

Inhalt

Einleitung	6
Teil 1 Straßenbahntechnik	
1 Fahrzeuggestaltung	10
1.1 Beispiele zur Fahrzeugeinteilung	12
1.2 Einrichtungen für mobilitätseingeschränkte Fahrgäste	21
2 Fahrzeugmaße	22
Exkurs: Grundlagen der Elektrotechnik	23
3 Fahrwerke mit verschiedenen Antrieben	24
3.1 Antriebsarten	24
3.2 Laufgestelle (starres Fahrwerk)	24
3.3 Drehgestelle und Fahrwerke	25
3.4 Lenkgestelle	27
3.5 Fahr- und Laufwerke in Niederflurbahnen	28
3.5.1 Triebfahrwerke	28
3.5.2 Antriebsbeispiele Niederflurbahnen	29
3.6 Motoren	32
3.6.1 Gleichstrom-Reihenschlussmotor	32
3.6.2 Drehstrom-Asynchronmotor	38
3.6.3 Kühlung	40
3.7 Kraftübertragung	41
3.8 Federung und Fahrzeugbewegungen	41
4 Bremsen	43
4.1 Betriebsbremsen	44
4.1.1 elektrodynamische Bremse	44
4.1.2 Druckluftbremse	46
4.2 Feststellbremsen	46
4.2.1 elektrische Federspeicherbremse	47
4.2.2 hydraulische Federspeicherbremse	47
4.2.3 pneumatische Federspeicherbremse	47
4.2.4 weitere Feststellbremsen	48
4.3 Ersatzbremsen (aktive hydraulische oder pneumatische Lauffahrwerksbremse)	48
4.4 Bremsen für nicht angetriebene Achsen bzw. Lauffahrwerke	48
4.4.1 Solenoidbremse	48

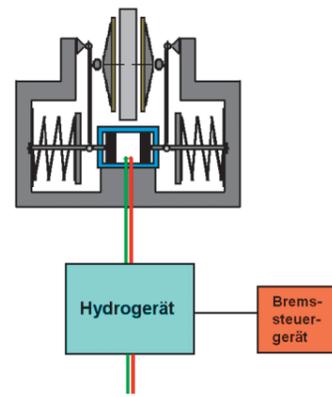
4.4.2 kombinierte Federspeicher-Solenoidbremse (Beispiel Tatrawagen)	48
4.4.3 passive elektrohydraulische Bremse für Lauffahrwerke und Beiwagen	49
4.5 Magnetschienenbremsen	51
5 Fahrzeugsteuerungen	52
5.1 Widerstandssteuerung	52
5.1.1 direkte Widerstandssteuerung	52
5.1.2 halbautomatische Widerstandssteuerung	53
5.1.3 elektropneumatische Steuerung mit Widerständen	53
5.2 Moderne Steuerungsarten	54
5.2.1 Stromrichter, Thyristoren, Frequenzsteuerung, IGBT-Technik	54
5.2.2 Umformer, Bordnetzumformer, Bordnetzrichter	57
5.3 Sicherheitsüberwachung / Totmann	58
5.4 Besondere Verknüpfungen zwischen ÖPNV und SPNV	58
6 Stromabnehmer und Schleifer	61
6.1 Scheren- oder Halbscherenstromabnehmer (Pantograph)	61
6.2 Stangenstromabnehmer	62
6.3 Bügelstromabnehmer (Lyra)	63
6.4 Schleifer und Stromschiene	63
6.5 Fahrzeuge mit besonderem Fahrweg und People Mover	72
6.5.1 Translohr	72
6.5.2 Docklands Light Railway in London	72
6.5.3 People Mover	73
6.6 Vergessene Besonderheiten: Berliner Magnetbahn	75
7 Signaleinrichtungen	76
7.1 Zugsignale	76
7.2 Rangiersignale	77
8 Bahn- und Schienenräumer	78
9 Kupplungseinrichtungen	78
9.1 Scharfenberg-Kupplung	79

