

SIEMENS- HANDBÜCHER

Herausgegeben von der Siemens & Halske A.-G.
und der Siemens-Schuckertwerke A.-G.

XV. Band:
Elektrische Bahnen



WALTER DE GRUYTER & CO.
BERLIN UND LEIPZIG
1929

ELEKTRISCHE BAHNEN

Bearbeitet

von

Regierungsbaumeister a. D. O. Höring
Prokurist der Siemens-Schuckertwerke A. G.

Mit 502 Abbildungen, 9 Zahlentafeln, einer Karte
und 8 Tiefdruckbeilagen



WALTER DE GRUYTER & CO.
BERLIN UND LEIPZIG
1929

Alle Rechte,
insbesondere das der Übersetzung, vorbehalten.

Copyright 1929 by WALTER DE GRUYTER & Co.,
vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung — J. Guttentag, Verlags-
buchhandlung — Georg Belmer — Karl J. Trübner — Veit & Comp.
Berlin W 10, Genthiner Straße 38.

Vorwort

Bei Erscheinen des Buches sind 50 Jahre vergangen, seit Werner Siemens die erste elektrische Bahn auf der Gewerbe- und Industrieausstellung in Berlin vorgeführt hat. Die in den Text eingestreuten Kunstbeilagen zeigen einige historisch bemerkenswerte und für die Entwicklung der elektrischen Bahnen bedeutsame Ausführungen der Siemenswerke, die innerhalb dieser 50 Jahre entstanden sind.

Das Buch gibt einen Überblick über das Arbeitsfeld der Siemenswerke auf dem Gebiet der elektrischen Bahnen. Es soll dem mit Entwurf und Ausführung elektrischer Bahnanlagen betrauten Ingenieur die Möglichkeit geben, auch Fragen, die nicht in sein eigenes Sonderfach fallen, sachgemäß zu behandeln.

Bei der Fülle des Stoffes war es nicht möglich, alle Einzelheiten erschöpfend zu bearbeiten. Es mußte zum Teil auf andere fachwissenschaftliche Arbeiten der Siemenswerke und auf andere Autoren verwiesen werden.

Das Buch entstand unter Mitwirkung folgender Herren:

Oberingenieur Heinze
Oberingenieur v. Kalnassy
Oberingenieur Charles Werner
Oberingenieur Passauer
Oberingenieur Rink
Oberingenieur Grimm
Reg.-Baumeister Busse
Oberingenieur Kuntze
Oberingenieur Amon
Oberingenieur Jatho
Ingenieur Groeger
Dipl.-Ingenieur Dette
Dipl.-Ingenieur Selmer.

Der Abschnitt über „Seilschwebbahnen“ stammt von den Österreichischen Siemens-Schuckert-Werken in Wien. Die Bearbeitung des Abschnitts über „Betriebsführung“ hat freundlicherweise Herr Oberbaurat Zehnder übernommen. Die Abschnitte über Fernmelde-Einrichtungen und Kabelkorrosionen stammen von dem Wernerwerk der Siemens & Halske A.-G., der Abschnitt „Elektrokarren im Bahnbetrieb“ von der zuständigen Abteilung (EFV) der SSW. — Ihnen allen sei an dieser Stelle für ihre Mitarbeit gedankt.

Inhaltsübersicht

	Seite
I. Ausdehnung des elektrischen Bahnbetriebes	1
II. Unter welchen Umständen ist der elektrische Betrieb angebracht?	2
III. Die verschiedenen Arten von elektrischen Bahnen:	14
A. Bahnen auf öffentlichen Straßen (Straßen-, Klein- und Über- landbahnen)	14
B. Bahnen auf eigenem Bahnkörper (Kleinbahnen, Nebenbahnen, Stadtschnellbahnen, Hoch- und Untergrundbahnen, Vollbahnen, Schwebbahnen, Zahnradbahnen)	15
C. Industriebahnen	16
IV. Grundlagen für den Entwurf elektrischer Bahnen	17
A. Gesetzliche Vorschriften	17
B. Linienführung	19
C. Verkehr	22
D. Fahrplan und Zugbildung	26
E. Wahl der Stromart	35
F. Berechnung von elektrischen Bahnanlagen	46
1. Erforderliche Unterlagen	46
2. Übliche Zugwiderstandsformeln	47
3. Beschleunigungskraft	49
4. Verluste im Triebwerk des Fahrzeuges	50
5. Berechnung der Motorleistung	51
6. Berechnung der Kraft- und Unterwerke	65
7. Berechnung der Leitungsanlage	67
a) für Gleichstrom	67
b) für Wechselstrom	73
V. Fahrzeuge	77
A. Fahrzeuge für Straßen- und Kleinbahnen	77
1. Mechanischer Teil	77
Größe der Wagen, Zusammensetzung	77
Unter- und Drehgestelle	79
Wagenkasten	82
Bremsen	83

	Seite
2. Elektrischer Teil	88
Motoren mit Getriebe	88
Steuerung	98
Fahrschalter	104
Stromabnehmer	115
Blitzableiter, Ausschalter und Sicherungen	121
Widerstände	126
Beleuchtungs- und Heizeinrichtungen	127
Elektrische Ausrüstung für die Luftdruckbremse	132
Kupplungen für Licht-, Heiz- und Bremsstrom	133
Verbindungsleitungen und ihre Verlegung	133
B. Fahrzeuge für Vollbahnen	136
1. Mechanischer Teil	136
Arten der Triebfahrzeuge	136
Wahl der Lokomotivbauart	139
Anordnung der Achsen	139
„ „ Motoren	143
„ „ Getriebe	145
„ des Untergestells und des Kastens	156
Bremsen	162
2. Elektrischer Teil	168
a) Wechselstromausrüstung	168
Stromverlauf	168
Motoren	169
Transformator	173
Steuerung	175
Nebenteile	180
Beleuchtung und Heizung	182
b) Gleichstromausrüstung	186
c) Stromrückgewinnung	189
bei Wechselstrom	190
bei Gleichstrom	191
C. Fahrzeuge mit eigener Kraftquelle	191
1. Triebwagen (Schienenfahrzeuge)	191
a) Benzol- oder Dieselmehchanische Triebwagen	192
b) Benzol- oder Dieselelektrische Triebwagen	193
c) Elektrospeicherwagen	196
d) Konstruktionsgewicht im Verhältnis zur nutzbaren Bodenfläche	203
e) Wirtschaftlichkeit	204

	Seite
2. Lokomotiven für den Güter- und Verschiebedienst . . .	206
a) Dieselhydraulische Lokomotiven	207
b) Dieselelektrische Lokomotiven	207
c) Elektro-Speicherlokomotiven	208
d) Wirtschaftlichkeit	208
3. Lokomotiven für Fernstrecken	213
VI. Stromerzeugung	215
A. Kraftwerke	215
1. Belastungsschaubilder	215
2. Energiespeicherung	219
3. Kurzschlüsse	225
B. Unterwerke	225
1. Umspannwerke	226
2. Umformerwerke	232
Motorgeneratoren	232
Kaskadenumformer	233
Einankerumformer	238
Gleichrichter	241
C. Selbsttätige und ferngesteuerte Umformerwerke	243
VII. Streckenausrüstung	247
A. Gleisanlage	247
1. Gleisanlage mit Vignolschienen	248
2. Gleisanlage mit Rillenschienen	261
B. Fahrleitungen	268
1. für Bahnen auf öffentlichen Straßen	268
a) Oberirdische Stromzuführung mit Einfachaufhängung des Fahrdrahtes	268
b) Fahrleitungen nach Dickinson	274
c) Teilleiter mit Kontaktknöpfen	274
d) Schlitzkanal	275
2. für Bahnen auf eigenem Bahnkörper	275
a) Vielfachaufhängungen des Fahrdrahtes	275
b) Dritte Schiene	279
3. Bestandteile und besondere Ausführungen der Fahrleitungen	281
a) Bestandteile der Fahrleitung für Einfachaufhängung des Fahrdrahtes	281
b) Besondere Fahrleitungsausführungen	291
c) Bestandteile der Fahrleitung mit Vielfachaufhängung des Fahrdrahtes	294
d) Sonderausführungen der Fahrleitung	303
e) Bestandteile der dritten Schiene	308

	Seite
4. Speiseleitungen	312
5. Schienenrückleitung	317
a) Schienenverbinder	317
b) Verzinkte Stöße	320
c) Schienenstoßmessung	322
6. Leitungsbau	323
a) Oberleitungen	323
b) Dritte Schiene	336
c) Speiseleitungen	337
C. Sondereinrichtungen	338
1. Elektrische Weichenstellvorrichtungen für Straßenbahnen	338
2. Elektrische Signalanlagen für Straßenbahnen	341
3. Selbsttätige Fahrsperrn für Bahnen mit eigenem Bahnkörper	343
4. Wirbelstromgleisbremse	349
5. Beeinflussung der Fernmeldeeinrichtungen durch elektrische Bahnen	350
6. Schutz der Kabel gegen Korrosion	360
VIII. Industriebahnen	364
A. Allgemeines	364
B. Abraum- und Sandtransportbahnen	375
C. Grubenbahnen	387
D. Nutzlastlokomotiven	390
E. Hüttenbahnen	392
F. Anschluß- und Verschiebelokomotiven	394
G. Kokslöschlokomotiven	397
H. Schlepper und Plattformwagen	399
J. Elektrokarren im Bahnbetriebe	403
K. Zahnradlokomotiven	415
IX. Bahnen besonderer Art für Personenverkehr	420
A. Zahnradbahnen	420
1. Allgemeines	420
2. Oberbau- und Zahnstangensysteme	421
3. Motorleistung und Triebfahrzeuggewicht	424
4. Stromversorgung	425
5. Triebfahrzeuge	426
B. Schwebbahnen	435
1. Allgemeines	435
2. Bahnkörper	436
3. Stromzuführung	438
4. Rollendes Material	439

	Seite
C. Personen-Seilschwebbahnen	443
D. Gleislose elektrische Bahnen	460
X. Betriebsführung	462
A. Auswahl und Ausbildung des Personals	462
1. Technisches Personal	462
2. Fahrpersonal	463
B. Dienstanweisungen	466
C. Untersuchung und Unterhaltung der Fahrzeuge	468
1. Laufende Unterhaltung	468
2. Periodische Untersuchungen	469
3. Hauptuntersuchungen	471
4. Umänderungen und Verbesserungen	475
5. Stärke der Belegschaft	475
D. Untersuchung und Unterhaltung der Gleise	476
1. Ständige Unterhaltung	476
2. Erneuerung	481
3. Gleisbauwerkzeuge und Werkstätte	483
4. Gleisreinigung	487
5. Personal	489
E. Untersuchung und Unterhaltung der Leitungen und Zubehör	489
1. für Straßenbahnen	489
a) Kabel	489
b) Fahrleitung	490
c) Signalanlagen und Haltestellen für Straßenbahnen	491
d) Elektrische Weichenstellvorrichtungen	492
e) Werkstätte und Werkzeuge	492
f) Personal	493
2. für Bahnen mit eigenem Bahnkörper	494
F. Werkstätten und Betriebsbahnhöfe	498
1. Einrichtungen der Werkstätten	498
2. Aufgaben der Betriebsbahnhöfe	509
3. Einrichtungen der Betriebsbahnhöfe	510
G. Lager und Vorräte	513
1. Hauptlager	513
2. Lager der Betriebsbahnhöfe und einzelnen Abteilungen	514
H. Betriebserfahrungen und Statistik	515

Alphabetisches Stichwortverzeichnis

	Seite		Seite
Abbau-Lokomotiven	389	Elektro-Speicher, siehe auch	
Abraumbahnen	375	Akkumulatoren	
Abrißschaltung	100	Energie-Speicherung	219
Achsbeanspruchung durch Tatzenlagermotoren	145	Erwärmungsgrenze für Motoren	172
Achsenanordnung, siehe Lokomotivbauarten		Fahrdraht	286
Akkumulatoren	196, 219, 402	Fahrdraht-Kreuzungen	291
Akkumulatoren-Lokomotiven		Fahrgeschwindigkeit	27
208, 210, 211, 388, 389, 392, 395, 396	396	Fahrleitungen	268, 371, 375
Akkumulator-Triebwagen	196	Fahrleitung, Verschiebbare	378
Ausdehnung des elektrischen Bahnbetriebes	1	Fahrplan	26
Bedienungslose Umformerwerke Belastungsbilder von Bahnkraftwerken	244	Fahrschalter 104, 106, 112, 179, 181, 182	
Benzin-elektrische Lokomotive	380	Fahrschalter mit Entlastungsschutz	112
Benzol- oder Diesel-Triebwagen	191	Fahrsperre	343
Beschleunigung	49	Fahrzeuge mit eigener Kraftquelle	191
Betriebsbahnhöfe	498, 509	Feldschwächung	101
Betriebsführung	462	Ferngesteuerte Umformerwerke siehe „Umformerwerke“	
Blitzableiter	120	Freiluft-Umspannwerke, siehe „Umspannwerke“	
Bremsen 83, 84, 86, 103, 104, 162—168	349, 417, 429, 433	Führerloser Plattformwagen	401
Brückenschaltung	100	Gesetzliche Vorschriften für elektrische Bahnen	17
Buchli-Antrieb	150	Gleichrichter	200, 241
Bürstenhalter	92	Gleichrichter-Fahrzeuge	212
Bürstenverschiebung	175	Gleisanlage	247, 372
Dampfspeicher	221	Gleislose elektrische Bahnen	460
Dickinson-Rolle	274	Gleitlager	89
Dienstanweisungen	466	Grubenbahnen	387
Diesel-Lokomotiven	207, 213	Grubenlokomotiven	387
Drehtransformator	175	Grundgeschwindigkeit	27
Dritte Schiene	279, 308	Hallenbauweise von Umspannwerken	228
Durchhangsberechnung	272	Hochspannungs-Ölschalter	180
Einachsiges Drehgestell	81	Hubkarren	406
Einanker-Umformer	238	Hüttenwerkslokomotiven	392
Einfachaufhängung des Fahrdrabtes	268, 281, 490	Hydraulische Energiespeicherung	223
Einzelachsenantrieb Westinghouse	149	Industriebahnen	14, 364
Elektrokarren	403	Jacobs-Drehgestell	81
Elektro-magnetisches Schütz	178, 187		
Elektro-pneumatisches Schütz	178, 187		

