

Das vorliegende, die Nummern 9 und 10 umfassende Doppelheft

Elektrischer Bahnbetrieb

ist als Fachheft der Darstellung des auf diesem Sondergebiet des Eisenbahnwesens bis jetzt erreichten Standes gewidmet. Es soll vor allem einen Überblick über den Umfang des elektrischen Vollbahnbetriebs geben; die Einrichtungen für elektrische Zugförderung im Gebiet des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen, sowie der für die Elektrisierung besonders wichtigen übrigen Länder werden in Wort und Bild in eingehenderer Weise vorgeführt; auch für die Elektrisierung maßgebende Vor- und Grundfragen werden in manchen Aufsätzen berührt. Daneben enthält das Heft noch einige, vorwiegend den auf dem Gebiet der elektrischen Zugförderung tätigen Fachmann interessierende Abhandlungen.

Die Frage der elektrischen Zugförderung wird zur Zeit in fast allen Eisenbahnländern erörtert; manchenorts werden noch Vorerhebungen angestellt und Pläne ausgearbeitet, in der Schweiz, die allerdings durch die Natur dazu vorzugsweise begünstigt ist, schickt sich die neue Betriebsart an, die Alleinherrschaft gegenüber dem Dampf zu erringen; eine Zunahme der elektrisch betriebenen Strecken ist fast überall zu beobachten. Die Frage begegnet allenthalben regstem Interesse und wird auch bei der Ende September in Berlin stattfindenden **Eisenbahntechnischen Tagung** einen breiten Raum einnehmen. Wir glauben daher, mit dem vorliegenden Heft einem allgemeineren Bedürfnis zu entsprechen.

Die Schriftleitung.

Die neuen elektrischen Lokomotiven der Deutschen Reichsbahn.

Von Otto Michel, Regierungsbaurat des R. V. M., Z B München.

Allgemeines.

Die Deutsche Reichsbahn gab in den Jahren 1922 und 1923 insgesamt 138 neue elektrische Lokomotiven in Auftrag. Diese neuen Lokomotiven werden benötigt für die Elektrisierung der Garmischer- und Holzkirchner Liniengruppe, sowie für die Elektrisierung der Strecken München—Regensburg und München—Herrsching, schließlic noch für die Erweiterung der elektrischen Zugförderung auf den Strecken der Direktionen Breslau und Halle.

In Berücksichtigung der Streckenverhältnisse der einzelnen Reichsbahndirektionen und der Bedürfnisse des Betriebes wurden folgende Einheitsgattungen gewählt:

1. Schwere Schnellzuglokomotive der Achsfolge 1 A A A A 1.
2. Flachlandschnellzuglokomotive » » 2 C 2
3. Schwere Personenzuglokomotive » » 2 B B 2
4. Leichte Personenzuglokomotive » » 1 C 1
5. Leichte Güterzuglokomotive » » 1 B - B 1
6. Schwere Güterzuglokomotive » » C - C
7. Für die betrieblich schwierige Gebirgsstrecke Reichenhall—Berchtesgaden wurden Lokomotiven der Gattung 2 D 1 vergeben, die für Personen- und Güterzüge in gleicher Weise geeignet sind, und in der Leistung den leichten Güterzuglokomotiven 1 B - B 1 gleichkommen.

Auf die einzelnen Gattungen und Lieferfirmen verteilen sich die Lokomotiven wie folgt:

Lfd. Nr.	Lokomotiv-Gattung	Vergeben				Ausführung	
		insgesamt	für Bayern	für Breslau u. Halle	im Jahr	elektrischer Teil	Wagen-teil
1	Schwere Schnellzugl. 1 A A A A 1	10	10	—	1922	B B C	Krauss
2	Flachland-Schnellzugl. 2 C 2	5	—	5	"	Bergmann	B M A G

Lfd. Nr.	Lokomotiv-Gattung	Vergeben				Ausführung	
		insgesamt	für Bayern	für Breslau u. Halle	im Jahr	elektrischer Teil	Wagen-teil
3	Schwere Personenzugl. 2 B B 2	35	35	—	1922	A E G S S W	Maffei
4	Leichte Personenzugl. 1 C 1	19	19	—	"	B B C	Maffei
5	Leichte Güterzugl. 1 B - B 1	37	25	12	"	Bergmann M S W	Krauss B M A G
6	Schwere Güterzugl. C - C	30	16	14	"	A E G S S W	A E G Krauss
7	Leichte Güterzugl. 2 D 1	2	2	—	1923	Pöge	Maffei

Die Leistungen der vorgenannten Lokomotiven sind ebenso wie alle wichtigen Einzelangaben in der Zusammenstellung Seite 180/181 enthalten.

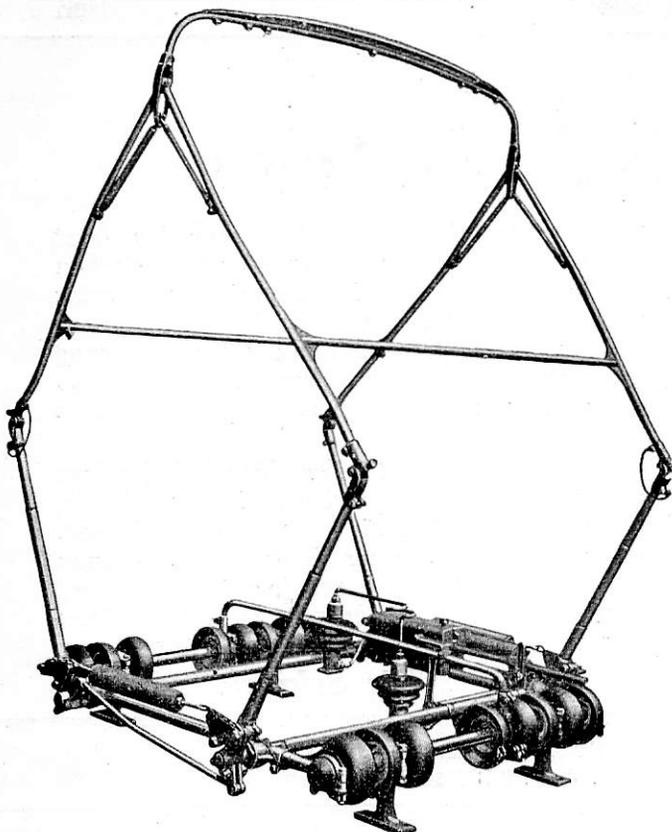
Elektrische Ausrüstung.

Für sämtliche Lokomotiven werden folgende Teile der elektrischen Ausrüstung in gleicher Bauart ausgeführt: Die Stromabnehmer, der Ölwechsler, die Motorluftpumpe, bestimmte Teile der Druckluftausrüstung und eine Reihe von elektrischen Apparaten. Hierzu sei im einzelnen bemerkt:

Die Stromabnehmer (Abb. 1). Auf vier Böcken ruht unter Zwischenschaltung einer doppelten Isolation aus Doppel- und Einfach-Glockenisolatoren das Untergestell. Die zwei durch Stangen gekuppelten Hauptwellen sind in Kugellagern gelagert und tragen die Unterrahmen der Schere, mit denen die geschweißten Oberrahmen gelenkig verbunden sind. Das Scherengestell trägt oben einen durch vier Federn geleiteten Schleifstückträger, der das W-förmige aus Aluminium hergestellte Schleifstück aufnimmt. Das Gewicht des Stromabnehmers ist durch zwei an den beiden Längsseiten angebrachte regulierbare Wickelfedern ausgeglichen. Zum Aufrichten des

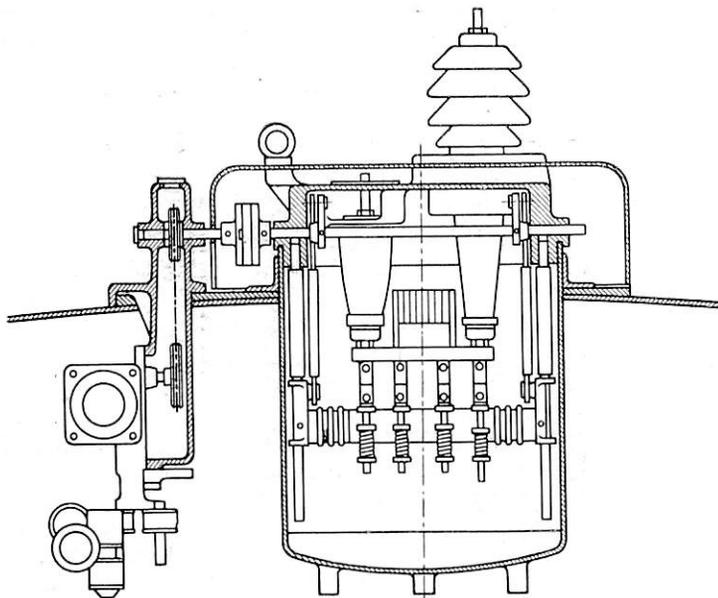
Stromabnehmers und zur Erzeugung des notwendigen Anpressungsdruckes dient ein Luftzylinder, dessen Kolbenstange eine dritte Feder anspannt, die wiederum auf eine der

Abb. 1. Einheitsstromabnehmer. Bauanstalten AEG, SSW.



Hauptwellen wirkt. Mit der Kolbenstange ist ein Abschalter verbunden, so daß sich der Stromabnehmer beim Niederlegen von selbst von der Hochspannungsleitung trennt. Auf dem

Abb. 2. Einheitsölschalter, Bauanstalt BBC.



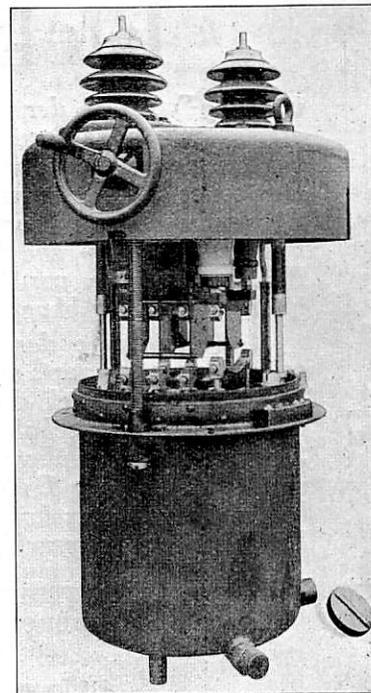
Untergestell können noch je zwei weitere Doppelglockenisolatoren für eine zweite durchgehende Hochspannungs-Verbindungsleitung angebracht werden. Die Isolation der Luftzuführung erfolgt durch zwei besondere Isolatoren.

Der Raumbedarf eines Stromabnehmers beträgt in der Länge 3,15 m, in der Breite 2,10 m. Die Bügelbreite ist

unter Zugrundelegung einer normalen Stützpunktentfernung der Fahrleitung von rund 80 m auf 2100 mm festgesetzt; das Aluminiumschleifstück ist 1300 mm lang; an dieses schliessen zu beiden Seiten noch zwei je 250 mm lange Auflaufstücke aus Messing an. Der Stromabnehmer ist gebaut für eine höchste Fahrdrathlage von 6,5 m und für eine tiefste Lage von 4,81 m über S. O. Die größte Steighöhe beträgt 6,7 m über S. O. Bei einem Überdruck der Druckluft von 3,5 at arbeitet er noch sicher. Der senkrechte Anpressungsdruck des Schleifbügels wird so eingestellt, daß er beim Steigen des Bügels 3 kg nicht unterschreitet und beim Senken 6 kg nicht übersteigt. Die Durchbildung und der Bau der Stromabnehmer wurde den Firmen Siemens-Schuckert-Werke und Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft übertragen.

Der Ölschalter (Abb. 2 und 3). Bei den bisherigen Lokomotiven wurde der Ölschalter durchwegs in einer besonderen Hochspannungskammer untergebracht. Die mit Ölschaltern vorgenommenen Versuche und die praktischen Betriebserfahrungen ließen es zweckmäßig erscheinen, die Schalter in druckfeste Ölkessel auf dem Dach fest einzubauen. Während es früher üblich war, zur Nachschau und Ausbesserung den Kessel herabzulassen, mußte jetzt dazu übergegangen werden, den Schalter selbst auf dem

Abb. 3. Ölschalter, hochgekrübelt.



Dach in die Höhe zu krübeln. Diese Maßnahme konnte unbedenklich getroffen werden, da es erfahrungsgemäß niemals Aufgabe des Personals sein kann, während der Fahrt etwa Unregelmäßigkeiten im Hochspannungsölschalter zu beheben und diese Arbeiten der Werkstatt vorbehalten bleiben müssen. Zum Arbeiten ist auf dem Lokomotivdach auch mehr Platz

vorhanden als in den gewöhnlich ziemlich engen Hochspannungskammern, die zudem noch mit weitgehenden Sicherheitsvorkehrungen, wie Verriegelungen usw., geschützt werden mußten und nunmehr in Wegfall kommen können.

Der Ölkessel ist aus 10 mm starkem Kesselblech von 35—41 kg pro qmm Festigkeit gebaut und nach dem altbewährten Wassergas-Schweißverfahren der Firma Pintsch geschweißt. Mit einem am Kessel angebrachten Winkelring wird der Kessel an einer am Dach aufgesetzten Grundplatte befestigt. Der eigentliche Ölschalter besteht aus einem Graugußdeckel, an den zwei einheitlich ausgebildete mit vier Schirmen versehene Durchführungsisolatoren angebracht sind; an dem Einführungsisolator wird im Innern des Schalters ein Stromwandler für das Maximal-Relais eingebaut. Die Durchführungsisolatoren tragen mit zwei Stützisolatoren eine Platte, auf der die Kontaktklötze befestigt sind. Im ganzen sind acht Unterbrechungskontakte vorhanden, zwei Kontakte erhalten eine Voreilung; zwischen diesen sind Schutzwiderstände eingebaut. Die beweglichen Kontakte sitzen auf zwei Rohren aus Bituba und werden durch die im Deckel gelagerte Welle mit Exzenter angepreßt. Der Deckel ist mit zwei Explosionsöffnungen versehen.

Zur Betätigung des Ölschalters dient eine in der Grundplatte gelagerte Antriebsvorrichtung. Der Ölschalter kann durch Vermittlung des Luftzylinders durch einen Luftstoß vom Führerbügelhahn oder von Hand eingeschaltet werden. Die Übertragung von der Einschaltvorrichtung nach der Welle erfolgt durch eine Kette, deren Spannung leicht eingestellt werden kann. An der Antriebsvorrichtung sind die Auslöseinrichtungen angebracht und zwar

- a) ein Nullspannungsauslöser,
- b) ein Höchststromauslöser der vom Stromwandler am Einführungsisolator gespeist wird,
- c) ein Auslösemagnet, der durch den Kontakt des Führerbügelhahns oder durch die Höchststromauslöser des Motoren- und des Heizstromkreises betätigt werden kann. Der Auslösemagnet ist gebaut für 24 Volt Gleichstrom und für 18 Volt Wechselstrom. Die Auslösung des Ölschalters ist freilaufend, d. h. solange ein Kurzschluss vorhanden ist, wird der Ölschalter auch beim Einschaltversuch wieder ausschalten.

Senkrecht zur Einschaltwelle ist die Welle zum Hochkurbeln angeordnet. Über den Deckel ist zum Schutz gegen Schnee eine Haube aufgesetzt.

Für den Ölschalter, der in seinen Einzelheiten von der Firma Brown-Boveri Mannheim entworfen und geliefert wurde, ist eine Schalteistung von 100 000 KVA gewährleistet.

Die Luftpumpe mit Motor. Sämtliche Lokomotiven werden mit einer zweistufigen vierzylindrigen Motorluftpumpe Bauart Knorr ausgerüstet, die bei 200 Umdrehungen in der Minute 90 cbm Luft, bezogen auf einen Barometerstand von 760 mm und 0° C., gegen 7 at Überdruck stündlich fördert. Der Antriebsmotor ist für eine Dauerleistung von 20 PS bei 1000 Umdrehungen, 200 V und $16\frac{2}{3}$ Perioden gebaut und wird einheitlich von der Firma Bergmann Elektrizitätswerke Berlin geliefert. Zwischen Motor und Kompressor ist ein Zahnradvorgelege eingebaut.

Druckluftausrüstung bestehend aus den Luftsaugern, den Ölabscheidern, Rückschlagventilen, Luftdruckreglern, der Handluftpumpe, den Führerbügelventilen, Dreiwegventilen für Hand- und Motorluftpumpen, sowie dem Bügeleinstellventil. Die grundsätzliche Anordnung der Apparate zur Druckluftbügelbetätigung geht aus Abb. 9, Taf. 20 hervor.

Besonders erwähnt möchte werden, daß infolge des Nullspannungsauslösers der Ölschalter erst eingeschaltet werden kann, wenn mindestens ein Bügel an Spannung angelegt ist; andererseits können durch den Führerbügelhahn die Bügel nur gesenkt werden, wenn zuerst der Ölschalter ausgeschaltet ist.

Letzteres wird durch einen Kontakt im Führerbügelhahn bewirkt, der vor der Freigabe des Luftaustritts den Ölschalter ausschaltet.

Einzelapparate. Von den kleineren Apparaten wurden vereinheitlicht die Meßinstrumente, die Thermometer für die Temperaturmessung des Transformatoröles (Schäffer u. Budenberg), Geschwindigkeitsmesser (Deuta), Ölpresen (Bauart Bosch), Handschalter für Luftpumpen (Bauart Maffei-Schwartzkopffwerke), Schuppen-Streckenschalter, Prüfdosen, Schalter- und Steckdosen für elektrische Zugheizung, Wechselstromsicherungen, Beleuchtungsschalttafeln mit Schalter und Sicherungen (BBC), Ablafshähne für Öltransformator-kessel und Ölschalter, Signallaternen und Bahnbeleuchtungslaternen.

Bezüglich der übrigen elektrischen Ausrüstung wurde nach folgenden allgemeinen Grundsätzen verfahren:

Motoren. Zum Bau kamen durchwegs nur kompensierte Reihenschlussmotoren mit Wendepolen in Betracht. Parallel zur Wendepolwicklung wird ein induktionsloser Widerstand gelegt; hierdurch gelingt es bekanntlich während des Laufes die E. M. K. der Transformation, die in den durch die Bürsten kurz geschlossenen Ankerwicklungen entsteht, durch eine E. M. K. der Drehung ganz oder teilweise aufzuheben. Für den Anlauf ist dieser Ausgleich zwar nicht möglich; um gleichwohl auch hier die Funkenbildung in zulässigen Grenzen zu halten, wurde versucht, die E. M. K. der Transformation mit allen verfügbaren Mitteln (z. B. Herabsetzung der kurz geschlossenen Windungen, entsprechende Bemessung der Polkraftflüsse usw.) herabzumindern. Die Firma Brown-Boveri versucht außerdem noch mit gutem Erfolg die Verhältnisse beim Anlauf durch Widerstandsverbindungen, die zwischen der Ankerwicklung und den Kommutatorlamellen angebracht sind, zu verbessern. Dadurch kann eine höhere Kurzschlussspannung zwischen den Bürsten zugelassen werden, die wiederum eine größere Spannung an den Motorklemmen und eine kleinere Stromstärke bei gleichbleibender Leistung gestattet. Besonderer Wert wurde auf die Bauart des Kommutators und auf die Herstellung einer einwandfreien Verbindung der Lamellen mit den Kommutatorfahnen gelegt. Die Firma Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft stellt neuerdings die Lamellen und Fahnen aus einem Stück her und hat dadurch nur eine Lötverbindung an den Wicklungsenden notwendig. Diese Bauart macht einen sehr zuverlässigen und dauerhaften Eindruck. Die Abnutzungsmöglichkeit des Kommutators wird bedingungs-gemäß 40 mm betragen. Für die Kohlenbürsten wurden einheitlich die Maße auf $12,5 \times 50 \times 50$ mm festgelegt. Ausnahmen bilden hiervon nur die Bürsten für die Motoren mit Widerstandsverbindung. Die Bürstenhalter sind so gebaut, daß eine Abnutzung der Kohlen bis zu 50% möglich ist; weiter ist dafür gesorgt, daß der Anpressungsdruck bei allen Kohlenlängen gleich ist. Die Bürstenbrücken sind drehbar ausgeführt, damit die Bürsten vom Maschinenraum aus leicht nachgesehen werden können. Für den Anker und für den Stator wurden hochlegierte Bleche verwendet. Zur Vermeidung der höheren harmonischen Schwingungen, die besonders auf den Telegraphen- und Fernsprechtbetrieb einen störenden Einfluß ausüben, sind die Nuten des Ankers (bei einigen Firmen die des Stators) geneigt angeordnet. Der Luftspalt, der im allgemeinen 2 mm beträgt, kann auch bei geschlossenen Motoren an drei Stellen des Umfanges durch Schaulöcher nachgeprüft werden. Die Lebensdauer und die Leistungsfähigkeit der Motoren hängt im besonderen Maß von der zulässigen Erwärmung ab. Die zulässigen Temperaturen sind in den vom Verband Deutscher Elektrotechniker herausgegebenen »Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektrischen Bahnmotoren und Transformatoren« festgelegt. Diese Vorschriften wurden auch dem Bau der neuen Motoren zugrunde gelegt mit dem Abmaß, daß für die Wicklungen nur Höchsttemperaturen zugelassen werden,

Zusammenstellung.

der Hauptangaben über die neuen elektrischen Lokomotiven der Deutschen Reichsbahn.

Vortrag	1 A A A A 1	2 C 2	2 B B 2	1 C 1	1 B - B 1	2 D 1	C - C
	Schwere Schnellzuglokomotive	Flachland-Schnellzuglokomotive	Schwere Personenzuglokomotive	Leichte Personenzuglokomotive	Leichte Güterzuglokomotive	Leichte Güterzuglokomotive	Schwere Güterzuglokomotive
	1	2	3	4	5	6	7
Bauanstalt für den elektr. Teil	B B C	B E W	A E G — S S W	B B C	M S W — B E W	Pöge	A E G — S S W *)
„ „ „ Wagenteil	Kraufs	Schwartzkopf	Maffei	Maffei	Schwartzkopf-Kraufs	Maffei	A E G — Kraufs
Zahl der Lokomotiven	10	5	35	19	37	2	30
Voraus- (Dienstgewicht . t	101	115	126	77,5	107	106	110
sichtliches (Reibungsgewicht t	73,6	55,2	73,6	52,5	73,6	70	110
Zuggewicht auf 10‰ Steigung t	600 450	—	500 300	300	850 500	850 500	1200 500
Zu beschleunigen auf . . . km/Std.	55 55	—	50 50	25	25 50	25 50	25 45
in Minuten	6,5 3	—	2 1,25	1,17	4 4	4 4	3,5 2
Gewährleistete Zugkraft 10 Sek. lang im Stillstand am Zug- haken kg	13150	13000	16500	9560	17000	18000	27000
Größte Fahrgeschwindigkeit km/Std.	110	110	90	75	65	65	55
Art der Bogeneinstellung	2 Kraufs-Helmholtz-Drehgestelle, sämtliche Triebachsen 2 × 15 mm seitlich verschiebbar	2 amerikan. Drehgestelle mit Seitenverschiebung. Spurkränze der Kuppelachse 15 mm abgedreht	2 amerikan. Drehgestelle, Auslenkung 2 × 80 mm. 1. Kuppelachse Seitenverschiebung 2 × 5 mm, 2. und 3. Kuppelachse 2 × 10 mm, 4. Kuppelachse fest, 2. und 3. Kuppelachse 2 × 10 mm Spurkranzschwächung	vorne Helmholtz-Drehgestell, hinten Bissel-Radialachse, 3. Achse Spurkranzschwächung 2 × 12 mm	2 Untergestelle mit je 1 Lauf- und 2 Triebachsen, 1. u. 4. Kuppelachse 2 × 20 mm verschiebbar und 15 mm Spurkranzschwächung	Kraufs-Lotter-Drehgestell 1. Kuppelachse 2 × 20 mm, 2. und 3. Kuppelachse 2 × 15 mm seitlich verschiebbar, 4. Kuppelachse fest. 2. und 3. Kuppelachse 2 × 10 mm Spurkranzschwächung. Bisselachse 2 × 50 mm auslenkbar.	2 Untergestelle mit je 3 Achsen mittlere Achse jeweils 2 × 25 mm verschiebbar
Triebraddurchmesser . . . mm	1640	1600	1400	1400	1400	1250	1250
Kurbelkreisdurchmesser . . mm	—	600	600	600	660	600	600
Lauftraddurchmesser . . . mm	1000	1000	1000	850	1000	850	—
Radstand fest mm	—	4650	—	1850	4550	—	eines Gestells 4500
Radstand gesamt mm	12600	12450	13600	8950	12100	10950	11760
Ganze Länge über die Puffer mm	16300	15750	17210	13010	16000	14025	16700
Art der Übertragung vom Motor auf die Triebräder	Zahnräder (Buchli-Antrieb)	2 Blindwellen Stangen	Zahnräder Vorgelegewelle Blindwellen Triebstange 53° geneigt gegen die Vertikale	Zahnräder Vorgelegewelle Blindwelle Triebstange 50° geneigt gegen die Vertikale	Zahnräder Vorgelegewelle schräg angelenkte Triebstange	Zahnräder Dreiecksstange Stangenwinkel 90°, 2 Blindwellen	Zahnräder Vorgelegewelle schräg angelenkte Triebstange
Federung in der Kraftübertragung	Ritzel gefedert gedämpft	zwischen Ankerwelle u. Ankerkörper Federung und Dämpfung	Ritzel gefedert gedämpft	Ritzel gefedert gedämpft	Ritzel gefedert gedämpft	Ritzel gefedert gedämpft	Ritzel gefedert gedämpft
Übersetzung	1 : 2,63	—	1 : 2,866	1 : 3,27	1 : 2,61	1 : 2,8	1 : 4,04
Art der Transformator Kühlung	Ölumlauf mit aufsenliegend. Kühlrohren	Ölumlauf mit besond. Kühler und Ventilator	Ölumlauf Kühlung durch Henkelrohre	Ölumlauf mit besond. Kühler	Ölumlauf mit besond. Kühler und Ventilator	Ölumlauf Kühlung des Transformator-kessels	Ölumlauf Kühlung durch Henkelrohre
Dauerleistung des Transformators kVA	1750	1650	2050	875	1500	1650	2050
Zahl der Motoren	4 parallel geschaltet	1	2 Doppel-Motoren je 2 in Reihe geschaltet	2 parallel geschaltet	2 parallel geschaltet	2 in Reihe geschaltet	2 Doppel-Motoren je 2 in Reihe geschaltet
Polzahl eines Motors	12	36	10	12	20	20	10

*) A E G = Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft. — S S W = Siemens-Schuckert-Werke. — B E W = Bergmann-Elektrizitäts-Werke. — M S W = Maffei-Schwartzkopf-Werke. — B B C = Brown-Boveri.

Vortrag	1 A A A A 1 Schwere Schnellzug- lokomotive	2 C 2 Flachland- Schnellzug- lokomotive	2 B B 2 Schwere Personenzug- lokomotive	1 C 1 Leichte Personenzug- lokomotive	1 B - B 1 Leichte Güterzug- lokomotive	2 D 1 Leichte Güterzug- lokomotive	C - C Schwere Güterzug- lokomotive
	1	2	3	4	5	6	7
Art der Motorkühlung	Lüfter	Lüfter	Lüfter	Lüfter	Lüfter	Lüfter	Lüfter
Drehzahl des Motors bei größter Geschwindigkeit und halb ab- genutzten Radreifen	960	375	1000	960	625	800	1000
Art der Steuerung	Schlitten- schalter mit Blindkontroller	Schützen und Bürsten- verschiebung	elektro- magnetische Schützen	Schlitten- schalter mit Blindkontroller	elektro- pneumatische Schützen	Döry-Regler	elektro- pneumatische Schützen
Zahl der Fahrstufen	18	15	19	13	15	feinstufig	19
Größte Motorspannung im ganzen Volt	660	319	etwa 420 bei jedem Motor	660	—	400	etwa 420 bei jedem Motor
Dauerleistung der Lokomotive an den Motorwellen PS	2000 1680	2250 1650	1960	1000 840	1600	1600	1960
Bei einer Geschwindigkeit von km/Std.	73,5--100 110	84 110	54—90	50—68,5 75	39—59	39—65	33—55
Stundenleistung der Lokomotive an den Motorwellen PS	2400 1340	3000	2300 1090	1200 680	1920 850	1920 910	2300 1090
Bei einer Geschwindigkeit von km/Std.	73,5 41	71	49 23	50 28	36 16	36 17	30 14
Anfahrleistung der Lokomotive während 5 Minuten a. d. Motor- wellen PS	2400	—	1500	1200	1170	1260	1500
Bei einer Geschwindigkeit von km/Std.	41	—	23	28	16	17	14
Schützenspannung Volt	200	60	200	200	60	200	200
Lichtspannung Volt	24 (Gleichstrom)	18 (Wechselstr.)	24 (Gleichstrom)	24 (Gleichstrom)	24 (Gl.) bzw. 18 (W.)	24 (Gleichstrom)	24 (Gl.) bzw. 18 (W.)
Betriebsnummern	ES 21001—21010	ES 51—55	EP 21501—21535	EP 20006—20024	EG 22001—22025 EG 701—712	EG 22101—22102	EG 22501—22516 EG 580—594

die um 20° abgemindert sind. Für den Kommutator ist allgemein nur eine Temperaturzunahme von 75° gestattet. Diese Vorsichtsmaßregeln erschienen auf Grund eingehender Erfahrungen notwendig, um eine Reserve für unvorhergesehene Fälle (wiederholtes, unvorhergesehenes Anhalten, besonders ungünstige Strecken usw.) zu besitzen. Um ein Bild zu erhalten über die Erwärmungen, die im praktischen Betrieb tatsächlich vorkommen, werden zunächst versuchsweise in je zwei Lokomotiven jeder Gattung je vier Widerstandselemente in den Läufer und in den Ständer an verschiedenen Stellen des Eisens und der Wicklungen eingebaut. Es wird versucht werden, Beziehungen herzustellen zwischen den höchsten im Anker vorkommenden Temperaturen und der Temperatur an einer leicht meßbaren Stelle (thermisches Abbild), um später dem Führer ein zuverlässiges Meßinstrument für den Erwärmungszustand des Motors an die Hand geben zu können.

Sämtliche Motoren werden mit einer ausgiebigen Lüftung versehen, die so eingerichtet wird, daß der entstehende Kohlen-, Kupfer- und Eisenstaub aus dem Motor heraus und beim Kommutator nach außen geblasen wird. Besonderer Wert wird ferner darauf gelegt, daß kein Öl aus den Ankerlagern in den Anker gelangen kann. Hierzu dienen vor allem die Anordnung von Spritzringen und besonderen Überdruckkammern, die sich an die Ankerlager anschließen. Die Ankerlager werden zum großen Teile ebenso wie die Lager der Vorlegewellen mit kugelförmigen Lagerschalen ausgerüstet, um ein leichtes Einpassen und ein elastisches Arbeiten der Wellen zu ermöglichen. Für die Ankerlager wird großenteils Ringschmierung verwendet; Versuche mit Rollenlagern sind vorgesehen.

Aus Gründen der Unterhaltung der Fahrzeuge im Betriebe und in der Werkstätte war es dringend erwünscht, möglichst wenig Motorgattungen zu erhalten und die notwendige Gesamtleistung möglichst zu unterteilen. Es erhielten daher die

Schnellzuglokomotiven 1 A A A A 1 und leichten Personenzuglokomotiven 1 C 1 dieselbe Motorgattung und zwar die Schnellzuglokomotiven vier Motoren zu je 500 PS und die leichten Personenzuglokomotiven zwei Motoren zu je 500 PS; andererseits werden die 2 B B 2 und C - C Lokomotiven mit vier Motoren zu je 490 PS gleicher Bauart ausgerüstet.

Bei der Besprechung der einzelnen Lokomotiven wird noch auf den Einbau der Motoren zurückgekommen.

Transformatoren. Hier war in erster Linie die Frage zu klären, ob dem luftgekühlten Transformator oder dem Öltransformator der Vorzug zu geben sei. Die Lufttransformatoren haben den Vorteil geringen Gewichts und kleineren Raumbedarfes, sowie den Vorzug, daß die lästigen Begleiterscheinungen, die mit dem Öl verbunden sind, wegfallen. Die Öltransformatoren weisen dagegen als grundsätzlichen Vorteil die entschieden überlegene Betriebssicherheit auf, der gegenüber die sonstigen Unbequemlichkeiten in Kauf genommen werden müssen. Gleichwohl dürften auch heute diese Fragen noch nicht als endgültig entschieden zu betrachten sein. Für die Öltransformatoren kommen folgende Möglichkeiten der Ölkühlung in Betracht:

a) Der Ölkessel wird reichlich bemessen, die Wärmeabgabe des Öls findet lediglich durch die Wände des Ölkessels statt, der von Kühlluft umspült wird. Eine Ölpumpe sorgt für den Umlauf des Öles, damit im oberen und unteren Teil des Kessels gleiche Öltemperaturen herrschen (z. B. Transformator der 2 D 1-Lokomotiven von Pöge).

b) Am Ölkessel sind Rohre (Henkelrohre) angeschweißt, in denen das Öl durch eine Umlaufpumpe in Bewegung gehalten wird. Ölkessel samt Rohren stehen in einem Schacht, durch den die Luft mittels eines Ventilators durchgesaugt wird. Um die Kühlluft an die genannten Henkelrohre möglichst nahe heranzubringen, sind diese mit besonderen Luftführungs-

rohren umgeben (z. B. Transformatoren der 2BB2 und C-C Lokomotiven der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft und Siemens-Schuckert-Werke).

c) Das Öl wird durch eine Pumpe aus dem Transformator-kessel oben abgesaugt und in einem aus einem Rohrsystem gebildeten Oberflächenkühler durch einen Luftstrom gekühlt (z. B. Transformator der 1C1 Lokomotive von Brown Boveri und 1B-B1 Lokomotive von den Bergmann-Elektrizitäts-Werken und Maffei-Schwartzkopff-Werken).

d) Das Öl wird durch eine Pumpe aus dem Transformator-kessel gesaugt und durch zahlreiche Rohre getrieben, die außen an der Lokomotive unterhalb des Kastenaufbaues angebracht sind (z. B. Transformator der 1AAAA1 Lokomotive von Brown-Boveri); um jedoch die Möglichkeit zu besitzen auch während des Stillstandes der Lokomotive zu kühlen, wurde die Kühlung nicht dem Luftzug während der Fahrt überlassen, sondern es wurden die Rohre in einem Schacht zusammengefaßt, durch den die Luft mittels eines Ventilators getrieben wird.

Da die Kühlung des Öles durchaus sicher durchgeführt und dadurch auch die Wärme zuverlässig abgeleitet werden kann, lassen sich die Abmessungen des Transformators ohne Gefährdung der Sicherheit ziemlich knapp halten. Gegenüber dem Lufttransformator werden dadurch wieder Gewichte gewonnen, wenn es auch nicht gelingt, diesem an Gewicht gleichzukommen.

Die teilweise ungünstigen Erfahrungen, die in letzter Zeit mit Lufttransformatoren gemacht wurden, gaben Veranlassung für die neu bestellten Lokomotiven durchwegs Öltransformatoren zu wählen, bei denen die unter a—d erwähnten Kühlarten durchgeführt werden.

Besondere Sorgfalt wurde den Eingangswindungen der Transformatoren zugewandt; da diese in erster Linie etwaigen Sprungwellen standhalten müssen, werden durchschnittlich 8—10% der Eingangsspulen verstärkt isoliert. Die im stationären Betrieb bewährten Ölkonservatoren konnten zwar nicht allgemein eingeführt werden, doch soll bei einigen Lokomotiven der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft und der Siemens-Schuckert-Werke ein Versuch mit Ausdehnungsgefäßen neuester Bauart gemacht werden.

Als Öl kommt für die Transformatoren ausschließlich dünnflüssiges Mineralöl in Betracht, das frei von mineralischer Säure und mechanischen Bestandteilen ist. Besonders wichtig ist, daß der Teergehalt gering ist (nach den Verbandsvorschriften nicht mehr als 0,3%) und dafs vor allem bei längerem Gebrauch weder der Teergehalt noch die Verschlackungsziffer ansteigt. Für Ölswitcher und Transformatoren wird im stationären Betrieb gewöhnlich Öl mit verschiedenem Stockpunkt gewählt; um jedoch im Betrieb bei der Reinigung der Öle Verwechslungen zu vermeiden, wird für die Ölswitcher und für die Transformatoren Öl mit dem gleichen Stockpunkt von -20° eingeführt. Die Temperatur des Öls wird durch ein Fernthermometer (Schäffer und Budenberg) gemessen.

Sämtliche Transformatoren sind auf der Niederspannungsseite mit Heizspulen für die Zugheizung versehen, die mit den Wicklungen für die Fahrmotoren in Reihe liegen. Die Heizspulen erhalten drei Anzapfungen für 1000, 800 und 600 Volt gegen Erde gemessen bei 15000 Volt Fahrdradspannung. Während des Stillstandes der Lokomotive muss der Transformator bei 1000 Volt 400 kW Heizleistung drei Stunden lang, und während der Fahrt bei Belastung bei 800 Volt 250 kW dauernd liefern. Eine Ausnahme hiervon macht lediglich die leichte Personenzuglokomotive, bei der die Leistung bei 1000 Volt 235 kW und bei 800 Volt 150 kW beträgt.

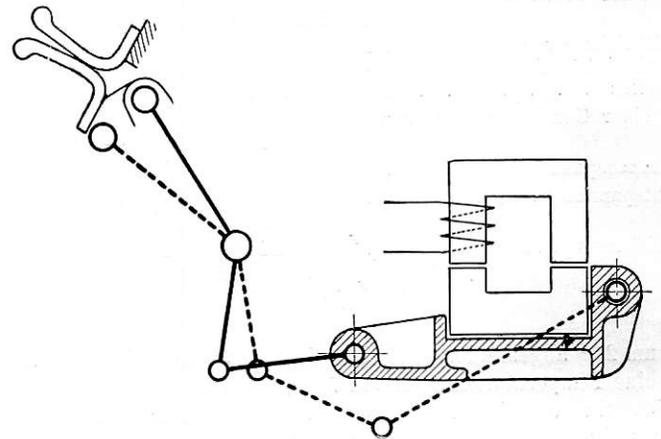
Im übrigen richtet sich die Zahl der Anzapfungen nach den jeweiligen Steuerungsarten.

Steuerung. Diese dient zur Leistungsregelung, indem die Motorspannung verändert, und dadurch Zugkraft und

Geschwindigkeit geregelt werden. Für den Eisenbahnbetrieb ist es erwünscht, die Spannung stetig ohne Sprünge zu verändern, da hierdurch allein ein sanftes Anfahren und eine restlose Ausnutzung der Schienenreibung ermöglicht wird. Diese Bedingung wird zwar durch den Drehtransformator erfüllt, der früher bei zahlreichen Lokomotiven erprobt wurde; er hat jedoch die in ihm gesetzten Erwartungen nicht erfüllt und kam daher bei Neubestellungen nicht in Betracht. Bei der Mehrzahl der neuen Lokomotiven wurden die bewährten Schützensteuerungen gewählt.

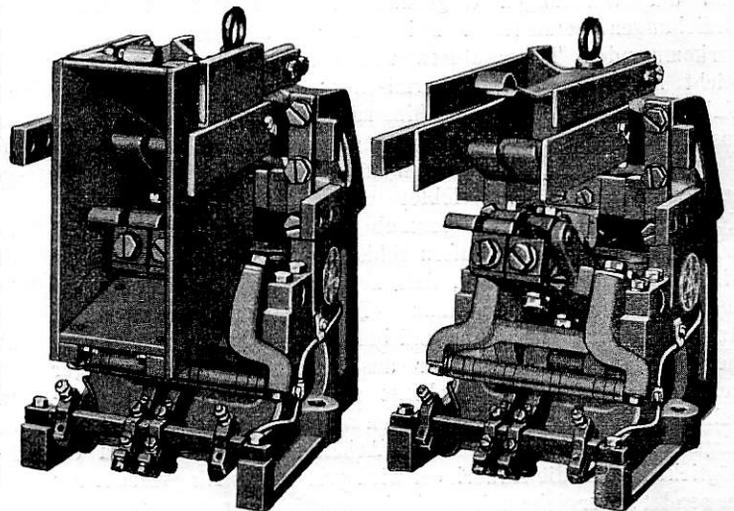
Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft und Siemens-Schuckert-Werke bauen für die schwere Personenzuglokomotive 2BB2 elektromagnetische und für die schwere Güterzuglokomotive C-C elektropneumatische Schützen. Beide Schützenarten sind im elektrischen Aufbau grundsätzlich gleich ausgebildet, was für das Vorhalten von Ersatzteilen von besonderer Bedeutung ist. Die Betätigung erfolgt bei den elektromagnetischen Schützen, die nach dem Grundsatz der Kniehebelwirkung (Abb. 4) ausgeführt sind, durch einen kräftigen Wechselstrommagnet für

Abb. 4. Darstellung der Kniehebelwirkung bei den elektromagnetischen Schützen (AEG, SSW).



200 Volt Spannung; beim elektropneumatischen Schütz wird durch einen Magnet für ebenfalls 200 Volt Spannung ein Ventil gesteuert, das die Druckluft für den Luftzylinder regelt (Abb. 5 u. 6). Die Magnete sind so gebaut, dass sie bei einer Verminderung der Spannung um 30% noch zuverlässig anziehen

Abb. 5. Elektromagnetisches Wechselstromschütz, Bauart AEG, SSW.



und erst bei einer Spannungsverminderung von rund 60% abfallen. Als Abreißkontakte sind Zungenpaare aus Kupfer aufgesetzt, die an den Kontaktspitzen eisenbewehrt sind. Zum raschen Löschen des Öffnungsfunkens besitzen die Schützen kräftige magnetische

Abb. 6. Elektropneumatisches Wechselstromschütz, Bauart AEG und SSW.

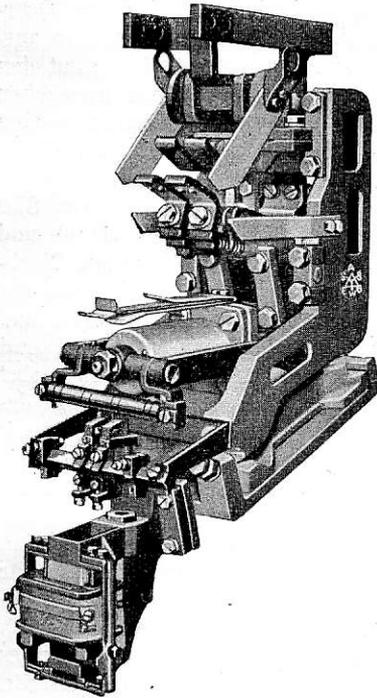
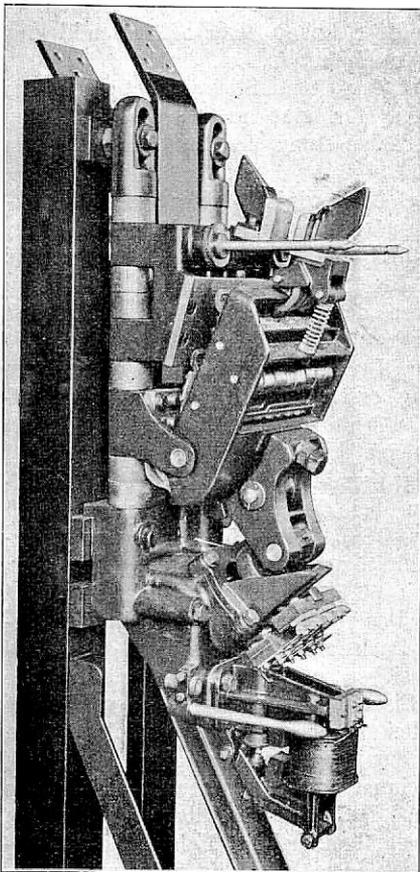


Abb. 7. Elektropneumatisches Wechselstromschütz der Bergmannwerke.



Schützen nach der Bauart der Bergmannwerke verwendet (Abb. 7); an dem beweglichen Kontakthebel, der durch den Druckluftantrieb bewegt wird, sind hier zwei Reihen von Kontakten angebracht, über denen ein kräftiger Abreißkontakt angeordnet

Blaseinrichtungen. Die Schützen beider Bauarten sind auf dem Deckel des Transformators aufgesetzt; dadurch wird der Einbau eines besonderen Schützengerüsts vermieden, die Verbindungsleitungen zwischen den einzelnen Ausführungen des Transformators und der jeweiligen Schütze werden klein, ferner sind beim Ausbau des Transformators nur die wenigen Verbindungen zu den Motoren zu lösen. Sämtliche Schrauben für die Befestigung der Schützen auf dem Deckel, für die Verbindung der Stromschielen und für die Auswechslung der Abreißkontakte sind von vorn zugänglich. Auch die Verriegelungskontakte sind übersichtlich angeordnet und werden im Betrieb leicht zu überwachen sein. Bei den elektropneumatischen Schützen ist die Luftzuführung in den Deckel des Transformators

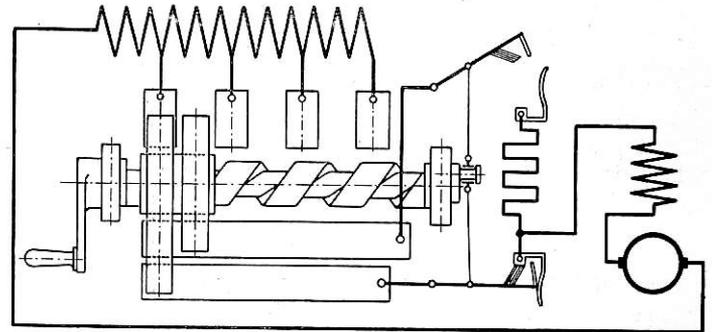
gelegt; mit der Befestigung der Schützen am Deckel wird zugleich der Anschluss an das Luftzuführungsrohr hergestellt und abgedichtet. Die Spannungsregelung selbst erfolgt nach dem vereinfachten Schaltbild (Abb. 10, Taf. 20) in 19 Dauerfahrstellungen. Zur Vermeidung von Stromunterbrechungen sind in jedem Motorstromkreis Stromteiler eingebaut. Um beim Schalten von einer Stufe zur nächsten jeder Motorgruppe gleiche Spannung zuzuführen, ist außerdem noch ein Ausgleichstransformator vorgesehen. Stromteiler und Ausgleichstransformator sind im Kessel des Haupttransformators untergebracht.

Für die leichten Güterzuglokomotiven 1 B-B 1 sowie für die leichte Schnellzuglokomotive 2 C 2 werden elektropneumatische

ist. Aus den gleichen Gründen wie bei den Schützen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft und der Siemens-Schuckert-Werke werden diese an den Transformatorkeßeln angebracht.

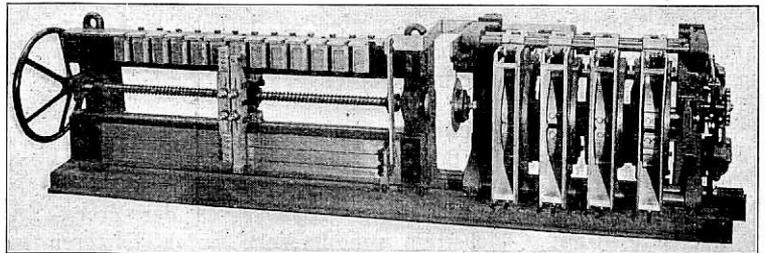
Die von Brown-Boveri zu liefernden Lokomotiven (schwere Schnellzuglokomotiven 1 A A A A 1 und leichte Personenzuglokomotiven 1 C 1) erhalten die Schlittensteuerung (Abb. 8). Der Schalter gleicht in seinem Aufbau einem Zellschalter;

Abb. 8. Schlittensteuerung; BBC.



auf einem Schlitten wird durch eine Schraubenspindel eine Haupt- und eine voreilende Hilfsbürste bewegt; diese schaltet über einen Widerstand jeweils die nächste Spannungsstufe ein; das Unterbrechen des Stromes ist auf die beiden mit Blasspulen ausgerüsteten Hörner gelegt, die durch Exzenter geschaltet werden. Einem Bedürfnis des Betriebs entsprechend sind neuerdings die Abreißhörner derart ausgebildet, daß auf elektropneumatischem Weg der gesamte Motorstrom unterbrochen werden

Abb. 9. Schlittenschalter für 1 C 1 Lokomotiven, BBC.



kann. Das Einschalten ist erst dann wieder möglich, wenn zuerst der Schalter auf die Ausschaltstufe zurückgebracht ist. Bei beiden Lokomotivgattungen wird die Steuerung von Hand betrieben; sämtliche Lager der Übertragungswellen und des Schlittenschalters sind als Kugellager ausgeführt, auch die Spindelmutter erhält nach einer neuen Konstruktion von Brown-Boveri Kugelführung. Durch geeignete Anordnung von Federn ist es gelungen, das Drehmoment während einer Umdrehung der Schraubenspindel durchaus konstant zu erhalten. Abb. 9 zeigt den Schlittenschalter der 1 C 1 Lokomotive vor dem Zusammenbau.

Einen neuen Feinregler nach der Bauart Döry stellt die Firma Pöge her (Abb. 11, Taf. 20). Dieser Regler ist als ein ruhender Transformator mit einem ringförmigen Eisenkern ausgeführt, seine Windungsoberfläche ist als Kollektor ausgebildet, auf dem die Bürsten verschoben werden. An vier Anzapfungen des Transformators für 100, 300, 500 und 700 Volt sind Schützen angeschlossen; durch Unterbrechen des Steuerstroms dieser Schützen kann auf jeder Fahrstellung der Strom der Fahrmotoren unterbrochen werden. Der Regler selbst wird mit 200 Volt erregt, durch entsprechende Stellung der Bürsten kann die vom Regler abzunehmende Spannung zwischen + 200 und - 200 Volt sehr feinstufig geregelt und unter Zuschaltung des Spannungsteilers je nach der Stellung der Bürsten von den Spannungsstufen der vier Schützen abgezogen bzw. zu diesen hinzugefügt werden.

Die Gesamtspannung der beiden in Reihe geschalteten Motoren läßt sich dadurch ohne jeden Spannungssprung zwischen Null und 800 Volt einstellen. Der Regler wird zum erstenmal bei den neuen 2 D 1 Personen- und Güterzuglokomotiven, deren elektrische Ausrüstung von Pöge geliefert wird, eingebaut werden.

Heizung. Nach dem Beschluß des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen wurden einheitlich für die Zugheizung die Spannungen von 1000, 800 und 600 Volt gewählt. Über die vom Transformator abzugebenden Heizleistungen wurde bereits gesprochen. Zur Regelung der Heizspannungen werden für die 2 BB 2, C-C und 1 B-B 1 Lokomotiven einheitlich elektromagnetische Schützen nach der bereits beschriebenen Bauart der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft und Siemens-Schuckert-Werke verwendet. Für die 1 A A A A 1 und 1 C 1 Lokomotiven kommen neu entwickelte elektromagnetische Schützen von Brown-Boveri zum Einbau; diese beruhen wie die übrigen elektromagnetischen Schützen auf der Kniehebelwirkung und zeichnen sich durch eine verhältnismäßig leichte Bauart aus. Der Luftspalt der geöffneten Kontakte beträgt nur etwa 10 mm. Das zuverlässige Löschen der Öffnungsfunken wird durch eine starke Blaswirkung und besonders ausgebildete Löschhörner gewährleistet. Großen Wert legte die Firma auf den Gesichtspunkt, mit möglichst einfachen Mitteln die Schützen in ihre Einzelteile zerlegen und wieder zusammen bauen zu können. Die Heizschützen werden einheitlich nach dem Schaltbild (Abb. 12, Taf. 20) durch einen besonderen Kontrollier geregelt. Dieser ist mit Vorkontakten ausgerüstet, die das Einschalten der Schützen besorgen; in der »Ein«-Stellung des Kontrolliers werden die Schützen durch eine Umgehungsleitung und Selbsthaltekontakt in der Schaltstellung festgehalten. Hierdurch wird erreicht, daß bei ausbleibender Spannung die Schützen abfallen, jedoch bei wiederkehrender Spannung nicht mehr ansprechen; zum Einschalten muß daher auf die Vorstellung zurückgegangen werden.

Beleuchtung. Die Beleuchtung der Führerstände, des Maschinenraums und der Bahnbeleuchtungslaternen erfolgt bei den Lokomotiven für die Zweigstelle Preußen-Hessen mit Wechselstrom von 18 Volt, für die Lokomotiven der Zweigstelle Bayern mit Gleichstrom von 24 Volt, welche letzterer durch Beleuchtungs-Generatoren erzeugt wird. Die Generatoren werden bei den Lokomotiven von Brown-Boveri von dem Motor für die Lüfter der Fahrmotoren mit angetrieben, bei den übrigen Lokomotiven ist ein besonderes Umformer-Aggregat mit einem Einphasen-Induktionsmotor von rund 1,5 kW Leistung aufgestellt, der mit Hilfsphase angelassen wird. Außerdem ist bei den Lokomotiven mit Gleichstrombeleuchtung eine Batterie von 12 Elementen für 52 Ampère-Stunden bei dreistündiger Entladung vorhanden. Als Vorteil der Gleichstrombeleuchtung wird betrachtet, daß beim Ausbleiben der Fahrdrahtspannung die Lokomotive sowie ihre Bahnbeleuchtungs- und Signallaternen gleichwohl beleuchtet sind. Als weiterer Vorteil ist anzuführen, daß bei längerem Stillstand der Lokomotive der Führer in der Lage ist auch nachts die Bügel abzuziehen und dadurch die Leerlaufverluste des Transformators zu sparen. Bei den Brown-Boveri-Lokomotiven ist für die Regelung der Beleuchtungsspannung der von der genannten Firma ausgebildete Beleuchtungsregler vorgesehen.

Sonstiges. Die Spannung der Hilfsstromkreise wurde einheitlich auf 200 Volt festgesetzt. Sämtliche Steuerleitungen werden in Kabeln zusammengefaßt und bei der Mehrzahl der Lokomotiven in besonderen Kabelkanälen aus Aluminium unter dem Fußboden verlegt.

Hochspannungsleitungen müssen über Dach in einem Abstand von 150 mm und im Maschinenraum in einem Abstand von 200 mm von an Erde liegenden Maschinenteilen verlegt werden.

Wagenteil.

Rahmen. Dieser wird bei allen Lokomotiven aus 25 mm starken Blechtafeln hergestellt und durch mehrfache Querverbände genügend widerstandsfähig gestaltet. Er ist so ausgebildet, daß die Lokomotive soweit irgend möglich, samt den Achsen an den Pufferbohlen bzw. am Kuppelende angehoben werden kann. Bei den 2 BB 2 und 1 C 1-Lokomotiven sind besondere halbmondförmige Gufsstücke angebracht, an denen zum Anheben Tragachsen angesetzt werden können.

Radsätze. Für Laufräder wurden Durchmesser von 800 und 1000 mm, für Triebräder 1250 und 1400, 1600 und 1640 mm gewählt. Die Achsen sind durchbohrt; zum Nachmessen der Achsstände können besondere Meßstopfen eingesetzt werden. Um die Sitzflächen derselben vor Anrostungen und damit vor Veränderungen der Abmessungen zu bewahren, sind sie mit Messinghülsen verschlossen. Die Achskisten nebst Unterteilen und Federn werden nach den Beschlüssen des Lokomotiv-Normenausschusses hergestellt, dessen Normen soweit möglich auch bei den übrigen Teilen angewendet wurden. Die Achsdrücke wurden bei den neuen Lokomotiven einheitlich auf 18,4 t festgelegt.

Zahnräder. Mit Ausnahme der 2 C 2-Lokomotiven sind sämtliche Lokomotiven mit Zahnradmotoren ausgerüstet. Für die Verzahnung wurde Evolventen-Verzahnung gewählt, die in bezug auf die genaue Einhaltung der Zentrale nicht so empfindlich ist wie die Zykloiden-Verzahnung. Die Zähne sind durchwegs gerade und werden nach dem Abwälzverfahren hergestellt. Bei den rasch laufenden Lokomotiven 1 A A A A 1 und 2 BB 2 werden die Zahnflanken durch besondere Pumpen mit Öl gespült. Zur Vermeidung von Schüttelschwingungen sind die kleinen Zahnräder mit Federung und Dämpfung versehen. Probeweise werden bei einigen 1 C 1 und C-C Lokomotiven neben den kleinen Zahnradern auch die großen Zahnräder gefedert.

Kupplungen. Die Zug- und Stoßvorrichtungen der neuen Lokomotiven werden für eine größte Zugkraft von 40000 kg gebaut, die Grenzbelastung der Pufferfedern ist zu 12000 kg angenommen.

Bremsausrüstung. Diese wird als Einkammerluftdruckbremse der Bauart Knorr mit Zusatzbremse ausgeführt. Der Vorrat an Bremsluft ist durchschnittlich für die Bremszwecke mit 800 Litern und für die übrigen Zwecke mit 200 Litern bemessen. Die Lokomotiven des bayrischen Netzes sind mit einem besonderen Ventil ausgestattet, das die Luft des Apparateluftbehälters jederzeit für Bremsungen nutzbar zu machen erlaubt. Diese Anordnung erscheint bei großem Bremsluftbedarf empfehlenswert. Da bei den elektrischen Lokomotiven die umlaufenden Massen eine besondere Rolle spielen, sind die Bremsprozentage hier größer vorzusehen als bei Dampflokomotiven. Sie wurden bei Triebachsen durchschnittlich für Betriebsbremsungen zu 98% mit 3,5 at und für Zusatzbremsungen zu 140% mit 5 at angenommen. Laufachsen werden durchschnittlich mit 66,5 bzw. 95% abgebremst.

Kastengerippe. Das Kastengerippe ist kräftig gehalten, um die auf dem Dach aufgebauten Lasten (Stromabnehmer, Ölwechsler usw.) sicher zu tragen; die Kastenwände sind aus gut gerichtetem Eisenblech, das Dach aus verbleitem Eisenblech hergestellt. Bei einer Reihe von Lokomotiven wurde versuchsweise für das Dach gewöhnliches Eisenblech verwendet und die Verbleitung durch die neue Anstrichfarbe »Bleisubox« vorgenommen. Das Dach ist über den Motoren und dem Transformator abnehmbar; bei der Mehrzahl der Lokomotiven werden zugleich mit dem Dach die Seitenwände bis zur halben Höhe abgenommen. Ausbesserungen lassen sich in diesen Fällen infolge der größeren Bewegungsfreiheit und dem besseren Lichteinfall leichter ausführen. Die Motorluftpumpe kann durch eine in der Seitenwand befindliche Drehtüre aus- und eingebaut werden. Die Auswechslung einer allenfalls

beschädigten Luftpumpe kann dadurch ohne besondere Vorarbeiten leicht erfolgen. An den Seitenwänden sind außer den Fenstern noch feste oder verstellbare Lüftungsklappen eingebaut, durch die die Kühlluft für die Motoren und Transformatoren eintreten kann. Zum Zurückhalten von Feuchtigkeit und Schnee sind die Jalousien innen mit doppeltem Drahtsieb abgedeckt. Bei den 1 C 1 Lokomotiven ist außer den Jalousien an den Seitenwänden noch eine Luftzufuhr von den Stirnwänden aus über die Decke des Führerstandes hinweg in den Maschinenraum vorgesehen.

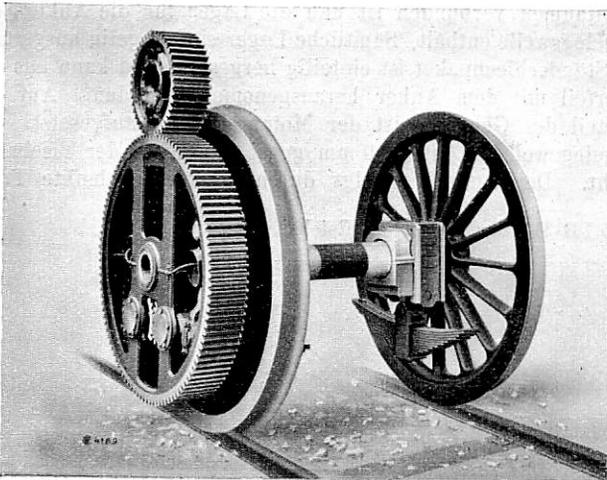
Beschreibung der Einzelbauarten.

