hamburg auch bei der DB AG die Voraussetzung für eine durchgängige Anwendung der FF in Gleisen und Weichen geschaffen.

Erst die Entwicklungen der letzten Jahre verschafften der FF in Deutschland die für den HGV angemessene Anerkennung und Bedeutung und somit einen entscheidenden Durchbruch. Wesentlich beigetragen haben zu dieser Entwicklung zwei Faktoren. Zum einen führte der vorzeitige Verschleiß des Schotters in Form unzähliger so genannter weißer Stellen, besonders auf der festen Auflage von Massivbrücken der Hochgeschwindigkeitsstrecken, zu der Erkenntnis, dass der dort verwendete SchO seine Leistungsgrenze erreicht hat und vielerorts bereits an der Versagensgrenze angelangt ist.

So wurden bereits auf der 1998 in Betrieb genommenen NBS Berlin–Hannover ca. 180 km Gleis mit 29 Weichen in FF gebaut. Die NBS Köln–Rhein/Main wurde über die gesamte Länge von ca. 270 km Gleis mit 41 Weichen in FF erstellt und im Jahr 2002 in Betrieb genommen. Auf einem Teilabschnitt der NBS Leipzig/Erfurt–Nürnberg sind ebenfalls im Jahr 2002 ca. 30 km Gleis und 12 Weichen dem Betrieb übergeben worden. Weitere ca. 150 km Gleis mit 16 Weichen in FF werden im Jahr 2006 auf der NBS Nürnberg–Ingolstadt und ca. 20 km Gleis mit 48 Weichen (davon eine Kreuzung und 13 optionale Weichen) in der Nord-Süd-Verbindung Berlin-Hauptbahnhof dem Betrieb übergeben.

In Europa ist die FF auf der gesamten Länge des am 6. Mai 1994 eröffneten Eurotunnels zwischen Calais (Frankreich) und Folkestone (England) mit ca. 100 km Gleis, einschließlich der Weichen in drei Überleitstellen, eingebaut worden [66].

War der Einbau der FF in den ersten Jahrzehnten in Österreich vorzugsweise auf Tunnelabschnitte beschränkt, so sind jetzt auch erste Abschnitte auf Erdbauwerken und auf Brücken errichtet worden. In der Schweiz wird die FF, bis auf zwei Abschnitte von 300 m

und 700 m Länge auf Erdbauwerken, ausnahmslos im Tunnel eingebaut. In den Niederlanden wird beim Bau der HSL-Zuid, Amsterdam – belgische Grenze (Brüssel), die FF in aufgeständerter Form auf Erdbauwerken angewendet.

Die nachfolgende Übersicht gibt den Anteil der in FF errichteten Gleislängen bei der DB AG, der ÖBB, der SBB und der NS wieder.

Infrastrukturbetreiber	DB AG	NS	ÖBB	SBB
Gleislänge [km] <sup>1)</sup>	65 000	6 500	11 000	4700
FF-Gleise [km] <sup>1)</sup>	860	175	104	80
FF-Anteil [%]	1,3	2,7	1	1,7

<sup>1)</sup> Alle Angaben sind ca.-Werte

Versuchabschnitte in FF wurden vor Jahren in Frankreich, in Italien und in Großbritannien errichtet sowie in letzter Zeit in Spanien, wiederholt in Großbritannien, Polen und Tschechien. Von einer allgemeinen Anwendung kann in diesen Ländern jedoch gegenwärtig noch nicht gesprochen werden.

Anders verhält es sich im asiatischen Raum. Dem japanischen Beispiel folgend wurde die FF in Taiwan für den HGV (300 km/h) auf einer Länge von 345 km zweigleisiger Strecke eingebaut. Neben der japanischen Plattenbauart „J-Slab“ wurden in Bahnhofsgebäuden ca. 88 km Gleise einschließlich 117 Weichen in der Bauart RHEDA 2000® errichtet. In Südkorea findet die FF ebenfalls im HGV Anwendung. Ihre Anwendung ist hauptsächlich in Tunnelabschnitten zu sehen. Neuerdings laufen auch in China konkrete Vorbereitungen, größere Streckenabschnitte in FF zu errichten.