	Seite		Seite
Kabel-Korrosion	360	Reihen-Parallelschaltung	99
Kando-Rahmen	149	Reisegeschwindigkeit	27
Kardantrieb	97, 383	Repulsionsmotor	175
Kaskaden-Umformer	233	Rillenschienen	261
Kegelradgetriebe	98, 151	Rollbock	397, 400
Kletterweichen für Schwebe- bahnen	438	Rollenlager	89
Koklösch-Lokomotiven	397	Ruhender Stoß	249
Kommutator s. Stromwender	92	Sandtransportbahnen	375
Kraftwerke, Berechnung der	65	Schienenrückleitung	317
Kreuzschaltung	102	Schienenstoßmessung	322
Kurzschlußbremsung	101	Schleifring-Fahrschalter	106
Ladestation für Speicherwagen	200	Schlepper	399, 411
Leitungsanlage, Berechnung der	67	Schlitzkanal	275
Leitungsbau	323	Schlitzkuppelstange	148
Leitungskupplungen	133	Schneckenantrieb 98, 382, 398, 402	
Leonardschaltung	450	Schnellschalter	113, 123
Linienführung	19	Schwachstromleitungen, Beein- flussung der	43, 350
Lokomotivbauarten	139	Schwebebahnen	15, 435, 443
Lokomotiven für Industriebahnen 364, 375, 380, 387, 389, 390 392, 393, 394, 397, 415		Schwebender Stoß	249
Lokomotiven für Vollbahnen	139	Schwellen	250
Lokomotivkasten	156	Schwingungskreis	359
Luftpumpe	132, 182	Saug-Transformatoren	356
Lüftung der Motoren	89, 93, 170	Selbsttätiger Ausschalter	120
Magnetische Funkenlöschung 107, 188		Selbsttätiger Spannungsum- schalter	114
Maste	281	Selbsttätige Steuerung	187
Motorbauart 88, 143, 150, 151 169, 186		Selbsttätige Umformerwerke	244
Motor, Hochgelagerter	144, 169	Sicherheitsvorrichtung für Seil- schwebebahnen	445, 454
Motorgeneratoren	232	Sicherungen	120, 125
Motorgenerator für Hilfstrom	186	Signalanlagen, elektrische, für Straßenbahnen	341
Motor kennlinien	35, 38, 41, 56	Speiseleitungen	312, 337
Motorleistung, Berechnung der	51	Speisewasser-Speicherung	222
Niederflurwagen	79	Spurweite	249
Nockenfahrtschalter	106	Steuerwarte	230
Nockensteuerung	179	Straßenbahnwagen	77
Nutzbremsung (Stromrückge- winnung)	43, 189, 428, 434	Strecken-ausrüstung	247
Nutzlastlokomotiven	390	Stromabnehmer 115, 117, 180, 441	
Ölpumpe	174	Stromarten	35, 37, 40, 42
Parallel-Kurbelgetriebe	151	Stromerzeugung	215
Peckham-Aufhängung	80	Stromrückgewinnung, siehe Nutzbremsung	
Personalausbildung	462	Stromwender, s. Kommutator	92
Personen-Schwebebahnen	443	Stuhlschiene	248
Plattformwagen	399	Tatzenlagermotor 88, 143, 145, 171	
Pumpenschalter	133, 182	Teilleiter-System	274
		Tiefladehubkarren	406
		Totmanns-Kurbel	182
		Transformatoren s. Fahrzeuge	

	Seite		Seite
Transformatorwerke, siehe		Wärmespeicher	220
„Umspannwerke“		Wechselstrom-Triebfahrzeuge	
Triebwagen	77, 99, 136, 191	Ausrüstung der	168
Triebwerkverluste	50	Weichen	257, 264, 479
Turmwagen	212, 497	Weichenstellvorrichtungen für	
Umformerwerke	232, 246	Straßenbahnen	338
Umspannwerke	226, 230	Wendepole	90, 186
Unterbau	259	Werkstätten	498
Unterhaltung der Fahrleitungen	489	Westinghouse-Antrieb	150
Unterhaltung der Fahrzeuge	468	Widerstände	126
Unterhaltung der Gleise	476	Wirbelstrom-Gleisbremse	349
Unterwerke	225	Wirtschaftlichkeit des elektrischen Betriebes	204, 208
Unterwerke, Berechnung der	65	Zahnradbahnen	420
Verschiebe-Lokomotiven	206, 394	Zahnräder	95, 147, 153
Vertikalmotor	151	Zahnradlokomotiven	415
Verzinkte Stöße	320	Zahnradschutzkasten	96
Vielfachaufhängung des Fahrdrahtes	275, 294, 494	Zahnstangen	418, 420
Vielfachsteuerung, siehe „Zugsteuerung“		Zahnstangenweichen	419, 423
Vignoi-Schienen	248	Zellenbauweise von Umspannwerken	226
Vorzüge des elektrischen Bahnbetriebes	2	Zugbeleuchtung, Bauart Dick	182
Wagenbeleuchtung	127, 182	Zugbildung	26
Wagenheizung, auch Teil Va	129, 184, 202	Zugfolgezeit für Stadtschnellbahnen	30
Wagenkasten	82	Zugsteuerung	113, 177, 187
Wärmelücke	260	Zugwiderstand	47, 366
		Zweipolige Fahrleitung	460
		Zwillingswagen	79

Druckfehler-Berichtigung.

Es haben sich beim Druck leider einige Druckfehler eingeschlichen, die nicht mehr richtiggestellt werden konnten.

Es muß heißen:

- S. 133, 12. Zeile von unten: Bild 101 statt Bild 98
 „ 142, 11. „ „ oben: B + B statt B + B
 „ 185, 8. „ „ unten Wechmann statt Naderer
 „ 219, 6. „ „ oben: 14500 zu 6620 kW statt 6520 kW
 „ 233, dreimal Motorgeneratoren statt Motorengeneratoren
 „ 308, 6. Zeile von unten: dreiseitiger Schutz statt dreisitziger
 „ 385, 3. „ „ „ : sechszylindriger Viertaktmotor statt sechspoliger
 „ 415, 2. „ „ oben: Bild 441 statt 440
 „ 435, 20. „ „ unten: einschienig statt eingeisig
 12. „ „ „ zweisechienig statt zweigleisig
 „ 443, 8. „ „ oben: zwei und mehr Wagen statt drei und mehr
 nach S. 458 ist statt S. 495 = S. 459 zu setzen.



Erste elektrische Eisenbahn der Welt, Berliner Gewerbeausstellung 1879

Elektrische Bahnen

I. Ausdehnung des elektrischen Bahnbetriebes

Im Jahre 1879 führte Werner von Siemens auf der Berliner Gewerbe-Ausstellung der Öffentlichkeit die erste elektrisch betriebene Bahn vor, die in mehrmonatigem Betrieb den Nachweis ihrer praktischen Brauchbarkeit erbrachte. Es war dies eine 300 m lange Rundbahn, auf der eine kleine zweiachsige Lokomotive von 3 PS drei Personenwagen mit zusammen 18 Fahrgästen mit mäßiger Geschwindigkeit beförderte.

Aus diesem bescheidenen Anfang hat sich das elektrische Bahnwesen entwickelt, das in der kurzen Spanne von 50 Jahren über die ganze Erde sich verbreitet hat. Heute werden mit verschwindend geringen Ausnahmen sämtliche Straßenbahnen der Welt elektrisch betrieben. Bestehende Pferdebahnen mußten zum elektrischen Betrieb übergehen, neue elektrische Bahnen entstanden allerorts. Keine der sonst noch bekannten Antriebsarten konnte sich im Straßenbahnwesen auf die Dauer gegenüber dem Elektromotor halten.

Die Einführung des elektrischen Betriebes auf den Vollbahnen ist in allen Ländern der Erde noch in der Entwicklung begriffen, von Jahr zu Jahr nimmt das elektrisch betriebene Bahnnetz an Umfang zu. Im Jahre 1927 waren in elektrischem Betrieb:*)

Zahlentafel I.

Europa	Fernbahnen mit elektrischem Betrieb.	
Deutschland	1 191 km =	2,2 % des Gesamtnetzes
Österreich	650 „ =	9,3 % „ „
Schweiz	1 767 „ =	30,8 % „ „
Schweden	1 153 „ =	7,3 % „ „
Norwegen	205 „ =	5,9 % „ „
Italien	2 070 „ =	10,0 % „ „
Frankreich	1 031 „ =	1,9 % „ „
England	91 „ =	— % „ „
Niederlande	130 „ =	— % „ „
Spanien	227 „ =	1,5 % „ „
Ungarn	143 „ =	— % „ „
Estland	12 „ =	— % „ „
zusammen: 8 670 km Strecke		

*) Die seitdem erfolgten Erweiterungen der elektrischen Bahnnetze sind hier noch nicht berücksichtigt.

2 Unter welchen Umständen ist der elektrische Betrieb angebracht?

Außereuropäische Länder

Vereinigte Staaten Amerika	3 301 km	=	0,8 %	des Gesamtnetzes
Canada	303	„	=	0,5 % „ „
Mexiko	48	„	=	0,2 % „ „
Cuba	52	„	=	— % „ „
Brasilien	310	„	=	1,0 % „ „
Chile	255	„	=	— % „ „
Südafrika	275	„	=	1,5 % „ „
Japan	211	„	=	1,0 % „ „
Java	52	„	=	— % „ „
Australien und Neuseeland .	246	„	=	— % „ „

zusammen: 5 053 km Strecke

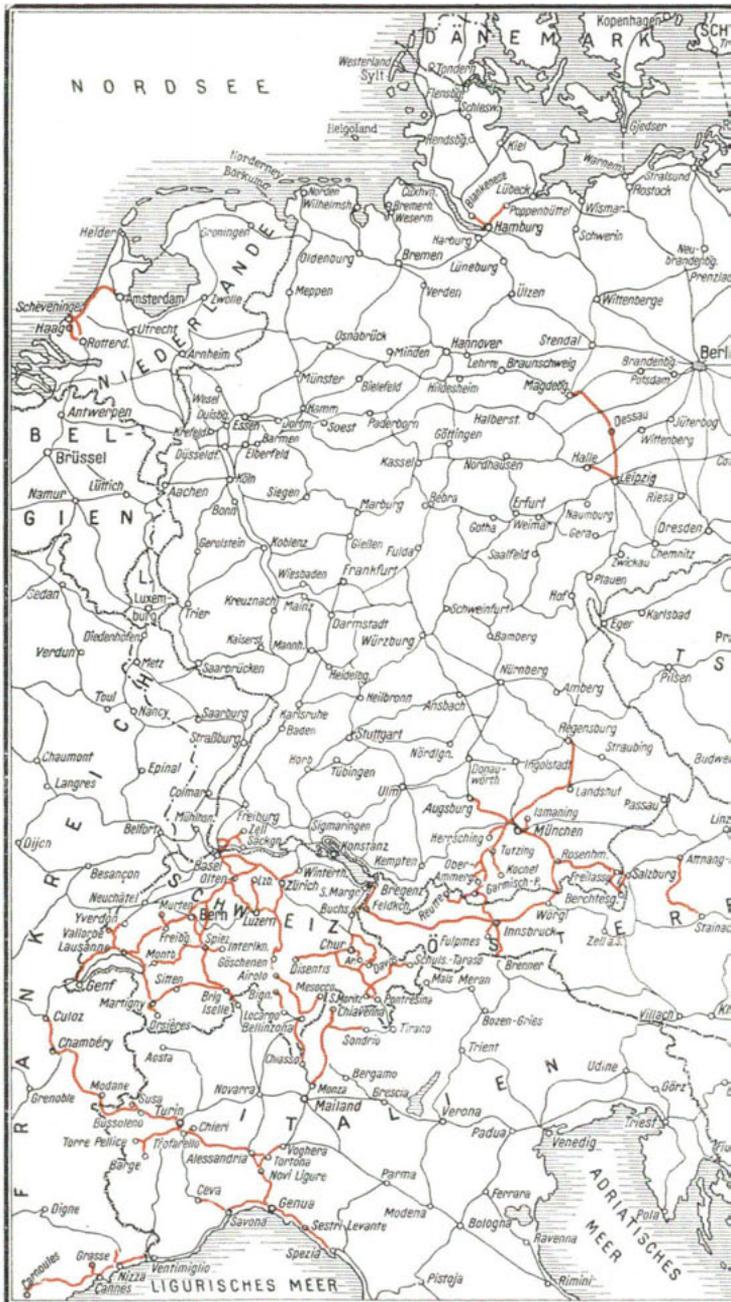
Insgesamt: 13 723 km Strecke

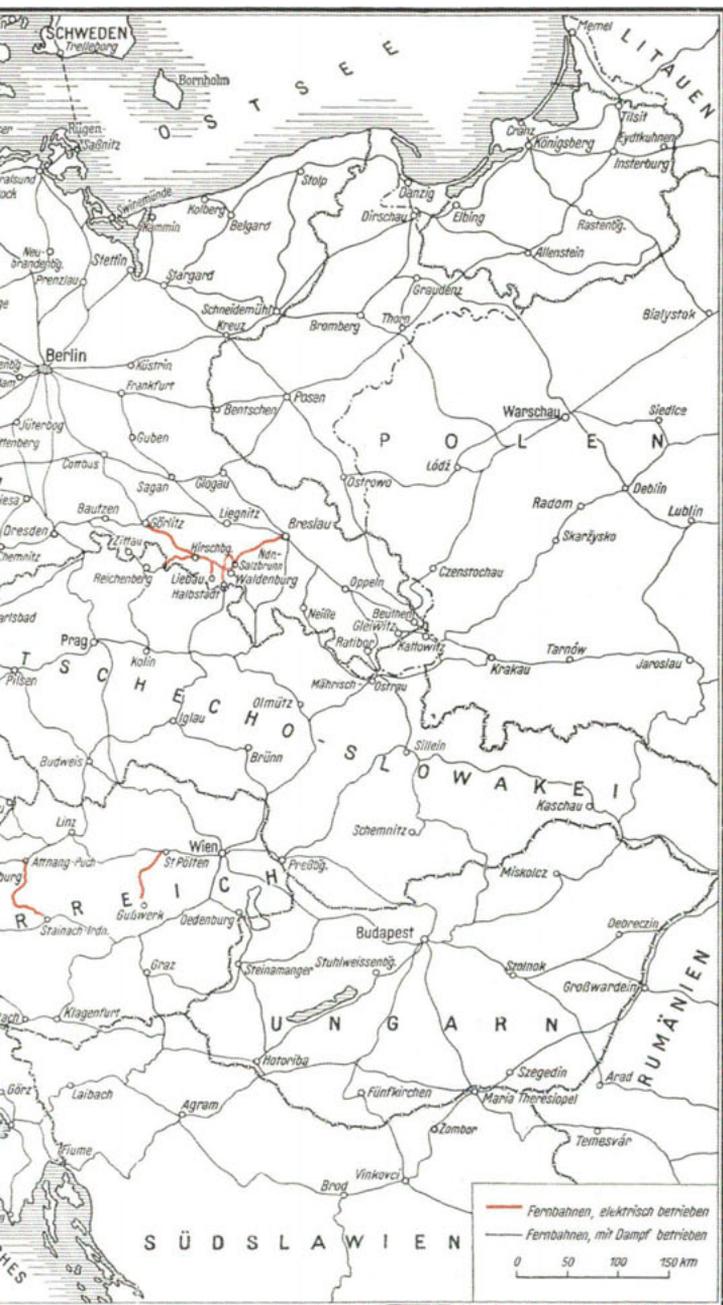
Von den Gleichstrombahnen sind hier nur diejenigen mit einer Betriebsspannung von 1500 V und darüber berücksichtigt (Bild 1).

II. Unter welchen Umständen ist der elektrische Betrieb angebracht?

Im Straßenbahnwesen bot der elektrische Betrieb gegenüber den früher üblichen Pferdebahnen, Dampfstraßenbahnen und Kabelbahnen dem reisenden Publikum die Annehmlichkeiten einer rascheren Beförderung in bequemeren und besser ausgestatteten und beleuchteten Wagen. Für die Straßenbahn-Verwaltungen bot die bessere Anpassungsfähigkeit des elektrischen Betriebes an die Bedürfnisse des Verkehrs, seine größere Leistungsfähigkeit und nicht zum wenigsten die geringeren Betriebskosten bei gesteigerten Einnahmen einen Anreiz, die Umwandlung auf elektrischen Betrieb zu beschleunigen und außerdem neue elektrische Bahnlinien anzulegen.

