



DB-Fachbuch

LESEPROBE!

# Schienerfahrzeugtechnik

4. überarbeitete Auflage

Jürgen Janicki  
Horst Reinhard  
Michael Rüffer

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Jürgen Janicki • Horst Reinhard • Michael Rüffer

### **Schienefahrzeugtechnik**

DB-Fachbuch

4. überarbeitete Auflage – Bahn Fachverlag GmbH, Berlin 2019

Herausgeber:

Bahn Fachverlag GmbH in Kooperation mit DB Training, Learning & Consulting

© Bahn Fachverlag GmbH, Berlin 2019

Alle Rechte, auch die der Übersetzung in fremde Sprachen, bleiben dem Verlag vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlags in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht zum Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet und vervielfältigt oder verbreitet werden. Diejenigen Bezeichnungen von im Buch genannten Erzeugnissen, die zugleich eingetragene Warenzeichen sind, wurden nicht besonders kenntlich gemacht. Es kann also aus dem Fehlen der Markierung (®) nicht geschlossen werden, dass die Bezeichnung ein freier Warename ist. Ebenso wenig ist zu entnehmen, ob Patente oder Gebrauchsmusterschutz vorliegen.

Foto auf dem Titel: [www.siemens.com/presse](http://www.siemens.com/presse)

Abbildungen ohne Quelle: Autoren

Umschlaggestaltung und Satz: DB AG; CRUFF, Berlin

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Laub GmbH & Co. KG, Elztal-Dallau

Printed in Germany

ISBN: 978-3-943214-26-0

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>Bau und Betrieb von Schienenfahrzeugen</b>	<b>17</b>
1.1.1	Einführung	17
1.1.2	Europäische Richtlinien und Verordnungen	19
1.1.3	Nationales Eisenbahnrecht (Deutschland)	22
1.1.4	Eisenbahnrecht in Österreich und der Schweiz	24
<b>1.2</b>	<b>Systematik der Schienenfahrzeuge</b>	<b>25</b>
1.2.1	Fahrzeugtypen	25
1.2.2	Eisenbahnfahrzeuge	27
1.2.3	Stadtverkehrsfahrzeuge	32
<b>1.3</b>	<b>Systemkomponenten von Schienenbahnen</b>	<b>34</b>
1.3.1	Zusammenwirken der Komponenten	34
1.3.2	Spurführungstechnik bei Schienenfahrzeugen	35
1.3.3	Kräfte zwischen Rad und Schiene	42
1.3.4	Spurweite	43
1.3.5	Infrastrukturtragfähigkeit und Fahrzeuggewicht	45
1.3.6	Regellichtraum und Fahrzeugabmessungen	47
<b>1.4</b>	<b>Betrieb im Verkehrsraum öffentlicher Straßen</b>	<b>--</b>
1.4.1	Straßensysteme	--
1.4.2	Bahnkörperarten	--
1.4.3	Betriebsabwicklung	--
1.4.4	Zusammenfassung	--
1.4.5	Zweissystembetrieb EBO/BOStrab	--
<b>1.5</b>	<b>Betriebsarten (Eisenbahn, Straßenbahn)</b>	<b>--</b>
1.5.1	Übersicht	--
1.5.2	Fahren auf Sicht	--
1.5.3	Nicht automatischer Betrieb	--
1.5.4	Fahrerloser Betrieb	--
1.5.5	Unbegleiteter Betrieb	--

<b>1.6</b>	<b>Zugfördertechnik</b>	--
1.6.1	Einführung	--
1.6.2	Bewegungsabschnitte einer Zugfahrt	--
1.6.3	Fahrwiderstand	--
1.6.4	Fahrzeugwiderstand	--
1.6.5	Streckenwiderstand	--
1.6.6	Zugkräfte	--
1.6.7	Zugbremsung	--

---

<b>2</b>	<b>Aufbau und Konstruktion</b>	--
----------	--------------------------------	----

<b>2.1</b>	<b>Einführung</b>	--
2.1.1	Darstellung der Grundparameter	--
2.1.2	Mechanischer Aufbau	--
2.1.3	Güter- und Reisezugwagen	--
2.1.4	Lokomotiven	--
2.1.5	Triebzüge	--
2.1.6	Nahverkehrsfahrzeuge	--
2.1.7	Bauweisen und Werkstoffe	--
2.1.8	Einbautechnik	--
2.1.9	Brandschutz	--
2.1.10	Crashkonzepte	--
2.1.11	Passantenschutz	--
2.1.12	Geräuschemissionsreduktion	--
2.1.13	Maschinenraum	--
2.1.14	Kennzeichnungssystematik für Schienenfahrzeuge	--
2.1.15	Fahrzeugnummerierung	--

<b>2.2</b>	<b>Laufwerk (Fahrwerk)</b>	--
2.2.1	Grundsätzliche Anforderungen an das Laufwerk	--
2.2.2	Aufbau und Konstruktion	--
2.2.3	Radsatz	--
2.2.4	Drehgestell	--
2.2.5	Federung	--
2.2.6	Radsatzführung	--
2.2.7	Schwingungsdämpfer	--
2.2.8	Triebdrehgestell Eisenbahnfahrzeuge	--
2.2.9	Triebdrehgestell Nahverkehrsfahrzeuge	--
2.2.10	Aktive Laufwerksysteme	--

2.2.11	Speziallaufwerke	--
2.2.12	Radsatzfolge	--
2.2.13	Spurkranzschmieranlage	--
2.2.14	Maßnahmen zur Lärminderung	--
2.2.15	Entgleisungsdetektion	--
<b>2.3</b>	<b>Zug- und Stoßeinrichtung</b>	--
2.3.1	Übersicht Schienenfahrzeugkupplungen	--
2.3.2	Kraftübertragung der Zug- und Stoßeinrichtung	--
2.3.3	UIC-Schraubenkupplung	--
2.3.4	Puffer	--
2.3.5	Langhubstoßdämpfer	--
2.3.6	Automatische Kupplung	--
2.3.7	Automatische Zugkupplung	--
2.3.8	Vereinfachte Kompakt-AK	--
2.3.9	Scharfenbergkupplung	--
2.3.10	Spezialkupplungen	--
2.3.11	Automatische Rangierkupplung	--
2.3.12	Absenkbare und ausschwenkbare Kopfstücke	--
<b>2.4</b>	<b>Fahrzeugübergang</b>	--
2.4.1	Bauliche Ausführung	--
2.4.2	Übergänge der Reisezugwagen	--
2.4.3	Übergänge der Triebwagen und Triebzüge	--
2.4.4	Übergänge bei Fahrzeugen des Stadtverkehrs	--
<b>2.5</b>	<b>Versorgungs- und Steuerleitungen</b>	--
2.5.1	Druckluftleitungen und Bremskupplungen	--
2.5.2	Kabel der zentralen Energieversorgung (ZEV)	--
2.5.3	Informations- und Steuerleitungen	--
<b>2.6</b>	<b>Fahrzeuganschriften, Fahrzeugnummern</b>	--
2.6.1	Allgemeine Anschriften und Zeichen	--
2.6.2	Fahrzeugnummer, Halter, Gattung	--
2.6.3	Technische Merkmale und Maße	--
2.6.4	Besondere Anschriften bei Reisezugwagen und Triebwagen	--
2.6.5	Anschriften bei Güterwagen	--

<b>3</b>	<b>Antriebstechniken</b>	--
<b>3.1</b>	<b>Einführung</b>	--
3.1.1	Systematik der Triebfahrzeuge	--
3.1.2	Elektrischer Zugbetrieb	--
3.1.3	Dieselbetrieb	--
3.1.4	Vergleich der Traktionsarten	--
3.1.5	Leistungsangaben	--
<b>3.2</b>	<b>Dampflokomotiven</b>	--
3.2.1	Erste Eisenbahn in Deutschland	--
3.2.2	Aufbau und Funktion einer Dampflokomotive	--
3.2.3	Dampfspeicherlokomotiven	--
<b>3.3</b>	<b>Elektrische Triebfahrzeuge</b>	--
3.3.1	Elektrische Antriebssysteme	--
3.3.2	Leistungssteuerung bei Direkteinspeisung	--
3.3.3	Leistungssteuerung bei Umrichtereinspeisung	--
3.3.4	Stromzuführung	--
3.3.5	Hochspannungsausrüstung	--
3.3.6	Transformator	--
3.3.7	Einbautechnik der Antriebsausrüstung	--
3.3.8	Stromrichter	--
3.3.9	Fahrmotor	--
3.3.10	Elektrische Bremse	--
3.3.11	Mehrsystemtechnik	--
3.3.12	Energiespeichertechnik	--
<b>3.4</b>	<b>Dieseltriebfahrzeuge</b>	--
3.4.1	Allgemeine Fahrzeugbeschreibung	--
3.4.2	Dieselmotor	--
3.4.3	Motoraufbau	--
3.4.4	Partikelfilter	--
3.4.5	AdBlue	--
3.4.6	Kraftstoffanlage	--
3.4.7	Fremdeinspeisung	--
3.4.8	Betriebsvorräte	--
3.4.9	Powerpack	--
3.4.10	Antriebsmodul	--

<b>3.5</b>	<b>Dieselelektrische Triebfahrzeuge</b>	--
3.5.1	Elektrische Leistungsübertragung	--
3.5.2	Elektrodynamische Widerstandsbremse	--
3.5.3	Energieversorgung und Bordnetz	--
<b>3.6</b>	<b>Hybrid- und Mehrkrafttriebfahrzeuge</b>	--
3.6.1	Einführung	--
3.6.2	Dieselfahrzeuge mit Hybridantrieb	--
3.6.3	Mehrkrafttriebfahrzeuge	--
<b>3.7</b>	<b>Fahrertriebe elektrischer Triebfahrzeuge</b>	--
3.7.1	Quer-, Längs- und sonstige Antriebe	--
3.7.2	Leistungsübertragung	--
3.7.3	Antriebsarten	--
3.7.4	Antrieb durch Tatzlagermotor	--
3.7.5	Antrieb durch Schwebemotor	--
<b>3.8</b>	<b>Leistungsübertragung bei Dieseltriebfahrzeugen</b>	--
3.8.1	Aufgaben der Leistungsübertragungsanlage	--
3.8.2	Mechanische Leistungsübertragung	--
3.8.3	Hydraulische Leistungsübertragung	--
3.8.4	Leistungsübertragungsanlage mit hydrodynamischem Getriebe	--
3.8.5	Hydrostatische Leistungsübertragung	--
3.8.6	Hydromechanische Leistungsübertragung	--
<b>4</b>	<b>Führerstandseinrichtungen</b>	--
<b>4.1</b>	<b>Steuerung, Bedienung und Diagnose</b>	--
4.1.1	Führerraum	--
4.1.2	Führerpult	--
4.1.3	Betriebs- und Diagnoseanzeige	--
4.1.4	Leittechnik	--
4.1.5	Wendezug- und Mehrzugsteuerung	--
4.1.6	Sonstige Führerstandseinrichtungen	--
4.1.7	Optische und akustische Signale	--
4.1.8	Funkfernsteuerung	--
4.1.9	Sicherheitsfahrerschaltung	--

4.1.10	Fahrerassistenzsysteme	--
<b>4.2</b>	<b>Zugsicherungstechnik</b>	--
4.2.1	Zugsicherungssysteme in Europa	--
4.2.2	Punktförmige Zugbeeinflussung	--
4.2.3	Betriebsprogramm PZB 90	--
4.2.4	Linienzugbeeinflussung	--
4.2.5	Signum, ZUB 121/262/ZBMS	--
4.2.6	Geschwindigkeitsüberwachung Neigetchnik	--
4.2.7	European Train Control System (ETCS)	--
4.2.8	Communication Based Train Control (CBTC)	--
4.2.9	Zugfunk	--
4.2.10	Fahrerloser Fahrbetrieb	--
<b>4.3</b>	<b>Elektrische Nebenbetriebe</b>	--
<b>4.4</b>	<b>Fahrzeugsteuerung</b>	--
4.4.1	Fahrzeugleittechnik	--
4.4.2	Datenbussysteme	--
4.4.3	Topologien der Leittechniksysteme	--
4.4.4	Überwachungs- und Analysesysteme	--
4.4.5	Sicherheitsschleifen	--
4.4.6	Diagnosesysteme	--
4.4.7	Fahrerassistenzsysteme	--
<b>4.5</b>	<b>Informationssysteme</b>	--
4.5.1	Fahrgastinformationssysteme	--
4.5.2	Kommunikation im Zug	--
4.5.3	Fahrgastsprechstellen	--
4.5.4	Positionsdaten	--
4.5.5	Außenanzeigen und Zuglaufanzeigen	--
4.5.6	Fahrgastzähleinrichtungen	--
4.5.7	Videoüberwachung	--
4.5.8	Check-in- und Check-out-Systeme	--
4.5.9	Infotainment	--
<b>5</b>	<b>Bremssysteme</b>	--
<b>5.1</b>	<b>Bremstechnische Grundlagen</b>	--



5.1.1	Grundsätzliche Anforderungen an das Bremssystem	--
5.1.2	Bauformen der Bremsen	--
5.1.3	Bremsausrüstung der Eisenbahnfahrzeuge	--
5.1.4	Bremsausrüstung der BOStrab-Fahrzeuge	--
5.1.5	Geschichtlicher Rückblick	--
5.1.6	Physikalische Vorgänge beim Bremsen	--
5.1.7	Bremsanschrift	--
5.1.8	Bremsgewicht	--
<b>5.2</b>	<b>Druckluftbremsen</b>	--
5.2.1	Druckluftbremssysteme	--
5.2.2	Erzeugung der Bremskraft	--
5.2.3	Indirekt wirkende selbsttätige Druckluftbremse	--
5.2.4	Bremsausbauteile der Triebfahrzeuge	--
5.2.5	Bauteile der Druckluftbremse	--
5.2.6	Bremsarten	--
5.2.7	Mechanische Bauteile der Bremsanlage	--
5.2.8	Bremszylinder	--
5.2.9	Handbremse	--
5.2.10	Bremsanzeigeeinrichtungen	--
<b>5.3</b>	<b>Steuerventil</b>	--
5.3.1	Hauptaufgaben und Funktion	--
5.3.2	Bauart der Bremse	--
5.3.3	Steuerventilreihe KE	--
5.3.4	Bremsstellungen	--
5.3.5	Löseeinrichtung	--
<b>5.4</b>	<b>Elektropneumatische Bremse (ep-Bremse)</b>	--
5.4.1	Indirekte ep-Bremse	--
5.4.2	Direkte elektropneumatische Bremse	--
5.4.3	EP Compact ®	--
<b>5.5</b>	<b>Hydraulische Bremsen</b>	--
5.5.1	Einsatzgebiet	--
5.5.2	Hauptaufgaben und Funktion	--
<b>5.6</b>	<b>Sondereinrichtungen</b>	--
5.6.1	Notbremseinrichtung	--
5.6.2	Notbremsüberbrückung	--

