

DB-Fachbuch

LESEPROBE!

Schienerfahrzeugtechnik

2. überarbeitete
und erweiterte Auflage

Jürgen Janicki
Horst Reinhard

Jürgen Janicki • Horst Reinhard

Schienefahrzeugtechnik

2. überarbeitete und erweiterte Auflage

Bahn Fachverlag Heidelberg • Mainz

Fotos auf dem Titel: DB AG/Schmid, Jürgen Janicki

© Copyright: Alle Rechte, auch die der Übersetzung in fremde Sprachen, bleiben dem Verlag vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages 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 Warenname ist. Ebenso wenig ist zu entnehmen, ob Patente oder Gebrauchsmusterschutz vorliegen.

Herausgeber:

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

ISBN: 978-3-9808002-5-9

1. Grundlagen

1.1 Übersicht

1.1.1 Einführung und Rückblick

Der Begriff „Schienenfahrzeuge“ steht in der Regel für Eisenbahnfahrzeuge, die auf paarweise und parallel angeordneten Schienen fahren sowie Güter und Personen befördern. Wie sieht es aber mit einer Hängebahn aus? Ist dies auch ein Schienenfahrzeug? Eine eindeutige Definition liefert die DIN-Norm 25003, die Schienenfahrzeuge einteilt und kategorisiert. Dort sind sie als spurgebundene Fahrzeuge definiert, die von mit Spurkranz versehenen Rädern auf Gleisen einer bestimmten gleichbleibenden Spurweite geführt und getragen werden. Insofern unterscheiden sich diese „konventionellen“ Bahnen von „unkonventionellen“ Bahnen wie der Magnetschwebebahn oder Hängebahn. Die „konventionellen“ Bahnen unterteilt die DIN 25003 weiter in Schienenfahrzeuge, Straßenbahn- und U-Bahnfahrzeuge sowie sonstige Fahrzeuge.

Die Transportaufgaben eines Schienenverkehrsunternehmens 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 ergab sich die Notwendigkeit einer getrennten



Foto: DB AG

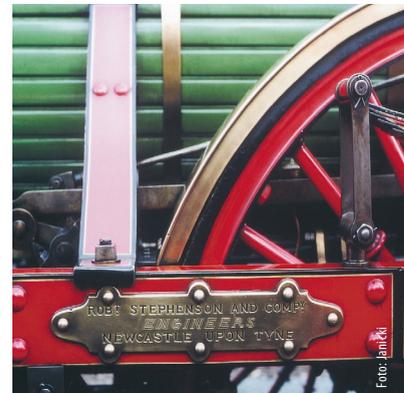


Foto: Jami Klu

Abbildung 1a (li./Abbildung 1b (re.):
In Deutschland fuhr der erste Zug 1835.
Die dort eingesetzte Lokomotive trug
den Namen „Adler“.

Entwicklung von Fahrzeugen des Personenverkehrs und Güterzügen aus den verschiedenen Transportbedingungen.

Die Eisenbahn ist eine der 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. In Deutschland wurde das Zeitalter der Eisenbahn am 7. Dezember 1835 auf der Strecke von Nürnberg nach Fürth eingeläutet. Die dort eingesetzte Dampflokomotive namens „Adler“ stammte aus der englischen Fabrik Georg Stephensons. Zur Eröffnung der Strecke Leipzig–Dresden kam 1839 die erste deutsche Lokomotive zum Einsatz. Die von Andreas Schubert entworfene „Saxonia“ war 45 km/h schnell. Sie entstand in der Maschinenfabrik Übigau bei Dresden und leitete den Lokomotivbau in Deutschland ein.

Die Eisenbahn verhalf der Wirtschaft vieler Länder zum Aufschwung, denn sie beförderte schwere Güter, beschleunigte den Warentransport und schuf eine verstärkte Nachfrage nach Eisen und Stahl für den Bau neuer Schienennetze. Zahlreiche Industriebetriebe entstanden; immer mehr Rohstoffe, Fertigwaren aber auch Arbeitskräfte wurden transportiert. Mit der Entwicklung der Eisenbahn veränderten sich aber nicht nur die Lebens- und Arbeitsbedingungen der Menschen. Darüber hinaus ermöglichte es die höhere Mobilität, überregionale Urlaubsziele zu erreichen, und trug somit wesentlich zum interkulturellen Austausch und Wohlstand der Bevölkerung bei. Im Laufe der Jahre passte die Eisenbahn sich immer wieder den ständig wachsenden Anforderungen an und zählt heute zu den leistungsfähigsten und effizientesten Verkehrsmitteln.

1.1.2 Einteilung der Schienenfahrzeuge

Allgemein orientiert sich die Einteilung und Unterscheidung der Schienenfahrzeuge am Gültigkeitsbereich entsprechender Gesetze und Verordnungen. Auf der einen Seite steht die Gruppe von Bahnsystemen, die unter das allgemeine Eisenbahngesetz (AEG) fallen und neben den Zügen des Regional- und Fernverkehrs auch regionale Eisenbahnen sonstiger Betreiber umfassen zum Beispiel, wenn sie aus städtischen Verkehrsnetzen herausfahren. Der Bau der Fahrzeuge sowie die Betriebsführung dieser Systeme sind in der EBO (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung) bzw. ESBO (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Schmalspurbahnen) geregelt. Demgegenüber stehen die auf Grundlage des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) betriebenen Straßenbahnen, Stadtbahnen und U-Bahnen, deren Bau und Betriebsführung der BOStrab (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung) unterliegen.

Unterscheidung EBO und BOStrab

Die EBO ist ein Gesetz für den Bau und Betrieb regelspuriger Eisenbahnen. Dieses Gesetz stellt sicher, dass Bahnanlagen und Fahrzeuge so beschaffen sind, dass sie den Anforderungen an Sicherheit und Ordnung genügen. Diese Anforderungen gelten als erfüllt, wenn die Bahnanlagen und Fahrzeuge den Vorschriften der EBO und – soweit diese keine ausdrücklichen Vorschriften enthält – den anerkannten Regeln der Technik entsprechen. Das gleiche gilt auch für die ESBO, in der die Grundsätze für den Bau und Betrieb schmalspuriger Eisenbahnen festgelegt sind.