Für die Fernbahnen lagen die Verhältnisse nicht so günstig. Daß der elektrische Betrieb sich anfangs nur sehr langsam und zögernd auf Fernbahnen einführen konnte, wird durch Schwierigkeiten technischer und wirtschaftlicher Art begründet. Auch strategische Bedenken wurden geltend gemacht. Zunächst sind die Betriebsverhältnisse auf Vollbahnen wesentlich schwieriger. Während im Straßenbahnbetrieb nur einzelne leichte Wagen mit mäßiger Geschwindigkeit in kurzen Zeitabständen fortzubewegen sind, handelt es sich im Vollbahnbetrieb darum, geschlossene schwere Züge mit großer Fahrgeschwindigkeit über weite Strecken zu befördern. Der im Straßenbahnbetrieb bewährte Gleichstrom mit mäßiger Spannung war für Vollbahnen nicht geeignet, da die Übertragung der erforder-





lichen großen Energiemengen auf große Entfernungen technisch fast unmöglich und in Anbetracht der hohen Anlagekosten nicht zu rechtfertigen gewesen wäre. Erst nachdem es anfangs dieses Jahrhunderts gelungen war, den Einphasen - Wechselstrom mit hoher Fahrdrachtspannung dem Vollbahnbetrieb dienstbar zu machen, war damit eine allen Anforderungen dieses Betriebes entsprechende Stromart gefunden und die technische Möglichkeit für die elektrische Zugförderung auf Vollbahnen gegeben.

Die neuzeitlichen Dampflokomotiven sind äußerst betriebsichere und zuverlässige Maschinen und entsprechen durchaus den Anforderungen eines schweren Bahnbetriebes. Um die Dampflokomotive zu verdrängen, mußte die Elektrolokomotive nicht nur das gleiche, sondern womöglich noch mehr zu leisten imstande sein. Dabei hatte die Dampflokomotive eine hundertjährige Entwicklungszeit hinter sich, während für den Bau der Elektrolokomotive die Erfahrungen zunächst noch fehlten.

So ist es erklärlich, daß der elektrische Betrieb für Vollbahnen auf Einzelfälle beschränkt blieb und sich auch nur dort durchsetzen konnte, wo besonders günstige Vorbedingungen vorlagen, daß aber an eine planmäßige Umwandlung des Betriebes für ein ganzes Bahnnetz nicht gedacht wurde.

Allmählich reifte indessen — und unter den ungünstigen wirtschaftlichen Verhältnissen der Nachkriegszeit in steigendem Maße — die Erkenntnis, daß der Wirtschaftlichkeit des Eisenbahnbetriebes eine größere Aufmerksamkeit als bisher geschenkt werden müsse. Insbesondere wurde größere Sparsamkeit im Kohlenverbrauch zu einer unabweisbaren Forderung und die elektrische Zugförderung, die hierfür die Möglichkeit bietet, gewann in allen Kulturländern der Erde eine erhöhte Bedeutung.

Der Kohlenverbrauch der Eisenbahnen macht einen sehr erheblichen Anteil der gesamten Kohlenwirtschaft eines Landes aus und jede Ersparnis auf diesem Gebiet bedeutet eine merkliche Entlastung der Wirtschaft.

Auf der Deutschen Reichsbahn wurden im Jahre 1922 für Lokomotivfeuerung nicht weniger als 15 Millionen t bester Steinkohle verbraucht bei einer Gesamtförderung von 119 Millionen t, d. s. 12½ %. Die übrigen europäischen Länder weisen ähnliche Verbrauchsziffern auf.

Die Eisenbahnen der Vereinigten Staaten von Amerika verbrauchen jährlich 163 Millionen t Kohle = 24 % der gesamten Förderung.

Sofern ausgiebige Wasserkräfte für die Elektrifizierung der Eisenbahnen zur Verfügung stehen, kann die ganze bisher von den

4 Unter welchen Umständen ist der elektrische Betrieb angebracht?

Dampflokomotiven verbrauchte Kohlenmenge erspart werden; aber auch, wenn die elektrische Energie in Wärmekraftwerken erzeugt werden muß, bietet der elektrische Betrieb Vorteile. Es ist hierbei zu berücksichtigen, daß die Eisenbahnen die Kohlen im allgemeinen recht schlecht ausnutzen. Dies liegt weniger an der Konstruktion der Dampflokomotiven, die in den letzten Jahren durch die Einführung der Dampfüberhitzung, einer erhöhten Dampfspannung, der Speisewasservorwärmung und durch verbesserte Rostkonstruktionen erhebliche Verbesserungen erfahren haben und bei voller Belastung bezüglich der Erzeugungskosten der Energie hinter gut eingerichteten ortsfesten Kraftwerken nicht weit zurückstehen, als vielmehr in der Natur des Eisenbahnbetriebes selbst. Es ist im Eisenbahnbetrieb nicht möglich, die Lokomotive dauernd mit ihrer günstigsten vollen Belastung zu beanspruchen. Das wechselnde Streckenprofil, die fortwährenden Änderungen der Zuggewichte und Fahrgeschwindigkeiten bewirken schon in der Fahrt sehr starke Schwankungen in der Dampferzeugung und im Kohlenverbrauch. Noch ungünstiger wirken in dieser Beziehung das häufige Anhalten und Wiederauffahren, die oft recht langen Betriebspausen unter Feuer und die Notwendigkeit, nach jeder größeren Betriebspause den Kessel von neuem wieder anheizen zu müssen. Der Ausnutzungsgrad einer Dampflokomotive, d. h. das Verhältnis der Zeit, während welcher die Lokomotive mit voller Belastung arbeitet, zu der Dauer eines Tages beträgt für deutsche Verhältnisse etwa $1 : 24 = 4 \%$.) Die Lokomotive arbeitet demnach nur etwa 1 Stunde lang mit ihrer vollen Leistung, die übrigen 23 Stunden des Tages ist ihre Leistung geringer oder gleich Null.

Unter diesen Verhältnissen ist ein rationeller Kesselbetrieb nicht möglich, und hieraus erklärt sich auch der niedrige thermische Wirkungsgrad und der ungünstige Kohlenverbrauch selbst der besten neuzeitlichen Lokomotiven.

Auf den schlesischen Gebirgsbahnen wurden bei Dampfbetrieb durchschnittlich 0,06 kg Kohle von 7 000 kcal/kg, d. h. 420 kcal für 1 Tonnenkilometer gebraucht. Bei elektrischem Betrieb wurden dagegen einschließlich der Verluste in den Stromverteilungsanlagen nur 28 Wattstunden für 1 tkm benötigt. Der Wärmeverbrauch je abgegebene Kilowattstunde beträgt im Kraftwerk Mittelsteine etwa 6100 kcal. Es werden also für 1 tkm 170 kcal aufgewendet, das sind 40 % der beim Dampfbetrieb bisher erforderlichen Wärmemenge. Die Ersparnis beträgt daher 60 %.

Bei ganz modernen Dampflokomotiven mag der obige Satz von 0,06 kg Kohle vielleicht noch unterschritten werden können, anderer-

*) Lotter, Jahrbuch für Eisenbahnwesen 1925/26, S. 453.

seits ist aber auch die Stromerzeugung im Kraftwerk Mittelsteine, das bereits im Jahre 1914 erbaut wurde, also ein älteres Werk ist, keineswegs besonders günstig. In ganz großen Kraftwerken mit besserem Ausnutzungsfaktor und mit allen neuzeitlichen Verbesserungen, wie Steigerung der Dampfspannung und der Ueberhitzung, Kohlenstaubfeuerung usw. läßt sich die Wärmeökonomie noch erheblich steigern. Heute wird 1 Kilowattstunde in einem modernen Großkraftwerk mit nur 4000 kcal erzeugt, so daß für 1 tkm nur noch 112 kcal aufzuwenden sind.

Die Einführung des elektrischen Betriebes auf Bahnen ermöglicht aber nicht nur eine sparsamere Verwendung der Kohle, sondern sie beseitigt auch die bisherige Abhängigkeit von der hochwertigen Steinkohle.

Dampflokomotiven können auf die hochwertige und entsprechend teure Steinkohle nicht verzichten; ortsfeste Kraftwerke können dagegen auch minderwertige Brennstoffe, wie Braunkohle, Torf und Abfallkohle mit Vorteil verwenden. Der Preis dieser Brennstoffe bezogen auf ihren Heizwert ist erheblich niedriger als der der Steinkohle, wie aus der folgenden Zahlentafel II ersichtlich ist.

Zahlentafel II.

Art des Brennstoffes	Heizwert kcal je kg	Vorkriegspreis	
		je Gewichts- einheit M/t	je 1000 kcal Pt.
frei Kesselhaus			
Rohbraunkohle	2500	2.5	0.10
Steinkohle, Abfall	6500	8.5	0.13
„ hochwertige	7000	14.0	0.20
frei Lokomotivtender			
Steinkohle, hochwertige	7000	18.0	0.26

Gegenwärtig ist der Preis der Abfallsteinkohle wie sie z. B. im Bahnkraftwerk Mittelsteine verwendet wird, auf 10,80 M. je Tonne, entsprechend einem Preise von 0,166 Pf. für je 1000 kcal, der Preis der Lokomotivkohle frei Tender auf 20,0 M/t oder 0,286 Pf. für 1000 kcal gestiegen.

Der sparsamere Verbrauch, in Verbindung mit dem niedrigeren Preise des Brennstoffes, hat zur Folge, daß die Energieerzeugungskosten bei elektrischem Bahnbetrieb ganz erheblich niedriger sind, als beim Dampfbetrieb.

6 Unter welchen Umständen ist der elektrische Betrieb angebracht?

Während nach dem obigen Beispiel bei elektrischem Betrieb der Brennstoff für 1 tkm

$$170 \times \frac{0,166}{1000} = 0,028 \text{ Pf. kostet,}$$

erfordert der Dampfbetrieb für die gleiche Einheit

$$420 \times \frac{0,286}{1000} = 0,12 \text{ Pf.}$$

d. h. die Kosten des Brennstoffes betragen bei elektrischem Betrieb nur 23 % von denen bei Dampfbetrieb.

Die Gewinnung und Verwertung der Nebenprodukte und Abfallstoffe aus der Kohle, die noch wenig Anwendung gefunden hat, aber reiche Entwicklungsmöglichkeiten bietet, werden dazu beitragen, die Energieerzeugung zu verbilligen. Sie ist nur in ortsfesten Anlagen, nicht auf Lokomotiven möglich.

Die Zentralisierung der Energieerzeugung, die durch den elektrischen Betrieb ermöglicht wird, hat den weiteren Vorteil, daß die Kohlentransporte der Eisenbahn für ihren eigenen Bedarf ganz aufhören oder wesentlich eingeschränkt werden können. Während die Großkraftwerke, die den Bahnstrom zu liefern haben, in unmittelbarer Nähe des Brennstoffvorkommens angelegt werden können, müssen die für den Dampflokomotivbetrieb erforderlichen Kohlen den einzelnen Bekohlungsstationen zugeführt werden. Es handelt sich dabei um recht beträchtliche Verkehrsleistungen. Die Deutsche Reichsbahn verbraucht, wie erwähnt, jährlich 15 Millionen t Kohle für Lokomotivfeuerung, die durchschnittlich 400 km weit zu befördern sind. Hierfür sind jährlich 15 000 ausgelastete Güterzüge mit 1000 t Nutzlast zu fahren, ohne Berücksichtigung der Rückbeförderung der leeren Wagen. Wenn man annimmt, daß ein Güterwagen die 400 km lange Strecke in 3—4 Tagen, einschließlich der Zeit für das Auf- und Abladen und die Vershubbewegungen, zurücklegt, so werden allein für die Beförderung der Dienstkohle nicht weniger als 20 000 Güterwagen, d. i. fast 5 % des Gesamtbestandes an offenen Güterwagen dauernd in Anspruch genommen. Abgesehen von den beträchtlichen Betriebskosten wird durch die Beförderung des Eigenbedarfs an Kohlen eine große Zahl von Wagen und Lokomotiven gebunden und anderen nützlicheren Zwecken entzogen. Ferner werden die Bahnstrecken und Bahnhöfe dauernd mit den eigenen Kohlenzügen belastet.

Die Kohle muß abgeladen, gestapelt und auf den Tender verladen, die abfallende Lösche und Schlacke entfernt werden, wofür teure Einrichtungen und Arbeitskräfte gebraucht werden, die bei

elektrischem Betriebe fehlen können. Auch die Platzfrage darf nicht unerwähnt bleiben. Für die Stapelung der genannten Kohlenmenge sind bei 2,5 m Stapelhöhe über 7 Millionen m² Bodenfläche erforderlich, ohne die Fläche, die durch die Zufuhr- und Abstellgleise in Anspruch genommen wird.

Die Überlegenheit des elektrischen Betriebes zeigt sich auch in der größeren Leistungsfähigkeit der Betriebsmittel. Das Anwendungsgebiet der Dampflokomotiven ist bezüglich ihrer Leistung nach unten wie nach oben begrenzt. Die untere Grenze wird durch das unwirtschaftliche Arbeiten der Dampflokomotive bei kleineren Leistungen als etwa 300 PS bedingt. Die Bildung von „Kleinzügen“ ist bei Dampftrieb ausgeschlossen, da deren Betrieb zu unwirtschaftlich sein würde. Ein vielfach vorhandenes örtliches Verkehrsbedürfnis, wie Markt- und Schülerverkehr oder dergleichen, muß daher häufig unbefriedigt bleiben, da der geringe Umfang des Bedarfs die Einlegung eines Dampfzuges nicht gestattet. Bei elektrischem Betrieb dagegen ist die kleinste Zugeinheit der einzeln fahrende Triebwagen, dessen Betrieb nicht weniger wirtschaftlich ist, als der eines ausgelasteten ganzen Zuges. Der elektrische Betrieb kann daher auch dem geringsten Verkehrsbedürfnis entgegenkommen und dem reisenden Publikum häufigere Verkehrsgelegenheit bieten, was andererseits zur Folge hat, daß der Verkehr und die Einnahmen sich heben, da erfahrungsgemäß jede Verkehrsverbesserung neuen Verkehr schafft.

Die obere Grenze der Leistungsfähigkeit einer Dampflokomotive ist durch die Größe der Heizfläche des Kessels gegeben, die wiederum aus konstruktiven Gründen nicht beliebig gesteigert werden kann.

Die elektrische Lokomotive ist zwar auch an das Umgrenzungsprofil des lichten Raumes gebunden, jedoch lassen sich in dem verfügbaren Raum größere Motorleistungen einbauen. Bei Dampflokomotiven können mit Rücksicht auf die Kurvenläufigkeit nicht mehr als 5 Achsen gekuppelt werden. Reicht das hiermit erzielbare Reibungsgewicht nicht aus oder genügt die Kesselleistung nicht, so muß zum Vorspanndienst gegriffen werden, dessen Unwirtschaftlichkeit bekannt ist.

Bei elektrischen Lokomotiven läßt sich durch Vermehrung der angetriebenen Achsen jede beliebige Zugkraft oder Lokomotivleistung erzielen. Ist es aus konstruktiven Gründen nicht mehr zweckmäßig, die Triebachsen alle in einem festen Rahmen zu vereinigen, so können mehrere kurzgekuppelte Laufgestelle verwendet werden, die aber gleichwohl ein einziges Fahrzeug bilden, da ihre Motoren gemeinsam gesteuert werden.