Auch für das Bauwerk Fahrweg der Eisenbahn auf Erdbauwerken gilt die Forderung, es setzungsfrei, zumindest aber setzungsarm, so zu gründen, dass keine bleibenden Schäden auftreten. Im Straßenbau und im Flugplatzbau ist diese Forderung schon lange gültige Regel. Was sich für den Fahrweg Straße bewährt hat, kann auch für den Fahrweg Eisenbahn von Nutzen sein und deshalb ohne Weiteres übernommen werden.

Die FF ist heute bei Vollbahnen anwendbar für Gleise und Weichen im gesamten Streckennetz einer Eisenbahn sowohl auf Erdbauwerken als auch in Tunnels und auf Brücken. Sie ist nicht nur vordergründig fixiert auf den Neubau von Strecken im HGV, sondern gestattet auf Grund ihrer vom SchO abweichenden geringeren Konstruktionsmaße in Höhe und Breite auch ein umfangreiches Anwendungsfeld bei Rekonstruktionsmaßnahmen im bestehenden Streckennetz.

Aus den Erfahrungen für Vollbahnen abgeleitet, wurden anspruchsvolle Konstruktionen der FF für den ÖPNV entwickelt und praxiswirksam sowohl für Straßen- und Stadtbahnen als auch für S- und U-Bahnen (MRT und LRT) umgesetzt. Im Gegensatz zu den vielen Bauarten der FF für Vollbahnen haben sich im ÖPNV frühzeitig richtungsweisende Bauarten herauskristallisiert. Darüber hinaus gibt es im ÖPNV eine Vielzahl ortsspezifischer und den jeweiligen Bedingungen angepasste Entwicklungen der FF.

## 2 Konstruktionsprinzip

Die Forderung an den konstruktiven Aufbau einer FF besteht darin, die vom Fahrzeug über das Rad auf die Schiene eingetragenen statischen und dynamischen Kräfte (Achskraft, Querkraft, Abhebekraft und Längskraft) über die einzelnen Konstruktionselemente schadlos in den Untergrund abzuleiten. Entscheidendes Kriterium für die Konstruktion der FF und das sich ableitende Konstruktionsprinzip ist das Langzeitverhalten. Es wird über einen Zeitraum von mindestens 60 Jahren eine instandhaltungsarme Konstruktion mit einer dauerhaft guten Qualität der Gleislage gefordert. Dieses beinhaltet unter anderem auch Forderungen, die bereits bei der Planung und Ausführung von dauerhaften Bauwerken [82] zu beachten sind. Die sich auf das Langzeitverhalten einer Konstruktion der FF ergebenden Einflüsse und Beziehungen aus der Herstellungsqualität, der Belastung, der Umwelt und der Instandhaltung sind in Abb. 2.1 dargestellt.

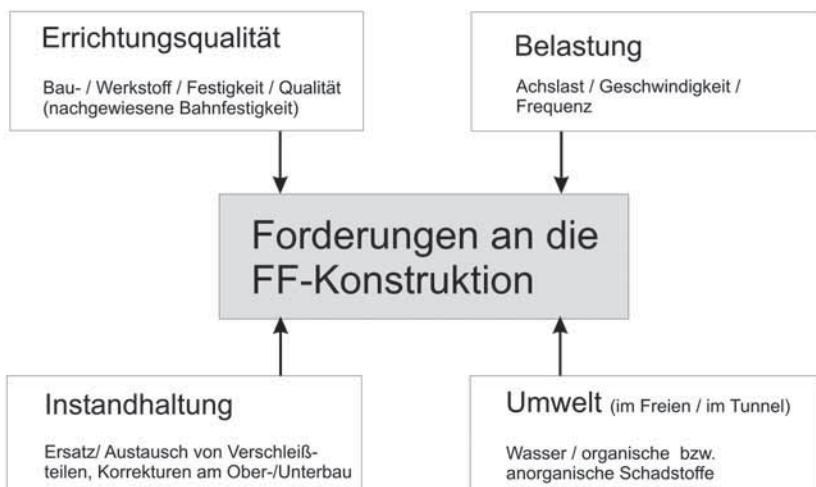
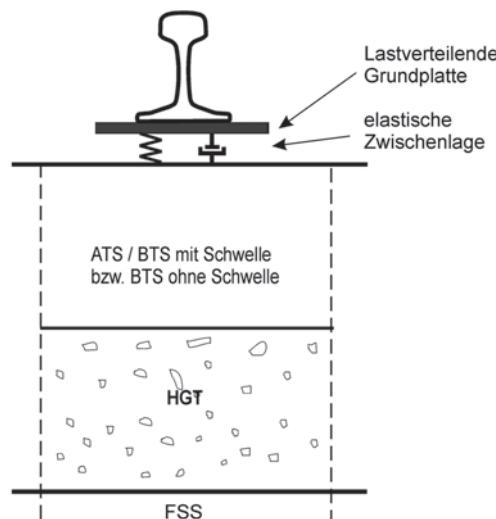