9.2 Albertkupplung	79
9.3 Notkupplungen	79
9.4 Compact-Kupplung	80
9.5 Vollautomatische Kupplungssysteme	80
10 Fahrzeugführerplatz	81
10.1 Historie von Stehwagen und Notsitzen	81
10.2 Ergonomische Gestaltung	82
10.3 Sitzhaltung	82
11 Beleuchtung, Heizung, Lüftung	83
11.1 Innenbeleuchtung	83
11.2 Außenbeleuchtung	84
11.3 Heizung und Lüftung	84
12 Beschriftung und Sinnbilder	84
13 Türen, Steuerung, Anfahrsperr, Notlöseeinrichtung	85
13.1 Tür- und Betätigungsarten	86
13.2 Überwachungssysteme	86
13.3 Notentriegelung	87
14 Störungssuche und -beseitigung	87
14.1 Störungssuche	87
14.2 Störungsmeldung	87
14.3 Beseitigung der Störung	88
15 Unfallverhütungsvorschriften	88
16 Notfallausrüstung	89
Exkurs: Gesetzliche Vorschriften und Verordnungen	90
17 Abschleppen	91
18 Funktionskontrolle / Abfahrtskontrolle	91
19 U-Bahnen	92
19.1 U-Bahn-Technik	94
19.2 U-Bahnen weltweit	97
19.3 Straßen- und Stadtbahnen mit Tunnelbetrieb	99
19.4 Wuppertaler Schwebebahn	99
19.5 Andere Bahnen nach BOStrab	100

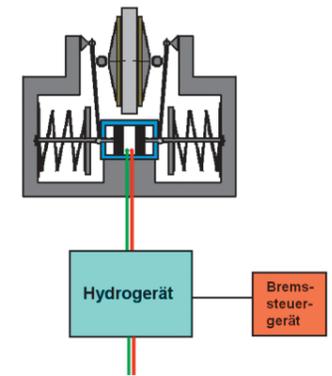
**Teil 2 Zugsicherungsanlagen
Fahrleitung – Gleise
Stellwerke-Verkehrsanlagen**

1 Grundlagen	104
2 Zugsicherungsanlagen	105
2.1 Begriffe	105
2.2 Signale	107
2.3 Stellwerke	108
2.4 Streckenblockanlagen	108
2.5 Zugbeeinflussungsanlagen	109
3 Gleisanlagen	109
3.1 Schienenprofile und Spurweiten	109
3.2 Bahnkörper	115
3.3 Weichen und Weichenstraßen	116
Exkurs: Teststrecken von Bombardier Transportation in Bautzen	122
4 Stromversorgung	124
4.1 Unterwerke	124
4.2 Fahrleitungsanlagen	125
4.3 Stromschieneanlagen bei U-Bahnen	129
4.3.1 Bauformen	130
4.3.2 Aufbau	130
5 Rechnergestütztes Betriebsleitsystem	131
Teil 3 Fahrdynamik Straßenbahn	
1 Allgemeines	136
2 Grundbegriffe der Bewegung	136
3 Fahrzeugkräfte und Widerstände	142
3.1 Streckenwiderstände	142
3.2 Zugwiderstände	142
Teil 4 Lernübungen	ab 148

G35 Hydraulische Bremse (gelöst)

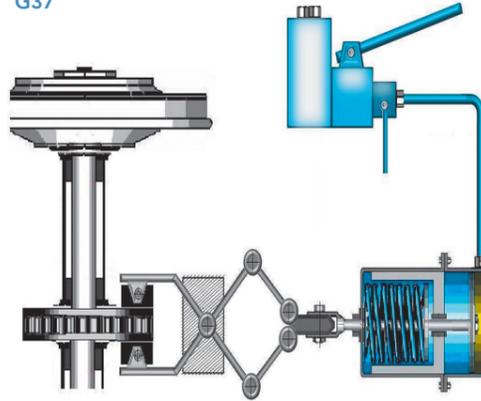


G36 Hydraulische Bremse (gebremst)

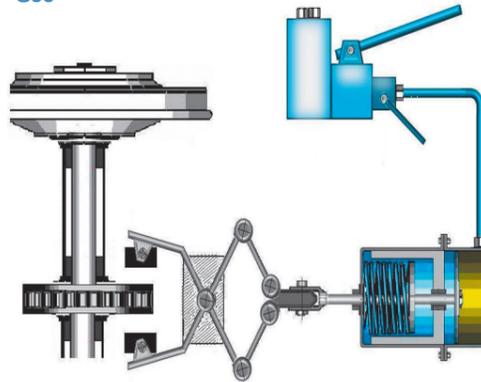


Prinzip einer hydraulischen Laufstell- oder Beiwagenbremse nach Federspeicherprinzip