5.6.3	Gleitschutzeinrichtung	--
5.6.4	Lastabbremung	--
5.6.5	Schnellbremsbeschleuniger	--
<b>5.7</b>	<b>Zusätzliche Bremsen</b>	--
5.7.1	Dynamische Bremse	--
5.7.2	Magnetschienenbremse	--
5.7.3	Wirbelstrombremse	--
<b>5.8</b>	<b>Bremsbetätigungseinrichtungen</b>	--
5.8.1	Einführung	--
5.8.2	Führerbremsventil	--
5.8.3	Elektronische Führerbremsventilanlage	--
5.8.4	Zusatzbremsventil	--
<b>5.9</b>	<b>Zusätzliche Bremsausrüstungen der Triebfahrzeuge</b>	--
5.9.1	Federspeicherbremse	--
5.9.2	Schleuderschutzeinrichtung	--
5.9.3	Schnellbremsschleife	--
<b>5.10</b>	<b>Sonstige Bremsen</b>	--
5.10.1	Saugluftbremse (Vakuumbremse)	--
5.10.2	Kdi-Bremse	--
<b>5.11</b>	<b>Druckluftbeschaffung</b>	--
5.11.1	Druckluftherzeugung	--
5.11.2	Druckluftbehälter	--
5.11.3	Sandstreueinrichtung	--
<b>6</b>	<b>Güterwagen</b>	--
<b>6.1</b>	<b>Wagen für Güter aller Art</b>	--
6.1.1	Einführung	--
6.1.2	Unterscheidung der Güterwagen	--
6.1.3	Digitalisierung der Güterwagen	--
6.1.4	Kombinierter Verkehr	--
6.1.5	Transportbeanspruchung	--
<b>6.2</b>	<b>Offene Wagen</b>	--

6.2.1	Wagen mit kastenförmigem Laderaum	--
6.2.2	Selbstentladewagen mit trichterförmigem Laderaum	--
6.2.3	Selbstentladewagen mit sattelförmigem Laderaum	--
6.2.4	Kastenkippwagen	--
6.2.5	Einseitenkastenkipper	--
<b>6.3</b>	<b>Geschlossene Wagen</b>	--
6.3.1	Schiebewandwagen	--
6.3.2	Geschlossene Autotransporteinheit	--
<b>6.4</b>	<b>Flachwagen</b>	--
6.4.1	Grundsätzlicher Aufbau und Ladungseinrichtungen	--
6.4.2	Flachwagen mit Ladegerüst	--
6.4.3	Flachwagen mit Planenverdeck	--
6.4.4	Haubenwagen	--
6.4.5	Flachwagen mit Spreizwänden	--
6.4.6	Behälter- und Containertragwagen	--
6.4.7	Pkw-Doppelstocktransportwagen	--
<b>6.5</b>	<b>Kessel-, Behälter- und Silowagen</b>	--
6.5.1	Anforderungen und Einteilung der Eisenbahnkesselwagen	--
6.5.2	Druckgaskesselwagen	--
6.5.3	Mineralölkesselwagen	--
6.5.4	Chemiekesselwagen	--
6.5.5	Behälter- und Silowagen	--
<b>6.6</b>	<b>Sonstige Güterwagen</b>	--
6.6.1	Wagen mit öffnungsfähigem Dach	--
6.6.2	Tiefladewagen	--
6.6.3	Modular zusammensetzbare Spezialgüterwagen	--
6.6.4	Güterwagen der Spezialbauart	--
<b>7</b>	<b>Personenverkehrsfahrzeuge</b>	--
<b>7.1</b>	<b>Eisenbahnfahrzeuge</b>	--
7.1.1	Einführung	--
7.1.2	Fahrzeuggrundrisse und Inneneinrichtungen	--

7.1.3	Fahrgastsitze	--
7.1.4	Barrierefreie Gestaltung von Eisenbahnfahrzeugen	--
7.1.5	Sanitäre Anlagen	--
<b>7.2</b>	<b>Einstiegstüren der Eisenbahnfahrzeuge</b>	--
7.2.1	Türbauarten nach Einsatzzweck	--
7.2.2	Türbauarten für Einstiegssysteme	--
7.2.3	Einstiegshilfen	--
7.2.4	Schutzziele	--
7.2.5	Betriebliche Abläufe	--
7.2.6	Sicherheitseinrichtungen	--
7.2.7	Überwachungseinrichtungen/Meldeeinrichtungen	--
7.2.8	Schwenkschiebetür (SST)	--
<b>7.3</b>	<b>Heizung und Klimatisierung</b>	--
7.3.1	Einführung	--
7.3.2	Klimaanlage	--
7.3.3	Stelleinrichtung und Regelung	--
7.3.4	Klimagerät und Luftführung	--
7.3.5	Sonstige Heizungseinrichtungen	--
<b>7.4</b>	<b>Stadtverkehrsfahrzeuge</b>	--
7.4.1	Kategorien	--
7.4.2	Fahrgastraumgestaltung	--
7.4.3	Fahrgasttürsystem	--
7.4.4	Barrierefreier Einstieg	--
7.4.5	Vandalismusschutz	--
7.4.6	Besonderheiten der Betriebsabwicklung bei Straßenbahnen	--
7.4.7	Fahrbetrieb ohne Triebfahrzeugführer	--
<b>8</b>	<b>Sonstige Fahrzeuge</b>	--
<b>8.1</b>	<b>Sonderfahrzeuge</b>	--
8.1.1	Begriffsbestimmung	--
8.1.2	Gleisarbeitsfahrzeuge	--
8.1.3	Turmtriebwagen	--
8.1.4	Dienstgüterwagen und Bahndienstwagen	--
8.1.5	Fahrzeuge für Rettungszwecke	--
8.1.6	Gleisbaumaschinen	--

8.1.7	Schienenkrane	--
8.1.8	Rangierfahrzeuge	--
8.1.9	Zweiwegefahrzeuge	--

<b>8.2</b>	<b>Sonderbahnen</b>	<b>--</b>
8.2.1	Zahnradbahnen	--
8.2.2	Standseilbahnen	--
8.2.3	Güterstraßenbahnen	--
8.2.4	Personentransportsysteme	--

---

## Anhang

Abkürzungen	--
Index	--
Quellenverzeichnis	--
Inserenten	--
Autoren	--



Hier könnte  
Ihre Anzeige stehen.

# 1 Grundlagen

## 1.1 Bau und Betrieb von Schienenfahrzeugen

### 1.1.1 Einführung

Der Begriff „Schienenfahrzeuge“ steht in der Regel für Fahrzeuge von Bahnen, die auf mit Spurkranz versehenen Rädern auf zwei parallel angeordneten Schienen fahren und sowohl Güter als auch Personen befördern. Zu den Schienenbahnen zählen neben der Eisenbahn auch vergleichbare Systeme wie beispielsweise die Straßen- oder Untergrundbahn.

Die Eisenbahn zählt heute zu den wichtigsten technischen Innovationen des 19. Jahrhunderts. Sie hat nicht nur die industrielle Revolution angetrieben und beschleunigt, sondern auch die alltäglichen Erfahrungsräume der Menschen nachhaltig verändert. Dabei wurde die Eisenbahn vom Anfang ihres Bestehens an nach dem Werkstoff benannt, aus dem ein wesentliches Element ihres Fahrwegs besteht: der eiserne Schiene. Die Spurgebundenheit und die geringe Reibung zwischen Rad und Schiene sind die wesentlichen Merkmale dieses Verkehrsmittels.



Abb. 1-1: Die DIN 25003 definiert Schienenfahrzeuge als spurgebundene Fahrzeuge, die von mit Spurkranz versehenen Rädern auf Gleisen einer bestimmten gleichbleibenden Spurweite geführt und getragen werden.

Foto: Deutsche Bahn AG/Bartłomiej Banaszak

Auch zahlreiche Stadtverkehrsfahrzeuge fahren auf Schienen. Dabei bewegen sich Straßenbahnfahrzeuge überwiegend im Straßenraum auf einem straßenbündigen Bahnkörper. Ihre Betriebsweise passt sich den Eigenarten des Straßenverkehrs an, z. B. im Bremsvermögen oder der Fahrt auf Sicht. Dagegen verkehren Hoch- und Untergrundbahnen (U-Bahnen) grundsätzlich auf einem besonderen Bahnkörper, der im Innenstadtbereich meist unterirdisch im Tunnel oder aufgeständert ausgeführt ist. U-Bahnen unterscheiden sich hinsichtlich der Aufgaben und Einsatzbedingungen erheblich von Straßenbahnsystemen, da sie vergleichbar der Eisenbahn auf Zugsicherung fahren. Eine Mischung aus Straßen- und U-Bahn ist die Stadtbahn, die sowohl wie eine U-Bahn im Tunnel als auch oberirdisch wie eine Straßenbahn verkehrt. Stadtbahnfahrzeuge müssen daher die grundsätzlichen Eigenschaften von Straßen- und U-Bahn-Fahrzeugen aufweisen.



\* Im Nahverkehr existieren teilweise auch abweichende Rad-Schiene-Paarungen (z. B. Gummirad/Stahlschiene bei der Metro Paris).

Abb. 1-2: Einordnung der Schienenfahrzeuge innerhalb der spurgeführten Fahrzeuge

Abbildung: Jürgen Janicki

## Rad-Schiene-System

Die Verbindung zwischen dem Radsatz des Schienenfahrzeugs und der Schiene ist die wesentliche Schnittstelle im System Bahn. Dabei übernimmt der Radsatz die Spurhaltung des Fahrzeugs (Führen), stützt das Fahrzeuggewicht ab (Tragen) und überträgt in der Regel auch kraftschlüssig die zur Fahrzeugbewegung erforderlichen Antriebs- und Bremskräfte (Antreiben). Der betriebssichere und ruhige Lauf wird nicht nur durch das Laufwerk eines Fahrzeugs, sondern auch durch das zu befahrende Gleis bestimmt. Das Rad-Schiene-System stellt damit eine technologische Einheit dar, die aufgrund der sehr komplexen Wechselwirkungen äußerst sensibel auf einseitige Änderungen reagiert. In der Vergangenheit wurden deshalb beide Komponenten immer gemeinsam weiterentwickelt.



### 1.1.2 Europäische Richtlinien und Verordnungen

Als Folge der Liberalisierungspolitik der EWG (Europäische Wirtschaftsgemeinschaft) sowie ihrer Nachfolgeorganisationen EG (Europäische Gemeinschaft) und EU (Europäische Union) haben sich die rechtlichen Rahmenbedingungen für Eisenbahnen in Europa seit Mitte der 1990er-Jahre grundlegend geändert.

In der Vergangenheit war das Eisenbahnsystem weitgehend durch Staatsbahnen geprägt, die Bahnnetze und Eisenbahnverkehrsleistungen als Monopol betrieben. Dies übte auch einen starken Einfluss auf die Entwicklungsprozesse der Bahnindustrie aus. Die Eisenbahnsysteme und deren technische Komponenten wurden national entwickelt und sind deshalb oftmals inkompatibel mit den Systemen anderer Länder.

Seitdem vollzog sich im europäischen Eisenbahnsystem ein tief greifender struktureller Wandel. Die Staatsbahnen wurden in Wirtschaftsunternehmen umgewandelt und der Schienenmarkt für Dritte geöffnet. Die Strom- und Sicherungssysteme sind in Europa historisch bedingt unterschiedlich und die daraus resultierenden Betriebsvorschriften weichen voneinander ab. Trotzdem soll ein einheitlicher Eisenbahnraum (Single European Rail Area) entstehen. Gleichzeitig soll der Bahnsektor effizienter, integrierter und moderner werden und schneller auf Kundenwünsche reagieren. Dies erfordert neben der Marktöffnung des Schienenverkehrs für mehr Wettbewerb auch die technische Harmonisierung der verschiedenen Bahnsysteme und die Modernisierung der Infrastruktur. Dazu waren zahlreiche Maßnahmen im Bereich des Eisenbahnrechts erforderlich, die sich mit der Liberalisierung der Schienennetze und der Schaffung eines einheitlichen Eisenbahnraums beschäftigten.

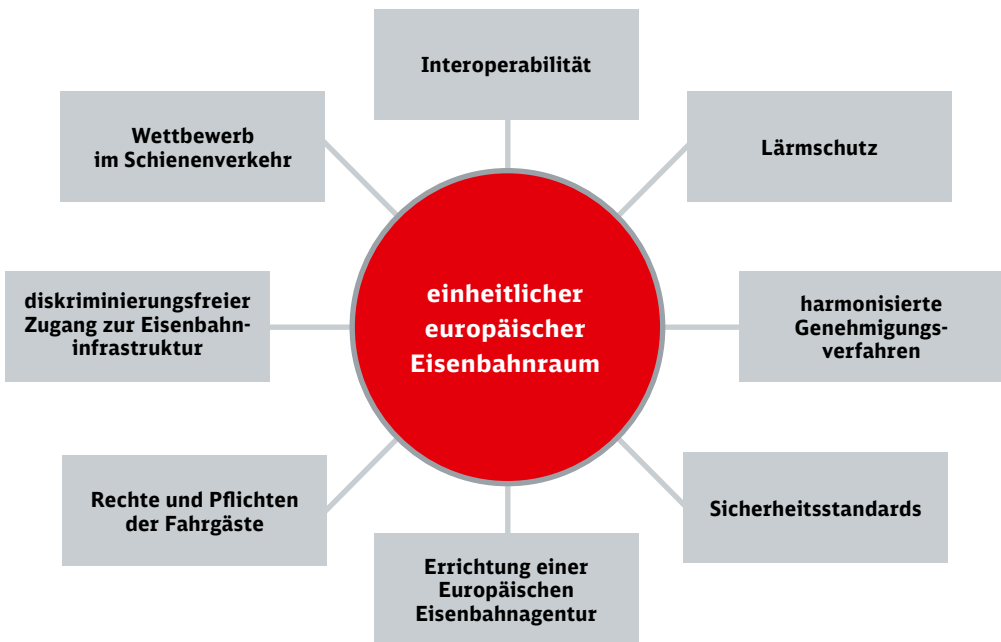


Abb. 1-3: Regelungsinhalte innerhalb der Europäischen Union mit Eisenbahnbezug

Abbildung: Jürgen Janicki

Die zur Harmonisierung des Eisenbahnrechts notwendigen Veränderungen waren im Wesentlichen Ergebnis von zahlreichen Richtlinien (RL) und Verordnungen (VO) sowie von vier „Eisenbahnpaketen“. Mit Ausnahme der Verordnungen sind die einzelnen Rechtsakte nicht unmittelbar anwendbares Recht, sondern durch die Mitgliedstaaten in nationales Recht umzusetzen.