Abbildung 2.1: Forderungen an das Langzeitverhalten einer FF-Konstruktion

Die FF erfordert im Gegensatz zum SchO, wo Setzungen kleineren und größeren Ausmaßes jederzeit nachträglich durch Unterstopfen behoben werden können, eine verformungsarme Auflagerung. Solche Auflagerbedingungen werden allgemein bei einer Auflagerung des Gleises auf bzw. in Tragschichten aus Beton oder Asphalt erreicht. Voraussetzung hierfür ist, dass die Betontragschicht (BTS) bzw. Asphalttragschicht (ATS) frostsicher und setzungssarm gegründet sowie entsprechend bemessen ist. Um die für das Rad/Schiene-System im Oberbau geforderte Elastizität, die im klassischen SchO in Form von Einfederung und Dämpfung durch die Schotterbettung mehr oder weniger gegeben ist, bei der FF zu erreichen, werden elastische Materialien mit einer definierten Elastizität verwendet. Diese, bei der Lagerung der FF verwendeten Materialien, haben gegenüber dem Schotter den Vorteil, dass sie eine im engen Toleranzbereich genau definierte Elastizität besitzen, die auch unter starker dynamischer Belastung dauerhaft konstant bleibt. Die elastischen Materialien können unter der Schiene (Abb. 2.2) und/oder unter der Schwelle bzw. Tragschicht angebracht werden.



**Abbildung 2.2: Anordnung der definierten Elastizität bei der FF unter der Schiene**

Das Konstruktionsprinzip der FF besteht aus einzelnen Tragschichten mit einer von oben nach unten abnehmenden Steifigkeit mit der Beziehung:

$$E1 > E2 > E3 > E4$$

Für den konstruktiven Aufbau einer FF auf dem Erdkörper ergibt sich nach dieser Forderung von oben nach unten die folgende Reihung:

- Schiene
- Schienenbefestigung
- Schwelle
- Betontragschicht (BTS) bzw. Asphalttragschicht (ATS)
- Hydraulisch Gebundene Tragschicht (HGT)
- Frostschutzschicht (FSS)
- Untergrund

Die Abgrenzung zwischen Oberbau und Unterbau wird hierbei zwischen der gebundenen Tragschicht HGT und der ungebundenen Tragschicht als FFS vorgenommen. Die Abb. 2.3 gibt den konstruktiven Aufbau einer FF auf Erdbauwerken mit von oben nach unten abnehmender Steifigkeit wieder.

Ein Vergleich der Komponenten des Oberbaus und des Unterbaus bei Erdbauwerken zeigt den wesentlichen Unterschied zwischen der FF und dem SchO und stellt Gemeinsamkeiten in den Oberbegriffen dar (Abb. 2.4).

Eine Konstruktion der FF muss dem Verwendungszweck angemessen sein und eine Zulassung durch die zuständige Behörde, wie zum Beispiel für die DB AG durch das Eisenbahn-Bundesamt [11], erfahren.