Bahn-Systeme und deren gesetzliche Grundlagen



Abbildung 2: Systeme des schienengebundenen Verkehrs

Auch die BOStrab ist eine Rechtsgrundlage und gilt für Schienenfahrzeuge im Sinne des Personenbeförderungsgesetzes. Sie schließt nicht nur Bahnen in straßenbündigem Gleiskörper (Straßenbahn), sondern auch auf ganz oder teilweise eigenem Gleiskörper geführte Bahnen wie U-Bahnen, Hochbahnen und Schwebbahnen mit ein. Um den Anforderungen der unterschiedlichen Systeme gerecht zu werden, ist die BoStrab im Gegensatz zur EBO in einigen Ausführungen etwas flexibler.

Ein Mischbetrieb zwischen beiden Betriebsordnungen entsteht bei Regionalstadtbahnen wenn Fahrzeuge sowohl auf BOStrab- als auch auf EBO-Strecken verkehren. Diese müssen deshalb für beide Betriebsarten zugelassen sein.



Abbildung 3: Diesellokomotive für den Betrieb auf EBO-Strecken

Foto: Bombardier



Abbildung 4: Zweisystemfahrzeug für den Mischbetrieb auf EBO- und BOStrab-Strecken

Foto: ALSTOM/AVG

1.1.3 EBO- und ESBO-Fahrzeuge

EBO und ESBO unterscheiden die Fahrzeuge anhand ihres Zwecks in Regel- und Nebenfahrzeuge. Regelfahrzeuge sind für den regelmäßigen Betrieb einer Bahn notwendige Fahrzeuge. Sie müssen hinsichtlich ihrer Ausrüstung den in der EBO/ESBO beschriebenen Bauvorschriften entsprechen. So sind hier die Anforderungen und die Ausrüstung der Fahrzeuge mit technischen Einrichtungen sowie die Maße und Bestimmungen über Abnahme und Untersuchungen beschrieben. Nebenfahrzeuge sind Sonderfahrzeuge, die einem besonderen Zweck dienen. Meistens werden sie zur Instandhaltung von Bahnanlagen eingesetzt.

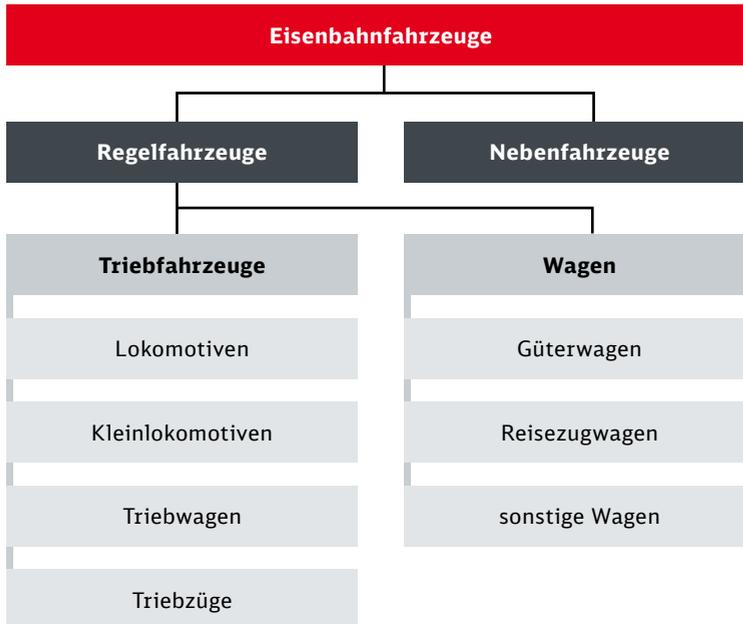


Abbildung 5: Einteilung der Fahrzeuge im Gültigkeitsbereich der EBO

Nach EBO und ESBO werden Regelfahrzeuge in Triebfahrzeuge und Wagen unterschieden. Während Triebfahrzeuge mit angetriebenen Radsätzen ausgerüstet sind und somit den Zug befördern oder selbsttätig als Züge fahren können, besitzen Wagen keinen eigenen Antrieb und werden deshalb in Züge eingestellt.

Triebfahrzeuge

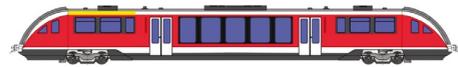
Triebfahrzeuge werden in Lokomotiven (Kurzform: Lok), Triebwagen und Triebzüge unterschieden. In Bezug auf den Antrieb kann eine weitere Unterteilung in Dampf-, Diesel- und Elektrofahrzeuge vorgenommen werden. In diese Rubrik fallen neben den Triebköpfen auch die angetriebenen und nicht angetriebenen Steuer-, Mittel- und Beiwagen. Einteilige Fahrzeuge dieser Kategorie werden vielfach auch als Triebwagen bezeichnet, wenn sie der Beförderung von Personen, Gepäck oder Gütern dienen. Rangierlokomotiven werden, wenn sie eine bestimmte Leistungsklasse unterschreiten, auch als Kleinlokomotiven bezeichnet.

Lokomotive



Regelfahrzeug mit angetriebenen Radsätzen: Neben den Streckenlokomotiven zählen hierzu auch die Rangier- und Kleinlokomotiven.

Triebwagen



Mit eigenem Antrieb versehenes Fahrzeug zur Beförderung von Personen, Gepäck oder Gütern: Ein Triebwagen wird allein oder zusammen mit Steuer-, Mittel- und Beiwagen als Zug eingesetzt.

Triebzug



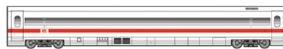
Eine von der Bauart her aufeinander abgestimmte Fahrzeuggruppe, bestehend aus einem oder mehreren Triebwagen, die im Betrieb normalerweise nicht getrennt wird

Steuerwagen



Nicht angetriebener Endwagen eines Triebzuges mit eigenem Führerstand

Mittelwagen



Nicht angetriebener Wagen eines Triebzuges

Triebkopf



Regelfahrzeug mit angetriebenen Radsätzen an der Spitze oder am Ende einer Triebzugeinheit

Abbildung 6: Unterscheidung und Einteilung der Triebfahrzeuge

Reisezug- und Güterwagen

Bei den Güterwagen findet sich neben der Einteilung in Wangengattungen eine weitere Kategorisierung der Fahrzeuge nach Regel- und Sonderbauart.