Die Grundformen der Fahrzeugbauart sind im nachfolgenden kurz beschrieben. Die Zahlenangaben über die Abmessungen und Gewichte sind in der Zusammenstellung enthalten.

1. Schwere Schnellzuglokomotive der Bauart 1 A A A A 1, Tafel 16.

Diese Lokomotiven sind mit Einzelachs Antrieb durch Gestellmotoren ausgerüstet und erhalten zur Übertragung der Zugkräfte vom Motor zu den Triebachsen den von Brown Boveri ausgebildeten Buchliantrieb, der bei Lokomotiven der Schweizer Bundesbahnen bereits in größerer Zahl mit Erfolg ausgeführt ist. Die als Schildmotoren gebauten Fahrmotoren ruhen über der jeweiligen Triebachse auf dem Haupttrahmen; der Antrieb ist einseitig; im Gegensatz zu den sonstigen Zahnradantrieben besitzt also jede Ankerwelle nur ein Ritzel, das zwischen zwei Lagern eingebaut ist; die Ankerwelle ist demnach dreifach gelagert. Das große Zahnrad ist in einem kräftigen Stahlgußrahmen fliegend gelagert, der auf der einen Außenseite der Lokomotive am Haupttrahmen angeflanscht ist. Im großen Zahnradkörper sind sodann die Kupplungshebel und die Kupplungsstangen gelagert, die zu den die Hinterwand des Zahnradkörpers durchdringenden Kuppelzapfen der Triebräder führen. Weitere Einzelheiten gehen aus den Abbildungen 10 und 11 hervor. Die Achse des großen

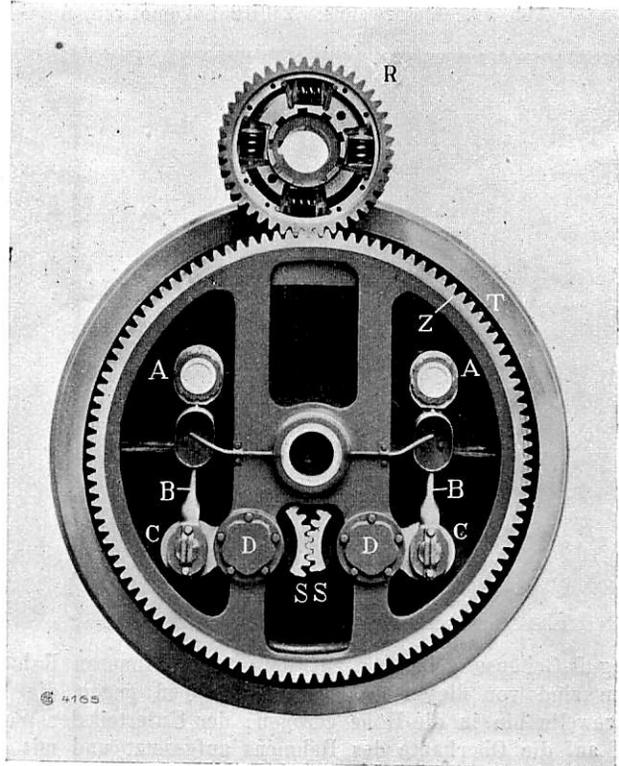
Abb. 10. Buchli-Antrieb. Achse mit Zahnrad BBC.



Zahnrades muß mit dem Mittel der Triebachsen nicht zusammenfallen, was für die Wahl eines entsprechenden Übersetzungsverhältnisses von besonderer Bedeutung ist. Der Antrieb gestattet eine vollkommen freie horizontale wie vertikale Bewegung der Triebachse gegenüber dem großen Zahnrad. Dadurch ist es möglich, die Triebachsen mit den Laufachsen in Drehgestellen zusammenzufassen, die eine geradlinige Verschiebung der Triebachse im Rahmen voraussetzen (Krauß-Helmholtz-Drehgestell) oder auch die Triebachsen radial einzustellen, wie es das bei den 1 A A A A 1 Lokomotiven des bayerischen Netzes erstmals versuchte Buchli-Drehgestell bezweckt. Im Aufbau des Buchli-antriebs ist es gelegen, daß er nur auf einer Seite der Lokomotive angebracht ist, wodurch Gewichtsanhäufungen auf

dieser Seite entstehen. Diese müssen durch eine entsprechende Anordnung der übrigen elektrischen Ausrüstung (Schlittenschalter, Lüfter mit Motoren, Ölpumpen, Beleuchtungsgenerator) auf der gegenüberliegenden Seite ausgeglichen werden.

Abb. 11. Buchli-Antrieb. Zahnräder mit Kuppelstangen BBC.



2. Flachland-Schnellzuglokomotive der Bauart 2 C 2, Tafel 17.

Die Kraftübertragung erfolgt von der Ankerwelle durch zwei gegen die Vertikale um je 52° geneigte Parallel-Kurbelgetriebe auf zwei Blindwellen.

Bei dieser Anordnung, die bei der schlesischen 2 D 1 Personenzuglokomotive erstmals von Kleinow angeregt wurde, gestaltet sich die Beanspruchung der Triebzapfen der Ankerwelle besonders günstig; während bei dem Einfach-Parallelkurbelgetriebe der Triebzapfen periodisch wechselnd beansprucht wird, wirkt bei der Kraftübertragung mit dem Doppelparallelkurbelgetriebe auf den Triebzapfen eine konstant bleibende Kraft von dauernd umlaufender Richtung.

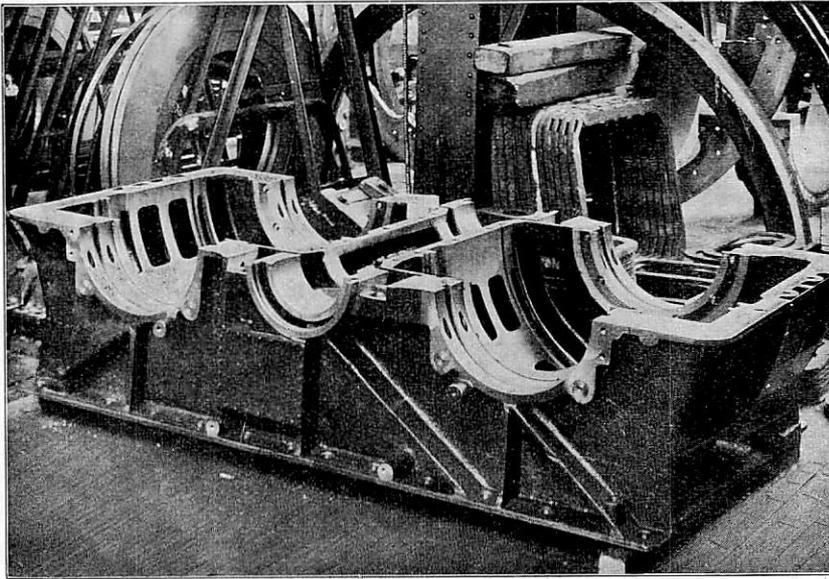
Ankerlager, Blindwellenlager und der zwischen den zwei Blindwellen liegende Rahmenteil sind aus einem giefereitechnisch höchst bemerkenswerten Stahlformgußstück hergestellt, an das an den beiden Seiten die 25 mm starken Rahmenbleche angeflanscht sind. Hierdurch wird eine möglichst zuverlässige Triebwerkklagerung erstrebt.

3. Schwere Personenzuglokomotive der Bauart 2 B B 2, Abb. 1 bis 3 auf Tafel 20.

Die Lokomotive hat zwei in einem Rahmen gelagerte von einander gänzlich unabhängige, je zweiachsige Triebwerkgruppen; sie ist mit vier Motoren ausgerüstet, von denen je zwei hintereinander geschaltet sind und auf eine gemeinsame Vorgelegewelle arbeiten. Ein schräges Parallel-Kurbelgetriebe überträgt die Kraft auf eine Blindwelle, von der aus zwei Triebachsen angetrieben werden. Die Motoren ruhen in einer Wanne aus Stahlformguß, die aus einem oberen und einem unteren Teil hergestellt ist (Abb. 12). Die Unterteile des Doppelmotors sind aus einem Stück gegossen. Die Wanne enthält die

Lagerungen der beiden Anker- und der Vorgelegewellen; das Ständerblechpaket ist aus einem Teil gebaut und kann samt dem Anker aus der Wanne herausgenommen werden. Abb. 18 zeigt den fertig gewickelten Ständer, bei dem die Erreger-, Kompensations- und Wendepolwicklung deutlich hervortreten. Die Blindwelle ist in einem besonderen kräftigen Stahl-

Abb. 12. Motorwanne. 2 BB 2 Lokomotiven, AEG, SSW.



formguß-Gehäuse gelagert; auf den beiden inneren Rahmenseiten sind von diesem Gehäuse aus Lappen gegen die Vorgelegewelle hin in die Höhe gezogen; der Unterteil der Wanne wird auf die Oberkante des Rahmens aufgesetzt und mit dem von der Blindwelle ausgehenden Lappen durch eine entsprechende Zahl von Schraubenbolzen verbunden, so daß die Kraft in den aus Stahlformguß hergestellten Konstruktionsteilen schlüssig übertragen wird. Die Anker- und Vorgelegelager sind kugelig ausgeführt. Auf den Motorgehäusen sitzen die Motorlüfter. Die Luft zur Motorkühlung wird aus dem Maschinenraum entnommen und über das Dach ins Freie gedrückt. Gegen das Eindringen von Regenwasser und Schnee bei Stillstehen der Lokomotive sind entsprechende Vorkehrungen getroffen.

zwischen den Rahmenteilen liegt, wird von hier aus durch einen Kanal zum Ventilator geführt, der neben dem Transformator angeordnet ist, und gelangt sodann durch das Dach ins Freie. Durch entsprechende Formgebung der Kanäle, die zum großen Teil aus Gußeisen hergestellt sind, ist eine geringe Luftreibung erreicht.

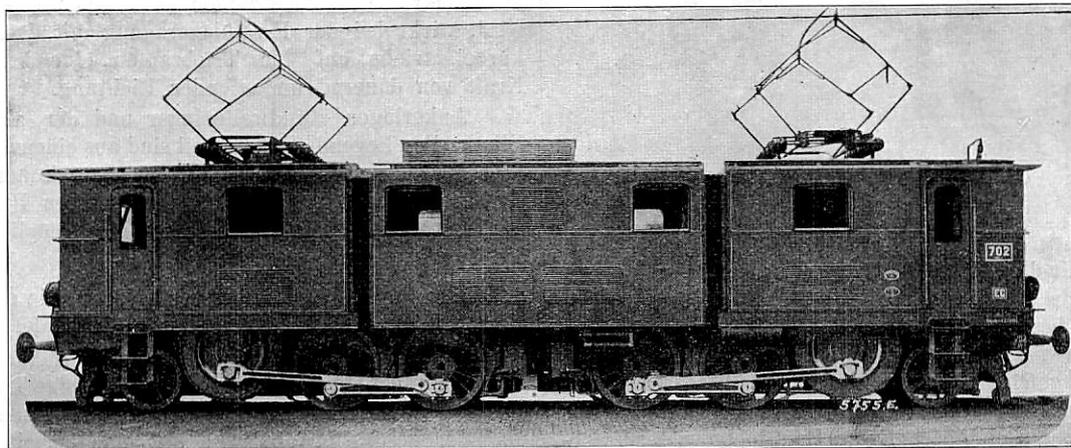
4. Leichte Personenzuglokomotive der Bauart 1 C 1, Abb. 4 bis 6 auf Tafel 20.

In ihrem grundsätzlichen Aufbau gleicht diese Lokomotive der soeben beschriebenen 2 BB 2 Lokomotive. Hier sind die beiden parallel geschalteten, als Schildmotoren ausgebildeten Fahrmotoren in einem kastenartigen Stahlformgußstrog gelagert. Die Motorlager sind in die Schilde eingebaut, so daß das erwähnte Stahlgußstück nur die Lager für die Vorgelegewelle enthält. Im übrigen ist die Angliederung des Triebwerks in den Lokomotivrahmen wie bei den 2 BB 2 Lokomotiven durchgeführt.

5. Leichte Güterzuglokomotive der Bauart 1 B-B 1, Abb. 13 sowie Tafel 18.

Der Wagenteil besteht aus zwei Untergestellen, in denen jeweils die Laufachse und die zweite Triebachse festgelagert sind, während die mittlere Achse 2 mal 20 mm Seitenverschiebung und um 15 mm abgedrehte Spurkränze aufweist. Die beiden Untergestelle sind durch eine Brücke verbunden, die mit vier Kugelpfannen in beweglichen Pfannen ruht. Die Zugkraft wird durch die Brücke übertragen; in der Zugrichtung legen sich die Pfannen ungedeutet auf das Ende eines Stahlgußgehäuses auf, während sie zur Aufnahme von Stoßwirkungen nach der entgegengesetzten Seite abgedeutet sind. Die Brücke trägt den Transformator mit dem getrennten Kühlsystem und dem Kompressor. Die beiden Untergestelle nehmen die Motoren auf. Diese ruhen in zweiteiligen Gehäusen, von denen der untere Teil fest mit dem Rahmen verbunden ist und die Lager für die Anker- und Vorgelegewelle enthält. Sämtliche Lager sind kugelig ausgeführt. Das Ständerblechpaket ist einteilig hergestellt und kann aus dem Unterteil mit dem Anker herausgenommen werden. Auf dem Oberteil des Gehäuses ist der Motorventilator aufgesetzt. Die Vorgelegewelle ist um 250 mm gegen die Mitte der Triebachse erhöht. Der Antrieb erfolgt durch schräg angelenkte Trieb-

Abb. 13. Elektrische Güterzuglokomotive Bauart 1 B-B 1 der Deutschen Reichsbahn.



Zu erwähnen ist die Kühlung des Transformators. Das Öl wird bei diesem durch Henkelrohre getrieben (siehe 2 b der Transformatorbeschreibung). Die Luft wird aus dem Maschinenraum von dem Transformatordeckel her durch den Schacht angesaugt, gelangt dann in einen Sammelschacht der

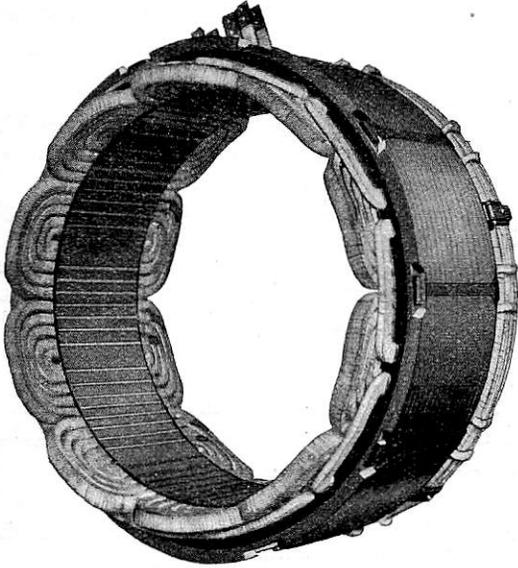
stangen, die mit einer Gabel an der dreieckförmig ausgebildeten Kuppelstange angreifen.

6. Schwere Güterzuglokomotive der Bauart C-C, Taf. 19.

Diese Lokomotive besteht ähnlich wie die 1 B-B 1-Lokomotive aus zwei Untergestellen, die durch eine Brücke

verbunden sind. Die beiden äußeren Triebachsen sind fest, die mittlere ist um 2 mal 25 mm seitenverschieblich. Die Brücke wird durch zwei Zapfen geführt und legt sich außerdem auf vier einstellbare gefederte Gleitpfannen auf. Die Zug- und

Abb. 14. Ständer für den Motor der 2BB2 und C-C-Lokomotive, AEG, SSW.



Stoßkräfte werden durch besonders ausgebildete, abgefederte Zugapparate aufgenommen; die zwei Untergestelle sind außerdem noch durch eine Notkupplung verbunden. Die Brücke trägt den Transformator; da dieser wieder nach dem System der Henkelrohre gekühlt wird, ist der Brückenträger als Luftkanal ausgeführt, in dem die vom Transformator kommende Kühlluft gesammelt und durch einen neben dem Transformator stehenden Ventilator über das Dach ins Freie geleitet wird. Jedes Untergestell enthält zwei in Reihe geschaltete Motoren, die in allen Einzelheiten genau wie die Motoren der 2 B B 2 Lokomotive ausgeführt werden (Abb. 14). Die Motoren werden ähnlich wie bei der 2 B B 2 Lokomotive durch eine aus einem oberen und unteren Teil bestehende Wanne aufgenommen (Abb. 15). Das Unterteil ist fest mit den beiden Rahmenblechen verbunden und enthält die Anker- und Vorgelegelager, auf dem Oberteil sitzen die Motorventilatoren. Da es im Wesen der tiefgelegenen Motoren liegt, daß die Rahmenbleche stark ausgeschnitten werden müssen, ist zur Wiederherstellung der Festigkeit aufsen auf dem Rahmen eine Verstärkung des Untergurts aus Stahlformguß (Zange) aufgelegt. Abb. 15 zeigt die Zange, die hier unter Zwischenschaltung eines dem Rahmenblech gleich starken Paßbleches an das Unterteil angeschraubt ist. Die Überhöhung der Vorgelegewelle beträgt 250 mm; die Kraftübertragung erfolgt in gleicher Weise wie bei der 1 B - B 1

Lokomotive durch schräg angelenkte Triebstangen auf eine dreiecksförmige Kuppelstange.

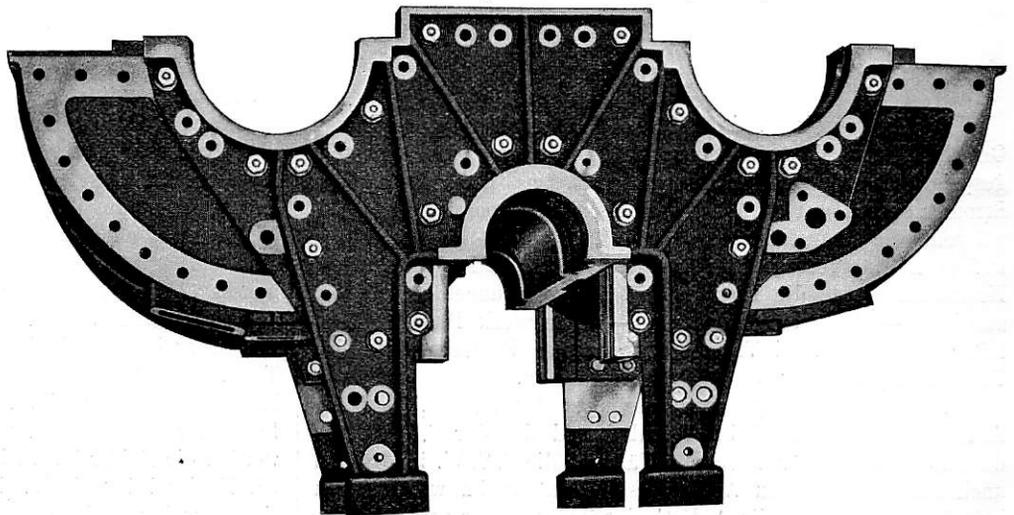
7. Leichte Güterzuglokomotive der Bauart 2 D 1, Tafel 20, Abb. 7 und 8.

Bei dieser Lokomotive sitzen die beiden in Reihe geschalteten Motoren in beiderseits angeordneten Stahlgußschildern, welche die gemeinsamen Lagerschilde für beide Motorwellen und für die Vorgelegewelle bilden. Die Gehäuse der Motoren sind mit diesen Lagerschilden fest verflanscht, derart, daß Motorgehäuse, Lagerschild und Lokomotivrahmen eine steife widerstandsfähige Triebwerkslagerung ergeben. Die Motoren treiben mittels beiderseits angeordneter Zahnradvorgelege die gemeinsame Vorgelegewelle, von der aus zwei um je 45° gegen die Vertikale geneigte Parallel-Kurbelgetriebe die Kraft auf zwei Blindwellen übertragen.

Wie bei dem Doppel-Parallelkurbelgetriebe der 2 C 2 Schnellzuglokomotive ist auch hier der Vorteil der stetigen Kraftübertragung gegeben, wodurch an der Vorgelegewelle ein gleichbleibender Zapfendruck auftritt. Da für die obere Antriebskurbel der Antrieb totpunktfrei ist und daher die Zahnkräfte stets gleichbleibend sind, wird die Lebensdauer der Zahnräder günstig beeinflusst. Diese Bauart wird nach dem Vorschlag von Lotter hier zum erstenmal zur Ausführung kommen.

Wie bei den vorhergehenden Lokomotivausführungen ist das Ständerblechpaket einteilig ausgeführt und kann nach Entfernung des Gehäuseoberteils mit dem Anker nach oben herausgehoben werden. Der Transformator ist in einem besonderen Luftschacht, der von Kühlluft durchströmt wird, aufgestellt. Er ist so reichlich bemessen, daß eine weitere Kühlung nicht notwendig erscheint. Zur Mischung des Öls im Transformator ist ein einfacher Ölumlaufl zwischen Deckel und Boden des Transformators vorgesehen. Die Regelung der Geschwindigkeit

Abb. 15. Motorwanne mit Zange. C-C-Lokomotive, AEG, SSW.



und Zugkraft erfolgt durch den auf Seite 183 besprochenen Döry-Regler*).

*) Weitere Beschreibungen jeder einzelnen Lokomotivgattung sind in Aussicht genommen, sobald die Lokomotiven dem Betriebe übergeben sind und praktische Erfahrungen über deren Bewährung vorliegen.

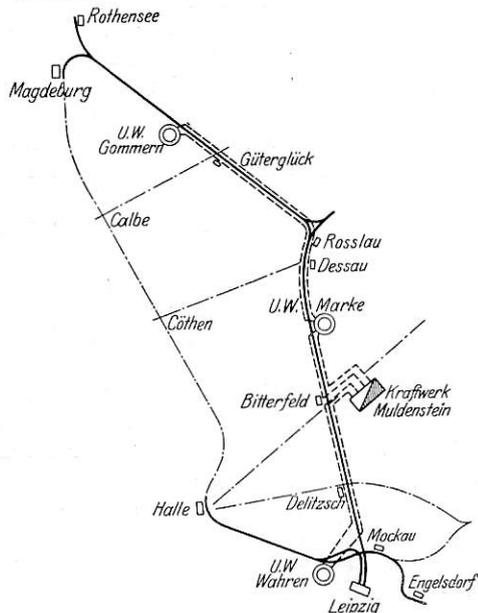
Die Entwicklung des elektrischen Vollbahnbetriebs in Mitteldeutschland.

Von Regierungsbaurat **Heinemann**, Vorstand des Reichsbahnmaschinenamts (West) Leipzig.

Hierzu Abb. 5 bis 8 auf Tafel 21 und Abb. 6 bis 9 auf Tafel 22.

Mitteldeutschland sollte die erste Gegend sein, in der in größerem Umfang ein elektrischer Vollbahnbetrieb mit einphasigem Wechselstrom erprobt wurde. Man wählte die Strecke Bitterfeld—Dessau (Abb. 1), die sich aus verschiedenen Gründen besonders gut zu dem Versuche eignete. Einmal bot sie als reine Flachlandbahn wenig Schwierigkeiten, ferner lag sie strategisch sehr günstig, d. h. etwaige Störungen beim Probebetrieb hätten keinen schädlichen Einfluss auf strategische Transporte ausüben können, und drittens bot sich in der mitteldeutschen Rohbraunkohle ein minderwertiger Brennstoff, dessen mittelbare Verwertung für den Lokomotivbetrieb von großer Bedeutung erschien.

Abb. 1. Elektrisch betriebene Strecken in Mitteldeutschland.



Das Kraftwerk wurde 1910 in Muldenstein, einem kleinen Orte bei Bitterfeld, errichtet, wo ein Turbinensatz, von 4 Kesseln gespeist, die erforderliche Energie erzeugte. Die Leistung des Stromerzeugers war 3300 kW, die Maschinenspannung 3000 V, während die Transformatoren (2 je 2000 kVA) die Spannung auf 60 kV steigerten. Die Frequenz betrug 15 Perioden. Vom Kraftwerk wurde die Energie mittels Freileitungen und Kabel zu dem — jetzt eingegangenen — Unterwerk Bitterfeld geleitet, in dem zwei Transformatoren die Spannung auf die Fahrdrachtspannung von 10 kV herabsetzten.

An Fahrleitungssystemen waren zwei vertreten, das der A. E. G. (von Bitterfeld bis Raguhn) und das der S. S. W. auf dem übrigen Teil der Strecke. Während die S. S. W. ihr System auch bei dem späteren Ausbau (siehe unten) im wesentlichen beibehielten, änderte die A. E. G. das ihrige später verschiedentlich ab. Besonders charakteristisch ist für die alte Strecke der Stützpunktabstand von 75 m. Die parallel laufenden Schwachstromleitungen der Bahn und Post wurden bei der Probestrecke wie auch bei den neuen Strecken sämtlich gekabelt.

An Lokomotiven wurden sowohl Schnell- wie Güterzuglokomotiven erprobt. Sämtliche Lokomotiven erhielten hochgelagerten Motor mit Stangenantrieb. Wesentliche Unterschiede waren nur in der Steuerung vorhanden.

Wenn man die Anlagen des damaligen Probebetriebs mit den heute als Norm geltenden Konstruktionen vergleicht, muß man gestehen, daß wesentliche Änderungen kaum vorgenommen worden sind. Nur die Lokomotiven sind, besonders was Antrieb und Steuerung anbelangt, anders gebaut worden. Andererseits kehrt man jetzt sogar in einigen Punkten zu den in der nach-

folgenden Zeit verlassenen Grundsätzen zurück; ich erinnere an die verringerten Spannweiten der Fahrleitung.

Im Laufe des Probebetriebs ging man zu der inzwischen als Einheitsspannung gewählten Fahrdrachtspannung von 15 kV über, gleichzeitig wurde die Periodenzahl auf $16\frac{2}{3}$ erhöht.

Eröffnet wurde der elektrische Betrieb auf der Probestrecke am 19. Januar 1911.

Nach den günstigen Ergebnissen des Probebetriebs wurde dem Ausbau der Strecken Magdeburg—Bitterfeld—Leipzig, Leipzig—Halle und Wahren—Schönefeld zugestimmt. (Abb. 1). Schon im Jahre 1912 begannen die Bauausführungen. Bis zum Kriegsausbruch waren die Arbeiten fast völlig beendet. Im Mai 1914 wurde die Strecke Wahren—Schönefeld erstmalig unter Spannung gesetzt. Leider zwang der Krieg zur Unterbrechung des eben begonnenen Betriebs. Erst zwei Jahre nach dem Kriege gelang es, den Bahnbetrieb wieder aufzunehmen und in Teilstrecken allmählich zum vollen Betrieb überzugehen.

Im folgenden seien in großen Zügen die Anlagen des jetzt elektrisierten Netzes beschrieben und die Ergebnisse des bisherigen Betriebs behandelt.

Kraftwerk Muldenstein.

Für die Wahl des Ortes war ausschlaggebend einmal die Nähe der drei Braunkohlengruben »Deutsche Grube«, »Grube Leopold« und »Grube Auguste«, sowie die unmittelbare Nachbarschaft der Mulde. Der große Bedarf des Kraftwerkes an Kühlwasser für die Kondensatoren — bei Vollbetrieb etwa 35000 cbm täglich — rückt besonders die Frage der Wasserversorgung in den Vordergrund. Abb. 5, Taf. 21 veranschaulicht die Lage des Kraftwerkes. Die in Selbstentladewagen von den Gruben kommende Kohle wird ohne jede Umladung unmittelbar den Kohlenbunkern zugeführt. Diese einfache Art der Kohlenversorgung ist durch die natürliche Geländegestaltung ermöglicht. Da die Kesselhaussohle tiefer liegt als das Gelände vor dem Kesselhaus, war man in der Lage, mittels zweier in der Neigung 1:40 angeschütteten Rampen die erforderliche Höhe zu gewinnen. Die Anordnung der Kessel mit den Feuerungen an den Außenseiten des Kesselhauses (siehe unten) verlangte zwei Kohlenzuführungsgleise im Kesselhaus. Der Betrieb spielt sich so ab, daß die Wagen von den Gruben bis zum Bahnhof Muldenstein mit Dampflokomotiven gebracht und dann bis vor die Bunkergleise geschoben werden. Innerhalb des Kesselhauses übernimmt eine Seillokomotive das Verteilen der Wagen auf die einzelnen Bunker.

Charakteristisch ist die Anordnung der Kessel (Abb. 6, Taf. 21). Die Anordnung der drei 100 m hohen Schornsteine in der Mittelachse gibt kurze Füchse, während man durch die Lage der Bedienungsstände helle Heizerstände gewinnt; auch werden die Heizer im Rücken nicht durch andere Feuer belastigt. Ein Nachteil liegt darin, daß der Heizer beim Bedienen mehrerer Kessel weitere Wege zurücklegen muß.

Die Rohbraunkohle des Bitterfelder Gebietes gehört zu den jüngeren Kohlen, ihr Heizwert ist etwa 2150 WE. Gewonnen wird sie hier lediglich im Tagbau. Kennzeichnend für die Minderwertigkeit der Kohle ist ihr hoher Feuchtigkeitsgehalt (i. Mittel 50%) und ihr starker Aschengehalt (6—7%).

Die 20 Kessel, die je 300 qm Heizfläche und 3 Feuerungen haben und von denen immer zwei einen gemeinsamen gußeisernen Vorwärmer besitzen, sind sämtlich Steilrohrkessel. Die Feuerung ist nach dem System von Keilmann u. Völcker als Treppenrost ausgebildet. An jeden Schornstein sind 8 Kessel angeschlossen.

Besondere Sorge macht in Braunkohlkraftwerken die Beseitigung der Asche. In Muldenstein ist diese Aufgabe in ausgezeichneter Weise durch Einbau einer Sauganlage gelöst. Ein das ganze Kesselhaus durchziehendes Rohrnetz wird von einer

Kolbenluftpumpe unter Unterdruck gesetzt. Die Aschen- oder Schlackenabfallstellen eines jeden Kessels sind an dieses Netz angeschlossen. Die von der zutretenden Luft getragene Asche wird erst einem Vorbehälter zugeführt, in dem sich die schwereren Teile absetzen. Dann durchläuft der Aschenstrom einen zweiten, gleichgroßen Behälter, der die feine Asche zurückhält. Schließlich wird die Luft in einem sogenannten Nafsfilter gewaschen und in einem Trockenfilter von den letzten Spuren Asche gereinigt, bevor sie in die Pumpen eintritt. Die Unterhaltungs- und Bedienungskosten der Aschenförderanlage sind gering.

Das Muldewasser ist zwar nicht sehr hart (8—9°), trotzdem wird es durch eine Kalk-Sodaanlage gereinigt; mit 3—4° fließt es den Kesseln zu. Zur mechanischen Reinigung dienen Kiesfilter. Der Kesselsteinansatz ist gering zu nennen. Es finden sich aber leichte Anfressungen, die wahrscheinlich auf die Einwirkung von Sauerstoff oder Kohlensäure zurückzuführen sind. Eine Entgasung des Wassers erscheint sehr erwünscht und ist ins Auge gefaßt.

Je 2 Kessel (zusammen 6 Feuerungen) werden von einem Heizer bedient. Für die Beaufsichtigung aller Wasserstände und die maschinellen Einrichtungen der Kessel ist ein Wasserstandswärter bestellt. Bei Vollbetrieb wird das gute Zusammenarbeiten der Kessel durch einen Oberheizer überwacht werden.

Der außerordentlich stark schwankende Bahnbetrieb stellt an die Kesselanlage sehr hohe Anforderungen. Das Verhältnis der mittleren Belastung zur Spitzenbelastung betrug noch vor kurzem 1:3, durch Erweiterung des elektrischen Betriebes ist es jedoch auf 1:2,2 herabgegangen. Die Verbrennung ist trotz des unregelmäßigen Betriebes gut. Der CO₂-Gehalt der Abgase beträgt etwa 12%, ihre Temperatur ist etwa 200°. Adosapparate schreiben den Kohlensäuregehalt selbsttätig auf, außerdem werden täglich Analysen mit dem Orsatapparat vorgenommen. Neuerdings sind selbstschreibende Dampfuhren vorgesehen. Ferner ist beabsichtigt, die selbsttätige Speisung durch Speisung von Hand zu ersetzen. Tief gelegene Wasserstandsanzeiger sollen künftig dem Heizer eine leichtere Überwachung des Wasserstandes ermöglichen. Der Kesselwirkungsgrad beträgt z. Z. etwa 70%. Bei einer etwaigen Erweiterung des Kraftwerkes wird eine Wärmespeicherung in irgend einer Form durchgeführt werden.

Der im Höchstfalle auf 375° überhitzte und auf 15 at gespannte Dampf wird den 5 Turbinen in 3 Rohrgängen zugeführt. Der Dampf kommt mit etwa 13 at zu den Turbinen, die Überhitzung beträgt noch ungefähr 300°. Jede Turbine hat eine der Generatorgröße von 3300 kW entsprechende Leistung, die Umdrehzahl ist 1000. Die Kondensationssätze, die sich im Keller befinden, haben Turbinenantrieb. Das Vakuum beträgt etwa 95 bis 98%. Der Abdampf der Kondensatorturbinen wurde bei einem Teil der Turbinen bis vor kurzem in den Kondensator geleitet; seitdem er jedoch der ersten Stufe der Hauptturbine zugeführt wird, ist der Dampfverbrauch um über 10 v. H. gesunken.

Bei dem jetzigen Betrieb ist der Dampfverbrauch i. M. 9,5 kg/kWh; die Verdampfung ist eine 2,2fache, so daß ein Kohlenverbrauch von etwa 4,3 kg/kWh entsteht. In Wärmeinheiten ausgedrückt, würde die kWh einen Aufwand von etwa 9200 WE erfordern. Es ist zu erwarten, daß sich mit zunehmendem Betriebe der Wirkungsgrad bessert. Ganz wird sich allerdings bei der stark schwankenden Belastung der Wärmeverbrauch eines neuzeitlichen Großkraftwerkes für allgemeine Versorgung nicht erreichen lassen. Abb. 6, Taf. 22 veranschaulicht den derzeitigen Verlauf der Belastung innerhalb 24 Stunden.

Die Stromerzeuger, die eine Klemmenspannung von 3300 V haben, werden mit 110 V Gleichstrom erregt und können während 3 Minuten auf 4600 kW überlastet werden. Die Spannungsregelung geschieht selbsttätig durch Tirillregler. Bei Kurzschlüssen, die verhältnismäßig zahlreich sind, wird das Anwachsen der Spannung durch Schwächen der Erregung selbsttätig verhindert.

Jeder Stromerzeuger versorgt 2 Transformatoren von je 2000 kVA Leistung. Die Hochvoltseite hat 60 kV; ihr Mittel-

punkt ist über einen Wasserwiderstand geerdet. Die Erdschlussstromstärke ist dadurch begrenzt auf 2,8 A.

Das Schalthaus enthält neben den Transformatoren die erforderlichen Schalter und Schutzeinrichtungen. Abb. 7, Taf. 22 stellt ein vereinfachtes Schaltbild des Kraftwerkes dar.

Die Bedienung der Ölschalter erfolgt durch Fernbetätigung von der im Maschinenhaus gelegenen Schaltbühne aus. Der Schaltbühnenwärter hat auch alle Ferngespräche zwischen den Unterwerken und dem Kraftwerk entgegenzunehmen. Alle Stellen der elektrischen Zugförderung sind nämlich durch ein besonderes Fernsprechnetz miteinander verbunden.

Die örtliche Leitung des Kraftwerkes hat ein aus der Maschinenmeisterlaufbahn hervorgegangener Beamter. Das Kraftwerk untersteht dem Maschinenamt West Leipzig, das auch für alle anderen Anlagen der elektrischen Zugförderung die betrieblührende Stelle ist. Außer dem Leiter des Kraftwerkes sind nur noch 5 Beamte mit reiner Aufsichtstätigkeit vorhanden, darunter 3 Maschinenmeister im Tag- und Nachtdienst. Die Gesamtbelegschaft beträgt z. Z. 103 Köpfe, bei Vollbetrieb werden etwa 130 nötig sein. In Anbetracht des großen Wertes, den das Kraftwerk darstellt, und der ungeheuren Materialmengen, deren wirtschaftliche Verwertung in die Hand des Kraftwerkes gelegt ist, ist der Personalaufwand gering. Fast alle Unterhaltungsarbeiten, auch diejenigen für die baulichen Anlagen, führt das Kraftwerk mit eigenen Leuten aus.

Zur Zeit laufen 2 Turbinen. Dazu reichen 5—6 Kessel aus. Der cos. φ ist, wie bei Bahnbetrieb im allgemeinen und bei der noch unzureichenden Belastung des Kraftwerkes im besonderen, nicht sehr günstig. Er beträgt, an den Maschinen des Kraftwerkes gemessen, etwa 0,65, d. h. bei 3000 kW nutzbar abgegebener Leistung z. B. müssen in den Maschinen 4600 kVA erzeugt werden.

Unterwerke und Leitungsanlagen.

Unterwerke.

Abb. 1 zeigt die Lage der drei Unterwerke — Wahren bei Leipzig, Marke bei Dessau und Gommern bei Magdeburg —, ferner sind die 60 kV Fernleitungen sowie die elektrisierten Hauptgleise zu ersehen. Wahren hat vier Transformatoren zu je 1500 kVA, Marke drei von gleicher Leistung und Gommern zwei Transformatoren zu je 1800 kVA.

Die Orte, an denen die Unterwerke errichtet worden sind, hat man seiner Zeit in erster Linie nach dem Spannungsabfall bestimmt. Dadurch kam man z. B. bei Marke in eine Gegend, die für Personalgewinnung und Überwachung ungünstig liegt. Es empfiehlt sich daher und weil sich die Leistung des Unterwerkes und damit der Spannungsabfall fortwährend ändert, sei es durch den Fahrplanwechsel oder auch nur durch Verspätungen, die Unterwerke möglichst dort unterzubringen, wo Strecken abzweigen oder kreuzen und wo obige Mängel nicht bestehen. Die Unterwerke enthalten im wesentlichen die gleiche Ausrüstung, wie sie in der Schaltanlage des Kraftwerkes vorhanden ist. Die Transformatoren spannen von 60 kV auf die Fahrleitungsspannung von 15 kV um. Ein vereinfachtes Schaltbild eines Unterwerkes zeigt Abb. 8, Taf. 22.

Bedient wird jedes Unterwerk in dreischichtigem Wechsel. Die Hauptaufgabe des Unterwerkswärters ist die Regelung der Fahrleitungsschaltungen in seinem Bezirk. Aus dem Grunde muß er die örtlichen Verhältnisse der Bahnhöfe kennen und mit den Arbeiten an den Fahrleitungen vertraut sein. Er arbeitet durch Fernsprecher mit den Leitungskolonnen und Bahnhöfen aufs engste zusammen. Wenn die Stellung eines Fahrleitungsschalters geändert wird, kennzeichnet dies der Wärter auf einer Tafel. Alle wichtigen Gespräche müssen in ein besonderes Buch eingetragen werden. Das gilt auch für die Führer der Leitungskolonnen und die Stellwerksbeamten, die Schaltgespräche usw. führen.

Kurzschlüsse haben sofortiges selbsttätiges Öffnen des betreffenden Ölschalters und damit Auferspannungsetzen des

betroffenen Fahrleitungsabschnittes zur Folge. Dem Wärter gibt sich das Herausfallen des Schalters durch ein hör- und sichtbares Zeichen zu erkennen. Die Fahrleitungsölschalter im Unterwerk haben Momentauslösung, die Fernleitungsschalter im Unterwerk lösen nach 2—3 Sekunden und die Schalter im Kraftwerk erst nach 4—5 Sekunden aus.

An Unterhaltungsarbeiten sind in erster Linie Ölschalteruntersuchungen zu nennen. Nach 15 Kurzschlüssen muß jeder Ölschalter nachgesehen werden. Wichtig ist vor allem das Reinigen des Öls. Hierzu dienen besondere Ölfilterpumpen.

Schwere Störungen in den Unterwerken sind durch Schadhafwerden von Transformatoren entstanden. Verstärkung der Spulenabstützung scheint hier genügend Abhilfe gebracht zu haben. Die ursprünglich vorhandenen Wasserwiderstände für die Überspannungsschutzeinrichtungen sind durch Öl- oder Luftwiderstände ersetzt worden.

Fernleitungen.

Die 60 kV Fernleitungen sind überall in doppelter Anzahl und zwar doppelartig verlegt, so daß immer eine Reserveleitung zur Verfügung steht. Im Gegensatz zur Reichsbahndirektion Breslau, in deren Bezirk die Fernleitungen zum großen Teil fernab von der Bahn zum Teil in wenig zugänglicher Gegend verlegt sind, hat die Direktion Halle die Gestänge der Fahrleitungen für die Fernleitungen mitbenutzt. Abb. 9 zeigt diese Anordnung. Sowohl die im Bezirk Breslau wie die in Mitteldeutschland gewählte Anordnung hat ihre Nachteile. Bei der ersteren ist das Herankommen an eine Störungsstelle sowie der Transport von Teilen zeitraubend und schwierig. Die Ausführung im Bezirk Halle bietet den Nachteil, daß bei Unfällen, die die Eisenkonstruktionen in Mitleidenschaft ziehen, auch die wichtigen Fernleitungen lahmgelegt werden. Am besten wird die Verlegung neben dem Bahnkörper auf besonderen Masten sein.

Es sind fast ausschließlich Stützisolatoren verwendet, für die die Spannung von 60 kV (30 kV dauernd gegen Erde) etwa die Grenze nach oben sein wird. Andere Isolatoren (Kappen- und Hewlettisolatoren) wurden nur dort eingebaut, wo die Abgase chemischer Fabriken die Überschlagnspannung der Stützisolatoren stark herabsetzten. Besonders in und bei Bitterfeld mußte zu diesen Isolatoren gegriffen werden. Nachdem mit den vor dem Kriege eingebauten Stützisolatoren schlechte Erfahrungen gemacht worden waren, glaubt man jetzt in 2 Arten Stützisolatoren, solchen die zusammengehanfte Porzellanteile haben und Isolatoren, deren Porzellanteile mit besonderem Kitt verbunden sind, das richtige gefunden zu haben. Leider machen sich erfahrungsgemäß, wenigstens bei gekitteten Isolatoren, Fehlgriffe nicht vor etwa 5 Jahren bemerkbar.

Das Material der Leitungen ist Kupfer oder Aluminium. Beides ist im allgemeinen gleich gut. Nur in der Nähe chemischer Fabriken ist Aluminium wegen starker Oxydation nicht zu empfehlen. Über Bahnsteigen und verkehrsreichen Wegen sind Netzleiter d. h. Doppelstränge mit Querverbindungen angebracht. Jetzt begnügt man sich an solchen Stellen mit einem Leiter und Doppellisolatoren.

Schwerere Störungen traten an den Fernleitungen infolge von Isolator-Durch- und -Überschlägen auf. Der Lichtbogen bleibt stehen und verschmort das Seil mitunter so stark, daß es abreißt. Vereinzelt kamen auch Seilbrüche als Folge von schlechtem Stromübergang und Anfrassungen der Seile vor. In der Nähe der chemischen Fabriken reichten die 5 gliedrigen Hängeisolatorenketten nicht aus. Es mußte zu 6 Gliedern übergegangen werden. Die Störungen an den Leitungen sind hier jedoch so schwere, daß man sich entschlossen hat, die Fernleitungen aus dem Gebiet der chemischen Fabriken heraus zu verlegen. Erdschlüsse, d. h. Berühren einer Phase mit Erde gestatten ein kurzzeitiges Weiterführen des Betriebes der betreffenden Fernleitung, doch ist dafür gesorgt, daß das Kraft-

werk durch Erdschlusssanzeiger selbsttätig davon unterrichtet wird; es muß dann sofort ein Leitungswechsel vorgenommen werden. Bei der Wichtigkeit der Fernleitungen muß in jeder Beziehung für sorgsame Verlegung und gute Unterhaltung Sorge getragen werden.

Fahrleitungen.

Über die auf den deutschen Bahnen in Anwendung gekommenen Fahrleitungssysteme ist in der Literatur mehrfach ausführlich berichtet, so daß hier auf Einzelheiten nicht eingegangen werden soll. Im wesentlichen besteht eine Fahrleitung aus dem vom Lokomotivbügel bestrichenen Fahrdrabt und dem Tragseil, an dem der Fahrdrabt durch Hängedrähte befestigt ist. Der Fahrdrabt muß zwecks einwandfreier Stromentnahme auch bei hohen Geschwindigkeiten stets möglichst horizontal liegen. Um diese Forderung zu erfüllen, sind von den Erbauerfirmen verschiedene Ausführungsformen angewendet worden.

Die — durchweg doppelt durchgeführte — Isolation besteht aus den im Fahrleitungsbau bekannten Glocken und Doppelglocken (Abb. 8, Taf. 21). Leider hat man mit den ursprünglich verwendeten aus zwei gekitteten Scherben bestehenden Isolatoren sehr schlechte Erfahrungen gemacht. Es entstanden infolge Treibens des Kittes Risse, die Folge waren Durchschläge und damit Kurzschlüsse. Man ging daher zu ungekitteten, d. h. einscherbigen Isolatoren über. Die rechte Seite der Abb. 8 zeigt die alte Art, die linke Seite eine neue Art der Isolatoren.

Das Material der Drähte und Seile ist auch verschieden. Der Fahrdrabt bestand vor dem Kriege nur aus Kupfer von 100 qmm (Hauptgleise) und 80 qmm (Nebengleise). Die Kriegsnot und ihre Folgezeit veranlaßte die Eisenbahnverwaltung zum Einbau von Eisendraht. Die Versuche, nicht nur in Nebengleisen, sondern auch in Hauptgleisen Eisendraht zu verlegen, haben kein günstiges Ergebnis gehabt. In Hauptgleisen ist zur Stromleitung ein besonderes Aluminiumspeiseisil über dem Eisendraht verlegt; etwa alle 200 m ist eine Aluminiumverbindung zwischen Seil und Draht eingebaut.

Für das Tragseil bei Kupferfahrdrabt ist sowohl Stahl wie Bronze und versuchsweise auch Kupferpanzerseil verwendet worden. Es hat den Anschein, als wenn sich in Mitteldeutschland, wahrscheinlich infolge der Braunkohlenabgase, Stahl nicht hält. In der Nähe chemischer Fabriken wird ausschließlich Bronze eingebaut.

Zweifelloos wird sich das Urteil, ob ein bestimmtes Material für den elektrischen Bahnbetrieb geeignet ist oder nicht, nicht zum wenigsten danach richten müssen, ob auf den elektrisierten Strecken noch Dampflokomotivbetrieb in größerem Umfange vorhanden ist. Die Rauchgase der Dampflokomotive greifen nicht nur alle Materialien an, sondern verschmutzen auch die Isolatoren. Kurzschlüsse, deren Ursache unermittelt geblieben ist, sind zumeist auf den Einfluß der Lokomotivgase zurückzuführen.

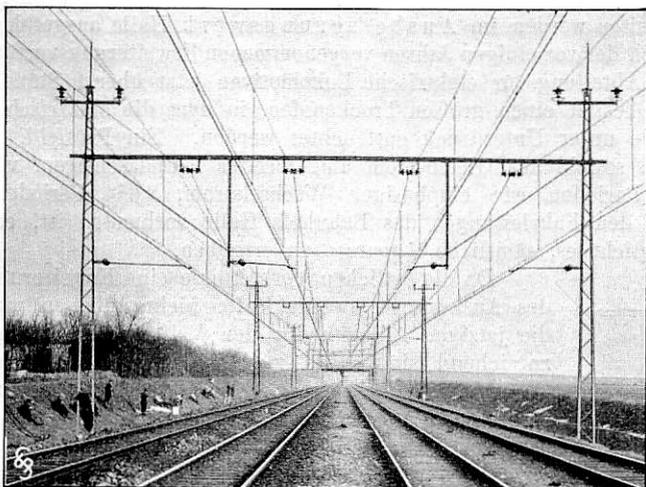
Die Spannweiten sind, wo irgend zugänglich, 100 m. An vielen Stellen hat sich aber bei Sturm trotz Zickzackverlegung ein zu großer Seitenausschlag des Fahrdrabts ergeben. Die Folge waren häufige Bügelentgleisungen und -zerstörungen. Es blieb nur der Ausweg, Zwischenmaste zu setzen.

Das Quertragwerk besteht auch auf Bahnhöfen gewöhnlich aus einem Querträger von zwei U-Eisen. Nur auf dem Bahnhof Gröbers ist ein Versuch mit Querseilaufhängung gemacht worden. Hierbei sind trotz der großen Breite des Bahnhofs (90 m) nur zwei Maste erforderlich. Einige Abänderungen scheinen diese Aufhängung zu einer brauchbaren gestaltet zu haben. Allerdings hatte man gerade hier mit Braunkohlenasche zu kämpfen, die besonders die Isolatoren verschmutzt, so daß Überschlüsse eintraten. Die Querseilaufhängung ist für die Sichtbarkeit der Strecke (Signale) zweifellos günstiger als die Querträgeraufhängung. Aber auch der damit verbundene Fortfall von Zwischenmasten auf den Bahnhöfen erleichtert

Gleisänderungen und vermeidet bei Entgleisungen von Fahrzeugen das An- oder Umfahren von Masten. Gegen diese Beschädigungen sind übrigens Betonabwehrer und Führungsschienen mit Erfolg als Abwehrmittel eingebaut.

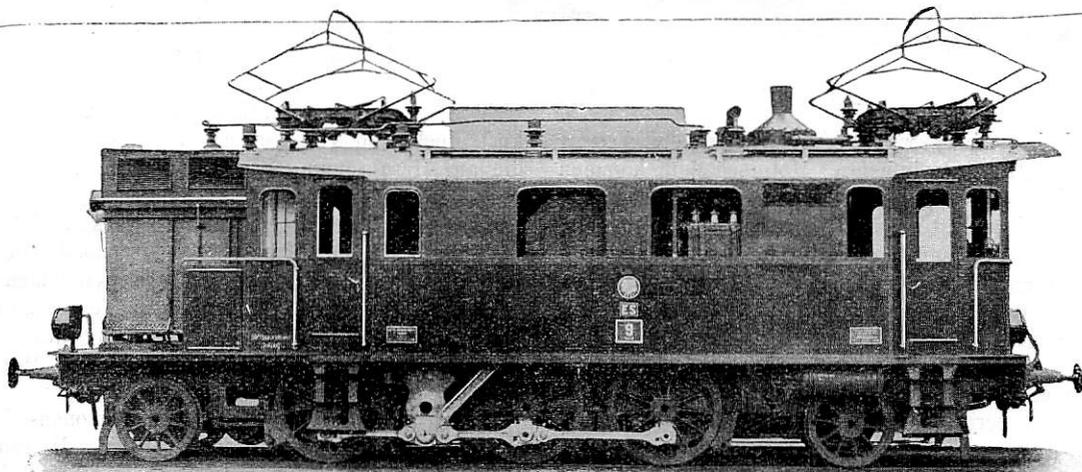
Besonders kritische Punkte der Fahrleitungen sind Brücken, Bahnsteigüberdachungen, Ladestraßen usw. Das Lichtraumprofil der Brücken war ursprünglich teilweise so gering, daß man an einigen Stellen den Fahrdraht seitlich verlegen mußte, weil oben der Isolationsabstand zwischen Fahrdraht und Brücke nicht genügte. Das erforderte besonders breite Lokomotivbügel und symmetrisch zur Gleismitte einen zweiten Fahrdraht zur Führung (Fahrdrahtdoppelung). Die niedrige Fahrdrahthöhe

Abb. 2. Fahrleitungsanordnung der mitteldeutschen Strecken.



einerseits und der mitunter unzureichende Deckenschutz feuergefährlicher Ladungen andererseits führten öfter zu Bränden. Man mußte deshalb daran gehen, die Doppelungen zu beseitigen, und zwar wurden entweder die Brücken gehoben oder die Gleise gesenkt. Isolatoren werden jetzt unter den Brücken möglichst nicht eingebaut, da sie infolge Verschmutzung eine Quelle von Störungen bilden; grundsätzlich werden die Isolatoren da, wo sie niedrig liegen, wie vor den Brücken usw.

Abb. 3. 1 C 1 Schnellzuglokomotive der mitteldeutschen Strecken.



aufserhalb der Gleismitte angeordnet, um sie den Rauchgasen der Dampflokomotiven weniger auszusetzen. Verschiedentlich kam man mit der doppelten Isolation im Tragseil nicht aus. So wurde in den Hallen des Hauptbahnhofs Leipzig und in der Nähe chemischer Fabriken dreifache Isolation eingebaut.

Eine bemerkenswerte Konstruktion befindet sich an der Hallenschürze des Leipziger Hauptbahnhofs (Abb. 7, Taf. 21). Da an dieser Stelle gewöhnlich die Lokomotiven der abfahrenden Züge halten und das Personal der Dampflokomotiven meist vor der Abfahrt noch verschiedene Untersuchungen vornimmt, die es zum Besteigen des Langkessels veranlassen (z. B. Nachsehen des Sandkastens), ereigneten sich hier in der ersten Zeit leider einige tödliche Unfälle. Der Fahrdraht war damals unterhalb des Trägers durchgeführt — in der Abbildung gestrichelt gezeichnet — und lag 4,87 m über S. O. Bei der neuen Anordnung ist der Gleitbügel nur beim Befahren mit einer elektrischen Lokomotive unter Spannung; der dauernd unter Spannung stehende Fahrdraht liegt aber so hoch, daß ein zufälliges Berühren nicht möglich ist.

Die Unterwerke und Fahrleitungen unterstehen drei Fahrleitungsmeistereien, die je bis zu 15 Bahnmeistereibezirke umfassen. Die Speisebezirke der drei Unterwerke fallen mit den Bezirken der Fahrleitungsmeistereien zusammen.

Für Unfälle stehen besondere Hilfsgerätewagen (Werkstatt-, Mannschafts- und Mastwagen) zur Verfügung. Benzoldräsinen sorgen für rasche Beförderung von Personen und Material. Als recht brauchbar haben sich normalspurige, fahrbare Leitern erwiesen, zumal auf belebten Strecken, da sie rasch aus- und eingesetzt werden können.

Lokomotiven.

Es sind in Mitteldeutschland nur noch zwei Lokomotivarten im Gebrauch. Als Schnellzuglokomotive wird die 1 C 1 Lokomotive der Maffei-Schwartzkopf-Werke und als Güterzuglokomotive die B + B Lokomotive der A. E. G. verwendet.

Die mit zwei Führerständen ausgestattete Schnellzuglokomotive (Abb. 3) besitzt einen hochgelagerten Motor von etwa 1500 PS Stundenleistung, der mittels Blindwelle die Leistung auf die Treibräder überträgt. Die Lokomotive vermag Züge von 550 t auf der Geraden mit 60 km/Std. bzw. 400 t mit 110 km/Std. zu befördern. Der elektrische Teil ist bis auf die Steuerung normal. Abb. 9, Taf. 22 stellt das Schaltbild der Steuerung dar. Die Steuerung ist eine rein mechanische. Durch ein Handrad werden Schalter betätigt, die unter Zuhilfenahme eines Zusatztransformators dem Motor um 40 V voneinander verschiedene Spannungen zuführen.

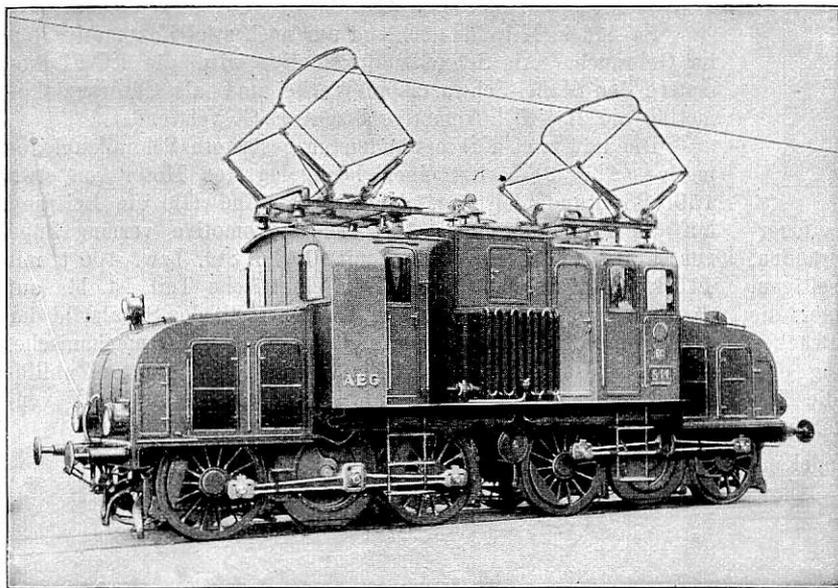
Die Beanspruchung der Lokomotiven ist im Betriebe mitunter sehr hoch. Da bei Personenzügen eine Verringerung der Anhängelast nicht möglich ist, muß eben die Lokomotive das ihr angehängte Gewicht schleppen. Wohl in erster Linie auf diesen Umstand sind die Schäden zurückzuführen, die an

den Schnellzuglokomotiven und zwar in der Hauptsache am mechanischen Teil aufgetreten sind. Federbrüche waren recht häufig. Dann aber brachen auch verschiedentlich die Kurbelzapfen der Motor- und Blindwellen ab. Wahrscheinlich ist die Ursache hierfür auch mit darin zu suchen, daß die Zapfen aus einem Stück mit den Kurbeln geschmiedet sind. Jetzt werden für Blindwellen nur noch eingesetzte Zapfen verwendet, die Kurbelscheiben der Motorwellen werden verstärkt.

Die Lokomotiven sind mit einem Heizkessel ausgerüstet. Im Laufe des letzten Winters hat sich die Unzulänglichkeit dieser Kessel herausgestellt, so daß im nächsten Winter wahrscheinlich sämtliche Züge mit Heizkesselwagen gefahren werden.

Die Güterzuglokomotive (Abb. 4) besitzt zwei Motoren mit Zahnradübersetzung. Die Lokomotive besteht aus dem Mittelteil mit den beiden Führerständen und der Hochspannungskammer sowie aus den symmetrisch zum Mittelteil angeordneten beiden Drehgestellen mit den Motoren. Die Stundenleistung beider Motoren beträgt etwa 1200 PS. Die Lokomotive befördert auf der Geraden Züge von 1200 t mit 50 km/Std. (Höchstgeschwindigkeit der Lokomotive). Die Steuerung ist eine elektromagnetische Schützensteuerung, d. h. durch das Steerrad auf dem Führerstand wird nacheinander die Erregung von Magneten eingeschaltet, deren Anker Kontakte im Motor- kreise schliessen.

Abb. 4. B+B Güterzuglokomotive der mitteldeutschen Strecken.



An diesen Lokomotiven wurden die Motoren verbessert und die Steuerung etwas vereinfacht. Motorschäden kommen noch hin und wieder vor. Die Güterzuglokomotive wird, soweit es der Betrieb irgend gestattet, vor Überlastungen geschützt; der $\cos. \varphi$ der Güterzuglokomotiven während des Beharrungszustandes wurde gelegentlich der Abnahmefahrten zu 0,9 ermittelt. Beim Anfahren ist er, wie bei allen Lokomotiven, wesentlich ungünstiger. Der Wirkungsgrad der Lokomotive (Verhältnis: Leistung am Zughaken zu Leistung am Strom- abnehmer) betrug etwa 0,45.

Es muß beachtet werden, daß beide Lokomotivtypen bereits vor dem Kriege fertig waren und in ihren Leistungen den wesentlich leichteren Vorkriegsbedingungen entsprechen. Heute treten diese Lokomotiven in Wettstreit mit den inzwischen verbesserten und verstärkten Dampflokomotiven. Ein genaues Urteil kann man deshalb für die vorhandenen Lokomotiven nicht ohne weiteres fällen. Das mitteldeutsche Netz wird demnächst neue, wesentlich leistungsfähigere Lokomotiven erhalten. Im Bau sind 2 C 2 Personenzuglokomotiven und 1 B + B 1 Güterzuglokomotiven.

Werkstätten.