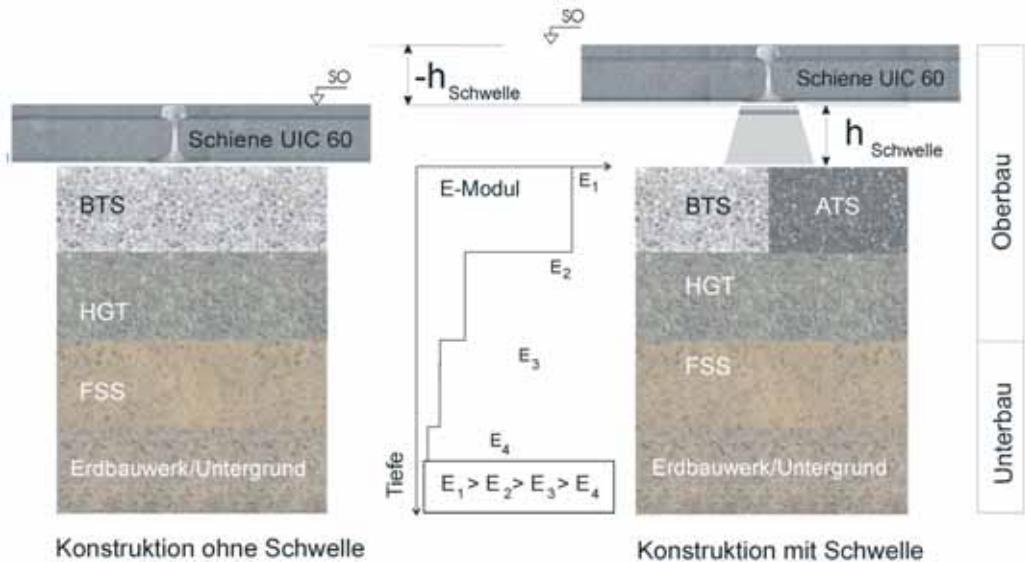


Abbildung 2.3: Konstruktiver Aufbau einer FF auf Erdbauwerken

Oberbegriffe		Schotteroerbau (SchO)	Feste Fahrbahn (FF)
<b>Oberbau</b>		Ab OK Schiene mit den Komponenten: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schiene,</li> <li>• Schienenbefestigung,</li> <li>• Schwelle,</li> <li>• Schotter</li> </ul>	Ab OK Schiene mit den bauartabhängigen Komponenten: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schiene,</li> <li>• Schienenbefestigung,</li> <li>• Schwelle, Einzelstütze bzw. Gleistragplatte</li> <li>• BTS bzw. ATS,</li> <li>• HGT</li> </ul>
<b>Unterbau</b>	<b>Ungebundene Tragschichten</b>	Ab OK Schutzschichten <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obere ungebundene Tragschicht Planumsschutzschicht (PSS), Frostschutzschicht (FSS)</li> </ul>	Ab OK Schutzschichten <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obere ungebundene Tragschicht Frostschutzschicht (FSS)</li> </ul>
	<b>Erdbauwerk</b>	Ab OK Unterbau <ul style="list-style-type: none"> <li>• Untere ungebundene Tragschicht Erdbauwerk mit verdichteter oder besserer Dammsschüttung bzw. Einschnittsausbildung</li> </ul>	Ab OK Unterbau <ul style="list-style-type: none"> <li>• Untere ungebundene Tragschicht Erdbauwerk mit verdichteter oder besserer Dammsschüttung bzw. Einschnittsausbildung</li> </ul>
	<b>Untergrund</b>	anstehende Böden – ggf. verdichtet	

Abbildung 2.4: Komponenten des Schotteroerbaus und der Festen Fahrbahn auf Erdbauwerken

Der Querschnitt der FF ist so auszubilden, dass die eingetragenen Kräfte sicher und schadlos in die Unterbaukonstruktion eingeleitet werden. Bei der Bemessung der Tragschichten wird ein Lastverteilungswinkel von  $\alpha = 45^\circ$  angesetzt. Als Mindestbreite  $b_1$  der Schwelle werden 2,20 m angegeben (Abb. 2.5). Aus dem Lastverteilungswinkel und den aus der Berechnung der FF errechneten Dicken der einzelnen Tragschichten ergeben sich deren Breiten.