Die offenen Güterwagen der Gattung E transportieren hauptsächlich nässeunempfindliche Güter. In der Gruppe der F-Wagen sind jene Bauarten zusammengefasst, die sattelförmig oder einseitig geneigte Böden haben und bei denen das Ladegut in der Regel mithilfe der Schwerkraft ausläuft.

Die gedeckten G-Wagen schützen die Güter vor Nässe und anderen Witterungseinflüssen. Sie haben verschließbare Schiebetüren, H-Wagen sogar öffnungsfähige Seitenwände.

Die flachen K- und R-Wagen können nässeunempfindliche große Ladegüter befördern. L- und S-Wagen sind für den Transport besonderer Güter ausgerüstet und besitzen teilweise auch spezielle Einrichtungen zur Ladungssicherung.

Es gibt noch zahlreiche weitere Güterwagen wie Spezialwagen, aber auch mehrachsige Tiefladewagen.

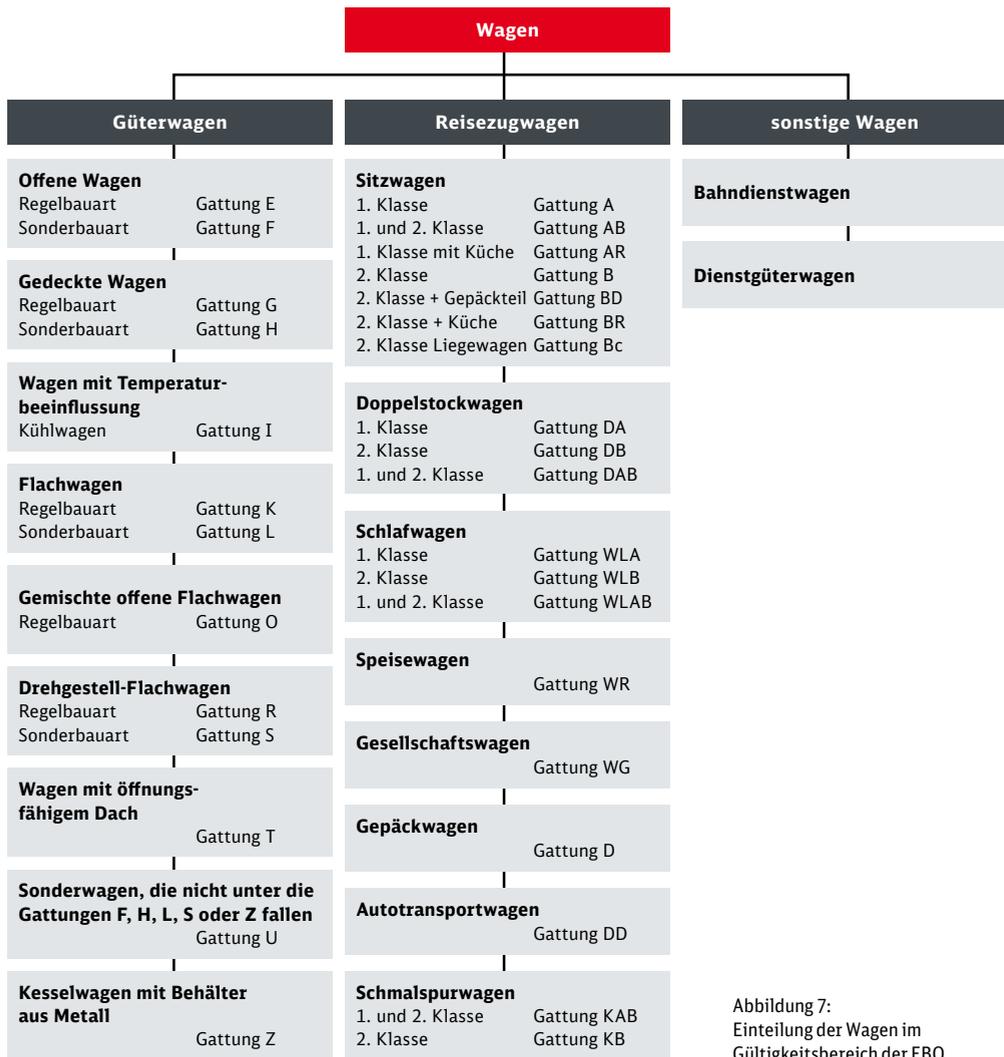


Abbildung 7:
Einteilung der Wagen im
Gültigkeitsbereich der EBO

Nebenfahrzeuge

Für die Wartung und Instandhaltung der Bahnanlagen sowie für besondere Einsatzfälle werden spezielle Fahrzeuge (Nebenfahrzeuge) eingesetzt. Diese dürfen nur dann in Züge eingestellt oder wie Züge behandelt werden, wenn sie dafür extra zugelassen sind. Deshalb müssen sie den Bauvorschriften der EBO nur so weit entsprechen, wie es für ihren Sonderzweck erforderlich ist.

Unterscheidungsmerkmal Zugkonzept

Das Zugkonzept legt eine Unterscheidung in lokbespannte Züge und Triebzüge nahe. Das erstgenannte Zugkonzept verweist auf eine oder auch mehrere Lokomotiven, meist an der Zugspitze, und eine Reihe von gekuppelten und nicht angetriebenen Wagen – ein Zugkon-

Abbildung 8:
Nebenfahrzeug zur Instand-
haltung von Bahnanlagen
(Gleisarbeitsfahrzeug)



zept, das in den Anfangstagen der Eisenbahn entwickelt und bis heute beibehalten wurde. Seine Vorteile bestehen darin, dass der Zug entsprechend den unterschiedlichen betrieblichen und kommerziellen Anforderungen zusammengestellt werden kann. Angetriebene Fahrzeuge und Wagen sind frei tauschbar. Güterzüge werden nach wie vor fast ausschließlich so betrieben. Nachteile des Konzepts ergeben sich dadurch, dass bei Fahrtrichtungsänderungen, zum Beispiel 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.

Hochgeschwindigkeitszüge

Der Begriff Hochgeschwindigkeitsverkehr (HGV) bezeichnet den fahrplanmäßigen Zugverkehr jenseits der 200-km/h-Grenze. Als Schwelle wird meist eine Geschwindigkeit von 230 km/h genannt. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, 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.