- **1991:** Die RL 91/440/EWG war ein erster Schritt zur Deregulierung der Eisenbahnen innerhalb Europas. Sie forderte eine größere Unabhängigkeit der Bahnen vom Staat, die rechnerische und organisatorische Trennung zwischen dem Betrieb der Eisenbahninfrastruktur und der Erbringung der Verkehrsleistung sowie einen diskriminierungsfreien Zugang für Dritte.
- **1995:** Zur weiteren Konkretisierung wurden RL 95/18/EG und RL 95/19/EG über die Genehmigung von Eisenbahnunternehmen, Zuweisung von Fahrwegkapazität und Berechnung von Weegeentgelten (Trassenpreise) erlassen.
- **2001:** Das 1. Eisenbahnpaket (RL 2001/12/EG, RL 2001/13/EG und RL 2001/14/EG) beinhaltete die Trennung von Netz und Betrieb, die Verbesserung des Zugangs zur Infrastruktur, die Liberalisierung des internationalen Güterverkehrs, die Erteilung von Genehmigungen und die Einrichtung unabhängiger Genehmigungsstellen (Konkretisierung der RL 95/18/EG).
- **2004:** Das 2. Eisenbahnpaket (RL 2004/49/EG, RL 2004/50/EG, RL 2004/51/EG und VO 881/2004/EG) hatte die Verbesserung der Sicherheit und die vollständige Öffnung des europäischen Schienengüterverkehrs zum Inhalt. Darüber hinaus wurde mit der Errichtung einer Europäischen Eisenbahnagentur (European Railway Agency; abgekürzt ERA) mit Sitz in Valenciennes (Frankreich) eine zentrale Stelle für Interoperabilitäts- und Sicherheitsbelange geschaffen. Die ERA soll die Integration der europäischen Eisenbahnsysteme fördern und so einen wichtigen Beitrag zur Stärkung und Modernisierung des europäischen Eisenbahnwesens liefern.
- **2007:** Das 3. Eisenbahnpaket (RL 2007/58/EG, RL 2007/59/EG, VO 1370/2007/EG und VO 1371/2007/EG) beinhaltete die Liberalisierung des Schienenpersonenverkehrs, die Zertifizierung von Triebfahrzeugführern (Triebfahrzeugführerschein) sowie die Rechte und Pflichten der Fahrgäste.
- **2008:** Die RL 2008/57/EG (Zusammenlegung der älteren RL 96/48/EG und 2001/16/EG) legte die Bedingungen fest, die für die Verwirklichung der Interoperabilität des Eisenbahnsystems innerhalb der EU erfüllt sein müssen. Diese Bedingungen betreffen neben Planung, Bau, Inbetriebnahme, Umrüstung, Erneuerung, Betrieb und Instandhaltung von Bestandteilen dieses Systems auch die Punkte Umweltschutz und technische Kompatibilität.
- **2012:** Die RL 2012/34/EU beinhaltete die Stärkung des Wettbewerbs im Schienensektor („Recast“ des ersten Eisenbahnpakets).
- **2016:** Das 4. Eisenbahnpaket hat zwei Säulen. Die „Technische Säule“ (VO EU 2016/796, RL EU 2016/797, RL EU 2016 798) hat die Interoperabilität des Eisenbahnsystems der EU zum Thema und ersetzt die RL 2008/57/EG. Darüber hinaus gibt es für die Zulassung von Schienenfahrzeugen neue Zuständigkeiten, Befugnisse, Pflichten und Verfahrensabläufe. Die „Politische Säule“ (RL EU 2016/2370, VO EU 2016/2337 und VO EU 2016/2338) hat die Marktöffnung des Personenverkehrs zum Schwerpunkt.

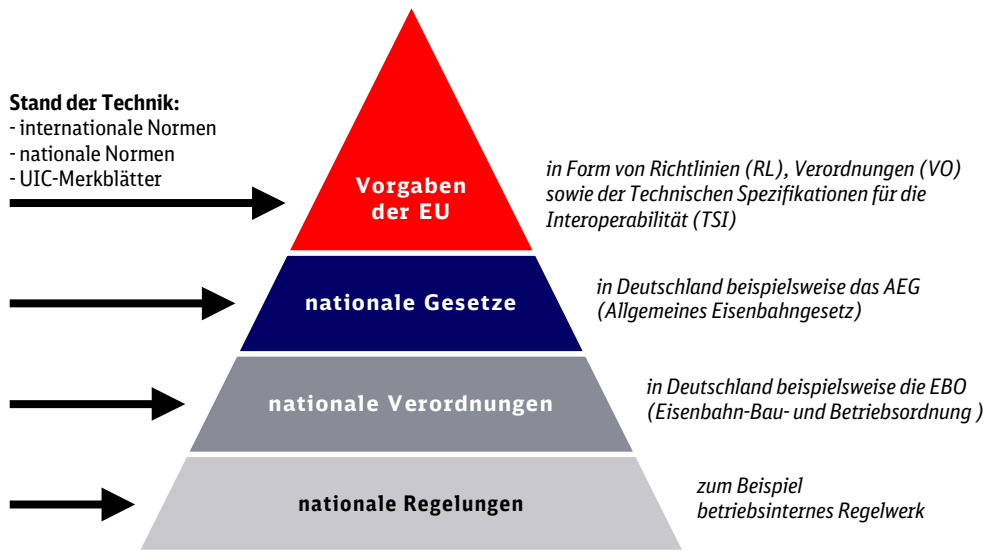


Abb. 1-4: Regelungspyramide für Eisenbahnen

Abbildung: Jürgen Janicki

### Technische Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI)

Der Begriff Interoperabilität beschreibt die Fähigkeit eines Schienenfahrzeugs, die Schienennetze innerhalb des einheitlichen europäischen Eisenbahnraums durchgängig und sicher zu nutzen. Das Gesamtsystem ist nur dann interoperabel, wenn die technischen Schnittstellen zwischen den verschiedenen Teilsystemen aufeinander abgestimmt sind.

Mit den „Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität“ (TSI) hat die EU für das europäische Eisenbahnsystem ein Regelwerk erlassen und so den rechtlichen Rahmen für eine Angleichung der verschiedenen technischen Systeme der Mitgliedstaaten geschaffen. Aufgrund seines Umfangs und seiner komplexen Struktur wurde das Gesamtsystem Eisenbahn in Teilsysteme wie beispielsweise Fahrzeuge, Infrastruktur oder Betrieb gegliedert, für die jeweils eigene TSI erstellt wurden. In diesen wird für das jeweilige Teilsystem beschrieben, in welcher Weise die in den Richtlinien festgelegten grundlegenden Anforderungen an die Interoperabilität erfüllt werden sollen. Die TSI enthalten auch Verfahrensweisen, wie die Einhaltung der Regeln geprüft werden soll. Jedes Teilsystem wird einer gesonderten Prüfung unterzogen. Damit soll festgestellt werden, inwieweit die Bestandteile des Teilsystems einzeln und innerhalb des Teilsystems sowie anhand der definierten Schnittstellen mit anderen Teilsystemen ganzheitlich zusammenwirken und die europäischen Vorgaben erfüllt sind.

Ursprünglich bestanden für das Hochgeschwindigkeitsbahnsystem und für das konventionelle Bahnsystem eigene Richtlinien. Seit 2016 gelten die TSI für beide Systeme gleichermaßen und umfassen auch den erweiterten Bereich der nationalen Schienennetze. Die TSI gelten in der Regel nicht für städtische Schienenbahnen (Straßenbahnen, Stadtbahnen sowie Hoch- und U-Bahnen) sowie für Bahnen im Privateigentum, die für den eigenen Güterverkehr oder zur nicht gewerblichen Personenbeförderung genutzt werden.

Teilsystem	Technische Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI)
<b>Infrastruktur</b>	<b>TSI INF</b> (infrastructure)
<b>Energie</b>	<b>TSI ENE</b> (energy)
<b>Fahrzeuge:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lokomotiven und Personenwagen*</li> <li>■ Güterwagen</li> <li>■ Lärm</li> </ul>	<b>TSI LOC &amp; PAS</b> (locomotives and passenger rolling stock)* <b>TSI WAG</b> (wagons) <b>TSI NOI</b> (noise)
<b>Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung</b>	<b>TSI CCS</b> (control-command and signaling)
<b>teilsystemübergreifende TSI:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ eingeschränkt mobile Personen</li> <li>■ Sicherheit in Eisenbahntunnel</li> </ul>	<b>TSI PRM</b> (persons with reduced mobility) <b>TSI SRT</b> (safety in railway tunnel)

\* gilt auch für Triebzüge und Triebwagen sowie mobile Ausrüstungen für Bau und Instandhaltung von Eisenbahninfrastrukturen

Abb. 1-5: Gliederung der TSI

Quelle: www.eisenbahn-cert.de

### 1.1.3 Nationales Eisenbahnrecht (Deutschland)

In Deutschland bildet das Grundgesetz die Grundlage für den öffentlichen Schienenverkehr. Der Bund hat die ausschließliche Gesetzgebung über den Verkehr von Eisenbahnen des Bundes, den Bau, die Unterhaltung und das Betreiben von Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes sowie die Erhebung von Entgelten für deren Benutzung. Für die Schienenbahnen, die nicht Eisenbahnen des Bundes sind, haben die Länder die Befugnis der konkurrierenden Gesetzgebung, solange und soweit der Bund von seiner Gesetzgebungszuständigkeit nicht durch Gesetz Gebrauch macht.

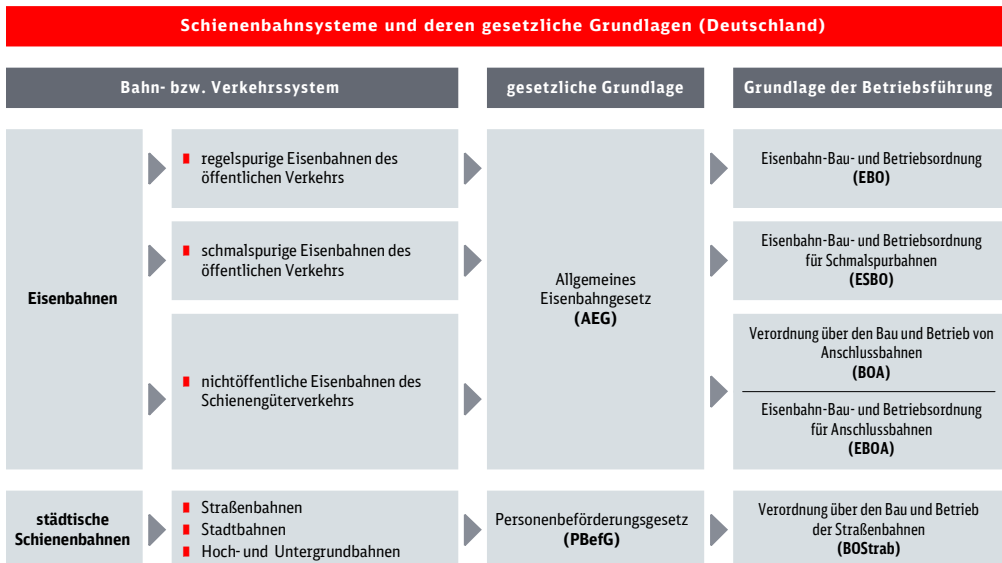


Abb. 1-6: rechtliche Grundlagen für den schienengebundenen Verkehr in Deutschland

Abbildung: Jürgen Janicki

## Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG)

Ein Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) behandelt diejenigen Fragen des Eisenbahnwesens, die bundesrechtlich zu regeln sind. Es dient der Umsetzung oder Durchführung von Rechtsakten der Europäischen Gemeinschaften oder der Europäischen Union im Bereich des Eisenbahnrechts und ist auch wesentliche Rechtsgrundlage für eine Vielzahl nachrangiger Rechtsverordnungen. Das AEG verpflichtet die Eisenbahnen des Bundes und die nichtbundeseigenen Eisenbahnen zur sicheren Betriebsführung und zur Einhaltung eines sicheren Zustands ihrer Infrastruktur, ihrer Fahrzeuge und ihres Zubehörs. Darüber hinaus enthält es die Ermächtigungen zur Eisenbahnaufsicht, die Vorgaben für die Planfeststellung und die Regelungen zum Erfordernis und zum Erhalt von Betriebsgenehmigungen oder Sicherheitsbescheinigungen beziehungsweise -genehmigungen. Eisenbahnen im Sinne des AEG sind Schienenbahnen mit Ausnahme der Straßenbahnen und der nach ihrer Bau- oder Betriebsweise ähnlichen Bahnen wie beispielsweise Bergbahnen.

## Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO/ESBO)

Bau und Betriebsführung von Eisenbahnen unterliegen der Betriebsführung der EBO (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung) beziehungsweise ESBO (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Schmalspurbahnen). EBO und ESBO sind Rechtsverordnungen des Bundesministers für Verkehr über den Bau und Betrieb von Eisenbahnen des öffentlichen Verkehrs in der Bundesrepublik Deutschland. Sie gelten gleichermaßen für die Eisenbahnen des Bundes wie auch für nichtbundeseigene Eisenbahnen (NE-Bahnen).

EBO und ESBO sind keine unmittelbaren Betriebsvorschriften, sondern geben nur den gesetzlichen Rahmen vor, den die Eisenbahnen mit eigenem betrieblichem Regelwerk gestalten müssen. Sie enthalten unter anderem die Rahmenvorschriften über die Ausgestaltung der Bahnanlagen und der Fahrzeuge sowie die Grundsätze für den Bahnbetrieb. Mit diesen Verordnungen soll erreicht werden, dass Bahnanlagen und Fahrzeuge so beschaffen sind, dass sie den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügen. Diese Anforderungen gelten als erfüllt, wenn die Bahnanlagen und Fahrzeuge den Vorschriften der EBO beziehungsweise ESBO und, soweit diese keine ausdrücklichen Vorschriften enthält, den anerkannten Regeln der Technik entsprechen. Von den anerkannten Regeln der Technik kann abgewichen werden, wenn dabei mindestens die gleiche Sicherheit gewährleistet bleibt. Die Beweislast dafür trägt derjenige, der von den anerkannten Regeln der Technik abweicht.

Für Bahnen des nichtöffentlichen Schienengüterverkehrs mit eigener Betriebsführung und eigenen Betriebsmitteln haben die jeweiligen Landesbehörden Regelungen in einer BOA (Verordnung über den Bau und Betrieb von Anschlussbahnen) sowie EBOA (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Anschlussbahnen) herausgegeben. Derartige Bahnen können unmittelbar oder vermittelt durch andere Anschlussbahnen auf öffentliche Eisenbahnen übergehen.

## Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab)

Deutschland ist weltweit das einzige Land mit einem eigenen, geschlossenen Regelwerk für städtische Schienenbahnen. Rechtsgrundlage ist hier das Personenbeförderungsgesetz (PBefG); Bau und Betriebsführung regelt die Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab). Diese gilt nicht nur für Bahnen in straßenbündigem Gleiskörper (Straßenbahn),

sondern auch für eisenbahnähnliche Systeme, die auf eigenem Gleiskörper geführt werden, wie beispielsweise Hoch- und Untergrundbahnen. Um den Anforderungen der unterschiedlichen Systeme gerecht zu werden, ist die BOStrab im Gegensatz zur EBO flexibler und lässt Anpassungen an die historisch gewachsenen, lokalen Gegebenheiten der jeweiligen Kommunen ausdrücklich zu. Ein Mischbetrieb zwischen beiden Betriebsordnungen entsteht, wenn Fahrzeuge sowohl auf BOStrab- als auch auf EBO-Strecken verkehren. Diese müssen deshalb für die Anforderungen beider Betriebsarten ausgelegt und zugelassen sein.

#### 1.1.4 Eisenbahnrecht in Österreich und der Schweiz

Obwohl die Schweiz kein Mitgliedsland der EU ist, wurde der diskriminierungsfreie Netzzugang ebenso umgesetzt wie die Trennung zwischen Infrastruktur und Betrieb. Weitere Anpassungen beinhalteten Aspekte wie die Interoperabilität im europäischen Bahnwesen und die Anpassung der schweizerischen an die europäischen Normen.