An Betriebswerken, denen elektrische Lokomotiven zugeteilt sind, kommen Leipzig, Wahren, Bitterfeld und Rothensee in Betracht. Auf genauere Untersuchung sind vorläufig nur die Betriebswerke Leipzig und Wahren eingerichtet. Ein 15 t Kran ermöglicht hier das Herausnehmen auch der schwersten Teile. In Leipzig ist der Betriebsschuppen von der Werkstatt getrennt, in Wahren sind beide vereinigt. Letzterer Anordnung ist der Vorzug zu geben. Die Ausrüstung mit Werkzeugen und Werkzeugmaschinen ist nicht wesentlich verschieden von derjenigen der Werkstätten für Dampflokomotiven. Besondere Einrichtungen sind für das Filtern des Öls erforderlich; diese Arbeit kommt verhältnismäßig häufig vor und muß recht sorgfältig ausgeführt werden.

Die Hauptuntersuchungen und umfangreichen Unterhaltungsarbeiten werden im Ausbesserungswerk Halle ausgeführt. Nach der vor einigen Jahren vorgenommenen Erweiterung verfügt die Abteilung für elektrische Lokomotiven jetzt über 9 Stände. Sie besitzt einen großen Trockenofen, in dem die elektrischen Teile unter Unterdruck entfeuchtet werden. Ein Prüffeld, in dem sowohl aus Gleichstrom umgeformter Einphasenstrom von 50 Perioden wie einphasiger Wechselstrom, 16^2_3 Perioden, von den Fahrleitungen des Bahnhofes Halle vorhanden ist, ermöglicht es, sämtliche Apparate zu erproben.

Da die örtlichen Verhältnisse eine Erweiterung des Ausbesserungswerkes Halle nicht zulassen und die jetzigen Anlagen für den Vollbahnbetrieb unzureichend sind, wird z. Z. in Dessau ein neues Werk gebaut, das lediglich für die Unterhaltung elektrischer Lokomotiven bestimmt ist.

Betriebszahlen.

Die Entwicklung des elektrischen Zugbetriebes seit der Eröffnung im Januar 1921 ist zwar gehemmt durch den Mangel an Lokomotiven, trotzdem sind aber im gegebenen Rahmen ganz ansehnliche Leistungen vollbracht worden. Während z. B. im Februar 1921 die geleisteten Lokkm 4000 und die tkm 2,0 Millionen betragen, sind die Zahlen angewachsen im Juni d. J. auf 178 000 Lokkm und 66,5 Millionen tkm. Der Aufwand an Wh für 1 tkm schwankt zwischen 15 und 18 (1923/24).

Der Ausbesserungsstand der Güterzuglokomotiven ist 20 bis 25 %, der der Personenzuglokomotiven höher wegen der oben erwähnten Verhältnisse. Der Schmierstoffverbrauch hält sich in erträglichen Grenzen (etwa 27 kg für 1000 Einheits-

km), doch sind verschiedene Verbesserungen in Vorbereitung, die auf Herabsetzung des Stoffverbrauchs hinzielen.

Der Aufwand an Wärmeeinheiten für Dampftrieb zum Aufwand für elektrischen Betrieb verhält sich wie 1 : 0,7.

Die Zahl der Kurzschlüsse ist noch hoch, sie hat aber bei weitem nicht in dem Maße zugenommen wie die Länge der Betriebsstrecken. Während in den letzten drei Monaten des Jahres 1921 bei 150 km Fahrleitungslänge 187 Kurzschlüsse eintraten, beträgt heute die Zahl in drei Monaten 232, aber bei 570 km Leitung.

Es werden z. Z. täglich 42 Personen- bzw. Schnellzüge und 74 Güterzüge elektrisch befördert. Hierzu werden dienstplanmäßig sieben 1 C 1 und siebzehn B + B Lokomotiven benötigt.

Der Betrieb umfaßt etwa die Hälfte des vorgesehenen Programms. Mangel an Lokomotiven ist schuld daran, daß die Belastung nicht höher ist. Auch für das Kraftwerk wird man erst dann zu einem vollbefriedigenden Ergebnis kommen, wenn es voll belastet ist und wenn das Werk außerdem eine gute Grundbelastung hat. Eine solche Belastung würde

die Stromlieferung an große Bahnhöfe und Werkstätten sowie an Dritte darstellen. Bis jetzt ist nur das Kraftwerk Halle mittels umlaufender Umformer angeschlossen. Demnächst wird das Kraftwerk Wahren ebenfalls seine Energie von Muldenstein erhalten. Hier wird zum ersten Male ein Gleichrichter für $16\frac{2}{3}$ Perioden erprobt.

Die niedrige Periodenzahl macht nach früheren Erfahrungen das Licht für Bürozwwecke ungeeignet. Trotzdem ist der Versuch gemacht worden, einen Bahnhof und zwar Mockau bei Leipzig in unmittelbarem Anschluß an die Fahrleitungen zu beleuchten. Der Versuch ist als durchaus geglückt zu bezeichnen. Die Anlage ist seit September v. Js. im Betrieb und hat ohne jede Störung gearbeitet. Für Außenlampen sind 500 W-Lampen verwendet, für Bürobeleuchtung 50 HK Kohlenfadenlampen, die noch besonders abgeblendet sind und indirekte Beleuchtung mit 500 W-Lampen. Motoren sind nicht vorhanden.

Bei dieser Gelegenheit sei auch der Unfälle Erwähnung getan, die auf Einwirkung der Hochspannungsbahnanlagen zurückzuführen sind. Im großen und ganzen ist eine Abnahme der tödlichen Unfälle zu verzeichnen. In der ersten Zeit des elektrischen Betriebes traf das Unglück meist die Personale von Dampflokotiven und Wagenaufseher. Nachdem das Personal jetzt aber die Gefahren gewohnheitsmäßig meidet und einige kritische Stellen in den Fahrleitungen beseitigt sind, sind solche Unfälle selten geworden. Dagegen ereignen sich jetzt häufiger

Unfälle unter den Bediensteten der Fahrleitungsmeistereien. Zum Teil mag der sich immer mehr ausdehnende Betrieb schuld daran sein, zum Teil ist es aber auch auf eine gewisse Gleichgültigkeit gegen die Gefahren, von denen die Leute ja dauernd umgeben sind, zurückzuführen. Auch Selbstmorde haben sich eine ganze Reihe zugetragen.

Pläne für weitere Elektrisierung.

Ein Blick auf die Karte zeigt, daß die bisher elektrisierten Strecken ihre Fortsetzung in der Strecke Halle—Cöthen—Magdeburg finden müssen. Dieser naheliegende Plan war in allen Einzelheiten fertig, leider zwangen die jüngsten finanziellen Einschränkungen zur vorläufigen Aufgabe dieses Projekts.

Ferner war — in weiterer Ferne — geplant, eine Verbindung des mitteldeutschen mit dem schlesischen Netz durch Elektrisierung der Strecke Leipzig—Dresden—Görlitz herzustellen. Auch die Strecke Leipzig—Hof sollte elektrisiert werden, als Bindeglied zwischen dem mitteldeutschen und bayrischen Netz. Schliesslich dachte man auch an die Ausrüstung der Strecke Berlin—Halle und Fortsetzung nach Thüringen. Wann diese Pläne ihre Verwirklichung finden, ist z. Z. nicht abzusehen. Eine weitergehende Elektrisierung würde nicht nur in wärmetechnischer Hinsicht wesentliche Vorteile bringen, sondern auch die Lokomotiven könnten vielseitiger verwendet werden.

Besichtigung der elektrischen Zugförderungsanlagen der schlesischen Gebirgsbahnen durch ausländische Fachleute.

Von Oberregierungsbaurat Usbeck, Breslau.

Im Oktober vorigen Jahres fand eine Besichtigung des elektrischen Zugbetriebes auf den schlesischen Gebirgsbahnen durch eine Anzahl Fachleute auf dem Gebiete des elektrischen Bahn- und Postwesens aus Schweden, Norwegen, der Schweiz und Österreich statt, die den Zweck hatte, durch örtliche Prüfung der Betriebseinrichtungen und durch Vornahme von Versuchen die Frage der Beeinflussung von Schwachstromleitungen durch den elektrischen Zugbetrieb zu studieren.

Die Einwirkungen des beim elektrischen Betriebe der Hauptbahnen in den genannten Ländern verwendeten Einphasenwechselstroms niedriger Periodenzahl auf die Schwachstromleitungen sind bekannt. Eingehende Versuche haben in allen beteiligten Ländern durch besonders dafür eingesetzte Studienausschüsse stattgefunden. Zum Teil sind die Ergebnisse dieser Forschungen bereits durch Veröffentlichungen bekannt geworden; es sei auf das von der schwedischen Studienkommission herausgegebene, überaus sorgfältig durchgearbeitete Werk hingewiesen. In Deutschland ist schon kurz nach Eröffnung des elektrischen Betriebes auf der Versuchsstrecke Dessau—Bitterfeld im Jahre 1910 mit Versuchen durch Herrn Ministerialrat Brauns vom Reichspostamt zusammen mit den zuständigen Organen der damaligen Preuss. Eisenbahnverwaltung begonnen worden. Die Versuche wurden dann bei Eröffnung des elektrischen Betriebes auf den schlesischen Gebirgsbahnen fortgesetzt, mußten aber bei Kriegsausbruch unterbrochen werden; auf Grund der Ergebnisse der Versuche sind von Brauns mehrere Aufsätze über diese Fragen im Archiv für Post und Telegraphie und in der E. T. Z. veröffentlicht worden.

Nach Beendigung des Krieges wurde ein besonderer Fachausschuß eingesetzt, dem Fachleute der Reichspost und Reichsbahn angehörten, und dessen Arbeiten jetzt im wesentlichen abgeschlossen sind. Diese Arbeiten wurden unterstützt durch die beteiligte Industrie, vor allen Dingen durch die Siemens & Halske A.-G., die durch Bereitstellung von Versuchsmaterial es ermöglichte, auf den gewonnenen Erfahrungen weiterzubauen. Die wissenschaftlichen Ergebnisse dieser Versuche sind in den einzelnen Ländern im wesentlichen die gleichen, jedoch sind

die Folgerungen, die zur Beseitigung der störenden Einflüsse des Bahnwechselstroms bei den einzelnen Post- und Bahnverwaltungen gezogen worden sind, verschieden. So ist man z. B. in Skandinavien davon ausgegangen, daß zunächst die zum elektrischen Betrieb ihrer Strecken übergehende Eisenbahn alle Einrichtungen zu treffen habe, die eine Verminderung der Beeinflussung der Schwachstromleitungen zum Ziele haben. Erst wenn alle diese Maßnahmen erschöpft sind, werden Einrichtungen an den Schwachstromleitungen getroffen. In Deutschland, der Schweiz und Österreich dagegen hat man sich auf den Standpunkt gestellt, daß zunächst an den Schwachstromleitungen alle Einrichtungen zu treffen sind, die zu einer möglichst geringen Beeinflussung durch den Wechselstrom führen, und daß erst darüber hinausgehende Einrichtungen an den Bahnanlagen zu treffen sind.

Zufolge dieser verschiedenartigen Auffassung sind in Schweden und auch in Norwegen durchweg Saugtransformatoren angewendet worden. Bei den neueren elektrischen Anlagen wird in Schweden außerdem eine besondere Kupferrückleitung verlegt. Bei dem elektrischen Betrieb der hoch im Norden Schwedens und Norwegens gelegenen Erzbahn Lulea—Narvik ist außer den Saugtransformatoren*) noch eine sehr sinnreich durchdachte Kompensationsleitung angeordnet worden, die gleichzeitig zur Beleuchtung der Bahnhöfe und Wohngebäude in dem unwirtlichen Steppengebiet Lapplands verwendet wird. Die Schwachstromleitungen sind als Freileitungen bestehen geblieben, jedoch mit besonderer Rückleitung versehen und in Entfernungen von 15—100 m von der Bahnstrecke abseits gelegt worden.

In den übrigen Ländern hat man von Saugtransformatoren und meistens auch von besonderen Rückleitungen Abstand genommen, dagegen die Schwachstromleitungen der Bahn in Kabel verlegt, die im Bahnkörper angeordnet wurden, und die Postleitungen ganz entfernt und in möglichst großen Entfernungen abseits vom Bahnkörper an den Landstraßen entlang

*) Siehe Organ 1923, S. 218 bzw. 242.

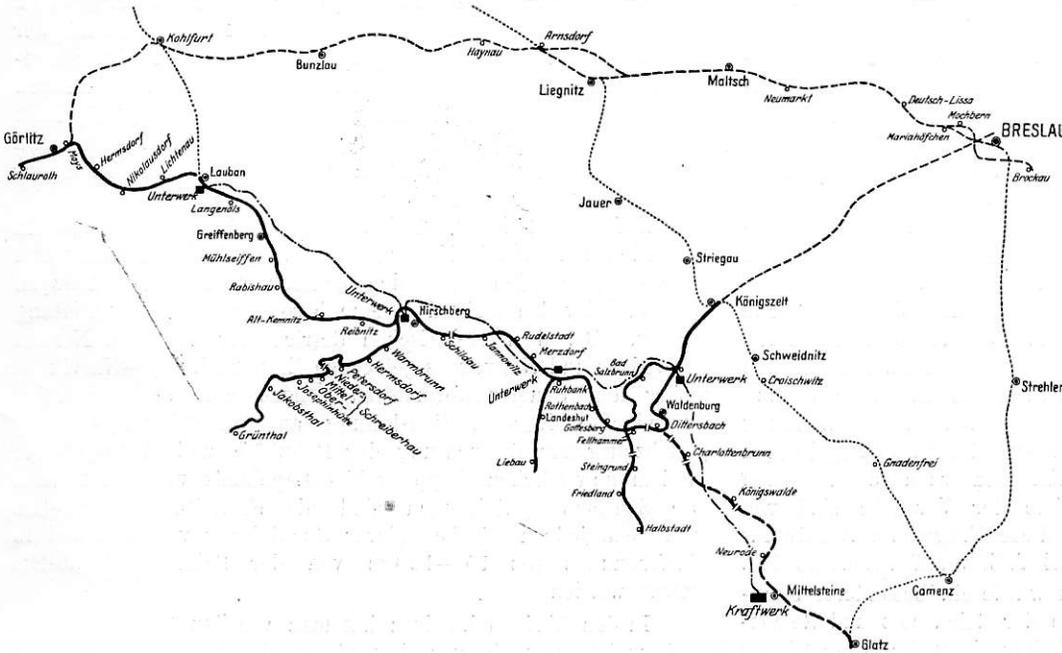
geführt. Soweit die Rücksicht auf die Anlagekosten es zulässt, werden auch die Postleitungen als Kabel verlegt. Das Bestreben, diese Leitungen unterirdisch zu führen, ist seit einer Reihe von Jahren immer stärker hervorgetreten, nachdem sich gezeigt hat, daß die Witterungseinflüsse von erheblicher Bedeutung für die Unterhaltung der Leitungsanlagen sind und nachdem die Entwicklung der Fernmeldetechnik die Möglichkeit der Verwendung von Kabeln auch auf großen Entfernungen ergeben hat.

Der Besuch der ausländischen Fachleute diente dem Zweck, durch Aussprache über die in den einzelnen Ländern als notwendig erachteten Anlagen einen Ausgleich der verschiedenen Anschauungen zu erzielen und womöglich für die Zukunft gemeinsame Richtlinien festzulegen, die bei der Einrichtung elektrischer Bahnen zum Schutz der Schwachstromleitungen zu treffen sind.

Als Ergebnis der Aussprache ist in Aussicht genommen worden, einen Ausschuss aus Vertretern der Fachleute der genannten Länder zu bilden, der von Zeit zu Zeit zusammentritt und die Weiterentwicklung dieser Frage überwacht sowie die Aufstellung der angeregten gemeinsamen Richtlinien zum Ziele hat.

Bei diesem Anlaß mögen über die Anlagen der elektrischen Zugförderung auf den schlesischen Gebirgsbahnen einige Mitteilungen gemacht werden. Die Abb. 1 zeigt einen Übersichtsplan der elektrisch betriebenen Strecken. Die zweigleisige Hauptstrecke von Königszell nach Görlitz ist 157 km lang; die Nebenstrecken, die meist eingleisig sind, bilden zusammen eine Länge von etwa 100 km. Die Streckenverhältnisse sind sehr schwierig. Starke Steigungen bis 20‰ auf der Hauptstrecke und bis 25‰ auf den Nebenstrecken kommen vor. Überaus schwierige Witterungsverhältnisse, besonders in dem harten Gebirgswinter, stellen hohe Anforderungen an das Leitungsmaterial und an die Fahrzeuge, die im Anfang nicht allen Anforderungen gewachsen waren. Nachdem die Erfahrungen der ersten Jahre bei der weiteren Ausgestaltung des Netzes

Abb. 1. Übersichtsplan der elektrischen Zugförderung auf den schlesischen Gebirgsbahnen.

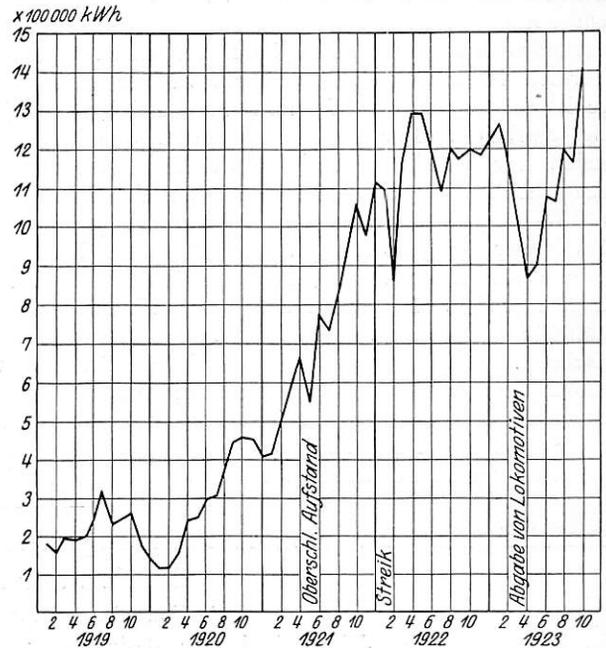


verwendet worden und die nötigen Fahrzeuge angeliefert sind, wird jetzt der Betrieb allmählich immer mehr elektrisch durchgeführt und zwar betriebstechnisch und wirtschaftlich mit befriedigendem Erfolg.

Die Abb. 2 stellt eine Kurve dar, aus der die allmähliche Entwicklung des Stromverbrauchs für den elektrischen Bahnbetrieb

im Riesengebirge in den Jahren 1919 bis zum Herbst 1923 hervorgeht. Nach einem verhältnismäßig gleichmäßigen Aufstieg in den Jahren 1920 bis Anfang 1922 ist ein Stillstand eingetreten, teilweise sogar ein Rückschritt, weil die mit der Lieferung der elektrischen Lokomotiven beauftragten Firmen

Abb. 2. Entwicklung des Stromverbrauchs auf den schlesischen Gebirgsbahnen.



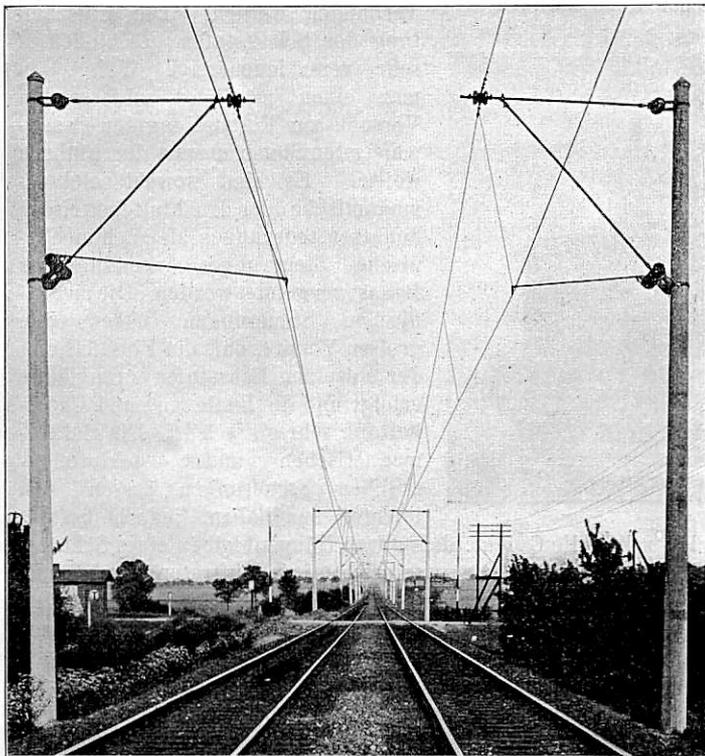
im Rückstand waren und weil ein Teil der Lokomotiven, die für die Strecke Magdeburg—Leipzig bestimmt waren, nach Fertigstellung der Leitungsanlagen auf den genannten Strecken zurückgegeben werden mußten. Inzwischen sind regelmäßige weitere Lokomotiven angeliefert, was in der starken Steigerung der Stromabgabe in der zweiten Hälfte des Jahres 1923 zum Ausdruck kommt. In diesem Jahre ist der elektrische Betrieb zum größten Teil durchgeführt. Es werden jetzt sämtliche Personenzüge und rund 75% der Güterzüge elektrisch befördert. Zur Zeit sind 41 Lokomotiven geliefert, 39 weitere werden im Laufe dieses und des nächsten Jahres noch geliefert werden.

Zur Erzeugung der elektrischen Arbeit dient eine minderwertige Kohle, die zwar etwa 6000 WE besitzt, aber wegen ihrer Feinheit und ihres Aschengehalts für andere Zwecke kaum verwendbar ist. Am Wärmeverbrauch werden bei dem elektrischen Betrieb nach den nunmehr mehrjährigen Erfahrungen etwa 35—40% gegenüber dem Dampflokomotivbetrieb erspart.

Das Kraftwerk ist bei Mittelsteine in der Grafschaft Glatz errichtet. Es ist nicht Eigentum der Reichsbahn, sondern von den Siemens-Schuckertwerken und der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft auf deren Kosten errichtet und wird ebenso wie die Fernleitungsanlagen und Unterwerke gegen eine bestimmte Gebühr der Reichsbahn vorgehalten. Während ursprünglich der

verbrauchte Strom zu einem festen Satz von 2,75 Pf. von der Reichsbahn bezogen wurde, ist nach dem Kriege der Stromlieferungsvertrag infolge der Geldentwertung durch einen Selbstkostenvertrag ersetzt worden, bei den sämtliche Ausgaben des Kraftwerks zu Lasten der Reichsbahn gehen. Der Reichsbahn fließen auch die Einnahmen aus dem Verkauf von Drehstrom

Abb. 3. Fahrleitung auf der freien Strecke.



an Dritte zu. Das Kraftwerk ist außer mit vier Stromerzeugern für den Bahnwechselstrom mit zwei Turbogeneratoren für Drehstrom ausgerüstet, um den Eigenbedarf des Kraftwerks und

Drehstromgeneratoren je 2000 kW Dauerleistung besitzen. Die von den Maschinen mit 3000 Volt erzeugte elektrische Arbeit wird auf 80000 Volt umgespannt und durch die Fernleitung den vier Unterwerken Nieder-Salzbrunn, Ruhbank, Hirschberg und Lauban zugeführt, wo sie auf die Fahrdrachtspannung von 15000 Volt herabgespannt wird.

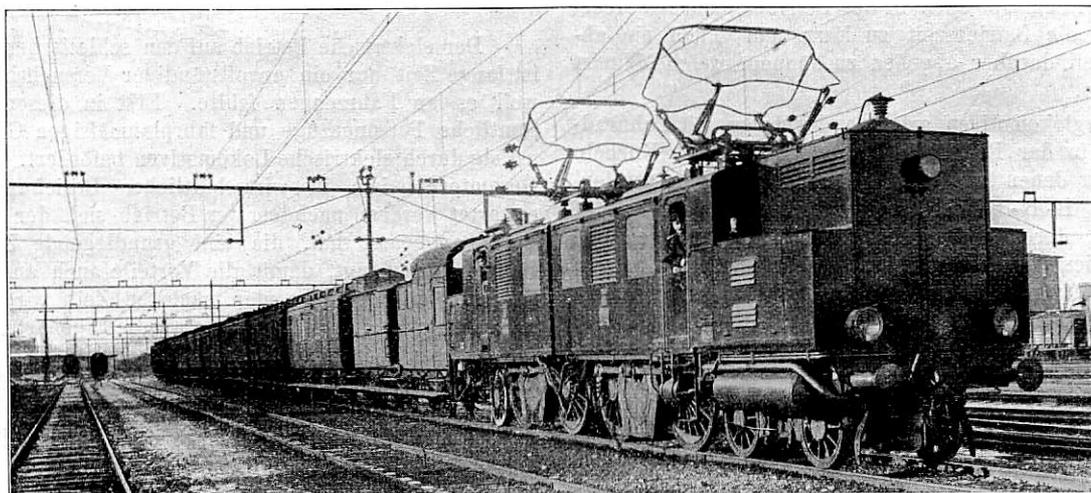
Die Fahrleitungen sind am Unterwerk unterteilt, außerdem sind die Leitungen der beiden Gleise elektrisch voneinander isoliert, so daß vom Unterwerk aus nach allen Richtungen hin bei zweigleisigen Strecken vier Leitungen ausstrahlen, die je mit besonderen Anschlüssen über Ölschalter an die 15000 Volt-Sammelschienen des Unterwerks angeschlossen sind. Von der Hauptstrecke abzweigende Seitenlinien werden je für sich durch Ölschalter gespeist. Auf diese Weise wird erreicht, daß ein Kurzschluss möglichst geringe Folgen für den Betrieb nach sich zieht. Die Abb. 3 und 4 zeigen ein Bild der Fahrleitungen auf der freien Strecke und auf einem Bahnhof in der Ausführung, wie sie neuerdings verwendet wird, wobei die Fahrleitungen am Querseil aufgehängt sind, um die Signalbilder möglichst wenig zu beeinträchtigen. Bei der Reichsbahn wird jetzt eine einheitliche Bauart für die Fahrleitung angewendet, die aus einem fest verankerten Trage-seil, einem kupfernen Rillenfahrdraht mit Gewichtsnachspannung und senkrechten Hängedrähten aus biegsamem Bronzeseil in Abständen von etwa 12 m voneinander besteht. Die Tragpunkte der Fahrleitung in der geraden Strecke sind etwa 80 m voneinander entfernt. Die Nachspannung des Fahrdrahtes durch Gewichte geschieht in Abständen von etwa 1500 m.

Die Beförderung der Züge erfolgt im allgemeinen durch elektrische Lokomotiven, nur für die Nebenstrecken Nieder-Salzbrunn—Halberstadt und Ruhbank—Liebau ist bisher Triebwagenbetrieb eingerichtet. Es ist aber geplant, auch die Strecke Hirschberg—Grünthal mit Triebwagen zu betreiben, da sich der Pendelverkehr auf dieser Strecke am einfachsten mit Triebwagen bedienen läßt. Bisher stehen dem elektrischen Betrieb zur Verfügung:

Personenzuglokomotiven: 7 Lok. der Bauart 1C1, 12 Lok. der Bauart 2D1, 2 Lok. der Bauart 2B-B1.

Güterzuglokomotiven: 12 Lok. der Bauart B-B-B, 10 Lok. der Bauart C-C, 5 Lok. der Bauart AAA-AAA.

Abb. 4. Fahrleitungsanordnung in einem Bahnhof; 2B-B1 Schnellzuglokomotive.



der Kohlengrube zu decken. Außerdem wird Strom an Genossenschaften zu Beleuchtungs- und Kraftzwecken verkauft.

Jeder der vier Turbogeneratoren für den Bahnbetrieb hat 4000 kW Dauerleistung. Ein weiterer Turbogenerator von 8000 kW Dauerleistung wird aufgestellt, während die beiden

Triebwagen: 6 Triebwagen der Bauart 3-B1-3, 4 Triebwagen der Bauart 2-A1.

Bestellt und noch nicht geliefert sind:

Personenzuglokomotiven: 6 Lok. der Bauart 2D1, 7 Lok. der Bauart B-B.

Güterzuglokomotiven: 4 Lok. der Bauart AAA-AAA, 14 Lok. der Bauart C-C (neue Bauart), 6 Lok. der Bauart 1 C-C 1.

Die 2B-B1 Schnellzuglokomotive und die B-B-B-Güterzuglokomotive sind in Abb. 4 und 5 dargestellt.

Die Ausbildung der Personenzuglokomotiven ist in Deutschland andere Wege gegangen als z. B. in der Schweiz. Während man dort dem Einzelantrieb oder dem Gruppenantrieb den

Zahnrad Doppelmotors und Schlitzkuppelstangen, die in einem besonderen Triebdrehgestell untergebracht sind, angetrieben werden. Die anderen Triebwagen besitzen dagegen Zahnradmotoren der gleichen Bauart wie die AAA-AAA-Lokomotiven.

Die Steuerung der Lokomotiven geschieht grundsätzlich in der gleichen Weise durch Verändern der dem Motor zugeführten Spannung. Zu diesem Zweck ist auf den Lokomotiven ein Transformator angebracht, der mit Anzapfungen versehen ist,

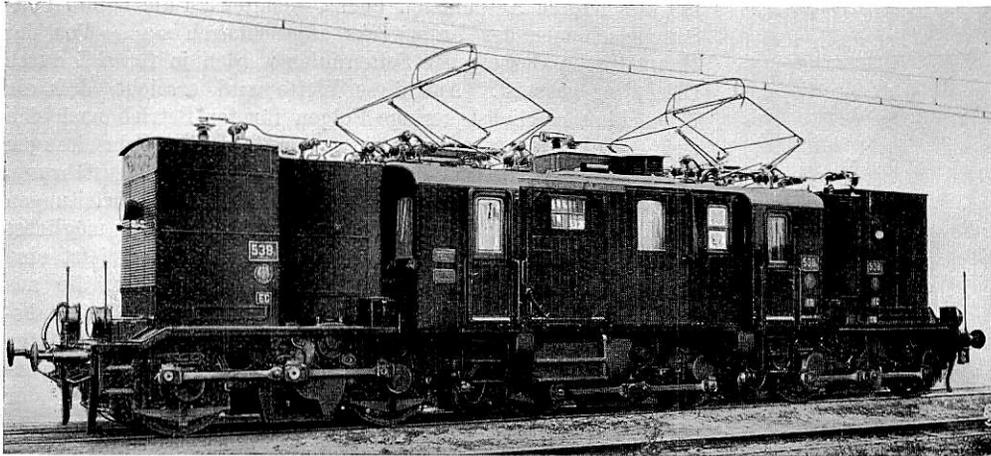
die der Reihe nach mit dem Motor verbunden werden. Die Einschaltung der Schaltstufen geschieht auf sehr verschiedenartige Weise, da man einen möglichst umfassenden Versuch zur Feststellung der zweckmäßigsten Steuerungsart durchführen wollte. Es sind sowohl elektromagnetische oder drucklufterlektrische Schützensteuerungen als auch mechanische Steuerungen verschiedener Bauart verwendet worden. Die mechanischen Steuerungen haben den großen Vorzug, daß die Einschaltung der einzelnen Fahrstufen zwangsläufig erfolgt und die Bedienung und Unterhaltung sehr einfach ist. Die elektromagnetischen und drucklufterlektrischen Steuerungen lassen sich leichter handhaben, jedoch besteht

gelegentlich die Gefahr, daß durch Hängenbleiben eines Schützes Schäden an den Steuerungseinrichtungen auftreten, wenn auch bei guter Durchbildung eines Schützes diese Gefahr gering ist. Bei den Triebwagen sind allgemein Schützensteuerungen verwendet, da mit Hilfe der Zugsteuerung mehrere Triebwagen zu einem gemeinsamen Zuge vereint mit einem Führerstand aus gesteuert werden müssen.

Sämtliche Lokomotiven sind mit Scheren-Stromabnehmern, die durch Prefs Luft angehoben werden, ausgerüstet. Bei den neueren Ausführungen ist überall doppelte Isolation verwendet worden, um möglichste Betriebssicherheit zu erzielen. Durch gute Abfederung mit geeigneten Hebelübersetzungen und durch Anwendung von Kugellagern ist dafür gesorgt, daß die Stromabnehmer leicht jede Änderung der Fahrdrachtlage auch bei großen Geschwindigkeiten folgen können.

Der elektrische Betrieb auf den schlesischen Gebirgsbahnen ist lange Zeit nur ein unvollständiger Versuchsbetrieb gewesen, weil es an Fahrzeugen fehlte. Erst in diesem Jahre werden sämtliche Personenzüge und fahrplanmäßigen Güterzüge regelmäßig durch elektrische Lokomotiven befördert. Abschließende Gesamtergebnisse in wirtschaftlicher Beziehung können erst erwartet werden, nachdem der Betrieb sich der neuen Betriebsweise angepasst hat, die eine grundlegende Umänderung des Fahrplans verlangt, damit alle Vorteile auch ausgenützt werden können. Die Aufgabe der nächsten Zeit wird es sein, diese Anpassung des ganzen Betriebes an die Eigenart der elektrischen Zugförderung durchzuführen. Erst dann läßt sich ein klares Bild darüber gewinnen, inwieweit der elektrische Bahnbetrieb eine wirtschaftlichere Gestaltung der gesamten Zugförderung ermöglicht, was letzten Endes der Zweck dieser Betriebsumwandlung sein soll.

Abb. 5. Elektrische Güterzuglokomotive, Bauart B-B-B der schlesischen Gebirgsbahnen.



Vorzug gibt, sind die elektrischen Personenzuglokomotiven für die schlesischen Gebirgsbahnen in der Mehrzahl mit einem großen Motor ausgerüstet, der unter Vermittlung von Blindwellen mit unmittelbarer Übertragung durch Parallelkurbelgetriebe die gekuppelten Achsen antreibt. Dieser Motor erhält bei den schweren Personenzuglokomotiven ganz beträchtliche Abmessungen, so beträgt die Stundenleistung des Motors der 2D1-Lok. 3000 PS bei etwa 60 km, die Dauerleistung 2000 PS. Die Erfahrungen mit dem großen Motor waren bisher durchaus günstig. Nur versuchsweise sind 2 Lokomotiven mit Zahnradmotor ausgestattet worden und zwar in der Weise, daß die Lokomotiven als Doppellokomotiven gebaut sind, von denen jede Hälfte mit einem Zahnradvorgelegemotor und Kuppelstangenantrieb betrieben wird. Nach den bisherigen Erfahrungen sind aber die unmittelbar angetriebenen Personenzuglokomotiven denjenigen mit Zahnradvorgelege sowohl in der Ruhe des Laufs als auch in der Betriebssicherheit überlegen. Doch ist die Betriebszeit zu kurz, um schon ein abschließendes Urteil darüber abgehen zu können, welche Bauart zweckmäßiger ist.

Die Güterzuglokomotiven arbeiten durchweg mit Zahnradmotoren, wobei in der Regel die Vorgelegewelle mit Kurbeln versehen ist, von denen aus die Achsen angetrieben werden. So besitzen die B-B-B-Lok. drei zweiachsige Gestelle mit je einem Motor, der mit Vorgelege und Kuppelstangen die beiden Achsen des Gestells antreibt. Die C-C-Lok. dagegen sind in jeder Hälfte mit einem Doppelmotor mit gemeinsamem Zahnradvorgelege ausgerüstet, von dem aus die drei Achsen jeder Lokomotivhälfte mit Kuppelstangen angetrieben werden. Nur die AAA-AAA-Lokomotiven besitzen Einzelachsenantrieb in der bei Straßenbahnen üblichen Anordnung.

Die Triebwagen sind in zwei verschiedenen Bauarten vorhanden, von denen die 3-B1-3-Wagen mit Hilfe eines

Grundlagen und Berechnungen zur Einheitsfahrleitung für die elektrischen Zugförderungsanlagen der Deutschen Reichsbahn.

Von Oberregierungsbaurat Naderer, München.

Hierzu Tafel 23 und 24.

Einleitung.

Als vor etwa eineinhalb Jahrzehnten die vormalige preussische, bayerische und badische Staatsbahnverwaltung dazu überging, einzelne Eisenbahnstrecken versuchsweise auf den elektrischen Betrieb umzustellen (Dessau — Bitterfeld, Lauban — Königszelt, Salzburg — Freilassing — Berchtesgaden, Mittenwaldbahn, Wiese- und Wehratalbahn), standen in Deutschland für die Bauform der elektrischen Streckenausrüstung lediglich die auf elektrisch betriebenen Strassen- und Kleinbahnen gewonnenen Erfahrungen zur Verfügung. Die Ausbildung der Fahrleitung und ihrer Einzelteile für die Versuchslinien wurde im wesentlichen den Elektrizitäts-Großfirmen überlassen, die mit der Erstellung der elektrischen Streckenausrüstung betraut waren: der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, den Siemens-Schuckertwerken, den Bergmann-Elektrizitäts-Werken. Diese drei Bauanstalten entwickelten im Benehmen mit den Bahnverwaltungen die bekannten, in Abb. 1 auf Taf. 24 dargestellten Fahrleitungsaufhängungen, die als Vielfach- oder Kettenaufhängungen bezeichnet und in ihren Einzelteilen wiederholt beschrieben worden sind.

Das in Form der Kette durchhängende Trageil ist allen drei Bauarten eigentümlich; die Kette ist nötig, einmal um die gegenseitige Entfernung der Stützpunkte, die Mastabstände, vergrößern zu können, sodann auch zur Erhöhung der Betriebssicherheit; denn eine annähernd wagrechte Lage des Fahrdrahtes, die für Hauptbahnstrecken wegen der hohen Zuggeschwindigkeiten unbedingt erforderlich ist, läßt sich nur durch Vermehren der Zahl der Aufhängepunkte des Fahrdrahtes erzielen. Ein mit 100 km/Std. am Fahrdraht gleitender Stromabnehmer legt nämlich etwa 28 m in jeder Sekunde zurück; der Durchhang eines nur alle 56 m unterstützten Fahrdrahtes von 100 qmm Querschnitt würde nun bei 500 kg Zugspannung, $t = 10^{\circ} \text{C}$, 70,6 cm betragen; da der Durchhang im quadratischen Verhältnis zur Entfernung der Stützpunkte sich ändert, sinkt er auf $\frac{1}{4}$ oder 17,66 cm, wenn die Stützpunkte 28 m, auf $\frac{1}{16}$ oder 4,4 cm, wenn die Stützpunkte 14 m, auf $\frac{1}{64}$ oder 1,1 cm, wenn die Stützpunkte 7 m auseinanderliegen. In Bruchteilen von Sekunden können aber die Bügel des Stromabnehmers den Änderungen in der Höhenlage des Fahrdrahtes nicht mehr folgen, wenn diese ein gewisses Maß überschreiten: insbesondere ist an den Aufhängepunkten der Fahrleitung, an welchen die Stetigkeit ihrer Krümmung unterbrochen ist, die Stromabnahme um so mehr gefährdet, je größer die Stützpunktentfernung und die Fahrgeschwindigkeit ist. Deshalb ist bei den auf der Tafel 24 dargestellten Bauformen der Fahrdraht etwa alle 6 bis 7 m am Trageil befestigt. Bei der Vielfachaufhängung der Siemens-Schuckertwerke ist die Zahl der am Trageil angreifenden Hängedrähte durch Zwischenschaltung eines etwa 120 mm über dem Fahrdraht verlegten Hilfsstragdrahtes auf die Hälfte vermindert; an dem letzteren sind die den Fahrdraht tragenden Klemmen, welche im oberen Teile als Schlaufen ausgebildet sind, aufgehängt; beim Anheben des Fahrdrahtes infolge des Stromabnehmer-Bügeldruckes wird die Schlaufe entlastet und damit die Längenänderung des Fahrdrahtes erleichtert. Letztere wird beim Kettenwerke der Bergmann-Elektrizitäts-Werke mit schräger Anordnung der Hängedrähte durch am Trageil eingebaute Gradführungen erreicht, auf welchen die Läuferklemmen gleiten, soweit nicht — wie in der Mitte der Spannweiten — das Trageil annähernd wagrecht verläuft.

In einem zum Teil mehr als zehnjährigen Betriebe hat sich nun gezeigt, daß die Form der Aufhängung des Fahr-

drahtes am Trageil — von der Ausbildung einzelner Teile abgesehen — für die Betriebssicherheit der Fahrleitung nicht wesentlich ist; die drei auf der Tafel wiedergegebenen Ausführungen haben sich im allgemeinen bewährt. Ein grundsätzlicher Unterschied in den drei Bauformen besteht noch in den Mitteln zum Ausgleich der Durchhangsänderungen von Fahrdraht und Trageil. Während bei der Kettenaufhängung der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Trageil und Fahrdraht gemeinsam nachgespannt sind, ist bei der SSW- und BEW-Aufhängung das Trageil festgelagert und nur der Fahrdraht allein nachgespannt.

Als nach Beendigung des Krieges aus wirtschaftlichen Gründen daran gegangen wurde, die elektrische Betriebsform auf Hauptbahnstrecken mit größerer Länge auszudehnen, mußte die Frage entschieden werden, in welcher Bauart die neu zu erstellenden Fahrleitungsanlagen auszuführen waren.

Eine vom Herrn Reichsverkehrsminister im Jahre 1921 unter dem Vorsitz des Ministerialdirektors Professor Dr. Gleichmann einberufene Kommission von Fachleuten (Fahrleitungsausschuss) hatte unter anderem auch die Aufgabe, die bei den verschiedenen elektrisch betriebenen Strecken gewonnenen Erfahrungen zu sammeln und im Sinne einer Vereinheitlichung zu verwerten. Letztere sollte jedoch hauptsächlich nur darauf abzielen, eine betriebssichere, in Anlage und Unterhaltung einfache und wirtschaftliche Fahrleitungsanlage zu schaffen, ohne daß damit den technischen Fortschritten die Möglichkeit ihrer Erprobung abgeschnitten würde. Im Benehmen mit den elektrotechnischen Bauanstalten hat ein aus wenigen Fachleuten gebildeter Unterausschuss die Grundlagen einer »Einheits«-Fahrleitung aufgestellt und diese in den »Vorschriften für die Ausführung und Festigkeitsberechnung der Wechselstrom-Fahrleitungen der Fernbahnen« zusammengefaßt, welche von obengenannter Kommission gutgeheißen wurde. Diese Grundlagen nebst einigen dazu gehörigen bei der Reichsbahndirektion München durchgeführten Berechnungen sollen im Auszuge nachstehend wiedergegeben und erörtert werden.

I. Allgemeine Anordnung der Einheits-Fahrleitung.

Die Betriebserfahrungen mit den oben besprochenen Anordnungen der Fahrleitung haben gezeigt, daß die selbsttätige Nachspannung des Fahrdrahtes allein ausreichend ist, um die Stromabnahme auch bei hohen Fahrgeschwindigkeiten sicher zu stellen. Bei der »Einheits«-Fahrleitung ist daher auf die selbsttätige Nachspannung des Trageiles verzichtet; letzteres ist an den Stützpunkten »festgelagert«. Ein Hilfsstragdraht wie bei der Ausführung der Siemens-Schuckertwerke oder Gradführungen wie bei jener der Bergmann-Elektrizitäts-Werke sind nicht angewendet. In Entfernungen von rund 12,5 m wird der Fahrdraht am Trageil mit Hängeseil und Klemmen befestigt. Der Fahrdraht wird selbsttätig nachgespannt. Die hierzu angebrachten Gewichte dürfen im unabgenützten Fahrdrachte keine höhere Zugspannung als 10 kg/qmm erzeugen. Die Länge eines Nachspannfeldes soll in der graden Strecke 1500 m nicht überschreiten. In der Mitte zwischen zwei Nachspannvorrichtungen ist der Fahrdraht in der Regel zu verankern (Festpunkt). Die Unterkante des nicht durch Stromabnehmer angehobenen Fahrdrahtes darf in der Regel 6,0 m Höhe über S. O. nicht unterschreiten; bei Überbauten gelten besondere Bestimmungen*). Die Leitung ist im Zickzack zu verlegen; auf der graden Strecke sind die Brechpunkte

*) Organ 1923 Seite 95 Heft 5.

an allen Stützpunkten anzuordnen, wobei die Seitenverschiebung von der in der Gleisachse errichteten Mittelsenkrechten in der Regel $\pm 0,6$ m betragen soll. Da die Stützrohre für die seitliche Festlegung den Fahrdraht belasten, ist an der Klemme der Festlegung oder, wenn dies nicht möglich, beiderseits derselben ein Hängeseil anzuordnen. Die Hängeseile sind im allgemeinen lotrecht einzubauen; in jenen Fällen, in welchen infolge einer Temperaturschwankung von $\pm 30^\circ\text{C}$ und der hierdurch bewirkten Längenänderung des Fahrdrahtes der Sinus des Neigungswinkels eines Hängeseiles größer würde als 0,4, sind Seilschlaufen mit einer Läuferklemme einzubauen; an solchen Stellen erhält das Tragseil eine Schutzhülse.

Mit Rücksicht auf die ausnützbare Breite des Stromabnehmerbügels, dessen Bauform gleichfalls vereinheitlicht wurde, ist der gegenseitige Abstand der Stützpunkte für das Tragseil so zu bemessen, daß der seitliche Abtrieb des Fahrdrahtes infolge der Windbelastung nicht mehr als 0,75 m beträgt.

Auch die Bestimmung, daß unter Spannung stehende Teile von geerdeten Teilen mindestens 0,3 m entfernt sein müssen und daß die Fahrleitung von den letzteren durch doppelte Isolation, d. i. durch zwei hintereinandergeschaltete Isolatoren zu trennen ist, wirkt in gewissem Grade, wenn auch nicht entscheidend, auf die allgemeine Anordnung der Einheitsfahrleitung ein. Diese ist im wesentlichen durch vorstehende Ausführungsbedingungen umschrieben; auf Tafel 23 ist sie zeichnerisch dargestellt.

36 kg/qmm Bruchfestigkeit und 3,5 v. H. Dehnung bei einer Meßlänge von $11,3 \sqrt{q}$ (qmm) vorgeschrieben; der Widerstandswert soll 17,84 Ohm je km und qmm bei 20°C , seine Zunahme für 1°C Wärmeunterschied 0,068 Ohm je km und qmm betragen.

Für das Tragseil ist Bronze oder Kupferpanzerstahl (Monnot) mit einem Querschnitt von 50 qmm (7 Drähte von je 3 mm Durchmesser), ferner in Ausnahmefällen auch Stahl zugelassen. Die Zerreißfestigkeit für Bronze und Stahl ist mit 70 kg/qmm, für Kupferpanzerstahl mit 63 — 65 kg/qmm vorgeschrieben; die Leitfähigkeit des Bronze- oder Kupferpanzerstahlseiles soll 35 v. H. eines Kupferseiles gleichen Querschnittes erreichen.

Die Hängeseile, welche besonders biegsam sein sollen, sind aus 49 Drähten von je 0,51 mm Durchmesser zusammengesetzt; bei 10 qmm Querschnitt sollen sie mindestens 50 kg qmm Zerreißfestigkeit aufweisen.

Einheitlich festgelegt ist die Form des Fahrdrahtquerschnittes und seiner Befestigungsmittel, der Klemmen. Für die Querschnittsform standen die Erfahrungen mit dem Profildraht der vormals preussischen Staatsbahnen, mit dem Rillendraht der früheren bayerischen Staatsbahnen, mit dem Runddraht der Straßen- und Kleinbahnen, sowie mit den bei fremden Bahnen verwendeten Fahrdrahtformen zur Verfügung. Abb. 1 enthält die wichtigsten Mäße solcher Querschnittsformen. Frühzeitig wurde der Einfluß des Winddruckes auf den Abtrieb der Fahrleitung erkannt. Windbelastungsversuche, die 1920/21 in der aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen ausgeführt wurden,

Abb. 1. Fahrdrahtquerschnittsformen für Hauptbahnen.

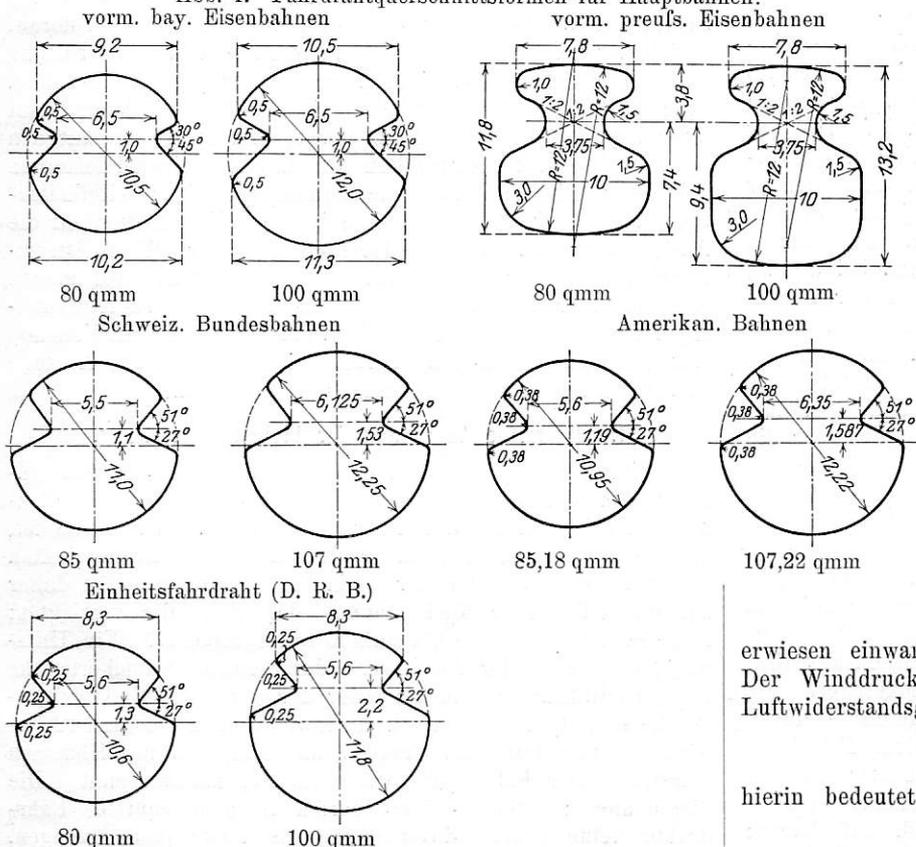
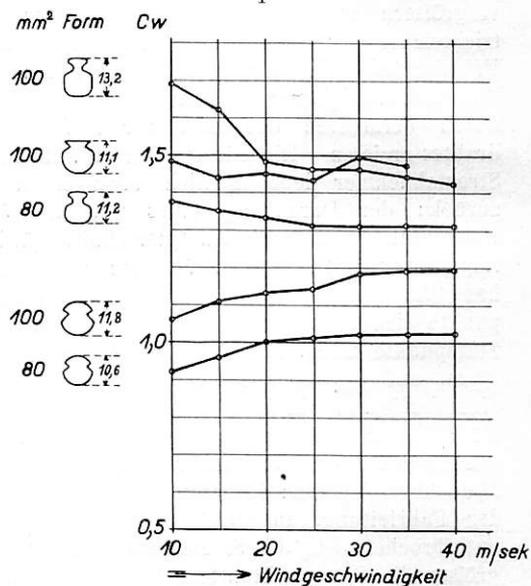


Abb. 2. Winddruckzahlen (C_w) für verschiedene Fahrdrahtquerschnitte.



erwiesen einwandfrei die Überlegenheit des Rillenfahrdrathes. Der Winddruck W_F (kg) auf den Fahrdraht ist nach dem Luftwiderstandsgesetze

$$W_F = C_w \cdot F \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \frac{\rho}{g};$$

hierin bedeutet: v die Windgeschwindigkeit in m/sec, F in qm die vom Wind senkrecht getroffene Fläche,

$$\frac{\rho}{g} = \text{rund } \frac{1}{8} = \frac{\text{Luftdichte}}{\text{Erdbeschleunigung}},$$

C_w = die Winddruckzahl, welche durch die Versuche in Göttingen bestimmt wurde.

Zum Berechnen der Windbelastung bei einer Windgeschwindigkeit von 31 m/sec kann auf Grund der Versuche mit genügender Genauigkeit gesetzt werden:

Für den Rillen- und Runddraht: $W_F \text{ kg/m} = 70 d$ (d = Durchmesser des Fahrdrathes, Tragseiles, Hängeseiles in m);

II. Baustoffe und Bauformen von Einzelteilen der Einheits-Fahrleitung.

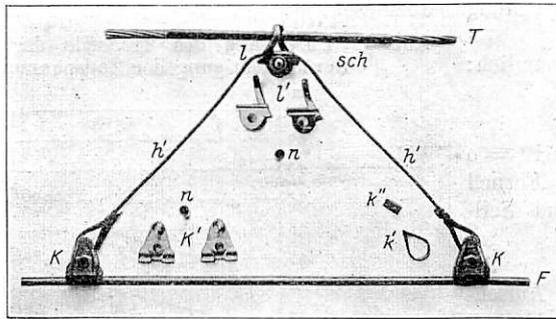
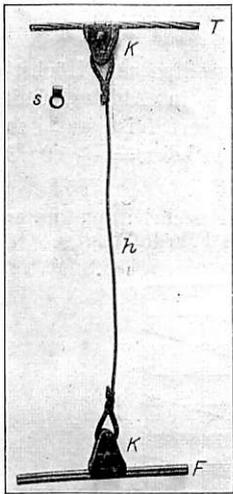
Da die technische Entwicklung im Bau elektrischer Streckenausrüstungen durch die Vorschriften über die Einheitsfahrleitung nicht gehemmt werden sollte, ist nur eine geringe Zahl von Bestimmungen über Baustoffe und Bauformen von Einzelteilen getroffen; denn die aufgestellten Prüfbedingungen für Einzelteile können auch für andere Fahrleitungsanordnungen gelten und sind demnach keine Kennzeichen der Einheitsfahrleitung. Als Baustoff für den Fahrdraht ist Kupfer mit

für den achtförmigen Profildraht mit 11,2 mm Bauhöhe ist $W_F \text{ kg/m} = 80 \text{ d}$, für jenen mit 13,2 mm Bauhöhe $= 88 \text{ d}$ zu nehmen. Die Rillenform ist demnach hinsichtlich des Winddruckes um etwa 25 v. H. günstiger. Die Ergebnisse dieser Versuche sind zum Teil in Abb. 2 dargestellt; sie führten zu den in Abb. 1 angegebenen Regelquerschnitten von 100 und 80 qmm für die Einheitsfahrleitung; hierbei wurden die Winkel der Rilleneinschneidung und die Stärke der letzteren für beide Querschnitte gleich groß gewählt; damit ist erreicht, daß für beide Querschnitte die gleiche Klemme verwendet werden kann; auch letztere wurde vereinheitlicht; für ihre Herstellung ist folgende Zusammensetzung vorgeschrieben: 60 v. H. Cu, 1 v. H. Pb, 39 v. H. Zn. Die Bauform der Klemme, die aus Abb. 3 zu entnehmen ist, wurde so ausgebildet, daß sie nach Beigabe einer Schlaufe auch als Klemme zum Befestigen der Hängeseile am Trageil verwendet werden kann.

Außer den vorstehenden Bestimmungen bestehen für Bauform und Baustoffe der Einheitsfahrleitung — abgesehen von

Abb. 3. Einzelteile der Einheitsfahrleitung.

F = Fahrdraht, T Trageil, K Einheitsklemme, n Niet zur Einheitsklemme, s Kupferschleife für die Tragklemme am Trageil, K' Hängeseilschleife, l Läuferklemme, sch Schutzhülse, h Hängeseil, h' Seilschleife, k' Backen der Einheitsklemme, l' Backen der Läuferklemme, k'' Kerbverbinder.



den allgemein geltenden Prüfbedingungen und Festigkeitsvorschriften — keine Bindungen; die bauliche Ausbildung des Trageilstützpunktes, des Quertragwerkes und der seitlichen Abstützung des Fahrdrahtes, der Nachspannvorrichtung, der Isolatoren usw. ist nicht festgelegt; doch zwingt die Rücksicht auf einfache Lagerhaltung und billige Instandsetzung dazu, auch die nicht festgelegten Teile für einzelne Strecken oder Netze möglichst einheitlich oder wenigstens austauschbar durchzubilden.

III. Berechnungen zur Einheits-Fahrleitung.

Hoch- und Querlage des Fahrdrahtes zur Gleisachse sind für die Betriebssicherheit der elektrischen Streckenausrüstung von ausschlaggebender Bedeutung. Für die Lage des Fahrdrahtes in beiden Richtungen sind Grenzen gesteckt, die nicht überschritten werden dürfen. Die Festlegung der untersten Grenze für die Hochlage des Fahrdrahtes mit 6,0 m über S. O. macht es nötig, die Durchgangsänderungen des Fahrdrahtes bei Wärmeschwankungen zwischen -20°C und $+40^\circ \text{C}$, sowie bei -5°C und Eislast zu ermitteln und gleichzeitig zu prüfen, ob bei den genannten Belastungsfällen die zulässige Beanspruchung des Trageiles nicht überschritten wird. Die Vorschrift, daß der Abstand der Stützpunkte für das Trageil so zu bemessen ist, daß der seitliche Abtrieb des Fahrdrahtes nicht mehr als 0,75 m beträgt, zwingt, den Einfluß der Windbelastung auf die Querlage des Fahrdrahtes festzustellen.

A. Durchgangsänderung des Trageiles unter Berücksichtigung der Zugspannung im Fahrdraht.

a) Festwerte:

Elastizitätsmodul des Trageiles:	
aus Bronze*)	$E_t = 1,22 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$
aus Kupferpanzerstahl*)	$= 1,56 \cdot 10^6 \text{ »}$
des Fahrdrahtes	$E_f = 1,3 \cdot 10^6 \text{ »}$
Wärmeausdehnungszahl des Trageiles:	
aus Bronze	$a_t = 18 \cdot 10^{-6}$
aus Kupferpanzerstahl	$= 14,3 \cdot 10^{-6}$
des Fahrdrahtes	$a_f = 17 \cdot 10^{-6}$

b) Gewichte:

Gewicht des Trageiles mit 50 qmm Querschnitt:	
aus Bronze	0,445 kg/m
aus Kupferpanzerstahl	0,415 »
Gewicht des Fahrdrahtes von 100 qmm Querschnitt	0,900 »
Gewicht der Hängeseile auf je 1 m Kettenwerk	0,0107 »
Gewicht der Klemmen auf je 1 m Kettenwerk	0,0192 »
Gewicht des Beidrahtes mit Klemmen	0,015 kg/m
Gewicht des Kettenwerkes	1,3899 »
oder rund	1,4 »
Durchmesser des Trageiles	9,2 mm
Durchmesser des Fahrdrahtes	11,8 »
Eislast auf dem Trageil $0,18 \sqrt{9,2} = 0,546 \text{ kg/m}$	
Eislast auf dem Fahrdraht $0,18 \sqrt{11,8} = 0,618 \text{ »}$	
Eislast auf den Hängeseilen	0,04 »
Eislast auf den Klemmen	0,04 »
Eislast auf Kettenwerk	1,244 »
aufgerundet	1,25 »

Gewicht des Kettenwerkes mit Eislast
 $1,4 + 1,25 = 2,65 \text{ »}$

c) Windbelastungen (bei $v = 31 \text{ m/sec}$):

Winddruck auf Trageil $70 \cdot 0,0092 = 0,65 \text{ kg/m}$	
Winddruck auf Fahrdraht $70 \cdot 0,0118 = 0,83 \text{ »}$	

Winddruck auf Hängeseile
 $\frac{70 \cdot 0,005 \cdot 1,5 \cdot 8}{100} = 0,04 \text{ »}$

Winddruck auf Klemmen	0,08 »
Gesamtwinddruck auf Kettenwerk	1,6 »
Gesamtwinddruck verteilt auf Trageil	0,7 »
Gesamtwinddruck verteilt auf Fahrdraht	0,9 »

d) Formeln:

- Bezeichnungen:
 q' = vom Trageil getragenes Gewicht des Kettenwerkes (kg/m)
 q'' = vom Fahrdraht getragenes Gewicht des Kettenwerkes (kg/m)
 $q = q' + q''$ = Gewicht des Kettenwerkes
 Q = Querschnitt des Trageiles (qm)
 H' = Zug im Trageil (kg)
 H'' = Zug im Fahrdraht (kg)
 f' = Durchhang des Trageiles (m)
 f'' = Durchhang des Fahrdrahtes (m)
 $f = f' - f''$ = Unterschied zwischen Durchhang des Trageiles und Durchhang des Fahrdrahtes (m)
 L = Regel-Spannweite (m).