G37

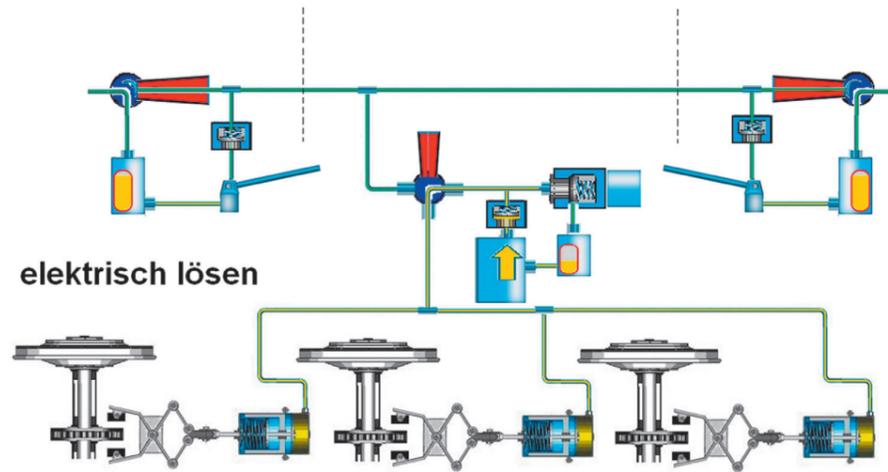


G38



Prinzip einer hydraulischen Federspeicherbremse als Feststellbremse: gebremst (G37) und gelöst (G38)

G39



Beispiel einer hydraulischen Feststellbremse im Wagenzug

Grafiken: Th. Beckmann

4.5 Magnetschienenbremsen

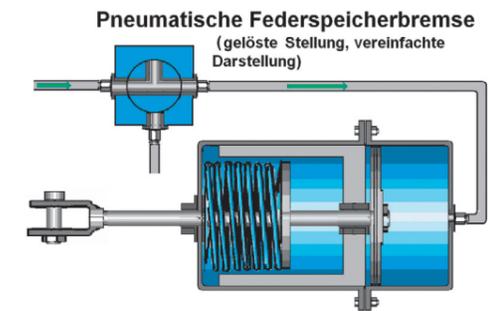
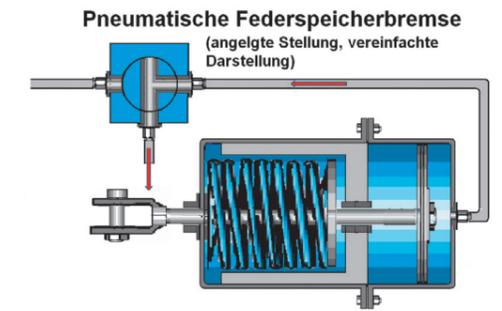
Die Magnetschienenbremse ist bei Stadt- und Straßenbahnen sowie neuen U-Bahnen die Zusatzbremse. Sie funktioniert unabhängig von der Haftreibung zwischen Rad und Schiene (Kraftschlussunabhängig). Wenn eine Spannung auf die Schienenbremsspule gegeben wird, bildet sich in der Spule ein Magnetfeld, das durch das Magnetjoch verstärkt wird. Dadurch zieht sich die Schienenbremse an die Schiene an. Neben der Magnetwirkung zwischen dem Schleifschuh und der Schiene entsteht auch noch eine starke Gleitreibung. (Aufbau siehe G41 S. 51). Die **Magnetschienenbremse** ist federnd aufgehängt. Der Schleifschuh befindet sich etwa acht Millimeter über der Schienenoberkante. Die Anpresskraft richtet sich nach Auflagefläche und Größe der Erregerstromstärke. Sie liegt bei Straßenbahnen durchschnittlich zwischen 40 und 80 kN pro Schienenbremse. Die Schienenbremse sollte nur im Gefahrenfall verwendet werden, da sie in Verbindung mit anderen Bremsen eine sehr starke Bremswirkung entwickelt.