Vergleichbar dem in Deutschland geltenden AEG sind die rechtlichen Aspekte des öffentlichen Eisenbahnverkehrs in Österreich und der Schweiz in Eisenbahngesetzen geregelt (EBG in der Schweiz, EisbG in Österreich). Bau und Betrieb der Eisenbahnen regelt in der Schweiz die Eisenbahnverordnung (EBV), in Österreich die Eisenbahnbau- und Betriebsverordnung (EisbBBV), die inhaltlich weitgehend der EBO entspricht. Im Gegensatz zu Deutschland gelten in beiden Ländern Straßenbahnen (Trambahnen) als Eisenbahnen.



Abb. 1-7: schienengebundener Stadtverkehr in Wien

Foto: Wiener Linien

## 1.2 Systematik der Schienenfahrzeuge

### 1.2.1 Fahrzeugtypen

Für die unterschiedlichen Verkehrsarten und Aufgaben der Schienenverkehrsunternehmen gibt es heute eine große Zahl verschiedener Fahrzeugtypen. Schienenfahrzeuge werden allgemein nach der betrieblichen Verwendung und den dadurch bedingten baulichen Merkmalen unterteilt (Fahrzeugart). Daneben findet eine weitere Unterteilung in interoperable und nicht interoperable Fahrzeuge statt.

- Interoperable Fahrzeuge sind für den Verkehr auf der Gesamtheit oder einem Teil des Eisenbahnnetzes der Europäischen Union geeignet. Die Fahrzeuge sind nach den international gültigen Vorschriften und Prozessen gebaut und zugelassen.
- Nicht interoperable Fahrzeuge sind ausgelegt für städtische Schienenbahnen oder für den Einsatz in Netzen, die lokal begrenzt oder vom übrigen Eisenbahnsystem funktionell getrennt sind. Die Fahrzeuge sind nach den Vorgaben der nationalen Aufsichtsbehörden und ihren Ausführungsbestimmungen gebaut und zugelassen. Die Fahrzeuge können auf bestimmten Abschnitten des Eisenbahnnetzes der Europäischen Union zugelassen werden.

#### Regel- und Nebenfahrzeuge

Schienenfahrzeuge können nach ihrer Zweckbestimmung in Regel- und Nebenfahrzeuge unterschieden werden. Je nach Land werden Nebenfahrzeuge auch als Spezialfahrzeuge, Sonderfahrzeuge, Betriebsfahrzeuge oder Dienstfahrzeuge bezeichnet.

- Regelfahrzeuge sind die für den regelmäßigen Betrieb einer Bahn notwendigen Fahrzeuge. Sie können in der Regel unter Beachtung bestimmter Beschränkungen wie beispielsweise der Geschwindigkeit oder Zuladung ohne weitere Prüfung im Bahnbetrieb verwendet werden. Vielfach wird eine weitere Unterteilung der Regelfahrzeuge in Personen- oder Güterfahrzeuge vorgenommen.
- Nebenfahrzeuge dienen speziellen Aufgaben der Bahnen. Meistens werden sie zur Instandhaltung und Wartung von Bahnanlagen eingesetzt. Da ihre baulichen Merkmale aus wirtschaftlichen und technischen Gründen für den jeweiligen Verwendungszweck angepasst sind, unterliegt ihre Verwendung Beschränkungen. Nebenfahrzeuge dürfen nur dann in Züge eingestellt oder wie Züge behandelt werden, wenn sie dafür extra zugelassen sind. In der Regel müssen sie den jeweiligen Bauvorschriften (z. B. in Deutschland der EBO/ESBO) nur so weit entsprechen, wie es für ihren Sonderzweck erforderlich ist.





Abb. 1-8: Gleiskraftwagen für die Wartung und Instandhaltung von Bahnanlagen

Foto: Christoph Seelbach/Kölner Verkehrs-Betriebe AG

## Unterscheidung nach der Antriebsform

Was den Antrieb betrifft, kann eine Unterteilung der angetriebenen Fahrzeuge in Elektro-, Brennkraft- oder Dampffahrzeuge vorgenommen werden.

- Elektrofahrzeuge beziehen ihre Energie in der Regel über Fahrleitungsanlagen (Oberleitungs- oder Stromschienenanlagen).
- Brennkraftfahrzeuge besitzen zur Energieerzeugung eine „Brennkraftmaschine“ – in der Regel einen Dieselmotor. Dieser wandelt die chemische Energie des Kraftstoffs in Wärmeenergie und diese in mechanische Arbeit um.
- Dampffahrzeuge erzeugen ihre Energie durch kohle-, holz- oder ölgefeuerten Dampfkessel oder mit fremder Energieversorgung und Speicherung in einem Dampfspeicher. Die Leistungsübertragung erfolgt durch eine Dampfmaschine (Kolbendampfmaschine, Dampfturbine).

## Normung DIN 25003

In Deutschland fand eine Normung der Schienenfahrzeuge erstmals 1990 mit der Herausgabe des Entwurfs der DIN 25003 „Systematik der Schienenfahrzeuge“ statt. Darin finden sich neben der Systematik der spurgeführten Fahrzeuge auch die dazugehörigen Begriffsdefinitionen. Dabei bezieht sich die DIN 25003 bei den Erläuterungen zur Systematik der Schienenfahrzeuge auch auf die einschlägigen Gesetze und Verordnungen wie beispielsweise die EBO oder BOStrab.



## 1.2.2 Eisenbahnfahrzeuge

Die Transportaufgaben von Eisenbahnverkehrsunternehmen lassen sich in zwei große Gruppen einteilen: den Personen- und den Güterverkehr. Die dem eigentlichen Transport dienenden Fahrzeuge weisen in beiden Fällen teilweise stark voneinander abweichende Bauformen auf. Während in Fahrzeugen des Personenverkehrs verhältnismäßig geringe Lasten mit großer Geschwindigkeit, hoher Anfahrbeschleunigung und Bremsverzögerung bei einem Höchstmaß an Laufruhe und Komfort befördert werden, dienen Güterzüge dem Transport großer Lasten bei mittleren Geschwindigkeiten und entsprechend kleineren Beschleunigungen und Verzögerungen. Somit ergibt sich die Notwendigkeit einer getrennten Entwicklung von Fahrzeugen des Personenverkehrs und Güterzügen aus den verschiedenen Transportbedingungen.

### Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen

Eisenbahnfahrzeuge werden im Betrieb häufig zu einem Zug kombiniert. Dabei kommen verschiedene Fahrzeugkombinationen zum Einsatz. Lokomotiven, Triebwagen und ein Großteil der Nebenfahrzeuge können aber auch unabhängig (alleinfahrend) eingesetzt werden.

Lokbespannte Züge bestehen aus einer oder auch mehreren Lokomotiven, meist an der Zugspitze, und einer Reihe von gekuppelten und nicht angetriebenen Wagen. Die Vorteile dieses Zugkonzepts bestehen darin, dass der Zug entsprechend den unterschiedlichen betrieblichen und kommerziellen Anforderungen zusammengestellt werden kann. Angetriebene Fahrzeuge und Wagen sind in der Regel frei tauschbar. Güterzüge werden nach wie vor fast ausschließlich so betrieben. Nachteile des Konzepts ergeben sich dadurch, dass bei Fahrtrichtungsänderungen, z. B. in Kopfbahnhöfen, die Lokomotive getauscht werden muss. Bei Wendezügen wird dieses Problem durch den Einsatz spezieller Steuerwagen gelöst, die über einen voll ausgerüsteten Führerstand verfügen, über den die Lokomotive gesteuert werden kann.

Triebzüge sind von der Bauart her aufeinander abgestimmte Fahrzeuggruppen, deren Zusammensetzung nur in der Werkstatt geändert werden kann. Die Einzelfahrzeuge können angetrieben oder nicht angetrieben sein. Zu den Triebzügen zählen beispielsweise auch Fahrzeugeinheiten mit einem Triebkopf und einem (nicht angetriebenen) Steuerwagen an den Fahrzeugenden. Bei Triebzügen können mehr Achsen als beim lokbespannten Zug angetrieben werden, die Kraftschlussausnutzung sinkt. Dadurch lassen sich größere Steigungen überwinden.

Triebwagenzüge bestehen aus betrieblich trennbaren Mehrfachtraktionen von Einzeltriebwagen beziehungsweise Einzeltriebzügen. Die schnelle Trennung oder Verstärkung von Zugverbänden im Betrieb wird durch die Verwendung von automatischen Mittelpufferkuppelungen möglich, was das Flügeln von Zügen und grundsätzlich eine flexible Anpassung an Lastspitzen im Tagesablauf zulässt.

## Triebfahrzeuge

angetriebene Fahrzeuge ohne Nutzlastbeförderung, die zum Bewegen nicht angetriebener Fahrzeuge benutzt werden

### Lokomotive



Triebfahrzeug, das auch von einem Zug abgekuppelt und unabhängig betrieben werden kann

### Rangierlok



Triebfahrzeug, das in der Regel für Rangierzwecke genutzt wird

### Triebkopf



Triebfahrzeug an der Spitze oder am Ende einer Triebzugeinheit zum Bewegen von kurzgekuppelten Mittel- und/oder baugleichen Steuerwagen

### Antriebseinheit



Triebfahrzeug ohne Führerraum (Entkupplung im normalen Betrieb nicht vorgesehen)

## Triebzüge/Triebwagen

angetriebene Fahrzeuge mit Nutzlastbeförderung

### Triebzug



von der Bauart her aufeinander abgestimmte Fahrzeuggruppe, deren Zusammensetzung nur in der Werkstatt geändert werden kann

### Triebwagen



Einzelfahrzeug, das selbsttätig als Zug fährt (kann auch zum Bewegen nicht angetriebener Fahrzeuge benutzt werden)

## Wagen

nicht angetriebene Fahrzeuge, die in Zugverbände (Züge) eingestellt werden

### Reisezugwagen (und andere artverwandte Wagen)



Einzelfahrzeug zur Beförderung von Fahrgästen und/oder Gepäck

### Güterwagen



Einzelfahrzeug zur Beförderung von Gütern

## Zugverbände (Züge)

betriebsfähige Zusammenstellungen aus einer oder mehreren Einheiten, die im Betrieb getrennt werden können

### lokbespannter Zug (Reisezug oder Güterzug)



aus einem oder mehreren Triebfahrzeugen und Wagen bestehende Zusammenstellung

### Triebwagenzug



aus mehreren Triebwagen beziehungsweise Triebzügen bestehende Zusammenstellung

## mobile Ausrüstungen

Fahrzeuge mit oder ohne Fahrtrieb für den Bau und die Instandhaltung der Strecke und der Infrastruktur

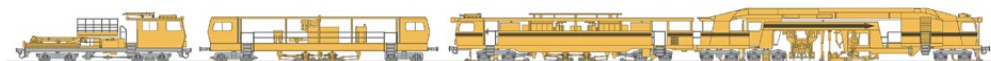


Abb. 1-9: Eisenbahnfahrzeuge und Fahrzeugkombinationen

Quellen: DIN 25003 und TSI, Abbildung: Jürgen Janicki

## Triebfahrzeuge

Triebfahrzeuge sind Fahrzeuge mit Fahrtrieb, die zur Zugförderung benutzt werden oder selbsttätig als Zug fahren. Sie werden entweder unmittelbar bedient oder ferngesteuert. Dabei wird unter Fernsteuerung die Regelung der Antriebs- und Bremskraft durch eine Steuereinrichtung von einem führenden Fahrzeug, z. B. von einem Steuerwagen aus, oder durch Fernsteuerung verstanden. Triebfahrzeuge werden in Lokomotiven (Kurzform: Lok), Triebköpfe und Triebwagen unterschieden.

Formal ist die Zuordnung eines Fahrzeugs zu einer Fahrzeuggruppe nicht immer eindeutig. Dies gilt speziell für Fahrzeuge ohne Fahrtrieb, die nur in Kombination mit einem anderen angetriebenen Fahrzeug einer exakt definierten Bauart eingesetzt werden können. Hierzu zählen beispielsweise die nicht angetriebenen Steuer-, Mittel- und Beiwagen beim ICE. Rein formal werden diese Fahrzeuge deshalb in der Regel auch den Triebfahrzeugen zugeordnet.

Triebfahrzeuge werden, wenn sie eine bestimmte Leistungsklasse und Höchstgeschwindigkeit unterschreiten und überwiegend im Rangierdienst eingesetzt werden, auch als Kleinlokomotiven bezeichnet.



Abb. 1-10: aus drei Triebzügen der Baureihe 440 bestehender Triebwagenzug; links eine Lokomotive der Baureihe 101

Foto: Deutsche Bahn AG/Uwe Mieth

## Reisezugwagen

Reisezugwagen dienen der Beförderung von Personen beziehungsweise dem Transport von Gütern in Reisezügen. Im Betriebseinsatz werden sie von Lokomotiven gezogen oder geschoben. Bei geschobenen Zügen befindet sich an der Zugspitze ein Steuerwagen mit Führerraum, von dem aus der Triebfahrzeugführer die Fahr- und Bremssteuerung des Triebfahrzeugs bedient. In der DIN 25003 sind Reisezugwagen wie folgt kategorisiert:

- Personenwagen der Regelbauart sind Reisezugwagen nach vereinheitlichten Baugrundsätzen zur überwiegenden Beförderung von Reisenden. Zu dieser Gruppe gehören Sitzwagen mit Fahrgasträumen in Abteil- oder Großraumausführung gegebenenfalls mit besonderen Räumen für Reisegepäck, Klein- oder Postgut.

- Personenwagen der Sonderbauart sind Reisezugwagen mit Sonderausstattung zur überwiegenden Beförderung von Reisenden. Beispiele für Fahrzeuge dieser Gruppe sind Liege-, Speise-, Schlaf- und Gesellschaftswagen.
- Gepäckwagen sind Wagen zur Beförderung von Gütern (z. B. Reisegepäck, Postgut, Expressgut und Pkw) vorwiegend in Reisezügen.
- Steuer-, Mittel- und Beiwagen sind Wagen in Triebwagen- oder Reisezugwagenbauart, die in der Regel mit ausrüstungsgleichen Fahrzeugen eingesetzt werden. Steuerwagen besitzen zusätzlich einen Führerraum und Einrichtungen zur Fernsteuerung von Triebfahrzeugen.
- Doppelstockwagen sind Wagen der Regelbauart, bei denen die Reisenden in zwei Ebenen untergebracht werden.
- Maschinenwagen sind Wagen, die Einrichtungen zur Energieversorgung eines Zuges enthalten.
- Der Gliederzug ist ein mehrteiliger Zug, der aus allein nicht betriebsfähigen Einzelgliedern besteht.



Abb. 1-11: Personenwagen der Sonderbauart (Liegewagen)

Foto: ÖBB

## Güterwagen

Güterwagen dienen dem Transport von Gütern und werden überwiegend in Güterzügen eingesetzt. Bei den Eisenbahnen stellen sie die weitaus größte Gruppe an Schienenfahrzeugen. Güterwagen unterscheiden sich nach DIN 25003 wie folgt:

- Güterwagen der Regelbauart sind vielseitig verwendbare Wagen ohne besondere Einrichtungen. Sie werden zur Beförderung verpackter, unverbundener oder palettierter Güter eingesetzt. Zu dieser Gruppe gehören neben einfachen offenen und gedeckten Güterwagen auch Flachwagen.