Die bekannten Formeln zur Ermittlung des Durchhanges und der Seilspannung können nicht ohne weiteres auf das Kettenwerk angewendet werden, da sie den im Fahrdraht durch die selbsttätige Nachspannung auftretenden Zug nicht berücksichtigen.

Wird das Trageil so verlegt, daß bei $t = +10^\circ \text{C}$ der Fahrdraht infolge der Zugspannung H'' wagrecht liegt, also kein Durchhang des Fahrdrahtes vorhanden ist, so wird

*) Bestimmt im mech.-techn. Institut der Technischen Hochschule München, Mai 1924.

für diesen Fall $q'' = 0$. Es bedarf keines weiteren Nachweises, daß für $t > +10^{\circ}\text{C}$ bzw. für $t = +5^{\circ}\text{C}$ und gleichzeitiger Eislast $q'' > 0$, für $t < +10^{\circ}\text{C}$ auch $q'' < 0$ wird, d. h. in den beiden ersten Fällen wird der Fahrdrabt nach unten durchhängen, im zweiten Falle durch die Hängeseile nach oben hochgezogen werden. Der Zug im Fahrdrabt beeinflusst also Durchhang und Durchhangsänderung im günstigen Sinne; denn das Gewicht des Kettenwerkes wird nicht, wie im Falle $H'' = 0$, vom Tragsseil allein, sondern infolge des Fahrdrabtzuges zum Teil auch vom Fahrdrabt aufgenommen.

Wird in die Gleichung

$$H' = \frac{q' L^2}{8 f'} \text{ für } q' \text{ der Wert}$$

$$q - q'' = q' = q - \frac{8 H'' \cdot f''}{L^2} \text{ oder, da } f'' = f' - f$$

$$q' = q - \frac{8 H'' (f' - f)}{L^2}$$

eingesetzt, so ergibt sich der Zusammenhang zwischen Seilspannung und Durchhang zu:

$$H' = \frac{q L^2}{8 f'} - H'' \cdot \frac{f''}{f'}$$

d. h. durch die Zugspannung des Fahrdrabtes wird die im Tragsseil auftretende Zugspannung um einen Betrag geringer, welcher gekennzeichnet ist als jener Teil der Fahrdrabtspannung, der dem Verhältnis des Durchhanges des Fahrdrabtes zum Durchhang des Tragsseiles entspricht; je größer also die Zugspannung im Fahrdrabt ist, desto kleiner wird die Zugspannung im Tragsseil.

Obige Beziehung lässt sich noch einfacher ansetzen, nämlich:

$$1) \dots H' = \left(\frac{q \cdot L^2}{8} + f H'' \right) \cdot \frac{1}{f'} - H''$$

Wird die Zugspannung im Fahrdrabt vernachlässigt, also $H'' = 0$ gesetzt, so geht die Beziehung 1) in die bekannte Formel zur Berechnung des Durchhanges aus Spannweite und Seilspannung über.

Gleichung 1) kann weiter als Ausgangspunkt für die Berechnung der Durchhangsänderung bei veränderlicher Außentemperatur unter Berücksichtigung des Fahrdrabtzuges benützt werden. Zu diesem Zwecke werden in die übliche Formel für die Zustandsänderung*) ($t_1 - t_2$), die man durch Gleichsetzen der geometrischen und physikalischen Bedingung für den Zustand (Temperatur) t_1 und t_2 erhält, die aus Gleichung (1) sich ermittelnden Werte für H'_2 und f'_2 eingesetzt. Dies führt zur Zustandsgleichung des Kettenwerkes der Einheitsfahrleitung:

$$2) \dots t_2 = \frac{1}{Q \cdot E \cdot \alpha} (H'_1 + H''_2) + t_1 - \frac{8}{3 L^2 \alpha} \cdot \frac{1}{(H'_1 + H''_1)^2} \cdot \left(\frac{q_1 \cdot L^2}{8} + f \cdot H''_1 \right)^2 - \frac{1}{Q \cdot E \cdot \alpha} \left(\frac{q_2 \cdot L^2}{8} + f H''_2 \right) \cdot \frac{1}{f'_2} + \frac{8}{3 L^2 \alpha} f'_2^2$$

Gleichung 2) enthält neben zwei Veränderlichen t_2 und f'_2 noch die Unbekannte f ; diese ist, wenn die sehr geringfügige

*) Beiziffer 1 bezeichnet den Zustand t_1 , Beiziffer 2 den Zustand t_2 ; b = Tragsseillänge;
 b_0 = Tragsseillänge für die Spannweite L bei 0°C (ungespannt);
 $b_1 = L + \frac{8 f_1^2}{3 L}$; $b_2 = L + \frac{8 f_2^2}{3 L}$ (geometrische Bedingung);
 $b_1 = b_0 + \frac{L \cdot H'_1}{Q \cdot E} + L \cdot \alpha \cdot t_1$ und
 $b_2 = b_0 + \frac{L \cdot H'_2}{Q \cdot E} + L \cdot \alpha \cdot t_2$ (physikalische Bedingung).

Glieder zweiter Ordnung sind, da angenäherte Berechnung genügt, vernachlässigt.

Hieraus folgt die Zustandsgleichung des Tragsseiles ohne Berücksichtigung des Fahrdrabtzuges:

$$t_2 = \frac{1}{Q \cdot E \cdot \alpha} (H'_1 + H'_2) + t_1 - \frac{8}{3 L^2 \alpha} (f_1^2 - f_2^2)$$

Längenänderung der Hängeseile unberücksichtigt bleibt, ein Festwert. Zur Ermittlung des letzteren wird davon ausgegangen, daß bei einem durch die Verlegungsvorschrift gegebenen Zustand $t_2 (= +10^{\circ}\text{C})$ der Fahrdrabt wagrecht liegen soll.

Nach der Beziehung

$$f = f' + f'' \text{ wird für diesen Fall}$$

$$f''_2 = 0; \text{ somit: } f = f'_2.$$

Wird in Gleichung 2) $t_2 = 10^{\circ}\text{C}$, $t_1 = -5^{\circ}\text{C}$ und $f'_2 = f$ gesetzt, so geht diese Beziehung nach einiger Umformung über in

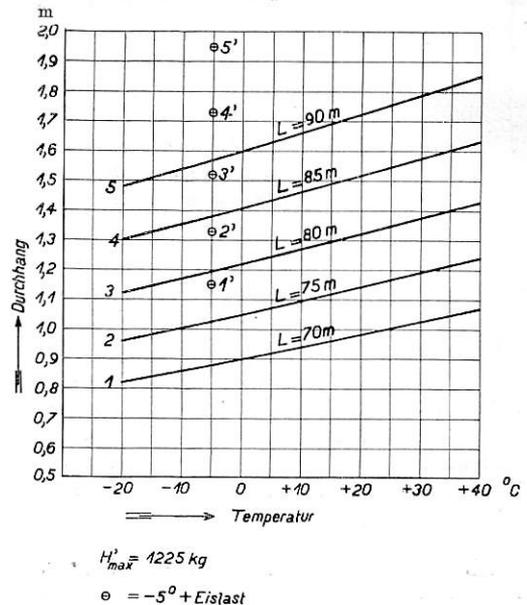
$$3) \dots \frac{8}{3 L^2 \alpha} \left(1 - \frac{H''_1^2}{(H'_1 + H''_1)^2} \right) \cdot f^3 - \frac{2 q_1 H''_1}{3 \alpha (H'_1 + H''_1)^2} \cdot f^2 + \left(\frac{1}{Q E \alpha} \cdot H'_1 + t_1 - t_2 - \frac{q_1^2 \cdot L^2}{24 \alpha (H'_1 + H''_1)^2} \right) f - \frac{1}{Q \cdot E \cdot \alpha} \cdot \frac{q_2 \cdot L^2}{8} = 0.$$

Aus Gleichung 3), die nur mehr die Unbekannte f enthält, läßt sich dieser Wert bestimmen; er wird sodann in Gleichung 2) eingesetzt, die dann nur mehr die beiden Veränderlichen t_2 und f'_2 enthält und gestattet, für verschiedene Werte von f'_2 die zugehörigen Werte von t_2 zu berechnen. Der Durchhang des Fahrdrabtes ist zu rechnen aus

$$f''_2 = f'_2 - f.$$

In Abb. 4 sind für verschiedene Spannweiten und Höchstbelastungen die Durchhänge des Tragsseiles in Abhängigkeit von der Temperatur aufgetragen; der Festwert f ist aus den in der Abbildung wiedergegebenen Schaulinien bei $t = +10^{\circ}\text{C}$ abzulesen.

Abb. 4. Durchhang des Tragsseils der Einheitsfahrleitung unter Berücksichtigung der Zugspannung des Fahrdrabtes.



Wird in Gleichung 2) $H'' = 0$ gesetzt, d. h. der Fahrdrabtzug nicht berücksichtigt, so wird wieder die allgemeine Beziehung für die Zustandsänderung eines gespannten Seiles erhalten. Diese wäre jedoch für die Berechnung einer Fahrleitung nicht ausreichend. Denn wie Abb. 5 zeigt, ist der Einfluß des Fahrdrabtzuges auf den Durchhang des Tragsseiles so groß, daß er nicht vernachlässigt werden kann.

Auf Taf. 23 ist bei 75 m Abstand der Stützpunkte die Änderung in der Hochlage des Kettenwerkes, sowie die Verschiebung der Hängeseile infolge der Längenänderung des Fahrdrabtes für $t = +10^{\circ}$, $+40^{\circ}$ und -20°C dargestellt. Da die Schräglage der Hänger ein gewisses Maß nicht überschreiten soll, sind an jenen Aufhängepunkten des Fahrdrabtes, an denen der Sinus des Neigungswinkels der Hängeseile den Wert von 0,4 überschreiten würde, Seilschleifen anzuordnen (Abb. 3),

die mit beweglichen Läuferklemmen auf dem an diesen Stellen mit einer Schutzhülse versehenen Tragseil gleiten.

Die Schräglage eines beliebigen Hängers kann ermittelt werden nach der Gleichung

$$\sin \varphi = \frac{(X + X_0) \cdot a \cdot t}{y}$$

wobei X in m die Entfernung des Hängers vom Festpunkte der Nachspannstrecke, $t = \pm 30^\circ$, d. i. die größte Abweichung von der Nullage ($+10^\circ \text{C}$), X_0 einen Sicherheitszuschlag in m für ungenauen Einbau, Reckungen des Fahrdrahtes, Verlagerung der Fahrleitung und Nachgiebigkeit des Stützpunktes, y die Länge des Hängeseiles bedeutet (Abb. 6). Letztere kann bestimmt werden aus

$$y = y_0 + \frac{x'^2 \cdot q}{2 \cdot H}$$

worin y_0 = den geringsten Abstand zwischen Fahrdrat und Hängeseil, x' den Abstand des Hängers von der Mitte der Spannweite darstellt. Für den Sicherheitszuschlag x_0 wird ein Wert von nicht unter 100 m empfohlen.

Abb. 5.

Einfluss des Fahrdratzuges auf den Durchhang des Tragseils.

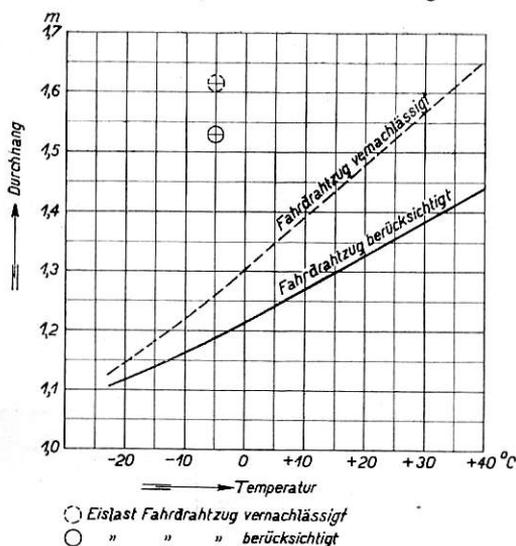


Abb. 6.

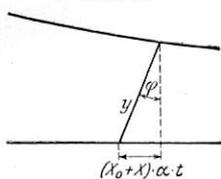


Abb. 1 Taf. 23 zeigt, dass in einer Nachspannstrecke von 1500 m Länge 13 Felder von je 75 m Länge keine Seilschleifen, zwei Felder je zwei, fünf Felder je drei Seilschleifen erhalten; auch in den beiden Endfeldern vor den Nachspannmasten sind je die drei mittleren Hängeseile durch Seilschleifen zu ersetzen.

B. Einfluss der Windbelastung auf den Mastabstand.

a) Ableitung der Formeln.

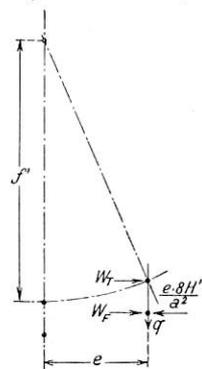
Der senkrecht auf das Kettenwerk treffende Wind hat zur Folge, dass das Tragseil in der Richtung des Windes um seine Aufhängepunkte ausschwingt und der Fahrdrat aus seiner Ruhelage abgetrieben wird. Dem Einfluss des Winddruckes setzt sich entgegen das Gewicht des Kettenwerkes und die Zugspannung H'' im Fahrdrat; die auftretenden Kräfte müssen für eine bestimmte Windstärke im Gleichgewicht sein; für diesen Fall lässt sich eine Momentengleichung ableiten*), die zu der bekannten Formel für den Windantrieb e (m) führt:

1) $e = \frac{\mu \cdot a^2 \cdot W}{8Z}$;

*) $(W_T + W_F) \cdot f' = q \cdot e + e \cdot \frac{8 \cdot H''}{a^2} \cdot f'$; hieraus:
 $e = \frac{(W_T + W_F) \cdot f'}{q + \frac{8H''}{a^2} \cdot f'} = \frac{(W_T + W_F)a^2}{(q \cdot a^2 + H'') \cdot 8} = \frac{W \cdot a^2}{8(H' + H'')} = \frac{W \cdot a^2}{8 \cdot Z}$ (Abb. 7).

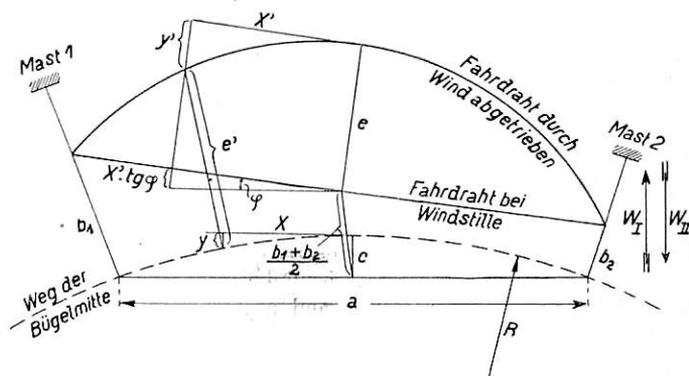
in dieser eine Parabel darstellenden Gleichung bedeutet: a den Mastabstand (m), $W = W_T + W_F =$ Winddruck auf das Kettenwerk (kg/m), $Z = H' + H''$ den Zug des Kettenwerkes (kg), μ einen Beiwert, der die hemmende Einwirkung der Hängedrähte auf den Abtrieb, die Spannungs- und Durchhangserhöhung des Tragseiles infolge des Winddruckes, die Ungenauigkeit einiger zur Aufstellung der Momentengleichung benützten Größen berücksichtigen soll. Die angestellten Untersuchungen haben gezeigt, dass für die zur Anwendung kommenden Spannweiten der Beiwert μ nur wenig von 1 verschieden ist (0,96—0,98); wird außerdem beachtet, dass die das Tragseil haltenden Ausleger nicht als vollkommen starr angesehen werden können, sondern bei ungleichmäßig auf die einzelnen Felder auftretendem Wind eine gewisse Nachgiebigkeit aufweisen, die zu einer Verkürzung der Spannweite führt, so ist der Sicherheit halber $\mu = 1$ zu setzen.

Abb. 7. (zur Fußnote *)



Außer der physikalischen Bedingung für den Abtrieb nach Gleichung 1) lässt sich noch die geometrische Bedingung für den Weg des Stromabnehmerbügels und für die Abtriebslinie des Fahrdrahtes in allgemeiner Form unter Zuhilfenahme der in Abb. 8 verzerrt wiedergegebenen Größen aufstellen; hierbei bedeutet R den Krümmungshalbmesser des Weges der Bügelmitte, e'_{max} den größten zulässigen Windantrieb, b_1 und b_2 die Seitenverschiebung des Fahrdrahtes an den Masten 1 und 2 (Zickzack).

Abb. 8.



Der Kreisbogen, den die Bügelmitte in der Krümmung beschreibt, kann mit hinreichender Genauigkeit durch einen Parabelbogen ersetzt werden, dessen Gleichung**) angeschrieben werden kann zu:

2) . . . $y = \frac{x^2}{2R}$ (Gleichung des Weges der Bügelmitte).

Wird die Abtriebslinie des Fahrdrahtes gleichfalls als Parabel angenommen, so kann für diese gesetzt werden:

$y' = p' \cdot x'^2$;

zur Ermittlung des Parameters p' ist zu beachten, dass für

**) Aus Abb. 8 wird: $(\frac{a}{2})^2 + (R - c)^2 = R^2$; da c^2 gegenüber den übrigen Gliedern sehr klein und deshalb zu vernachlässigen ist, wird: $c = \frac{a^2}{8R}$; zur Bestimmung des Parameters p in der allgemeinen Parabelgleichung $y = px^2$ wird $x = \frac{a}{2}$ gesetzt, dann wird, weil nach Abb. 8 für diesen Fall $y = c$, $c = p \cdot (\frac{a}{2})^2$ oder $p = \frac{4c}{a^2}$; diesen Parameter in die Gleichung eingeführt, ergibt: $y = \frac{4c}{a^2} \cdot x^2$ oder unter Berücksichtigung des oben ermittelten Wertes für c: $y = \frac{x^2}{2R}$

$x' = \frac{a}{2}$ der Wert $y' = e$ und nach Einführung dieser Werte:
 $e = p' \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2$ wird; der Parameter $p' = \frac{4e}{a^2}$ und annäherungs-
 weise $x' = x$ gesetzt, ergibt
 $y' = \frac{4e}{a^2} \cdot x^2$; da aber nach Gleichung 1): $e = \frac{a^2 \cdot W}{8Z}$ ist, so wird
 3) . . . $y' = \frac{W}{2Z} \cdot x^2$ (Gleichung der Windabtriebslinie).

Mit genügender Genauigkeit kann aus Abb. 8 unter Be-
 achtung der verzerrten Aufzeichnung für den Abtrieb e' des
 Fahrdrabtes von der Bahn der Bügelmitte entnommen werden:

$$e' = e - y' + x' \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{b_1 + b_2}{2} - c + y;$$

da $\operatorname{tg} \varphi = \frac{b_1 - b_2}{a}$, so ergibt sich, wenn die für e , y' , c
 und y oben ermittelten Werte eingeführt werden,

$$4) \dots e' = \frac{a^2}{8} \left(\frac{W}{Z} - \frac{1}{R} \right) - \frac{x^2}{2} \left(\frac{W}{Z} - \frac{1}{R} \right) + \frac{b_1 + b_2}{2} + \frac{b_1 - b_2}{a} \cdot x.$$

Um den Höchstwert von e' (e'_{\max}) zu erhalten, wird die
 erste Ableitung der Gleichung 4) nach x gebildet und gleich
 Null gesetzt; das gibt:

$$4a) \dots \dots \dots x = \frac{b_1 - b_2}{a \left(\frac{W}{Z} - \frac{1}{R} \right)}$$

Da e'_{\max} durch die Bauart des Stromabnehmerbügels fest-
 gelegt ist ($= 0,75$ m), so kann mit Hilfe der Gleichung 4)
 nach Einsetzen des durch die erste Ableitung gefundenen
 Wertes von x der größte zulässige Mastabstand durch Auf-
 lösung dieser Gleichung nach a gefunden werden:

$$5) \left\{ \begin{aligned} a_I &= \sqrt{\frac{2Z}{W_I - \frac{Z}{R}} \left\{ 2e'_{\max} - b_1 - b_2 + \sqrt{(2e'_{\max} - b_1 - b_2)^2 - (b_1 - b_2)^2} \right\}} \\ &\text{und} \\ a_{II} &= \sqrt{\frac{2Z}{W_{II} + \frac{Z}{R}} \left\{ 2e'_{\max} - b_1 + b_2 + \sqrt{(2e'_{\max} + b_1 - b_2)^2 - (b_1 - b_2)^2} \right\}} \end{aligned} \right.$$

Der Windrichtung von W_I (vom Krümmungsmittelpunkt der
 Strecke aus) entspricht der Mastabstand a_I , der entgegengesetzten
 Windrichtung W_{II} der Mastabstand a_{II} .

b) Anwendung der Formeln.

Die Gleichungen 5) sind allgemein gültig; für die Ein-
 heitsfahrleitung der deutschen Reichsbahn ist wegen der gleich-
 mäßigen Abnutzung des Schleifstückes des Stromabnehmerbügels
 $b_1 = 0,6$ m zu setzen; der größte zulässige Windabtrieb e'_{\max}
 ist mit $0,75$ m vorgeschrieben; W_I und W_{II} sind durch die
 höchste auftretende Windgeschwindigkeit (31 m/sec) festgelegt.
 Da $Z = H' + H'' = 800 + 1000 = 1800$ kg durch die Ver-
 legungsvorschrift (bei $t = 5^\circ$ C) gegeben, R in jedem Einzel-
 falle bekannt ist, sind in den Gleichungen 5) nur mehr noch
 a und b_2 unbekannt Gröfsen; für den Fall, daß die Seiten-
 verschiebung des Fahrdrabtes nach beiden Richtungen gleich
 genommen wird ($\pm 0,6$ m), ist auch b_2 gegeben.

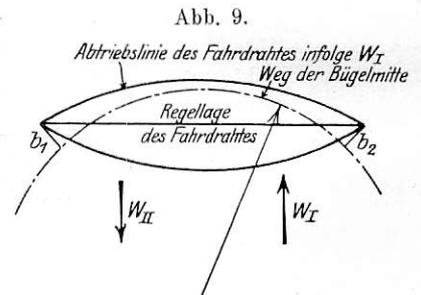
Im Schaubild Abb. 2, Taf. 24 sind entsprechend den
 beiden Windrichtungen für verschiedene Werte von $W_I - \frac{Z}{R}$
 und $W_{II} + \frac{Z}{R}$ die Linienscharen $a_I = F(b_2)$ und $a_{II} = F(b_2)$
 aufgetragen; die Hilfslinie $\frac{Z}{R} = F(R)$ in Abb. 4 der Tafel ge-
 stattet, die Gröfsen $\frac{Z}{R}$ für verschiedene Krümmungshalbmesser
 abzugreifen. Das Schaubild gibt für eine bestimmte Seitenver-
 schiebung b_2 die Mastabstände a für die in beiden Richtungen

aufkommenden Windstärken; der Ausführung muß der niedrigere
 Wert von a zugrunde gelegt werden. Innerhalb des in Betracht
 kommenden Bereiches von b_2 werden die Linien $a_I = F(b_2)$ und
 $a_{II} = F(b_2)$ sich schneiden oder nicht schneiden. Im ersten Falle
 gibt der Schnittpunkt der beiden Linien den höchstzulässigen
 Mastabstand und die zugehörige Seitenverschiebung b_2 . Schneiden
 sich die beiden Linien nicht, so liegt der Höchstwert von a ent-
 weder bei $b_2 = -0,6$ oder bei $b_2 = +0,6$. Ersteres tritt
 nur dann ein, wenn $\left(W_{II} + \frac{Z}{R} \right) < \left(W_I - \frac{Z}{R} \right)$, d. h. bei sehr

grofsen Krümmungshalbmessern der Bahnstrecke und grofsen
 Unterschieden in den Windstärken aus beiden Richtungen; in
 diesen besonderen Fällen muß, um das Schaulinienbild zur
 Ermittlung des günstigsten Mastabstandes verwenden zu können,
 der Wert für R — in diesem Falle entgegengesetzt der Wind-
 richtung W_I — negativ genommen werden. Bei kleinen Krüm-
 mungshalbmessern der Bahnstrecke liegt, wenn kein Schnittpunkt
 der Linien $a_I = F(b_2)$ und $a_{II} = F(b_2)$ vorhanden ist,
 der Höchstwert von a bei $b_2 = +0,6$; in diesem Falle ist
 also $b_1 = b_2$; dann vereinfachen sich die Gleichungen 5) zu:

$$6) \dots \dots \dots \left\{ \begin{aligned} a_I &= 2 \sqrt{\frac{2Z}{W_I - \frac{Z}{R}} (e'_{\max} - b_1)} \text{ und} \\ a_{II} &= 2 \sqrt{\frac{2Z}{W_{II} + \frac{Z}{R}} (e'_{\max} + b_1)} \end{aligned} \right.$$

Diese vereinfachten Beziehungen gestatten für den Fall
 $b_1 = b_2$ die Mastabstände unmittelbar in Abhängigkeit vom
 Krümmungshalbmesser zeichnerisch darzustellen; letzteres ist
 in Abb. 3 Taf. 24 für verschiedene Windstärken
 W_{II} geschehen; die Wind-
 stärken W_I , welche wie
 Abb. 9 zeigt, den Fahr-
 draht nach dem Wege
 der Bügelmitte zu treiben,
 kommen erst in Betracht,
 wenn der Krümmungs-
 halbmesser einen gewissen
 Grenzwert überschreitet;
 letzterer wird dann er-
 reicht, wenn



$$a = a_{II} \text{ oder } \frac{Z(e'_{\max} - b_1)}{W_I - \frac{Z}{R}} = \frac{Z(e'_{\max} + b_1)}{W_{II} + \frac{Z}{R}}$$

wird. Der jeweilige Grenzwert von R für bestimmte Werte
 von W_I und W_{II} ermittelt sich aus obigem zu:

$$R = \frac{2Ze'_{\max}}{(e'_{\max} + b_1)W_I - (e'_{\max} - b_1)W_{II}}$$

Diese Grenzwerte $R = F(W_{II})$ sind für bestimmte Werte
 von W_I in Abb. 3 Taf. 24 eingetragen; da diese Schaulinien
 nur für $b_1 = b_2 = +0,6$ gelten, sind für jene Werte von R ,
 welche gröfser sind als die durch die Grenzlinien $R = F$
 (W_{II}) gegebenen, die zulässigen Mastabstände aus Abb. 2 der
 Taf. 24 zu entnehmen. Dies hat auch für die gerade Strecke,
 d. h. für den Fall $R = \infty$, in welchem $\frac{Z}{R} = 0$ wird, zu ge-
 schehen, wobei zu beachten ist, daß der größte Wert der Wind-
 stärke mit W_{II} zu bezeichnen ist, da bei Ableitung der Formeln
 vorausgesetzt ist, daß die Richtung von W_{II} entgegengesetzt
 jener der Seitenverschiebung b_1 bzw. des Halbmessers R ist.

Für gleiche Windstärken in beiden Richtungen ($W_I = W_{II}$)
 und $R = \infty$ fallen, wie der Abb. 1 ohne weiteres zu entnehmen
 ist, die Schnitte der Linien $a_I = F(b_2)$ und $a_{II} = F(b_2)$ auf
 die in $b_2 = -0,6$ errichtete Lotrechte.

c) Beispiele für die Benützung der Schaulinientafel (Taf. 24).

α) Grade Bahnstrecke, an einem Berghang verlaufend, auf der einen Seite windgeschützt; einseitige größte Windbelastung mit 31 m/sec; $W_{II} = 1,6$ kg/m; $W_I = 0,5$ kg/m (entsprechend einer Windstärke von 17,3 m/sec); in Abb. 2 Taf. 24 schneiden sich die Linien $W_{II} = 1,6$ kg/m und $W_I = 0,5$ kg/m in einem Punkt, für welchen $a = 99,5$ m und $b_2 = +0,13$ m ist. Soll trotz der windgeschützten Lage $b_2 = -0,6$ m gemacht werden (gleiche Zickzackführung nach beiden Seiten), so ist der Abstand a auf 73 m zu verringern; d. h. W_I könnte, wie aus Abb. 1 zu entnehmen, in diesem Falle bis auf die Größe von $W_{II} = 1,6$ kg/m anwachsen; die windgeschützte Lage der Strecke ist aber für $b_2 = -0,6$ m nicht ausgenützt; die Anwendung der gleichen Seitenverschiebung müßte demnach mit einem um 26,5 m geringeren Mastabstand erkauft werden.

β) Gekrümmte Strecke, auf der einen Seite windgeschützt. $R = 1800$ m; $W_I = 1,6$ kg/m; $W_{II} = 0,8$. Nach Abb. 2 Taf. 24 ist $\frac{Z}{R} = 1,0$; also: $W_I - \frac{Z}{R} = 1,6 - 1,0 = 0,6$ kg/m; $W_{II} + \frac{Z}{R} = 0,8 + 1,0 = 1,8$ kg/m; aus Abb. 1 ergibt sich der Schnittpunkt der Linien $W_I - \frac{Z}{R} = 0,6$ und $W_{II} + \frac{Z}{R} = 1,8$ als Wert für den Mastabstand $a = 93$ m bei einer Seitenverschiebung von $b_2 = +0,08$ m. Wird — wie bisher üblich — in Krümmungen die Seitenverschiebung $b_2 = +0,6$ m ausgeführt, dann muß der Mastabstand a , wie aus Abb. 1 zu entnehmen, auf 60 m verkürzt werden.

γ) Ist die windgeschützte Seite der Strecke die entgegengesetzte wie im Beispiel β, also $W_I = 0,8$ und $W_{II} = 1,6$, so ergibt sich: $W_I - \frac{Z}{R} = 0,8 - 1,0 = -0,2$ kg/m; $W_{II} + \frac{Z}{R} = 1,6 + 1,0 = 2,6$ kg/m; die Linie $(W_I - \frac{Z}{R})$ ist in dem bis 150 m Mastabstand gezeichneten Schaubild nicht mehr enthalten; entscheidend für den Abstand ist demnach die Linie $W_{II} + \frac{Z}{R}$; diese schneidet auf der Lotrechten $b_2 = +0,6$ m R den Mastabstand von 86,5 m ab. Dieser hätte auch unmittelbar aus Abb. 2 abgelesen werden können für $R = 1800$ m und $W_{II} = 1,6$ kg/m, weil die Grenzlinie $W_I = 0,8$ kg/m einem größeren Werte von R entspricht als 1800 m.

δ) Grade Strecke mit gleicher Windbelastung auf beiden Seiten: $W_I = W_{II} = 1,6$ kg/m; aus dem Schaubild wird $a = 73$ m bei $b_2 = -0,6$ m entnommen. Wird die Bahnlinie so verlegt, daß ein Gleisbogen mit $R = 1400$ m eingeschaltet wird, so ergibt sich aus Abb. 2 für diesen Halbmesser ein Abstand von 82 m bei $b_2 = +0,6$; bei gleicher Windstärke in beiden Richtungen kann also der Mastabstand bei dieser Krümmung größer als in der Geraden gewählt werden; dies hat seinen Grund darin, daß im vorliegenden Falle die Fahrdraglege in der Mitte der Spannweite nahezu mit dem Wege der Bügelmitte zusammenfällt (Tangente im Grundriß) und außerdem der größte Abtrieb der Fahrleitung in der Geraden nicht in der Mitte der Spannweite liegt, sondern wie Abb. 10 zeigt, von diesem um einen Abstand x'' verschoben ist, der sich aus Gleichung 4a), wenn $b_2 = -b_1$ und $R = \infty$ gesetzt wird, ermittelt zu:

$$x'' = \frac{2 b_1 \cdot Z}{a \cdot W}$$

Die vorstehenden Beispiele haben den bedeutenden Einfluß der Größe der Seitenverschiebung auf den Mastabstand bereits dargetan; wird in graden Streckenabschnitten oder in solchen mit großen Krümmungshalbmessern an dem wegen der gleichmäßigen Abnützung des Stromabnehmerbügels üblichen, nach beiden Seiten gleich großen Zickzack von 0,6 m fest-

gehalten, so ist dies mit Rücksicht auf den Windabtrieb nur dann begründet, wenn $W_{II} = W_I$ ist. In allen Fällen, in denen $W_{II} > W_I$, kann durch Verringerung der Seitenverschiebung b der Mastabstand erheblich vergrößert, an Eisenaufwand für die Streckenausrüstung also gespart werden; die Verminderung des Zickzacks läuft praktisch auf ein Verschieben der Fahrleitung entgegen der Richtung der stärksten Windbelastung hinaus.

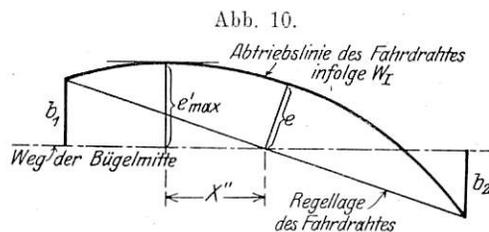
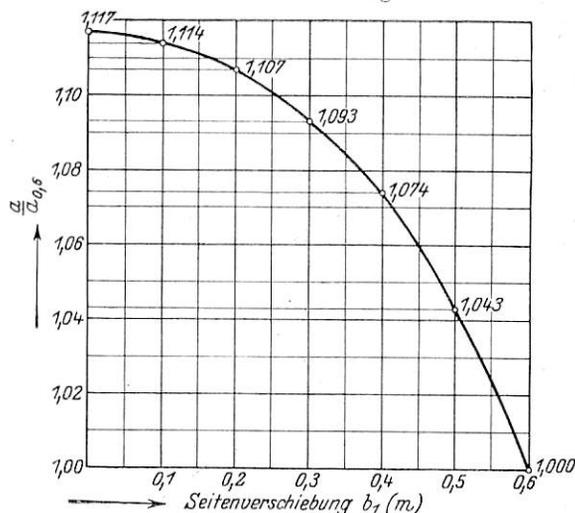


Abb. 10.

δ) Einfluß der Seitenverschiebung und der Zugspannung des Fahrdralles auf den Mastabstand.

Diese Erkenntnis kann außerdem besonders dort vorteilhaft verwendet werden, wo bei Anlage der Fahrleitung Fehlgriffe in der Einschätzung der aufkommenden Winde unterlaufen sind oder ein böenartiges Auftreten derselben auf das bestehende Kettenwerk infolge der örtlichen Verhältnisse zur besonderen Vorsicht zwingt. Den Einfluß der Änderung der Seitenverschiebung in der graden Strecke zeigt Abb. 11, in welcher das Verhältnis $\frac{a}{a_{0,6}}$ in Abhängigkeit von der Seitenverschiebung b_1 aufgetragen ist. Die Werte der Verhältnisl Linie sind ermittelt, indem in Abb. 11. Einfluß der Seitenverschiebung auf den Mastabstand.



Gleichung 5) $R = \infty$, $W_I = W_{II}$, $b_1 = -b_2$, $e'_{max} = 0,75$ m eingeführt, in der hierdurch erhaltenen vereinfachten Beziehung, nämlich:

$$7) \dots a = 2 \sqrt{\frac{Z}{W} (0,75 + \sqrt{0,5625 - b_1^2})}$$

$b_1 = 0,6$ m gesetzt und das Verhältnis

$$\frac{a}{a_{0,6}} = \sqrt{\frac{0,75 + \sqrt{0,5625 - b_1^2}}{1,2}}$$

für verschiedene Werte von b_1 gebildet wird.

Gegenüber den älteren Bauformen ist ferner bei der Einheitsfahrleitung die Zugspannung im Fahrdralle erheblich vergrößert worden; damit besteht die Möglichkeit den Mastabstand bei gleichem Höchstwert des Windabtriebes zu vergrößern. Der Einfluß der Höhe der Zugspannung H'' wird erkennbar, wenn mit Hilfe der für den Fall der graden Strecke vereinfachten Gleichung 7) das Verhältnis $\frac{a}{a_{1800}}$ gebildet wird.

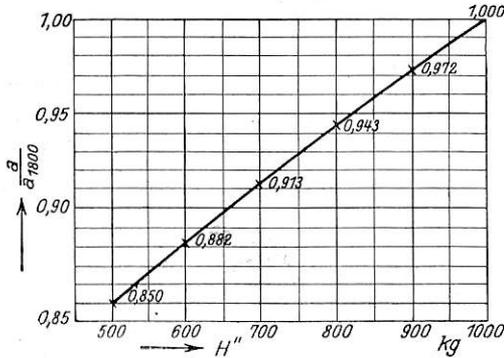
Da $Z = H' + H'' = 800 + H''$ gesetzt werden kann, ergibt sich:

$$\frac{a}{a_{1800}} = \sqrt{\frac{800 + H''}{1800}}$$

Die hieraus für verschiedene Zugspannungen im Fahrdraht sich ergebenden Verhältniswerte sind in Abb. 12 dargestellt; die Gefahr eines zu großen Windantriebes bei älteren Bauformen der Fahrleitung kann demnach durch Erhöhung der Zugspannung im Fahrdraht mit Erfolg dort bekämpft werden, wo der Sicherheitsgrad der Eisenbauteile die Erhöhung des Fahrdratzuges zulässt.

Abb. 12.

Einfluss der Zugspannung im Fahrdraht auf den Mastabstand.



C. Beanspruchung der seitlichen Festlegung durch Fahrdratzug und Wind.

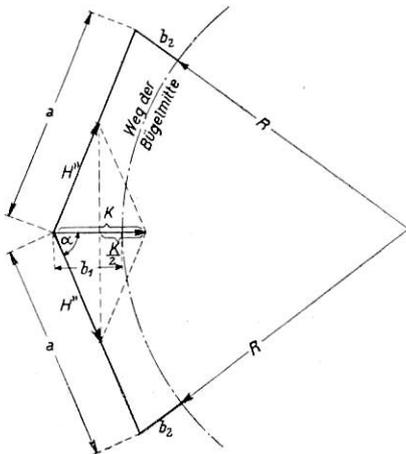
Die Querlage des Fahrdrahtes innerhalb der durch Stromabnehmerbügel und Windbelastung gesteckten Grenzen festzuhalten, dient die seitliche Festlegung. Ihre Bauform muß das Wandern des Fahrdrahtes infolge der Wärmeschwankungen und die Änderungen in der Höhenlage des Fahrdrahtes infolge des Bügeldruckes zulassen. Die Beanspruchung P der Stützstrebe setzt sich zusammen aus der Einwirkung des Fahrdratzuges und des Winddruckes auf den Fahrdraht, kann also gesetzt werden:

$$P = K + a \cdot W_F;$$

die Belastung K ermittelt sich aus Abb. 13 zu

$$K = 2 H'' \cdot \cos \alpha.$$

Abb. 13.



Nach dem Kosinussatz kann gesetzt werden:

$$(R + b_2)^2 = (R + b_1)^2 + a^2 - 2a(R + b_2) \cos \alpha;$$

durch Auflösung nach $\cos \alpha$ und Vernachlässigung des Gliedes $(b_1^2 - b_2^2)$, das gegenüber R sehr klein ist, wird als Gleichung für die Beanspruchung der seitlichen Festlegung erhalten:

$$8) \dots P = H'' \cdot \frac{a^2 + 2R(b_1 - b_2)}{aR} + a \cdot W_F.$$

Für den Fall gleicher Seitenverschiebung, also $b_1 = b_2$ wird die bekannte Beziehung

$$P = H'' \cdot \frac{a}{R} + a \cdot W_F,$$

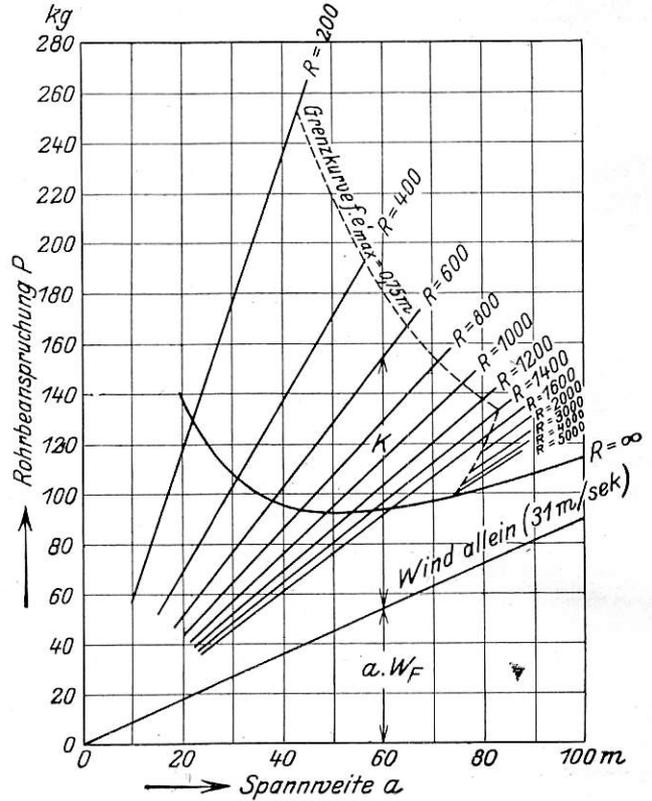
für die grade Strecke, also $R = \infty$, die Gleichung

$$P = H'' \cdot \frac{2(b_1 - b_2)}{a} + a \cdot W_F$$

erhalten.

Für die bei der Einheitsfahrleitung angenommene höchste Windbelastung (31 m/sec) ist in Abb. 14 die Beanspruchung der Stützstrebe für verschiedene Halbmesser des Bügelweges in Abhängigkeit von dem Mastabstande a aufgetragen. Die für $e'_{max} = 0,75$ m dargestellte Grenzlinie ist hierbei auf die nach Taf. 24 ermittelten zulässigen Höchstwerte der Mastabstände bezogen.

Abb. 14. Beanspruchung des Stützrohres der seitlichen Festlegung

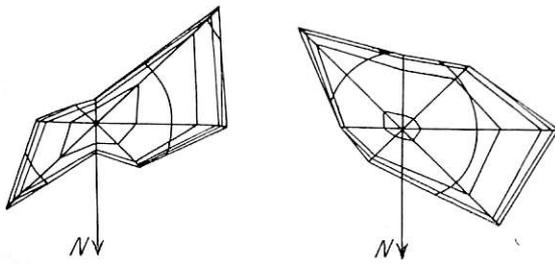


Schlussbemerkung.

Die Untersuchungen zeigen, daß der Einfluss der Windbelastung auf das Verhalten des Kettenwerkes einer Fahrleitung und deren Betriebssicherheit von ausschlaggebender Bedeutung ist. Die Erfahrungen, namentlich auf den in Schlesien elektrisch betriebenen Strecken, an welchen Mastabstände von 90 bis 100 m bei Einführung des elektrischen Betriebes angewendet wurden, haben zudem ergeben, daß bei sehr heftigen Stürmen der Fahrdraht so stark abgetrieben wurde, daß der elektrische Betrieb zeitweise eingestellt und nachträglich zwischen je zwei Masten eine besondere Tragvorrichtung zur seitlichen Festlegung des Kettenwerkes eingebaut werden mußte. Der Ermittlung der Windstärken, welche an den zur Einführung des elektrischen Betriebes in Aussicht genommenen Strecken zeitweise aufkommen, ist daher mehr als bisher das Augenmerk zuzuwenden. Hierzu können die Beobachtungen der Landeswetterwarten und die Angaben von Windmessern, die an geeigneten Stellen der Strecke angebracht, von Zeit zu Zeit ihren Standort wechseln, verwertet werden. Im besonderen werden jene Streckenabschnitte herauszusuchen sein, an welchen die Spitzenwerte der auftretenden Windstärken infolge des Verlaufes der Eisenbahnlagen und der örtlichen Lage verhältnismäßig gering sind und die für die Einheitsfahrleitung zugrunde gelegte höchste Windgeschwindigkeit von 31 m/sec nicht erreicht werden kann. In solchen Abschnitten können die Mastabstände unbedenklich entsprechend den Spitzenwerten der Winde vergrößert und damit erhebliche

Baukosten erspart werden. Die einheitliche Festlegung von Windstärken für die elektrische Streckenausrüstung ist aus wirtschaftlichen Gründen nicht angebracht; denn die meteorologischen Verhältnisse in den einzelnen Landstrichen sind häufig voneinander grundverschieden. Ein Beispiel hierfür bieten die in Abb. 15 wiedergegebenen »Windrosen«*) für die Beobach-

Abb. 15.



*) Aus Assmann, „Die Winde in Deutschland.“

tungsstellen Breslau und München. Die Windrosen sind so aufgebaut, daß auf jeder der acht Hauptrichtungen zunächst die Anteile der Geschwindigkeitsstufen von 0—2 m/sec an den einzelnen Windrichtungen vom Mittelpunkt ausgehend in einem bestimmten Maßstabe ($1 \text{ m} = 1\%$) abgetragen und die Endpunkte dieser Abschnitte miteinander verbunden sind; hieran anschließend ist die zweite Stärkestufe (2—5 m/sec) im gleichen Maßstabe aufgetragen usw.; die Häufigkeiten der einzelnen Geschwindigkeitsgruppen sind also auf den Strahlen für die Hauptwindrichtungen zusammengezählt. Dies ergibt die Häufigkeit der einzelnen Windrichtungen; die Begrenzungslinien der Windrosen stellen somit die Windverteilung nach den einzelnen Richtungen dar, die Längen der abgeschnittenen Teile der Strahlen die Häufigkeit der einzelnen Windgruppen. Die letzteren über den Schwellenwert von 15 m/sec hinaus zu ergänzen, muß mit Rücksicht auf den Bau der Fahrleitungen unbedingt angestrebt werden, wenn eine wirtschaftliche Einteilung der Mastabstände erzielt werden soll.

Betrachtungen zur Elektrisierung der Berliner Stadt- und Vorortbahnen.

Von Regierungsbaurat Schlemmer, Berlin.

Hierzu Abb. 9 und 10 auf Tafel 21.

Das schnelle Wachstum Berlins zu Anfang des Jahrhunderts und die ständige Zunahme des Verkehrs führten schon in den ersten Tagen der elektrischen Zugförderung bei den maßgebenden Stellen der damaligen Preussischen Staatsbahn zu der Überzeugung, daß mit den bisherigen technischen Mitteln der Verkehr nicht mehr bewältigt werden könne. Insbesondere war es der weitschauende Vorkämpfer für die elektrische Zugförderung Dr. Ing. e. h. Wittfeld, der die technischen Entwicklungsmöglichkeiten des elektrischen Zugbetriebes erkannte und es durchsetzte, daß der preussische Landtag sich mit der Mittelbewilligung für die Einrichtung der elektrischen Zugförderung auf den Berliner Stadt- und Vorortbahnen befaßte.

Das war damals ein Wagnis, denn die Erfahrungen mit dem elektrischen Betriebe waren gering und die Berliner Stadtbahn war ein Zuschußbetrieb, so daß wenig Neigung vorhanden war, in das unrentable Unternehmen noch weiter Geld hineinzustecken. Außerdem wehrte sich die Dampflokomotivindustrie mit einer heute kaum noch verständlichen Hartnäckigkeit gegen den Gedanken, einen Teil des von ihr bis dahin beherrschten Arbeitsgebietes aufzugeben. Die Schonung der wertvollen Kohlenvorräte stand noch nicht so im Vordergrund der wärmetechnischen Erwägungen und es konnte noch nicht mit der gleichen Sicherheit wie heute versprochen werden, daß durch Einführung der neuen Betriebskraft der jährliche Verlust verschwinden würde.

Es begann nun ein jahrelanger Kampf, bei dem das fortwährende weitere Anwachsen des Verkehrs, die Erfolge der elektrischen Zugförderung in anderen Ländern und die dem Großstadtverkehr in vorzüglicher Weise angepaßte Betriebsführung der Hoch- und Untergrundbahnen den Gedanken, auch die Stadtbahn elektrisch zu betreiben, in immer weitere Kreise trug. Die Anschauung der leitenden Stellen, daß eine Verkehrsverwaltung nicht vor allen Dingen unmittelbar Geld verdienen müsse, sondern den Bedürfnissen der Bevölkerung zu dienen habe, führte schließlich zu dem Entschluß, das große Werk in Angriff zu nehmen.

Um die Einheitlichkeit des gesamten Bahnnetzes nicht zu stören, wurde zunächst Einphasen-Wechselstrom von $16\frac{2}{3}$ Perioden vorgeschlagen. Die Beförderung der Züge sollte durch zweiachsige Triebgestelle, kleine elektrische Lokomotiven ohne Führerstand erfolgen, die vor und hinter die vorhandenen Züge gestellt und vom Führerstandsabteil des Zuges aus gemeinsam gesteuert werden sollten. Auf diese Weise hoffte man, den vorhandenen Wagenpark weiter verwenden und das Anlagekapital verringern zu können.

Zur Energieversorgung wollte man zuerst ein oder zwei Großkraftwerke in Berlin selbst bauen, um sich die Kon-

kurrenz der westfälischen, oberschlesischen und englischen Steinkohle zunutze zu machen. Die sich immer mehr vertiefende Erkenntnis, daß unsere hochwertigen Steinkohlen geschont werden müßten, führte dazu, daß große Braunkohlenfelder im Bitterfelder und Lausitzer Kohlenrevier erworben wurden, um auf dieser Basis die Kraftwerke zu errichten.

Der Gedanke, den alten Wagenpark zu behalten und mit Triebgestellen zu betreiben, wurde aufgegeben. Zwar hatten Versuchsausführungen die technische Möglichkeit bewiesen, aber die bei weiterer Verkehrssteigerung notwendige Erhöhung der Anfahrbeschleunigung schien doch nur mit einer größeren Anzahl von Triebachsen also mit Triebwagenbetrieb erreichbar. Weiter unten angeführte Gründe sprachen für Annahme eines neuen Wagentyps.

Die von verschiedenen Gleichstrom-Schnellbahnunternehmungen, vor allen der Berliner Hoch- und Untergrundbahn, erzielten wirtschaftlichen Erfolge und die unterdessen gesammelten Erfahrungen mit dem Wechselstrombahnsystem gaben neue Grundlagen für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung. Diese zeigte, daß für Berliner Verhältnisse Gleichstrom-Triebwagenbetrieb das Gegebene sei. Aus weiter unten erörterten Gründen, wählte man die von der Berliner Hochbahn angewendete Spannung von 800 Volt und Stromzuführung mit dritter Schiene.

Leider hat die ungünstige Finanzlage des Reiches die Arbeiten sehr verlangsamt. Immerhin konnte die Umstellung des Betriebes auf den Berliner Vorortstrecken weiter geführt werden. In diesen Tagen wird der elektrische Betrieb Berlin—Bernau eröffnet. Die Strecke Berlin—Oranienburg wird zur Zeit ausgerüstet und es kann mit dem Beginn des elektrischen Betriebes im Frühjahr nächsten Jahres gerechnet werden. Die Ausrüstung der Strecke Berlin—Tegel ist in Vorbereitung.

Die Umgestaltung aller Verhältnisse nach dem Kriege brachte zwar eine gewaltige Verkehrssteigerung in Groß-Berlin. Immerhin konnte es unsicher erscheinen, ob die Verkehrsentwicklung in der bisherigen Weise weiter gehen würde, um so mehr als gegen Ende des Krieges schon von manchen Seiten die Ansicht vertreten wurde, daß die Entwicklung der Großstädte überhaupt zu einem gewissen Abschluß gekommen sei und daß die bei weiterer Entwicklung der Verkehrstechnik an sich mögliche verteilte Siedlung weiterhin den Bahnen die Aufgaben des Personenverkehrs stellen würde. Diese Meinung kann indessen als überholt bezeichnet werden. Die Entwicklung der Großstädte hat sich zwar verlangsamt, die Anzahl der Fahrten auf den Kopf der Bevölkerung und die von den Einzelnen zurückgelegte Durchschnittsentfernung ist dagegen in ständiger Zunahme begriffen. Dabei nimmt die Bevölkerungsdichte im Innern der Stadt eher ab als zu und es vollzieht sich eine immer schärfere Trennung zwischen

Geschäfts- und Arbeitsstadt einerseits und Wohnstadt andererseits. Mit dieser Erscheinung hängt es zusammen, daß die Verkehrsbelastung aller städtischen Verkehrsmittel während der einzelnen Tagesstunden sehr verschieden ist. Man hat es mit einer ausgesprochenen Gezeitenbildung zu tun, deren Verlauf ausschließlich vom Berufsverkehr bestimmt wird. Bei der in Abb. 9, Taf. 21 wiedergegebenen Belastungskurve, die den Energiebedarf der Sammelschiene des Kraftverkehrs für die Stadt-, Ring- und Vorortbahnen darstellt, lassen sich zwei Spitzen, die durch den Berufsverkehr verursacht werden, deutlich erkennen. Die Hauptbelastungen liegen zwischen 6 und 8 Uhr morgens und 5 bis 7 Uhr abends. In der Mittagszeit findet sich eine geringere Verkehrssteigerung, die durch die hier und da noch vorhandene Mittagspause in den Betrieben verursacht wird. Nachts ist eine Betriebspause von 2 bis 4 Stunden eingelegt, die Instandsetzungsarbeiten an den nichtbesetzten Strecken ermöglicht. Die Art der Tagesbelastung beeinflusst natürlich die Wirtschaftlichkeit der Betriebe ungünstig, denn sie verlangt Bereitstellung einer hohen Spitzenleistung sowohl an Betriebskraft, wie an Betriebsmitteln, die nur kurzzeitig ausgenutzt wird. Die, wie gesagt, alle Berliner Verkehrsunternehmungen betreffenden Schwankungen zeigen sich auf den Stadt-, Ring- und Vorortbahnen infolge der Lage und Ausdehnung dieses Netzes in besonders ausgeprägter Weise.

Das Netz der Berliner Stadt-, Ring- und Vorortbahn umfaßt die Strecken der eigentlichen Stadtbahn, die durch die Hauptverkehrspunkte der inneren Stadt führen, die Ringbahn und die eigentlichen Vorortbahnen. Die gesamte zu elektrisierende Gleislänge beträgt 365 km Einfachgleis. Schon die Betrachtung des Streckenplanes zeigte, daß eine betriebliche Trennung zwischen Stadt- und Vorortbahn nicht möglich ist. Das gilt besonders für die vom Osten und Westen her auf die Stadtbahn einmündenden Linien. Aber auch die Nordstrecken, die Wannseebahn usw., haben in ihren Anfangsteilen Stadtbahn-Charakter. Während im Innern der Stadt die Stationentfernung 0,6 bis 1,5 km beträgt, bilden bei den eigentlichen Vorortstrecken Stationsentfernungen von 3 bis 5 km die Regel, vereinzelt kommen Entfernungen bis 8 km vor. Diese untrennbare Kupplung von Stadtbahn- und fernbahnähnlichem Betrieb erschwert die Wahl der Betriebsmittel außerordentlich. Fernbahnbetrieb verlangt hohe Reisegeschwindigkeit und große Anzahl der Sitzplätze im Verhältnis zur Anzahl der Stehplätze. Stadtbahnbetrieb bedarf der hohen Reisegeschwindigkeit nicht, große Anfahrbeschleunigung und großer Fassungsraum der Züge ist hier die erste Forderung. Wegen der Kürze der zurückgelegten Strecke kann die Anzahl der Sitzplätze zugunsten der Stehplätze stark vermindert werden. Daraus ergibt sich, daß Kompromisse geschlossen werden müssen für die andere Stadtbahnen nicht recht als Vorbilder zu brauchen sind.

Die Energieversorgung für dies bedeutende Bahnnetz, die die wirtschaftliche Grundlage des ganzen Unternehmens bildet, musste bei der Planung mit besonderer Vorsicht behandelt werden. Bei den zahlreichen Projekten der Vorkriegszeit war als selbstverständlich vorausgesetzt, daß ein eigenes Kraftwerk errichtet werden sollte. Die stürmische Entwicklung der Überlandkraftversorgung während des Krieges und in den ersten Nachkriegsjahren, konnte den Gedanken vorteilhaft erscheinen lassen, die Berliner Bahnen an das allgemeine Landesversorgungsnetz anzuschließen. Es sprach dafür die Verminderung des Anlagekapitals und eine scheinbare Verminderung des Risikos bei einer Umgestaltung, die ohnehin eine Menge neuer technischer Aufgaben mit sich brachte. Eine eingehende Prüfung, die von genauen Wirtschaftlichkeitsrechnungen unterstützt wurde, führte indessen zu dem Entschluss, eine eigene Kraftversorgung vorzusehen. Von dem ausschlaggebenden Gesichtspunkten seien hier nur einige angeführt: Die Eigentümlichkeit der Tagesbelastungskurven stellt an das Elektrizitätswerk besondere An-

forderungen, die in wirtschaftlicher Weise nur von einem Werk erfüllt werden können, das von vornherein für diesen Zweck eingerichtet worden ist. Die gute Wirtschaftlichkeit der bekannten großen Kraftwerke Mitteldeutschlands beruht ja auf der außerordentlich hohen Benutzungsdauer der aufgestellten Maschinensätze. Der Anschluß des Berliner Bahnnetzes an ein solches Werk wird also die Wirtschaftlichkeit desselben ganz erheblich stören und man wird genötigt sein, einen verhältnismäßig hohen Strompreis zu bezahlen. Da an eine Speicherung mit Akkumulatoren für einen so großen Bahnbetrieb aus wirtschaftlichen Gründen nicht gedacht werden kann, hat jeder Betriebsvorgang im Zugförderungsdienst unmittelbaren Einfluss auf das Kraftwerk. Dieses muß daher so eng mit dem Betrieb gekuppelt werden, daß der Bahnbetrieb jederzeit in der Lage ist, diesen Einfluss geltend zu machen. Ferner muß das Bahnkraftwerk der Streikgefahr soweit als irgend möglich entzogen werden; denn eine streikende Kraftwerks-Belegschaft hat es in der Tat in der Hand, einen großen Teil der Berliner Arbeiter am Erreichen ihrer Arbeitsstelle zu hindern und damit erhebliche Teile der Berliner Industrie lahm zu legen. Ein bahneigenes Kraftwerk muß daher von vornherein so angelegt werden, daß es mit ganz wenig Arbeitskräften, im Notfall mit den Werkingenieuren, im Betrieb gehalten werden kann.

Wie oben erwähnt, besitzt die Reichsbahnverwaltung große Braunkohlenfelder im Bitterfelder und Lausitzer Revier. Es lag nahe, nach dem Vorbild von Golpa und anderen Großkraftwerken die Stromerzeugung in unmittelbarer Nähe der Braunkohlengrube vorzunehmen. Eine genaue Durchrechnung der in Betracht kommenden Verhältnisse hatte indessen das überraschende Resultat, daß es wirtschaftlicher ist, die Braunkohle über verhältnismäßig große Entfernungen mit der Bahn zu befördern und das Kraftwerk an eine Stelle zu verlegen, wo so viel Wasser zur Verfügung steht, daß Durchlaufkondensation ohne Rückkühlung des Kühlwassers möglich ist. Der auf diesem Wege im Kraftwerk erzielbare Wärmegewinn von 6% bis 10% überwiegt die Transportkosten in dem Maße, daß sogar ein Transport der Braunkohle vom Lausitzer oder Bitterfelder Revier bis Berlin wirtschaftlich vertretbar ist. Voraussetzung hierfür ist, daß der Transport in geschlossenen Zügen von Großraum-Selbstentladern vorgenommen wird. Aus naheliegenden Gründen kann über den gewählten Standort für das Kraftwerk zur Zeit nichts mitgeteilt werden. Voraussichtlich wird ein Mittelweg eingeschlagen und das Kraftwerk an den nächsten, von der Braunkohlengrube aus mit Eisenbahnen zu erreichenden größeren Wasserlauf gelegt werden. In dem Kraftwerk werden etwa 100 000 Kilo-Watt installiert werden. Die Zuführung der Energie an das Berliner Bahnnetz wird in einer Spannung von 100 Kilo-Volt auf zwei getrennten Gestängen erfolgen.