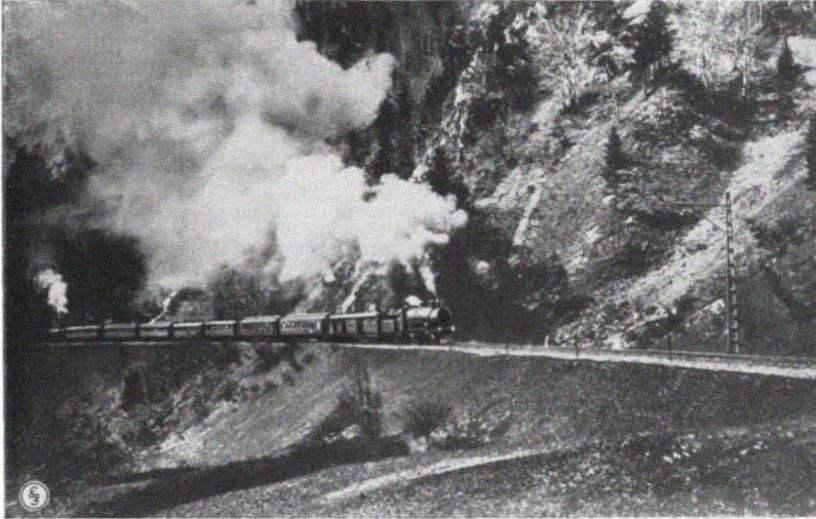


Bild 2a. D-Zug Paris—Wien auf der Arlberg-Westrampe Bludenz—Langen (30‰),
gefördert von 2 Dampflokomotiven, am 13. Mai 1925.

Eine der leistungsfähigsten elektrischen Lokomotivtypen ist die Lokomotive der Virginian-Railway in Amerika. Diese Lokomotive besteht aus 3 Einheiten der Bauart 1B—B1 und hat ein Gesamtgewicht von 580 t und ein Reibungsgewicht von rund 440 t. Je 2 solcher Lokomotiven, eine an der Spitze und eine am Schluß des Zuges, befördern beladene Kohlenzüge im Gesamtgewicht von 6000 t auf einer längeren Steigung von 20 ‰ mit einer Geschwindigkeit von 22,5 km/h. Jede Lokomotive entwickelt beim Anfahren eine Zugkraft am Treibradumfang von 107 000 kg und leistet in voller Fahrt auf der Steigungstrecke etwa 7000 PS. Das sind Leistungen, wie sie von Dampflokomotiven auch nicht annähernd erreicht werden. Nun sind zwar derartig gewaltige Leistungen für europäische Verhältnisse im allgemeinen noch nicht anwendbar, da die Konstruktion der durch internationale Vereinbarungen festgelegten Zug- und Stoßvorrichtungen die volle Ausnutzung der Zugkraft nicht zulassen würde. Indessen zeigt das amerikanische Vorbild doch, daß den elektrischen Lokomotiven in bezug auf Zugkraft und Leistung kaum Schranken gesetzt sind.

Die Vergrößerung der Lokomotivleistung kann sowohl zu einer Erhöhung der Zuggewichte, als auch zu einer Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit und Abkürzung der Fahrzeiten ausgenutzt werden. In letzterer Beziehung kommt der elektrischen Lokomotive noch der

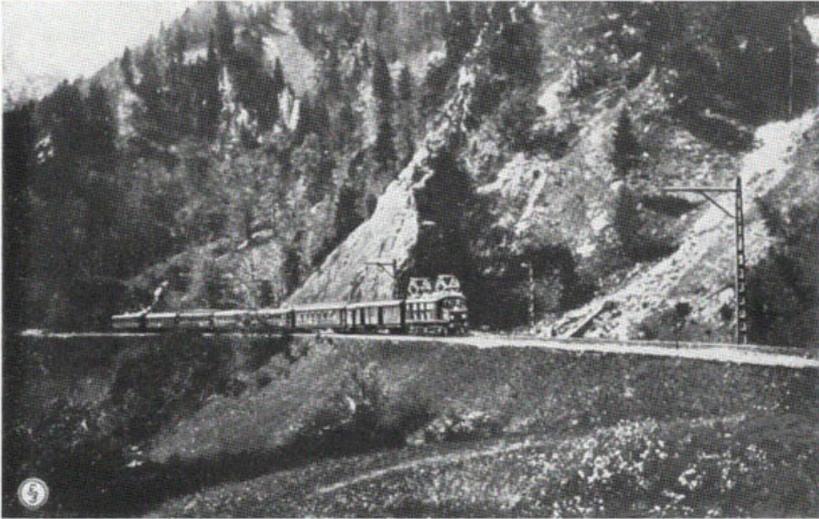


Bild 2b. Derselbe Zug an gleicher Stelle, gefördert von einer elektrischen E-Lokomotive, bei der Eröffnung des elektrischen Betriebes am 14. Mai 1925.

Umstand zugute, daß der Elektromotor vorübergehend stark überlastet werden kann und daß seine Umdrehungszahl auch bei hoher Belastung weniger abfällt, als die einer Dampflokomotive. Eine elektrische Lokomotive wird daher eine höhere Anfahrbeschleunigung aufweisen und Steigungen mit größerer Geschwindigkeit nehmen, als Dampflokomotiven es vermögen. Es ist daher möglich, bei elektrischem Betrieb die Fahrzeiten erheblich zu kürzen, auch ohne daß die obere Geschwindigkeitsgrenze heraufgesetzt wird.

An Beispielen für die Überlegenheit der elektrischen Lokomotiven bezüglich ihrer Leistung fehlt es auch auf den europäischen Bahnen nicht.

Auf den schlesischen Gebirgsbahnen zog eine P 8, eine der leistungsfähigsten deutschen Personenzug-Dampflokomotiven, Züge von 360 t Anhängelast auf längeren Steigungen von 10 ‰ mit 40 bis 45 km/h. Auf größeren Steigungen und mit größeren Zuggewichten mußte Vorspann genommen werden. Eine elektrische 2 D 1-Lokomotive, die an ihre Stelle trat, beförderte unter den gleichen Bedingungen 550 t mit 65 km/h. Vorspann war niemals erforderlich. Im Güterzugdienst beförderte die stärkste Güterzug-Dampflokomotivtype, G 12, Zuggewichte von 1170 t mit Geschwindigkeiten von 15 bis 20 km/h auf 10 ‰, eine elektrische C+C-Lokomotive unter den

10 Unter welchen Umständen ist der elektrische Betrieb angebracht?

gleichen Voraussetzungen 1400 t mit 35 km/h. Das Zuggewicht konnte um 20 %, die mittlere Fahrgeschwindigkeit um 100 % erhöht werden.

Auf den bayerischen Strecken der Deutschen Reichsbahn konnten mit Einführung des elektrischen Betriebes die Fahrzeiten erheblich gekürzt werden, und zwar:

bei den Schnellzügen . . .	um 39 %,
„ „ Personenzügen . . .	„ 47 %,
„ „ Güterzügen . . .	„ 42 %.

Die Abkürzung der Fahrzeiten hat zur Folge, daß die Bahnstrecken weniger lange mit Zügen besetzt sind und daß infolgedessen in der Zeiteinheit mehr Züge gefahren werden können. Der elektrische Betrieb bietet daher auch die Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit der Bahnstrecken zu erhöhen. Ein Beispiel hierfür bietet die schwedische Riksgränsbahn, die, eingleisig angelegt, mit Dampftrieb nur eine jährliche Höchstmenge von 3 Millionen t Erz befördern konnte. Der tägliche Zugverkehr umfaßte in 18stündiger Betriebszeit 8 Erzzüge und 2 Personenzüge in jeder Richtung und war damit an der Grenze seiner Leistungsfähigkeit angelangt, da die recht kräftigen, aber im Erzzugverkehr stark beanspruchten Dampflokomotiven bereits 2 Heizer für die Kesselbedienung benötigten. Die Dampflokomotiven beförderten 28 Erzwagen mit zusammen 1288 t Anhängelast mit 28 km/h mittlerer Fahrgeschwindigkeit.

Mit Einführung des elektrischen Betriebes wurde die mittlere Fahrgeschwindigkeit der Erzzüge auf 38 km/h erhöht, trotzdem das zu befördernde Zuggewicht von 28 auf 40 Erzwagen mit zusammen 1840 t Anhängelast vergrößert worden war. Infolge der Geschwindigkeitserhöhung konnten in 18stündiger Betriebszeit jetzt außer den beiden Personenzügen 12 Erzzüge über die Strecke gebracht werden.

Die Zahl der Erzzüge konnte daher um 50 % erhöht werden, während gleichzeitig die Nutzlast je Zug um 43 % sich vergrößerte. Die Bahnstrecke war also durch Einführung des elektrischen Betriebes um 115 % leistungsfähiger geworden und der geplante kostspielige Ausbau des zweiten Gleises konnte unterbleiben.

Die durch den elektrischen Betrieb ermöglichte größere Leistungsfähigkeit der Bahnstrecken hat auch besonders für Stadtschnellbahnen eine große Bedeutung. Für die Berliner Stadtbahn ist ermittelt worden, daß die beim Dampflokomotivbetrieb erreichbare Anfahrbeschleunigung nur 0,20 m/s² beträgt und daß hierbei nur 24 Züge in jeder Richtung stündlich abgefertigt werden können. Bei elektrischem Betrieb kann die Anfahrbeschleunigung auf 0,5 m/s² gesteigert werden, wodurch es ermöglicht wird, die Zugdichte auf 40 Züge stündlich zu erhöhen. Die Zugzahl kann demnach um 66²/₃ % vermehrt werden. Gleichzeitig wird der Fassungsraum der Züge um

40 % vergrößert und so die stündliche Verkehrsleistung der Bahn fast auf das 2½fache gesteigert.

Die Überlegenheit der Elektrolokomotive zeigt sich auch in ihrer kilometrischen Fahrleistung. Eine elektrische Lokomotive ist stets dienstbereit, sie bedarf, abgesehen vom Nachfüllen der Schmiergefäße, keiner Vorbereitung zur Fahrt, wie die Dampflokomotive, die zur Ergänzung ihres Kohlen- und Wasservorrats und zur Reinigung des Feuers in regelmäßigen kurzen Abständen aus dem Fahrdienst vorübergehend herausgezogen werden muß.

Nach den Erfahrungen der Deutschen Reichsbahn ist eine Dampflokomotive täglich im Durchschnitt nur 10,5 Stunden*) im Zugdienst tätig, 13,5 Stunden oder 56 % der ganzen Tageszeit werden durch das Auf- und Abrüsten vor- und nach der Fahrt, durch Ruhe unter Feuer und durch Bereitschaftsdienst beansprucht. Dem anzustrebenden Idealzustand, daß eine Lokomotive den Lokomotivschuppen ihrer Heimatstation nur aufsuchen soll, wenn die planmäßig vorgesehenen kleineren und größeren Untersuchungen fällig sind, kommt eine Elektrolokomotive ziemlich nahe, da sie bei dreifacher Besetzung bis 23 Stunden täglich Fahrdienst leisten kann, ohne daß ihr Unterhaltungszustand hierdurch ungünstig beeinflußt wird. Entsprechend hoch sind auch die kilometrischen Tagesleistungen. Auf den deutschen Bahnen werden von elektrischen Lokomotiven Tagesleistungen von 400—500 km im Personenzugdienst und von über 200 km im Güterzugdienst geleistet, wobei berücksichtigt werden muß, daß der geringe Verkehrsumfang der elektrisierten Strecken eine volle Ausnutzung der Lokomotiven heute noch nicht zuläßt. Die Schweizer Bundesbahnen haben mit den elektrischen Lokomotiven sogar tägliche Durchschnittsleistungen von 566 km und Höchstleistungen von 765 km erzielt. Diese Ergebnisse sind um so bemerkenswerter, als die Höchstgeschwindigkeit der Züge dort nur 75 km/h beträgt.

Die betriebliche Ausnutzung der Elektrolokomotive wird auch dadurch noch erhöht, daß die Reparaturzeiten erfahrungsgemäß wesentlich kürzer sind, als die von Dampflokomotiven, da einmal die zeitraubenden Kesselreparaturen fortfallen und ferner der Austausch beschädigter Teile durch vorrätig gehaltene Ersatzteile in weit größerem Maße möglich ist, als es bei Dampflokomotiven der Fall ist. Nach den Erfahrungen der Deutschen Reichsbahn, die durch die anderer größerer Eisenbahnverwaltungen bestätigt werden, ist eine Elektrolokomotive durch die laufenden Untersuchungen in den Betriebs- und den Hauptwerkstätten 42 bis 63 Tage jährlich dem

*) Muhl, Organ für Fortschritte des Eisenbahnwesens 1925, S. 525.

Fahrdienst entzogen, während für Dampflokomotiven dafür mindestens 73 Tage anzusetzen sind.

Hand in Hand mit der Verkürzung der Reparaturzeiten geht auch eine Verminderung der Unterhaltungskosten der Fahrzeuge.

Die Jahresleistungen von elektrischen Lokomotiven erreichen 100 000 Lokomotivkilometer im Personenzugdienst und 70 000 Lokomotivkilometer im Güterzugdienst. Derartige Laufleistungen können mit Dampflokomotiven nicht erzielt werden, am wenigsten im Güterzugdienst.

Infolge der besseren Ausnutzung der Lokomotiven kann die Zahl der in Dienst zu stellenden Lokomotiven erheblich vermindert werden. Mit Einführung des elektrischen Betriebes auf den schweizerischen Bundesbahnen konnten 490 Dampflokomotiven durch 440 elektrische Lokomotiven ersetzt werden. Bei der Lötschbergbahn traten an die Stelle von 24 Dampflokomotiven 14 Elektrolokomotiven, bei der Rhätischen Bahn konnte sogar der Lokomotivbestand von 47 auf 25 herabgesetzt werden. Die Deutsche Reichsbahn rechnet auf Grund ihrer Erfahrungen mit einer Verringerung der Lokomotivzahl um etwa 20 bis 30 %.

Ein wichtiger Ausgabeposten in der Betriebsrechnung sind die Personalkosten für die Lokomotivmannschaften. Auch hier ergeben sich bei elektrischem Betriebe Ersparnisse einmal durch die größere Fahrleistung der Lokomotiven, dann aber auch, weil die einmännige Besetzung wenigstens für alle langsam fahrenden Züge (bis 70 km/h) zugelassen ist. Bei den Schnellzügen erfordert die Streckenbeobachtung die ungeteilte Aufmerksamkeit des Führers, so daß ihm für die Bedienung der Maschine ein zweiter Mann beigegeben werden muß. Bei den langsamer fahrenden Zügen nimmt der Zugführer oder ein anderer Zugbeamter auf der Lokomotive Platz, um eingreifen zu können, falls dem Lokomotivführer ein Unfall zustößt.

Die hierdurch erzielbare Ersparnis wird von der Reichsbahndirektion Breslau auf 0,17 Köpfe für 1000 Lokomotivkilometer (0,19 statt 0,36 Köpfe) oder 47 % angegeben.

Auf den schweizerischen Bahnen rechnet man einschließlich des Schuppenpersonals bei elektrischem Betrieb 2,9 Mann gegenüber 3,7 Mann bei Dampflokomotivbetrieb. Die Ersparnis ist hier mehr als 20 %.

Ein Vorteil der elektrischen Zugförderung ist auch die Rauchfreiheit (Bild 2a u. b). Diese ist nicht nur eine Annehmlichkeit für die Reisenden, sondern trägt auch dazu bei, die Betriebsicherheit zu erhöhen. Es ist bekannt, daß vielfach schon Eisenbahnunfälle dadurch entstanden sind, daß das Lokomotivpersonal in schlecht entlüfteten Tunnels durch den Lokomotivrauch Ohnmachtsanfälle erlitten hat. Die

ständige Verqualmung des Giovi-Tunnels bei Genua war z. B. einer der Gründe für die Elektrisierung dieser Strecke. Im Gotthardtunnel mußte eine maschinelle Entlüftungsanlage nachträglich gebaut werden, da mit zunehmendem Verkehr die Rauchbelästigung zu ernstern Besorgnissen Anlaß bot. Diese ist jetzt durch die Einführung des elektrischen Betriebes überflüssig geworden.

Die schwefelhaltigen Lokomotivgase greifen auch den Oberbau und die Tunnelwänden stark an und verursachen hohe Unterhaltungskosten an den Gleisen und der Tunnelausmauerung.