Hochgeschwindigkeitszüge bestehen meist aus untrennbaren Triebzugeneinheiten, die teilweise zusammengekuppelt und im kommerziellen Betrieb mit mindestens 230 km/h eingesetzt werden. Darüber hinaus werden auch langsamere Züge als Hochgeschwindigkeitszüge bezeichnet, wenn sie einem hohen Qualitätsanspruch genügen, wie dies beispielsweise bei

Neigezügen der Fall ist. Schließlich fallen bestimmte klassische lokbespannte Züge in diese Rubrik, wenn sie mit einer Geschwindigkeit von 200 km/h fahren können und bestimmte Kriterien erfüllen.

Zur Erzielung hoher Geschwindigkeiten wird eine relativ hohe Antriebsleistung benötigt und der Zug zugleich so leicht wie möglich gebaut. Aufgrund der Leichtbauweise und des geringen Luftwiderstandes 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. Hochgeschwindigkeitszüge erreichen im planmäßigen Einsatz Geschwindigkeiten von bis zu 320 km/h.

Die Grenzen des elektrischen Antriebs sind nicht in der Leistungsfähigkeit der Fahrmotoren begründet, sondern in der Leistungsübertragung über die Fahrleitung. Hier ist neben der mechanischen Belastbarkeit des Fahrdrahtes der maximale Strom, der über den Stromabnehmer von der Fahrleitung übertragen werden kann, eine wichtige Einflussgröße. Mit der heute üblichen Fahrleitungstechnik sind Geschwindigkeiten von bis zu 350 km/h im Regelbetrieb hinsichtlich der mechanischen Belastung beherrschbar.



Foto: DB AG/Janbec

Abbildung 9:
Hochgeschwindigkeitstriebzug ICE3

1.1.4 BoStrab-Fahrzeuge

Straßenbahn, Stadtbahn und U-Bahn sind Verkehrssysteme des Stadtverkehrs, die unterschiedliche Einsatzbereiche und Leistungsfähigkeiten aufweisen, aber alle nach den Vorschriften der BOStrab zu bauen und zu betreiben sind. Bei den eingesetzten Fahrzeugen gibt es eine Unterteilung in Einzelfahrzeuge, Doppel- oder Mehrteil-Triebfahrzeuge und Gelenktriebwagen.

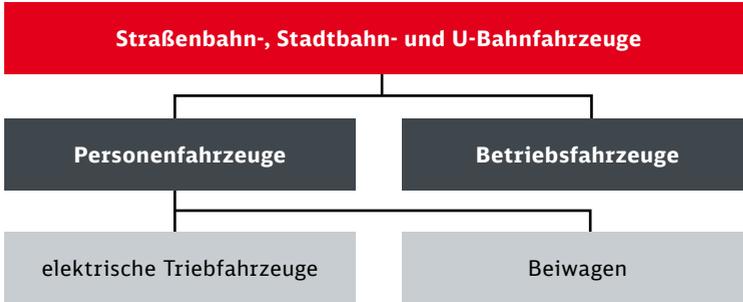


Abbildung 10: Fahrzeuge im Gültigkeitsbereich der BoStrab

Die U-Bahn ist ein Massenverkehrsmittel, das in Ballungszentren dicht besiedelte Gebiete mit Zentral- und Wirtschaftsbereichen verbindet und eine hohe Leistungsfähigkeit mit kurzen Fahrzeiten aufweist. Der U-Bahnbetrieb wird grundsätzlich auf unabhängigen Bahnkörpern mit Zugsicherung durchgeführt, im Innenstadtbereich erfolgt dies im Tunnel oder aufgeständert. Abseits der Innenstadtbereiche werden die Strecken zur Kostenminimierung auch oberirdisch geführt. Die U-Bahnsysteme sind durch separate, sowohl unter- als auch oberirdische Haltestellenbauten gekennzeichnet.



Foto: Bombardier

Abbildung 11: Obwohl die U-Bahnen in Deutschland definitionsgemäß zum BOStrab-Bereich gehören, unterscheiden sie sich hinsichtlich der Aufgaben und Einsatzbedingungen erheblich von Straßen- und Stadtbahnsystemen.

Stadtbahnen sind in Deutschland elektrische Schienenbahnen für den Nahverkehr, die sich aus Straßenbahnen entwickelt haben. Für Stadtbahnen charakteristisch ist die Aufgabe, die zentralen Bereiche großstädtischer Verdichtungsräume optimal zu erschließen sowie

das Umland und die Kernbereiche mit kurzen Reisezeiten anzubinden. Dies führt zu relativ großen Haltestellenabständen und Linienlängen.

Die klassischen Straßenbahnen sind, wie ihr Name schon sagt, überwiegend auf Straßen unterwegs, und zwar auf straßenbündigem Bahnkörper, wobei Streckenabschnitte auf besonderem Bahnkörper in wachsendem Maß für bessere Beförderungsqualität sorgen. Straßenbahnen fahren auf Sicht und heben sich in diesem Punkt von den Stadtbahnen und U-Bahnen ab. Viele Haltestellen sind ebenerdig, allenfalls mit niedrigen Halteinseln ausgestattet.



Abbildung 12: Straßenbahn auf straßenbündigem Bahnkörper

1.2 Spurführungstechnik

1.2.1 Einführung

Die Eisenbahn ist ein spurgeführtes System, bei dem das Laufwerk die Führung der Fahrzeuge im Gleis, die Übertragung der Last sowie deren Federung übernimmt. Zusätzlich übernimmt das Laufwerk bei den angetriebenen Fahrzeugen auch die Übertragung der Antriebskräfte und bei allen Fahrzeugen die Übertragung der Bremskräfte. Im Laufwerk stellt der Radsatz die Verbindung zum Gleis her. In der Geschichte der Eisenbahn sind die Laufwerke stetig weiterentwickelt worden, insbesondere im Hinblick auf höhere Geschwindigkeiten und Lasten. Der betriebssichere und ruhige Lauf eines Fahrzeuges hängt nicht nur vom Laufwerk ab, sondern auch vom zu befahrenden Gleis.