Wie eingangs erwähnt, ist Gleichstrom für den Betrieb der Bahn gewählt worden, daher ist für die Erzeugung und Verteilung der Energie-Drehstrom das Gegebene. Über die Wahl des Stromsystems ist ja im Laufe der Jahre eine so umfangreiche Literatur entstanden, daß es sich erübrigt, auf diese Frage an dieser Stelle näher einzugehen. Es sei nur kurz darauf hingewiesen, daß das Wechselstrom-Bahnssystem infolge der Billigkeit und Einfachheit der Stromverteilungs-Anlage für Fernbahnen besonders geeignet ist. Im Stadt- und Vorortbahnbetrieb steht dagegen der Kapitalaufwand für die Fahrzeuge an erster Stelle. Dieser wird bei Gleichstrom wesentlich geringer. Ferner werden die Fahrzeugausrüstungen bei Gleichstrom wesentlich leichter und damit der zur Bewegung der Fahrzeuge erforderliche Arbeitsaufwand kleiner. Als Nebengesichtspunkt kommt hinzu, daß die Schutzmaßnahmen, die beim Wechselstrom-Bahnssystem an den Fernmeldeleitungen zu treffen sind, bei dem dichten Telephon- und Telegraphennetz Berlins sehr hohe Aufwendungen verlangt hätten.

Nachdem man sich für Gleichstrom entschieden hatte, blieb noch die Höhe der Spannung und die Art der Zuführung des Stromes (Fahrleitung oder dritte Schiene) festzulegen. Für eine Spannung von 1 500 bis 3 000 Volt sprach die große Betriebslänge des Netzes, andererseits sind die Erfahrungen mit den hohen Gleichstromspannungen nicht durchweg günstig, so daß man aus Gründen der Betriebssicherheit eine Spannung von etwa 1 200 Volt in Betracht zog. Dieser Wert schien mit Rücksicht auf die großen Entfernungen und die verhältnismäßig geringe Anzahl der erforderlichen Umformerwerke als sehr günstig gegriffen. Wenn man trotzdem endgültig auf die geringe Spannung von 800 Volt gelangt ist, so waren ausschließliche Gründe der Betriebssicherheit maßgebend.

Der außerordentlich dichte Verkehr auf den Berliner Stadt- und Ringbahnen läßt die Unterhaltung einer Fahrdrachanlage, die ja fast ausschließlich von einem Fahrzeug unter Benutzung des Betriebsgleises erfolgen muß, untunlich erscheinen. Von diesem Gesichtspunkt aus war also für Stromzuführung eine sogenannte dritte Schiene zu wählen. Für diese ist aber 1 200 Volt schon reichlich unbequem. Die Ausbildung der Isolatoren ist für diese Spannung schwierig und teuer, die Gefährdung der Streckenarbeiter wesentlich höher als bei 800 Volt. Für 800 Volt sprach besonders der Umstand, daß mit dieser Spannung bei den Hochbahnen von Berlin und Hamburg günstige Erfahrungen vorlagen, deren Ergebnisse unmittelbar verwendet werden konnten. Die größere Anzahl der Umformerwerke kann um so mehr in Kauf genommen werden, als die neue Entwicklung der Gleichrichter eine große Vereinfachung dieser Anlagen bringen wird. Schließlich ist nicht zu verkennen, daß eine einheitliche Spannung für alle Schnellverkehrsmittel Groß-Berlins in der Zukunft große Vorteile bringen kann.

Die geplante Energie-Verteilung ist auf dem Plan Seite 207 dargestellt. In den Knotenpunkten der Stadt- und Ringbahn im Westen und Osten ist je ein großes Umspannwerk vorgesehen, das die Spannung des Drehstroms von 100 000 Volt auf 30 000 Volt herabsetzt und ein längs der einzelnen Strecken verlegtes Kabelnetz speist, an das die einzelnen Umformerstationen angeschlossen sind. Alle Verbindungskabel sind doppelt vorhanden und die Querschnitte sind so gewählt, daß bei einem Ausfall des einen Kabels das andere allein die volle Leistung übernehmen kann. Für die Umformerwerke sind vorläufig Einanker-Umformer vorgesehen, es ist aber zu erwarten, daß bei weiterer Entwicklung der Groß-Gleichrichter man zum großen Teil auf diese zurückgreifen wird. Die Leistungen der einzelnen Umformerwerke sind beträchtlich, so sollen für Eichkamp und Rummelsburg sieben Einheiten zu je 2 500 Kilowatt, für Tiergarten, Alexanderplatz, Beuselstraße, Prenzlauer-Allee, Ebersstraße je fünf Einheiten zu 2 500 Kilowatt aufgestellt werden. Die kleinsten Umformerstationen enthalten drei Einheiten zu 1 000 Kilowatt. Die Stromschiene soll eine Weicheisenschiene von einer Leitfähigkeit von 8—8,5 sowie einen Querschnitt von 5 100 qmm erhalten.

An den Stellen des stärksten Verkehrs im Innern der Stadt muß diese Schiene späterhin durch Kupferauflagen verstärkt werden. Der Isolator ist so gestaltet, daß genügend Platz für die Unterbringung einer Flach-Kupferschiene vorhanden ist. Um die Gefahr der Korrosionen von Wasserleitungen, Gasleitungen und Kabeln zu vermindern, ist im Innern der Stadt Dreileiter-Betrieb vorgesehen, hierbei hat die Stromschiene des einen Gleises plus 800 Volt, die Stromschiene der Gegenrichtung minus 800 Volt Spannung, während die Fahrschienen das Potential Null haben. Auf den Außenstrecken, bei denen infolge des dünneren Verkehrs ein Lastausgleich auf den Gleisen beider Fahrrichtungen nicht vorhanden ist, wird Zweileiter-Betrieb angewendet. Zur Rückleitung werden nicht nur die Vorortgleise, sondern fast überall

die parallel laufenden Ferngleise mit herangezogen. Der außerordentliche große Querschnitt, der zur Rückleitung zur Verfügung steht, wird zur Folge haben, daß die Spannung der Schiene gegen Erde immer gering bleiben wird, so daß ein Abirren stärkerer Ströme nicht zu befürchten ist. Da der gesamte Unterbau auf Holzschwellen und Schotter liegen wird, ist für eine gute Isolation der Schienen gegen Erde gesorgt. Der große Rückleitungs-Querschnitt bringt im übrigen mit sich, daß der Spannungsabfall im Dreileiter-Bezirk entgegen der landläufigen Annahme höher ist, als im Zweileiter-Bezirk. Da Einrichtungen für den Dreileiter-Betrieb in den Unterwerken betrieblich unbequem und teuer sind, wird untersucht werden müssen, ob nicht auch im inneren Stadtbezirk mit Zweileiter-Anordnung gefahren werden kann, wenn nach dem Vorschlag von Brauns der negative Pol an die Stromschiene gelegt wird, oder die Polarität der Stromschienen täglich gewechselt wird.

Der große Kapitalaufwand, den die Elektrisierung des Berliner Netzes erfordert, läßt sich nur rechtfertigen, wenn man von vornherein alle Einrichtungen so vorsieht, daß die technischen Mittel der Verkehrsentwicklung bis an die praktisch mögliche Grenze folgen können. Daß dies beim Dampfbetrieb nicht mehr möglich war, geht aus der Tatsache hervor, daß die Anzahl der Züge während der Stunden des stärksten Berufsverkehrs seit 1913 nicht vermehrt werden konnte; seit dieser Zeit werden in der stärksten Verkehrszeit 24 Züge in der Stunde in jeder Richtung auf der Stadtbahn gefahren, obwohl der Verkehr seit 1913 um etwa 50% zugenommen hat. Im Schaubild Abb. 10 auf Taf. 21 sind einige wesentliche Verkehrszahlen in ihrer Entwicklung dargestellt. Die baulichen Verhältnisse der zwischen den Mauern der Großstadt eingezwängten Bahnhöfe bringen es mit sich, daß auch eine Verlängerung der Züge, die dem Dampfverkehr noch eine weitere Anpassung an den Verkehrszuwachs ermöglicht hätte, nicht durchführbar ist. Die Länge der zur Verfügung stehenden Bahnsteigkante ist voll ausgenutzt, so daß nur übrig bleibt, die Breite der Wagen zu vergrößern. Dies geschieht durch den Übergang vom Abteilwagen mit Klapptüren zum Großraum-Durchgangswagen mit Schiebetüren. Probezüge dieser Bauart mit verschiedener Grundrissanordnung sind als Dampfzüge eine Zeitlang auf der Stadtbahn gelaufen. Sie werden jetzt elektrisch ausgerüstet und auf den Nordstrecken weiter verwendet. Allen Probezügen lag die gleiche Einteilung zugrunde. Jeder Vollzug von etwa 140 m Länge ist geteilt in zwei Halbzüge, von denen jeder zwei vierachsige Triebwagen und drei zweiachsige Beiwagen enthält.

In den Enddrehgestellen jedes Halbzeuges sind je zwei Motore untergebracht. Die Motore sind nach Strassenbahnart aufgehängt und übertragen mittels doppelseitigem Vorgelege die Antriebskraft auf die Triebachsen. Die Zusammenfassung der Antriebsleistung hat zur Folge, daß die Triebgestelle höhere Achsen erhalten müssen, als sonst für den Zug vorgesehen sind. Während die Laufachsen, um einen möglichst tiefen Wagenboden zu erhalten, 850 mm Durchmesser erhalten, müssen die Triebachsen auf 1 000 mm vergrößert werden. Man erkennt, daß man es hier mit einer Weiterbildung der Wittfeldschen Triebgestell-Idee zu tun hat.

Die Bauart ist außerordentlich einfach und im Betrieb sehr bequem zu unterhalten. Da Schäden meist an den Triebgestellen auftreten werden, ist im allgemeinen nur das Triebgestell auszuwechseln, was durch geringes Anheben eines Wagenendes und Lösen von ganz wenigen Verbindungen möglich ist. Nachteile der Anordnung sind der hohe Achsdruck (17 Tonnen) und die wagenbaulichen Folgen der Vergrößerung des Triebachsdurchmessers. Es wird notwendig, den Wagenboden über den Triebgestellen um eine Stufe höher zu legen, als sonst im Zuge. Infolgedessen muß außen ein Trittbrett angebracht werden, um das hochgelegene Abteil

bequem erreichen zu können. Dieses Trittbrett bedingt seinerseits eine Breitereinziehung des Wagenkastens. Außerdem ist die erforderliche Beschleunigung des Zuges nicht mit völliger Sicherheit bei schlüpfrigen Schienen zu erzielen. Infolgedessen ist diese Bauart für später verlassen worden. Es wird künftig die doppelte Anzahl von Triebachsen unter entsprechender Verminderung der Leistung des einzelnen Motors angewendet werden. Über die Wagen sind an verschiedenen Stellen eingehende Veröffentlichungen erschienen. Die Probezüge stellen, was das Gewicht anlangt, einen sehr bedeutenden wagenbaulichen Fortschritt dar. Es ist gelungen, das Gewicht des Wagens je Platz auf 160 kg zu drücken, zum Vergleich sei angeführt, daß die Wagen der Berliner Hochbahn je Platz etwa 220 kg wiegen, während das Platzgewicht der Abteilwagen der Berliner Stadtbahn sogar noch etwas mehr beträgt. Die Wagen werden in Zukunft nicht Aufschiebetüren wie die Probezüge, sondern voraussichtlich in Taschen laufende Schiebetüren erhalten.

Wie schon erwähnt, muß im Innern der Stadt auf hohe Anfahrbeschleunigung der größte Wert gelegt werden, denn nur auf diese Weise ist es möglich, die Zugfolge erheblich zu verdichten. Es ist deshalb für den Betrieb im Innern der Stadt eine Anfahrbeschleunigung von $0,5 \text{ ms}^{-2}$ vorgesehen*). Für die Außenbezirke genügt eine Anfahrbeschleunigung von $0,3 \text{ ms}^{-2}$. Da die Anfahrbeschleunigung die Spitzenleistung und damit die Maschinengröße der Umformerwerke bestimmt, muß in den Außenbezirken schon aus Gründen der Wirtschaftlichkeit eine geringere Beschleunigung gewählt werden, denn in den Außenbezirken ist infolge der geringeren Zugdichte der Ausnutzungsfaktor der Unterwerke ohnehin gering. Durchweg wird sich in Innen- und Außenbezirken eine Verkürzung der jetzigen Fahrzeiten um 25% ergeben. Die Höchstgeschwindigkeit wird im allgemeinen mit 60 km/Std. angenommen, doch sind gelegentlich Überschreitungen um 10% zulässig.

Die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Betriebes ist mit einer außerordentlichen Sorgfalt in umfangreichen Denkschriften immer und immer wieder nachgewiesen worden. Es kann hier nur auf einige wesentliche Punkte dieser Berechnungen hingewiesen werden. Zunächst kann man den Aufwand an WE für das geleistete Tonnenkilometer bei elektrischem und Dampftrieb vergleichen. Im Dampftrieb sind im letzten Jahr rund 250000 t Lokomotivkohle von 6500 bis 7000 WE/kg verbraucht worden. Damit wurden 3 450 000 000 tkm geleistet. Daraus ergibt sich für das Tonnenkilometer beim Dampftrieb ein Wärmeverbrauch von 480 WE. Beim elektrischen Betrieb werden nach vorsichtiger Rechnung, einschließlich aller Verluste, rund 47 Wattstunden für 1 tkm verbraucht (gemessen an der Sammelschiene des Kraftwerks). Rechnet man mit einem Verbrauch von 3 kg Braunkohlen von je 2000 WE für die erzeugte KWStd., so werden für 1 tkm 280 WE verbraucht. Die Wärmeersparnis gegenüber dem Dampftrieb beträgt also 200 WE je tkm = 40%.

Ein weiterer Vorteil der elektrischen Zugförderung besteht in der größeren Anpassungsfähigkeit an die täglichen Schwankungen des Verkehrs. Während bei Dampftrieb nur durch Verändern der Zugfolge eine gewisse Anpassung erreicht wird, wobei aber nicht vermieden werden kann, daß während der Zeiten schwachen Verkehrs die Züge sehr gering besetzt sind, ist es bei elektrischem Betrieb ohne weiteres möglich, die Stärke der Züge dem Bedürfnis so anzupassen, daß jeder Zug wirtschaftlich ausgenutzt wird und trotzdem einer Grundforderung des Großstadtverkehrs: der dichten Zugfolge über den ganzen Tag, Genüge geleistet werden kann. Man kann also dieselbe Anzahl Personen mit einer viel geringeren Tonnenkilometerleistung befördern oder aber mit der beim Dampftrieb not-

*) Damit können bei Einführung des selbsttätigen Zugsicherungssystems 40 Züge in der Stunde über die Strecke gebracht werden.

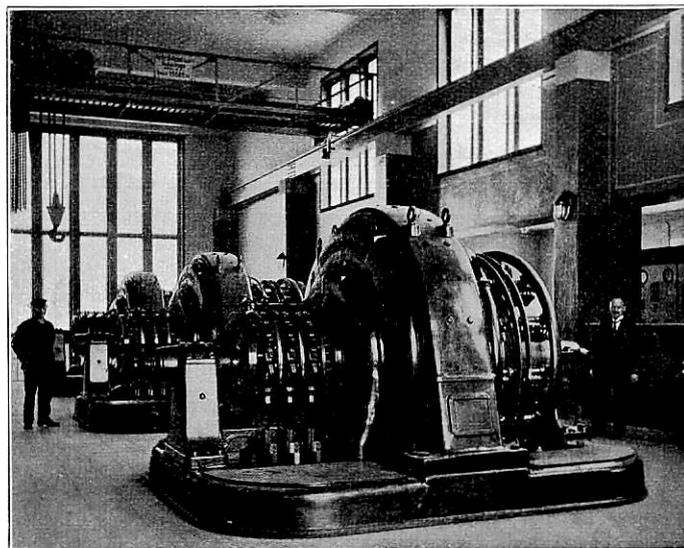
wendigen Anzahl von Tonnenkilometern wesentlich mehr Fahrgäste befördern. Mit dem Triebwagenverkehr ist eine große Personalsparnis verbunden, sie kann beim eigentlichen Zug- und Bahndienst 30% betragen. Ferner fallen alle Bekohlungsanlagen, Wasserstationen, Gasversorgungsanlagen, soweit sie dem Stadtbahnverkehr dienen, Lokomotiv-Überholungsgleise usw. fort. Da diese Anlagen zum größten Teil auf hochwertigem Gelände liegen, sind die dadurch zu erreichenden wirtschaftlichen Vorteile beträchtlich. In vielen Fällen kann dadurch für die in der Großstadt eingezwängten Bahnanlagen erwünschter Entwicklungsraum geschaffen werden.

Für Bahnen, die nur dem Personenverkehr dienen, ist weder das Zugkilometer noch das Tonnenkilometer ohne weiteres als Vergleichsmaßstab geeignet. Für die Wirtschaftlichkeit maßgebend sind vielmehr die Kosten des Platzkilometers. Infolge der besseren Ausnutzung und des größeren Fassungsraumes der Züge ergibt sich, daß das elektrisch gefahrene Platzkilometer etwa halb soviel kostet, als das mit Dampf gefahrene Platzkilometer. Hierbei ist angenommen, daß beim elektrischen Betrieb eine Vermehrung der Züge von 24 auf 30 in der Stunde eintritt. Wird der Verkehr bis zur vollen Leistungsfähigkeit gesteigert (40 Züge in der Stunde), so wird das Verhältnis für den elektrischen Betrieb noch sehr viel günstiger.

Ein kleiner Teil der gesamten Anlagen ist nun in der Ausführung begriffen. In diesen Tagen wird auf der Strecke Berlin—Bernau der elektrische Betrieb aufgenommen werden. Obwohl Betriebserfahrungen noch nicht vorliegen, war bereits die Bauausführung eine Probe auf das Exempel, wie weit die in den verschiedenen Wirtschaftlichkeitsrechnungen gemachten Annahmen mit der Wirklichkeit übereinstimmen. Es kann bis jetzt gesagt werden, daß die Wirklichkeit, soweit die Bauausführung und der Personalaufwand für den Betrieb in Betracht kommen, sich noch günstiger gestaltet, als die Annahmen bei der Planung.

Über die Bauausführung seien noch einige Einzelheiten kurz mitgeteilt. Für die drei Nordstrecken Berlin, Tegel-Velten, Berlin—Oranienburg und Berlin—Bernau, die eine betriebliche Einheit bilden, sind zur Stromversorgung Unterwerke in Pankow, Tegel, Hennigsdorf, Hermsdorf, Borgsdorf und Röntgenthal vorgesehen (vergl. die Übersichtskarte). Drehstrom von 30000 Volt wird von dem Kraftwerk Moabit der städtischen Elektrizitätswerke in zwei Kabeln dem Umformerwerk Pankow (Abb. 1)

Abb. 1. Umformerwerk Pankow, Maschinenraum.

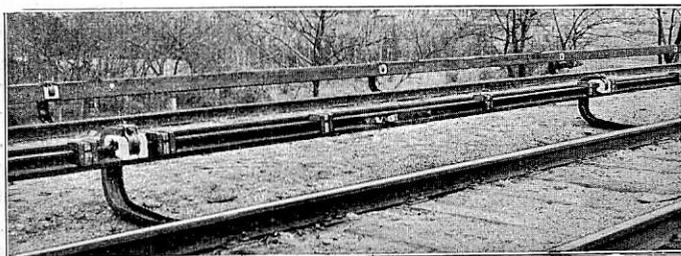


zugeführt und von hier aus auf die drei Strecken verteilt. Das Umformerwerk Pankow enthält drei Einankerumformer, geliefert von den Bergmann-Elektrizitätswerken, das Umformerwerk

Röntgenthal drei Umformer zu 1000 KW, geliefert von Brown-Boveri, das Umformerwerk Hermsdorf, Dreiumformerwerk zu 1500 KW, geliefert von der A. E. G., die Umformer für das im Bau befindliche Werk Borgsdorf werden von Pöge geliefert. Die Schaltanlagen in dem Umformerwerk Hennigsdorf, Pankow und Röntgenthal sind von den Siemens-Schuckert-Werken hergestellt, die Schaltanlage in Borgsdorf ist bei der A. E. G. in Auftrag gegeben. Die Stromschiene, von Krupp geliefert, wird vom Stromabnehmer von unten bestrichen. Gegen Berührung von oben und der Seite ist sie mit einem Holzschutzkasten abgedeckt, der seinerseits mittels ölgetränkter Holzklötze auf der Schiene befestigt wird. In Abb. 2 ist die Anordnung der Stromschiene dargestellt. Die Stöße der Stromschiene

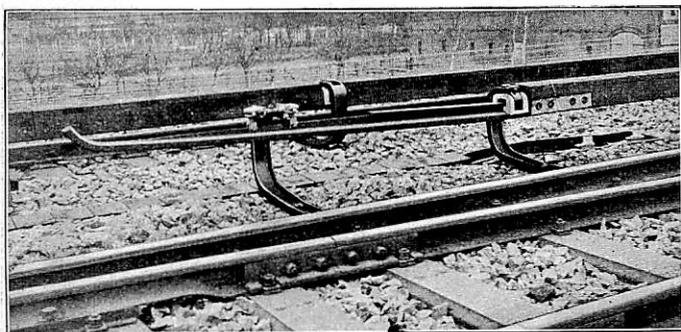
Abb. 2. Anordnung der Stromschiene.

Links vorn: Isolatorbock, daneben rechts und links Holzklötze zum Befestigen des Holzschutzkastens; in der Mitte: Dehnungslasche. Hinten: Stromschiene mit aufgesetztem Schutzkasten.



sind nach dem Meurerschen Spritzverfahren verzinkt und durch einfache verzinkte Laschen verbunden. Jeder dritte Stoß ist als Dehnungsstoß ausgebildet und mit einem biegsamen Kupferverbinder ausgerüstet, (auf der Abbildung zu erkennen). Getragen wird die Stromschiene von Böcken aus U oder T-Eisen, die auf die Holzschwellen aufgeschraubt sind. Die Isolatoren bestehen zum größten Teil aus Porzellan, versuchsweise sind auch Isolatoren aus Glas und anderen Stoffen eingebaut worden. Der Stromabnehmer der Fahrzeuge wird dadurch etwas kompliziert, da es nicht möglich ist, ihn in der Tieflage, die er beim Bestreichen der Stromschiene von unten einnimmt, an allen Stellen durch das Profil zu bringen. Auf Brücken wird es häufig nötig, ihn durch eine Führungsschiene über den Brückenträger wegzuheben. Durch Verschieben des Gleises aus der Mittenachse der Brücke heraus läßt sich dann auf einer Seite die Durchführung der Stromschiene ermöglichen. An Weichen- und Gleiskreuzungen muß die dritte Schiene unterbrochen werden, an diesen Stellen werden besonders gebogene Auflaufstücke angewendet, die eine sanfte Führung des Stromabnehmers gewährleisten, Abb. 3. Der Stromabnehmer ist in Abb. 4 dargestellt.

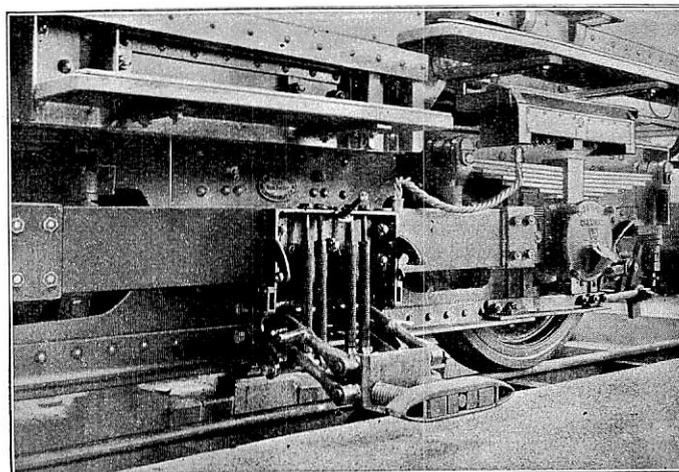
Abb. 3. Stromzuführung mit 3. Schiene bei Weichen. Auflaufstück der Stromschiene (Schutzkasten entfernt).



Als Fahrzeuge werden auf der Strecke Berlin-Bernau zunächst die Probezüge verwendet, die durch Veröffentlichungen

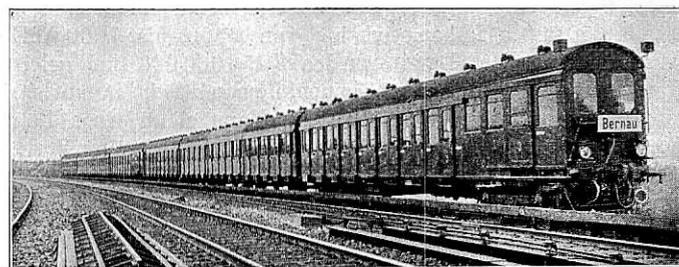
an anderen Stellen bekannt sind, Abb. 5 zeigt einen dieser Züge auf der Strecke. Die Steuerung der Züge ist halb selbsttätig. Der Führer kann den Kontroller sofort in die Endstellung legen, das Weiterschalten von Stufe zu Stufe veranlaßt ein sogenanntes Fortschalte-Relais das in Tätigkeit tritt, sobald die Stromstärke auf ein bestimmtes Maß gesunken ist. Die Betätigung der einzelnen Schalter erfolgt mittels elektrisch ausgelöster Druckluftkolben, die eine Walze drehen, bei der

Abb. 4. Stromabnehmer. Bauart A. E. G.



einen Bauart mittels Zahnstange und Zahnrad, bei der anderen Bauart mittels eines Klinkwerkes, die ihrerseits die einzelnen Schütze durch großen Nocken bewegt. Die halb selbsttätige Steuerung hat den großen Vorteil, daß Überlastung der Motoren durch ungeschicktes Fahren unmöglich ist. Sie ermöglicht eine weitgehende Mechanisierung des Fahrbetriebes, so daß es leicht möglich ist, vermittels auf der Strecke verteilter Ein- und Ausschaltzeichen fast genau die theoretisch sparsamste Fahrweise zu verwirklichen.

Abb. 5. Triebwagenzug der Berliner Stadt- und Vorortbahnen.



Es läßt sich nicht verkennen, daß die Verwirklichung des weitreichenden Planes, wie sie die Elektrisierung des gesamten Berliner Stadt- und Vorortverkehrs darstellt, in der Zeit großer Kapitalnot, in der wir uns befinden, außerordentlichen Schwierigkeiten begegnet. Die Unsicherheit über die kommenden Umgestaltungen der Reichsbahn ist auch nicht geeignet, großzügige Pläne zu fördern. Gerade aber die von Herrn Acworth geforderte, veränderte Einstellung der Reichsbahn auf das Ziel des nackten Geldverdienens, muß die Pläne bald zur Reife bringen. Es gibt kein anderes Mittel, um den jetzt verlustbringenden Berliner Personenverkehr zu einem gewinnbringenden zu gestalten. Bei Einführung der elektrischen Zugförderung kann aber eine Wirtschaftlichkeit des Berliner Stadt- und Vorortbetriebes mit Sicherheit versprochen werden.

Zur Elektrisierung der Österreichischen Bundesbahnen.

Von Sektionschef Ing. Paul Dittes, Direktor für die Elektrisierung in der Generaldirektion der Österreichischen Bundesbahnen.

Hierzu Abb. 1 bis 3 auf Tafel 22.

Die durch Gesetz vom 23. Juli 1920 grundsätzlich beschlossene schrittweise Einführung der elektrischen Zugförderung auf den österreichischen Bundesbahnen konnte infolge verschiedener Umstände — in erster Linie wegen der Geldlage — bisher nicht in dem ursprünglich in Aussicht genommenen Zeitraume betrieben werden. Immerhin sind nunmehr trotz zeitweise recht widriger Verhältnisse die Arbeiten für die Elektrisierung der 136 km langen Strecke Innsbruck—Landeck—Bludenz (mit dem 10,25 km langen Arlberg-tunnel) und der 107 km langen Strecke Stainach-Irdning—Attnang-Puchheim (Salzkammergutlinie) so weit fortgeschritten, daß die Arlberglinie Innsbruck—Bludenz zu Beginn des Jahres 1925, die Salzkammergutlinie noch im Laufe dieses Jahres dem elektrischen Betrieb übergeben werden wird. Auf Teilabschnitten dieser Strecken ist der elektrische Betrieb bereits aufgenommen, so seit Ende Dezember 1923 auf der 71 km langen Strecke Innsbruck-Westbahnhof—Landeck und seit April d. J. auf der Strecke Stainach-Irdning—Bad Aussee (30 km).

Hinsichtlich der für die elektrische Zugförderung auf den genannten Strecken vorgesehenen und der Bauvollendung entgegengehenden, z. T. schon im Betrieb stehenden Kraftwerke (Spullerseewerk und Ruetzwerk für die Arlberglinie, Gosaukraftwerk in Steeg für die Salzkammergutlinie), der 50,000 Volt-Übertragungsleitungen (darunter die eine Seehöhe von 2019 m erreichende Arlbergpafsleitung), der Unterwerke, der Fahrleitung, sowie der Zugförderungs- und Werkstättenanlagen möchte ich im allgemeinen auf meine anderweitig erschienenen Veröffentlichungen verweisen*).

Im nachstehenden möchte ich auf einige bemerkenswerte Einzelheiten der Ausführung unserer Anlagen und auf ein vergleichsweise neues System elektrischer Lokomotiven etwas näher eingehen.

Das Gestänge unserer Leitungen besteht aus Holz, Eisen und Eisenbeton. Hölzerne Maste fanden nur bei Fahrleitungsanlagen, der Eisenbeton nur bei einer Übertragungsleitungsstrecke Anwendung. Die dem Holz anhaftenden Nachteile wurden durch Verwendung imprägnierter Stangen und Anbringung der Maste in eisernen, gut fundierten Mastschuhen behoben. Die Eisenbetonmaste (Abb. 1) sind gestampft und besitzen auch Auslegerarme aus Eisenbeton, so daß jegliche Anstreicherarbeit am Hochspannungsgestänge entfällt.

An Fahrleitungsbauarten haben wir für Österreich eine Neuerung insofern zu verzeichnen, als wir auf der Salzkammergutbahn zwei dem sogenannten schwedischen System ähnliche Bauarten (Ö. S. S. W. bzw. Ö. B. B. W.) mit drehbaren

*) „Der gegenwärtige Stand der Elektrisierung unserer Staatsbahnen“. Zeitschrift d. Österr. Ingenieur- u. Architektenvereins 1920, Heft 17, Elektrot. u. Maschinenbau, Bd. 38 (1920), Heft 19, Elektr. Kraftbetr. u. Bahnen, Bd. 18 (1920), Heft 20 u. 21;

„Über den Fortgang der Arbeiten zur Elektrisierung unserer Staatsbahnen. Elektrot. u. Maschinenbau, Bd. 39 (1921), Heft 16, Elektr. Kraftbetr. u. Bahnen, Bd. 19 (1921), Heft 8, 9 und 12;

„Der gegenwärtige Stand der Elektrisierung der österr. Staatsbahnen“, Schweizerische Wasserwirtschaft, Bd. 13 (1921), Heft 3 bis 10;

„Die Elektrisierung der österr. Bundesbahnen“, Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architektenvereins, Bd. 73 (1921), Heft 34/35;

„Der Stand der Arbeiten für die Elektrisierung der österr. Bundesbahnen zu Beginn des Jahres 1922“, Sonderheft von Elektrotechnik und Maschinenbau, Mai 1922;

„Der Stand der Arbeiten für die Elektrisierung der österr. Bundesbahnen zu Beginn des Jahres 1923“, Elektrot. u. Maschinenbau, Bd. 41 (1923), Heft 15;

„Über den gegenwärtigen Stand der Vollbahnelektrisierung unter besonderer Berücksichtigung der Arbeiten für die Elektrisierung der österreichischen Bundesbahnen bis zu Beginn des Jahres 1924, Elektrot. u. Maschinenbau, Heft 22 von 1924.

Auslegern zur Anwendung gebracht haben. Ferner ist die Salzkammergutbahn im allgemeinen mit einfacher Isolation gegen Erde gebaut und zwar teilweise mit einscherbigen, teilweise zweischerbigen Isolatoren.

Die Schienenverbinderfrage ist noch nicht endgültig erledigt. Auf der Arlberglinie werden ausgedehnte Versuchsausführungen mit metallisierten Schienenenden und Laschen gemacht, da bei der Deutschen Reichsbahn mit derartigen Vorkehrungen zur Verbesserung der Schienenleitung gute Erfolge erzielt worden sind.

Was den Schutz der Schwachstromanlagen gegen die Beeinflussungen durch den Bahnbetriebsstrom betrifft, sei bemerkt, daß sich auf der Strecke Innsbruck—Bludenz die Staats-telegraphenverwaltung für die Legung ihres Schwachstromkabels durch den Arlberg-tunnel entschlossen hat, da eine im Herbst 1923 vorgenommene Erhebung ergab, daß die für dieses Kabel zunächst in Aussicht genommene Trasse über den Pafs Schwierigkeiten hinsichtlich der Erhaltung des Kabels ergeben würde und Fehlerbehebungen im Winter überhaupt unmöglich wären. Die Legung durch den Tunnel kommt auch billiger zu stehen, da die Trasse um 2,640 km kürzer ist und das Kabel in den schon vorhandenen Kabelgraben gelegt werden kann. Über den Berg hätte ein neuer Kabelgraben stellenweise in felsigem Boden hergestellt werden müssen. Zur Verminderung der Induktion wird ein Kabel besonderer Bauart verwendet, bei dem unterhalb des Bleimantels blanke Kupferdrähte beigelegt werden, um den Mantelwiderstand zu verringern. In unserem Fall sind $32 \times 0,8$ mm Kupferleiter vorgesehen. Dadurch wird der Widerstand des Kabelmantels verringert und dementsprechend das Verhältnis von Selbstinduktion zum Ohmschen Widerstand $\left(\frac{L}{R}\right)$ vergrößert, so daß ein in Phase gegen den Fahrdrabtstrom um nahezu 180° verschobener kräftiger Strom im Mantel des Kabels hervorgerufen wird, der eine Kompensationswirkung gegenüber dem Fahrdrabtstrom ausübt.

Insgesamt wurden 10,5 km dieses Spezialkabels bestellt.

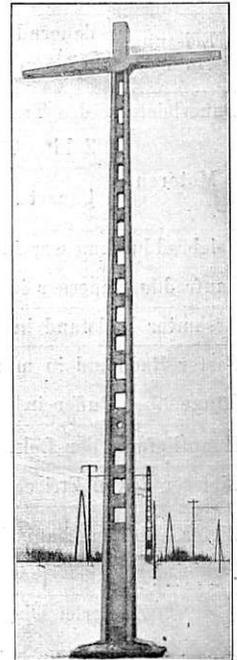
Die Bauart des Kabels hinsichtlich der Adernzahl und Stärke ist:

- | | | | | | |
|---|----------|---|----------|-----|---------------------|
| 1 | \times | 2 | \times | 3 | mm, |
| 1 | \times | 2 | \times | 2 | mm, |
| 2 | \times | 2 | \times | 1,5 | mm (1 Viererkreis), |
| 2 | \times | 2 | \times | 2 | mm (1 «), |
| 8 | \times | 2 | \times | 1,8 | mm (4 «), |
| 6 | \times | 2 | \times | 1,5 | mm (3 «). |

Das Kabel besitzt somit 20 Stamm- und 9 Kunstspreckreize, ist als kombiniertes Telegraphen- und Fernspreckbettungskabel mit Papierluftisolation ausgeführt und mit Bandeseisen armiert.

Hinsichtlich der von den Österreichischen Bundesbahnen bisher bestellten Lokomotiven sei auf die nachfolgende Übersicht und auf die Abbildungen 2 bis 4 verwiesen. Die 1 C-C 1, 1 C 1- und E-Lokomotiven sind übrigens in den

Abb. 1.
Eisenbetonmaste.



Übersicht der im Betrieb bzw. im Bau befindlichen elektrischen Lokomotiven der Österreichischen Bundesbahnen.

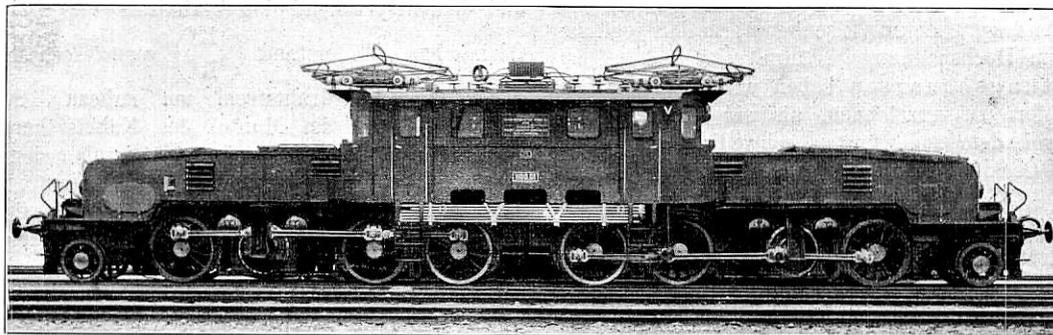
	Achsfolge						
	1 C - C1	1 C1	E	1 A A A A 1	E	1 D1	
Zahl der bestellten Lokomotiven	7	20	20	4	1	1	
Dienstgewicht in t	115	71	72,5	86	72	82	
Zugsgattung	S. P. (Gebirge)	S. P. (Flachland)	G. (Gebirge u. Flachl.)	S. (Flachland)	G. (Gebirge u. Flachl.)	S. P. (Flachland)	
Größtes Wagengewicht (t) — Steigung (vH) — Geschwindigkeit (km/h)	320 — 31,4 — 45	400 — 10 — 45	1000 — 10 — 30	550 — 10 — 50	1000 — 10 — 34	550 — 10 — 51	
Größte Geschwindigkeit in km/h	65	70, 80*)	50	85	67	100	
Leistung in PS	dauernd	2000	1000	1000	1500	—	
	durch 1 Stunde	2400	1365	1450	1980	2000	
Dauerleistung des Transformators in kVA	1730	840	850	1400	—	—	
Motoren	Zahl \times Stundenleistung (kW)	4 \times 441	2 \times 502	3 \times 365	4 \times 365	2 \times 736	2 \times 736
	Bauart	Reihenschlufs				Zwei- u. Mehrphasen- induktion (Phasenumform.)	
Triebraddurchmesser in mm	1350	1740	1350	1350	1070	1614	
Lauftraddurchmesser in mm	870	994	—	994	—	994	
Gesamter Radstand in mm	17700	9890	7750	11000	6500	10130	
Fester Radstand in mm	5520	5670	4750	8800 (geführt)	3600	5070	
Länge über Puffer in mm	20350	12810	12750	14000	10800	13190	
Hauptlieferer der Lokomotive	Österr. Brown Boveri Werke	AEG-Union El.-Ges.	Österr. Siemens Schuckert-Werke		Wiener Lok. Fabr. A. G.		
Lieferer des elektrischen Teiles					Ganzsche El. A. G. Budap.		
Lieferer des mechanischen Teiles	Wiener Lok. Fabr. A. G.	Lok. Fabr. d. St. E. G.	Lokomotivfabrik Kraufs & Co. Linz		Wiener Lok. Fabr. A. G.		

*) Zweierlei Übersetzungen.

vorangeführten Veröffentlichungen näher beschrieben. Bisher sind 7 Stück 1C-C1, 10 Stück 1C1 und 3 Stück E-Lokomotiven abgeliefert und in Dienst gestellt worden.

5750 auf freier Strecke). Bei den Lokomotiven der Österr. Brown-Boveri-Werke erfolgt das Umlegen der Bügel durch ein Druckluftventil, das von der Bewegung des Scherenstrom-

Abb. 2. Elektrische Lokomotive Bauart 1C-C1 der Österreichischen Bundesbahnen.



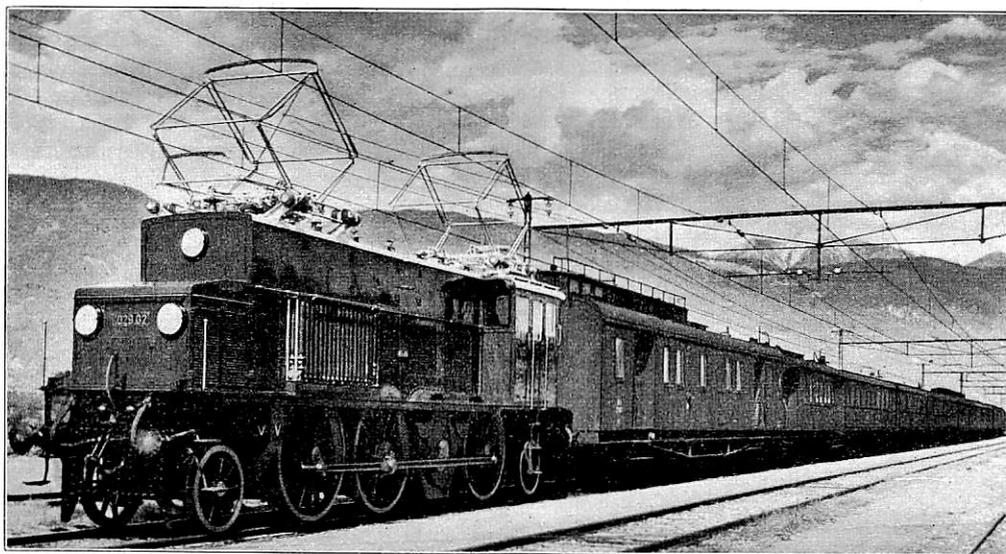
Es sei hier einer Eigenheit dieser Lokomotiven gedacht, die dadurch bedingt ist, daß der Arlbergtunnel ein recht knappes Profil aufweist, daher die Anwendung eines schmalen Stromabnehmers erfordert, während die freie Strecke, wo die Anwendung einer großen Mastentfernung (75 m in der Geraden) wirtschaftlich ist, einen breiten Stromabnehmer verlangt. Dies führte dazu, außer den breiten Streckenstromabnehmern schmale Tunnelstromabnehmer anzuordnen und derart miteinander in Verbindung zu bringen, daß der Wechsel der beiden selbsttätig vor sich geht, und zwar unter dem Einfluß des Wechsels der Höhenlage des Fahrdrachtes (4850 mm in den Tunneln,

abnehmergestänges betätigt wird. Sinkt die Fahrdrachthöhe unter ein gewisses Maß, d. h. wird der große Stromabnehmer unter 5,3 m über S. O. heruntergedrückt, so bewirkt die Verdrehung des Bügelventils, daß der schmale Stromabnehmer Druckluft erhält und gegen den Fahrdracht gehoben wird. Bei der weiteren Absenkung des Fahrdrachtes wird der Zylinder des großen Stromabnehmers vollständig entlüftet und der breite Stromabnehmer sinkt nieder, sobald die Fahrdrachthöhe 5 m erreicht, während der Tunnelstromabnehmer am Fahrdracht bleibt. Bei Anstieg des Fahrdrachtes bei der Tunnelausfahrt geht der Vorgang in umgekehrter Weise vor sich (siehe Abb. 5 und 6).

Die Österreichischen Siemens-Schuckert-Werke erreichen den gleichen Zweck dadurch, daß auf einem gemeinsamen Untergestell zwei Obergestelle mit besonderen Gelenklagerungen

Länge, Radstand, Gewicht:	Lok. E	Lok. 1 D 1
Länge über den Puffern . . .	10800 mm	13000 mm
Gesamtradstand	6500 «	10130 «

Abb. 3. Elektrische Lokomotive, Bauart 1 C 1 der Österreichischen Bundesbahnen.

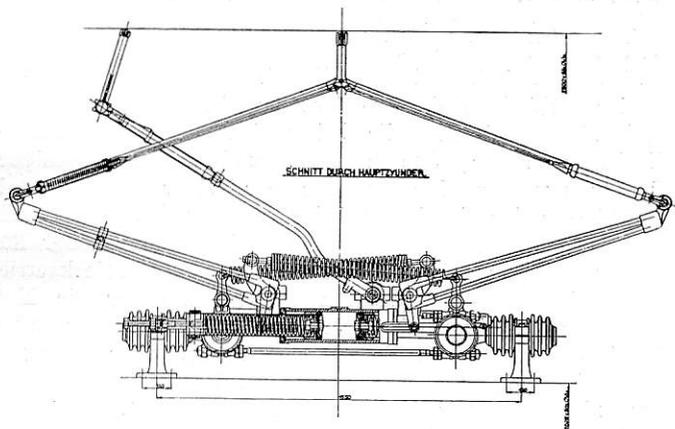


und verschiedenen Abmessungen aufgebaut sind. Es ergibt sich, daß bei einer Fahrdrathöhe von rund 5100 mm über S. O. beide Bügel zum Anliegen an den Fahrdrath kommen, bei den höheren Lagen nur der breite, bei den niederen Lagen nur der schmale Bügel allein. Das Senken des breiten Bügels erfolgt beim Einfahren in den Tunnel mit seiner niederen Fahrdrathöhe vollkommen zwangsläufig ohne Verwendung von gesteuerten Ventilen oder dergl. (siehe Abb. 7 und 8).

Die in obiger Lokomotivübersicht an letzter Stelle angeführten 2 Lokomotiven (eine E- und eine 1 D 1-Lokomotive) sind sog. Phasenumformer- (splitphase) Lokomotiven und stellen eine Probeausführung dar; sie weisen in elektrischer und in mechanischer Beziehung manche bemerkenswerte Neuerung auf, weshalb hier etwas näher auf sie eingegangen sei.

Die beiden Lokomotiven unterscheiden sich nur im mechanischen Teile. Ihre elektrische Ausrüstung ist in allen

Abb. 5. Stromabnehmer mit Bügelwechsel durch Druckluft. Bauart der Österr. B.B.C. Schnitt durch den Hauptzylinder.



Einzelheiten gleich; es sind nur durch die Raumverhältnisse und durch die Gewichtsverteilung bedingte Unterschiede in der Anordnung der einzelnen Apparate und der Leitungen vorhanden.

Abb. 4. Elektrische Lokomotive, Bauart E der Österreichischen Bundesbahnen.

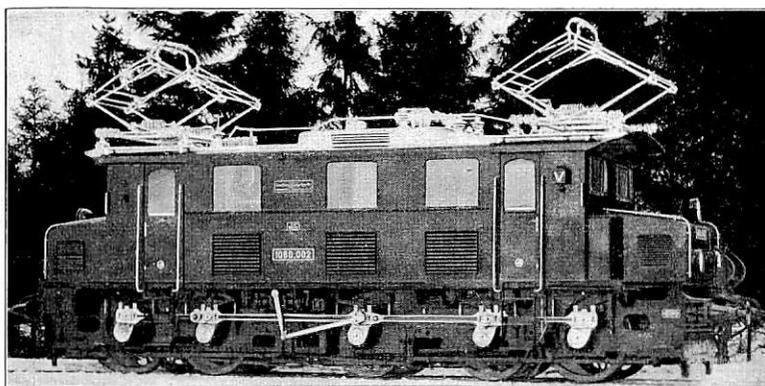
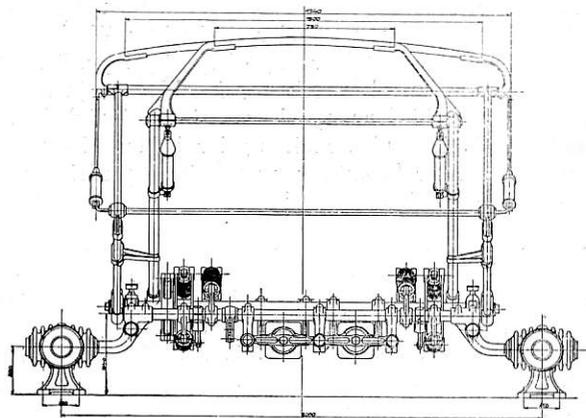


Abb. 6. Stromabnehmer mit Bügelwechsel durch Druckluft. Bauart der Österr. B.B.C. Querschnitt.



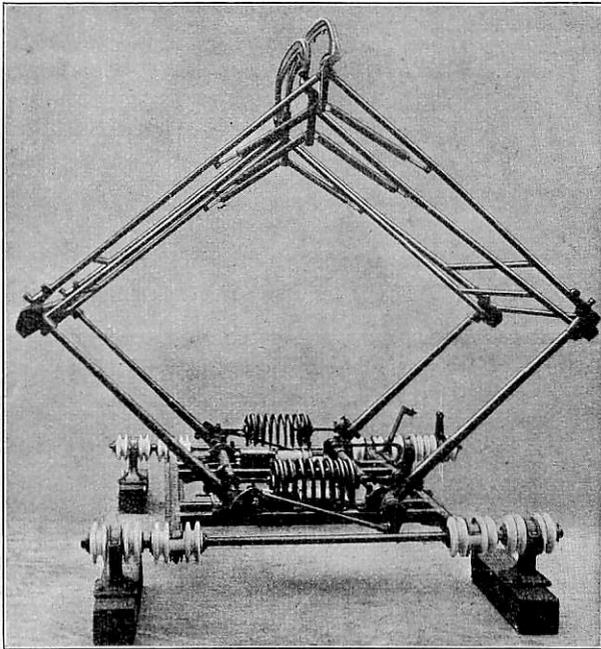
	Lok. E	Lok. 1 D 1
Fester Radstand	3600 mm	3070 mm
Gewicht: Mech. Teil	30 t	37,5 t
Elektr. Ausrüstung	41 t	41 t

	Lok. E	Lok. 1 D 1
Wasservorrat	1,5 t	2,2 t
Dienstgewicht	73,25 t	81,45 t
Achsdruck: Treibachsen . . .	14,65 t	14,75 t
Laufachsen	—	11,225 t
Gewicht pro lf. m	6,78 t	6,265 t

Um eine einwandfreie Kurvenbeweglichkeit zu erzielen, haben bei der Bauart E die erste und letzte Achse 35 mm, die mittlere Achse 25 mm Seitenverschiebung. Bei der 1 D 1-Lokomotive (Taf. 22, Abb. 1 bis 3) haben die zwei Laufachsen eine Seitenverschiebung von 35 mm, die zweite und dritte Triebachse besitzen 25 mm Seitenverschiebung.

Der einphasige Wechselstrom von 15000 Volt Nennspannung und $16\frac{2}{3}$ Per. i. d. Sek. wird in einem rotierenden Phasenumformer — ohne Zwischenschaltung eines

Abb. 7. Stromabnehmer mit mechanischem Bügelwechsel Bauart der Österr. S S W. Breiter Bügel oben.



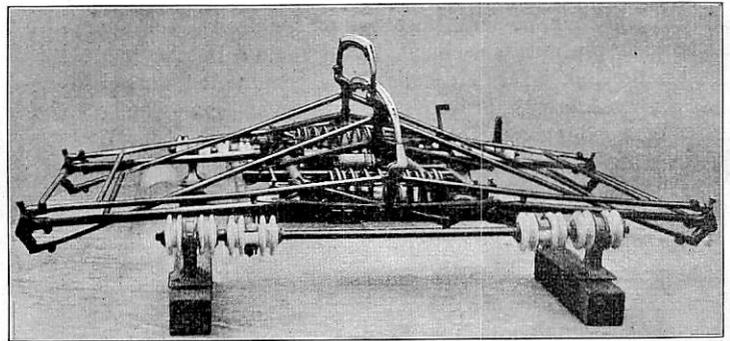
ruhenden Transformators — in mehrphasigen Wechselstrom niedriger Spannung derselben Periodenzahl umgewandelt. Zu diesem Zweck ist der Umformer mit einer einphasigen Hochspannungs-Spulenwicklung und mit einer kontinuierlichen Niederspannungs-Trommelwicklung versehen. Durch geeignete Anzapfungen dieser letzteren wird je nach der zu erzielenden Lokomotivgeschwindigkeit 2, 3 oder 4-phasiger Wechselstrom abgenommen, entsprechend einer 12, 8 bzw. 6-poligen Schaltung der zwei Hauptmotoren. Dies erlaubt, den Motoren in Parallelschaltung drei verschiedene synchrone Geschwindigkeiten zu geben und mittels Kaskadenschaltung der beiden Motoren mit 8- und mit 12-poliger Schaltung zwei weitere niedrigere synchrone Geschwindigkeiten, also insgesamt 5 synchrone Geschwindigkeiten zu erzielen. Die entsprechenden Umlaufzahlen sind 83,3, 125, 166,7, 250 und 333,3 in der Sekunde. Diese Umlaufzahlen würden bei der Bauart E mit Triebrädern von 1070 mm Durchmesser Fahrgeschwindigkeiten von 16,8, 25,2, 33,6, 50,4 und 67,2 km pro Stunde ergeben. Die wirkliche Fahrgeschwindigkeit ist um den Betrag der der jeweiligen Belastung entsprechenden Schlüpfung, d. i. um rund 1,2% niedriger. Die entsprechenden Geschwindigkeiten der Bauart 1 D 1, mit einem Triebraddurchmesser von 1614 mm, sind 25,4, 38, 50,8, 76 und 101,5 km/St. Die Leistungsfähigkeit ist bei niedrigeren Geschwindigkeiten durch die Erwärmung der Motoren, bei den höheren durch die Er-

wärmung des Umformers begrenzt. Die während einer Stunde zulässigen höchsten Zugkräfte betragen, am Radumfang gemessen, bei der Bauart E bei den drei niedrigeren Geschwindigkeitsstufen 15000 kg, bei 50 km/St., 10800 kg und bei 67 km/St. 8000 kg; bei der Bauart 1 D 1 bei den drei niedrigen Geschwindigkeitsstufen 10800 kg bei 75 km/St. 7200 kg und bei 100 km/St. 5400 kg. Kurz andauernde Zugkräfte können höher sein. So sind die Halbstundenleistungen um 15% und die Viertelstundenleistungen 40% höher. Die für Augenblicke zulässige höchste Zugkraft der Lokomotive ist bei allen Geschwindigkeiten mit Ausnahme der höchsten durch die Radreibung begrenzt.

Beide Bauarten haben innenliegenden Blechrahmen und sind mit der normalen selbsttätigen Luftsauge-Schnellbremse versehen. Der Unterdruck wird mittels einer Wasserstrahlpumpe erzeugt, die auf dem verlängerten Wellenstummel des Umformers sitzt. Diese Wasserstrahlpumpe arbeitet mit Unterbrechungen; sie wird durch Zuführung des Wassers in Tätigkeit gesetzt, sobald der Unterdruck unter 52 cm Quecksilbersäule sinkt, und wird außer Tätigkeit gesetzt durch Absperren des Wasserzuffusses, sobald die Luftleere in dem mit der Pumpe ständig verbundenen besonderen Ausgleichsbehälter über 55 cm steigt.

Das Führerhaus ist mit dem Rahmen fest vernietet. Der Aufbau ist zur Einbringung der Motoren, des Umformers und des Wasserwiderstandes abhebbar.

Abb. 8. Stromabnehmer mit mechanischem Bügelwechsel Bauart der Österr. S S W. Schmäler Bügel oben.



Die Motoren sind nach der Art der Doppelmotoren-Anordnung der italienischen Drehstromlokomotiven oberhalb der Triebachsen in den Rahmen von oben eingesetzt. Die beiden Motoren liegen unmittelbar nebeneinander in der Mitte der Lokomotive und treiben mittelst zweier Rahmen (Kandórahmen) die Räder, ohne Zwischenschaltung einer Vorgelegewelle an. Zum Unterschied gegenüber dem Antrieb der älteren italienischen Lokomotiven stellt dieser Rahmen keine steife Dreieckverbindung dar, sondern besteht aus vier mit Bolzen verbundenen Gliedern, die bei zweien der Gelenkpunkte die Kurbelzapfen der Motoren fassen und in einem geeigneten Punkte mit den Kuppelstangen der Räder verbunden sind. Die Längen der einzelnen Glieder zwischen den Gelenkpunkten sind so gewählt, daß der mit den Kuppelstangen der Räder verbundene Punkt infolge Formänderung des Dreieckgetriebes sich zwischen weiten Grenzen lotrecht auf der die Motor-kurbelzapfen verbindende Linie bewegt. Diese Eigenschaft des Antriebes erlaubt eine beliebige Höhenänderung der Motorwellen. Der Höhenänderung der Kuppelachsen infolge des Spieles der Tragfedern wird kein Widerstand entgegengesetzt. Nichtsdestoweniger eignet sich dieser Triebrahmen (sogenannter aufgelöster Kandórahmen) als in wagrechter Richtung steife Konstruktion zur Übertragung der Triebkraft der Motoren auf die Räder. Diese Konstruktion erfüllt denselben Zweck, wie die bekannte Dreieckpleuelstange, mit dem Unterschiede, daß anstatt der

schweren sowohl in der Herstellung wie beim Zusammenbau umständlichen Dreieckkuppelrahmen leichtere, gerade Stangen verwendet und die Gleitschlitze vermieden werden. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Vermeidung jeden Fehlers in der richtigen Länge der Kuppelstangen gelegt. Die Einstellung der Länge erfolgt durch Verdrehen der Lagerbüchsen im Triebstangenkopf. Diese Büchsen sind exzentrisch ausgebohrt und mit einer Skala versehen, auf der die zwei Endstellungen, bei welchen infolge Verdrehens der exzentrischen Lagerschale die Kuppelstange sich zwischen den in den Totpunkt gestellten Kurbelzapfen zu klemmen beginnt, abgelesen werden können. Der Unterschied der abgelesenen Endstellungen gibt den doppelten Betrag der Summe aller toten Spiele in den Lagerungen und die Einstellung der verdrehbaren Lagerschale in die Mittelstellung die Halbierung der toten Spiele und die theoretisch richtige Länge der Kuppelstange. In dieser Stellung werden die Lagerschalen der Pleuelstangenköpfe fixiert.

Was den elektrischen Teil der Lokomotiven betrifft, so sind beide mit je zwei unabhängigen Pantograph-Bügelstromabnehmern Bauart Siemens-Schuckert-Werke versehen, die mittels je eines Trennmesserschalters und einer Verbindungsleitung am Dach im Freien verbunden sind. Von dieser Verbindungsleitung zweigt die Stromzuführung durch eine Drosselspule und einen automatischen Ölausschalter zur Hochspannungswicklung des Phasenumformers ab. Der Hauptölschalter wird vom Führerstand mittels einer mechanischen Übertragung durch einen nach amerikanischer Art gebauten »lose handle«-Hebel betätigt. In den Einführungs-Porzellan-Isolatoren ist ein Stromtransformator eingebaut, dessen sekundärer Stromkreis mit dem Auslösemagnet verbunden ist. Dieser spricht auch dann an, wenn ein Kurzschluß im Ausschalter selbst entsteht.

Der Ständer des Umformers enthält drei Wicklungen. Eine Einphasen-Hochspannungs-Spulenbewicklung, die mittels des Hauptölschalters zwischen Fahrleitung und Erde geschaltet wird. Eine Niederspannungswicklung, die in denselben Nuten wie die Hochspannungswicklung untergebracht ist, dient zur Speisung sämtlicher Hilfsapparate, wie Pumpen, Kompressoren und Ventilator-Motoren, sowie zur Speisung des Dampfheizkessels (nur bei der 1 D 1-Lokomotive), ebenso zum Anlassen des Umformers. Die dritte Bewicklung ist eine geschlossene Trommelwicklung, die knapp neben dem Luftspalt liegt, wogegen die zwei erstgenannten Wicklungen vom Luftspalt weiter entfernt sind, so daß der Eisenkern durch Verjüngung der Nuten zwischen den zwei Wicklungsgruppen eine Art magnetische Brücke bildet. Diese magnetische Brücke erlaubt eine gewisse Unabhängigkeit der induzierten E. M. K. der ersten zwei Wicklungen und der letzteren Wicklung. Der Läufer ist mit einer Gleichstromwicklung und mit einem kräftigen Amortiseur versehen, nach Art der Turbogeneratoren. Der Läufer bekommt Gleichstromerregung von einer auf den dem Führerhaus zugekehrten Wellenstummel des Umformers aufgesetzten Gleichstromerregemaschine. Die Erregung des Läufers wird durch einen selbsttätigen Regler stets so eingestellt, daß der von der Fahrleitung abgenommene Strom mit der Spannung in Phase zusammenfällt und infolgedessen der Leistungsfaktor gleich der Einheit ist. Sobald der abgenommene Strom der Fahrdrachtspannung voreilt, wird die Gleichstromerregung des Umformerläufers vermindert. Bleibt der Strom hinter der Spannung in Phase zurück, so wird die Erregung selbsttätig

erhöht. Auf diese Weise wird der Leistungsfaktor bei allen Belastungen praktisch genommen $= 1$ gehalten. Durch entsprechende Bemessung der elektrischen und magnetischen Teile des Umformers und der Motoren, insbesondere durch richtiges Bemessen der obenerwähnten magnetischen Brücke wird erzielt, daß jene Erregung, welche dem Einheitsleistungsfaktor am Fahrdracht entspricht, gleichzeitig auch nahezu den höchsten elektrischen Wirkungsgrad der aus dem Umformer und den zwei Hauptmotoren bestehenden mechanischen Gruppe gibt.