- Güterwagen der Sonderbauart sind Ein- oder Mehrzweckwagen, die in der Regel mit zusätzlichen Einrichtungen für die Beförderung bestimmter Ladegüter ausgerüstet sind. Beispiele für Fahrzeuge dieser Gruppe sind spezielle Lkw- und Pkw-Transportwagen, aber auch Selbstentladewagen mit sattelförmig oder einseitig geneigten Böden.
- Güterwagen der Spezialbauart sind in der Regel Einzweckwagen zum Transport nur einer Art von Gütern. Ihre Bauform richtet sich nach der Art des Ladeguts sowie dessen Verladung und Beförderung. Ein Beispiel für Fahrzeuge dieser Gruppe sind Pfannenwagen für heißflüssige Güter.

## Hochgeschwindigkeitszüge

Das transeuropäische Eisenbahnsystem umfasst neben dem konventionellen Bahnsystem (CR = Conventional Rail System) auch ein Hochgeschwindigkeitsbahnsystem (HS = High Speed Rail System). Zum Hochgeschwindigkeitsbahnsystem gehört der Fahrbetrieb mit einer Betriebsgeschwindigkeit von mindestens 190 km/h.

Die TSI teilt die Fahrzeuge entsprechend ihrer Höchstgeschwindigkeit in Klassen ein: Klasse 1 für Fahrzeuge mit einer Höchstgeschwindigkeit von mindestens 250 km/h und Klasse 2 für Fahrzeuge mit einer Höchstgeschwindigkeit von 190 bis 249 km/h. In aller Regel besitzen Fahrzeuge für den Hochgeschwindigkeitsverkehr elektrische Antriebe. Diesel- oder Gasturbinenfahrzeuge wurden in der Vergangenheit zwar erprobt, ihr planmäßiger Einsatz beschränkt sich jedoch auf wenige Ausnahmen.



Abb. 1-12: Hochgeschwindigkeitszüge ICE der DB AG

Foto: Deutsche Bahn AG/Oliver Lang

Hochgeschwindigkeitszüge bestehen meist aus untrennbaren Triebzueinheiten, die teilweise zusammengekuppelt eingesetzt werden. Darüber hinaus fallen auch bestimmte klassische lokbespannte Züge in diese Rubrik, wenn sie mit einer Geschwindigkeit von 190 km/h fahren können und bestimmte Kriterien erfüllen.

Um hohe Geschwindigkeiten erzielen zu können, wird eine relativ hohe Antriebsleistung benötigt und der Zug zugleich so leicht wie möglich gebaut. Aufgrund der Leichtbauweise und des geringen Luftwiderstands konnte der Energiebedarf der Fahrzeuge deutlich gesenkt werden. Die für ihre Masse äußerst stark motorisierten Züge sind heute in der Lage, wesentlich größere Steigungen zu überwinden als herkömmliche Züge. Nicht zuletzt deshalb ist der Bau reiner Hochgeschwindigkeitsstrecken möglich, was deutlich Baukosten spart.

### 1.2.3 Stadtverkehrsfahrzeuge

Stadtverkehrsfahrzeuge sind Fahrzeuge für Schienenbahnen, die überwiegend in Verkehrssystemen des Stadtverkehrs oder in abgegrenzten Bereichen wie beispielsweise Flughäfen zur Beförderung von Personen eingesetzt werden.



Abb. 1-13: Straßenbahn in der englischen Stadt Nottingham

Foto: Michael Rüffer

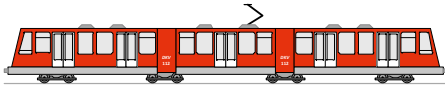
Stadtverkehrsfahrzeuge können wie folgt unterschieden werden:

- Fahrzeug, das als Straßenbahn (Trambahn) am öffentlichen Verkehr teilnimmt und den Verkehrsraum öffentlicher Straßen benutzt. Die meist niederflurig ausgeführten Fahrzeuge passen sich mit ihren baulichen und betrieblichen Einrichtungen sowie ihrer Betriebsweise der Eigenart des Straßenverkehrs an. Ihre Stromzuführung erfolgt in der Regel über eine Oberleitung.
- Fahrzeug, das nicht am öffentlichen Verkehr teilnimmt und als Hoch- oder Untergrundbahn ausschließlich auf besonderen Bahnkörpern mit Zugsicherungseinrichtungen betrieben wird. Die Betriebsweise gleicht oder ähnelt derer der Eisenbahnen. Ihre Stromzuführung erfolgt meist aufgrund des dann kleineren erforderlichen Tunnelquerschnitts über Stromschiene, kann aber auch über Oberleitung erfolgen.
- Fahrzeug, das als Stadtbahn sowohl auf straßenabhängigen wie auch unabhängigen Bahnen eingesetzt wird. Dabei müssen die Anforderungen beider Betriebssysteme abgedeckt werden (z. B. Fahrt auf Zugsicherung und Sicht, Berücksichtigung der Eigenarten des Straßenverkehrs). Die Stromzuführung erfolgt in der Regel über eine Oberleitung.

### Fahrzeugkonzepte

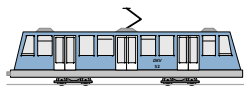
Stadtverkehrsfahrzeuge können in den nachfolgend dargestellten Ausführungen vorkommen. Dabei sind Fahrzeuge für Hoch- und Untergrundbahnen in der Regel als Doppel- oder Mehrteiltriebfahrzeug ausgeführt. Die nachfolgend dargestellten Fahrzeuge können einzeln oder im Zugverband betrieben werden und als Ein- oder Zweirichtungsfahrzeug ausgeführt sein.

#### Gelenktriebwagen



mehrteiliges angetriebenes Fahrzeug, dessen einzelne Wagen über Gelenke verbunden sind

#### Einzeltriebwagen



einzelnes angetriebenes Fahrzeug (kann mit einem nicht angetriebenen Beiwagen zu einem Zugverband ergänzt werden)

#### Doppel- oder Mehrteiltriebwagen



angetriebenes Fahrzeug, das aus mindestens zwei Wagen besteht, die betriebsmäßig nicht trennbar sind

Abb. 1-14: Fahrzeugkonzepte bei Stadtverkehrsfahrzeugen. Die jeweiligen Fahrzeuge sind hoch- oder niederflurig ausgeführt.

Abbildung: Jürgen Janicki

# 1.3 Systemkomponenten von Schienenbahnen

## 1.3.1 Zusammenwirken der Komponenten

Schienenbahnen sind komplexe Systeme, die aus zahlreichen technischen und funktionellen Einzelkomponenten bestehen. Deren Zusammenspiel ist aufgrund verschiedener systemtechnischer Besonderheiten – wie beispielsweise der Spurbindung – sehr komplex. Zwischen den einzelnen Systemkomponenten bestehen zahlreiche Verknüpfungen und Abhängigkeiten.

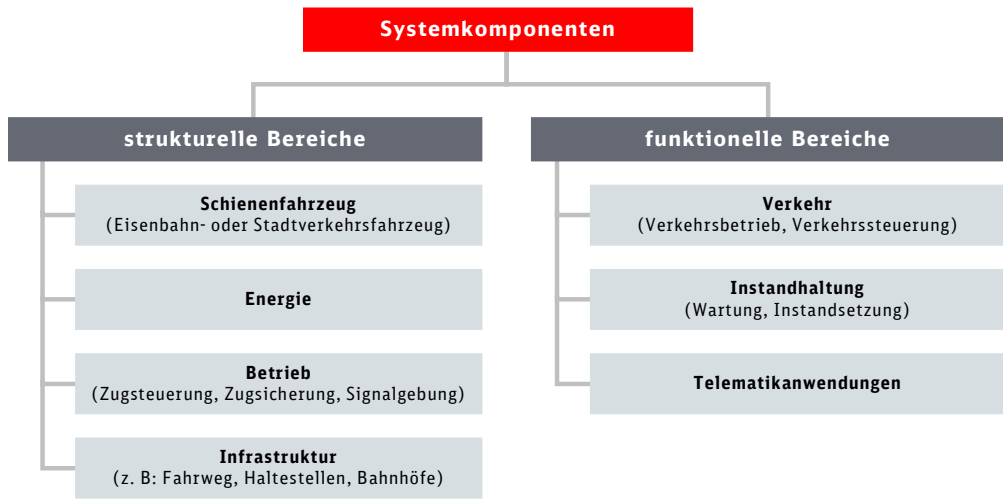


Abb. 1-15: wichtigste Teilsysteme eines Schienenbahnsystems

Abbildung: Jürgen Janicki

### Betrieb

Unter dem Begriff Betrieb sind hier alle Tätigkeiten und Ausrüstungen zusammengefasst, die für das Bewegen von Schienenfahrzeugen und zur Gewährleistung der Sicherung, Steuerung und Kontrolle von Fahrzeug- und Zugbewegungen erforderlich sind. Neben dem Fahren von Zügen gehören zum Betrieb auch die Zugbildung und das Notfallmanagement. Die Bedeutung des Teilsystems Betrieb ist besonders hervorzuheben, da es entscheidende Auswirkungen auf die Infrastruktur, den Fahrplan und das rollende Material hat. Eine Aufgabe dieses Teilsystems besteht darin, die Bewegung von Fahrzeugen durch Signale zu beeinflussen. Stellwerke dienen dazu, in den Regelungsprozess von Fahrzeugbewegungen sichernd einzugreifen und damit deren reibungslosen Ablauf zu gewährleisten.

### Infrastruktur

Die Infrastruktur – vielfach auch als Bahnanlage bezeichnet – umfasst neben den Grundstücken alle Bauwerke und Einrichtungen, die zur unmittelbaren Abwicklung des Verkehrs auf der Schiene erforderlich sind. Infrastruktur gliedert sich in Fahrweganlagen wie beispielsweise Gleise, Tunnel und Brücken sowie Anlagen, die dem Bahnbetrieb in den Bahnhöfen dienen.



Für den Infrastrukturzugang ist die Kompatibilität eines Schienenfahrzeugs mit den technischen, betrieblichen und sicherheitlichen Anforderungen des zu befahrenden Netzes von entscheidender Bedeutung. Die Zugangsbedingungen zu einem Netz werden bei Eisenbahnen von den Betreibern der Infrastruktur in Form von Schienennetz-Benutzungsbedingungen veröffentlicht. Durch Erfüllung der darin genannten Anforderungen stellt das Schienenverkehrsunternehmen beziehungsweise der Fahrzeughalter sicher, dass die von ihm eingesetzten Fahrzeuge sicher sowie störungs- und fehlerfrei auf dem Schienennetz zum Einsatz kommen und insbesondere die Anforderungen erfüllen.

Die Infrastruktur legt wesentliche Randbedingungen für die Teilsysteme Schienenfahrzeug und Betrieb fest. Beispielsweise sind die Spurweite der Gleise und die Lichtraumverhältnisse die wichtigste Grundlage für die Beschaffenheit und Dimensionierung der einzusetzenden Schienenfahrzeuge. Beschränkungen der Fahrzeuggewichte ergeben sich aus der Beschaffenheit des Fahrwegs sowie durch Kunstbauten wie Brücken und Tunnel.

Während Eisenbahnen große Gleisradien und geringe Neigungen aufweisen, sind bei städtischen Schienenbahnen die Radien klein und die Neigungen vergleichsweise hoch. Unterschiede bestehen auch hinsichtlich der Zugsicherung und -steuerung: Eisenbahnen fahren im „Raumabstand“, die Hauptbahnen weisen Vollsignalisierung und Zugbeeinflussung auf, was auch für nicht am öffentlichen Verkehr teilnehmende Stadtverkehrsfahrzeuge gilt; Straßenbahnen, die am öffentlichen Verkehr teilnehmen, fahren hingegen mit herkömmlichen Lichtsignalanlagen des Individualverkehrs auf Sicht.

### 1.3.2 Spurführungstechnik bei Schienenfahrzeugen

Eisenbahnen und städtische Schienenbahnen sind spurgeführte Systeme, bei denen das Laufwerk – vielfach auch als Fahrwerk bezeichnet – die Führung der Fahrzeuge im Gleis, die Übertragung der Last sowie deren Federung übernimmt. Zusätzlich übernimmt das Laufwerk bei den angetriebenen Fahrzeugen in der Regel auch die Übertragung der Antriebskräfte und bei allen Fahrzeugen die Übertragung der Bremskräfte.

Im Laufwerk stellt der Radsatz die Verbindung zum Gleis her. Die zur Führung und Traktionserbringung von Schienenfahrzeugen erforderlichen Kräfte entstehen im Kontaktbereich von Rad und Schiene kraftschlüssig. Dabei wird unter Führen die Kraftübertragung in die Querrichtung bezogen zur Bewegungsängsrichtung des Fahrzeugs verstanden. Die Führung erfolgt über den Spurkranz sowie über die Fahrfläche des Rades im Kontakt zur Schiene.



Abb. 1-16: Das Laufwerk übernimmt die Führung der Fahrzeuge im Gleis, die Übertragung der Last sowie deren Federung.

Foto: Jürgen Janicki

## Rad-Schiene-Geometrie

Die Zusammenhänge bei der Spurführung von Schienenbahnen sind äußerst komplex und zudem für Eisenbahnen und städtische Schienenbahnen unterschiedlich. Der betriebssichere und ruhige Lauf wird nicht nur durch das Laufwerk eines Fahrzeugs, sondern auch durch das zu befahrende Gleis bestimmt. Das Rad-Schiene-System stellt damit eine technologische Einheit dar, die aufgrund der sehr komplexen Wechselwirkungen äußerst sensibel auf einseitige Änderungen reagiert. In Bezug auf die Rad-Schiene-Geometrie lassen sich folgende „Betriebssysteme“ definieren:

- Beim „Betriebssystem Eisenbahn“ wird die Rad-Schiene-Geometrie maßgeblich durch rillenlose Schienen auf unabhängigem Bahnkörper geprägt.
- Beim „Betriebssystem Straßenbahn/Stadtbahn“ wird die Rad-Schiene-Geometrie maßgeblich durch Rillenschienen im straßenbündigen Bahnkörper beeinflusst, muss aber auch die Belange rillenloser Schienen auf unabhängigem Bahnkörper abbilden können.
- Beim Mischsystem wird die Rad-Schiene-Geometrie maßgeblich durch den Übergang der Fahrzeuge aus dem Netz der städtischen Schienenbahn in das Eisenbahnnetz geprägt, da hier unterschiedliche Spurführungskriterien gelten, z. B. in Bezug auf Spurkranzhöhe und Radbreite.

In der Vergangenheit wurden die beiden Komponenten Rad-Schiene immer gemeinsam weiterentwickelt. So sind beispielsweise aufeinander abgestimmte Rad-Schiene-Profile die Voraussetzung dafür, gute Fahreigenschaften zu erzielen und den Verschleiß zu minimieren.

In der Geschichte der Bahnen sind die Fahrwerke stetig weiterentwickelt worden, insbesondere im Hinblick auf höhere Geschwindigkeiten und Lasten.