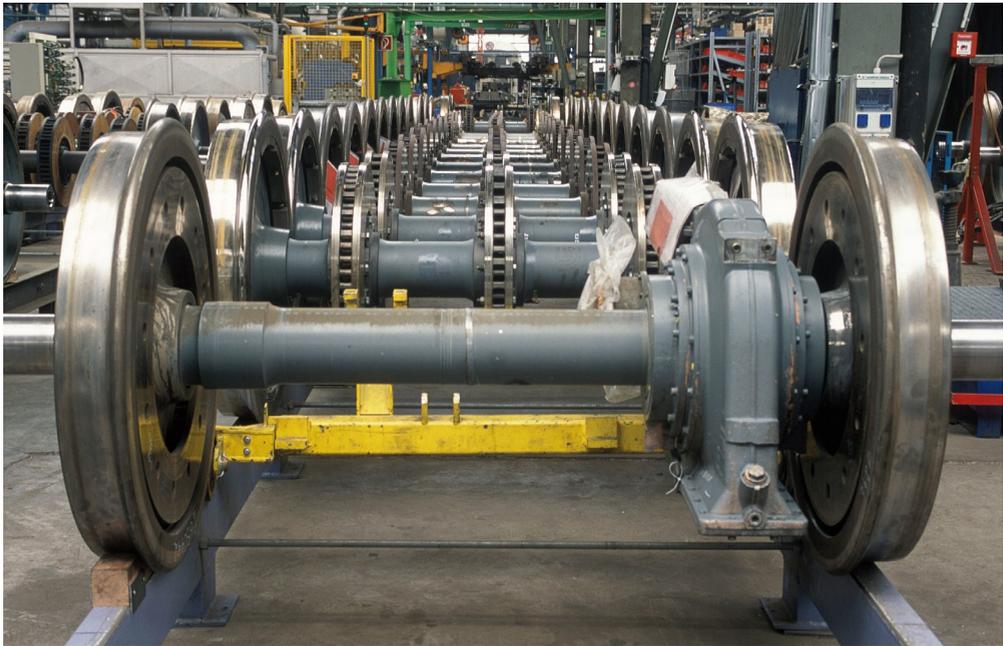


Foto: DB AG/Buse

Abbildung 13: Radsätze

Radsatz

Bei der überwiegenden Zahl der Schienenfahrzeuge bilden Rad und Radsatzwelle in der Regel eine Einheit, den so genannten Radsatz. Sein Lauf- und Schwingungsverhalten 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, 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.

Weil Eisenbahnfahrzeuge sehr schwer sind, wurden zunächst Räder aus Gusseisen verwendet, die auf gusseisernen Schienen abrollten. Die Räder wurden außerdem noch gewalzt, weil reine Gusseisenräder schon damals den steigenden Belastungen des Bahnverkehrs nicht mehr standhalten konnten. Zu den hohen Radlasten kamen immer häufiger große Laufleistungen hinzu.



Abbildung 14: Die großen Treibräder der Dampflokomotiven wurden als Speichenräder ausgeführt, um Gewicht zu sparen. Die Abbildung zeigt die Radsatzaufarbeitung im DB Werk Cottbus.

Im 19. Jahrhundert wurden die Räder zur Gewichtsersparnis als Speichenräder ausgeführt. Die ersten Vollbahn-Elektrolokomotiven hatten ebenfalls Speichenräder. Grundsätzlich hat sich „am Rad“ bis heute nichts geändert – nur dass die Räder heute aus bestem Stahl bestehen und auf ebenso hochwertigen Stahlschienen rollen.

Radsatzherstellung

Am Anfang der Radsatzherstellung steht immer ein 10 m langer Stahlblock, der mit einer Hartmetallsäge in Blöcke geschnitten wird. Diese bis zu 1 m hohen Zylinder werden anschließend gewogen. Dann werden die 1.200 kg schweren Stahlblöcke in einem Ofen etwa vier Stunden lang von Raum- auf Schmiedetemperatur (ca. 1.300° C) erwärmt. Dabei bildet sich auf der Oberfläche des Materials eine dicke Zunderschicht aus verbranntem Stahl, die vor der weiteren Verarbeitung entfernt werden muss. Dies geschieht in der „Entzunderung“ mit Presswasser unter einem Druck von 200 bar. Anschließend wird der Stahlblock in einer Schmiedepresse in mehreren Schritten geschmiedet.

- **Schritt 1:** Beim Anstauchen wird der Block auf etwa zwei Drittel seiner ursprünglichen Höhe gestaucht.
- **Schritt 2:** Beim Vorstauchen wird ein flaches, rundes Stück („Pfannekuchen“) erzeugt, das auf der Ober- und Unterseite bereits vorprofiliert ist.
- **Schritt 3:** Beim Fertigstauchen entsteht in einem geschlossenen Gesenk die Vorform in ihrer endgültigen Kontur.
- **Schritt 4:** Beim Lochen wird mit einem Titanzapfen in der Mitte des Körpers noch eine Bohrung eingeprägt.

Der noch glühende Rohling wird anschließend auf seine Endabmessungen und seine Kontur gewalzt. Dabei wächst das Rad im Durchmesser noch um 10–15 Prozent. Ein letzter Pressvorgang – das „Kümpeln“ – gibt ihm seine endgültige Form. Ein Stempelaufdruck mit Schmelznummer, Herstellerkennzeichen und Produktionsnummer macht das Rad identifizierbar. Anschließend wird es mittels Laser vermessen. Dabei werden sowohl die Kontur wie auch die geometrischen Abmessungen geprüft.

Das nun fertige Rad wird nach der Abkühlung erneut im Ofen auf rund 850 °C aufgeheizt und dann mit Wasser abgeschreckt. Im Zuge dieses Glühprozesses entsteht im Bereich der Lauffläche ein spezieller Gefügestand, der durch das Abschrecken quasi eingefroren wird – Fachleute nennen diesen Vorgang Härten. Ein nachgeschalteter Glühprozess – das „Anlassen“ – sorgt dafür, dass der Radkörper seine notwendige Geschmeidigkeit erhält.

In Drehmaschinen erhalten die Räder ihre endgültigen Abmessungen. Dabei wird auch die Schmiedhaut abgedreht und das Rad bekommt sein glänzendes Aussehen. Nach der anschließenden Nabenbohrung werden die beiden Räder und die Welle vereint. Dazu wird die Radsatzwelle mithilfe einer Radsatzpresse unter hohem Druck in die Nabenbohrung gedrückt.