Die eben erwähnte $\cos \varphi$ -Regiung bringt es mit sich, daß ein niedriger Leistungsfaktor der Motoren auf die Leitung, Unterwerke und auf das Kraftwerk nicht zurückwirkt; es kann also die Konstruktion der Motoren, ohne Rücksicht auf den Leistungsfaktor, entsprechend dem höchsten Wirkungsgrad und der besten Ausnützung des aktiven Materials (des Kupfers und des Eisens) erfolgen.

Da der Umformer die den Motoren zugeführte Spannung selbst erzeugt, ist die Lokomotive von den Schwankungen der Fahrdrachtspannung in weiten Grenzen unabhängig.

Die Stromrückgewinnung bei diesen Lokomotiven geschieht ebenso selbsttätig, wie bei den gewöhnlichen Drehstrom-Lokomotiven.

Die Hauptmotoren sind nach der bekannten Art niedrig gespannter, langsam laufender Induktionsmotoren gebaut und eignen sich wegen ihrer niedrigen Geschwindigkeit zum direkten Antrieb der Räder mittels Pleuelstangen ohne Zwischenschaltung von Zahnradübersetzung.

Die verschiedenen synchronen Geschwindigkeiten werden teils mittels Polumschaltung der Motoren, teils mittels Kaskadenschaltung erzielt. Die Mehrphasentrommelwicklung des Umformers besitzt 10 Anzapfungen, die die Abnahme 2, 3 und 4-phasigen Stromes erlauben. Das Anlassen der Motoren geschieht durch einen Wasserwiderstand, der im Sekundärstromkreis der Motoren eingeschaltet ist. Die verschiedenen Schaltungen zwischen Motor, Umformer und Motoren werden durch drei Apparate bewerkstelligt:

- a) durch einen Fahrtwender,
- b) einen Phasenschalter, der aus zwei 8-poligen und einem 6-poligen mit magnetischer Funkenblasung versehenen Ausschalter besteht,
- c) durch den Kaskadenschalter, der zwei Stellungen hat. In einer Stellung sind die zwei Motoren parallel geschaltet, in der anderen sind sie in Kaskade.

Der erste und der letzte der drei Apparate schaltet stromlos. Der zweite hingegen ist imstande, den vollen Betriebsstrom zu unterbrechen. Die drei Apparate und der Wasserwiderstand werden durch pneumatische Servomotore betätigt.

Die Hilfsapparate, wie Luftkompressoren, Ventilatoren und Pumpen, werden von der Niederspannungswicklung des Umformers mit Drehstrom gespeist und besitzen alle Induktionsmotoren mit kurzgeschlossenem Läufer.

Die erste der beiden Probelokomotiven, und zwar die 1 D 1, wird voraussichtlich im Oktober dieses Jahres zur Ablieferung gelangen. Die dann vorzunehmenden Versuchsfahrten und der Probetrieb werden ein Urteil darüber ermöglichen, ob sich die Erwartungen, die an diese Bauart geknüpft werden, voll erfüllen. Es wird dann auch Gelegenheit sein, über die Einzelheiten der Lokomotiven, ihre betriebstechnischen Eigenschaften usw. allfällig noch weitere Mitteilungen folgen zu lassen.

Versuche der Königl. Ungarischen Staatsbahnen mit einem neuen Elektrisierungssystem.

Von Staatsbaurat Ing. L. von Verebely,
Leiter des Elektrisierungsbüros der Königl. Ungarischen Staatsbahnen.

Durch die, im Vertrag von Trianon kodifizierte Zerstückelung der tausendjährigen Länder der heiligen ungarischen Krone, geriet deren zentraler Teil, das jetzige Ungarn, auch energiewirtschaftlich in eine äußerst kritische, ja sogar katastrophale Lage.

Mit der mächtigen Kette der das Donau-Tisza-Becken umfassenden und zur vollkommenen geographisch-ökonomischen Einheit ergänzenden Karpathen, wurden dem uns belassenen Rumpfe alle jene bedeutenderen natürlichen Energiequellen abgetrennt, welche in erster Linie berufen gewesen wären,

alle Gebiete des Wirtschaftslebens unerschöpflich mit billiger Energie zu versorgen. Ungarn verlor seine sehr ergiebigen Erdgasquellen vollständig, von seinen Wasserkraften 94%, von seinen mächtigen Waldungen 85% und von seinen, von Haus aus karg bemessenen Kohlenschätzen die besten und größten Lager. Statt der früheren, längs der zu elektrifizierenden Hauptbahnlinien überaus günstig gelegenen Wasserkraften, müssen sich die Elektrifizierungspläne Rumpf-Ungarns derzeit fast ausschließlich auf solche Brennstofflager stützen, welche quantitativ — die Fortsetzung der jetzigen Verschwendung vorausgesetzt — für kaum 60 Jahre ausreichen und qualitativ bis ca. 40% aus solchen minderwertigen Stoffen (wie Lignit und Torf) bestehen, welche in der jetzigen Wärmewirtschaft kaum, oder nur sehr unwirtschaftlich verwertet werden können. Eine großzügige Elektrifizierung, durch welche eine Brennstoffersparnis von rund 60% erzielt werden kann, und welche es ermöglicht zur Erzeugung von Energie solche minderwertige Brennstoffe heranzuziehen, welche die Beförderungskosten nicht vertragen und demgemäß weder zur allgemeinen Verfeuerung, noch zur Lokomotivfeuerung im besonderen verwendet werden können, kommt bei dieser Sachlage sehr zu Hilfe. Die Elektrifizierung ist daher vom energiewirtschaftlichen Standpunkt in unserem, verarmten Lande ebenso berechtigt, wie in jenen glücklicheren Ländern, welche dasselbe Problem mit Hilfe ihrer Wasserkraften zu lösen bestrebt sind. Ein ganz gewaltiger Unterschied besteht jedoch darin, daß unsere natürlichen Energiequellen sich nicht jahraus, jahrein brausend erneuern, sondern leider sehr bald der vollen Entschöpfung entgegengehen. Ihre rationellste und sparsamste Ausbeutung muß demnach auch der Elektrizitätswirtschaft zugrunde gelegt werden.

Dieses Postulat übt nun auf die Systemfrage der Eisenbahnelektrifizierung einen entscheidenden Einfluß. Wärme- kraftwerke können nur dann mit hoher Wirtschaftlichkeit betrieben werden, wenn sie mit möglichst großen Maschineneinheiten und unter möglichst günstigen Belastungsverhältnissen (gleichmäßige Last, hoher Ausnutzungsfaktor) arbeiten. Diese Bedingungen werden im allgemeinen durch die Bahnkraftwerke nicht erfüllt. Einerseits weil diese sich nur langsam entwickeln, andererseits weil ein ausgedehnteres elektrisches Eisenbahnnetz aus Sicherheitsrücksichten unbedingt aus mehreren Kraftwerken gespeist werden soll, wodurch selbst bei bedeutenderer Gesamtleistung, die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Bahnkraftwerke leidet. Günstige Belastungsverhältnisse können nur durch Zusammenfassung vieler Stromabnehmer mit verschiedenartigen Bedürfnissen erzielt werden. Es soll demnach in einem Lande, in welchem sich die Erzeugung der elektrischen Energie fast ausschließlich auf sehr beschränkte Brennstofflager stützt, das Bestreben sowohl im Interesse der rationellen Wärmewirtschaft, als auch der allgemeinen Elektrizitätsversorgung darauf gerichtet sein, die Stromabnehmer weitgehendst zusammenzufassen, und den Strom für Licht-, Kraft- und Bahnzwecke in gemeinsamen Kraftwerken, mit gemeinsamen Maschineneinheiten zu erzeugen und mittels gemeinsamer Fernleitungsanlagen und Unterwerken zu verteilen.

Unsere sehr ausführliche, ein Netz von rund 1400 km umfassenden Untersuchungen haben bewiesen, daß der resultierende Energiebedarf langer, oder mehrerer, mit entsprechendem Verkehr belasteten und zur gemeinsamen Speisung zusammengefaßter Hauptlinien, ein Kraftwerk keinesfalls ungünstiger belastet, als der Kraftbedarf eines größeren Industriegebietes. Ja es kann sogar unter gewissen Voraussetzungen der elektrische Eisenbahnbetrieb für ein ausgedehntes Fernkraftnetz eine willkommene Grundbelastung bedeuten. Wir erblicken daher die wirklich wirtschaftliche Lösung des Elektrifizierungsproblems in einem solchen System, welches die Erzeugung, bzw. Umformung und

Übertragung einer besonderen Bahnenergie unnötig macht und die direkte Verwendung von Wechselstrom von normaler Frequenz (50), ohne Zwischenschaltung von Unterwerken mit rotierenden Umformern gestattet.

Diesem Leitsatze folgend, richteten die Königl. Ungarischen Staatsbahnen einen Probebetrieb ein, in welchem ein neues, von Generaldirektor Dr. Ing. h. c. K. von Kandó vorgeschlagenes System, in jeder Beziehung der praktischen Erprobung unterworfen werden soll. Dem Wesen nach beruht dieses System auf Phasenspaltung. Ein auf der Lokomotive angebrachter, einem Turbogenerator ähnlicher Synchronumformer erhält von der Arbeitsleitung Einphasenstrom von 15 000 Volt Spannung und 50 Perioden und formt denselben auf Dreiphasenstrom von niedriger Spannung, welcher zur Speisung der Antriebsmotore dient, um.

Diese Art der Lösung wird nun im Gegensatz zum amerikanischen »splitphase« System, nicht nur dahin ausgenützt, um die vorzüglichen Eigenschaften der von den italienischen Staatsbahnen rühmlich bekannten einfachen, kräftigen und betriebssicheren Drehstromlokomotiven mit denjenigen der billigen, übersichtlichen hochgespannten einpoligen Oberleitung zu vereinigen, sondern, und in erster Linie, um durch entsprechenden Entwurf der Motore und des Phasenspaltes, sowie durch die eigenartige automatische Regelung der Erregung des letzteren, äußerst wertvolle und bedeutende Vorteile zu erreichen. Ohne in rein elektrotechnische Einzelheiten hier näher einzugehen, können die charakteristischen Merkmale des neuen Systems wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Die Motoren arbeiten zwischen weiten Grenzen der Belastung mit angenähert konstantem, und zwar mit dem theoretisch höchsten Wirkungsgrad. Daraus folgt, daß auch der Wirkungsgrad der Lokomotive praktisch konstant bleibt und von der Belastung bzw. von der Ausnützung derselben unabhängig ist.

2. Die Phasenverschiebung des Primärstromes ist von der Phasenverschiebung der Motorströme unabhängig. Demnach können auch bei 50 Perioden langsam laufende, ohne Zahnradübersetzung unmittelbar antreibende Drehstrommotoren, ohne Nachteil verwendet werden, was die mechanische Konstruktion vereinfacht und verbilligt. Aus demselben Grunde kann durch automatische Regelung innerhalb der Bahnanlage die Phasenverschiebung null, oder irgend ein anderer Leistungsfaktor konstant gehalten werden, so daß der elektrische Bahnbetrieb zur Regelung, bzw. Verbesserung des Leistungsfaktors der ganzen Kraftübertragungsanlage herangezogen werden kann.

3. Die Klemmenspannung der Motoren ist von der Fahrdrachtspannung innerhalb weiter Grenzen unabhängig. Die Lokomotive ist daher auch gegen verhältnismäßig große Spannungsabfälle unempfindlich.

4. Nachdem der Primärstrom mit Null, oder etwas voreilender Phasenverschiebung abgenommen wird, hat die durch die Induktanz der Leitungen hervorgerufene Spannungskomponente trotz der hohen Frequenz, keinen wesentlichen Einfluß.

Aus den beiden letztgenannten Gründen folgt, daß die gegenseitige Entfernung der Unterstationen erhöht werden kann.

5. Zufolge der verhältnismäßig großen Unabhängigkeit der Motorströme vom Fahrdrachtsstrom, können die Motoren mit hoher Materialausnützung gebaut werden, d. h. sie werden für gegebene Leistung und Erwärmung leichter. Hierdurch kann die, durch die Anwendung des Phasenspaltes hervorgerufene Gewichtsvermehrung der Lokomotive zum Teil ausgeglichen werden, wie dies aus der hohen spezifischen Leistung 34 PS/t (welche gleich derjenigen der besten Drehstrom-

lokomotiven ist, vgl. Gr. 0,50 der italienischen Staatsbahnen *) erkenntlich ist.

6. Der Kurzschlussstrom des Phasenspaltes ist zufolge der eigenartigen Anordnung der Wicklungen desselben kleiner als sein Vollaststrom. Falls daher der Umformer aufer Tritt fällt, so stört dies das Kraftwerk nicht, eine Eigenschaft, welche mit Rücksicht darauf, daß die Speisung der elektrisierten Bahn aus gemeinnützigen Kraftanlagen erfolgen soll, von ausschlaggebender Bedeutung ist.

7. Aus allen diesen Eigenschaften — zu denen noch jene zwei Grundvorteile angereicht werden müssen, erstens, daß die elektrisierte Bahn mit einfachen Umspannstationen sich dem allgemeinen Kraftverteilungsnetz anschließt, und zweitens, daß von der Nutzbremse ebenso Gebrauch gemacht wird wie beim reinen Drehstromsystem — folgt, daß der Wirkungsgrad der gesamten Kraftübertragung hoch, der spezifische Energieverbrauch also klein ist, und daß gegenüber anderen Systemen, sowohl in den Anlage-, als auch in den Betriebskosten wesentliche Ersparnisse erzielt werden können.

Zur praktischen Erprobung dieses so bemerkenswerte neuartige Eigenschaften versprechenden Systems, haben die königl. ungarischen Staatsbahnen auf ihrer früheren Pozsony-Wiener Hauptlinie eine Probestrecke ausgerüstet, welche von Budapest-Westbahnhof gegen Norden bis Dunakeszi-Alag führt. Ihr Oberbau ist erstklassig und durchwegs zwei-, stellenweise mehrgleisig. Die elektrisierte Streckenlänge beträgt 15,2 km doch sind einschließlic der Bahnhöfe insgesamt 40,6 km Gleislänge mit Oberleitung versehen, so daß alle fahrplanmäßigen Zugbewegungen auch mit elektrischer Lokomotive durchgeführt werden können. Der lebhafte Verkehr besteht hauptsächlich aus Lokalzügen von 200—400 t Gewicht, doch können — nachdem der große Rangierbahnhof von Rákos durchquert wird — auch Fahrten mit schweren Lastzügen vorgenommen werden.

Die Oberleitung, welche in manchem die Merkmale eines Provisoriums trägt, ist als einfache Kettenleitung ausgeführt, bestehend aus einem hartgezogenen Kupferdraht von 80 qmm Querschnitt als Fahrdrabt, welcher in Abständen von 6,25 m mittels vertikaler Hängedrähte an dem stählernen Tragdraht von 6 mm Durchmesser aufgehängt ist. Die normale Fahrdrabhöhe beträgt 6 m, die normale Spannweite 50 m. Das ganze Kettenwerk wird von kreuzförmigen leichten stählernen Auslegern getragen, die mittels vertikaler Stützisolatoren drehbar auf den hölzernen Masten befestigt sind. Eiserne Gittermaste wurden nur an den Verankerungsstellen und in der Station Budapest-Westbahnhof angewendet. Auf den Mastspitzen läuft ein Erddraht, welcher bei jedem Maste mit den Schienen verbunden ist. Die Schienenstöße sind durch S-förmig gebogene Kupferstränge überbrückt, welche in den Schienenfufs von unten eingesetzt sind. Die ganze Leitungsanlage ist durch Luft-Streckentrennungen in 8 von einander isolierte und unabhängige Abschnitte geteilt. Die Stationen sind mit Umgehungsleitung versehen und hellgelbe elektrische Signallampen zeigen es dem einfahrenden Führer an, ob das Stationsnetz unter Spannung steht oder nicht. Die Lampen werden durch kleine Masttransformatoren gespeist. Alle Einzelheiten der Leitungsanlage, einschließlic der Schalter und der Signalanordnung wurden im Elektrisierungsbüro entworfen, in den Werkstätten der Staatsbahnen ausgeführt und im Eigenbetrieb verlegt.

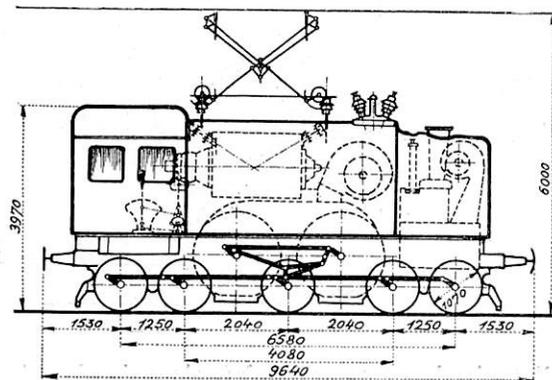
Die elektrische Energie wird von der Zentrale der Hauptwerkstätte Istvántelek der Staatsbahnen geliefert, welche unmittelbar längs der Strecke und ungefähr in ihrer Hälfte liegt. Sie ist, neben zwei kleineren älteren Kolbendampf-

*) Vgl. L. von Verebely: Elektrische Vollbahntraktion in Italien. Elektrotechnik und Maschinenbau. Wien 1919, Hefte 20, 21, 22.

maschinen, die jetzt nur als Reserve dienen, mit zwei Dreiphasen-Turbogeneratoren von 3500 KVA Leistung, bei 5200 Volt und 42 Perioden, ausgerüstet. Die Periodenzahl soll demnächst auf 50 erhöht werden. Die Oberleitung wird von einem Einphasen-Öltransformator von 1000 KVA Dauerleistung gespeist, dessen Niederspannungsseite an eine Phase der Sammelschienen angeschlossen ist.

Die, nach den oben erwähnten Prinzipien gebaute Probelokomotive (Abb. 1) wurde von Generaldirektor Dr. Ing. h. c. K. von Kandó bereits im Jahre 1917 entworfen, jedoch zufolge der außerordentlichen Schwierigkeiten, mit welchen die ungarische

Abb. 1. E-Lokomotive der Königl. Ungarischen Staatsbahnen.



Industrie nach dem Zusammenbruch zu kämpfen hatte, erst im Jahre 1923 fertiggestellt. Ihr mechanischer Teil wurde in der Staatlichen Maschinenfabrik (Magyar Allami Gépgyár), die elektrische Ausrüstung von der Ganzschen Elektrizitäts-A.-G., beide in Budapest, ausgeführt. Die Hauptdaten der, für Personen- und Güterzugsdienst bestimmten Maschine sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt:

Laufwerk	0—E—0
Länge zwischen den Puffern	9640 mm
Ganzer Radstand	6580 »
Fester Radstand	4080 »
Raddurchmesser	1070 »
Dienstgewicht	80 t
Höchste Anfahrzugkraft ca.	20000 kg
Geschwindigkeitsstufen bei 50 Per.	25—33—50—66 km/St.
Stundenleistung ca.	2720 PS.

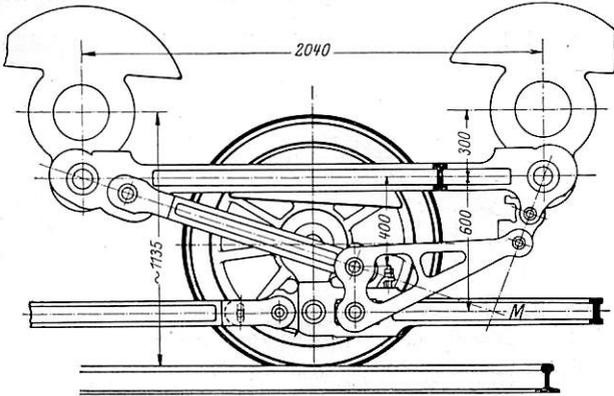
Die fünf gekuppelten Räder werden von zwei, symmetrisch an beiden Seiten des mittleren Triebrades, halbhoch im Rahmen fest gelagerten Motoren angetrieben. Der, von den italienischen Drehstromlokomotiven wohlbekannte Dreieck-(Kandó)-Rahmen ist, zur Vermeidung der am Kurbelzapfen des mittleren Triebrades angreifenden Kulissee, durch einen neuartigen gelenkigen Gliederrahmen ersetzt, welcher die Motorkurbeln und den Kurbelzapfen des mittleren Triebrades bei Übermittlung der horizontalen Kraftkomponente starr verbindet, dem vertikalen Federspiel der mittleren Triebachse jedoch frei nachgibt (Abb. 2).

Die beiden, mit künstlicher Kühlung versehenen Drehstrom-Antriebsmotoren sind in einer hier nicht näher zu erörternder Weise sowohl am Ständer, wie am Läufer mit zwei unabhängigen Dreiphasenwicklungen von verschiedener Polzahl (18 und 6) versehen. Sie können daher sowohl in sich, als auch beide unter sich, in Kaskade, oder parallel geschaltet werden, wodurch die in der obigen Tabelle ersichtlichen vier Geschwindigkeitsstufen erreicht werden.

Der Phasenspalter ist über den Motoren, mit parallel zur Lokomotivachse liegender Welle, an entsprechend versteiften Rippen des Lokomotivkastens, mittels dreier Ösen aufgehängt. Er kann sich daher gewissermaßen frei vom Kasten, bzw. vom Rahmen einstellen. Sein Ständer ist mit zwei konaxial angeordneten und in eigenartig ausgebildeten Nuten liegenden

Bewicklungen versehen. Die primäre oder motorische, ist eine Einphasenwicklung, welche unmittelbar zwischen Fahrleitung und Schiene geschaltet ist; die sekundäre oder Erzeugerwicklung ist eine Dreiphasenwicklung, deren Strom den Haupt- und Hilfsmotoren zugeführt wird. Der zweipolige Läufer dreht sich bei 50 Perioden mit 3000 Umdr. Min. Seine, von einer unmittelbar angebauten und mit besonderer Feldkonstruktion versehenen Erregermaschine gelieferte, Gleichstromerregung

Abb. 2. Antrieb der E-Lokomotive der Königl. Ungar. Staatsbahnen.



wird selbsttätig derart geregelt, daß einerseits den Antriebsmotoren jene, mit der Belastung sich ändernde Spannung zugeführt wird, welche bei der betreffenden Belastung dem höchstmöglichen Wirkungsgrad entspricht, andererseits im Primärstromkreis eine beliebige Phasenverschiebung (normal Null, oder etwas voreilend) konstant gehalten wird. Das Anlassen des Umformers geschieht von einer Sammlerbatterie, welche während der Betriebspausen von der Erregermaschine aufgeladen wird.

Sämtliche zur Regelung der Geschwindigkeit nötigen Schaltungen werden durch einen einzigen großen, quer im Führerabteil liegenden Fahrshalter bewirkt, welcher vom Lokomotivführer rein mechanisch, mittels eines verschiebbaren Hebelarmes betätigt wird. Zum Anlassen der Antriebsmotoren dient ein, von den Kandó'schen Drehstromlokomotiven wohlbekannter und bewährter Wasserwiderstand. Die Energieaufnahme wird durch einen Automaten geregelt, so daß die Bedienung der Lokomotive äußerst einfach ist.

Die Lokomotive ist, ähnlich wie die Dampflokomotiven, nur mit einem, einseitig angeordneten, Führerstand versehen. Die Aussicht entspricht auch in der Richtung des Lokomotivkastens allen Anforderungen. Der, am Kastendach befestigter, Stromabnehmer öffnet sich scherenartig und trägt am Ende seiner beiden Schenkel selbständig gefederte Schleifbügel.

Die Lokomotive hat sich bei den bisher vorgenommenen zahlreichen Probefahrten, in welchen Personenzüge von 300-400 t und Lastzüge bis 1300 t Gewicht befördert wurden, sowohl in konstruktiver als auch in prinzipieller Hinsicht sehr gut bewährt. Das Triebwerk, die Motoren und der Phasenspalter arbeiten stets tadellos, und nur an den automatischen Reglern, sowie an den Nebeneinrichtungen mußten auf Grund der praktischen Erfahrungen kleinere Abänderungen vorgenommen werden. Von grundlegender Bedeutung ist aber die Tatsache, daß die verhältnismäßig kleine Drehstromzentrale durch die ihr unmittelbar angeschlossene einphasige Bahnbelastung gar nicht gestört wird. Die normale, von Licht- und Kraft-herrührende Dreiphasenbelastung beträgt 1300-1600 KVA mit $\cos \varphi = 0,6$, auf welcher sich die Einphasenbelastung mit 400-800 KW und $\cos \varphi = 1 \approx 0,95$ voreilend überlagert. Die hervorgerufene Asymmetrie ist unwesentlich, der Spannungsabfall vernachlässigbar und der Leistungsfaktor der ganzen Anlage wird verbessert.

Die behördliche Begehung der Einrichtungen des elektrischen Probebetriebes fand am 23. April l. J. statt und der fahrplanmäßige Betrieb wird voraussichtlich anfangs August aufgenommen werden. Die Staatsbahnen beabsichtigen denselben ein Jahr lang zu führen, um die zu einer großzügigen Ausführung nötigen Erfahrungen in jeder Richtung hin verlässlich sammeln zu können. Der zunächst vorzunehmende weitere Schritt wäre die Elektrifizierung der Hauptlinie Budapest—Ostbahnhof—Bruck a. L.—Wien bis zur ungarischen Grenze (197 km). Wenn die nötigen Geldmittel aufgebracht werden können, so soll dies mit der Errichtung einer neuen großen Überlandzentrale in Várpalota (80 km sw. von Budapest) verbunden werden, welche die dortigen Lignit- und Torffelder benützend, außer der Bahn, zum Teil Budapest und den gesamten nordöstlichen Teil Transdanubiens mit elektrischer Energie zu versorgen hätte. Sollte aber dies unter den herrschenden traurigen finanziellen Verhältnissen nicht möglich sein, so kann die Elektrifizierung der genannten Linie dennoch erfolgen, und zwar durch den direkten Anschluß an die längs der Strecke liegenden größeren bestehenden Dampfzentralen. Die städtischen Zentralen von Budapest und Győr, sowie das Kraftwerk des Kohlenbergwerkes Tata, durch die Fernleitung der Bahn zusammengeschlossen, können die benötigte Energie ohne Schwierigkeit — wenn auch energiewirtschaftlich nicht so vorteilhaft als die Überlandzentrale von Várpalota — liefern, denn, nach den bisherigen Ergebnissen, hat unser neues System die Möglichkeit geschaffen, den Strombedarf der elektrisierten Hauptbahnen durch unmittelbaren Anschluß aus bestehenden Kraftwerken zu decken und hierdurch dieses wichtige Problem der technisch einfachsten und energiewirtschaftlich vorteilhaftesten Lösung zuzuführen.

Die Elektrisierung der Schweizer Bahnen.

Von Regierungsbaurat Tetzlaff, Berlin.

A. Systemwahl, Entwicklung, Bauplan.

Die Anfänge der elektrischen Vollbahnzugförderung in der Schweiz gehen auf das Jahr 1899 zurück. Damals begann der elektrische Betrieb auf der Strecke Burgdorf—Thun mit Abzweigung nach Langnau. Man verwendete Drehstromlokomotiven und -Triebwagen für 750 Volt Fahrdrachtspannung und 40 Per./Sek., also ein heute längst überholtes System. 1906 wurde die Simplon-Tunnelstrecke elektrisch befahren und zwar mit der noch heute dort üblichen Drehstromspannung von 3000 Volt, $16 \frac{2}{3}$ Per./Sek. Man beschränkte sich damals zunächst auf die 22 km lange Strecke zwischen Brig und Iselle, d. h. also auf den Tunnel selbst, zur Umgehung der Schwierig-

keiten durch den Lokomotivrauch. Während des Weltkrieges wurde die Fahrleitung bis Sitten verlängert, wobei vorläufig der Drehstrombetrieb beibehalten wurde. Es sollte nämlich das Kraftwerk Massaboden, welches die elektrische Zugförderungslieferung lieferte, einigermaßen ausgenutzt werden, trotz des fast vollständigen Stilliegens des schweizerisch-italienischen Verkehrs über den Simplon während des Krieges.

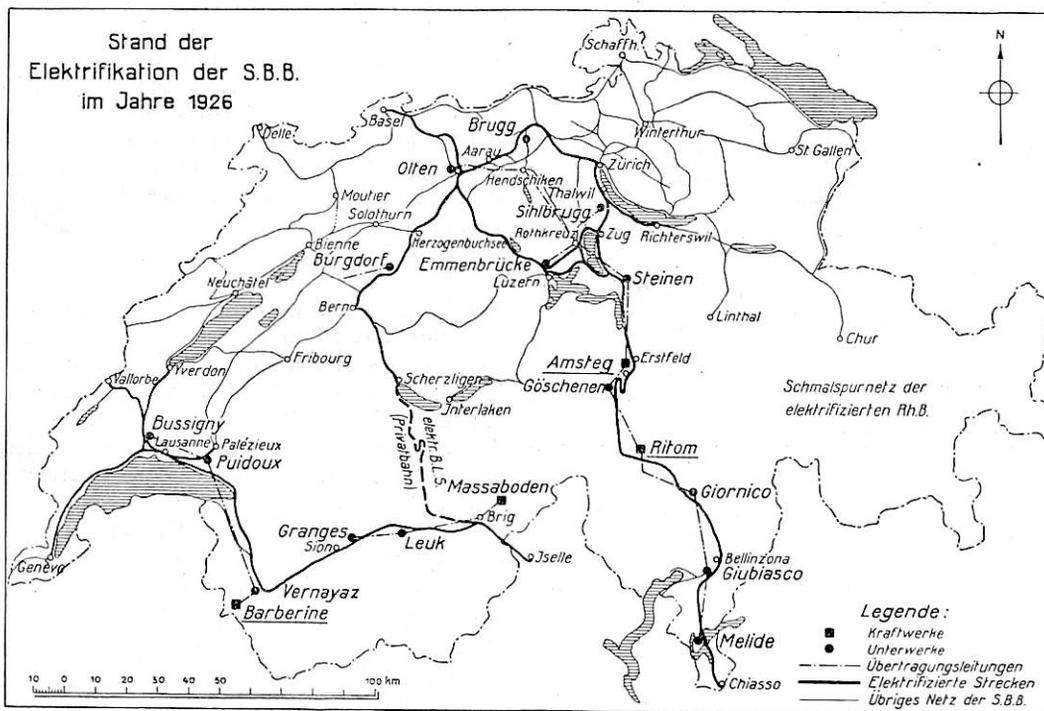
Im Jahre 1910 wurde anlässlich des internationalen Eisenbahnkongresses in Bern von einem bereits 1901 eingesetzten Ausschuss maßgebender schweizerischer Fachleute ein eingehender Bericht über die Einphasenzugförderung erstattet und 1912 durch einen Schlußbericht ergänzt, in dem das

Einphasensystem mit $10 \div 15000$ Volt Fahrdrachtspannung und $13 \frac{1}{3} \div 16 \frac{2}{3}$ Per/Sek als das geeignetste für den weiteren Ausbau des elektrischen Betriebs auf den Schweizer Bahnen bezeichnet wurde. Ein wesentlich entgegenstehender Umstand, die Störungen längs der Bahn laufender Schwachstromanlagen durch Wechselstrombetrieb, fiel insofern wenig ins Gewicht, als bei jeder Elektrisierung mit der für Fernbahnbetrieb nötigen hohen Fahrdrachtspannung (auch bei Gleichstrom) die Schwachstromleitungen in der Nachbarschaft der Fahrleitungen für gefährdet gehalten wurden. Man legte der Möglichkeit von Berührungen mit Hochspannung bei Drahtbrüchen und bei Unterhaltungsarbeiten so große Bedeutung bei, daß man damit rechnete, die Leitungen auf jeden Fall vom Bahnkörper entfernen zu müssen. Zur Frage der Stromart äußerte sich der Schweizer beratende Ingenieur Huber (Bericht an den internationalen Eisenbahnkongress in Rom 1922, Frage 8, Elektrische Zugförderung) in sehr treffender Weise, daß es bei der Elektrisierung weniger auf die — oft recht schwierige und umstrittene — Frage der Stromart ankomme, als auf die Güte der Ausführung.

dem Einphasenbetrieb zu. Vor kurzem sind die gesamten Elektrisierungsarbeiten beendet worden, so daß diese Gesellschaft ihre Züge nunmehr nur noch elektrisch befördert.

Am spätesten (1913) entschlossen sich die Schweizerischen Bundesbahnen zur Elektrisierung und zwar zunächst auf der Gotthardbahn. Sie begann mit dem Abschnitt Erstfeld—Bellinzona (110 km). Durch den Weltkrieg wurde die Arbeit zunächst gehemmt. Dann traten aber gerade aus diesem Anlaß zwingende Gründe zur beschleunigten Weiterführung ein. Die Kohlenversorgung der Schweiz wurde nach und nach so unzulänglich und kostspielig, daß man sich von ihr unabhängig machen mußte und daher mit allem Nachdruck auf das Ziel zusteuerte, nur noch Wasserkraft für den Eisenbahnbetrieb zu benutzen. Die Wahl der Stromart durfte hierbei nicht noch zu Verzögerungen führen, und da die bisherigen Ergebnisse des Einphasenbetriebes günstig waren, da ferner die Schweizer Industrie mittlerweile auf dieses System eingestellt war, wählte man ohne die Erfahrungen auf der ersten Gotthard-Teilstrecke abzuwarten (wie ursprünglich gedacht war), den Einphasenstrom mit 15000 Volt und $16 \frac{2}{3}$ Per/Sek auch für alle weiteren

Abb. 1.



Der erste Versuch mit Einphasenstrom in der Schweiz fand auf der Strecke Seebach—Wettingen (21 km) statt. Auf Grund der dort gemachten Beobachtungen begann 1910 die Berner Alpenbahngesellschaft den 14 km langen Teilabschnitt der Lötschbergbahn von Spiez bis Frutigen für Einphasenbetrieb auszurüsten. Bereits 1913 führte sie den gesamten Zugverkehr von dort bis Brig am Simplon mit Einphasenstrom durch (74 km), es folgten die anschließenden Strecken von Spiez bis Scherzligen (1915) und nach Interlaken—Böningen (1920), zusammen weitere 30 km. Gleichzeitig fand nach dem nunmehr noch ausschließlich verwendeten Einphasensystem der elektrische Betrieb auf den sogenannten Dekretsbahnen des Kantons Bern Eingang (90 km) (Bern—Belp—Thun, Bern—Schwarzenburg, Spiez—Zweizimmen).

Auch am Ostrande der Schweiz arbeitete man im gleichen Sinne. Die Rhätische Bahngesellschaft, welche über ein verkehrsreiches Schmalspurnetz (1 m) von 277 km verfügt und den gesamten Bahnverkehr im Engadin (Chur—St. Moritz [Albulabahn], Schuls, Davos, Disentis) bedient, wandte sich ebenfalls

Elektrisierungen. Übrigens spielte hier ebenfalls die Verbesserung der Ausnutzung bestehender Kraftwerke mit der dort einmal eingerichteten Stromart (besonders an der Lötschbergbahn) eine bedeutende Rolle, ein Gesichtspunkt, der auf die Wirtschaftlichkeit der elektrischen Zugförderung wesentlichen Einfluss hat und sich in Deutschland nur sehr langsam — gehemmt durch die Finanzlage der Reichsbahn — Geltung verschafft. Der Ausbau Bern—Münsingen—Scherzligen (32 km) begann 1917. Auf dieser Strecke wurden bemerkenswerte Versuche über Schwachstrombeeinflussung durchgeführt. Im Bereiche des Gotthards durchfuhr 1920 die elektrische Lokomotive zum ersten Mal den großen Tunnel. Inzwischen betrieb man den Weiterbau der elektrischen Anlagen nordwärts nach Luzern und Zürich (140 km) und südwärts nach Chiasso (175 km). 1922 konnte der ganze Gotthardverkehr elektrisch geführt werden. Ferner wurde 1920 der Ausbau der Strecke Sitten—Lausanne (92 km) begonnen. Der damals aufgestellte Ausbauplan (vgl. Abb. 1) sah folgende Strecken vor: Für 1923: Sitten—Lausanne, Luzern—Olten, Thalwil—Richterswil; für

1924: Olten—Basel, Lausanne—Vallorbe, Dailens—Yverdon, Zürich—Olten; für 1925: Renens—Genf, Olten—Bern; für 1926: Lausanne—Palézieux.

Dieser Plan ging davon aus, daß im ganzen in 30 Jahren das Schweizerische Bundesbahnnetz (rund 2900 km) elektrisiert sein sollte. In den letzten Jahren hat sich aber die Bundesbahn-Gesellschaft aus den erwähnten Gründen zu einem schnelleren Bau entschlossen, so daß bis Ende 1928 die meisten Hauptstrecken und zwar insgesamt etwa 1566 km fertig eingerichtet werden sollen. Die ursprünglich geplante Baulänge von jährlich etwa 100 km soll also um etwa die Hälfte überschritten werden. Zu diesem Zweck wurde der ein selbstständiges wirtschaftliches Unternehmen bildenden Bundesbahnverwaltung eine namhafte Beihilfe (60 Mill. Frs.) vom Bunde gewährt, was damit begründet wurde, daß die Bahnverwaltung durch ihre Aufträge an die Schweizer Industrie der Arbeitslosigkeit abhelfen sollte, also Aufgaben für das Allgemeinwohl zu übernehmen hatte, wofür die Aufwendungen nicht aus ihren allgemeinen Einnahmen bestritten werden konnten. Im Deutschen Reich ist zwar die wirtschaftliche Lage ganz ähnlich; die Finanzlage der Reichsbahn und des Reiches erlaubt jedoch anscheinend nicht eine solche Notstandsmaßnahme, wie sie im weiteren Ausbau der Elektrisierung zu erblicken wäre. Der beschleunigte Bauplan sieht außer den genannten Strecken noch folgende für die Einrichtung des elektrischen Betriebes vor:

Bis Ende 1925: Zürich—Winterthur; bis Ende 1926: Zürich—Rapperswil; bis Ende 1927: Umbau Brig—Sitten für Einphasenstrom Brugg—Basel, Winterthur—St. Gallen—Rorschach, Rothkreuz—Rapperswil, Palézieux—Bern, Yverdon—Olten; bis Ende 1928: Winterthur—Romanshorn—Rorschach, Zürich—Schaffhausen, Richterswil—Chur.

Von den genannten Bauvorhaben sind bis Ende März 1924 etwa 450 km Streckenlänge der Bundesbahnen für elektrischen Betrieb fertiggestellt.

B. Kraftversorgung.

I. Kraftwerke.

Wie bekannt, beruht der elektrische Bahnbetrieb in der Schweiz ausschließlich auf Wasserkraft. Das schon erwähnte kleine Drehstromkraftwerk Massaboden speist zur Zeit die Simplontunnelstrecke und die anschließende Rhônetalbahn bis Sitten. Es gehört den Schweizerischen Bundesbahnen. Die Lötschbergbahn erhält ihren Arbeitsbedarf von den Kraftwerken Kandergrund, Spiez und Mühleberg. Diese Werkgruppe versorgt auch die Strecke Bern—Scherzligen der Bundesbahnen. Für das südwestliche Netz sind zwei große Kraftwerke südlich des Rhônecknies im Bau, die Kraftwerke an der Barberine und bei Vernayaz. Für das Barberinewerk wird durch eine Sperrmauer im Hochgebirge ein Stausee neu gebildet. Das schon fertiggestellte Krafthaus liegt bei Châtelard an der Bahnstrecke Martigny—Chamonix. Das Wasser wird ihm mit einem Gefälle von rund 740 m zugeführt. Es ist leider nicht möglich, auf die außerordentlich bemerkenswerten Ingenieur-Bauarbeiten hier näher einzugehen, welche noch bis 1927 dauern werden und sich in einer bisher völlig wilden Gegend abwickeln. Es darf jedoch auf das sehr reichhaltig ausgestattete Sonderheft der Schweizerischen Technikerzeitung »Zur Elektrifikation der Schweizerbahnen, II. Die Kraftwerke« (Sonderabdruck aus dem Jahrgang 1923 Nr. 27/28, 39/40, 44, Winterthur) verwiesen werden. Diese Wasserkraftanlage von bedeutender Speicherkapazität wird durch das Nachbarwerk bei Vernayaz in der Weise ergänzt, daß erstere in den wasserarmen Jahreszeiten aus dem angesammelten Vorrat des künstlichen Stausees arbeitet, während letzteres ohne Speicheranlage seine volle Leistung im Sommer hergibt. Da es aber zugleich eine Unterstufe zum Barberinewerk bildet, ist es auch zu Zeiten, wo aus dem Speichervorrat gearbeitet wird, noch

verhältnismäßig leistungsfähig, da ihm die Wassermasse zuffießt, die dem Kraftwerk Châtelard entströmt; außerdem empfängt es noch einige andere Gebirgswässer, die jedoch nur im Sommer ergiebig sind. Durch dieses Ineinandergreifen der Arbeitsleistung sollen beide Werke zusammen ständig eine Leistung von 38500 PS vorhalten. Das Barberinewerk ist mit den allerdings noch nicht künstlich gefassten Wasserkraften bereits Ende 1913 in Betrieb gesetzt worden und umfaßt zur Zeit drei Maschinensätze zu je 10000 kVA $16\frac{2}{3}$ Per. Einphasenstrom. Ein vierter Maschinensatz soll folgen. Das Krafthaus von Vernayaz arbeitet mit einem Gefälle von 670 m und wird fünf Turbinensätze zu je 11000 kVA erhalten. Man beabsichtigt, dort auch einen Maschinensatz für 50-periodigen Drehstrom aufzustellen zur Belieferung der Industrie mit überschüssiger Arbeit.

Eine ähnliche Kraftwerkgruppe ist am Gotthard in den Anlagen Amsteg und Ritom geschaffen und schon vorher für den Gottharddienst in Betrieb genommen worden. Das Kraftwerk Amsteg (Abb. 2 und 3) liegt unweit des nördlichen Ausganges vom Gotthardtunnel und wird hauptsächlich durch die Reufs gespeist mit einem mittleren Gefälle von 290 m. Es laufen dort sechs Maschinensätze, fünf für Einphasenstrom, $16\frac{2}{3}$ Per 15 kV, je 10000 kVA und einer für Drehstrom 50 Per/Sek, 8000 Volt etwa gleicher Leistung zur Arbeitslieferung an die Industrie. Die Freistrahlturbinen stammen aus den Ateliers des Constructions Mécaniques de Vevey, die elektrischen Einrichtungen teils von Brown-Boveri, teils von Oerlikon. Zur Lieferung kleinerer Ausrüstungsteile wurden allgemein auch kleinere Firmen herangezogen. In Nachbarschaft dieses Werks befindet sich ein kleines Nebenkraftwerk der S. B. B. bei Göschenen, welches die bisher zum Betrieb des Tunnellüfters dienende Wasserkraft ausnutzt, nachdem die Rauchbelästigung durch die Elektrisierung verschwunden ist. Der dort aufgestellte Stromerzeugersatz, im Wasserkraftteil von Escher-Wyfs in Zürich, im elektrischen Teil von der A. E. G. in Zürich, liefert 1300 kW und ist im nächsten Unterwerk mit dem Kraftwerk Amsteg parallel geschaltet. Er ist ein Asynchrongenerator und besitzt keine Regulierung. Dies Nebenwerk arbeitet gewöhnlich auch ohne Wartung mit Fernsteuerung vom Unterwerk aus.

Das Ritomwerk ist ähnlich dem Barberinewerk eine Speicheranlage. Es wird aus dem Ritomsee gespeist, dessen Wasserspiegel durch eine Sperrmauer um 7 m gehoben worden ist, um den Arbeitsvorrat für den Winter ausreichend zu vergrößern. Während der Sommerzeit wird es möglichst wenig in Anspruch genommen, da dann im Werk Amsteg genügend Wasserkraft zur Verfügung steht. Der bei der Gruppe Barbarine-Vernayaz erzielte Vorteil, auch im Winter das Speicherwasser in der Unterstufe nutzbar machen zu können, liegt hier nicht vor, da das Ritomwerk an der gegenüberliegenden südlichen Seite des Gotthard sich befindet und also nur elektrisch mit Amsteg gekuppelt ist. Im Ritomwerk laufen zur Zeit vier Turbinen der Société Anonyme Piccard-Pictet & Cie. in Genf, welche etwa von gleicher Größe sind, wie die in Amsteg und liefern Einphasenstrom von $16\frac{2}{3}$ Per/Sek und 15 kV. Das Ritomwerk, dessen elektrische Anlagen von denselben Werken geliefert sind, wie in Amsteg, ist seit 1920 im Betrieb, das in Amsteg seit Ende 1922.

Das Rhätische Bahnnetz wird aus 3 Werken gespeist; je einem Wasserkraftwerk bei Thusis und Küblis. Ersteres enthält zwei Maschinensätze für Einphasenstrom von je 2000 kVA, letzteres einen Turbinensatz und einen Motorgenerator (Drehstrom-Einphasenstrom) von je 3600 kVA. Außerdem besteht in Bevers ein Umformerwerk, dessen beide Maschinensätze von je rund 1000 kVA mit Drehstrom gespeist werden und außerdem je eine Gleichstrom-Puffermaschine umfassen, die auf eine Akkumulatorenbatterie arbeitet.

Ein grundlegender Gedanke bei der Errichtung der Stromversorgungsanlagen der Bundesbahnen war die Trennung zwischen Bahn- und allgemeiner Kraftversorgung. Die beschriebenen Werke sind zum weit überwiegenden Teil für Bahnstromerzeugung eingerichtet. Wo, wie oben erwähnt, einzelne

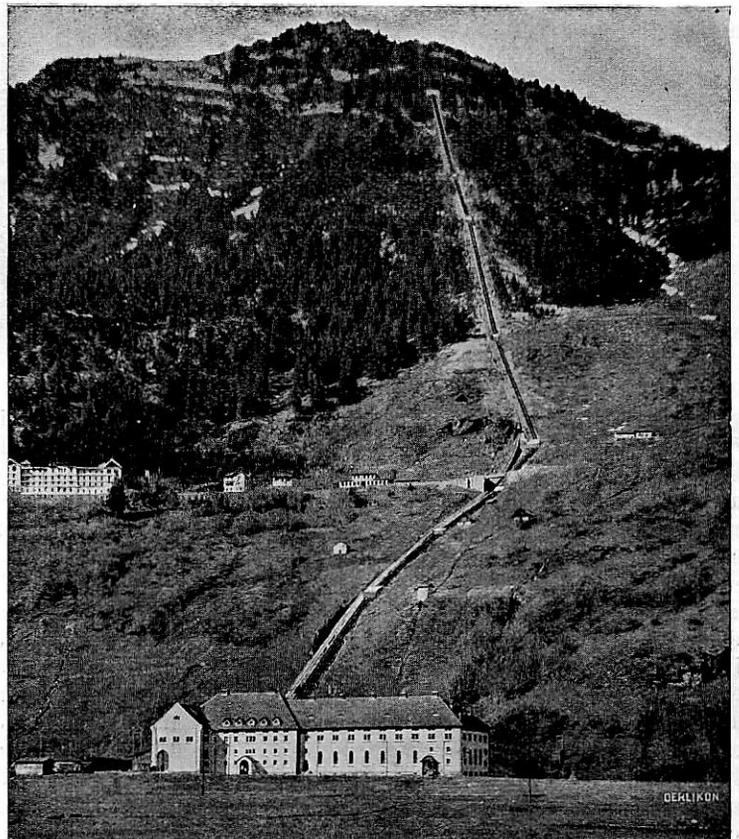
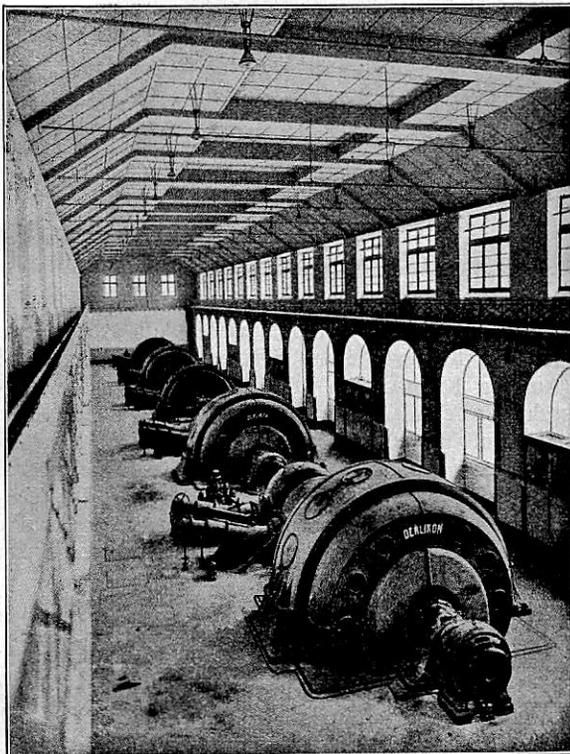
Maschinensätze auf öffentliche Netze arbeiten (Drehstrom), bestehen keinerlei Zusammenhänge zwischen beiden Stromarten. Man hat also ebenso wie in Deutschland Bedenken getragen, den mit häufigen Störungen und starken Spannungsschwankungen arbeitenden Bahnbetrieb irgendwie auf öffentliche Leistungs-

Abb. 2. Zentrale Amsteg.



Abb. 4. Kraftwerk Ritom.

Abb. 3. Kraftwerk Amsteg. Maschinensaal.



netze zurückwirken zu lassen. Dem Vernehmen nach wird jedoch für später geplant, im Kraftwerk Mühleberg Umformer für Einphasenstrom in Drehstrom aufzustellen und einen gegenseitigen Austausch elektrischer Leistung zwischen dem Bahnnetz und dem Drehstromnetz der Berner Wasserkraft durchzuführen. Es scheint, als ob über den Grundsatz völliger Trennung beider Stromarten noch nicht das letzte Wort gesprochen ist.

II. Fernleitungen.

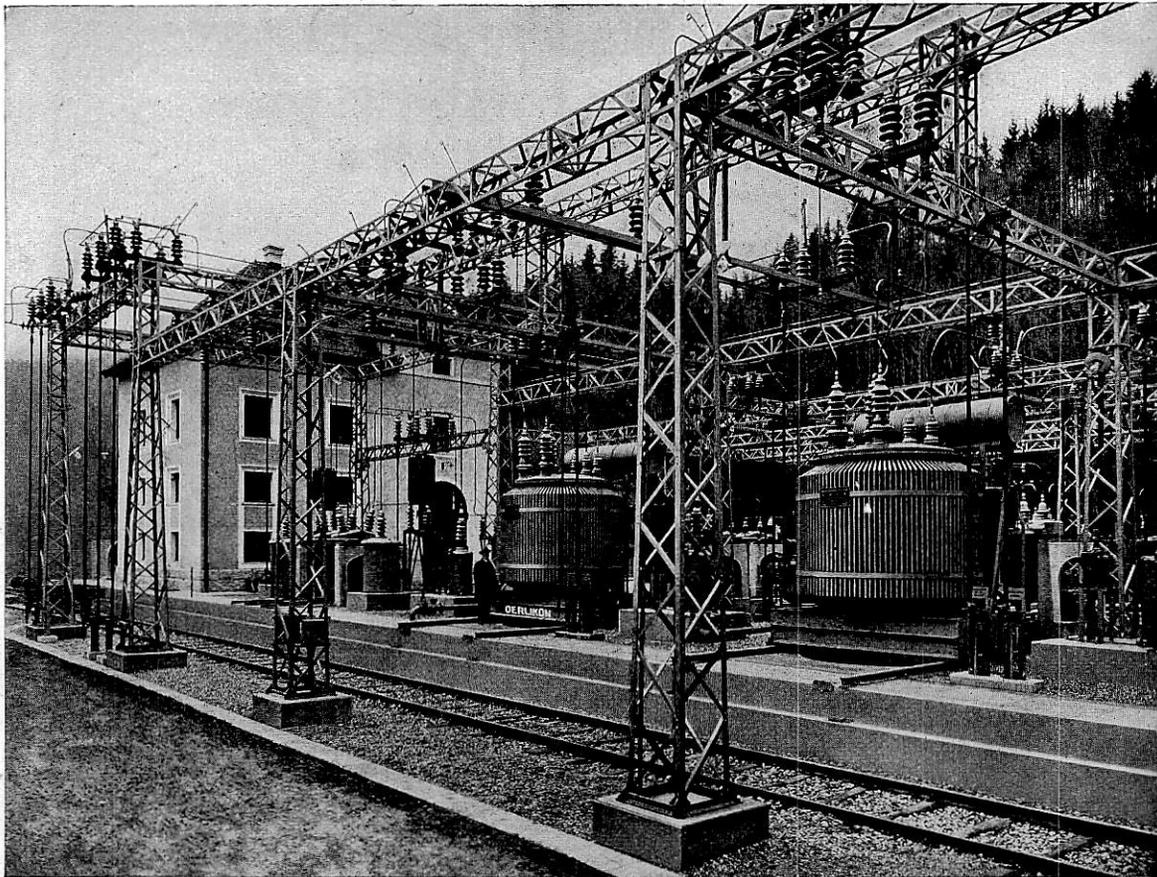
Soweit die Kraftwerke den Bahnstrom nicht unmittelbar in den benachbarten Fahrleitungsabschnitt liefern können, wird die elektrische Arbeit durch 60 kV-Verbindungen nach Unterwerken geleitet. Die zur Spannungserhöhung dienenden Transformatoren besitzen geerdete Wicklungsmittelpunkte auf der Oberspannungsseite, so daß die Klemmenspannung gegen

Masten errichtet. Sie befinden sich, soweit möglich, nahe den Bahnlinien, zum Teil sogar auf dem Bahnkörper. Auch hier sind ausschließlich Kupferleiter verwandt worden. Man beabsichtigt aber, eine Hauptverbindungsleitung zwischen Vernayaz und Rapperswil mit Aluminium-Stahldrahtleitern zu erbauen. Diese Hauptverbindung zwischen dem Ost- und Westbezirk der S. B. B. (vergleiche Abb. 1) soll mit 135 kV betrieben werden.

III. Unterwerke.

Die Verteilung der elektrischen Arbeit auf die Fahrleitungsabschnitte seien in folgendem nach dem Beispiel der Gotthardbahn wiedergegeben, welche die erste schon voll im Betrieb befindliche Anlage der S. B. B. ist. Die Speiseabschnitte umfassen je 32 (Bern-Scherzligen) bis 39 km Gleislänge auf Gebirgsstrecken, bis 46 km auf Flachlandstrecken

Abb. 5. Unterwerk Sihlbrugg.



Erde nur 30 kV beträgt. Dies ermöglicht, zur Fernübertragung auch Kabel zu benutzen, wozu man auf Strecken mit vielen Tunneln genötigt war. Diese Kabel sind Einleiterkabel für 30 kV mit 130 qmm Kupferquerschnitt. Sie haben über den Bleimantel und die Bänderbewehrung gemessen, etwa 50 mm Durchmesser und sind nach dem heutigen Stande der Kabeltechnik vollständig betriebssicher herzustellen. Über ihre Zuverlässigkeit bei Erdschluss eines Pols ist noch nichts näheres bekannt geworden. Auf jeder Kabelstrecke sind Doppelleitungen verlegt, d. h. vier Kabel, zwei für jeden Pol. Sie werden auf dem Bahnkörper durch Betonkanäle geschützt, in Tunneln sind sie an Wandstützen frei aufgehängt. Im ganzen weist die Gotthardbahn eine Kabelstrecke von etwa 60 km auf.

Wo weniger Tunnel vorkommen, oder wo sie leicht zu umgehen sind (z. B. die Kehrtunnel der Gotthardbahn), sind die 60 kV-Fernleitungen als Freileitungen mit eisernen

(Sitten—St. Maurice). Wie erwähnt, werden die Abschnitte in Nachbarschaft der Kraftwerke von diesen unmittelbar mit 15 kV gespeist (Amsteg, Ritom), den übrigen Abschnitten wird die Arbeit durch Unterwerke zugeführt. Fünf solche Werke befinden sich auf der Gotthardbahn in Steinen, Göschenen, Giornico, Giubiasco und Melide. Die ganze Strecke wird also an sieben Stellen gespeist. Die Transformatoren der Unterwerke sind für je 3000 oder 5000 kVA bemessen. Auf ein Werk entfallen 3 bis 4 Transformatoren bei vollem Ausbau. Die Ölschalter für die 15 kV-Speisepunkte werden von einer gemeinsamen Steuerschalttafel aus betätigt. Zur Prüfung der Speiseabschnitte auf das Vorhandensein von Kurzschlüssen ist für jede Abzweigung ein Widerstand angeordnet, über den der Wärter jede Leitung nach der selbsttätigen Auslösung unter Spannung setzen kann. Besteht ein Kurzschluss fort, so begrenzt der Prüf Widerstand den Strom auf ein zulässiges Maß

und der Wärter erkennt an dem Ausschlag des Stromzeigers, daß er den Hauptschalter noch nicht wieder einlegen darf. Insgesamt werden in der Schweiz 25 Unterwerke benötigt, deren Lieferung sich auf alle bedeutenderen Sonderfirmen des Landes verteilt.

Die Unterbringung der Unterwerksanlagen in Gebäuden wurde bei späteren Bauten verlassen und die Freiluftbauweise gewählt. Es stellte sich heraus, daß unter den derzeitigen Preisverhältnissen die wetterfeste Ausführung der Schaltanlagen, sowie die eisernen Traggerüste insgesamt billiger wurden, als Häuser aus Mauerwerk oder Beton. Als Beispiel sei das Unterwerk Sihlbrugg an der Strecke Zug—Zürich genannt (Abb. 5), eine der umfangreichsten Freiluftanlagen Europas überhaupt. Sie hätte ein Gebäude von rund 8000 cbm umbautem Raum erfordert, an dessen Stelle hier etwa 30 t Eisenbau zu errichten waren. An Übersichtlichkeit wird eine solche Anlage der gewöhnlichen, in ein Haus eingebauten meist überlegen sein. Man wird Störungen und Schäden leicht auffinden. Die Ersparnis an Baukosten wird aber zu einem größeren oder kleineren Teil dadurch wieder ausgeglichen, daß sämtliche dem Wetter ausgesetzten Teile kostspieligerer Unterhaltung und Reinigung bedürfen, besonders auch häufigeren Anstrichs der Eisengerüste und Apparate. Die Klarheit einer solchen Anlage

das Trageisil über einen wagrechten Doppelkehl gelegt ist, dessen Träger sich auf zwei Deltaglocken stützt, die auf dem Querjoch stehen. Aber auch hier strebt man neuerdings Vereinfachungen an, indem man sich mit einfacher Isolation begnügt, wo nicht Rauch oder Feuchtigkeit besondere Ansprüche stellen.

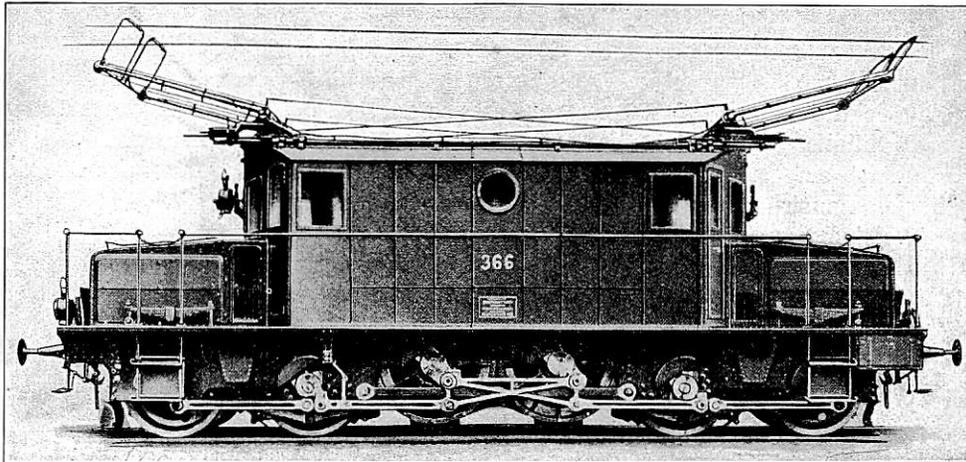
Außer den Trennpunkten in der Fahrleitung an den Speisestellen neben Unterwerken und an den Grenzen der Speisebezirke befinden sich Trennungen vor und hinter jedem Bahnhof. Jedes dort anschließende Streckengleis und die gesamte Gleisanlage des Bahnhofs bilden je einen Fahrleitungsabschnitt für sich, der mittels ferngesteuerter Ölschalter auf einem Schaltgerüst an eine gemeinsame Sammelschiene angeschlossen ist. Jeder dieser Abschnitte kann also durch das Bahnhofspersonal erforderlichenfalls spannungslos gemacht werden. Außerdem besitzen diese Ölschalter Selbstauslösungen nach dem Selektivschutzsystem Merz-Price, wodurch bei Störungen die Speisung der nicht in Mitleidenschaft gezogenen Fahrleitungsstrecken selbsttätig aufrechterhalten wird.