Anfangs wurden Schienenbremsen mit Bremsstrom von den Fahrmotoren gespeist. Später setzte sich die Frischstrom-Schienenbremse durch, die mit Fahrleitungsspannung versorgt wurde. Da damals Weichen in vielen Städten ebenfalls mit Fahrleitungstrom verstellt wurden, konnte es passieren, dass sich durch Betätigen der Schienenbremsen die Weiche verstellte, was zu Flankenfahrten führte. Zudem funktionierten die Schienenbremsen nicht bei Stromausfall. Die Frischstromspeisung war also mit Risiken behaftet.

In einigen wenigen, meist historischen Fahrzeugen finden sich noch heute Schienenbremsen, die mit Fahrleitungsspannung betätigt werden. Inzwischen hat sich aber das Weichensystem geändert: Weichen werden heute überall in Deutschland vom Fahrstrom unabhängig gestellt, sodass auch eine mit 600 V gespeiste Schienenbremse nicht mehr gefährlich ist.

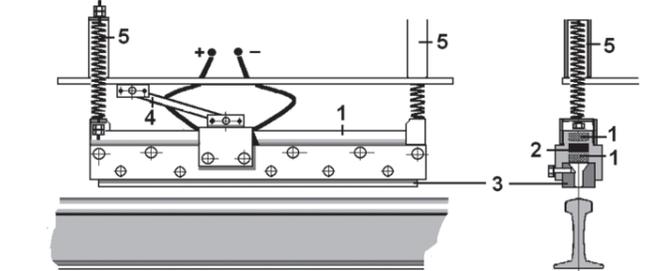
Bei Neubaufahrzeugen arbeiten die Schienenbremsen schon seit Jahren ausschließlich mit Batteriespannung (24 V). Sie sind unabhängig von Weichensystemen sowie Fahrleitungsspannung und daher sehr zuverlässig. Allerdings ist die Bremskraft der Schienenbremse nicht regelbar, sodass bei ihrem Einsatz bis zum Stillstand ein starker Halteruck entsteht, der zu schweren Fahrgaststürzen führen kann.

G40



Zeichnungen: Thomas Backmann

G41



Schienenbremse und ihre Bauteile:
1. Magnetspule; 2. Magnetjoch; 3. Schleifschuh;
4. Führung; 5. Federaufhängung

Grafik: Thomas Backmann nach „Straßenbahnen“ Mäurich/Stößel



125: Tür von Hand zu öffnen und zu schließen (keine Überwachung)
126: Tür von Hand zu öffnen, aber elektrisch zu schließen (Kontrolllampe)



Falrtür eines Triebwagens (Kontrolllampe, Wagen fährt nicht mit offenen Türen und schaltet bei gewaltsamen Öffnen während der Fahrt den Fahrstrom ab)

schnitten ohne Sicherheitsraum dürfen Türen in Personenfahrzeugen nicht von Fahrgästen geöffnet werden können, wenn die Bergung der Fahrgäste im Gefahrenfall auf andere Weise sichergestellt wird (BOStrab).

13.1 Tür- und Betätigungsarten

Mechanische Schiebetüren, die von Hand auf- und zugeschoben werden (Bild 125 S. 86), gibt es nur noch in historischen Fahrzeugen. Später folgten **automatische Schiebetüren**, die elektrisch (Bild 126 S. 86) oder pneumatisch geschlossen wurden, aber zum Teil noch manuell geöffnet werden mussten. Der Vollzug der Türschließung wird über eine Kontrolllampe angezeigt.

Manche Straßenbahn- oder Stadtbahnfahrzeuge sind mit **Falrtüren** (Bild 127 S. 86) ausgestattet. Sie können mit integrierten, ausklappbaren Trittstufen versehen sein (Bild 128 S. 86) oder nur einfach vor den Trittstufen schließen. Sie haben häufig keine Einklemmschutz-Überwachung. Der Fahrer muss also selbst darauf achten, dass beim Schließen kein Fahrgast zu Schaden kommt. Allerdings besitzen diese Fahrzeuge nachgerüstete Anfahrsperrn, die ein Anfahren mit offenen Türen verhindern.

13.2 Überwachungssysteme

Alle neueren Fahrzeuge mit Außenschwenkschiebetüren (Bild 129 S. 87) besitzen eine **Mehrfachüberwachung** mittels Lichtschranke, Fingerschutzgummi mit Druckwellenschalter und zusätzlicher Motorstromüberwachung.