Durch Funkenflug aus Lokomotiven sind häufig größere Brandschäden, besonders in Waldungen entstanden, so daß die Eisenbahnverwaltungen vielfach genötigt wurden, Schutzstreifen längs der Bahn anzulegen, um die Verbreitung des Feuers zu verhindern. Bei elektrischem Betrieb entfällt die Notwendigkeit hierzu und die brachliegenden Schutzstreifen können für die forstwirtschaftliche Verwertung nutzbar gemacht werden.

Diese unmittelbaren und mittelbaren Vorzüge würden indessen die Einführung der elektrischen Betriebsweise allein noch nicht rechtfertigen können; es bleibt noch das Anlagekapital zu berücksichtigen. Da die Elektrisierung der Vollbahnen einen erheblichen Kapitalaufwand erfordert, wäre es nicht ausgeschlossen, daß die erzielbaren Betriebsersparnisse durch den erhöhten Kapitaleinstrom wieder aufgezehrt werden. Hier ist nun ein grundsätzlicher Unterschied zwischen den beiden Betriebsarten zu beachten. Während beim Dampfbetrieb sowohl das Anlagekapital als auch die Zugförderungskosten fast in dem gleichen Verhältnis mit der zugkilometrischen Verkehrsleistung anwachsen, ist der elektrische Betrieb dadurch gekennzeichnet, daß die Verkehrsleistung einen gewissen Mindestumfang haben muß, bevor diese Betriebsart wirtschaftlich überhaupt in Frage kommen kann. Mit einer Zunahme des Verkehrs verliert der Einfluß der Anlagekosten auf die Wirtschaftlichkeit immer mehr an Bedeutung, da mit zunehmendem Verkehr die vorhandenen Anlagen, insbesondere die Leitungs- und Krafterzeugungsanlagen, nur um so besser ausgenutzt werden. Der elektrische Betrieb wird um so billiger, je mehr der Verkehr anwächst.

Wo die untere Grenze der Wirtschaftlichkeit zu ziehen ist, läßt sich allgemein nicht sagen, weil die örtlichen und betrieblichen Verhältnisse der einzelnen Bahnlinien zu verschieden sind. Die Grenzlinie ist auch deswegen schon fließend, weil der Zinsfuß mit dem gerechnet werden muß, Schwankungen unterworfen ist.

Für die Deutsche Reichsbahn sind Ermittlungen angestellt worden, die ergeben, daß der elektrische Betrieb dann nicht mehr teurer wird, als Dampflokomotivbetrieb, wenn der durchschnittliche

Arbeitsbedarf im Kraftwerk für 1 km Betriebslänge und 1 Jahr rd. 200 000 kWh bei zweigleisiger Strecke beträgt. Da der Arbeitsbedarf der Züge auf Vollbahnen im Durchschnitt zu 28—30 Wattstunden je tkm angesetzt werden kann, entspricht dies einer jährlichen Verkehrsleistung von etwa 7 Millionen tkm für 1 km zweigleisiger Strecke. Für eingleisige Strecken genügt schon ein schwächerer Verkehr, um Kostengleichheit zwischen beiden Betriebsarten herbeizuführen. Unter besonders günstigen Vorbedingungen z. B. bei Gebirgsbahnen, wo der Dampfbetrieb mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen hat und entsprechend teuer ist, während für den elektrischen Betrieb billiger Strom aus Wasserkraften zur Verfügung steht, liegt die Grenze der Wirtschaftlichkeit unter Umständen noch wesentlich tiefer.

Für die eingleisige Wiesentalbahn hat sich bei einer jährlichen Verkehrsleistung von etwa 2,5 Millionen tkm, für die Rhätische Bahn sogar schon bei 547 000 tkm der elektrische Betrieb als wirtschaftlich erwiesen.

Die als Grenzwerte angegebenen Verkehrsziffern werden von der Mehrzahl der deutschen und europäischen Vollbahnen nicht nur erreicht, sondern vielfach weit übertroffen. Da indessen die Grenzlinien nicht scharf zu ziehen sind, wird bei der Erwägung, ob eine Bahnlinie für den elektrischen Betrieb geeignet ist, die Aufstellung einer vergleichenden Betriebskostenberechnung kaum zu umgehen sein.

III. Die verschiedenen Arten von elektrischen Bahnen

Man kann die elektrisch betriebenen Bahnen nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen. In technischer Beziehung ergeben sich kennzeichnende Unterschiede bei einer Einteilung in

- A. Bahnen auf öffentlichen Straßen;
- B. Bahnen auf eigenem Bahnkörper;
- C. Industriebahnen.

A. Bahnen auf öffentlichen Straßen.

Hierher gehören die Straßenbahnen und die ihnen nahestehenden Überlandbahnen. Letztere haben zwar vielfach auch ein von der öffentlichen Straße abgetrenntes Bahnplanum; jedoch ist die Abtrennung meist nicht so vollkommen, daß die Bahn von dem übrigen Straßenverkehr gänzlich unbeeinflusst bleibt. Mäßige Geschwindigkeit und kleine Zugeinheiten sind die Kennzeichen der Straßenbahnen.

Die Straßen- und Überlandbahnen dienen fast ausschließlich dem Personenverkehr; in Ausnahmefällen findet auch ein Post- und

Güterverkehr statt. Es überwiegt der Triebwagen; Lokomotiven sind selten und auch nur für Güterbeförderung in Benutzung. Als Stromart findet sich fast ausschließlich der Gleichstrom mit mittlerer Spannung (550 V).

B. Bahnen auf eigenem Bahnkörper.

Unter den Bahnen auf eigenem Bahnkörper sind in erster Linie die Stadtschnellbahnen zu nennen, die zum Teil als Hochbahnen, zum Teil als Untergrund- oder Unterpflasterbahnen ausgeführt sind. Da sie von dem eigentlichen Straßenplanum völlig losgelöst sind und daher durch den übrigen Straßenverkehr nicht behindert werden, können sie erheblich höhere Fahrgeschwindigkeiten anwenden und sind auch bezüglich der Zugbildung vollständig frei. Um trotz der üblichen kurzen Haltestellenabstände eine hohe Reisegeschwindigkeit erzielen zu können, sind große Anfahrbeschleunigungen und entsprechend große Motorleistungen erforderlich. Die Züge bestehen daher meist aus mehreren Triebwagen mit oder ohne Anhängewagen. Im Gegensatz zu den Straßenbahnwagen, die nur Fahrschaltersteuerung haben, findet sich bei Stadtschnellbahnen meist eine Zugsteuerung, d. h. es werden sämtliche Motoren eines Zuges von dem Führerstand des führenden Wagens gemeinsam gesteuert.

Die Zugfolge wird durch ein Blocksystem geregelt.

Stadtschnellbahnen haben ausschließlich Personenverkehr; es sind daher auch nur Triebwagen, keine Lokomotiven in Anwendung.

Als Stromart findet sich fast ausschließlich der Gleichstrom mit Spannungen bis zu 1500 V. Die Stromzuführung zu den Zügen geschieht meist durch eine dritte Schiene.

Eine besondere Abart der Hochbahnen bilden die Schwebbahnen, bei denen die Tragkonstruktion sich oberhalb der Wagenkästen befindet. Da die Wagenkästen an ihren Radgestellen hängen und um die Schienenoberkante frei pendeln können, wird den Schwebbahnen eine stoßfreiere Fahrt auch in Bahnkrümmungen nachgerühmt. Da sie ferner als Einschienenbahnen gebaut sind, vermögen sie engere Krümmungen zu durchfahren, was bezüglich der Linienführung in eng bebauten Städten zweifellos von Vorteil ist. Dagegen ist die Ausbildung von Weichen und Abzweigungen außerordentlich schwierig, so daß Schwebbahnen nur für Strecken ohne Abzweigungen in Frage kommen. Schwebbahnen werden nur als Hochbahnen ausgeführt, für Untergrundbahnen verbietet sich ihre Anwendung wegen der erforderlichen großen Bauhöhe. Aus den genannten Gründen wird eine Schwebbahn nur in besonderen Fällen angelegt werden können. Die

technisch recht vollkommen ausgeführte Schwebebahn Barmen—Elberfeld ist bisher ohne Nachfolge geblieben.

Den Stadtschnellbahnen stehen bezüglich des Verkehrs und der Betriebsführung die Vorortbahnen sehr nahe. Da aber vielfach erheblich größere Entfernungen zurückzulegen sind, und da ferner die Vorortzüge zum Teil die Gleise der Fernbahnen mitbenutzen, sind sie häufig nicht mehr frei in der Wahl der Betriebsart. Man findet daher neben dem Gleichstrom auch den einphasigen Wechselstrom in Anwendung.

Unter dem Sammelbegriff „Fernbahnen“ sind nicht nur die Haupteisenbahnen, sondern auch die Nebenbahnen und nebenbahnähnlichen Kleinbahnen zu verstehen, die sich von den Hauptbahnen nur dem Grade nach, aber nicht dem Wesen nach unterscheiden. Auf den Fernbahnen spielt neben dem Personenverkehr auch der Güterverkehr eine beträchtliche, oft sogar ausschlaggebende Rolle. Große Zugeinheiten und hohe Fahrgeschwindigkeiten sind weitere kennzeichnende Eigentümlichkeiten des Vollbahnbetriebes. Es überwiegt der Lokomotivbetrieb schon mit Rücksicht auf die Freizügigkeit der Wagen, aber auch aus wirtschaftlichen Gründen. Triebwagen sind nur ausnahmsweise zur Bedienung eines leichten Nah-Personenverkehrs in Gebrauch. Die hohe Fahrgeschwindigkeit der Züge und die großen aus den Fahrleitungen zu entnehmenden Energiemengen verlangen eine besonders solide und schwere Fahrleitungs-konstruktion. Die für Straßenbahnen übliche einfache Aufhängung des Fahrdrahtes an Querdrähten ist für Vollbahnen nicht mehr anwendbar und muß durch die sogenannte Vielfachaufhängung ersetzt werden. Bezüglich der Wahl der Stromart besteht keine Einheitlichkeit; Einphasenwechselstrom und Gleichstrom sind gleicherweise auf Vollbahnen in Anwendung, aber auch der Drehstrom wird für Sonderfälle verwendet.

Zu den Bahnen mit eigenem Bahnkörper gehören auch die Zahnradbahnen. Wegen der sehr verschiedenen Betriebsbedingungen lassen sich allgemeine Gesichtspunkte für die Gestaltung dieser Bahnen nicht anführen. Der Drehstrom hat für diese Bahnen wegen der leichten Möglichkeit einer Stromrückgewinnung bei der Talfahrt vielfach Anwendung gefunden.

C. Industriebahnen.

Als Bahnen besonderer Art sind die Gruben- und Industriebahnen zu nennen. Erstere sind in Band XIII der Siemens-Handbücher „die Elektrizität im Bergbau“ behandelt; die Industriebahnen werden ihrer Eigenart wegen in einem besonderen Abschnitt dieses Bandes eingehend besprochen werden.

IV. Grundlagen für den Entwurf elektrischer Bahnen

A. Gesetzliche Vorschriften.

Die deutsche Eisenbahngesetzgebung unterscheidet zwischen

- a) Haupt- und Nebenbahnen.
- b) Kleinbahnen.

Die Haupt- und Nebenbahnen sind Glieder des allgemeinen öffentlichen Verkehrsnetzes und unterliegen in technischer Beziehung der „Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung“. Diese enthält sechs Hauptabschnitte:

1. Allgemeines (Geltungsbereich, Aufsichtsbehörden usw.).
2. Bahnanlagen (Bestimmungen über Spurweite, Krümmungshalbmesser, Längsneigung, Gleislage, Umgrenzung des lichten Raumes, Streckenblockierung usw.).
3. Fahrzeuge (Raddruck, Abmessungen der Räder, Zug- und Stoßvorrichtungen, Bremsung, Ausrüstung der Lokomotiven, Tender und Wagen).
4. Bahnbetrieb (Fahrordnung, Rangieren, Zusammensetzung der Züge, Bremstafeln, zulässige Fahrgeschwindigkeiten).
5. Bahnpolizei.
6. Bestimmungen für das Publikum.

Für Nebenbahnen sind entsprechend ihrer einfacheren Betriebsverhältnisse gewisse Vereinfachungen und Erleichterungen zugelassen. Sie können mit stärkeren Neigungen, kleineren Krümmungshalbmessern und mit einer vereinfachten Signal- und Zugmeldeeinrichtung angelegt werden; ferner ist Schmalspur zugelassen, und es kann auf die Bewachung der Bahnübergänge verzichtet werden. Dagegen ist die Fahrgeschwindigkeit wesentlich enger begrenzt als bei einer Haupt-eisenbahn.

Die Haupt- und vollspurigen Nebeneisenbahnen, soweit sie dem Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen angehören, sind ferner den „Technischen Vereinbarungen“ (T. V.) dieses Vereins unterworfen. Dem Verein gehören nicht nur fast sämtliche deutsche Bahnen an, sondern auch die Mehrzahl der europäisch-kontinentalen Eisenbahnen. Die „Technischen Vereinbarungen“ bezwecken hauptsächlich, den Übergang von Fahrzeugen von einem Eisenbahnnetz auf ein anderes zu ermöglichen und enthalten daher vorzugsweise Bestimmungen über die Bauart und Ausrüstung der Strecke und der Fahrzeuge. Sie decken sich im wesentlichen mit der deutschen „Eisenbahn-, Bau- und Betriebsordnung“ und enthalten neben bindenden Bestimmungen noch solche, deren Anwendung nur empfohlen wird.

Kleinbahnen im Sinne des „Gesetzes über Kleinbahnen und Privatanschlußbahnen“ vom 28. Juli 1892 sind solche Bahnen, die den örtlichen Verkehr innerhalb eines Gemeindebezirkes oder zwischen benachbarten Gemeindebezirken vermitteln, sowie Bahnen, die nicht mit Lokomotiven betrieben werden. Entscheidend dafür, ob einer geplanten Bahn der Charakter einer Kleinbahn oder einer Nebenbahn zuerkannt werden soll, ist lediglich ihre wirtschaftliche Bedeutung und ihre Zweckbestimmung. Technische Merkmale zu ihrer Kennzeichnung als Kleinbahn sind nicht vorhanden; es hat weder der bauliche Zustand noch die Betriebseinrichtung oder der Umfang des Verkehrs eine Bedeutung für die Beurteilung dieser Frage. Zu den Kleinbahnen gehören daher Bahnen der verschiedensten Art: Straßenbahnen mit Pferde-, Dampf-, elektrischem Betrieb oder mit einer anderen Betriebsart, Drahtseilbahnen, Zahnradbahnen, ferner Stadtschnellbahnen auf eigenem Bahnkörper (Hoch-, Untergrund- und Schwebbahnen).

Für die technische Ausführung der Kleinbahnen mit Maschinenbetrieb sind die „Bau- und Betriebsvorschriften für nebenbahnähnliche Kleinbahnen mit Maschinenbetrieb“ vom 1. April 1914 maßgebend. Diese enthalten, in der gleichen Weise, wie die Bau- und Betriebsordnung für die Haupteisenbahnen, Vorschriften über den Zustand der Bahn und der Fahrzeuge sowie über den Betrieb.