C. Triebfahrzeuge.

I. Lokomotiven.

Man hat in den ersten Jahren der elektrischen Zugförderung in Preußen oft die Vielgestaltigkeit des Elektrolokomotivbestandes nachteilig empfunden und verurteilt. Aber auch das Beispiel

Abb. 6. D-Drehstrom-Lokomotive für die Simplontunnelstrecke der S. B. B.



wird wesentlich davon abhängen, ob man wie in Sihlbrugg das Schaltbild einfach als Grundrifs benutzen kann. Dies geht in völlig klarer Form nur dann, wenn man einen so großen Bauplatz hat, daß man nicht in Stockwerken zu bauen braucht. Auch wird dieser Platz so gelegen sein müssen, daß keine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes entsteht.

IV. Fahrleitungen.

Die 15 kV-Fahrleitungen — als Beispiel diene hier wieder die Gotthardbahn — sind auf eisernen in Beton gegründeten Masten mit Walzeisenquerjochen oder -Auslegern geführt. Die Jochbauweise ist auch in den Bahnhöfen gewählt. Entsprechend den meist krümmungsreichen Streckenverhältnissen beträgt die Spannweite zwischen den Tragjochen durchschnittlich 60 m. Auf offener Strecke und über den durchgehenden Gleisen der Bahnhöfe ist der Fahrdrabt (107 qmm Kupfer) unter Zwischenschaltung eines Hilfstragdrahts an einem 50 qmm starken Trageisil aufgehängt, gewöhnlich 5,7 m über Schienenoberkante. Späterhin ist man zu höherer Fahrdrabtlage übergegangen (6,6 m). Über Nebengleisen von Bahnhöfen hat man keinen Hilfstragdrabt verwendet. Bei neueren Anlagen wird wie in Deutschland nur noch einfache Kettenaufhängung gewählt. In Tunneln ist statt des stählernen Trageisils ein mit Kupfer überzogener Stahldrabt gespannt. Die Isolation ist doppelt, indem

der Schweiz zeigt, daß ein sich neu einführender Zweig der Technik erst durch Erprobung mannigfaltiger, sich zunächst bietender Ausführungsmöglichkeiten geklärt zu werden pflegt und daß man sich selten mit einfacher Übernahme anderweitig ausgeführter Bauformen begnügt. Diese Entwicklung dauert ihre Zeit. Man hat auch nicht immer Zeit, abzuwarten, bis eine Versuchsbauart gründlich bewährt oder endgültig verworfen ist. So finden wir in der Schweiz mancherlei verschiedene Erstauführungen je einmal oder doch nur in geringer Anzahl beschafft, bis die eingangs erwähnten Wirtschaftsverhältnisse im Weltkrieg zur Beschleunigung der Gesamtelektrisierung zwangen. Es mußten also auch von den noch nicht völlig durchgeprobten, der Zeitumstände wegen verspätet abgelieferten Lokomotivbauarten größere Reihenbestellungen vergeben werden, ohne jedoch daneben die planmäßige Erprobung neuer Vorschläge in Einzelauführungen zu vernachlässigen.

Eine in Deutschland häufig wiederkehrende Bauform des Antriebes findet man in der Schweiz nicht, bis auf einige ältere Simplon-Drehstromlokomotiven (Abb. 6) und einige Schnellzuglokomotiven der Rhätischen Bahngesellschaft, den unmittelbaren Stangenantrieb zwischen Motor und Achsen ohne Zahnradübersetzung. Diese Form wird bekanntlich für die Reichsbahn z. Z. noch als Regelbauart für 2 C 2-Flachland-

Abb. 7. C-C-Lokomotive der Rhätischen Bahn für 1 m Spurweite.

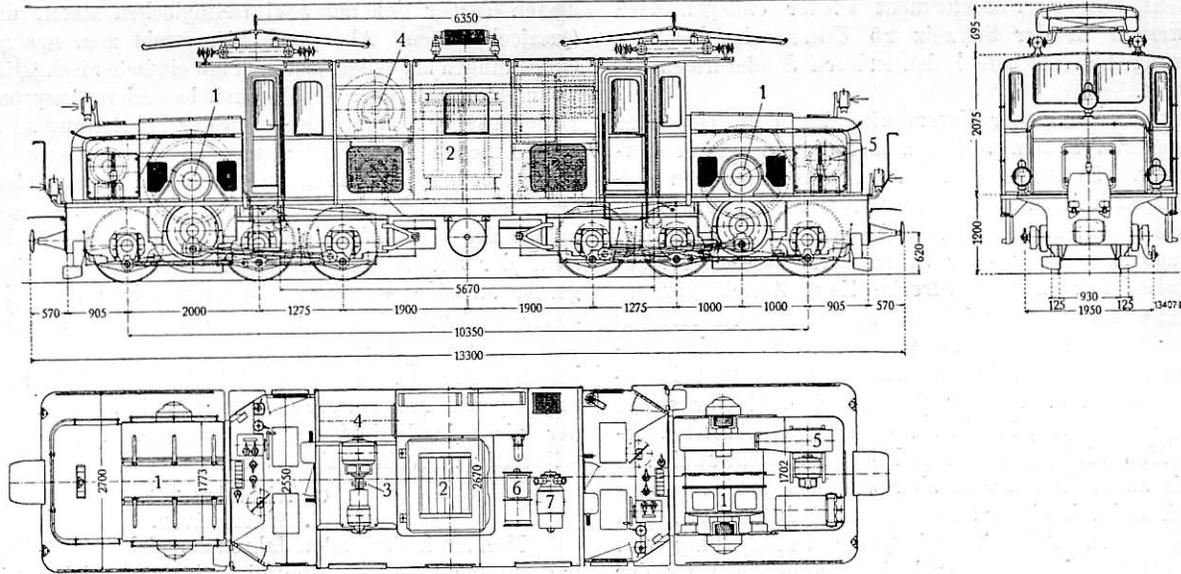
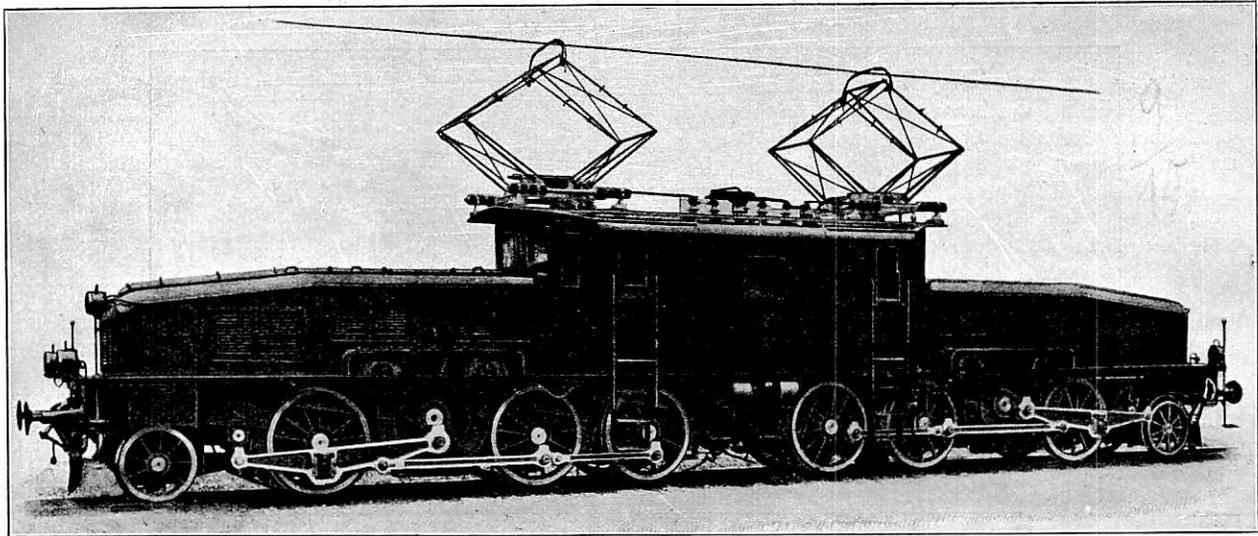


Abb. 8. 1 C - C 1 Güterzuglokomotive der Gotthardbahn.



schnellzugs- und mit gleicher elektrischer Ausrüstung für 2 D 1 Gebirgspersonen- und Schnellzuglokomotiven hergestellt. In der Schweiz dagegen sind ja Flachlandstrecken seltener und auf den Bergstrecken muß meist mit Geschwindigkeiten gefahren werden, die für den großen, langsam laufenden Motor noch zu niedrig liegen. Die Schweiz ist das gegebene Land der Zahnradübersetzung für die Lokomotivmotoren. Auch in der Reichsbahn gewinnen ja in letzter Zeit die Versuche an Umfang, für höhere Geschwindigkeiten ebenfalls die Zahnradübersetzung und kleinere, schnelllaufende Motoren zu verwenden. Die Durchbildung des Antriebs im einzelnen ist auch heute noch in der Schweiz verschieden.

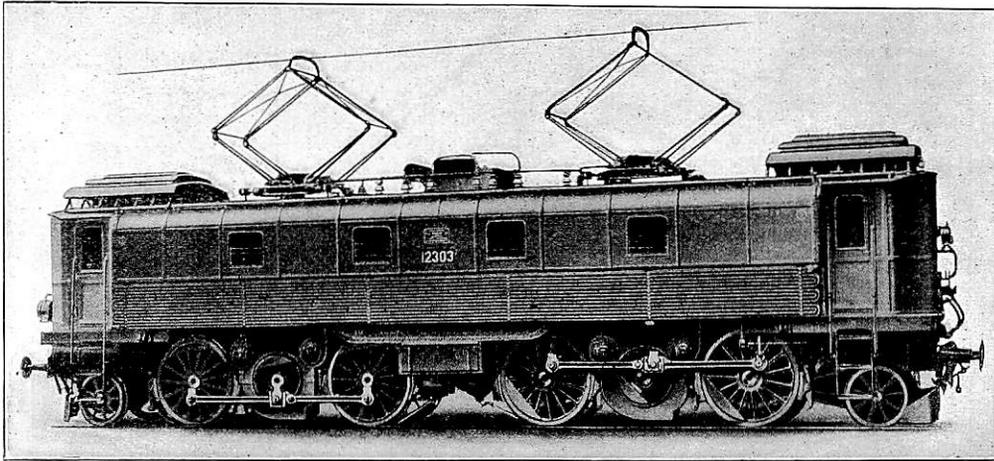
Bei einer älteren Lötschberg-C-C Lokomotive finden wir den Antrieb der zu je dreien miteinander gekuppelten Achsen von den beiden Vorgelegewellen der beiden getrennt angeordneten Motoren durch geneigte Treibstangen mit überhöhtem Angriffspunkt an der Kuppelstange. Ebenso sind die C-C Lokomotiven der Rhätischen Bahn (1 m Spurweite) gebaut (Abb. 7). Auch die Bundesbahnen haben eine Probelokomotive der Bauart 1 C - C 1 von Brown-Boveri & Cie. geliefert bekommen, deren Antrieb mit dem jener ersten Lötschberglokomotiven übereinstimmt. Die später gebauten Lötschberg-

lokomotiven haben Kuppelrahmen (Kando) erhalten, welche zwischen den beiden Vorlegekurbeln der beiden nebeneinander angeordneten Motoren hängen und die Treibzapfen der mittleren Achse mit Gleitstangen erfassen (Achsenordnung 1 E 1). Bei den Bundesbahnen wird dieser Antrieb an einer 1 C 1 - Probelokomotive, zwei Verschiebelokomotiven und einer größeren Anzahl Schnellzuglokomotiven, Bauart 2 C 1 verwendet. Eine neuartige Form des Kuppelrahmens weisen die von der Maschinenfabrik Oerlikon gemeinsam mit der Schweiz. Lokomotivfabrik Winterthur, der Herstellerin aller Wagenteile zu elektrischen Lokomotiven der Bundesbahnen, gelieferten 1 C - C 1 Gebirglokomotiven für die Gotthardstrecke auf (Abb. 8). Da hier zu jeder gekuppelten Achsgruppe nur je ein Motor gehört, ist das eine Ende jedes Kuppelrahmens an einer Hilfskurbelwelle aufgehängt, wobei gleichzeitig der Rahmen geneigt und so eine bedeutende Überhöhung der Vorgelegewelle über die Treibachsmittle verwirklicht werden konnte. Die konstruktive Umkehrung des Kuppelrahmens, die Schlitzkuppelstange, welche an zwei Treibachsen hängt und mittels dazwischenliegenden Gleitsteins von der Vorlegewelle des Motors angetrieben wird, hat häufige Anwendung gefunden. Schon die Drehstromlokomotiven der Bahn Burgdorf - Thun (1910 von B B C)

weisen sie auf, ferner die 1920 gebauten 1 B-B 1-Lokomotiven der Berner Dekretsbahnen von Brown-Boveri & Cie. und Oerlikon. Die Bundesbahnen haben 1919 eine von zwei Probelokomotiven für Personenzüge der Bauart 1 B-B 1, welche der erwähnten Dekretsbahnlokomotive ähneln, ebenfalls mit Schlitzkuppelstange und etwas überhöhter Vorgelegewelle bauen lassen, bei der anschließenden Reihenbestellung auf diese Gattung aber gewöhnliche Kuppelstangen mit Unterteilung durch je ein Gelenk und ohne Wellenüberhöhung gewählt (Abb. 9), eine Entwicklung, die man auch bei der Reichsbahn beobachten konnte. Seit 1921 erproben die Bundesbahnen den gesonderten Antrieb jeder Treibachse ohne Kuppelgestänge nach verschiedenen Bau-

Lokomotive. Es gibt dort nur zwei Grundformen, das einteilige Fahrzeug mit Lagerung aller Treib- und Kuppelachsen in einem gemeinsamen Rahmen, sowie nach den Gleisbögen einstellbaren Laufachsen (Einzelachsen meist in Deichselgestellen oder zweiachsige Drehgestelle), wo solche vorhanden, und die »Brückenbauart«, bei welcher zwei gleiche Triebgestelle durch eine Brücke verbunden sind, welche den Transformator und die Steuerung trägt und meist auch den gesamten Gehäuseaufbau. Die erstere, einteilige Grundform ist vertreten durch die alten Simplonlokomotiven, die 1 E 1 - Lötchberglokomotiven (Abb. 12), die 1 C 1 und 2 C 1 - Personen- und Schnellzuglokomotiven, sowie die 1 C Verschiebelokomotiven der Bundesbahnen und

Abb. 9. 1 B-B 1 Schnellzuglokomotive der S. B. B. (Gotthardstrecke).

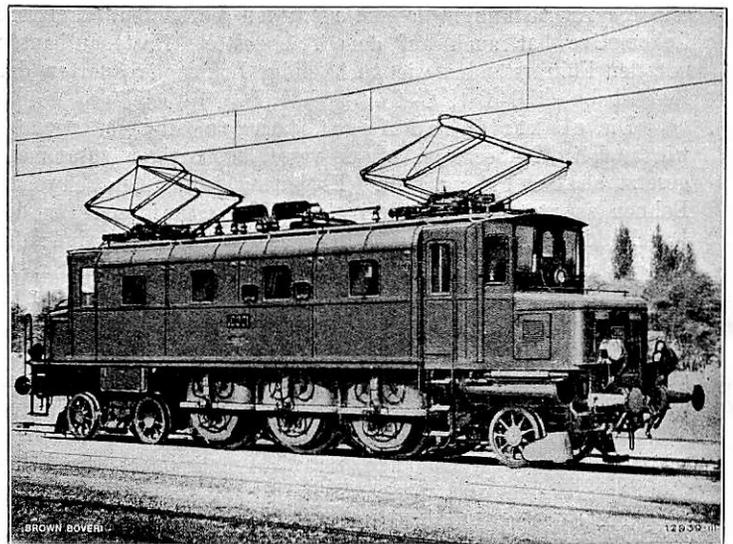


formen. Der Brown-Boveriantrieb (Buchli) mit einem Motor je Achse und einseitigen Vorgelegern auf fest am Rahmen aufgehängten etwas überhöhten Lagerbolzen ist an einer Reihe Schnellzuglokomotiven 2 A A A 1 (Abb. 10) vertreten. Eine Versuchsschnellzuglokomotive 1 A A 1-1 A A 1 besitzt an einem Triebgestell denselben Antrieb, am andern den von Tschanz, welcher doppeltes Zahnradvorgelege und eine Kardangelenkwellen zwischen dem am Rahmen gelagerten Zahnrad und der Treibachse zum Merkmal hat. Die Reichsbahn erprobt diese Triebwerksform, die auf den ersten Blick große Gewichte und viele, sich abnutzende Gelenke erkennen läßt, nicht, wohl aber den Brown-Boveriantrieb und demnächst auch den schon länger bekannten Einzelachs-Antrieb mit Hohlwelle auf der Treibachse und Federung zwischen diesen beiden, den die Schweizer Bundesbahnen in Verbindung mit elektrischer Ausrüstung der Société Anonyme des Ateliers de Sécheron in Genf, an zahlreichen Schnellzug- und Personenzuglokomotiven haben ausführen lassen (Bauarten 1 A A A 1 und 1 A A 1-A A 1, (Abb. 11). Bedingung war hierbei die Zuordnung je zweier, kleiner Motoren zu jeder Treibachse (wie die Abb. 11 der auseinandergenommenen Lokomotive wiedergibt), da ein Einzelmotor der Hohlwellenabmessungen wegen nicht den zu ausreichender Leistung (600 bis 1000 Dauer-PS je Achse) erforderlichen Durchmesser bekommen konnte. Daß die Schweiz diesen Westinghouseantrieb nur für schneller fahrende Lokomotiven verwendet, liegt ebenfalls an den für ihn gegebenen günstigen Abmessungs- und Übersetzungsverhältnissen. An langsam laufenden Lokomotiven hat man bei der Reichsbahn in jüngster Zeit recht gute Erfahrungen mit Tatzmotoren (Straßenbahnform) gemacht, die wir bei schweizerischen Lokomotiven bisher nicht vorfinden. Besonders für Verschiebelokomotiven wäre dies wohl die billigste und geeignetste Bauform gewesen.

Weniger vielgestaltig ist in der Schweiz der Zusammenbau der Fahrzeugteile jeder einzelnen elektrischen

sämtliche zwei- bis vierfach gekuppelten Schmalspurlokomotiven der Rhätischen Bahngesellschaft. Alle anderen hier behandelten Lokomotiven besitzen Triebgestelle mit Brücke. In besonders ausgeprägter Form zeigt dies die B-B-Lokomotive*) der Bahn

Abb. 10. 2 A A A 1-Schnellzuglokomotive der S. S. B. mit Einzelachs-antrieb, Bauart Buchli.



Burgdorf—Thun, bei welcher der Kastenaufbau zwischen zwei weit auseinandergezogenen Triebgestellen hängt. Bei den Bundesbahnlokomotiven herrscht der lange, bis an die Pufferbohlen oder nahezu bis zu diesen reichende Kastenaufbau vor.

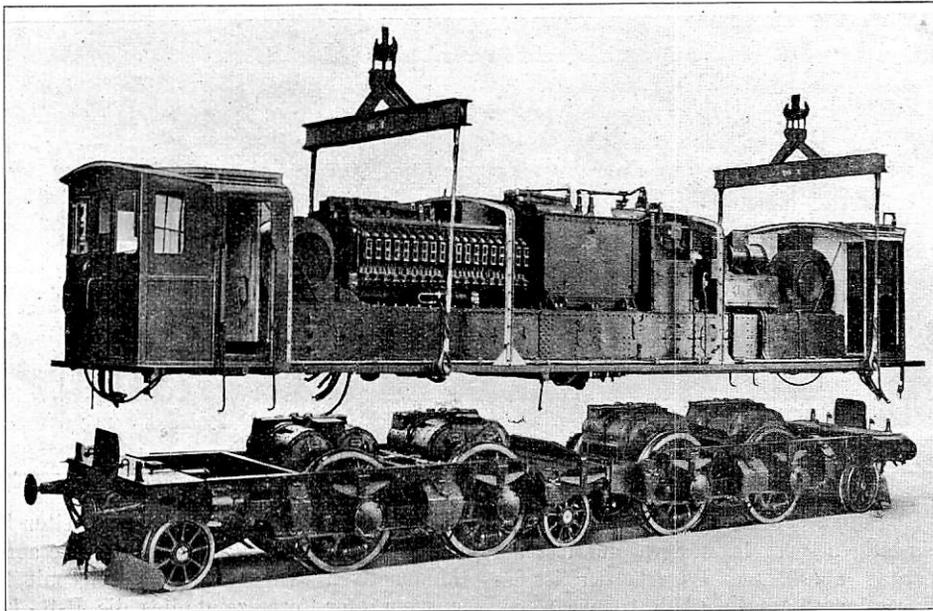
*) BBC - Mitteilungen 1922, Seite 79.

Dasselbe gilt für die Dekretsbahnlokomotiven. Die Zug- und Stofsvorrichtungen sind stets an den Triebgestellen angebracht. Auch dort, wo noch kleine Vorbauten zur Unterbringung von Ausrüstungsteilen auf den Triebgestellen vorhanden sind, ist durch deren Spaltung oder durch einen Umgang dafür gesorgt, daß ein Übergang aus den Führerräumen zum Zuge möglich ist, wie er für die auch in der Schweiz verbreitete Einmannbesetzung elektrischer Lokomotiven nötig ist. Alle Lokomotiven und die C-C-Lokomotiven der Rhätischen Bahn haben daher Türen in den Stirnwänden der Führerstände. Im allgemeinen ergibt diese Bauart geräumige Innenräume, aber wegen der Länge der Brücken hohe Gewichte. Kurze Brücken sind daher

aus Nachbarländern in die Schweiz laufen und nicht für elektrische Heizung eingerichtete Wagen enthalten.

Über die zweckmäßigste Stufensteuerung der Fahrmotoren scheint noch keine einheitliche Entscheidung vorzuliegen. Die von Brown-Boveri gelieferten Lokomotiven (u. a. 1 B-B 1, 2 A A A 1 der Bundesbahnen, 1 B-B 1 der Berner Dekretsbahnen, C-C der Rhätischen Bahn) besitzen den bekannten, auch bei der Reichsbahn mehrfach verwendeten Schlittenschalter, reihenförmig auf den Transformator angebrachte Kontakte, über die mittels Schraubenspindel Schaltbürsten entlangbewegt werden. Die Unterbrechung des Stroms besorgen durch Kurbeln angetriebene Abreifsschalter, an einer allen Stufen

Abb. 11. 1 A A 1-AA 1 Personenzuglokomotive der S. B. B.



bei den 1 C-C 1-Oerlikonlokomotiven und der 1 A A 1-1 A A 1 Brown-Boveri-Lokomotiven ausgeführt worden. Die Führerstände liegen bei ersterer dicht vor dem Transformator, die sonstige Ausrüstung in langen niedrigen Vorbauten. Letztere Lokomotive hat auch auf dem Triebgestelle Kastenaufbauten mit den Führerständen wie auch einige Lokomotivbauarten der Reichsbahn (1 B-B 1, C-C).

Die elektrischen Ausrüstungen sind naturgemäß wie auch in Deutschland etwas verschiedenartiger zusammengesetzt als der Fahrzeugteil. Es kommt jedoch den Schweizer Bahnen zugute, daß nur drei elektrische Großfirmen für die Durchbildung und Lieferung in Betracht zu ziehen sind: die A.-G. Brown-Boveri & Cie. in Baden, die Maschinenfabrik Oerlikon und die Société Anonyme des Ateliers de Sécheron in Genf. Zur Erleichterung der Unterhaltung hat man auf einheitliche Einzelteile bei verschiedenen Lokomotivbauarten gehalten. Über die Einzelteile ist folgendes zu bemerken, wobei hier nur auf die Einphasen-Ausrüstungen eingegangen sei, da die Drehstromzugförderung nur in geringen, zum Teil sogar abnehmendem Umfange, mit nicht mehr neuartigen Fahrzeugen betrieben wird.

Die Stromabnehmer der gewöhnlichen Scherenbauart weisen eine der Tunnel wegen sehr schmale Bügelbreite auf. Als Transformatoren sind bei den Bundesbahnen ausschließlich solche mit Ölkühlung in Gebrauch, die Rhätische Bahngesellschaft besitzt dagegen auch Lufttransformatoren. Sie haben Stufenanzapfungen für die Spannungsregelung der Motoren, wobei auch Anschlüsse zur elektrischen Heizung der Züge dienen (rund 800, 1000, 1100 Volt Heizkörperspannung). Mit Dampf (Heizkesselwagen) werden nur Züge geheizt, die

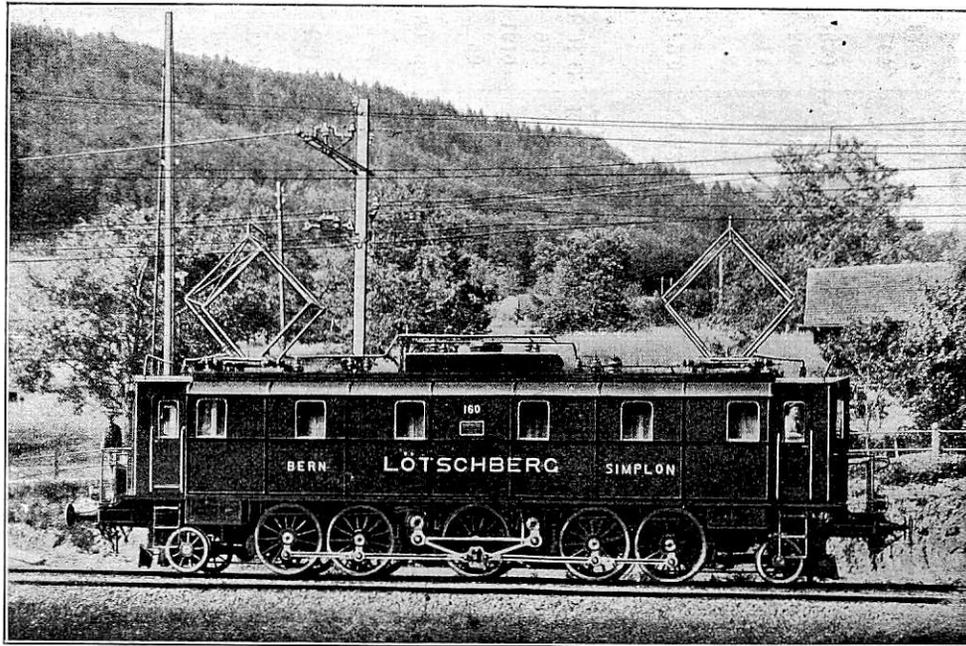
gemeinsamen Stelle. Der Führer betätigt diesen Stufenschalter durch eine Handkurbel mit wagrechter Welle. Von der Maschinenfabrik Oerlikon wurde für die Lötschbergbahn anfänglich ein Stufenschalter geliefert, bei dem eine Kontaktwalze durch einen ständig laufenden Schaltmotor und ein vom Führer ein- und ausrückbares Klinkwerk gedreht wurde. Dieser Walzenschalter wurde für die neuen 1 C-C 1 Gotthardlokomotiven so umgebildet, daß er durch einen nur beim Weitchalten in Gang zu setzenden Steuermotor bewegt wird. Einige Lokomotiven dieser Gattung haben einen abweichenden Stufenschalter derselben Firma erhalten, der von Hand gesteuert wird und die Schaltverbindungen durch Hebelschalter herstellt. Diese werden durch Nocken auf einer Steuerwelle betätigt. Man legt Wert auf leichten Gang dieser Steuerung, damit ihre Handhabung den Führer nicht anstrengt. Auch hier ist die Funkenlöschung ebenso wie bei Brown-Boveri & Cie. an eine einzige, zur Instandhaltung leicht zugängliche Stelle gelegt. Auch die 2 C 1-Schnellzuglokomotiven von Oerlikon haben einen solchen Stufenschalter erhalten, der nach Bedarf von Hand oder auch elektromotorisch bewegt werden kann. Die Dekretsbahnlokomotiven (1 B-B 1) mit Oerlikon-Ausrüstung besitzen diese Steuerung ebenfalls. Die Sécheron-Ausrüstungen (1 A A A 1 und 1 A A 1-A A 1-Lokomotiven der Bundesbahnen) werden durch Druckluftschützen gesteuert (Abb. 13). Die Zu- und Abströmung der Luft an den Druckluftzylindern wird durch elektromagnetische Ventile von einem gewöhnlichen Walzenfahrtschalter aus geregelt. Für die Fahrrichtungsschalter findet sich, wie auch in Deutschland, allgemein Druckluftbetätigung, mit elektromagnetischen Steuerventilen. Diese verschiedenen Steuerungseinrichtungen erfordern natürlich von

einander abweichende Betätigungsvorrichtungen für den Lokomotivführer. Die Bundesbahnen haben aber dahin gewirkt — wie auch die deutsche Reichsbahn —, daß im übrigen möglichst übereinstimmende Führerstandeinrichtungen gebaut werden.

Die Fahrmotoren sind bei allen neueren Einphasenlokomotiven der Schweiz Reihenschluß-Motoren mit Wendepol- und Kompensationswicklungen. Zur Erzielung der für das Wendefeld erforderlichen Phasenverschiebung ist ein Ohmscher Widerstand zu ihm parallel geschaltet. Wo Doppelmotoren auf ein gemeinsames Zahnrad arbeiten, pflegen sie hintereinander geschaltet zu werden. Doch findet sich auch bei nicht gekuppelten Einzelmotoren wie bei der 1 A A 1-1 A A 1-Lokomotive

(Abb. 8) den mit Kühlrippen versehenen Transformatorkeuse in einen oben offenen Schacht, in den von unten her zwei Lüfter blasen. Die von Sécheron gelieferten 1 A A A 1 und 1 A A 1-A A 1 Lokomotiven haben einen von Gebläseluft durchströmten Röhrenkühler erhalten, der am Deckel des Transformatorkeuse aufgehängt ist und in die oberen, warmen Schichten des Öls hineingetaucht ist. Die 2 A A A 1-Schnellzuglokomotiven haben unter der einen Seite des Gehäuseaufbaus frei aufgehängte Kühlschlangen und Ölumlau durch Kreiselpumpe erhalten. Auch die 1 A A 1-1 A A 1-Schnellzuglokomotive (ebenfalls von Brown-Boveri & Cie. stammend) hat unter dem Brückenteil angeordnete Kühlschlangen, die aber

Abb. 12. 1 E 1 Lokomotive der Lötschbergbahn.

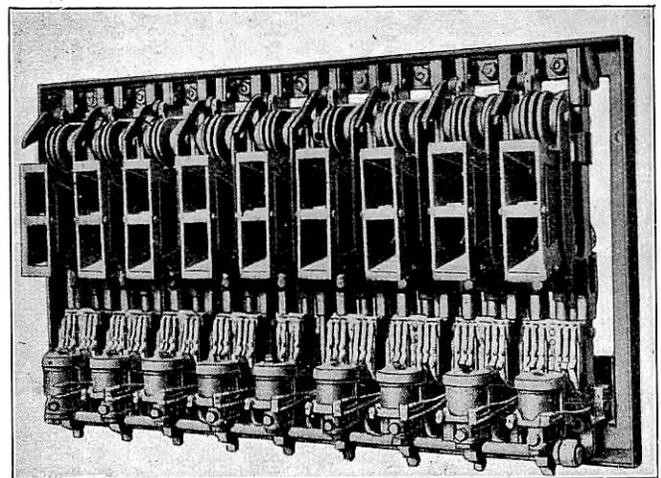


die Reihenschaltung. Die Motoren haben ausnahmslos künstliche Kühlung durch selbständig angetriebenen Lüfter. Die von Brown-Boveri gebauten Motoren besitzen ferner Widerstandsverbindungen besonders erwärmungssicherer Bauart zwischen den Kommutatorstreifen und den Ankerleitern, wodurch bei guter Stromwendung eine unempfindliche haltbare Kommutatorbauart ermöglicht wird.

Auf die Ausführung der bei den heutigen elektrischen Lokomotiven besonders wichtigen Kühleinrichtungen sei noch hingewiesen. Die soeben erwähnten Motorlüfter pflegen zusammen mit ihrem Antriebsmotor auf die Fahrmotoren aufgesetzt zu werden. Bei Doppelmotoren sind auch doppelte Gebläse mit gemeinsamem Motor vorhanden. Da bei den Lokomotiven mit mehreren kleineren Motoren, wie bei den von Sécheron gelieferten, eine so weitgehende Unterteilung der Lüfter unzweckmäßig wäre, ist hier (1 C 1 und 1 A A 1-A A 1) ein gemeinsamer Kühlluftkanal für alle Fahrmotoren eingebaut, in den zwei große Kreisellüfter hineinblasen (Abb 11). Bei der 2 A A A 1-Schnellzuglokomotive von Brown-Boveri & Cie. ist zwar für jeden Fahrmotor ein besonderer Lüfter vorhanden; diese werden jedoch mittels einer langen Welle von einem gemeinsamen Motor bewegt, der gleichzeitig den Ölumlau des Transformators betätigt. Die Transformatoren, welche bei den Bundesbahnen und Berner Dekretsbahnen durchweg Ölfüllung besitzen, werden in verschiedener Weise gekühlt. Bei den 1 B-B 1-Gotthardlokomotiven wird das Öl von einer Zahnradölpumpe mit senkrechter Welle durch Röhrenbündel, außen an den Seitenwänden des Lokomotivgehäuses getrieben und durch den Luftzug bei der Fahrt gekühlt. Die Maschinenfabrik Oerlikon setzt bei den 1 C-C 1-Gotthardlokomotiven

in Gehäusen liegen und durch zwei Lüfter gekühlt werden. Diese sowie die zugehörigen Ölumlauumpfen werden durch einen gemeinsamen und daher genügend dauerhaft bemessbaren Motor betrieben. Bei den Berner Dekretsbahnen ist für die

Abb. 13. Schützengruppe für Druckluftbetätigung.



1 B-B 1-Oerlikon-Lokomotiven auf künstliche Kühlung der Transformatoren verzichtet und diesen eine entsprechende Größe gegeben worden. Die gleichen Lokomotiven hat Brown-Boveri mit einem besonderen Ölkühler versehen, dessen in einen Kasten

Elektrische Lokomotiven der Schweizerischen Bundesbahnen.

der Schweizerischen Privatbahnen.

Achsfolge . . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	1 AAA I	2 AAA I	2 C I	1 AA 1-1 AA 1	1 B-B I	1 AA 1-AA 1	1 C-C I Gebirgs- Güterzug- lok.	1 C I	D	C-C Bern-Lötschberg- Simplon	1 E I	1 B-B I Berner Dekretsbahnen	1 B I	1 D I	C-C	
Verwendungsart	Schnellzuglokomotiven				Personenzuglok.		Gebirgs- Güterzug- lok.	Schnellzuglok.		Bern-Lötschberg- Simplon			Rhätische Bahngesellschaft 1 m Spurweite			
Gattungszeichen	Ae 3/5 I	Ae 3/6 I	Ae 3/6 II	Ae 4/8	Be 4/6 I	Be 4/7 I	Ce 6/8 II	Ae 3/5	Ae 4/4	E i n p h a s e n s t r o m						
Erbauer der elektrischen Ausrüstung ¹⁾	Sécheron	B. B. C.	Oerlikon	B. B. C.	B. B. C.	Sécheron	Oerlikon	B. B. C.	B. B. C.	Oerlikon	B. B. C. u. Oerlikon	B. B. C. u. Oerlikon	B. B. C.	Oerlikon	Oerlikon	
Anzahl im Betrieb u. im Bau	26	46	50	1	40 ²⁾	6	33 ³⁾	2	4	1	13	14	7	5 ⁴⁾	10	
Dienstgewicht {	elektr. Teil t	41,6	42,1	43,1	55,1	49,9	55,5	55	Drehstromlokomotiven für den Simplontunnel		44	59	35	17,8	25,9	27,8
	Wagenteil t	39,5	50,2	55,4	71,7	61,5	55	73			46	48	33,5	18,9	30,4	38,4
	gesamt t	81,1	92,3	98,5	126,8	111,4	110,5	128			90	107	68,5	36,7	56,3	66,2
Reibungsgewicht . . . t	55,5	55,3	55,3	72,9	80,2	73,9	103,9	—	—	90	87	48,4	21,8	43,6	66,2	
Vorgeschriebenes Zuggewicht (ohne Lok.) t	480	480	480	300 . 430	300	301 . 430	300 . 480 [430]	—	—	—	—	310 . 180	130 . 70	325 . 136	316 . 216	
Auf Steigung . . . ‰	2 . 10	2 . 10	2 . 10	26	26	26	10 . [26]	—	—	—	—	15 . 25	15 . 45	15 . 45	15 . 45	
Bei Fahrgeschwindigkeit . . . km/h	90 . 65	90 . 65	90 . 65	50 . 35	50	50 . 35	65 . 50 [35]	—	—	—	—	35	28	30	33 . 30	
Größte Fahrgeschwindigkeit . km/h	90	90	90	90	75	75	65	80	80	60	75	60	45	45	45	
Treibraddurchmesser mm	1610	1610	1610	1610	1530	1610	1350	1640	1250	1350	1350	1230	1070	1070	1070	
Laufraddurchmesser mm	930	930	930	930	930	930	930	850	—	—	850	850	710	710	—	
Antriebsart	Westinghouse	B. B. C.	Kuppelrahmen	B. B. C. und Tschanz	Gelenkstangen	Westinghouse	Kuppelrahmen	Kuppelrahmen	Stangen	Schrägstangen und Zahnräder	Kuppelrahmen und Zahnräder	Kuppelrahmen und Zahnräder	Stangen ohne Zahnräder	Stangen und Zahnräder	Schrägstangen und Zahnräder	
Übersetzung	1 : 5	1 : 2,57	1 : 2,224	1 : 2,57	1 : 3,195	1 : 5,7	1 : 4,03	Keine Zahnradübersetzung		1 : 3,25	1 : 2,23	1 : 3,86	—	1 : 4,2	1 : 4,34	
Zahl der Motoren	3 × 2	3	2	4	4	4 × 2	4	2	2	2	2	2	1	2	2	
Polzahl der Motoren	6	14	14	14	12	6	12	—	—	—	—	12	—	—	12	
Größte Motorspannung V	660	505	380	505	505	660	400	—	—	420	520	500	1000	300	500	
Dauerleistung . . . PS	1560	1650	1665	2200	1780	2080	1820	—	—	—	—	—	—	—	—	
Bei Fahrgeschwindigkeit . . . km/h	68	65	75	65	56	60	40	—	—	—	—	—	—	—	—	
Stundenleistung	1800	1890	2000	2520	2040	2400	2240	800	1300	2000	2500	1290	300	800	1200	
Bei Fahrgeschwindigkeit	63	61	65	61	52	56	36	35	35	42	50	40	28	30	30	

1) Alle Wagenteile sind von der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur erbaut.
 2) Ferner zwei ähnliche Probelokomotiven von Brown-Boveri & Cie. (B. B. C.) und Oerlikon.
 3) Ferner eine ähnliche Probelokomotive von B. B. C.
 4) Ferner eine ähnliche Lokomotive von der A. E. G. und zwei von B. B. C.

2928

im Lokomotivinnern eingebaute Rohre durch einen Lüfter gekühlt werden, der mit der Ölumlaufpumpe gemeinsamen Antrieb besitzt. Die Rhätische Bahngesellschaft hat bei ihren C-C-Lokomotiven Trockentransformatoren mit Gebläsekühlung im Gebrauch.

Hiermit sind die wesentlichsten für die Bauart der Schweizer elektrischen Lokomotiven kennzeichnenden Grundzüge angedeutet. Die einzelnen Zahlen über Gewichte, Leistungen usw. der wichtigeren Gattungen sind in der Zusammenstellung auf Seite 228 aufgeführt. Nicht von vornherein für die Schweiz gebaute Lokomotiven sind nicht berücksichtigt. Eine Sammlung von Veröffentlichungen über diese Lokomotiven findet sich im Sonderheft über «Triebfahrzeuge» der Schweizerischen Technikerzeitung (1922 Nr. 48—51). Ferner sei auf den Aufsatz von Sachs über die Elektrisierung der Gotthardbahn in der E. T. Z. (1921 Heft 1—6) verwiesen.

II. Triebwagen.

Für den Personen-Nahverkehr sind zwei verschieden große Arten von Triebwagen dritter Klasse eingeführt: Der größere Wagen mit Einstieg in der Mitte und an den Enden ist sechsachsiger. Er ist im Organ 1923, Seite 234, bereits beschrieben worden. Daneben sind noch einige kleinere Triebwagen vorhanden, die nur vier Achsen haben, sonst aber dem Vor erwähnten entsprechen; ihre Motorleistung ist um rund 20 v. H. geringer und das Leergewicht etwa 55 t, Ölumlaufkühlung fehlt bei ihnen.

D. Kosten- und Betriebsfragen.

Nach dem Stande des Jahres 1923 werden die gesamten Elektrisierungskosten für den im Abschnitt A wiedergegebenen Bauplan bis Ende 1928 (1566 km) auf etwa 760 Millionen Frks. geschätzt. Hiervon haben die Bundesbahnen selbst 700 Millionen Frks. aufzubringen, während 60 Millionen, wie oben erwähnt, auf Staatskosten übernommen worden sind. Die 700 Millionen verteilen sich in folgender Weise auf die einzelnen Bestandteile der Anlage:

- a) Wasserkraftwerke der Bundesbahnen mit einer Leistung von jährlich 430 Mill. kWh
150 Mill. Fr. = 21,4⁰/₁₀₀.
- b) Fernleitungen, im ganzen 1100 km, davon 60 km als Kabel an der Gotthardbahn
55 Mill. Fr. = 7,9⁰/₁₀₀.
- c) 25 Unterwerke, 60/15 kV einschliesslich zweier Hauptverteilungsstationen 135/60 kV, sowie Ausbau der Werkstätten in Bellinzona, Zürich und Yverdon für elektrische Lokomotivunterhaltung, und die erforderlichen Umbauten in den Betriebswerkstätten
60 Mill. Fr. = 8,6⁰/₁₀₀.
- d) Fahrleitungen einschliesslich der zugehörigen Verstärkungs- und Speiseleitungen, sowie der Fahrschienenverbinder für 1544 km Einphasenleitung und 22 km Drehstromleitung entsprechend 3600 km Gleislänge mit etwa 380 Bahnhöfen und Haltepunkten
125 Mill. Fr. = 17,9⁰/₁₀₀.
- e) Einzelausgaben für Unvorhergesehenes, für den Erwerb von Wasserkraftnutzungen einschliesslich solcher für zukünftige Kraftanlagen, Kosten für die Bauleitung, Versuche, Entwürfe usw., Senkung von Gleisen in Tunneln, Hebung von Überführungen zur Durchführung des Fahrdrabtes, Änderungen an den Bahnhofshallen usw., sowie Verlegung von Schwachstromleitungen
100 Mill. Fr. = 14,2⁰/₁₀₀.
- f) Fahrzeuge (Lokomotiven und Triebwagen), wobei vorsichtigerweise 9 elektrische an Stelle von 10 Dampflokomotiven gerechnet worden sind, eine Schätzung, die nach heutigem Urteil wohl sehr zu ungunsten des elektrischen Betriebes gegriffen ist. Kosten für Einrichtung elektrischer Zugheizung
210 Mill. Fr. = 30⁰/₁₀₀.

Die Teuerung infolge des Krieges und in der darauf folgenden Zeit ist hierbei berücksichtigt. Die Kosten für Umliegung von Schwachstromleitungen tragen die Bundesbahnen für ihre eigenen Leitungen selbst, für die Leitungen der Post- und Telegraphenverwaltung jedoch nur zum dritten Teil, da ein altes Gesetz das Recht der Post- und Telegraphenverwaltung auf Mitbenutzung des Bahnkörpers für ihre Leitungen festgelegt hatte und daher für diese Regelung der Kostenverteilung maßgebend war.

Durch die Einführung des elektrischen Betriebes sind folgende Abkürzungen der Fahrzeiten für Personen- und Schnellzüge laut Fahrplan erzielt worden:

	Schnellzug	Personenzug
Luzern—Chiasso	41	39
Chiasso—Luzern	44	48
Luzern—Basel	10—13	5—8
Basel—Luzern	10—15	16—19
Bern—Thun	5	7
Thun—Bern	5	8

Der Stromverbrauch belief sich auf der Gotthardstrecke (Erstfeld—Bellinzona) allein zunächst auf 37,3 Wh/tkm. Bei Hinzunahme der übrigen, weniger bergigen Streckenabschnitte zwischen Luzern und Chiasso sank der Verbrauch auf 35,7 Wh/tkm. Im Jahre 1923 lieferten die Werke Amsteg und Ritom für eine Betriebsstrecke von 412 km und 197 km Fernleitungen eine Arbeitsmenge von 63,9 kWh, gemessen in 15 kV am Kraftwerk. Dies ergab 38,2 Wh tkm einschliesslich Zugheizung und einschliesslich der Transformierungs- und Leitungsverluste, jedoch ausschliesslich Belieferung von Werkstätten, Kühlwasserförderung, Unterwerksheizung und sonstigem Nebenverbrauch. Diesen Zahlen der Bundesbahn seien die der Lötschbergbahn und der Rhätischen Bahn gegenübergestellt. Im Durchschnitt der Jahre 1917—1918 verbrauchte die Lötschbergbahn im Winter 53,5, im Sommer 48,5 Wh/tkm. Die Rhätische Bahn verbrauchte für dieselben Zeitabschnitte 58 und 47 Wh/tkm. Bei ersterer fällt die Zugheizung kaum ins Gewicht, da die meisten schwereren Züge mittels Kesselwagen durch Dampf geheizt werden und also nur der Arbeitsaufwand für das Mitführen dieser Wagen zu rechnen ist. Bei der Rhätischen Bahn dagegen wird ausschliesslich elektrisch geheizt; ausserdem sind ihre Strecken durch starke Schneefälle im Winter schwerer zu befahren. In runden Zahlen beträgt der Mehrverbrauch im Winter 10⁰/₁₀₀ gegenüber dem Sommer auf der Lötschbergbahn, dagegen 23⁰/₁₀₀ auf der Rhätischen Bahn.

Bei den Bundesbahnen kann man während des Winters auf einen Heizstromverbrauch von 120—130 Wh/Achskm rechnen, gemessen in 1000 Volt auf der Lokomotive. Die anfänglich verwendeten Elektrodenheizkessel sind in neuerer Zeit wieder aufgegeben worden.

Insgesamt ist zu sagen, dass die Betriebsergebnisse und Betriebskosten, besonders aber auch die Unterhaltungskosten noch kein maßgebendes Bild zeigen, da die elektrische Zuförderung in der Schweiz erst verhältnismässig kurze Zeit im vollen Betriebe steht und sich auch noch stark in der Entwicklung befindet. Wie oben angedeutet, mußten zugunsten beschleunigten Ausbaues der Anlagen manche Versuchs- und Betriebsergebnisse, die man wohl gern abgewartet hätte, aufser acht gelassen und zu dem, was im Augenblick sich als das vorteilhafteste bot, gegriffen werden. Die außerordentlich lehrreiche und in kürzester Zeit durchgesetzte Einführung des elektrischen Bahnbetriebes in der Schweiz kann als Vorbild dienen, wie man eine neue, von Grund aus umwälzende Betriebsform ohne langes Probieren und Rechnen durchführen kann und dabei dem Lande volkswirtschaftlich die besten Dienste zu leisten imstande ist.

Die Elektrisierungsfrage in Holland.

Nach einem im Dezember 1921 gehaltenen Vortrag von J. J. van Loenen Martinet (Utrecht) und einigen weiteren Angaben desselben bearbeitet von Regierungsbaurath H. Ebert.

Man ist geneigt anzunehmen, daß die elektrische Zugförderung hauptsächlich für Länder mit reichen Energieschätzen in Frage kommt. Daß aber auch Länder ohne Wasserkräfte und natürliche Brennstofflager die Vorteile der elektrischen Zugförderung sich zunutze zu machen versuchen, beweist Holland, für dessen Bahnen die Frage der Elektrisierung eingehend untersucht worden ist.

Die Niederlande verbrauchten im Jahre 1913 etwa insgesamt 10 Millionen t Kohlen, wovon etwa 800 000 t auf die beiden Eisenbahngesellschaften, welche zusammen fast das ganze holländische Netz betreiben, trafen. Würde das ganze Netz dieser beiden Gesellschaften für die elektrische Zugförderung eingerichtet werden, so könnten etwa 40 % des Kohlenbedarfes eingespart werden. Es wäre aber für den Bau des Oberleitungsnetzes und der Unterstationen, sowie für die Beschaffung der Fahrzeuge ein Kapital von ungefähr 400 Millionen Gulden nötig, wobei die Baukosten für die Kraftwerke, die Hochspannungsleitungen, die Einrichtung von Werkstätten und die Abschreibungskosten der überzählig werdenden Lokomotiven noch nicht eingerechnet sind. Gegenüber einer Kohlenersparnis von vielleicht 320 000 t, wäre dieser Kapitalaufwand nicht zu rechtfertigen.

Wenn demnach aus dem Grunde der Kohlenersparnis die Elektrisierung des gesamten holländischen Netzes für die nächste Zeit durchaus noch nicht in Frage kommt, so muß dennoch bei der Wahl des Systems für die jetzt bereits zu elektrisierenden Strecken auf die zukünftige Ausdehnung der elektrischen Zugförderung auf alle Strecken Rücksicht genommen werden, um Einheitlichkeit im Ausbau herbeizuführen.

Für die Elektrisierung der holländischen Bahnen spricht also weniger die zu erwartende Einsparung an Brennstoffen als vielmehr folgender Grund, der bereits im Jahre 1917 in einem Vortrag von P. A. Arriens eingehend dargelegt worden war:

Der elektrische Betrieb ist das Mittel, um auf Linien mit stark überwiegendem Lokalverkehr Bahnhöfe und Strecken auf höchstmögliche Leistungsfähigkeit zu bringen, unter Beibehaltung der Gleisanlagen der Bahnhöfe und der höchstzulässigen Geschwindigkeit. Im einzelnen belegt Arriens seine Meinung mit folgenden Sätzen:

»Die Fahrzeit wird kürzer, weil der Einfluß der höheren Beschleunigung sich besonders auf den Strecken mit häufigen Geschwindigkeitsminderungen und Halten stark bemerkbar machen wird. Die Aufnahmefähigkeit der Strecken wird größer, weil der Unterschied der Fahrzeiten zwischen durchfahrenden und anhaltenden Zügen wesentlich kleiner ist als bei Dampfzügen. Da die Aufnahmefähigkeit der Strecke abhängt von den Blockabständen, der Fahrzeit des schnellsten Zuges und dem Unterschied der Fahrzeit zwischen schnellstem und langsamstem Zug, wird die Verringerung dieses Unterschiedes gestatten, mehr Züge fahren zu lassen. Die Aufnahmefähigkeit der Bahnhöfe wird größer, weil die Bahnsteige durch das rasche Anfahren schneller freigemacht werden und der folgende Zug infolgedessen rascher herangebracht werden kann. Der Dienst wird sich regelmäßiger abwickeln und damit ist größere Belastungsmöglichkeit der Strecke gegeben.«

Aus ähnlichen Erwägungen gab die Direktion der holländischen Bahnen im Jahre 1918 an eine Kommission folgenden Auftrag:

Unter der feststehenden Annahme, daß der Verkehr, wie er vor dem Krieg auf den Linien Amsterdam — Amersfort und Amsterdam — Den Haag bestand, bei regelmäßigen Weiterwachsen besser, d. h. regelmäßiger und wirtschaftlicher mit elektrischer als mit Dampfzugförderung bewältigt werden kann, möchte untersucht werden:

1. Wie soll durch die elektrische Zugförderung, der Verkehr auf den genannten Strecken bedient werden?

a) Welche Dienstregelung erfordert der Nahverkehr, der Fernverkehr und der Durchgangsverkehr?

b) Sollen noch Dampfzüge für die Beförderung von Reisenden beibehalten werden?

c) Wie soll der Güterverkehr, der mit Dampfzugförderung bedient werden soll, eingerichtet werden?

2. Welches soll die Zusammenstellung der verschiedenen Zugarten sein? (Triebwagen, Lokomotiven.)

3. Welche Stromart soll gewählt werden und woher soll der Strom bezogen werden?

4. Sind Bestimmungen nötig für die Errichtung von Gleisanlagen und Bahnhöfen; wenn ja, welche?

5. Alle weiteren Punkte, die sich beim Studium der oben gestellten Fragen ergeben sollten.

Die viergliedrige Kommission erstattete nach einem Jahr ihren Bericht mit folgenden Beschlüssen:

1. Der Lokalverkehr auf den Strecken Amsterdam — Den Haag und Amsterdam — Amersfort soll mit Triebwagenzügen und nicht mit elektrischen Lokomotiven stattfinden.

2. Es ist wünschenswert, gleichzeitig mit der Strecke Amsterdam — Den Haag auch die Strecke Den Haag — Rotterdam über Delft zu elektrisieren.

3. Die Verwendung von Triebwagenzügen, bestehend aus je 5 Fahrzeugen, für den Lokal- und Nahverkehr und von Dampflokomotiven für den Fern- und Durchgangsverkehr, bietet dieselbe Verkehrsaufnahmefähigkeit, wie sie im Juli 1914 gegeben war.

Werden die Triebwagenzüge aus zwei Einheiten (zu je fünf Fahrzeugen) zusammengestellt, so ist eine Verdoppelung der Verkehrsaufnahmefähigkeit für den Lokal- und Nahverkehr zu erreichen, ohne daß an den Stationseinrichtungen Änderungen zu treffen sind.

4. Die Grundlagen für die geplante Dienstregelung sind:

a) Die Geschwindigkeit der Dampfzüge ist dieselbe wie die der Schnellzüge im Juli 1914 zwischen Amsterdam und Den Haag.

b) Die Geschwindigkeit der Triebwagenzüge, die den Schnellzugdienst ausführen, mit Halten auf den großen Stationen, ist die gleiche wie die der Züge unter a.

c) Die Geschwindigkeit der auf allen Zwischenstationen anhaltenden Triebwagenzüge ist so bemessen, daß das Überholen dieser Züge durch andere Züge auf kleineren Stationen nicht notwendig ist.

5. Die Triebwagenzüge sollen aus Abteilwagen zusammengestellt sein, weil dadurch eine größere Zahl an Sitzplätzen erzielt werden kann und das Aus- und Einsteigen schneller vor sich geht als bei Wagen mit Plattform und Durchgang. Die Züge sollen drei Wagenklassen mit einem Gepäckraum erhalten, während die Post in einem besonderen Raum unter der Aufsicht des Gepäckschaffners befördert werden soll. Die Mitnahme von Fahrrädern, großen Koffern usw. ist ausgeschlossen.

6. Die Beförderung eines Teiles der Post, von Fahrrädern, sperrigem Gepäck und Expresgut geschieht durch gleichzeitig verkehrende Schnellgüterzüge.

7. Der Güterverkehr ist nach einigen Ausscheidungen in die Nachtzeit zu verlegen.

8. Wenn aus der Elektrisierung alle Vorteile gezogen und die Nachteile eines gemischten elektrischen und Dampfbetriebes eingeschränkt werden sollen, muß auf die elektrische

Zugförderung im Lokal- und Nahverkehr der Linien Amsterdam—Rotterdam und Amsterdam—Amersfort die Elektrisierung nach den Kopfstationen Zandvoort—Imuiden—Zeist und Utrecht, ferner der Strecken Amsterdam—Haarlem, Beverwijk—Krommenie—Amsterdam möglichst bald folgen; daneben ist der Ersatz der Dampfzugförderung auf den elektrisch eingerichteten Strecken durch Erproben von elektrischen Schnellzug- und Güterzuglokomotiven vorzubereiten.

9. Als Stromart wird der Einphasen-Wechselstrom mit einer Betriebsspannung von 15000 Volt und $16\frac{2}{3}$ Perioden empfohlen.

10. Die elektrische Arbeit soll nicht aus besonders für den Bahnbetrieb zu erbauenden Kraftwerken geliefert werden, sondern durch die Kraftwerke der Landeselektrizitätsversorgung.

11. Das für die Hauptlinien empfohlene Stromsystem weicht von dem der Linie Rotterdam—Haag—Scheveningen ab, die mit 10000 Volt 25 Perioden betrieben wird; diese Linie müßte deshalb ebenfalls auf die gewählte Stromart übergehen.

Die Leitung der niederländischen Bahnen machte sich in der Hauptsache das Gutachten zu eigen, beschloß aber, daß sich die Einführung der elektrischen Zugförderung zunächst auf die Linie Amsterdam—Rotterdam beschränken solle. Im Hinblick auf die große Tragweite der zu fassenden Entschlüsse, die auf viele Jahre die Art und Weise der Elektrisierung festlegen würden, beschloß die Direktion ferner eine neue Kommission zu bestellen, diesmal auch mit Vertretern des Ministeriums besetzt, die den Auftrag erhielt, die bedeutendsten in der letzten Zeit für elektrische Zugförderung eingerichteten Bahnen zu bereisen, und zu berichten, welche Stromart für die Elektrisierung der holländischen Bahnen in Verbindung mit der Landeselektrizitätsversorgung zweckmäßig zu wählen sei.

Diese Kommission kam nun in der wichtigsten Frage, der Wahl der Stromart, zu einem anderen Beschlusse wie die vorgehende Kommission. Sie hielt die Verwendung von Gleichstrom mit einer Spannung von 1500 Volt für richtig.

Für diese Entscheidung waren verschiedene Gesichtspunkte maßgebend. Die Hauptfrage war: Wie und von wo wird die elektrische Arbeit am wirtschaftlichsten und betriebssicher geliefert? Ist es zweckmäßiger, eigene Bahnkraftwerke zu bauen, oder ist der Anschluß an die Landeselektrizitätsversorgung günstiger?

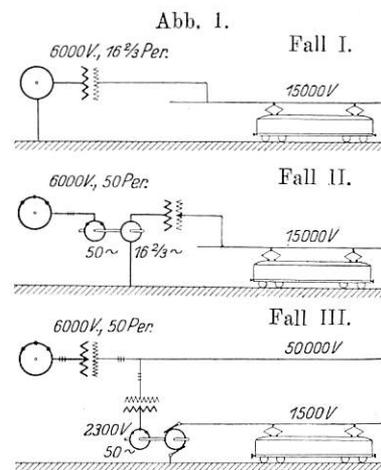
Es erschien nicht zweifelhaft, daß vereinigte Kraftwerke am günstigsten arbeiten, wenn auch zahlenmäßige Belege für die hier vorliegenden Verhältnisse nicht gegeben, sondern nur allgemeine Gründe angeführt werden konnten. Die Belastungen der Hauptknotenpunkte des Bahnnetzes würden etwa 3—4 Kraftwerke notwendig machen, aber mit Leistungen unter 70—80000 kW. Nach heutiger Ansicht tritt aber beim Wachsen der Kraftwerksleistung erst über diesem Wert keine weitere Verminderung der Betriebskosten mehr ein. Weil der Ausbau des elektrischen Bahnbetriebs nur langsam vor sich geht, könnten die Kraftwerke für lange Zeit nicht in einer Größe errichtet werden, die für ein wirtschaftliches Arbeiten notwendig ist. Für ein vereinigttes Kraftwerk fallen ferner die Baukosten niedriger aus und auch die Betriebskosten werden wegen der Personalsparnis und des besseren Ausnutzungsfaktors geringer als für zwei getrennte Werke.