Die Türen schließen erst, wenn sich kein Fahrgast mehr im Überwachungsbereich der Lichtschranke befindet. An den Türblättern befinden sich Fingerschutzgummis, in denen Druckwellenschalter untergebracht sind. Wird ein Fahrgast eingeklemmt, wird der im Fingerschutzgummi untergebrachte Druckwellenschalter aktiviert und die Tür öffnet sich wieder. Auch der Motorstrom des Türmotors wird gemessen: Bei erhöhtem Kraftaufwand des Motors und damit höherem Motorstrom öffnet sich die Tür ebenfalls. Die Lichtschranke kann durch den Fahrer per Knopfdruck bei Notwendigkeit für den jeweiligen Schließvorgang deaktiviert werden oder wird mit dem Schließbefehl per Taster automatisch außer Kraft gesetzt.

Ein Anfahren mit geöffneten Türen ist nicht möglich. Im Störfall gibt es, je nach Türsystem, immer die Möglichkeit, die betreffende Tür außer Betrieb zu nehmen (häufig mit Schlüssel oder

Vierkant). Am weitesten verbreitet sind elektrisch betätigte Türen, aber auch elektro-pneumatische Türsysteme (wie die Doppelfalrtüren des DT8 in Stuttgart).

13.3 Notentriegelung

Türen, die sich aufgrund ihrer spezifischen Antriebe im Störfall nicht problemlos öffnen lassen, müssen über eine mechanische Notlöseeinrichtung (Bild 130 und 131 S. 88) verfügen – beispielsweise wird die Tür mittels Hebelvorrichtung entriegelt und dann per Hand aufgeschoben. Pneumatische Türsysteme müssen entlüftet werden und sind dann ebenfalls per Hand zu öffnen.

14. Störungssuche und -beseitigung

Zu jeder soliden Fahrschulung gehört das Erkennen und, im gewissen Umfang, das Beseitigen von Störungen. Dazu sind fundierte Grundkenntnisse der Fahrzeugtechnik nötig, die in jedem Verkehrsbetrieb fahrzeugspezifisch vermittelt werden.

14.1 Störungssuche

Zu unterscheiden sind äußere Störungen und Störungen im Fahrzeug. Äußere Störungen gehen vom Netz aus, wie Fahrleitungsschäden oder einfache Stromstörungen. Der Fahrer erkennt sie, je nach Fahrzeugtyp, entweder durch augenscheinliche Kontrolle, Kontrollleuchten oder daran, dass ein Summer ertönt und/oder die Innenbeleuchtung auf Notbeleuchtung wechselt und/oder das Display „Stromstörung“ anzeigt.

Störungen im Fahrzeug lassen sich (vor allem bei älteren Fahrzeugen) an Geräuschen oder Fahreigenschaften erkennen, in neueren Fahrzeugen an den Kontrollleuchten. In Fahrzeugen mit Selbstdiagnose zeigt das Display den Schaden direkt an und weist den Fahrer auf die erforderliche Handlungsweise hin.

14.2 Störungsmeldung

Störungen sind grundsätzlich entsprechend der DFStrab der Verkehrsleitstelle (in manchen Regionen auch „Betriebsleitstelle“ genannt) zu melden. Derjenige Betriebsbedienstete, der den Störfall feststellt, ist zunächst für die Einleitung entsprechender Maßnahmen verant-



Falrtür mit ausklappbaren Trittstufen (Kontrollsystem mit Kontrollleuchte und Einklemmschutz)



Außenschwenk-Schiebetüren (Überwachungssystem über Lichtschranke, Druckwellenschalter, Motorstromüberwachung [Einklemmschutz] und Kontrollleuchte)



146 und 147: New Yorker City Subway (U-Bahn)



Stadtbahn (U-Straßenbahn) in Hannover



Wuppertaler Schwebebahn in der Station

Tunneldurchmesser der „Tube“ ist im Durchschnitt nur 3,50 m und jedes Gleis liegt in einer eigenen Röhre. Das Lichtraumprofil ist sehr gering, obwohl beide Bahnen die gleiche Spurweite (1435 mm Regelspur) haben. Vom Grunde her sind die beiden Netze getrennt. Ausnahme ist eine oberirdische Strecke von Rayners Lane nach Uxbridge, wo sowohl eine Sub-Surface-Linie (Metropolitanline) als auch eine Tube-Linie (Piccadillyline) verkehren. Jede Linie in London hat einen Namen, wie Victorialine, Jubileeline, Nothernline, Bakerlooline, Districtline, Circleline etc.!