Die genannten Vorschriften über die Haupt- und Nebeneisenbahnen bzw. über die Kleinbahnen haben allgemein für alle unter die betreffende Kategorie fallenden Bahnen ohne Rücksicht auf die Art ihrer Antriebskraft Geltung. Für elektrische Bahnen gelten im besonderen noch die vom Verband Deutscher Elektrotechniker (V. D. E.) herausgegebenen und in einem Vorschriftenbuch gesammelten folgenden Vorschriften:

1. Vorschriften für elektrische Bahnen, gültig ab 1. Januar 1926.
2. Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektrischen Bahnmotoren und sonstigen Maschinen und Transformatoren auf Triebfahrzeugen (R. E. B.), gültig ab 1. Oktober 1925.
3. Vorschriften zum Schutze der Gas- und Wasserröhren gegen schädliche Einwirkungen der Ströme elektrischer Gleichstrombahnen, die die Schienen als Leiter benutzen, gültig ab 1. Juli 1910.

Außerdem sind die elektrischen Bahnanlagen natürlich auch den allgemeinen für alle elektrischen Anlagen geltenden Vorschriften des V. D. E. unterworfen, soweit die genannten Sondervorschriften nicht Ausnahmebestimmungen enthalten.

Die unter 1. genannten Vorschriften für elektrische Bahnen bringen eingehende Bestimmungen über den Bau und die Aufstellung

von elektrischen Maschinen, Transformatoren, Schalt- und Anlaßapparaten, Fahr- und Speiseleitungen, über Fahrzeugausrüstungen sowie über die Beschaffenheit der Betriebsräume, sie sind nach dem in der Einleitung festgesetzten Geltungsbereich auf Bahnanlagen mit Fahrdrachtspannungen bis zu 1650 V beschränkt. Für die mit höherer Spannung betriebenen Bahnen, insbesondere für die Einphasenbahnen, fehlen zur Zeit noch Sonderbestimmungen. Die Deutsche Reichsbahn ist damit beschäftigt, solche für den Bereich der deutschen Bahnen aufzustellen.

Die unter 2. aufgeführten „Regeln usw.“ (R. E. B.) sind in Anlehnung an die vom V. D. E. bearbeiteten „Regeln für die Bewertung und Prüfung elektrischer Maschinen“ (R. E. M.) und an die „Regeln zur Bewertung und Prüfung von Transformatoren“ (R. E. T.) aufgestellt mit den durch die besonderen Verhältnisse der Bahnen gebotenen Abweichungen. Besonders wichtig sind darin die Bestimmungen über die zulässigen Grenzwerte für die Erwärmung.

In außerdeutschen Ländern sind andere, z. T. abweichende Vorschriften in Kraft. Die wichtigsten sind die für die Vereinigten Staaten von Nord-Amerika geltenden, von der American Institution of Electrical Engineers (A. I. E. E.) aufgestellten „Standards“ und für England die Vorschriften der British Engineering Standards Association. Bei den ersteren sind die bahntechnischen Fragen behandelt in Standard Nr. 1 (General principles upon which temperature limits are based in the rating of electrical machinery and apparatus), Standard Nr. 7 (Railway motors) und Standard Nr. 16 (Railway control and mine locomotive control-apparatus). Unter den englischen Vorschriften ist für Bahnen besonders wichtig der Teil VII (Traction) mit den Unterabteilungen

Track construction
Overhead construction
Vehicle Equipment
Miscellaneous Terms.

B. Linienführung.

Bei der Anlage städtischer Straßenbahnen ist die Größe der Stadt nach ihrer Einwohnerzahl und räumlichen Ausdehnung und die Form des Stadtgrundrisses von wesentlicher Bedeutung für die Wahl der Linienführung und die Zahl der anzulegenden Betriebslinien. Die Einflußzone (das Interessengebiet) einer Betriebslinie ist immer nur eine beschränkte, weil bei zu großer Entfernung von der Bahnlinie ein Teil der Einwohnerschaft auf die Benutzung der Bahn überhaupt verzichten und vorziehen würde, den Weg gänzlich zu Fuß zu gehen.

Grundsätzlich soll die Linienführung den Hauptverkehrsadern folgen, es ergibt sich alsdann schon von selbst, daß wichtige Verkehrspunkte, wie Gebäude der staatlichen und städtischen Behörden, Bahnhöfe, Stätten der Kunst, Wissenschaft und des Handels usw. von der Bahn berührt werden.

Erstreckt sich die Ausdehnung des Stadtgebietes vorwiegend in der Längsrichtung, so ist der Verkehr in dieser Richtung zweifellos am ausgeprägtesten und die Frage der Linienführung meist hierdurch schon vorweg beantwortet.

Bei mehr kreisförmigem Stadtgrundriß wird eine strahlenförmige Anordnung der Linien mit dem Stadtzentrum als Verkehrsmittelpunkt erforderlich. Meistens empfiehlt sich in Städten mittlerer Größe die Anlage zweier sich im Stadtzentrum kreuzenden Linien, die an dieser Stelle einen Umsteigeverkehr nach allen Richtungen ermöglichen. Vielfach ist in solchen Städten zur Aufteilung des Verkehrsgebietes die Anordnung von 3 strahlenförmig verlaufenden Linien zweckmäßig, von denen zwei über die dritte das Hauptverkehrsgebiet durchziehende Linie gemeinsam geführt sind, so daß sich für diese die doppelte Verkehrsdichte ergibt.

Bei größerer Flächenausdehnung, wie z. B. in Großstädten, ist außer den Radiallinien noch die Anlage von Ringlinien erforderlich, die den Verkehrsbeziehungen der Außenbezirke untereinander zu dienen haben.

Als besonderer Fall ist die Anlage solcher Straßenbahnlinien zu betrachten, die weniger einem bereits vorhandenen Verkehrsbedürfnis entsprechen sollen, sondern in der Absicht erbaut werden, die zukünftige Stadtentwicklung in eine bestimmte Richtung zu weisen, Linien, die also aus Gründen der Städtebaupolitik zur Ausführung gelangen. Die Erstellung dieser Linien erfolgt, um neues Gelände, das der Bebauung für Wohnstätten, Fabrik- oder Hafenanlagen erschlossen werden soll, sogleich in Verbindung und Verkehrsbeziehung zu dem bewohnten Stadtgebiet zu bringen und damit der einsetzenden Bautätigkeit und der Besiedlung des neuen Geländes möglichst Vorschub zu leisten.

Meist wird zu dem in Entstehung begriffenen Stadtteil vor allem die Anlage neuer Zugangsstraßen erforderlich, die dann auch gleichzeitig für den Einbau der Straßenbahnlinien vorgesehen werden. Die bauliche Anlage solcher Linien muß mit weitgehender Rücksichtnahme auf die zukünftig zu erwartende Verkehrsentwicklung entworfen sein.

An die eigentlichen Stadtlinien schließen sich die Außenlinien an, welche die Vororte mit der Stadt verbinden, um den Landbewohnern ohne großen Zeitverlust die Erreichung der staatlichen und städtischen Amtsstellen und den außerhalb wohnenden Arbeitern die Fahrt zu ihrer

in der Stadt gelegenen Arbeitstätte zu ermöglichen, oder um die Zuführung der landwirtschaftlichen Produkte nach der Stadt zu erleichtern und die Bewohner der Vororte zum Einkauf nach der Stadt zu ziehen oder endlich um bequeme und billige Wohngelegenheit in den Vororten zu schaffen. Des öfteren werden auch Außenlinien nur zu dem Zwecke angelegt, um entfernter gelegene, stark besuchte Ausflugsorte den Stadtbewohnern zugänglich zu machen.

In allen diesen Fällen ist die Frage der Linienführung dadurch vorweggenommen, daß für die Erstellung der Gleisanlage vorhandene Straßenzüge benutzt werden müssen und es bleibt lediglich zu prüfen, ob die Straßenbreite, die Steigungs- und Krümmungsverhältnisse der Straßen einen Straßenbahnverkehr zulassen. Da elektrische Straßenbahnwagen noch Steigungen von 80 ‰, in besonderen Fällen auch noch mehr, und Krümmungen von 18 m Halbmesser und darunter befahren können, werden in den seltensten Fällen unüberwindliche technische Schwierigkeiten vorliegen. Jedoch ist mit Rücksicht auf den Betrieb eine möglichst schlanke Linienführung mit schwachen Steigungen anzustreben.

Auch die Linienführung der Überlandbahnen, die von einem größeren Verkehrszentrum ausgehend die Aufgabe haben, eine Reihe von Landorten untereinander zu verbinden und die Verkehrsbeziehungen zwischen diesen und nach dem Verkehrszentrum zu fördern, wird in der Hauptsache durch die bereits vorhandenen Landstraßen bestimmt; von letzteren wird mit der Linienführung nur in Ausnahmefällen abgewichen, wenn durch Anlage eines eigenen Bahnkörpers eine wesentliche Abkürzung der Streckenlänge oder eine Verbesserung der Steigungsverhältnisse der Linie zu erzielen ist.

Bezüglich der Linienführung der Stadtschnellbahnen (Hoch- und Untergrundbahnen) gilt sinngemäß das über Straßenbahnen Gesagte. Die Linienführung wird aber hier noch mehr durch die örtlichen Verhältnisse, durch die verfügbare Straßenbreite, durch die Beschaffenheit des Baugrundes, durch das Vorhandensein störender Bauwerke und dergleichen beeinflusst. Allgemeine Regeln über die zweckmäßigste Linienführung lassen sich nicht angeben. Auch die Frage, ob eine Hochbahn oder eine Untergrundbahn vorzuziehen ist, kann nur auf Grund genauer örtlicher Studien beurteilt werden. Grundsätzlich ist eine möglichst einfache Linienführung ohne Verzweigungen anzustreben. Alle schienengleichen Abzweigungen sind Störungs- und Gefahrenquellen und daher nach Möglichkeit zu vermeiden. Kreuzungen müssen als Unter- oder Überführungen ausgeführt werden. Wo ein Übergang von einer Linie zu einer anderen notwendig wird, ist nicht ein unmittelbarer Wagenübergang, sondern ein Umsteigeverkehr vorzusehen, wobei die Linienführung der aneinander anschließenden Bahn-

linien so zu wählen ist, daß möglichst kurze Wege für den Umsteigeverkehr sich ergeben. Am vorteilhaftesten ist es, wenn die Züge der Anschlußbahnen an dem gleichen Bahnsteig, wenn auch an getrennten Bahnsteigkanten halten.

Bei Fernbahnen handelt es sich in den meisten Fällen nur um die Umwandlung einer bestehenden Bahn auf elektrischen Betrieb. Die Frage der Linienführung wird damit gegenstandslos; denn nur in seltenen Ausnahmefällen werden beim Übergang zum elektrischen Betrieb noch Verbesserungen an der Linienführung vorgenommen.

Die Neuanlage von Fernbahnlinien, für die von vornherein der elektrische Betrieb vorgesehen ist, wird selten in Betracht kommen, da das Fernbahnnetz in allen Kulturländern im wesentlichen ausgebaut ist und es sich meist nur darum handeln kann, Zubringerlinien oder Verbindungstrecken zu schaffen, für die aber wegen ihres zu geringen Verkehrsumfanges die elektrische Zugförderung nicht immer wirtschaftlich gerechtfertigt sein wird.

Sollte die Anlage einer neuen elektrischen Bahnlinie in Frage kommen, so gelten für diese im wesentlichen die gleichen Grundsätze, die auch bei der Anlage einer Fernbahn mit Dampfbetrieb maßgebend sind. Auf diese hier im einzelnen einzugehen, verbietet der Umfang dieses Buches. Der elektrische Betrieb gestattet nur eine etwas größere Freiheit in bezug auf die Wahl der größten Steigung, da mit elektrischen Fahrzeugen noch Steigungen überwunden werden können, die den Dampflokomotiven schon große Schwierigkeiten bereiten. Dieser Vorzug wird bei Bahnen in gebirgigem Gelände häufig eine Verkürzung der Streckenlänge und eine Ermäßigung der Anlagekosten ermöglichen. Eine der steilsten Dampfbahnen mit Reibungsbetrieb dürfte die Halberstadt—Blankenburger Eisenbahn mit 60 ‰ Maximalsteigung sein.

Der elektrische Betrieb verlangt die Freihaltung des Luftraumes über den Gleisen zur Ausführung der Fahrleitungsanlage. Auf freier Strecke bereitet dies in der Regel keine Schwierigkeiten, wohl aber muß bei Unterführungen und in Tunnels hierauf Bedacht genommen werden. Es wird daher im allgemeinen vorteilhaft sein, ein größeres Lichtraumprofil anzuwenden; jedoch kann man sich vielfach auch mit Sonderkonstruktionen der Fahrleitung helfen, falls die Erweiterung des Lichtraumprofils an einzelnen Bauwerken untunlich ist.

C. Verkehr.

Aus den jeweils vorliegenden Verhältnissen und dem hierdurch bedingten Charakter einer neu anzulegenden Bahn ergibt sich, ob diese ausschließlich dem Personenverkehr dienen soll oder ob sie gleichzeitig auch für die Beförderung von Gütern einzurichten ist.

Für städtische Straßenbahnen kommt die Güterbeförderung nur in seltenen Fällen in Betracht. Meist handelt es sich dann um die Vermittelung des Verkehrs zwischen Güterbahnhöfen und Fabriken, wofür besondere Züge gefahren werden. Hier und da wird in Kleinstädten die Gepäckbeförderung von Reisenden von und nach den Bahnhöfen übernommen, wofür besondere kleine Anhängewagen vorgesehen sind, sofern nicht der Raum der vorderen Plattform des Triebwagens für diesen Zweck ausreicht.

Häufiger schon tritt an Überlandbahnen die Notwendigkeit heran, neben der Personenbeförderung auch die Verfrachtung von Gütern zu übernehmen. Es handelt sich meist um die Beförderung von Stückgut in den fahrplanmäßigen Personenzügen. Von dem Umfang dieses Güterverkehrs hängt es ab, ob Personenwagen mit abgetrenntem Gepäckraum oder ob besondere Güterwagen in die Züge eingestellt werden.

Für Stadtschnellbahnen ist der Güterverkehr völlig ausgeschlossen, weil dieser mit seinem durchaus abweichenden Charakter die Bahn ihrer eigentlichen Bestimmung, der raschen Personenbeförderung, entfremden würde. Auch verbietet sich der Güterverkehr durch die dichte Zugfolge und die kurzen Aufenthalte auf den Bahnhöfen.

Bei Fernbahnen spielt dagegen der Güterverkehr eine wesentliche Rolle. Für Bahnen mit Hauptbahn-Charakter werden besondere Güterzüge gefahren werden müssen; auf Nebenbahnen geschieht die Personen- und Güterbeförderung vielfach gleichzeitig in gemischten Zügen. Es läßt sich nicht verkennen, daß der Betrieb mit gemischten Zügen für die Fahrgäste Unbequemlichkeiten mit sich bringt, weil durch das Aus- und Einladen der Güter und durch Verschiebewebungen die Fahrzeit erheblich verlängert wird. Es empfiehlt sich daher bei Einrichtung des elektrischen Betriebes von der leichten Teilbarkeit der Züge Gebrauch zu machen und getrennte Personen- und Güterzüge zu fahren. Auf diese Weise kann der Betrieb den verschiedenartigen Bedürfnissen des Verkehrs besser angepaßt werden.

Beachtung ist auch dem Postverkehr zuzuwenden, da für Straßenbahnen häufig die Bedingung gestellt wird, daß der Postbehörde die Möglichkeit der Beförderung ihrer Briefe und Pakete gegeben sein muß. Vielfach wird es genügen, daß der Wagenführer des Straßenbahnwagens einige Postsäcke mitnimmt, oder daß in dem Wagen ein verschließbarer Behälter für Postsachen vorgesehen wird. In Großstädten läßt die Post häufig eigene Triebwagen auf den Straßenbahngleisen laufen.