Foto: DB AG/Reibort

Abbildung 15:
Reprofilierung eines Rades auf
einer Radsatzdrehmaschine

Bereiftes Rad/Vollrad

Die Räder sind als Scheibenräder ausgeführt. Nur bei älteren Fahrzeugen findet man heute noch Speichenräder. Bei den Rädern wird zwischen dem Rad mit Radreifen (bereiftes Rad) und dem Vollrad (Monoblockrad) unterschieden.

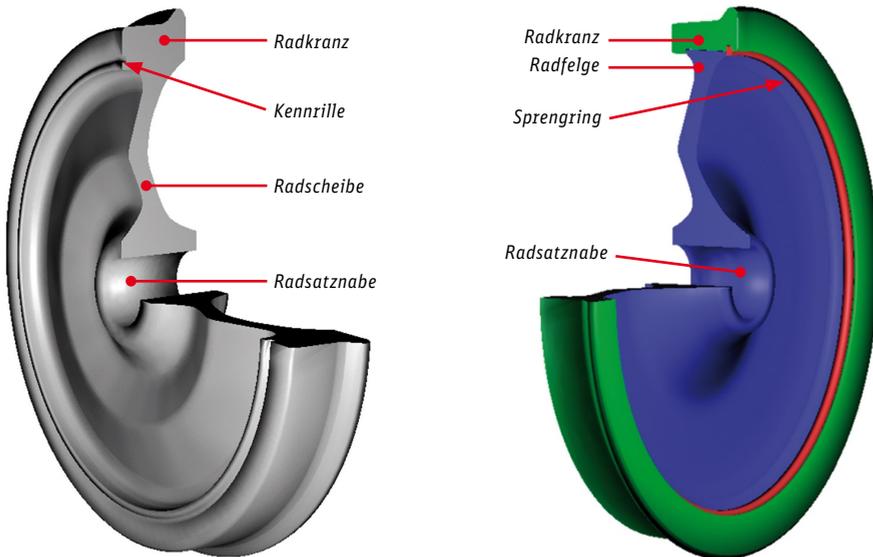


Abbildung 16: Vollrad und bereiftes Rad

Bei der Fertigung eines bereiftes Rades verwendet man die im Maschinenbau gebräuchliche Technik des Aufschrumpfens. Dabei macht man sich eine Eigenschaft von Stahl zunutze: Er ändert bei Temperaturschwankungen seine Ausdehnung. Der Radreifen wird so gefertigt, dass er im kalten Zustand nicht auf die Radfelge passt. Er wird so erwärmt, dass sein Innendurchmesser geringfügig über dem Durchmesser des Radkörpers liegt. Bei der anschließenden Abkühlung zieht sich der Radreifen zusammen und es entsteht eine kraftschlüssige Verbindung mit der Radfelge.

An der Radaußenseite besitzt der Radreifen einen Bund, der verhindert, dass der Reifen nach innen abrutscht. Auf seiner Innenseite ist eine schwalbenförmige Nut eingedreht, in die ein stählerner Sprengring eingesetzt und eingewalzt wird. Dieser dient als Sicherung, falls ein abgefahrener Radreifen im Betrieb heißgebremst wird und sich der Schrumpferverband löst. Ein abgefahrener Radreifen wird durch Aufbrennen von der Radfelge getrennt.

Radscheibe

Bei Leichtbaurädern sind die Radscheiben einfach oder doppelt gewellt (S-Form). Mit dieser Bauform wird eine höhere statische Festigkeit erzielt. Somit sind kleine Wandstärken und damit auch niedrigere Massen realisierbar (Gewichtseinsparung). Mit der größeren Ober-

fläche wird bei klotzgebremsten Rädern zudem eine verbesserte Wärmeabfuhr erreicht und so das Entstehen von Spannungsrissen verhindert.

Eine Sonderbauform stellen gummigefederte Räder dar. Mit ihnen erzielt man eine Entkopplung eines wesentlichen Teils der sonst ungefederten Masse sowie eine deutliche Verminderung des Fahrgeräusches. Derartige Räder werden bei Straßenbahnen eingesetzt, wo das Gleis sehr hart gebettet ist und die Gleislage relativ schlecht ist.

Bei bestimmten Bauformen werden Schallabsorber verwendet. Diese werden an der Radscheibe befestigt und reduzieren die Schallabstrahlung.

1.2.2 Lauftechnische Grundlagen

Je nach Art der Bahn, Fahrzeugart, Raddurchmesser und Spurweite gibt es diverse Laufflächenprofile. Bei Eisenbahnfahrzeugen besteht das Profil aus einer kegeligen Lauffläche, dem meist kreisförmigen Übergangsbereich (Hohlkehle) sowie dem Spurkranz, der als steiler Kegel ausgeführt ist. Die Profilform beeinflusst das Laufverhalten des Fahrzeuges 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

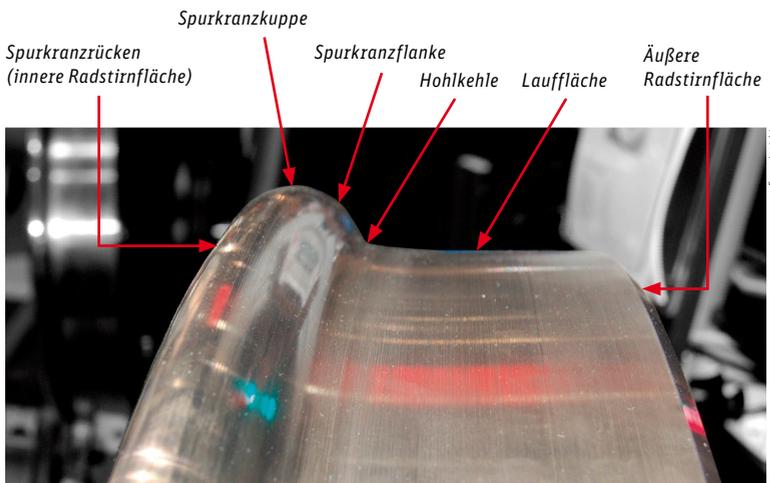
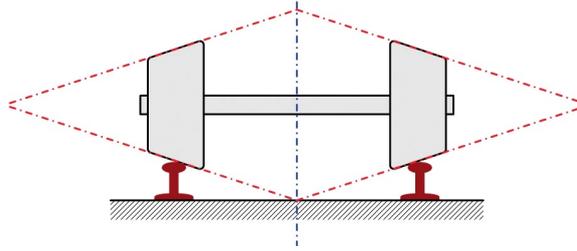


Abbildung 17: Profilform der Lauffläche

Sinuslauf

Die zylindrische Form der Lauffläche führt 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.