Leider kommt es im Netz der Underground öfters (durchschnittlich einmal pro Woche) zu Suizidversuchen, von denen jeder dritte tödlich endet. Die Lautsprecherdurchsagen werden den Fahrgästen als: „incident, passenger action“ („Fahrgastzwischenfall“) umschrieben. Beim Personal verständigt man sich mit „one under“ („einer drunter“). Um dem vorzubeugen, wurden bereits mehrere Stationen mit Bahnsteigtüren ausgerüstet. Die U-Bahn fährt in die Station ein und hält punktgenau vor den Bahnsteigtüren. Dann werden die Türen der Bahn und des Bahnsteiges geöffnet. So wird verhindert, dass Personen vor die einfahrende U-Bahn springen. Typisch für die Londoner Underground ist auch die Durchsage: „Please mind the gap between the train and the platform!“ Wer schon einmal in London war, hat sich garantiert diese Durchsage eingepägt, denn sie ertönt an jeder Haltestelle der „Underground“.

Die Moskauer U-Bahn, die wie in Paris „Metro“ genannt wird, besitzt eines der größten Netze in Europa. Sie wurde 1933 eröffnet und nach dem Krieg kontinuierlich ausgebaut. Besonders bekannt ist diese Metro durch ihre sehenswerten, teils prunkvoll gestalteten und sehr tief unter der Erde liegenden Stationen.

In Kiew (Bild 144 und 145 S. 97) wurde die Metro erst 1960 eröffnet. Die Länge des Netzes beträgt 60,3 Kilometer. Die Fahrzeuge waren bis vor wenigen Jahren die Gleichen wie in Moskau.

In Paris wurde am 19. Juli 1900 die Metro (Compagnie du Metropolitan de Paris) eröffnet. Ihre Besonderheit besteht darin, dass sie zwischen 1956 und 1974 auf ein von Michelin erfundenes System mit Gummi bereiften Rädern (Bild 143 S. 97) umgestellt wurde, die außen neben den Gleisen fahren. Für den Fall eines Reifenschadens besitzt die Metro zusätzlich konventionelle Stahlräder.

Die New Yorker U-Bahn (Bild 146 und 147 S. 98), auch City Subway genannt, ist nach London die zweitälteste und zweitgrößte U-Bahn der Welt. Sie wurde 1904 eröffnet und besitzt heute ein Streckennetz von etwa 370 Kilometern Länge, das von 26 Linien befahren wird.

19.3 Stadtbahnen mit Tunnelbetrieb

Stadtbahnen, die streckenweise auch im Tunnel fahren, sind zusätzlich mit den für den Tunnelbetrieb entsprechend vorgeschriebenen Zugsicherungsanlagen ausgestattet – sonst fahren sie auf Sicht. Diese Mischbauform wird im Volksmund häufig als U-Straßenbahn (Bild 148 S. 98) bezeichnet. Sie ist häufiger vertreten als die reine U-Bahn (nur 4 x in Deutschland), da der Bau kostengünstiger ist und die Vorteile von Straßen- und U-Bahnen vereint. Die Fahrt im Tunnel wird, wie bei der U-Bahn, über Zugsicherungsanlagen (siehe Teil 2) abgesichert. Die Stromzufuhr erfolgt über Stromabnehmer.

19.4 Wuppertaler Schwebebahn

Die Wuppertaler Schwebebahn (Bild 149 S. 98), deren offizieller Name „Einschienige Hängebahn – System Eugen Langen“ ist, wurde um 1900 von MAN konstruiert und erbaut. Bereits 1901 ging sie in Betrieb und ist bis heute ein einzigartiges Nahverkehrssystem. Die Bahn fährt etwa zehn Kilometer in rund zwölf Metern Höhe über dem Flussbett der Wupper. Ein kleines Stück (etwa drei Kilometer) legt sie über den Straßen der Stadt zurück. Sie hat 20 Haltestellen und befördert täglich rund 75.000 Fahrgäste. Verkehrsrechtlich ist die Wuppertaler Schwebebahn eine „Straßenbahn besonderer Bauart“ und unterliegt damit der BOStrab.