Für den HGV wird derzeit eine Breite der HGT von 3,80 m gefordert. Bei einer Dicke von 30 cm für die HGT ergibt sich dann die Breite der darüber liegenden BTS bzw. ATS unter Zugrundelegung eines Lastverteilungswinkels  $\alpha = 45^\circ$  zu 3,20 m.

Bei den Konstruktionen der FF ist es freigestellt, für die Schienen das bei den Schwellen übliche Prinzip der Stützpunktllagerung oder die kontinuierliche Lagerung der Schienen vorzusehen. Eine Stützpunktllagerung der Schienen kann mit oder ohne Schwellen erfolgen. Bei der kontinuierlichen Lagerung der Schienen sind diese eingegossen oder eingeklemmt.

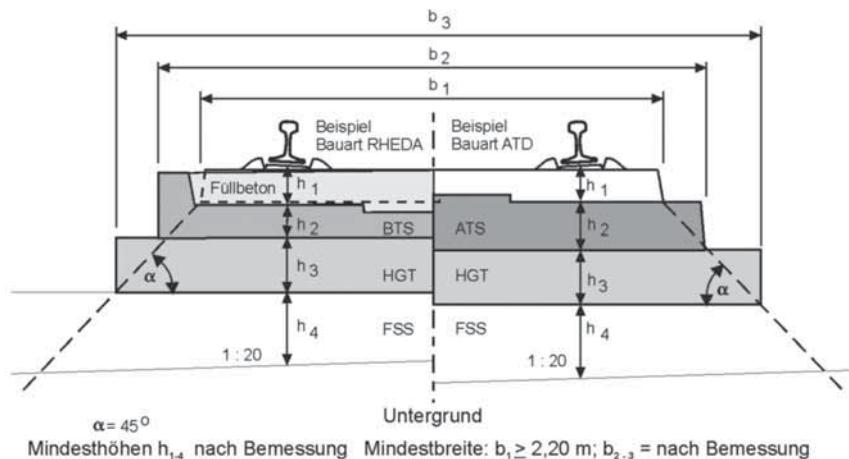


Abbildung 2.5: Mindestbreiten und Lastverteilungswinkel der FF-Konstruktion

Die Abb. 2.6 zeigt die Unterteilung der Konstruktionsarten der FF, gegliedert nach Stützpunktllagerung und kontinuierlicher Lagerung der Schienen.

Bei den Konstruktionen der FF mit Schwellen sind diese entweder in die BTS bzw. ATS eingegossen (eingelagert) oder auf der BTS bzw. ATS aufgelagert. Konstruktionen ohne Schwellen sind nur bei einer Stützpunktllagerung auf der BTS möglich. Eine ATS scheidet für die schwellenlosen Bauarten der FF aus konstruktiven Gründen aus. Bauarten mit einer BTS werden dabei monolithisch vor Ort gefertigt oder als Platten bzw. Rahmen vorgefertigt und als Fertigteile eingebaut.



Abbildung 2.6: Konstruktionsarten der Festen Fahrbahn



Die Feste Fahrbahn hat sich als eine neue innovative Oberbaukonstruktion auch in Europa zu einer echten Alternative zum traditionellen Schotteroerbau entwickelt. Die dem Gleis/der Weiche durch die Schotterbettung gegebene labile Auflage wird bei der Festen Fahrbahn mittels einer stabilen Tragschicht aus Beton oder Asphalt in eine dauerhaft gute Lage gebracht.

Wurden zuerst, in Anlehnung an den Schotteroerbau, in Europa vorwiegend noch Schwellen bei der Festen Fahrbahn verwendet, so haben sich jetzt, dem japanischen Beispiel folgend, auch schwellenlose Bauarten etabliert, die in der vorliegenden 2. Auflage dieses Buches besonders berücksichtigt werden.

Über die Anwendung der Festen Fahrbahn in Deutschland hinaus werden auch Beispiele aus den Nachbarländern Österreich, der Schweiz und den Niederlanden betrachtet. Des Weiteren wird ausführlich über die Festen Fahrbahn im spurgeführten ÖPNV berichtet, wo eine verbreitete Anwendung zu verzeichnen ist.