Abbildung 18:
Die Laufflächen sind als
Doppelkegel ausgeführt.



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 vorne 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.

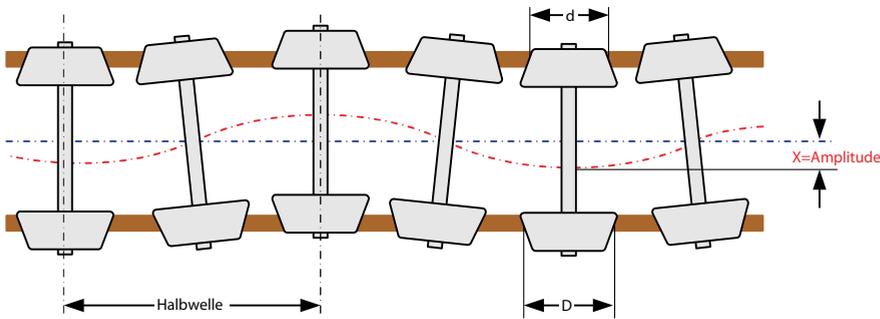
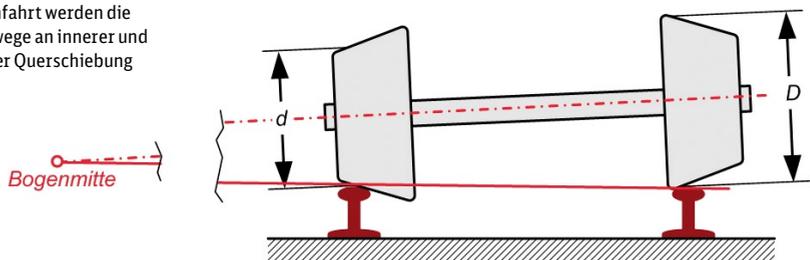


Abbildung 19: Bewegung des Radsatzes im Gleis (Sinuslauf)

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.

Abbildung 20: Bei Bogenfahrt werden die unterschiedlichen Laufwege an innerer und äußerer Schiene mit einer Querschlebung ausgeglichen.



Die zylindrische 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 Zick-Zack-Lauf über.

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.

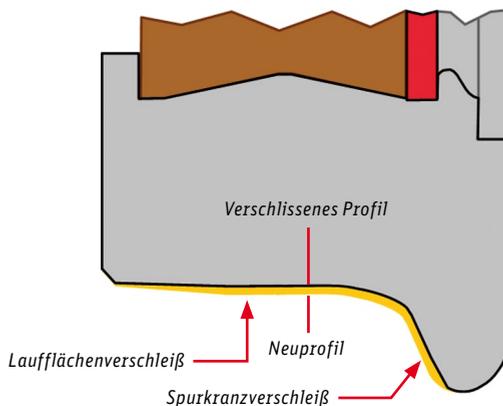
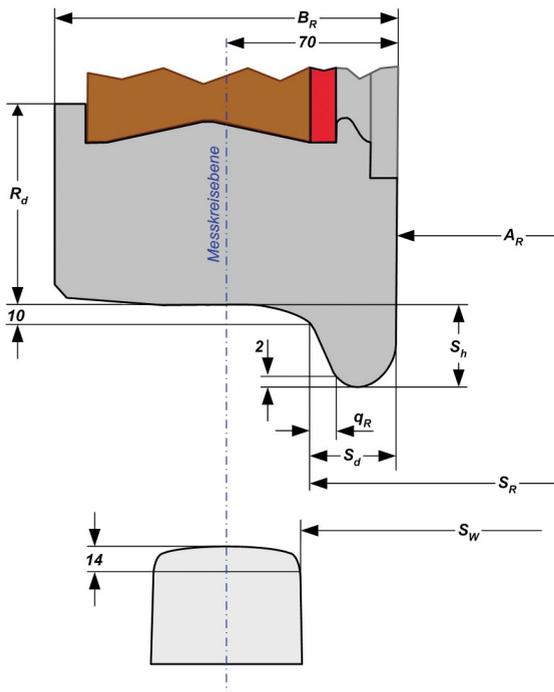


Abbildung 21: Profilverschleiß

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. Dabei wird der Spurkranz dünner und teilweise auch steiler. Dies schränkt seine Festigkeit ein und beeinträchtigt die Entgleisungssicherheit im Weichenbereich.



A_R = Abstand der inneren Stirnflächen

B_R = Radreifen-/Radkranzbreite

S_d = Spurkranzdicke

Wichtiges Maß zur Errechnung des Spurmaßes

S_h = Spurkranzhöhe

R_d = Radreifendicke

Dicke des Radreifens in Messkreisebene

q_R = Spurkranzflankenmaß

Maß zur Beurteilung der Spurkranzabnutzung

S_W = Spurweite

Kleinsten 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

Abbildung 22: Maße am Radsatz: Die Verschleißgrenzmaße sind für regelspurige Fahrzeuge in der EBO vorgeschrieben.

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_d . 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 viele Lokomotiven, Steuerwagen und Triebzüge über Einrichtungen zur Spurkranzschmierung.

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 Schienenfahrzeuges 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.

1.2.3 Spurweite

Die Spurweite ist definiert als der kleinste Abstand der beiden Schienen zueinander. Die Normalspurweite beträgt 1.435 mm. Größere Spurweiten bezeichnet man als Breitspur, kleinere Spurweiten als Schmalspur. Bei den eingesetzten Fahrzeugen wird in Regelspur-, Schmalspur- und Breitspurfahrzeuge unterschieden. Bei Ausstellungs-, Vergnügungs- und Gartenbahnen sowie für Industriebahnen in Ziegeleien, Steinbrüchen und Bergwerken werden sogar Fahrzeuge mit extrem geringen Spurweiten von unter 600 mm eingesetzt.