### Radsatz

Bei der überwiegenden Zahl der Schienenfahrzeuge besteht der Radsatz aus zwei parallelen und in ihrer axialen Mittellinie durch eine Welle verbundenen Rädern. Das Lauf- und Schwingungsverhalten eines Radsatzes wird von den zwischen Rad und Schiene wirkenden Kräften geprägt, die in ihrer Größe und Wirkung von der Geometrie der Berührung, aber auch den Kraftschlussverhältnissen abhängen. Das heute übliche Radprofil wird im Prinzip seit den Anfangstagen der Eisenbahn verwendet. Es besteht aus einem innen liegenden Spurkranz und einer Lauffläche (Fahrfläche), die als Kegel mit einer bestimmten Neigung ausgeführt ist. Beide Räder sind ein komplettes System: Beide Radreifen-Laufflächen sind als Doppelkegel ausgebildet und drehen sich gemeinsam.



Abb. 1-17: Radsätze

Foto: Jürgen Janicki

### Losradsatz

Bei Straßenbahnfahrzeugen und in geringem Umfang auch bei Eisenbahnfahrzeugen kommen auch Radpaare zum Einsatz, die von zwei im geraden Gleis parallel zueinander ausgerichteten Rädern gebildet werden, die nicht durch eine durchgehende Welle miteinander verbunden sind. Dadurch können sich die beiden gegenüberliegenden Räder unabhängig voneinander um ihre Querachse drehen, während die anderen Relativbewegungen aber wie beim Radsatz blockiert sind. Bei Straßenbahnen existieren auch angetriebene Losradsätze in Form von Radnabenantrieben.

## Profilform

Je nach Art der Bahn, Fahrzeugart, Raddurchmesser und Spurweite gibt es diverse Profile. In der Regel besteht das Profil aus einer kegeligen Lauffläche (Fahrfläche), dem meist kreisförmigen Übergangsbereich (Hohlkehle) sowie dem Spurkranz, der als steiler Kegel ausgeführt ist. Die Profilform beeinflusst das Laufverhalten des Fahrzeugs sehr stark. Verschleiß führt zu einer Änderung des Profils und damit auch der Laufeigenschaften. Untersuchungen zum Verschleißverhalten haben ergeben, dass sich nach kurzer Zeit eine charakteristische Verschleißform einstellt, die anschließend annähernd konstant bleibt. Dann ändert sich nur noch der Raddurchmesser. Dem wurde mit der Einführung von verschleißangepassten Radprofilen Rechnung getragen.

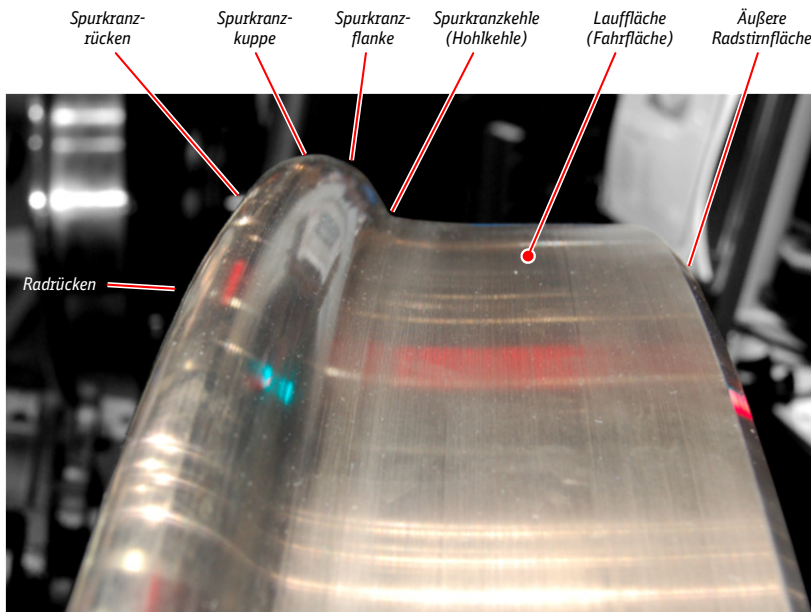


Abb. 1-18: spurführungstechnisch relevante Begriffe

Abbildung: Jürgen Janicki

## Sinuslauf

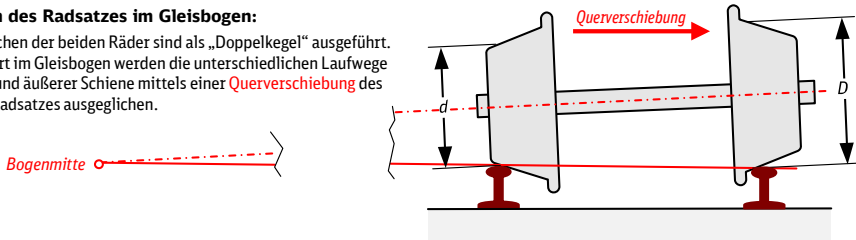
Die kegelige Form der Lauffläche führt im Zusammenspiel mit einer durchgehenden Radsatzwelle bei einem seitlichen Versatz der Radsatzeinheit relativ zur Schienenmitte zu einem Selbstzentrierungseffekt. Bei einem Radsatz, der außermittig steht, sind die Radradien an den beiden Berührungspunkten mit dem Gleis unterschiedlich.

Jede seitliche Auslenkung des Radsatzes führt zu einer entgegengesetzt gerichteten Kraft. Da beide Räder eines Radsatzes über die Achse starr miteinander verbunden sind, bewegt sich das Rad mit dem am Berührungspunkt größeren Radius ( $D$ ) schneller nach vorn als das Rad mit dem kleineren Radius ( $d$ ). Folglich lenkt ein zu weit rechts stehender Radsatz nach links, weil der Radradius am rechten Berührungspunkt größer ist als am linken; analog lenkt ein zu weit links stehender Radsatz nach rechts. So kommt es zu einer Längsbewegung des Radsatzes in Form einer Sinuskurve.

Der Radsatz pendelt sich in ein Gleichgewicht ein und stabilisiert sich. Die (geringe) Reibung am Berührungspunkt führt dazu, dass dieser Schwingbewegung ständig Energie entzogen wird, sodass die Amplitude ( $X$ ) der Sinusbewegung immer mehr abnimmt. Dies gewährleistet, dass ein Radsatz, der beispielsweise wegen eines Fehlers in der Gleislage oder einer Kurve in eine außermittige Lage geraten ist, nach einigen Sinusschwingungen wieder in die mittige Lage zurückkehrt.

**Verhalten des Radsatzes im Gleisbogen:**

Die Laufflächen der beiden Räder sind als „Doppelkegel“ ausgeführt. Bei der Fahrt im Gleisbogen werden die unterschiedlichen Laufwege an innerer und äußerer Schiene mittels einer **Querverschiebung** des gesamten Radsatzes ausgeglichen.



**Verhalten des Radsatzes auf gerader Strecke:**

Die kegelförmige Form der Lauffläche des Rades führt zu einem **wellenförmigen Lauf** des Radsatzes (Sinuslauf), ohne dass es zum unmittelbaren Kontakt zwischen Spurkranz und Schiene kommen muss.

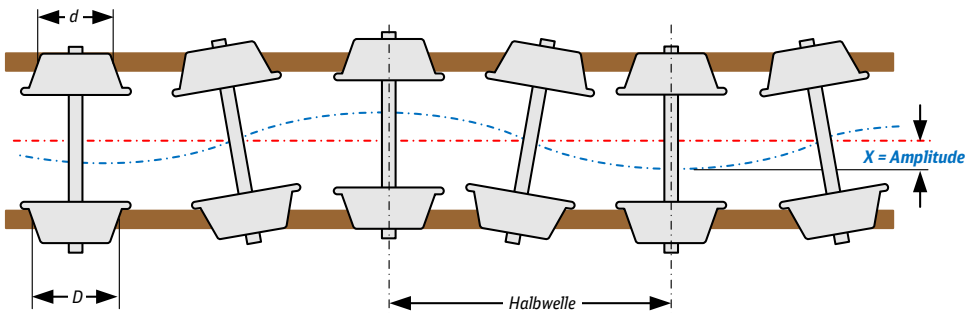


Abb. 1-19: Bewegung des Radsatzes im Gleis

Abbildung: Jürgen Janicki

Die kegelförmige Form stellt darüber hinaus sicher, dass die im Gleisbogen abweichenden Laufwege der beiden Räder ausgeglichen werden. Dieser Effekt entsteht durch eine Querverschiebung des Radsatzes und den daraus resultierenden unterschiedlichen Radien in den Berührungspunkten des bogeninneren und bogenäußeren Rades. Anders gesagt: Die beiden Räder eines Radsatzes rollen mit unterschiedlich wirksamen Durchmessern auf der Schiene ab, wobei das Rad mit dem größeren Durchmesser bei der gemeinsamen Umdrehung auch den längeren Weg zurücklegt. Folglich stellt sich der Radsatz leicht schräg zum Schienenverlauf und läuft wieder etwas näher zur Schienenmitte.

Kommt der Berührungspunkt in den Bereich der Spurkranzflanke, ergibt sich eine hohe Rückstellkraft auf das Rad. So funktioniert der Selbstzentrierungseffekt unabhängig vom Spurkranz. Der Spurkranz ist eine zusätzliche Absicherung und verhindert das seitliche Verlassen der Schiene in Extremfällen.

Der Sinuslauf der Radsätze versetzt die Wagenaufbauten in waagerechte Schwingungen quer zum Gleis. Bei steigender Geschwindigkeit nimmt die Frequenz dieser Schwingungen zu. Fällt die Erregerfrequenz des Radsatzes mit der Eigenfrequenz des Wagenaufbaus zusammen, schaukeln sich die Schwingungen auf. Der Wellenlauf geht in einen Zickzacklauf über.



## Radsatz im Gleis

Das Zusammenwirken von Radsatz und Gleis wird maßgeblich von den relativen Positionen der Räder und Schienen zueinander geprägt. Die Schiene gibt die Spurweite vor, der Radsatz das Spurmaß. Das Maß der freien Beweglichkeit des Radsatzes im Gleis definiert das Spurspiel, dessen Größe entscheidend für das Laufverhalten des Schienenfahrzeugs ist. Meist berühren sich Rad und Schiene nur an einem Punkt auf ihrer Oberfläche. Es gibt jedoch auch Situationen, wo Mehrpunktberührung auftreten kann. Das ist von Nachteil, da es aufgrund der unterschiedlichen Laufkreisradien an den beiden Berührungspunkten zu hohem Längsschlupf und Verschleiß kommt.

## Radprofilarten

Im Eisenbahnbereich kommen bei den Schienen fast ausschließlich Vignolschienen zum Einsatz. Bei städtischen Schienenbahnen werden neben Vignolschienen bei straßenbündiger Führung der Gleise auch Rillenschienen verwendet, die zum Teil auch noch besonders kleine Kurvenradien aufweisen. Dadurch ergibt sich die Notwendigkeit, in beiden Bereichen unterschiedliche Radprofile zu verwenden. Mit Rücksicht auf andere Verkehrsteilnehmer wie beispielsweise Zweiradfahrer ist die Breite der Rillen in den Schienen beschränkt. Deshalb weisen die Räder der Straßenbahnfahrzeuge in der Regel geringere Spurkranzdicken auf.

Damit die Räder der Straßenbahnfahrzeuge auf den Außenseiten nicht über den Schienenkopf herausragen und so unter Umständen auf der Fahrbahn der Straßenfahrzeuge auflaufen, weisen sie eine geringere Laufflächenbreite auf. Die Spurkranzkuppe der Straßenbahnfahrzeuge ist abgeflacht, da auf ihm regulär Flachrillenherzstücke in Weichenanlagen befahren werden. Beim Mischbetrieb von Fahrzeugen auf EBO- und BOStrab-Netzen sind hier besondere spurführungstechnische Lösungen zu schaffen.

Während im Eisenbahnbereich inzwischen eine weitgehende Standardisierung der Radprofile erreicht ist, existieren bei städtischen Schienenbahnen aufgrund der straßenbahntypischen Inselbetriebe noch verschiedene Sonderformen.

**Profil A** für BOStrab-Strecken (Straßenbahnfahrzeuge)

**Profil C** für EBO-Strecken (Eisenbahnfahrzeuge)

**Profil B** als Mischform zwischen A und C für den Systemübergang zwischen BOStrab- und EBO-Strecken (Mehrsystemfahrzeuge)

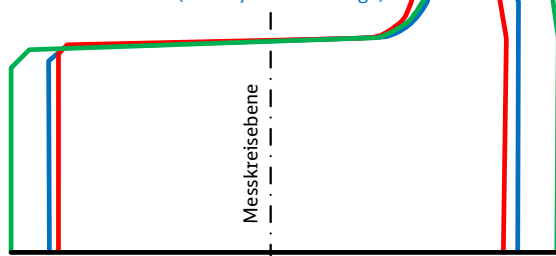


Abb. 1–20:  
Unterscheidung der Radprofile nach DIN 2511

## Profilverschleiß

Permanentes Abrollen, Fahrten im Gleisbogen, beim Antreiben und Bremsen wirkende Längsreibkräfte und Gewalteinflüsse führen zu einer kontinuierlichen Veränderung der Laufflächen und mithin zum Profilverschleiß. Maßabweichungen haben immensen Einfluss auf die Laufruhe sowie die Betriebssicherheit des Laufs. Je nach Auftreten der Materialabtragung wird zwischen Laufflächen- und Spurkranzverschleiß unterschieden.

Der Laufflächenverschleiß drückt sich in einer wachsenden Spurkranzhöhe aus. Besonders prägnant ist er beim Lauf des Radsatzes auf weitgehend geraden Strecken und bei hohen Zugkräften. Der Spurkranzverschleiß entsteht beim Befahren enger Gleisbögen, insbesondere im Straßenbahnbereich. Dabei wird der Spurkranz dünner und teilweise auch steiler. Dies schränkt seine Festigkeit ein und beeinträchtigt die Entgleisungssicherheit im Weichenbereich.

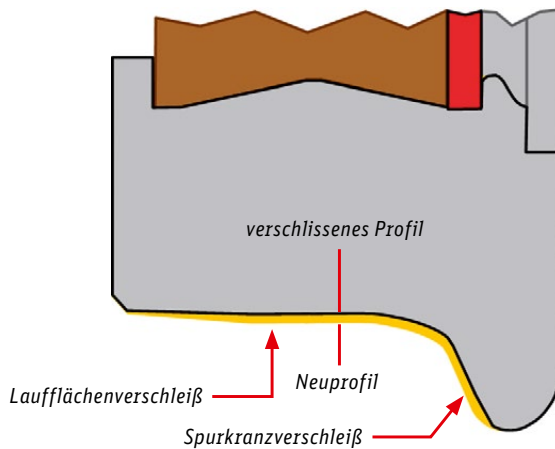
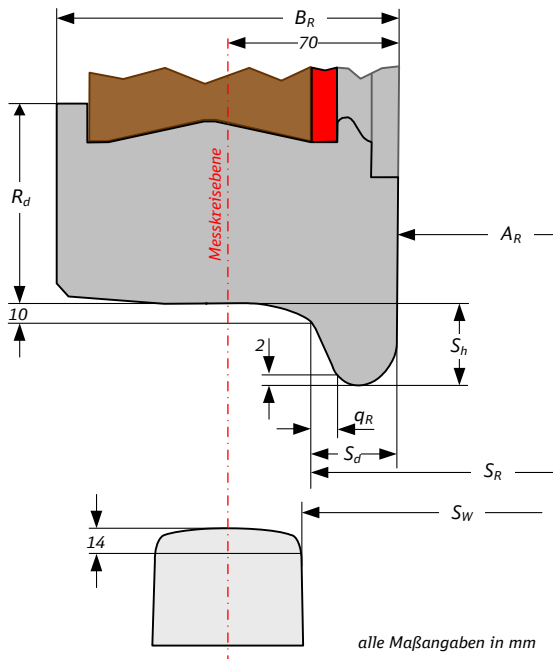


Abb. 1-21:  
Profilverschleiß

Für die Beurteilung der Betriebsfähigkeit eines Rades und zur Sicherstellung der Entgleisungssicherheit sind für das Radprofil Kennmaße und deren zulässige Abweichungen nach gesetzlichen Vorschriften definiert: die Spurkranzdicke  $S_d$ , die Spurkranzhöhe  $S_h$ , das  $q_R$ -Maß und das Spurmaß  $S_R$ . Bezugspunkt für diese Maße sind die Messkreisebene sowie ein Punkt am Spurkranz, der 10 mm oberhalb des Messpunkts auf der Messkreisebene liegt.