Bei der Anlage einer neuen Bahn müssen möglichst sorgfältige Erhebungen über den Umfang des zu erwartenden Verkehrs angestellt werden. Es kann zwar durch die Erfahrung als erwiesen

gelten, daß in Städten von etwa 50 000 Einwohnern der Betrieb einer elektrischen Straßenbahn unter normalen wirtschaftlichen Verhältnissen ein finanzielles Wagnis nicht bedeutet, weil infolge der räumlichen Ausdehnung dieser Städte das Verkehrsbedürfnis bereits beträchtlich ist. Indessen bleibt auch hier eine Ermittlung des Verkehrs unerlässlich, um durch die Auswahl der Betriebslinien und die Gestaltung des Fahrplanes den Bedürfnissen des Verkehrs so weit als möglich zu entsprechen. Die Zahl der zu befördernden Personen oder die Menge der zu verfrachtenden Güter läßt sich im voraus nicht feststellen. Man ist auf Schätzungen angewiesen, die entweder aus den durch die Statistik festgestellten Betriebsergebnissen anderer ähnlicher Bahnanlagen gewonnen werden, oder die auf Ermittlung des im Interessengebiet der neuen Bahn vorliegenden Verkehrsbedürfnisses beruhen.

Für Straßenbahnen gibt die Verwertung der statistischen Ergebnisse aus bestehenden Straßenbahn-Unternehmungen mit hinlänglicher Annäherung die Anhaltspunkte für den zu erwartenden Verkehr. Für Überlandbahnen ist es indessen vorzuziehen, Erhebungen über den im Interessengebiet der neuen Bahn bereits vorhandenen Personen- und Lastenverkehr anzustellen, wobei zu berücksichtigen ist, daß jedes neue Verkehrsmittel selbst wieder zur weiteren Entwicklung und Steigerung des bereits vorhandenen Verkehrs beiträgt.

Zur Ermittlung des zu erwartenden Personenverkehrs dienen Erhebungen über die Bebauungs- und Wohndichte, ferner Zählungen der Passanten auf den Landstraßen und sonstigen Verkehrswegen, wobei auch der Verkehrszweck nach Möglichkeit festzustellen ist, d. h. es muß ermittelt werden, ob vorwiegend ein Berufs- oder Geschäftsverkehr oder ein Vergnügungs- und Ausflugsverkehr vorliegt. Daneben wird auch die Verwertung der Verkehrsziffern etwa schon bestehender Verkehrsmittel, wie Omnibusse, Droschken und dergl. erforderlich sein.

Die Verfrachtungsmengen sind nach Art und Gewicht für die einzelnen Jahreszeiten durch Umfrage bei den im Gebiete liegenden Fabriken, Werkstätten und landwirtschaftlichen Betrieben zu erkunden.

Nur unter sorgfältiger Abwägung aller in Betracht kommenden Umstände kann die Einflußzone der neuen Bahn abgegrenzt, d. h. ermittelt werden, bis zu welcher Entfernung beiderseits der Bahnlinie die Benutzung der Bahn der Bevölkerung noch Vorteile in bezug auf Zeit- und Geldersparnis gewährt.

Eine kritische Vergleichung der auf Grund solcher Erhebungen gewonnenen Ergebnisse mit statistischen Ausweisen ähnlicher Bahnen sollte jedoch keineswegs unterlassen werden.

Aber nicht nur die Größe des Gesamtverkehrs ist festzustellen, sondern es ist auch zu ermitteln, wie sich dieser auf die verschiedenen

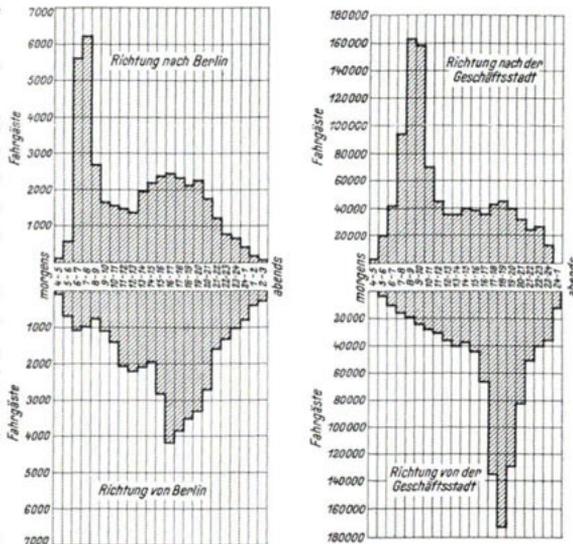
Jahreszeiten, auf die einzelnen Wochentage und auf die Tagesstunden verteilt. Die Stärke des Verkehrs und damit die Beanspruchung der Bahn ist nicht zu allen Zeiten die gleiche, sondern wechselt erfahrungsgemäß mit einer gewissen Regelmäßigkeit in kürzeren oder längeren Zeitabschnitten. Während sich bei der Personenbeförderung im städtischen Verkehr (Straßenbahnen und Stadtschnellbahnen) die Verkehrsschwankungen mit fast gleichbleibender Pünktlichkeit an jedem Werktag wiederholen, weisen die Überlandbahnen nur an bestimmten Wochentagen (z. B. Marktverkehr nach der Stadt) oder bei überwiegendem Güterverkehr nur zu gewissen Jahreszeiten eine erhöhte Inanspruchnahme auf. Bei Vorortlinien nach beliebten Ausflugszielen fällt auf die Sonn- und Festtage der stärkste Verkehrsandrang. Für reine Touristenbahnen

beschränkt sich vielfach der Verkehr nur auf die Sommermonate.

Auf Fernbahnen pflegt der Personenverkehr in den Sommermonaten seinen Höhepunkt zu erreichen, der Güterverkehr in den Frühjahrs- und namentlich Herbstmonaten.

Im Stadtverkehr fallen die Hauptverkehrsstunden des Tages mit dem Beginn und Schluß der Geschäfts- und Arbeitsstunden zusammen. Auch das Anwachsen des Verkehrs in den Mittagstunden ist eine häufig beobachtete Erscheinung. Wie sehr die

Lebensgewohnheiten der Bevölkerung den Verlauf der Verkehrskurve beeinflussen, zeigt der Vergleich zwischen dem Berliner und Londoner Verkehr (Bild 3). In London drängt sich infolge der durchgängig eingeführten ununterbrochenen Arbeitszeit der Verkehr auf ganz kurze Zeiten vormittags und nachmittags zusammen, was zu einer außerordentlichen Anspannung der Verkehrsmittel führt. In



Stündliche Schwankungen des Durchgangs- und Ortsverkehrs der Straßenbahnen am Hermannplatz in Berlin.

Stündliche Schwankungen des Gesamtverkehrs nach und von der Geschäftsstadt in London.

Bild 3. Schaulinien des Tagesverkehrs auf Straßenbahnlinien.

Berlin dagegen, wo die Geschäftszeiten nicht so einheitlich geregelt sind, verteilt sich die Rückflut auf einen längeren Zeitraum und erreicht daher bei weitem nicht die Höhe des Morgenverkehrs.

Im Betrieb der Überlandbahnen stellt sich der Höchstverkehr gewöhnlich in den frühen Morgenstunden auf den nach der Stadt fahrenden Zügen ein; er macht sich im verstärkten Maße an Markttagen bemerkbar, da dann der Marktverkehr mit dem Arbeiterverkehr zusammenfällt. In umgekehrter Richtung ist der Verkehrsandrang in der Regel nicht so groß, weil die Rückfahrt der Marktbesucher bereits um die Mittagstunde erfolgt, während der Arbeiterverkehr erst in den späteren Nachmittagsstunden wieder einsetzt.

Beim Ausflugsverkehr an Sonn- und Festtagen liegt die Zeit des Hauptandranges um die Mittagszeit und in den ersten Nachmittagsstunden, für die Rückfahrt in den ersten Abendstunden.

Der Betrieb hat allen diesen Verkehrsschwankungen Rechnung zu tragen und die Fahrbetriebsmittel in solchem Umfang bereitzustellen, daß den jeweils auftretenden Anforderungen hinsichtlich Platzzahl oder Verfrachtraum genügt wird.

D. Fahrplan und Zugbildung.

Die Aufstellung eines Fahr- und Zugbildungsplanes hat an Hand der Ermittlungen über die Verkehrsdichte zu geschehen. Wenn auch der Fassungsraum und die Zahl der zu fahrenden Züge auf alle Fälle auskömmlich sein soll, so ist doch andererseits eine unnötig reichliche Bemessung mit Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebes zu vermeiden. Man kann entweder kleine Zugeinheiten in dichter Folge oder große Zugeinheiten in weiterem Abstand verkehren lassen. Beides hat seine Vorzüge und Nachteile. Die dichte Zugfolge mit kleinen Zugeinheiten paßt sich dem Verkehrsbedürfnis des Publikums besser an und bietet einen Anreiz zu stärkerer Benutzung der Bahn, hat aber den Nachteil, daß zu gewissen Zeiten der Wagenraum unter Umständen nicht ausreicht, während zu anderen Zeiten die Wagen nicht genügend besetzt sind. Die Bildung großer Zugeinheiten hat den Vorteil, daß der Betrieb billiger ist; andererseits wird der Wert der Bahn für die Fahrgäste gemindert, wenn die Pausen zwischen den einzelnen Zügen und die Wartezeiten zu lang werden.

Um diesen teilweise sich widersprechenden Ansprüchen gerecht zu werden, muß meist eine Zwischenlösung gefunden werden, derart, daß sowohl die Zugfolge als auch die Zugstärke innerhalb eines Tages je nach dem Verkehrsbedürfnis verändert wird. Da aber die Zugzusammensetzung in der Regel nur auf den Betriebsbahnhöfen verändert werden kann, so kann man die Zugbildung nicht immer recht-

zeitig dem veränderten Verkehrsbedürfnis anpassen und Leerfahrten sind nicht ganz zu vermeiden.

Auf die Bildung des Fahrplanes hat ferner auch die Geschwindigkeit der Züge Einfluß. Das Maß für die Geschwindigkeit ist der in der Zeiteinheit zurückgelegte Weg. In der Regel wird die Geschwindigkeit in Kilometern in der Stunde angegeben. Sie ist während der Fahrt zwischen 2 Haltestellen nicht konstant, sondern ändert sich je nach den Streckenverhältnissen. Man unterscheidet daher verschiedene Geschwindigkeiten:

- a) die höchste Fahrgeschwindigkeit;
- b) die mittlere Fahrgeschwindigkeit;
- c) die mittlere Reisegeschwindigkeit;
- d) die Grundgeschwindigkeit.

Die höchste Fahrgeschwindigkeit ist diejenige höchste Geschwindigkeit, die durch die Konstruktion des Fahrzeuges bedingt ist oder die durch die Aufsichtsbehörde für die betreffende Bahnstrecke zugelassen ist.

Unter mittlerer Fahrgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit verstanden, die sich aus der Gesamtlänge mehrerer aufeinander folgenden und ohne Zwischenaufenthalt durchfahrenen Streckenabschnitte und der hierzu erforderlichen Gesamtfahrzeit errechnet.

Da aber nicht nur die Streckenverhältnisse, sondern auch die Aufenthalte unterwegs die Geschwindigkeit der Fortbewegung stark beeinträchtigen, hat man den Begriff der „mittleren Reisegeschwindigkeit“ eingeführt und versteht darunter die Geschwindigkeit, die sich aus der gesamten Streckenlänge und der für diese benötigten Fahrzeit einschließlich der Aufenthaltszeiten ergibt.

In Dampffahrplänen findet man vielfach den Begriff „Grundgeschwindigkeit“. Man gelangt hierzu durch folgende Überlegung. Es werden alle die Fahrzeit verlängernden Einflüsse, wie z. B. Anfahren, Bremsen, Steigungen, Krümmungen, besondere Fahrt Hindernisse wie langsam zu befahrende Brücken, Zwischenbahnhöfe usw. nicht durch Zuschläge zur Fahrzeit, sondern durch bestimmte erfahrungsmäßige Zuschläge zur Streckenlänge berücksichtigt. Es wird die sogenannte „virtuelle Streckenlänge“ gebildet. Man nimmt nun an, daß diese „virtuelle“ Strecke mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit, der „Grundgeschwindigkeit“ durchfahren wird, um daraus die „kürzeste Fahrzeit“ zu ermitteln. Die Grundgeschwindigkeit ist demnach nichts anderes, als die für den Betrieb zugelassene Höchstgeschwindigkeit auf gerader ebener Bahn und zugleich die mittlere Fahrgeschwindigkeit für die virtuelle Streckenlänge.

Bei elektrischem Betrieb kann man von der Festsetzung einer Grundgeschwindigkeit absehen, da die erwähnten verzögernden Einflüsse nicht durch mehr oder weniger willkürliche Zuschläge, sondern durch die Aufstellung besonderer Fahrchaulinien genau berücksichtigt werden.

Bei dem großen Einfluß, den die Aufenthalte unterwegs auf die Gesamtfahrzeit haben, empfiehlt es sich, die Zahl der Aufenthalte nach

Möglichkeit einzuschränken, und die

Aufenthaltszeiten aufs knappste zu bemessen, und ferner durch die Wahl einer hohen Anfahrbeschleunigung und Bremsverzögerungen durch Abbremsen und Wiederanfahren entstehenden Zeitverlust auf das geringste Maß herabzudrücken.

Für den praktischen Gebrauch empfiehlt es sich, für die Fahrpläne die bildliche Darstellung zu wählen, derart, daß die Streckenlänge in km mit eingezeichneten Haltestellen (meist auch mit einer vereinfachten Darstellung der Steigungen und Krümmungen) als Abszisse,

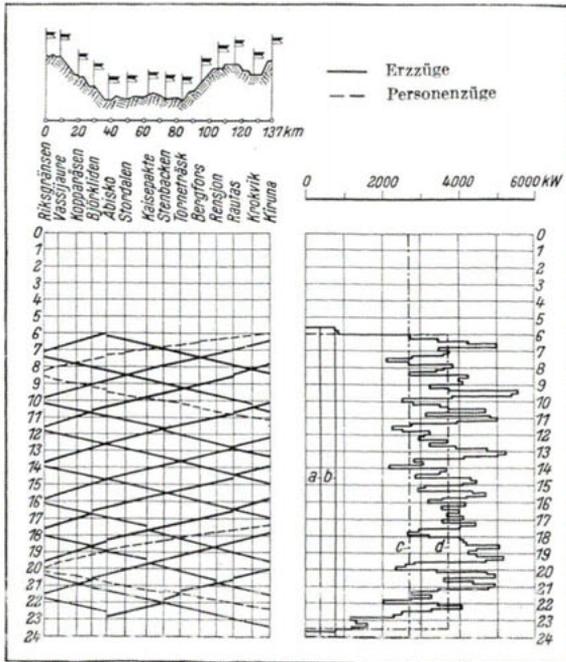


Bild 4. Graphischer Fahrplan der Riksgränsbahn (Schweden)

- a = für Beleuchtung der Bahnhöfe etwa 390 kW,
- b = für Rangieren = 320 kW,
- c = Mittel auf 24 Stunden bezogen = 2700 kW,
- d = Mittel während der Betriebszeit = 3700 kW.

die Zeiten als Ordinaten eingetragen werden (Bild 4). Die einzelnen Züge stellen sich je nach ihrer Fahrgeschwindigkeit durch eine mehr oder weniger geneigte und gebrochene Linie dar. Diese bildliche Darstellung des Fahrplanes ist der tabellarischen vorzuziehen, da sie eine bessere Übersicht gestattet. Auch die Berechnung der Leistungsanlage und die Ermittlung der Kraftwerksleistungen wird dadurch erleichtert.