Gemessen wird die Spurweite 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 Normalspurweite beträgt $-5/+35$ mm.

In den Pionierzeiten des Eisenbahnbaus gab es keinen einheitlichen Standard, da jede Bahngesellschaft ihre eigenen Vorstellungen entwickelte. Beispielsweise hatten die ersten Eisenbahnen in Frankreich eine Spurweite von 500 mm, während die englische Great Western Railway ihre Strecken in einer Spurweite von 2.140 mm ausführte. Der Bau einer Bahn war umso kostengünstiger, je schmaler die Spur war. Darüber hinaus konnten schmale Spurweiten besser auf entsprechend schwierigen Trassen realisiert werden. Viele „Bergstrecken“ entstanden deshalb als schmalspurige Bahn. Aber auch die breiten Spuren hatten ihre Vorteile: Der Fahrkomfort war besser und die Fahrzeuge konnten von Anfang an größer gebaut werden.

Nachdem in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts immer mehr und größere Eisenbahnnetze entstanden, begann man diese miteinander zu verbinden. Nun zeigte sich sehr schnell das Problem der unterschiedlichen Spurweiten. Güter mussten umgeladen werden, die Fahrgäste mussten umsteigen. Schnell kam die Forderung nach einer einheitlichen Spurweite auf. Trotzdem haben sich infolge nationaler, geografischer oder technischer Besonderheiten weiterhin Netze in unterschiedlichen Spurweiten entwickelt.

Am weitesten verbreitet ist heute die Normalspur (Standardspur) 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



Abbildung 23:
Borkumer Kleinbahn mit
einer Spurweite
von 900 mm

Foto: Borkumer Kleinbahn

der ersten Lokomotiven in dieser Gegend einfach übernommen. Erstmals griff der Engländer George Stephenson 1825 auf diese Spurweite für die Eisenbahn Stockton-Darlington zurück. Später entwickelte sie sich nach und nach zum Standard, und zwar nicht nur in Europa, sondern weltweit.

An zweiter Stelle stehen die verschiedenen Breitspurstrecken. Die gebräuchlichsten sind die „indische“ Spur mit 1.676 mm, die auch auf der iberischen Halbinsel zu finden ist, 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.

An dritter Stelle steht die „Kapspur“ mit 1.067 mm. Die Geschichte der Entstehung dieser Spur und ihrer Bezeichnung ist widersprüchlich. Vermutlich ist sie nach dem Kap von Südafrika benannt, wo erstmals derartige Strecken in großem Maßstab gebaut wurden. Heute lassen sich Strecken in dieser Spurweite auch in Japan und Australien finden.

An vierter Stelle steht die Meterspur, die, wie der Name sagt, genau 1.000 mm breit ist. Diese Spur gibt es in Brasilien, Indien, Asien und Afrika. In Europa sind größere Netze in dieser Spurweite auch in der Schweiz, in Griechenland und auf einigen Mittelmeerinseln zu finden. Oft wird die Meterspur zudem für Straßenbahnen benutzt.

Schmalspurige Bahnen in kleineren Spurweiten haben nur eine geringe Bedeutung. Zu finden sind sie bei Parkeisenbahnen, Industrie- und Werkbahnen, Militärbahnen sowie in der Landwirtschaft (Torfbahnen, Zuckerrübenbahnen).

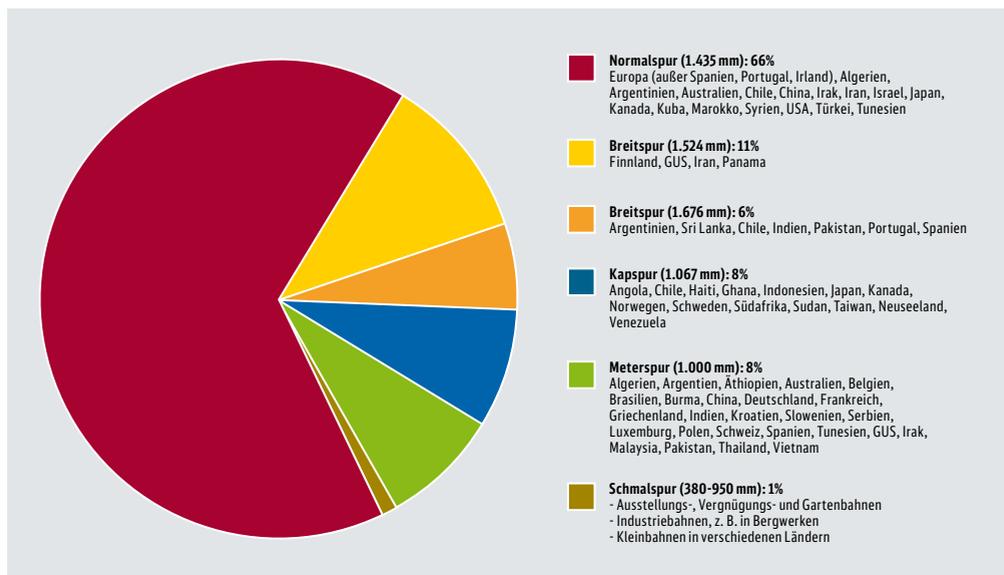


Abbildung 24: Anteil der Spurweiten am Welteisenbahnnetz

Die Schienenfahrzeugtechnik wird durch die Anforderungen an die Transportaufgaben des Bahnverkehrs vorangetrieben. In der 2. überarbeiteten und erweiterten Auflage dieses Fachbuchs stellen die Autoren den aktuellen Stand der Schienenfahrzeugtechnik vor.

Die Funktionsweise aller Bauteile und Komponenten moderner Schienenfahrzeuge werden erklärt. Dabei werden aktuelle Entwicklungen wie Hochgeschwindigkeitszüge und Mehrsystemtechnik ebenso berücksichtigt wie neue Zugleit- und Sicherungssysteme.

Zahlreiche Abbildungen veranschaulichen dem Leser die komplexen technischen Sachverhalte.

LESEPROBE!

Bahn Fachverlag

www.bahn-fachverlag.de

ISBN 978-3-9808002-5-9