Um beim Befahren von Gleisbögen den übermäßigen Verschleiß des Spurkranzes zu vermeiden, der vom Anlaufen an die Schienenflanke verursacht wird, verfügen Fahrzeuge mit Fahntrieb und Steuerwagen über Einrichtungen zur Spurkranzschmierung.



- $A_R$**  = Abstand der inneren Stirflächen
- $B_R$**  = Radreifen-/Radkranzbreite
- $q_R$**  = Spurkranzflankenmaß  
Maß zur Beurteilung der Spurkranzabnutzung
- $R_d$**  = Radreifendicke  
Dicke des Radreifens in Messkreisebene
- $S_h$**  = Spurkranzhöhe
- $S_d$**  = Spurkranzdicke  
wichtiges Maß zur Errechnung des Spurmaßes
- $S_W$**  = Spurweite  
kleinster Abstand der Innenflächen der Schienenköpfe im Bereich von 0 bis 14 mm unter Schienenoberkante
- $S_R$**  = Spurmaß  
Abstand zweier Bezugspunkte am Spurkranz
- Spurspiel** =  $S_W - S_R$   
Differenzmaß zwischen Spurweite und Spurmaß

Abb. 1-22: Maße am Radsatz von Eisenbahnfahrzeugen: Die Verschleißgrenzmaße sind für regelspurige Fahrzeuge in den jeweiligen Bau- und Betriebsordnungen vorgeschrieben.

Abbildung: Jürgen Janicki

### 1.3.3 Kräfte zwischen Rad und Schiene

Das Verhalten eines Radsatzes im Gleis wird in erster Linie von den wirkenden Kräften bestimmt. Die Radkraft  $Q$  wirkt im Berührungspunkt am Rad. So entsteht eine Reaktionskraft, die Normalkraft  $N$ , die senkrecht zur Berührungsebene wirkt. Aufgrund der Profilneigung des Rades entsteht am Berührungspunkt zusätzlich eine Querkomponente, die Führungskraft  $Y$ . Diese drückt das Rad in Richtung Gleismitte. Die Höhe der Normalkraft  $N$  und der Führungskraft  $Y$  hängt von der Profilneigung im Berührungspunkt ab, dessen Lage sich mit der relativen Position von Rad und Schiene ändert.

Der Zusammenhang zwischen der Profilneigung und den Kräften ist nicht linear und die Normalkraft  $N$  steigt im Bereich des Spurkranzes stark an. Im Normalfall treffen Rad und Schiene in einem Berührungspunkt aufeinander. Findet ausnahmsweise eine Mehrpunktberührung statt, dann verursachen die unterschiedlichen Laufkreisradien der Berührungsflächen einen hohen Längsschlupf und Verschleiß. Da Rad und Schiene relativ elastisch sind, verformen sie sich in Abhängigkeit von der Größe der Normalkraft  $N$ . Somit ist der Berührungspunkt bei genauer Betrachtung kein Punkt, sondern eine mehr oder weniger große elliptische Berührungsfläche.



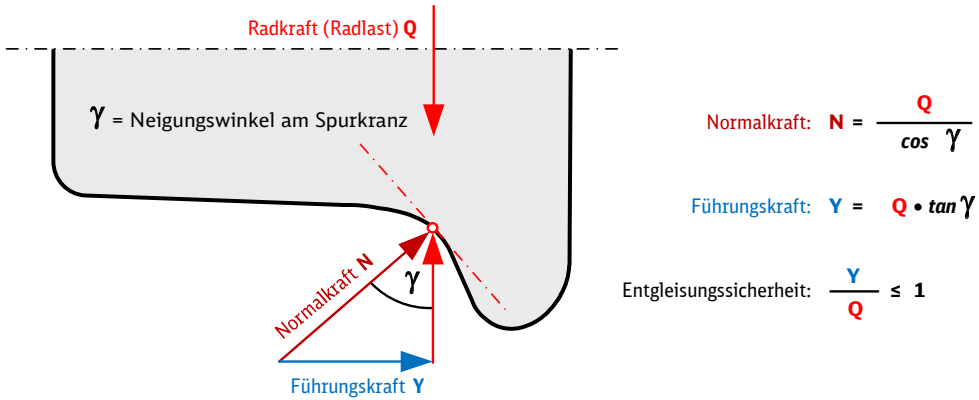


Abb. 1-23: Kräfte am Berührungspunkt (bei Einpunktberührung)

Abbildung: Jürgen Janicki

### Entgleisungssicherheit

Die Sicherheit gegen Entgleisung ergibt sich aus dem Kräftespiel zwischen dem Rad und der Schiene. Hier beschreibt das Verhältnis der Radkraft zur Führungskraft die Entgleisungsfähigkeit. Dieses Verhältnis sollte kleiner eins sein.

### 1.3.4 Spurweite

Die Spurweite ist definiert als der kleinste Abstand der beiden Schienen zueinander. Die Regelspurweite beträgt 1.435 mm. Größere Spurweiten bezeichnet man als Breitspur, kleinere Spurweiten als Schmalspur. Bei den eingesetzten Fahrzeugen unterscheidet die DIN 25003 Regelspur-, Schmalspur-, Breitspur- und Spurwechselfahrzeuge.

Gemessen wird die Spurweite bei Eisenbahnfahrzeugen im Bereich von 0 bis 14 mm unter der Schienenoberkante. Abweichend dazu wird bei Schmalspurbahnen der Bereich von 0 bis 10 mm betrachtet. Der Toleranzbereich für die Regelspurweite beträgt -5/+35 mm. In Gleisbögen wird die Spurweite geringfügig erweitert, um ein „Klemmen“ der Räder zu verhindern.

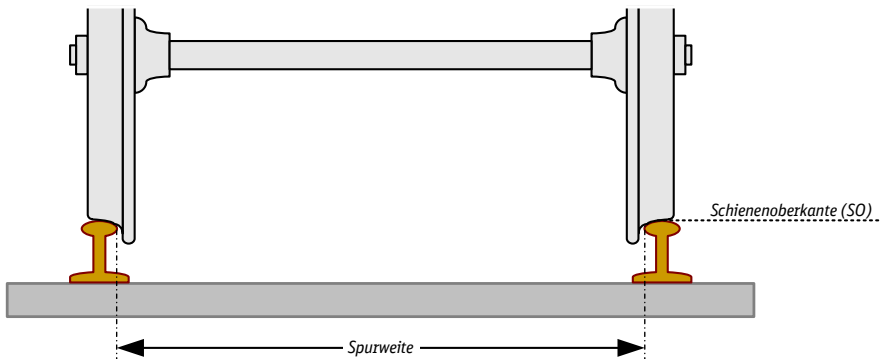
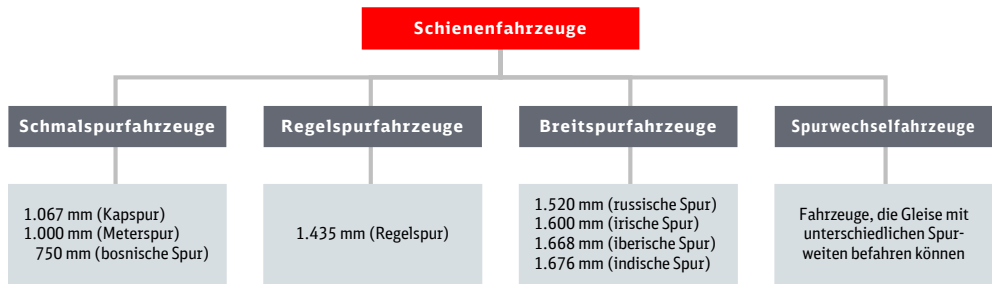


Abb. 1-24: Einteilung der Schienenfahrzeuge nach der Spurweite

Abbildung: Jürgen Janicki

## Regelspur

Am weitesten verbreitet ist heute die Regelspur (Normalspur) mit einer Spurweite von 1.435 mm; eine Spurweite, die nahezu zufällig zustande kam. Sie wurde im Nordosten Großbritanniens für die von Pferden gezogenen Wagen verwendet und von den Erbauern der ersten Lokomotiven in dieser Gegend einfach übernommen. Später entwickelte sie sich nach und nach zum Standard, und zwar nicht nur in Europa, sondern weltweit.

## Breitspur

An zweiter Stelle stehen die verschiedenen Breitspurstrecken. Die gebräuchlichste ist die „indische“ Spur mit 1.676 mm, die auch in verschiedenen anderen Ländern zu finden ist. Die „iberische“ Spur, die durch Mittelung der spanischen und portugiesischen Breitspur entstanden ist, weist mit 1.668 mm ähnliche Abmessungen auf. Weit verbreitet sind noch die „irische“ Spur mit 1.600 mm und die „russische“ Spur in den GUS-Staaten (Russland, Ukraine, Weißrussland) sowie in Finnland mit 1.520 mm.

## Schmalspur

An dritter Stelle stehen die verschiedenen Schmalspurstrecken. Die meistbenutzte Spurweite ist dabei die „Kapspur“ mit 1.067 mm, die nach dem Kap von Südafrika benannt ist, wo erstmals derartige Strecken in großem Maßstab gebaut wurden. Heute lassen sich Strecken in dieser Spurweite auch in Japan und Australien finden. Ihr folgt die „Meterspur“ mit einer

Breite von 1.000 mm. Diese Spur gibt es in Brasilien, Indien, Asien und Afrika. In Europa sind größere Netze in dieser Spurweite in der Schweiz, Spanien, Frankreich und Italien zu finden. Oft wird die Meterspur zudem für Straßenbahnen benutzt. Ihr folgt mit 750 mm die „bosnische“ Spur, die erstmals während des Ersten Weltkriegs in Bosnien verwendet wurde, heute aber auch in anderen Ländern zu finden ist. Schmalspurige Bahnen in noch kleineren Spurweiten haben nur eine geringe Bedeutung. Zu finden sind sie bei Parkeisenbahnen, Industrie- und Werkbahnen, Militärbahnen sowie in der Landwirtschaft (Torfbahnen, Zuckerrübenbahnen).



Abb. 1-25: Schmalspurige Matterhorn-Gotthard-Bahn (Schweiz) mit einer Spurweite von 1.000 mm. Die im Gleis angeordnete Zahnstange dient dem Zahnradbetrieb (siehe Kapitel 9.2.1).

Foto: BVZ-Holding AG (Brig-Visp-Zermatt-Bahn)

### Systemwechsel (Spurwechsel)

Natürlich verhindern die unterschiedlichen Spurweiten, dass Regelspurwagen im durchgehenden Verkehr zu Bahnen mit abweichender Spurweite eingesetzt werden. Aber es gibt Lösungen in Form von umspurbaren beziehungsweise umachsabaren Spezialwagen, die einen durchgehenden Eisenbahnverkehr mit diesen Ländern ermöglichen. Selbstverständlich bietet sich als Alternative das Umladen auf Güterwagen der entsprechenden Spurweite oder der Transport in Containern an.

### 1.3.5 Infrastrukturtragfähigkeit und Fahrzeuggewicht

Bei der Konstruktion von Schienenfahrzeugen und bei der Bestimmung von Nutzlastgrenzen für Güterwagen muss die vertikale Tragfähigkeit der Infrastruktur auf der zu befahrenden Strecke berücksichtigt werden. Die technische Beschaffenheit der Infrastruktur (Gleis,

Unterbau, Erdbauwerke, Ingenieurbauwerke) ist nicht überall gleich; die Belastbarkeit der Strecken ist damit unterschiedlich. Dabei sind folgende Parameter von Bedeutung:

- die Radsatzlast (Achslast) als Maßstab für die Belastung des Oberbaus (Gleise, Schwellen, Schotter)
- die Masse je Längeneinheit als Maßstab für die Belastbarkeit von Kunstbauten (z. B. Brücken)
- die zugehörige maximale Geschwindigkeit

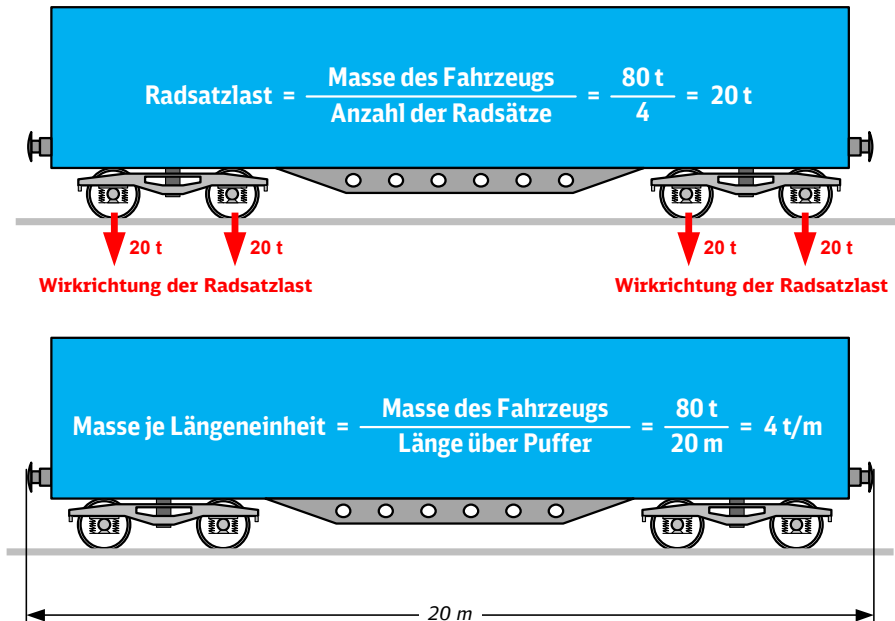


Abb. 1-26: Berechnung von Radsatzlast und Masse je Längeneinheit am Beispiel

Abbildung: Jürgen Janicki

Zur Sicherstellung der Kompatibilität zwischen dem Fahrzeug und der zu befahrenden Strecke wird das in der DIN EN 15528 beschriebene Klassifizierungssystem angewendet, bei dem die Tragfähigkeit der Strecken in Form von Streckenklassen beschrieben wird.