Auf Straßenbahnen verkehrt entweder ein Motorwagen allein, oder es werden zu Zeiten starken Andranges 1, auch 2 Anhängewagen

angehängt. Größere Zugeinheiten sind meist durch behördliche Bestimmungen ausgeschlossen. Als Wagengröße ist für Mittel- und Kleinstädte ein Wagen von 18 Sitzplätzen und 14—18 Stehplätzen gebräuchlich. In Großstädten finden sich größere Wagentypen mit 24 bis 30 Sitzplätzen und etwa 20 Stehplätzen. Die Zugfolge ist verschieden. 5-, 7½- und 15-Minutenverkehr ist üblich. Durch Linienverkettung kann streckenweise eine dichtere Zugfolge erzielt werden. Bei eingeleisigem Betrieb wird die Zugfolge durch die Lage der Zugkreuzungsstellen beeinflusst. Die Lage dieser Ausweichen kann rechnerisch ermittelt werden (Bild 5 a) auf Grund der Überlegung, daß auf einen in der Richtung von A. nach B. fahrenden Zug (1) ein zweiter Zug in der gleichen Fahrtrichtung (3) erst folgen darf, wenn der entsprechende Gegenzug (2) in A. eingetroffen ist. Das Verkehrsintervall darf daher nicht kleiner sein als die Gesamtfahrzeit auf der Zwischenstrecke für eine volle Hin- und Rückfahrt. Beträgt z. B. die einfache Fahrzeit für die Strecke von A. nach B. t Minuten, so ist die Zugfolgezeit $T \geq 2 t$.

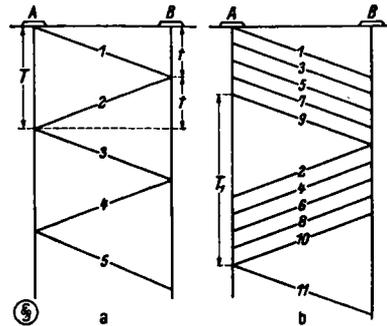


Bild 5 a u. b
Zugfolge bei eingeleisigem Betrieb.

Um bei besonderen Veranlassungen, z. B. starkem Ausflugsverkehr, vorübergehend eine dichtere Zugfolge zu erzielen, kann man eine Anzahl Züge hintereinander in derselben Richtung abfertigen, muß aber dann nach einer gewissen Zeit eine Pause eintreten lassen, um den Gegenzügen Gelegenheit zur Rückfahrt zu geben (Bild 5 b).

Bei der Auswahl der Ausweichstellen muß darauf geachtet werden, daß sie nicht an solchen Stellen vorgesehen werden, die aus örtlichen Gründen dafür ungeeignet sind, z. B. in engen Straßen, auf starkem Gefälle oder in scharfen Krümmungen und dergleichen.

Die Lage der Haltestellen ist bei Straßenbahnen an solchen Punkten der Linie zu wählen, wo ein größerer Zugang von Fahrgästen zu erwarten ist, in den Städten also an öffentlichen Plätzen, Gebäuden, Geschäftshäusern und Fabriken, ferner an Straßenkreuzungen. Die Haltestellenentfernung beträgt in Großstädten etwa 350 m, in Mittel- und Kleinstädten 250 bis 300 m. Die Dauer des Aufenthaltes an den Haltestellen beträgt im allgemeinen 7—15 Sekunden; auf eingeleisiger Strecke sind für die Kreuzung in den Ausweichen bei ungestörtem Fahrplan etwa 20—30 Sekunden zu rechnen.

Für Überlandbahnen gilt im allgemeinen das gleiche wie für Straßenbahnen. Wegen des weitmaschigen Fahrplans sind größere Züge und größere Wageneinheiten üblich, d. h. Züge aus 1 Motorwagen und 1 bis 3 Anhängewagen bei einem Fassungsraum von 36—45 Plätzen je Wagen. Der Abstand der Haltestellen beträgt je nach den vorliegenden Verhältnissen etwa 1 km, unter Umständen aber noch wesentlich mehr. Für Überlandbahnen mit reinem Personenverkehr sind die für Straßenbahnen angegebenen Aufenthaltszeiten ausreichend; befördern jedoch die Personenzüge auch Güter, so werden durch Übergabe der Güter längere Aufenthaltszeiten an den Haltestellen bedingt.

Bei Stadtschnellbahnen muß man wegen des meist vorliegenden großen Verkehrsumfanges sowohl bezüglich der Zugstärke als auch bezüglich der Zugfolge bis an die Grenze des Möglichen gehen. Die Zugfolge wird bestimmt durch die Zeit, die ein Zug zum Durchfahren eines Bahnhofs braucht, d. h. von dem Augenblick an, wo die Zugspitze um die Länge eines vollen Bremsweges vor dem Einfahrtssignal sich befindet bis zu dem, wo das Zugende durch das Ausfahrtssignal gedeckt wird. Diese Zeit setzt sich zusammen aus:

Bremszeit,
Aufenthaltszeit,
Anfahrzeit,
Signalstellzeit.

Die Bremszeit ist von der Wahl der Bremsverzögerung und von der Höhe der Fahrgeschwindigkeit abhängig, aus der der Zug abgebremst werden muß. Meist geht man über eine Bremsverzögerung von $0,8 \text{ m/s}^2$ nicht hinaus, um unangenehme Stöße und Zerrungen im Zuge zu vermeiden und um auch bei allen Witterungsverhältnissen den Zug mit Sicherheit an der vorgeschriebenen Stelle zum Stillstand zu bringen.

Die Anfahrzeit hängt von der Wahl der Anfahrbeschleunigung ab. Es ist bereits ausgeführt worden, daß in dieser Hinsicht der elektrische Betrieb ganz besonders vorteilhaft ist, da durch die große Zahl der angetriebenen Achsen und die hohe Überlastungsfähigkeit der Motoren ein sehr rasches Anfahren ermöglicht wird. Die Höhe der Anfahrbeschleunigung ist nur durch wirtschaftliche Erwägungen und durch die Rücksicht auf das Wohlbefinden der Fahrgäste begrenzt, da Anfahrbeschleunigungen über $0,5 \text{ m/s}^2$ unangenehm empfunden werden und auch auf Anlage- und Betriebskosten ungünstig einwirken.

Die Signalstellzeit kann durch ein selbständiges Block- und Signalsystem, wie es auf der Berliner Hoch- und Untergrundbahn, der Berliner Stadt- und Ringbahn, in New York, London und in anderen Großstädten eingeführt ist, auf ein äußerst geringes Maß beschränkt werden.

Hierzu kommt noch die eigentliche Aufenthaltszeit auf dem Bahnhof. Diese hängt von der Zuglänge, der Übersichtlichkeit des Bahn-

hofes sowie davon ab, ob ein starker Wechsel von Fahrgästen stattfindet oder nicht. Daneben spielt die zweckmäßige Bauart der Wagen, insbesondere die Zahl und die Anordnung der Wagentüren eine wichtige Rolle. Unterstützt wird die Schnelligkeit der Zugabfertigung durch die Gewandtheit der Bahnbeamten und durch die Gewöhnung des reisenden Publikums. In Anbetracht dieser vielen verschiedenen Einflüsse ist es erklärlich, daß die Aufenthaltszeit auf den Bahnhöfen innerhalb recht weiter Grenzen schwankt. Die übliche Annahme einer Haltezeit von 20—30 Sekunden mag als Durchschnittswert gelten, wird aber häufig überschritten. In New York betragen nach zahlreichen Beobachtungen während der sogenannten „rush hours“ die Aufenthalte auf verkehrsreichen Haltestellen nicht unter 50, oft auch 60 und 70 Sekunden, und zwar obwohl zur glatten Abwicklung des Verkehrs Zugbegleitungs- und Bahnsteigpersonal reichlich vorhanden ist und obwohl die Fahrgäste an Eile gewöhnt sind.

Um die dichteste Zugfolgezeit zu ermitteln, muß der in bezug auf die Verkehrsverhältnisse ungünstigste Bahnhof ausgesucht werden, der dann für die Zugfolge auf der ganzen Strecke maßgebend ist. Besonders ungünstig sind in dieser Hinsicht Kopfbahnhöfe, weil bei diesen auch ein Wechsel der Fahrtrichtung stattfindet. Kopfbahnhöfe sind daher bei Neuanlagen zu vermeiden. Die Erfahrung hat gelehrt, daß auf Stadtschnellbahnen im Höchstfall etwa 40 Züge stündlich in einer Richtung abgefertigt werden können, d. h. die dichteste Zugfolge ist etwa 1½ Minute. Die häufig aufgestellte Behauptung, daß Zugfolgezeiten von 1 bis 1¼ Minuten erreichbar seien, beruht auf theoretischen Berechnungen, hat aber in der Praxis eine Bestätigung bisher nicht gefunden. Welchen Einfluß die einzelnen Faktoren auf die Zugfolgezeit haben, soll an folgendem Zahlenbeispiel erläutert werden.

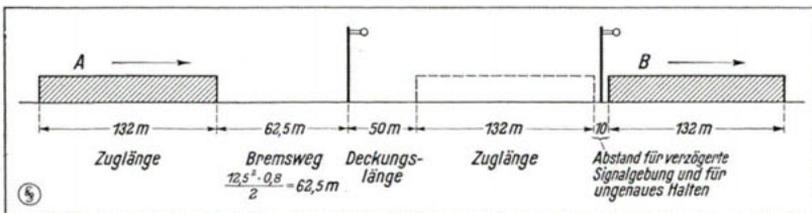


Bild 6. Ermittlung der Zugfolge.

Maßgebend für die Ermittlung der Zugfolge ist die Zeit, die der Zug braucht, um von der in der Skizze (Bild 6) mit „A.“ bezeichneten Stelle nach „B.“ zu gelangen. Die Zuglänge sei 132 m, die Geschwindigkeit beim Einsetzen der Bremsung 12,5 m/s, die Bremsverzögerung 0,8 m/s² und die Anfahrbeschleunigung 0,5 m/s².

Die Zeit für die Fahrt von „A.“ nach „B.“ setzt sich dann wie folgt zusammen:

Einfahrzeit	$\frac{132 + 50}{12,5}$	. . . . .	=	14,5 s.
Bremszeit	$\frac{12,5}{0,8}$	. . . . .	=	16 „
Aufenthalt	. . . . .	. . . . .	=	25 „
Räumungszeit	$\sqrt{\frac{(132 + 10) \cdot 2}{0,5}}$	. . . . .	=	24 „
Beobachtungs- und Signalstellzeit	. . . . .	. . . . .	=	4 „
Zuschlag für ungenaue Folge der Vorgänge	. . . . .	. . . . .	=	5 „
				88,5 s.

Die größte Zahl von Zügen in einer Stunde beträgt also

$$\frac{3600}{88,5} = \underline{\underline{40 \text{ Züge}}}$$

Man ersieht aus den obigen Zahlenwerten, daß, abgesehen von der Aufenthaltzeit, die, wie erwähnt, durch andere nicht beliebig beeinflussbare Faktoren bestimmt ist, die Räumungszeit für die Zugfolge ausschlaggebend ist und diese ist wieder von der Zuglänge und der gewählten Anfahrbeschleunigung abhängig.

Die Zugfolge wird durch die Fahrgeschwindigkeit auf der freien Strecke nicht beeinflusst, und es ist daher zwecklos, bei Stadtschnellbahnen durch Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit auf der freien Strecke den Zeitverlust in den Bahnhöfen ausgleichen und die Zugfolge dadurch verbessern zu wollen.

Der Haltestellenabstand auf Stadtschnellbahnen ist in der Regel etwa 800 m. Hierbei lassen sich noch Höchstgeschwindigkeiten von 50 km/h anwenden. Bei größerer Haltestellenentfernung kann auch die Höchstgeschwindigkeit höher gewählt und damit die Gesamtfahrtzeit abgekürzt werden.

Der Fassungsraum der Züge ist im wesentlichen durch die Zuglänge bestimmt, da die Wagenbreite durch die Spurweite und das Umgrenzungsprofil des lichten Raumes festgelegt ist. Die Zuglänge ist wiederum durch die Abmessungen der Bahnsteige gegeben und steht dadurch in inniger Wechselbeziehung zu der Zugfolge, wie oben gezeigt ist. Es hat daher keinen Zweck, die Zuglänge über ein bestimmtes Maß hinaus zu steigern, weil mit zunehmender Zuglänge auch die für die Zugfolge maßgebende Bahnhofslänge vergrößert wird. Ferner wird durch die erschwerte Zugabfertigung der Stationsaufenthalt verlängert. Da die Leistungsfähigkeit der Bahn sich aus der Zahl der stündlich zu

befördernden Züge und aus ihrem Fassungsvermögen ergibt, so ist der Fall denkbar, daß mit der Vergrößerung der Züge die Leistungsfähigkeit der Bahn nicht zu- sondern sogar abnimmt, da nicht mehr die gleiche Zahl von Zügen wie vorher über die Strecke gebracht werden kann. Bei welcher Gruppierung die Bahn das Maximum ihrer Leistungsfähigkeit erreicht, muß von Fall zu Fall durch Vergleichsrechnung gefunden werden.

Die Wagen der bestehenden Stadtschnellbahnen weisen mannigfaltige Größenverhältnisse und Grundrißformen auf. Allen ist aber gemeinsam, daß sie zur Bewältigung des Massenandranges sehr viel Stehplätze enthalten, und daß sie behufs schneller Leerung und Füllung mit möglichst vielen breiten Türen versehen sind. Der Fassungsraum der Wagen ist meist so bemessen, daß auf 1 m² Bodenfläche 3,5 bis 5 Personen, in Steh- und Sitzplätzen zusammen, entfallen.

Bei Fernbahnen ist die Aufstellung eines geeigneten Fahrplans ganz besonders schwierig, da die verschiedensten Zugattungen dieselben Gleise benutzen müssen. Neben Schnellzügen, Eilzügen, beschleunigten und Orts-Personenzügen verkehren noch gemischte Züge und Güterzüge, letztere wieder nach ihrer Bedeutung in Fern-, Durchgangs- und Orts-Güterzüge unterschieden. Die Geschwindigkeiten dieser Züge und die Zahl der Aufenthalte unterwegs weichen erheblich voneinander ab. Es sind daher Überholungen der langsamer fahrenden Züge durch die schnelleren, bei eingleisigem Betrieb außerdem noch die Zugkreuzungen zu berücksichtigen. Hinzu kommt, daß die Lage einiger Züge im Fahrplan durch Anschlüsse an Züge angrenzender Strecken festgelegt ist. Im Gegensatz zu den Straßenbahnen und Stadtschnellbahnen, die nur von Zügen gleicher Geschwindigkeit befahren werden, ist auf Fernbahnen ein sogenannter „starrer Fahrplan“, d. h. ein Fahrplan, in dem die Züge in gleichmäßigen kurzen Intervallen verkehren, nicht möglich. Der Fahrplan einer Fernbahn zeigt ein durchaus unregelmäßiges Bild.

Beim Übergang vom Dampfbetrieb zur elektrischen Zugförderung empfiehlt es sich nicht, den bisherigen Dampffahrplan unverändert zu übernehmen, da dieser vielfach nach ganz anderen Gesichtspunkten aufgestellt ist. Wenn auch die Lage der Züge, namentlich der durchgehenden, im wesentlichen nicht geändert werden kann, so lassen sich bei elektrischem Betrieb gewisse Verbesserungen erzielen, die beim Dampfbetrieb nicht möglich sind.

Für den Fahrplan sind ganz besonders störend die Orts-Personen- und -Güterzüge, da sie wegen ihrer geringen Fahrgeschwindigkeit und wegen des häufigen Aufenthaltes die Strecke übermäßig lange in Anspruch nehmen. Man wird sich die Frage vorlegen müssen, ob es in allen Fällen nötig sein wird, die aus dem Dampfbetrieb über-