Da die Wupper häufig Hochwasser führt, musste beim Bau des Traggerüsts für den Fahrtweg genügend Platz unter der Bahn berücksichtigt werden. Die Konstruktion der Stromversorgung (Bild 150 S. 99) und die Erschließung der Stationen waren eine komplizierte Angelegenheit. Das Traggerüst besteht aus schräg gestellten Stützenpaaren, die zwischen die Träger eingehängt wurden und eine Spannweite von bis zu 33 Metern aufweisen. Ankerstützen alle 200 bis 300 Meter geben dem System die notwendige Stabilität. Sie nehmen die Längskräfte auf, die durch das Fahren und Bremsen entstehen. Alle Wagen verfügen über



Antrieb und Führungsschiene der Wuppertaler Schwebebahn auf dem Dach der Bahn



Zahnradbahn „Zacke“ Stuttgart

eine Sicherheitsfahrtschaltung (Totmann-Schaltung). Der Fahrer muss ständig das Pedal betätigen. Vergisst er es, wird automatisch die Betriebsbremsung eingeleitet (wie auch bei modernen Straßenbahnen). Die Wuppertaler Schwebebahn fährt nicht auf Sicht, sondern im Blockabstand.



171 Bahnübergang Leipzig-Markleeberg



172 Bahnübergang Leipzig-Markleeberg (2015 still gelegt)



173 Bahnübergang Leipzig-Markleeberg, Juni 2009



174 BÜ-Anlage Stahmeln (Leipzig) nach BOStrab

3.3 Weichen und Weichenstraßen

In Deutschland gibt es mehrere unterschiedliche Weichensysteme. Sie haben eines gemeinsam: Sie arbeiten unabhängig vom Fahrstrom. Als Beispiel soll das Weichensystem der Firma Hanning & Kahl vorgestellt werden (G91 S. 118 und Kasten S. 119).

Die Weichensignalisierung ist am Beispiel der Leipziger Straßenbahn dargestellt (G90 S. 110). Der Betrieb kann selbst entscheiden, ob er ein Zwei- oder Dreikammersignal verwendet oder ob die Signale ständig beleuchtet sind oder erst beim Befahren der Empfängerschleife für die Weichensteuerung beleuchtet werden.

■ **Spitzweiche:**

Die Weiche wird mit dem Fahrzeug von der Spitze her befahren. Das Gleis teilt sich.

■ **Stumpfweiche:**

Die Weiche wird mit dem Fahrzeug zuerst vom Herzstück her befahren. Zwei Gleise führen zusammen.

Federweichen (auch als „Rückfallweichen“ bezeichnet) gelangen nach dem stumpfen Befahren wieder in die Ausgangsstellung zurück. Die Rückstellkraft wird meist durch Federkraft bewirkt. Federweichen werden häufig in Ausweichen eingleisiger Strecken und in Wendedreiecken verwendet.

Bei der **Linksweiche** besteht die Gefahr, dass der Fahrer bei falscher Weichenstellung dem Gegenzug in die Flanke fährt. An Linksweichen existiert grundsätzlich Begegnungsverbot mit dem Gegenzug, wenn es sich um eine Handweiche handelt. Ausnahmen sind mit dem Signal W22 (G94 S. 120) gekennzeichnet. An elektrisch und mechanisch verriegelten Weichen besteht, wenn sie verriegelt sind, in vielen Unternehmen Begegnungserlaubnis. Doch auch in diesem Fall können Betriebsleiter eine Begegnung verbieten. Handweichen, die nach dem Befahren in die Grundstellung zurückzustellen sind, sind mit dem Signal W 21 (G93 S. 120) gekennzeichnet.

Grundsatz für das Fahren auf Sicht:
Über Weichen sollst Du schleichen!



175 besonderer Bahnkörper



176 straßenbündiger Bahnkörper



177 unabhängiger Bahnkörper



178 Sicherungsanlage nach BOStrab auf unabhängigem Bahnkörper



179 mit einer historischen Bahn auf unabhängigem Bahnkörper unterwegs



180 straßenbündiger Bahnkörper



181 Rasengleis auf besonderem Bahnkörper



182 eingleisige Behelfsbrücke bei einem Brückenneubau am alten Messengelände in Leipzig