Bei städtischen Schienenbahnen erfolgt die Kennzeichnung der Streckenklasse mit dem Kleinbuchstaben a und einer zweistelligen Ziffer (zur Angabe der Radsatzlast). Bei Eisenbahnen werden dazu die Großbuchstaben A bis G (zur Angabe der Radsatzlast) und die Ziffern 1 bis 6 (zur Angabe der Masse je Längeneinheit) verwendet. Dabei werden nicht alle möglichen Buchstaben-Zahlen-Kombinationen genutzt. Jede Streckenklasse ist durch ein Lastmodell definiert, das auf Referenzfahrzeugen beruht. Zur Klassifizierung werden die Lastwirkungen verschiedener Fahrzeugtypen mit diesen Lastmodellen verglichen.

Das Gewicht, mit dem ein Güterwagen beim Befahren einer Strecke in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit höchstens beladen werden darf, wird als Lastgrenze bezeichnet und in einem Lastgrenzenraster am Wagen angeschrieben. Voraussetzung für die Ausnutzung der zulässigen Lastgrenzen ist die gleichmäßige Verteilung des Ladeguts auf der Ladefläche.

Masse je Längeneinheit	Streckenklasse und höchstzulässige Radsatzlast in Tonnen (t)									
	a*			A	B	C	D	E**	F**	G**
	10,0 t	12,0 t	14,0 t	16,0 t	18,0 t	20,0 t	22,5 t	25,0 t	27,5 t	30,0 t
2,0 t/m	a10									
2,4 t/m		a12								
2,8 t/m			a14							
5,0 t/m				A	B1					Für Strecken, auf denen diese höheren Radsatzlasten zugelassen sind, gelten nationale Regelungen.
6,4 t/m					B2	C2	D2			
7,2 t/m						C3	D3			
8,0 t/m						C4	D4***	E4		
8,8 t/m							D5	E5		
10,0 t/m								E6		

\* für städtische Schienenbahnen (Straßen- und Stadtbahnen sowie Hoch- und U-Bahnen)  
 \*\* für Schwerlastwagen  
 \*\*\* Standard für Neu- und Ausbaustrecken in Europa

Abb. 1-27: Übersicht der Streckenklassen

(Quelle: DIN EN 15528)

### 1.3.6 Regellichtraum und Fahrzeugabmessungen

Die sichere Betriebsdurchführung verlangt eine kollisionsfreie Fahrt in allen zulässigen Betriebszuständen. Daher dürfen die eingesetzten Fahrzeuge bestimmte Fahrzeugabmessungen nicht überschreiten. Auch ist der zum Gleis gehörende Raum von festen und beweglichen Gegenständen frei zu halten. Bei Eisenbahnen wird dieser als Regellichtraum bezeichnete Bereich von einer Lichtraumbegrenzungslinie umschlossen. Seine Abmessungen sind von Gleis- und Trassierungsparametern unabhängig.

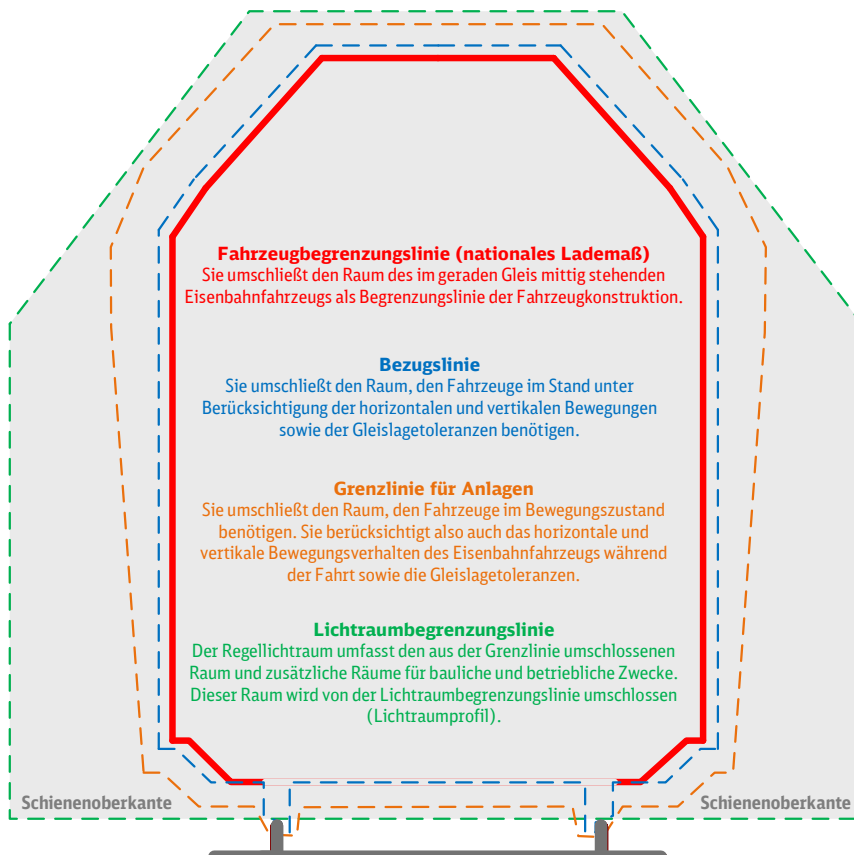


Abb. 1-28: Zusammenhang zwischen den verschiedenen Bezugs- und Grenzlinien

Abbildung: Jürgen Janicki

## Bezugslinien

Der Wunsch nach einem freizügigen Fahrzeugeinsatz führte bei den Eisenbahnen schon sehr früh zu Vereinbarungen, um die zulässigen Fahrzeugabmessungen festzulegen. Sie fanden ihren Niederschlag in der „Technischen Einheit im Eisenbahnwesen“ (TE), die in ihrer letzten modifizierten Fassung aus dem Jahr 1938 die Grundlage für den Bau von Reisezug- und Güterwagen für den internationalen Eisenbahnverkehr in Europa bildet.

Basis dieser Festlegungen sind definierte Bezugslinien, aus denen mittels Formeln sowohl die Fahrzeugbegrenzungslinie wie auch die Grenzlinien der ortsfesten Anlagen berechnet werden. Es sind zwei Bezugslinien definiert:

- Bezugslinie G1 für die Abmessungen der Fahrzeuge, die freizügig im grenzüberschreitenden Verkehr eingesetzt werden sollen
- Bezugslinie G 2 für die Abmessungen der übrigen Fahrzeuge

## Fahrzeugbegrenzungslinie

Die Fahrzeugbegrenzungslinie beschreibt die Umrisslinie, die bei der Konstruktion von keinem Fahrzeugteil überschritten werden darf. Gleiches gilt natürlich bei der Beladung eines Güterwagens für die Dimensionierung der Ladung.

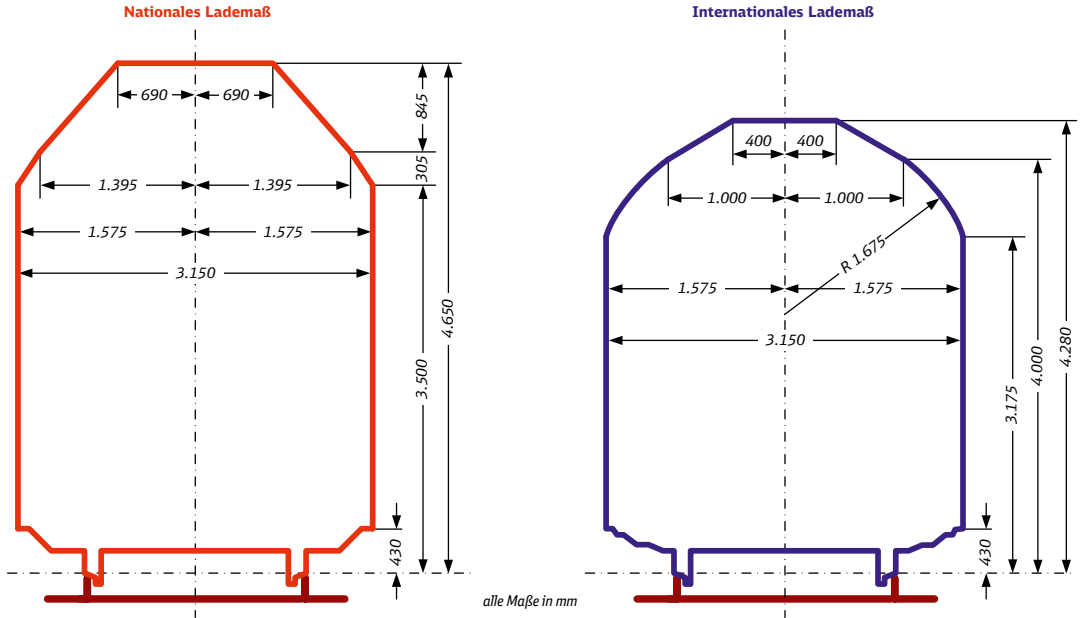


Abb. 1-29: Fahrzeugbegrenzungslinie (Lademaß)

Quelle: EBO

Bei der Berechnung dieser Linie wird davon ausgegangen, dass sich das Fahrzeug im Stillstand befindet und die Mittelstellung im geraden Gleis einnimmt. Somit hat die Fahrzeugbegrenzungslinie einen statischen Charakter, d. h., Bewegungen der Wagen während der Fahrt sind nicht berücksichtigt. Für die Berechnung der Fahrzeugabmessungen sind folglich die Maße der Bezugslinien entsprechend einzuschränken.

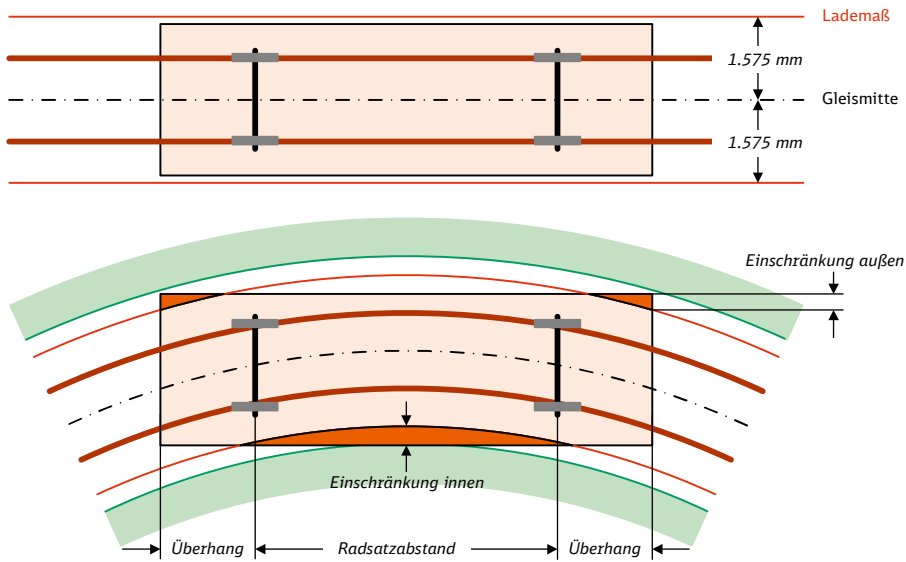


Abb. 1-30: Einschränkung der Ladebreite in Gleisbögen

Das Breitenmaß wird nicht nur mit Blick auf die europäischen Eisenbahnstrecken definiert. Auch die Veränderung des Fahrzeugbaus selbst spielt eine entscheidende Rolle bei den Festlegungen. Beispielsweise würde der Einbau einer weichen Federung ein Fahrzeug dermaßen stark beeinflussen, dass im Gleisbogenbereich ein Fahrzeug im Nachbargleis berührt werden könnte.

Um diese Berührungen zu vermeiden, muss nach den Berechnungen und gewünschter weicher Federung das Fahrzeug entsprechend schmal gebaut werden. Für Fahrzeuge in besonderen Einsatzbereichen des Fernschnellverkehrs und der Stadtschnellbahnen sind Überschreitungen der Maße der Bezugslinien mit besonderer Genehmigung zulässig.



Abb. 1-31: Lademaßüberschreitung: Transport auf einem Tiefladewagen der Bauart Uai

Foto: Deutsche Bahn AG



## Fahrzeuge für städtische Schienenbahnen

In Deutschland werden die Fahrzeugmaße durch die in der BOStrab festgelegten Höchstwerte begrenzt. Ein Regellichtraum mit Grenzlínen analog Eisenbahnen existiert hier nicht. Es wird lediglich ein für den sicheren Betrieb notwendiger freier Raum definiert, der zwischen Fahrzeug, Gleis sowie festen und beweglichen Gegenständen eingehalten werden muss und vom jeweiligen Betreiber individuell sicherzustellen ist. Als Fahrzeugmaße sind jedoch mit einer Breite von 2,65 m, oberhalb von 3.400 mm nur 2.250 mm, und einer Zuglänge von 75 m im Falle der Teilnahme am Straßenverkehr zwei für die Fahrzeuggestaltung elementare Maximalwerte festgelegt. Die Fahrzeughöhe ist – mit abgezogenem Stromabnehmer – auf 4.000 mm über Schienenoberkante beschränkt. U-Bahnen müssen sich nicht an diesen Begrenzungen orientieren und können prinzipiell frei konstruiert werden.



Hier könnte  
Ihre Anzeige stehen.



Das Fachbuch „Schienenfahrzeugtechnik“ ist ein etabliertes Standardwerk in der Aus- und Weiterbildung und erscheint in der nunmehr 4., überarbeiteten Auflage.

Aktuell stehen Schienenbahnsysteme vor großen Herausforderungen: Einerseits müssen sie den wachsenden Bedarf nach Beförderungs- und Transportleistungen decken und andererseits eine wirtschaftliche Alternative zu anderen Verkehrsträgern bieten. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der Diskussion um die Abgaswerte von Verbrennungsantrieben sind vollelektrische Schienenfahrzeuge ein naheliegender Schritt zur Elektromobilität. Auch sollen Schienenfahrzeuge in Zukunft nicht durch technische Barrieren ausgebremst werden. Deshalb arbeiten die Europäische Union, die Mitgliedsstaaten und zahlreiche Institutionen an der Harmonisierung der verschiedenen Bahnsysteme. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Ausrüstung von Eisenbahninfrastruktur und Fahrzeugen mit dem European Rail Traffic Management System (ERTMS).

Die 4., überarbeitete Auflage berücksichtigt diese Entwicklungen und stellt den aktuellen Stand der Schienenfahrzeugtechnik vor. Das Fachbuch erklärt die Funktionsweise aller Bauteile und Komponenten moderner Eisenbahn- und Stadtverkehrsfahrzeuge. Es enthält zahlreiche aktualisierte Abbildungen und berücksichtigt auch die Besonderheiten österreichischer und schweizerischer Fahrzeuge. Neue Entwicklungen wie Energiespeichersysteme und alternative Stromabnahmen werden ebenso berücksichtigt wie die Digitalisierung zahlreicher Fahrzeugkomponenten und die zunehmende Automatisierung von Fahrzeugfunktionen.

**LESEPROBE!**

---

**Bahn Fachverlag**

**[www.bahn-fachverlag.de](http://www.bahn-fachverlag.de)**

**ISBN: 978-3-943214-26-0**