In Großkraftwerken kommt aber nur die Erzeugung von Drehstrom von 50 Perioden in Betracht und damit tritt die Frage der Stromart für den Bahnbetrieb in den Vordergrund. Abb. 1 stellt die 3 Möglichkeiten der Versorgung der Strecke mit elektrischer Arbeit aus einem Kraftwerk der Landeselektrizitätsversorgung dar.

Im Fall I ist angenommen, daß im Kraftwerk besondere Bahngeneratoren aufgestellt werden, deren Strom nach Umspannung auf 15000 Volt die Oberleitungen der verschiedenen Richtungen speist. Weil im Kraftwerk Generatoren für Drehstrom von 50 Perioden und solche für Einphasenwechselstrom

von $16\frac{2}{3}$ Perioden nebst zugehörigen Reservesätzen und getrennte Stromverteilungsleitungen nötig sind, bleiben von der Vereinigung der beiden Kraftwerke als einziger Vorteil nur noch einige Ersparnisse an Anlagekosten für Gebäude und gemeinschaftliche Kesselreserve und geringe Einsparung an Personalkosten.

Fall II sieht im Kraftwerk die Erzeugung von Drehstrom von 50 Perioden und Umformung in Einphasenwechselstrom von $16\frac{2}{3}$ Perioden vor. Auch bei dieser Anordnung sind besondere Verteilungsleitungen notwendig. An Verteilungsleitungen könnte gespart werden, wenn die für den Bahnbetrieb benötigte elektrische Arbeit aus dem gemeinschaftlichen Netz entnommen und in Unterwerken längs der Strecken umgeformt würde. Jedenfalls sind, wie auch für Gleich-



rotierende Umformer notwendig und damit geht der Vorteil des Einphasenwechselstroms verloren, der darin besteht, daß dieses System nur Transformatorstationen ohne besondere Bedienung mit geringeren Anschaffungskosten und hohem Wirkungsgrad braucht.

Für die Verbindung von Bahnbetrieb und Landeselektrizitätsversorgung erweist sich demnach die Anwendung des Gleichstromes für den Bahnbetrieb als am günstigen, wie im Fall III dargestellt.

Gleich günstig wie gemeinsame Kraftwerke sind auch gemeinsame Hochspannungsleitungen. In Holland mit seinem vielfach weichen Boden machen die Kosten für Mastfundamente einen beträchtlichen Teil der Gesamtbaukosten einer Hochspannungsleitung aus. Wenn auch der Kupferquerschnitt der gemeinsamen Leitung gleich der Summe der Querschnitte zweier getrennt geführter Leitungen sein muß, fallen doch die Anlagekosten wie auch die Unterhaltungskosten für die gemeinsame Leitung bedeutend niedriger aus als für zwei getrennte Leitungen. Ein besonderer Vorteil gemeinsamer Leitungen liegt noch darin, daß sich elektrische Zugförderung und Landeselektrizitätsversorgung bei ihrer Ausbreitung gegenseitig unterstützen werden. In dem Umstande, daß die Bahnen in ihrem Strombezug von fremden Werken abhängig sind, liegt keine Gefahr, denn in einer Reihe von Ländern arbeiten Bahn und fremdes Kraftwerk reibungslos zusammen.

Ein weiterer Gesichtspunkt für die Wahl des Gleichstroms liegt in der Beeinflussung der Schwachstromleitungen.

Wenn auch die Ansichten darüber noch keineswegs geklärt sind und die Lager der Starkstromtechniker und Schwachstromtechniker sich in dieser Frage feindlich gegenüberstehen, so steht immerhin fest, daß der Einphasenwechselstrom und in wesentlich geringerem Maße auch der Gleichstrom die Schwachstromleitung störend beeinflussen, wobei beim Gleichstrom noch die Gefahr von chemischen Einflüssen hinzukommt.

Die Maßnahmen zur Verhütung von Beeinflussungen der Schwachstromleitungen sind besonders für Einphasenwechselstromleitungen sehr kostspielig. Die Angriffe durch Streuströme sind weniger zu fürchten, weil die Bahnen nur auf verhältnismäßig kurzen Strecken bebauten Gelände durchschneiden und der Erfolg der gegen sie anzuwendenden Maßnahmen im voraus überblickt werden kann. Übrigens sind chemische Angriffe ein sehr langsam fortschreitender Vorgang, so daß unmittelbar eintretende Störungen ausgeschlossen sind. Bei Einphasenwechselstrom dagegen geht ein Teil der sehr

schwer zu beseitigenden Störungen im Schwachstromnetz auf die induktive Wirkung derselben Streuströme zurück, nur kann hier nicht so leicht eingegriffen werden, weil der Weg dieser Ströme nicht feststellbar ist.

Weiterhin spricht zu Gunsten des Gleichstroms, daß sein Motor für den Bahnbetrieb günstiger ist, als der Einphasenmotor, vor allem weil der Kommutator weniger der Gefahr der Beschädigung ausgesetzt ist. Der Einphasenmotor kommt ferner zu Beginn der Anlaufperiode infolge der veränderlichen Anzugkraft in Schwingungen, wodurch zum mindesten das Lösen von Verbindungen verursacht werden kann. Der Einphasenmotor mit seinem kleinen Luftspalt (2 mm gegen 5 bis 6 mm beim Gleichstrommotor) und der großen Zahl von Kohlenbürsten erfordert auch mehr Unterhaltungsarbeit als der Gleichstrommotor. Dasselbe gilt von den übrigen Teilen der elektrischen Einrichtung. Der Besuch von Werkstätten hat die Meinung der Kommission in dieser Beziehung noch gefestigt. Wie aus den von der Kommission gesammelten Zahlen hervorgeht, ist das Gewicht und auch der Preis der elektrischen Einrichtung von Triebwagen für Einphasenwechselstrom um etwa 25% größer als für Gleichstrom. Für Lokomotiven, die sich meist noch im Stadium der Erprobung befinden, ist es noch nicht möglich, zahlenmäßige Vergleiche anzustellen.

Die Wahl der Stromart übt fernerhin einen großen Einfluß aus auf die konstruktive Durchbildung der Stromzuführung. Für Gleichstrom kommt eine Oberleitung oder eine dritte Schiene als Stromzuführung in Betracht. Wegen der vielen schienengleichen Übergänge und des weichen Bodens, der ständiges Unterstopfen der Schwellen erfordert, scheidet für holländische Verhältnisse die dritte Schiene aus. Die Abnutzung des Fahrdrabtes wird für Gleichstrom (Gl.) größer sein als für Einphasenwechselstrom (E.), weil wegen der höheren Stromstärken der Anpreßdruck des Stromabnehmers größer sein muß als bei E. (etwa 16 kg bei Gl. gegen 5 bis 6 kg bei E.). Sie bleibt aber nach verschiedenen ausländischen Erfahrungen immer noch so gering, daß sie keine Erschwerung im Betrieb und in der Unterhaltung mit sich bringt. Das größere Gewicht der Leitungen infolge der größeren Querschnitte für Gl. wird aufgewogen durch das Gewicht der für E. bedeutend schwerer ausfallenden Isolatoren.

Hinsichtlich der Unterwerke bleibt für E. der Vorteil geringerer Anlage- und Betriebskosten. Doch besteht zur Zeit wenig Aussicht auf eine weitere Entwicklung der E.-Unterstationen, während für Gl. die Gleichrichter und automatischen Unterwerke gute Zukunftsmöglichkeiten haben.

Schließlich war bei der Wahl der Stromart Rücksicht darauf zu nehmen, daß wenigstens der größere Teil der benötigten elektrischen Einrichtungen im Lande selbst hergestellt werden könne. Die niederländische Industrie ist aber in Gl.-Einrichtungen leistungsfähiger als in E.-Einrichtungen, für welche sie keinerlei Erfahrung besitzt.

Zusammengefaßt läßt sich die Ansicht der Kommission in der Frage der Stromart, die offenbar stark von den Eindrücken ihrer verschiedenen Studienreisen, besonders der nach Nordamerika, beeinflusst ist, wie folgt darstellen:

1. Bei der großen Zahl Schwachstromleitungen längs der Bahn, dem beschränkten Raum längs der Bahn und der Schwierigkeit in einem dichtbevölkerten Lande für die Führung dieser Leitungen einen anderen Weg zu finden, tritt bei der Wahl der Stromart der Einfluß auf die Schwachstromleitungen sehr in den Vordergrund.

2. Infolge der sehr kleinen Entfernungen und der sehr großen Verkehrsdichte kann der Unterschied der Anlage- und Betriebskosten zwischen den beiden Systemen nicht sehr groß sein.

3. Der Bezug von Strom aus dem Netz der Landeselektrizitätsversorgung ist für die Bahn ein Vorteil, dabei zeigt sich Gleichstrom als günstiger.

4. Der Gleichstrommotor ist einfacher als der Einphasenwechselstrommotor.

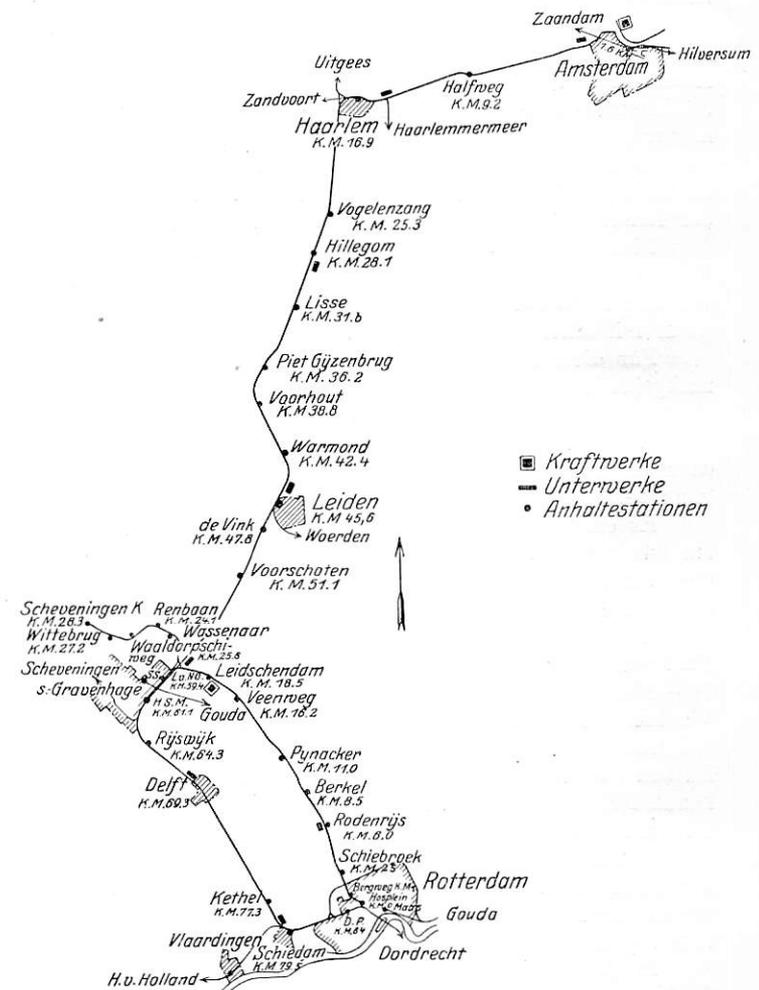
5. Die Entwicklung der automatischen Unterstationen und der Gleichrichter verspricht für den Gleichstrom eine größere Wahrscheinlichkeit für die Verbesserung des ganzen Systems als dies bei Einphasenwechselstrom der Fall ist.

6. Bei der Wahl des Gleichstroms kann ein größerer Teil der benötigten Einrichtung in Holland selbst hergestellt werden, als wenn Einphasenwechselstrom eingeführt würde.

7. Aus den genannten Gründen muß dem Gleichstrom der Vorzug gegeben werden, wenn der Strom von der Landeselektrizitätsversorgung bezogen wird.

8. Diese Gründe treffen aber auch zu, wenn keine Landeselektrizitätsversorgung zustande kommt, weil die Vorteile des Einphasenwechselstroms, die er hinsichtlich der Verteilung bei großen Entfernungen und geringer Verkehrsdichte besitzt, in Holland nicht zur Geltung kommen können.

Abb. 2.



9. Da in Holland der Betrieb mit Triebwagenzügen eine erhebliche Rolle spielt, soll in dem gegenwärtigen Zeitpunkt der Entwicklung des Gleichstroms eine Spannung von 1500 Volt gewählt werden.

Die elektrische Zuförderung nach den von der Kommission entwickelten Grundsätzen soll nun zunächst auf der Linie Amsterdam—Rotterdam eingerichtet werden. Hierfür ist auch bereits ein Triebwagenzug entworfen, dessen Motoren eine Leistung von 1600 PS aufbringen werden und dessen mittlere

Anfahrbeschleunigung für den Bereich von 0 bis 70 km etwa $0,33 \text{ m/sec}^2$ und für den Bereich von 0 bis 95 km etwa $0,14 \text{ m/sec}^2$ betragen wird. Die Verwendung der Triebwagenzüge zu je fünf Fahrzeugen wird eine tägliche Leistung von 10000 Zugkilometer gestatten. Einschließlich der täglichen Leistung von 6000 Zugkilometer auf der Linie Rotterdam—Haag—Scheveningen ist eine Jahresleistung von 5840000 Zugkilometer oder 1400 Millionen Tonnenkilometer zu erwarten, wofür ein Arbeitsbedarf von ungefähr 60 Millionen kW/Std. erforderlich sein wird.

Entgegen der im vorstehenden wiedergegebenen Meinung der Kommission gedachte die Eisenbahndirektion den größeren Teil dieser elektrischen Arbeit in einem bahneigenen Kraftwerk zu erzeugen. Zu diesem Zweck sollte das Kraftwerk der Linie Rotterdam—Haag bei Leidschendam für eine Leistung von etwa 40 Millionen kW/Std. umgebaut werden. Den Rest von 20 Millionen kW/Std. hätte das Elektrizitätswerk Amsterdam liefern sollen. Der Minister versagte aber diesem Plane seine Zustimmung. Es wurde also mit dem städtischen Elektrizitätswerke Haag ein Stromlieferungsvertrag auf vorläufig 5 Jahre abgeschlossen, während der Abschluß weiterer Verträge mit Rotterdam und Amsterdam noch bevorsteht.

Die Fahrleitung zwischen Haag und Leiden (Abb. 2) ist nahezu fertig. Die Probefahrten auf einem Teil dieser Strecke haben mit dem ersten Versuchszug bereits begonnen, ein zweiter Zug wird in einigen Wochen fertig sein. Die Probefahrten haben den Zweck festzustellen, ob im gleichen Zug die Wagenausrüstungen verschiedener Herkunft gut zusammenarbeiten. Die Erfahrungen, die bei dieser Gelegenheit mit der Fahrleitung gemacht werden, sollen beim weiteren Bau der Strecke verwertet werden.

Bis zum September 1925 muß die Linie Rotterdam—Haag—Scheveningen auf Gleichstrom von 1500 Volt umgebaut sein. Im Sommer 1927 wird wahrscheinlich der elektrische Betrieb auf der ganzen Strecke Amsterdam—Rotterdam aufgenommen werden können.

Es ist lehrreich, die Gründe, die in den Niederlanden zur Wahl des Gleichstroms geführt haben, an unseren deutschen Verhältnissen nachzuprüfen. Man kommt zu dem Schlusse, daß bei uns andere Voraussetzungen gegeben sind und dass, abgesehen von einigen Sätzen, über deren Richtigkeit man geteilter Meinung sein kann, dieselben Gründe, die dort dem Gleichstrom zur Seite stehen, für die bei uns getroffene Wahl des Einphasenwechselstromes sprechen.

Der Stand der Elektrisierung in Italien.

Von Dr. Ing. G. Huldshiner.

Hierzu Abb. 4 und 5 auf Tafel 22.

Am Südhang der Alpen steht die Wiege der elektrischen Vollbahn-Zugförderung in Europa. Bald nach den ersten großen Erfolgen der Amerikaner haben die Italiener das Elektrisierungsproblem angepackt, mit ihren technischen Beratern auf neuen Wegen gelöst und 1902 rollte die erste große elektrische Lokomotive das Veltlintal hinab, den prangenden Garten zwischen Engadin und Comosee.

Die Verhältnisse lagen in Oberitalien und der Schweiz günstiger als in irgend einem anderen Teile Europas. Kurze, krümmungsreiche, gebirgige Bahnstrecken mit schweren Steigungen, große Entfernungen von den Kohlenlagern, Überfluß an für den Ausbau geeigneten Wasserkraften, bedeutende Verkehrsdichte, frühes Vorhandensein von großen elektrischen Kraftübertragungssystemen und Vertrautheit mit ihrer Handhabung, auf diesem Boden konnte der Gedanke, der ja auch sonst überall um die Jahrhundertwende Wurzel schlug, am leichtesten zur Tat ausreifen. Daß er es rasch und zielbewußt tat, bleibt nicht minder ein großes historisch-technisches Verdienst der italienischen Verwaltung.

Die Valtellinabahn umfaßte in ihrem ersten Ausbau die Strecken Lecco—Colico, Colico—Chiavenna und Colico—Sondrio (s. Karte Abb. 1). Den nächsten Schritt bildete die Elektrisierung der Giovinlinie Pontedecimo—Busalla, die, quer durch den Apennin, die Verbindung zwischen Genua und dem Hinterland darstellt und den Verkehr des großen ligurischen Hafens nach der Poebene, dem Gotthard und Brenner vermittelt. Der Giovi ist eine kurze Gebirgslinie dichten Verkehrs in $26-35\%$ Steigung mit einem langen Tunnel, dessen besonders ungünstige Ventilationsverhältnisse schon unter dem Maschinenpersonal der Dampfzüge Opfer gefordert hatten. Später wurde auch die Parallellinie »succursale dei Giovi« elektrisiert, ferner wurden die Anschlussstrecken ausgebaut, so daß der Verkehr auf der Gesamtstrecke Genua—Giovi—Ronco auf elektrischen Betrieb umgestellt werden konnte. Ähnlich lagen die Verhältnisse auf der Linie Savona—S. Giuseppe—Ceva (Elektrisierung 1912—15), die vom ligurischen Meer ebenfalls nach dem Gebirge aufsteigt.

Zur selben Zeit wurde die Elektrisierung des Mont Cenis in Angriff genommen. Die Bahn steigt von Turin durch das wilde, schluchtartige Tal der Dora Riparia um 800 Meter,

unterfährt im 14 km langen Scheiteltunnel die französisch-italienische Grenzkette und schließt in Modane an das Netz der Paris—Lyon—Méditerranéebahn (P. L. M.) an. Die Strecke ist teilweise eingleisig und vermochte dem steigenden Verkehr nicht mehr zu genügen, der Bau eines zweiten Gleises hätte bei dem äußerst schwierigen Gelände Unsummen verschlungen, da bot sich die Elektrisierung als der gegebene Ausweg.

Mit dem Ausbau von Nebenstrecken, Verästelungen und Verbindungsgliedern wie z. B. Genua—Savona, Genua—Spezia—Livorno, Turin—Torre Pelice und Barghe, der Verlängerung Lecco—Monza entstanden im Lauf der Zeit im nordwestlichen Italien drei elektrisch betriebene Hauptgruppen: Valtellina, Giovi und Mont Cenis. Die beiden letzteren wurden durch die 1923 erfolgte Elektrisierung der Strecke Ronco—Turin zusammengefaßt, so daß nunmehr eine durchgehende elektrische Verbindung von Livorno bis nach Modane (Frankreich) geschaffen ist. Gegenwärtig sind damit ca. 700 km Strecke, entsprechend ca. 1400 km Gleis in elektrischem Betrieb.

Für die nächste Zeit ist noch die Elektrisierung der Strecken Voghera—Mailand, Mailand—Monza (Anschluß an Valtellina)—Chiasso (Schweizer Grenzstation und Anschluß an Gotthard), Bologna—Florenz (Porrettana-Linie über den Apennin), Brenner—Verona, Verona—Bologna, Florenz—Livorno geplant, womit ein zusammenhängendes Netz größten Stiles geschaffen sein wird (s. Abb. 1). In Mittel-Italien werden die Linien Rom—Anzio—Nettuno und Rom—Tivoli, in Süd-Italien die Bahn Benevent—Foggia als Versuchsstrecken gebaut (s. unten), ferner soll die im Bau begriffene neue Abkürzungsstrecke Rom—Neapel (die sogen. direttissima) von vornherein elektrisch betrieben werden.

Als Italien die Elektrisierungsarbeiten begann, war der Einphasenmotor noch kaum über die Stufe der Prüffeldversuche hinausgekommen. Für den Gleichstrom lagen zwar bereits günstige amerikanische Ergebnisse vor, jedoch überwog der Wunsch nach einem ohne Umformung für Fernübertragung geeigneten System und so fiel die Wahl auf den Drehstrom. Diese Entscheidung ist in anderen Ländern oft kritisiert worden, meines Erachtens nicht ganz mit Recht. Es muß bedacht werden, daß von den 1902 vorliegenden Systemen der Dreh-

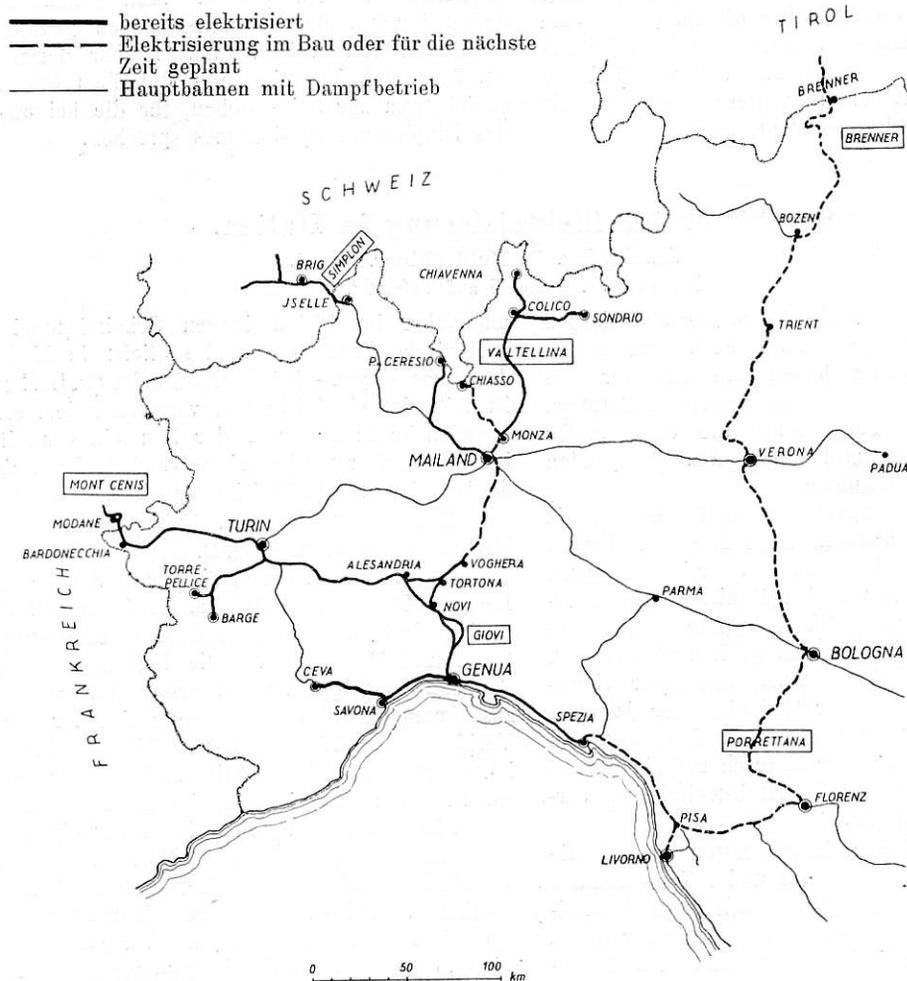
strom ernsteste Beachtung verdiente, das die einmal eingeschlagene Richtung in der Wahl des Systems, sofern es sich nicht um einen ausgesprochenen Fehlgriff handelt, beibehalten werden muß, wenn man ungeheure Leerlaufarbeit und Zeitverlust vermeiden will, und schließlich mag darauf hingewiesen werden, das gerade die Besonderheit der zu elektrisierenden italienischen Strecken — meist verhältnismäßig kurze Gebirgslinien mit Neigungen bis zu 35 ‰, die mit nicht übermäßig hoher Geschwindigkeit befahren werden — dem Drehstrombetrieb besondere Vorteile abzugewinnen vermag, die er beispielsweise bei uns nicht böte.

Es ist hier nicht der Ort, in eine genaue Kritik des Drehstromsystems einzutreten; Interessenten finden treffliche Abhandlungen darüber in der Literatur, beispielsweise in der bayerischen Denkschrift von 1908; im folgenden mögen nur

kurz, leicht und billig. — Der Motor arbeitet im Gefälle mit Nutzbremung und zwar ohne das es einer besonderen Schaltung oder auch nur eines Wechsels der Schaltwalzenstellung bedürfte. Sobald einem Drehstrom-Asynchronmotor mechanische Arbeit von außen zugeführt wird, beschleunigt er sich um einige Prozent und wird dadurch zum Generator, der Drehstrom an das Netz liefert. Daher Energieersparnis und Schonung der Radreifen, Schienen und Bremsklötze durch den Wegfall der mechanischen Bremsung. Von diesem Vorteil wird in der italienischen Praxis weitgehend Gebrauch gemacht; die Züge fahren talwärts mechanisch ungebremst, mit zusammengeschobenen Zug- und Stofsorganen, und stützen sich auf die an der Spitze befindliche elektrische Lokomotive ab.

Aber auch die Schatten fehlen nicht: Die doppelpolige Oberleitung (die dritte Phase wird an die Schienen gelegt)

Abb. 1. Übersichtskarte der elektrisch betriebenen Strecken in Italien.



kurz einige besondere hervortretende Seiten des Drehstrombetriebs erwähnt werden, besonders soweit sie für die italienischen Verhältnisse von Wichtigkeit sind und von dem bei uns Gebräuchlichen abweichen.

Als Vorteile möchte ich erwähnen:

Der Lokomotivmotor, als Drehstrom-Asynchronmotor ausgebildet, hat keinen Stromwender und vermeidet damit den heikelsten Teil einer Gleich- oder Einwellenstrom-Ausrüstung; er besitzt damit das Höchstmäß an Betriebssicherheit, ist kleiner, leichter und billiger als die Motoren anderer Systeme und kann ohne weiteres für mäßige Hochspannung (3000 bis 4000 Volt) gewickelt werden. Damit entfällt auch der Lokomotivtransformator mit seinem recht beträchtlichen Gewicht- und Raumbedarf. Die Lokomotive als Ganzes wird damit

mit ihren Isolationsschwierigkeiten und verwickelten Luftweichen, die große Anzahl der Unterwerke, wie sie durch die verhältnismäßig niedrige Fahrdrachtspannung notwendig wird, die hohen Leerlaufverluste, die starken Blindströme. Ferner die Starrheit des Betriebs, bedingt durch die unveränderliche Fahrgeschwindigkeit, die dem Drehstrommotor (der seinem Wesen nach ein Nebenschlußmotor ist) anhaftet. Während die Dampflokomotive und ebenso der Gleichstrom- und Einphasenmotor Geschwindigkeitsabfall mit zunehmender Zugkraft aufweisen, arbeitet der Drehstrommotor praktisch mit starrer Geschwindigkeit, unabhängig von der Zugkraft. Wohl kann man durch Kaskaden- oder Polumschaltung 2 bis 4 verschiedene Geschwindigkeitsstufen erzielen, dies verwickelt aber die Schalteinrichtungen, nimmt den Motoren viel von ihrer schönen

Einfachheit und schliesslich bleibt die Geschwindigkeit innerhalb des gewählten Bereiches doch unveränderlich und paßt sich nicht selbsttätig dem Gelände an.

Bezüglich der Stromlieferung hat die Politik der italienischen Staatsbahn bisher zwischen der Erzeugung in bahneigenen Werken und dem Bezug von Strom aus privaten Netzen geschwankt. Schlechte Erfahrungen mit staatlichen Kraftwerken, sowie die neue Entstaatlichungspolitik Mussolinis führten in jüngster Zeit dazu, die Lösung endgültig in der letzteren Richtung zu suchen.

Von den staatlichen Werken verdienen das Kraftwerk Bardonecchia für den Mont-Cenis-Betrieb Erwähnung, ferner die im Bau begriffenen Werke am Fluß Reno bei Bologna und Saggiario (Abruzzen). Ersteres, gespeist von den Flüssen Mélezet und Rochemolles, hat für jede Gruppe Doppelturbinen, deren Hälften für die verschiedenen Gefällshöhen der beiden Stromläufe bemessen sind, und wird jetzt noch durch Spezialgeneratoren mit Polumschaltung erweitert, die sowohl Strom von $16\frac{2}{3}$ Perioden für Bahnzwecke, als auch 50 periodigen Strom für die allgemeine Landesversorgung erzeugen können. In den ersten Stadien des Betriebes bezog die Staatsbahn aus einem der Stadt Turin gehörigen Werke Drehstrom industrieller Frequenz und formte ihn in einer sehr interessanten Umformerstation auf $16\frac{2}{3}$ Perioden um, unter Zuhilfenahme von Schwungrad- und Hintermotoren-pufferung, um die Belastungsspitzen trotz der zur Verfügung stehenden ungenügenden Zentralenleistung decken zu können.

Gegenwärtig wird der größte Teil der Strecken aus den Netzen der Maira und der Gesellschaft Edison gespeist, die zu diesem Zwecke einzelne ihrer Werke mit Maschinen für Bahnfrequenz ausgerüstet haben.

Als besonderes Merkmal weisen diese Zentralen, oder wenigstens jene, die nicht allzu große Netzteile zu versorgen haben, Wasserwiderstände für bedeutende Leistungen auf, in welchen die bei der Nutzbremse rückgewonnene Energie, soweit sie als überschüssig nicht zur Beförderung bergwärts-fahrender Züge verwendet werden kann, vernichtet wird. Die Eintauchtiefe der Platten wird durch einen Hilfsmotor selbsttätig je nach dem Belastungsgrad der Generatoren gesteuert.

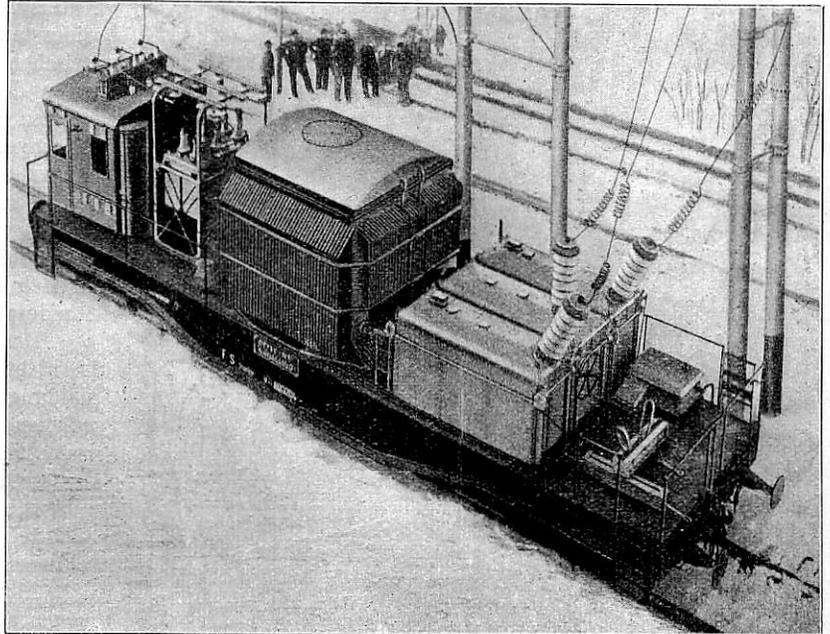
Die Verteilungsleitungen zwischen Kraftwerken und Bahnstrecken, meist für 60 000 Volt Spannung, bieten nichts eigentümliches; höchstens ist erwähnenswert, daß sie vielfach, z. B. längs der Mont-Cenis-Linie, auf den Fahrleitungsmasten geführt werden und zwar gewöhnlich unter Auslassung je eines Mastes. Für 60 000 Volt werden in Italien meistens noch Isolatoren der Stützertypen gewählt.

Die Unterwerke müssen mit Rücksicht auf die verhältnismäßig niedere Fahrdratspannung in ziemlich geringen Abständen voneinander, etwa 15 bis 20 Kilometer, angeordnet werden. Interessant ist die Anordnung von auf einem Tiefgangswagen aufgebauten, fahrbaren Transformatorstationen (Abb. 2), die als vorübergehende Verstärkung in Zeiten großer Belastung oder als verschleppbare Reserve für ausgefallene Einheiten gute Dienste tun.

Auf die Drehstromfahrleitung näher einzugehen, ist hier nicht der Ort. Sie besteht aus zwei voneinander isolierten Oberleitungsphasen, je aus zwei Kupferdrähten von meistens 100 qmm Querschnitt gebildet. Einfachaufhängung mit sehr zahlreichen Stützpunkten bildet die Regel, nachdem einige Versuche mit Kettenaufhängung (die offenbar nicht zweckentsprechend ausgebildet war) keine guten Ergebnisse gezeigt

hatten. Es werden ausschließlich Mannesmannrohrmaste mit Auslegern oder Jochen verwendet. Die Aufhängung unterscheidet sich hauptsächlich nur durch die sorgfältig ausgebildete doppelte Isolation von einer Straßenbahnfahrleitung, läßt sich aber anstandslos mit 80 bis 100 km Geschwindigkeit befahren. In den Bahnhöfen sind lange Ausleger über 2 bis 3 Gleise beliebt. Abb. 3 zeigt eine Drehstromweiche, die, in sehr guter Durchbildung, nicht ganz das Schreckensgebilde darstellt, als welches sie außerhalb Italiens vielfach gilt.

Abb. 2. Fahrbares Unterwerk der italienischen Staatsbahn.



Hinsichtlich der Lokomotiven mögen zunächst einige allgemeine Züge hervorgehoben werden. Bei dem gebirgigen Charakter der meisten Strecken wird auf sehr gute Kurvenläufigkeit großer Wert gelegt. Die Motoren sind verhältnismäßig klein; gewöhnlich erhält jede Lokomotive zwei Motoren, die, halbhoch eingebaut, den im Lokomotivkasten zur Verfügung stehenden Raum kaum oder wenig beanspruchen. Der Transformator, bei Einphasenmaschinen in bezug auf Gewicht und Platzbedarf mit der wesentlichste Teil der Ausrüstung, fällt ganz fort. Der Antrieb erfolgt meist durch die als Kandò-Dreieck bekannte Abart des Schlitzkurbelgetriebes, unter Vermeidung von Blindwellen, was die Einhaltung kleiner Radstände erlaubt. Nimmt man dazu die geringen Anfahrzugkräfte, die durch die kleine zulässige Zughakenbelastung bedingt werden (bei den meisten älteren Maschinen beträgt die höchste Anfahrzugkraft 12 Tonnen), die Eigenschaft des Drehstrommotors, ein konstantes, nicht pulsierendes Drehmoment zu entwickeln, sowie die durch den Wegfall des Transformators und der Blindwellen bedingte Kürze der Maschinen, so hat man den Schlüssel für das geringe Gewicht der Lokomotiven, das zunächst im Vergleich mit Triebfahrzeugen anderer Systeme auffällt (bei neuzeitlichen italienischen Ausführungen etwa 28 bis 35 kg/PS, davon 13 bis 19 kg für den mechanischen, 15 bis 16 kg für den elektrischen Teil).

In elektrischer Hinsicht bietet die Ausbildung der Motoren für mehrere Geschwindigkeiten besonderes Interesse. Bei den ersten Ausführungen verwendete man auf jeder Lokomotive zwei Motoren verschiedener Polzahl, die, jeder für sich laufend, zwei Geschwindigkeitsstufen, und, in Kaskade hintereinandergeschaltet, eine 3., niederste Tourenzahl ergaben. Die schlechte Ausnutzung der Motoren, der ungünstige Leistungsfaktor der gewöhnlichen Kaskadenschaltung spornten zur Verbesserung an. Nach einem in letzter Zeit häufig angewandten Milchschien

Patent werden die Motoren abwechselnd mit verschiedenen Polzahlen 2- und 3-phasig, parallel oder in Kaskade geschaltet, womit vier verschiedene Geschwindigkeitsstufen erzielt werden, die sich zueinander wie 6:8:12:16 verhalten. — Da frühere

Abb. 3. Fahrdrachtaufhängung (Drehstromweiche) der italienischen Staatsbahn.

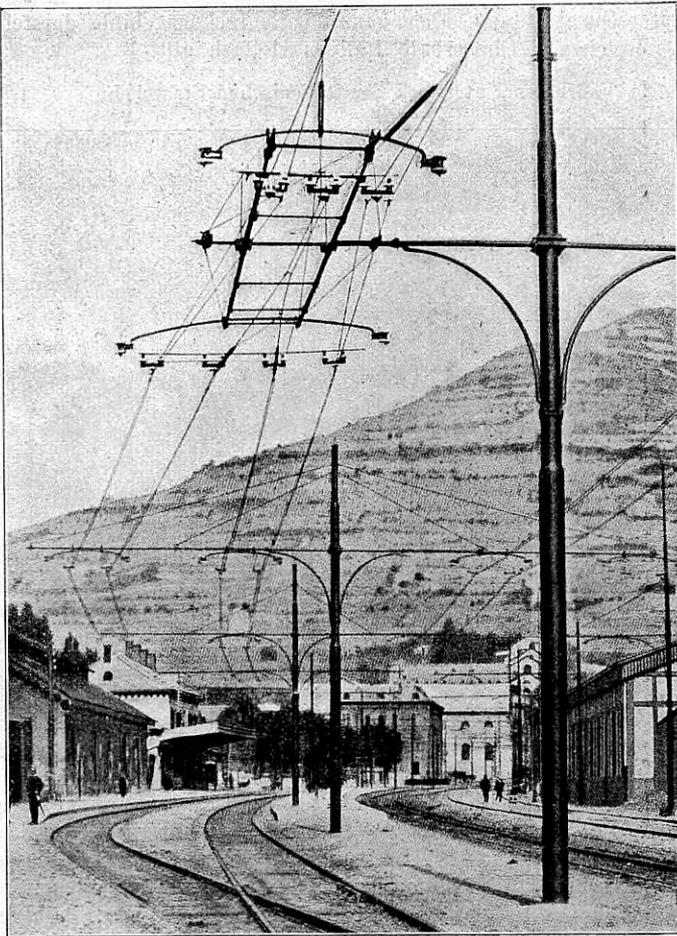
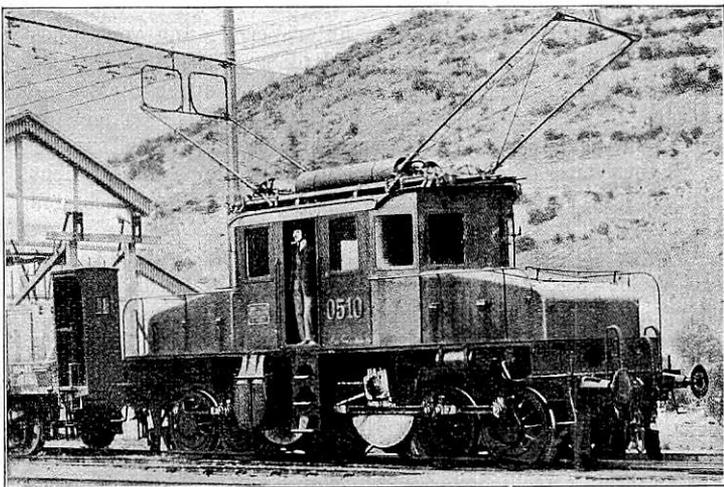


Abb. 4. E-Güter- und Personenzuglokomotive der italienischen Staatsbahn.



Ausführungen der Motoren mit Kurzschlussanker — der für jede Polzahl ohne Umschaltung geeignet ist — sich nicht einführen konnten, müssen die Läufer der Motoren als Schleifringanker ausgebildet werden, und zwar mit Rücksicht auf die

verschiedenen Geschwindigkeitsstufen mit bis zu 7 Schleifringen. Der Platz zwischen den Lagern und Rahmen reicht für eine so verlängerte Welle nicht aus, und so ergab sich die Notwendigkeit, die Schleifringe auf der verlängerten, gekröpften Motorwelle außerhalb der Rahmen fliegend aufzusetzen; eine Not, die aber mit Rücksicht auf die leichte Zugänglichkeit auch eine Tugend ist. Die Zuleitungen zu den Schleifringen laufen durch die hohle Motorwelle.

Die Gruppierungsschalter für die verschiedenen Geschwindigkeitsstufen werden gewöhnlich auf die Motoren aufgesetzt und von den Führerständen aus elektropneumatisch bedient. Der Anlaufwiderstand ist seltener metallisch, meistens ein Flüssigkeitswiderstand, ein Blechgefäß mit Kühlrippen und Elektroden, zwischen welche eine Sodalösung durch Druckluft gepresst wird unter der Einwirkung elektromagnetischer, von den Führerständen gesteuerter Ventile. Da die Ventile bei einigen Ausführungen auch noch durch das bewegliche System eines Wattmeters beeinflusst werden, vollzieht sich die Anfahrt bei diesen Typen mit gleichbleibender Leistungsaufnahme.

Der Hauptschalter, in der meist verbreiteten Bauart ein Teller mit sechs kerzenförmigen Kontakten, dient, elektropneumatisch betätigt, auch als Fahrtwender (Vertauschung zweier Ständerphasen).

Die Bügel, zwei an jeder Lokomotive — die Doppelzahl ist nicht nur wegen der Stromabnahme, sondern auch zur Vermeidung von Unterbrechungen beim Befahren der Drehstromweichen erforderlich — bestehen aus einem durch Luftdruck gegen Federn bewegten Rahmen, auf dem, isoliert, zwei Wippen für die beiden Phasen sitzen.

Die Drehstromlokomotiven sind praktisch ziemlich frei von Schüttelschwingungen. Es ist dies wohl auf die starre Nebenschlusscharakteristik der Treibmotoren zurückzuführen.

Als hervorstechendste Vertreter der italienischen Bauart mögen noch die 5/5 gekuppelten Güterzuglokomotiven der Giovi- und Mont-Cenislinie, sowie die 3/5 Schnellzuglokomotiven der verlängerten Valtellinastrecke etwas näher beschrieben werden.

Erstere, Achsanordnung E Gruppe 050 (Abb. 4), haben fünf Triebachsen, davon die äußersten mit Seitenspiel, die mittlere ohne Spurkränze der Räder. Durchmesser der Triebräder 1070 mm. Die beiden Motoren von je 1000 PS Stundenleistung sind halbhoch eingebaut und treiben mittels Kandödreiecks die mittlere Triebachse an. Die Fahrgeschwindigkeiten betragen 24 und 48 km in der Stunde. Das Dienstgewicht von rund 60 t, zu gleichen Teilen auf den mechanischen und den elektrischen Teil anfallend, kann durch Ballast auf 75 t erhöht werden, die Höchstzugkraft beträgt 13000 kg. Die Maschine, mit kurzem Mittelaufbau und Hauben, charakterisiert sich äußerlich durch ihre sehr gedrungene Bauart — Länge über Puffer nur 9,5 m — und wird im schweren Güterverkehr auf Steilrampen verwendet. Sie fährt Lastenzüge mit doppelter und dreifacher Bespannung, wobei die Verteilung der Last auf die verschiedenen Lokomotiven entgegen den ursprünglichen Befürchtungen sehr gleichmäßig erfolgt. Maschinen mit abgenutzten Radreifen können anstandslos mit solchen mit neuen Kränzen zusammenfahren, wobei der Anlaufwiderstand der Lokomotive mit neuen Radkränzen selbsttätig nicht ganz kurzgeschlossen wird. Die Talfahrt erfolgt auf Gefällen bis 35‰ mit der höheren Geschwindigkeitsstufe, auch bei Mehrfachbespannung, unter ausschließlich elektrischer Nutzbremsung.

Die 1 C 1 Schnellzuglokomotiven der Valtellinabahn, Gruppe 330 (Abb. 4 und 5, Taf. 22) haben je eine Laufachse mit der benachbarten Triebachse zu einem der Krauss-Helmholtzschens Ausführung ähnlichen Zara-Drehgestell verbunden, mit Radialeinstellung für die erstere und Seitenspiel für die Triebachse. Auch die Mittelachse hat Seitenspiel. Es ist also überhaupt kein fester Radstand vorhanden. Der Kasten hat ein Mittelabteil als Maschinenraum und zwei Führerstände

an den Stirnseiten. Die beiden Motoren, die in bezug auf Anordnung und Art des Antriebs der italienischen Norm entsprechen, besitzen je 1300 PS Stundenleistung und verleihen der Lokomotive die vier Geschwindigkeiten 37,5, 50,75 und 100 km/Std. Die Maschine entwickelt 12 t Höchstzugkraft und wiegt 73 t, davon 40 für den elektrischen Teil. Triebgewicht 48 t. Die Triebräder haben 1630 mm, die Laufräder 900 mm Durchmesser. Die Länge über Puffer beträgt 11 m.

Außerdem besitzt die italienische Staatsbahn 2 C 2 Lokomotiven Gruppen 331 und 332 für denselben Dienst, deren Charakteristiken fast identisch sind.

Seit 1923 sind drei neue Lokomotivtypen im Betrieb, deren Hauptverhältnisse sich aus folgender Zusammenstellung ergeben:

	Gruppe E 431	Gruppe E 551	Gruppe E 552
Achsanordnung . .	4/6	5/5	5/5
Durchmesser der Triebräder . . .	1630 mm	1070 mm	1700 mm
Länge über Puffer .	14510 "	11010 "	9500 "
Gesamtgewicht . .	91 t	75 t	72 t
Triebgewicht . . .	65 "	75 "	72 "
Stundenleistung der Lokomotive . . .	2600 PS	2600 PS	2200 PS
Stundenzugkraft .	9500 kg	13000 kg	12000 kg
Fahrgeschwindig- keiten km/Std. .	37—50—75—100	25—50	16—25—33—50

Der Vollständigkeit halber sei noch eine Gleichstromstrecke der italienischen Staatsbahn erwähnt, die Linie Mailand—Varese—Porto Ceresio (59 km Doppelgleis) die, ungefähr gleichzeitig mit der Valtellinabahn elektrifiziert, die lombardische Hauptstadt mit dem Luganersee verbindet. Die ursprünglichen elektrischen Anlagen entsprachen dem um die Jahrhundertwende gültigen amerikanischen Vorbild: Gleichstrom 650 Volt, dritte Schiene, Triebwagen in Vielfachsteuerung. Später (1913) wurden Lokomotiven Bauart 1 C 1 Gruppe 32 von 2000 PS Stundenleistung für 90 km/Std. Höchstgeschwindigkeit beschafft, die mit zwei hochgebauten Motoren ausgerüstet sind und Schrägstangenantrieb mit zwei Blindwellen besitzen. Dienstgewicht 71,5 t, Höchstzugkraft 9350 kg. Im letzten Jahre wurden weitere ähnliche Lokomotiven in den Dienst genommen, die aber keine Blindwellen, sondern Schlitzkurbelgetriebe aufweisen.

Während in Norditalien der Ausbau mit Drehstrom niedriger Frequenz planmäßig fortschreitet, sind in Mittel- und Süditalien Versuche mit anderen Systemen im Gang. Die Strecken Rom—Tivoli und Rom—Anzio—Nettuno werden mit Drehstrom von 10000 Volt und industrieller Frequenz betrieben (in Italien 45 Perioden), um die Möglichkeit zu untersuchen, den gewöhn-

lichen, sozusagen handelsüblichen Strom der Überlandversorgung auch für die große Zugförderung unmittelbar auszunutzen. Als Triebfahrzeuge dienen 4/6 und 5/5 gekuppelte Lokomotiven mit zwei Motoren mit Zahnradvorgelegen, von deren großen Zahnradern die Leistung mittels Kandödreieck auf eine Triebachse übertragen wird. Abschließendes über die Betriebsergebnisse ist noch nicht bekannt geworden; es stellt aber zu vermuten, daß der Vorteil des bequemen Strombezugs mehr als wett gemacht wird durch die Übelstände des hochperiodigen Stroms in der Fahrleitung (starker Spannungsabfall, sehr erhebliche Schwachstromstörungen).

In Süditalien soll auf der Linie Benevent—Foggia ein Gleichstrombetrieb mit 3000 Volt Fahrdrachtspannung eingerichtet werden.

Schließlich noch ein Wort über die Wirtschaftlichkeit des italienischen Drehstrombetriebs. Feste Zahlen neuen Datums sind m. W. darüber nicht veröffentlicht worden, wären auch wenig beweiskräftig, da Italien ebenfalls unter der Inflation leidet und der heutige Papierlire keinen zu Vergleichszwecken geeigneten Preismaßstab bildet. So muß auf die alten Zahlen über den Giovibetrieb zurückgegriffen werden, die seinerzeit bekanntgegeben wurden.

Danach betragen beim Dampfbetrieb die gesamten Betriebskosten 0,0084 Lire für den virtuellen Tonnenkilometer (Kohlenpreis 30,25 Lire für die Tonne), beim elektrischen Betrieb einschl. Verzinsung und Abschreibung 0,0065. Wenn man nur die reinen Zugförderungskosten, soweit sie von der Betriebsart abhängen, in Betracht zieht, sind die entsprechenden Zahlen 0,0052 Lire bei Dampf und 0,0018 Lire bei elektrischem Betrieb. Allerdings wird man sich hüten müssen, diese Zahlen allzusehr zu verallgemeinern, denn die Gioviline ist mit ihren schweren Steigungen und langen raucherfüllten Tunnels eine für die Elektrisierung selten geeignete Strecke.

Interessant ist das wirtschaftliche Ergebnis hinsichtlich der Nutzbremmung. Am Giovi beträgt der Energieverbrauch ohne Rückgewinnung 47, mit Rückgewinnung 30 Wattstunden je tkm am Stromabnehmer gemessen. Die entsprechende Energieersparnis im Kraftwerk belief sich 1912 etwa auf 5000 kw/Std. Die Lebensdauer der Schienen für die talwärts fahrenden Züge hob sich auf das Dreifache. Der Verbrauch an Radreifen und Bremsklötzen wurde durch die Einführung der elektrischen Zugförderung auf rund $\frac{1}{5}$ des früheren Wertes gesenkt.

Überblickt man das technische und wirtschaftliche Gesamtergebnis, so wird auch der Gegner des reinen Drehstrombetriebs der zielbewußt und energisch fortschreitenden Elektrisierungspolitik der italienischen Staatsbahn die Anerkennung nicht versagen können.

Die Wirtschaftlichkeit der elektrischen Zugförderung.

Von Oberregierungsbaurat Naderer, München.

Hierzu Abb. 1 bis 4 auf Tafel 21.

Für den Vergleich des elektrischen Betriebs mit dem Dampfbetrieb in wirtschaftlicher Hinsicht sind veränderliche und feste Ausgaben beider Betriebsformen einander gegenüber zu stellen, also die Weg- und die Zeitkosten der Zugbeförderung. Ist die Summe der Weg- und Zeitkosten in beiden Fällen gleich, so ist der elektrische Betrieb ebenso wirtschaftlich wie der Dampfbetrieb. Da die Umstellung auf die elektrische Betriebsform nur mit einer Vermehrung der Anlagekosten zu erreichen ist, die Zeitkosten also größer werden, ist eine Wirtschaftlichkeit dieser Betriebsform nur dann zu erzielen, wenn die Wegkosten sich mindestens in dem Maße verringern, als die Zeitkosten durch den Neuaufwand gestiegen sind; denn der Umstellung der Betriebsform in technischer Hinsicht entspricht wirtschaftlich eine teilweise Umstellung der veränderlichen Ausgaben in feste Ausgaben.

Im Nachstehenden soll im allgemeinen und unter Zugrundelegung bestimmter Fälle untersucht werden, in welcher Weise beim Übergang vom Dampf- zum elektrischen Betrieb eine Umwandlung von Weg- in Zeitkosten stattfindet; hierbei soll die beim elektrischen Betrieb gebotene Möglichkeit des Triebwagenverkehrs außer Berücksichtigung bleiben und angenommen werden, daß es sich zunächst um einen Ersatz der Dampfzugkraft durch die elektrische Lokomotive handelt.

A. Allgemeiner Vergleich.

Werden die beim Dampfbetrieb anfallenden Kosten mit dem Beizeichen D, die beim elektrischen Betrieb anfallenden Kosten mit dem Beizeichen E versehen, dann muß als Bedingung für die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Betriebs erfüllt sein:

1) $W^D + Z^D \geq W^E + Z^E$;
hierin sind W die Wegkosten und Z die Zeitkosten. Da bei Umstellung der Betriebsform wegen der zu machenden Aufwendungen immer

$$Z^E > Z^D \text{ ist,}$$

mufs

$$W^E < W^D$$

sein, wenn obige Beziehung 1) erfüllt sein soll; diese läfst sich ganz allgemein zum Vergleich der Weg- und Zeitkosten der Zugförderung verwenden, wenn sinngemäfs die Bezeichnungen auf die zu vergleichenden Betriebsformen bezogen werden, also auch zum Vergleich der Turbinenlokomotive, der Diesellokomotive als Zugkraft gegenüber der elektrischen Lokomotive.

Im Grenzfalle, d. i. bei gleicher Wirtschaftlichkeit des Dampftriebs und des elektrischen Betriebs kann obige Beziehung 1) auch angeschrieben werden zu:

$$1a) \quad W^D + Z^D = X \cdot W^D + Y \cdot Z^D,$$

wenn X und Y Beiwerte darstellen, welche die Veränderung der Weg- und Zeitkosten für die Zugförderung bei der Umstellung der Betriebsform kennzeichnen; nach dem oben Gesagten mufs $X < 1$, $Y > 1$ werden. Die Beziehung (1a) läfst sich vereinfachen zu:

$$2) \quad \frac{W^D}{Z^D} = \frac{Y - 1}{1 - X},$$

und dann in einfacher Weise für verschiedene Werte des Verhältnisses $\frac{W^D}{Z^D}$ zeichnerisch auswerten. Denn Gleichung 2)

stellt eine Schar von Linien dar, von welchen jede zur X -Achse in einem Winkel geneigt ist, der durch Bilden der ersten Ableitung der Gleichung 2) nämlich $\frac{dy}{dx} = -\frac{W^D}{Z^D} = \text{tg } \alpha$ erhalten wird; der negative Wert der Tangente zeigt an, dafs $\alpha > 90^\circ$, die Linien also die positive Y -Achse schneiden; ausserdem schneiden sich die Linien alle in einem Punkte, der dadurch gekennzeichnet ist, dafs für ihn $X = 1$ und $Y = 1$ wird; letzteres ist zwar für die Aufzeichnung des Schaubildes wertvoll, hat aber keine praktische Bedeutung, da es niemals vorkommen kann, dafs bei Umstellung der Betriebsform Zeitkosten und Wegkosten unverändert bleiben.

Da das Verhältnis der Wegkosten zu den Zeitkosten für eine bestehende Betriebsform bekannt ist, lassen sich für bestimmte Verkehrsverhältnisse die Linien nach Gleichung 2) auftragen. Zu diesem Zwecke ist nur nötig, für einen Wert $\frac{W^D}{Z^D} = C$ in Gleichung 2) zuerst $X = 0$ zu setzen und daraus Y zu bestimmen, um den Schnittpunkt mit der Y -Achse zu erhalten, hierauf $Y = 0$ zu setzen und X zu berechnen, um den Schnittpunkt mit der X -Achse zu bekommen. Die Verbindungslinie beider Schnittpunkte mufs durch den Punkt $Y = 1$ und $X = 1$ gehen.

Um den Grenzwert zu erhalten, für welchen die Umstellung der Betriebsform noch wirtschaftlich vertretbar ist, mufs zuerst der Umstellungsfaktor Y durch Feststellen der Zeitkosten für die neue Betriebsform ermittelt werden; der Schnittpunkt der im Abstand Y mit der Y -Achse gleichlaufenden Geraden mit der Linie für $\frac{W^D}{Z^D} = C$ gibt dann den Umstellungsfaktor X der Wegkosten, welcher höchstens erreicht werden darf, damit die Gesamtkosten durch die Umstellung der Betriebsform nicht höher werden. Für alle Werte $X' < X$ bedeutet die Umstellung einen wirtschaftlichen Gewinn. Aus Abb. 1, Taf. 21 ist ohne weiteres zu entnehmen, dafs mit besserer Ausnützung der vorhandenen Anlagen, also bei höherem Werte des Verhältnisses $\frac{W^D}{Z^D}$ auch der Umstellungsfaktor X oder die Wegkosten des elektrischen Betriebs gröfser werden dürfen.

Die Höhe des durch die Umstellung erzielbaren Gewinnes, die Einsparung \mathcal{G} je km Betriebslänge, ist gleich dem Unterschiede der Summe der Weg- und Zeitkosten für beide Betriebsformen, also: $\mathcal{G} = (W^D + Z^D) - (W^E + Z^E)$;
hierfür kann gesetzt werden:

$$3) \quad \mathcal{G} = (W^D + Z^D) (1 - e),$$

wenn das die Wirtschaftlichkeit kennzeichnende Verhältnis der Zugförderungskosten $\frac{W^E + Z^E}{W^D + Z^D} = e$ gesetzt wird. Für den Grenzfall wird $e = 1$, $\mathcal{G} = 0$.

Da ferner nach Gleichung 1a) $W^E + Z^E = X \cdot W^D + Y \cdot Z^D$ und ausserdem $\frac{W^D}{Z^D} = C$ gesetzt werden kann, ist für die Verhältniszahl der Zugförderungskosten anzuschreiben:

$$e = \frac{X \frac{W^D}{Z^D} + Y}{\frac{W^D}{Z^D} + 1} \\ 3a) \quad = \frac{C}{1 + C} \cdot X + \frac{1}{1 + C} \cdot Y$$

Diese Beziehung läfst ohne weiteres erkennen, dafs mit dem Gröfserwerden von $C = \frac{W^D}{Z^D}$, also mit zunehmendem Verkehr auch die Einsparung \mathcal{G} gröfser wird; denn da $X < 1$, Y aber > 1 sein mufs, wird mit gröfser werdendem C e kleiner, also \mathcal{G} gröfser.

B. Umstellungsfaktoren.

Um ziffernmäfsige Werte für die Gröfsen X und Y zu erhalten, müssen die zum Vergleich heranzuziehenden Weg- und Zeitkosten der Zugförderung für beide Betriebsformen in ihre einzelnen Teile zerlegt und bestimmt werden.

Wegkosten (W).

Die veränderlichen Kosten zerfallen in Auslagen
 w_1 : für die Zugföhrungsarbeit einschl. Zugheizung, also Kosten für Kohlen, Holz, Wasser beim Dampftrieb; Stromkosten beim elektrischen Betrieb;
 w_2 : für Schmier- und Putzmittel;
 w_3 : für Unterhaltung und Ausbesserung der Lokomotiven;
 w_4 : für die Lokomotivmannschaft;
 w_5 : für Verzinsung der Anlagekosten der Lokomotiven, sowie für Rücklagen für diese.

$$W = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5.$$

Die Auslagen w_1 sind abhängig von der Förderleistung des Bahnnetzes, also von den tkm, die Auslagen w_2 bis w_5 von den Lokomotiv-km. Werden dem Vergleich bestimmte Verkehrsverhältnisse zugrunde gelegt, dann sind die Ausgaben w_5 nicht mehr von den Lokomotiv-km abhängig, sondern ein Festwert; sie fallen dann nicht unter die Wegkosten, sondern sind den Zeitkosten zuzuzählen.

Zeitkosten (Z).

Die unveränderlichen Kosten zerfallen in Auslagen
 z_1 : für den Zinsdienst für die gemachten Aufwendungen, soweit sie zum Vergleiche heranzuziehen sind;
 z_2 : für die Rücklagen zur Wiederbeschaffung;
 z_3 : für Unterhaltung der Schwachstromanlagen;
 z_4 : für Stromversorgung der Bahnhöfe und Werkstättenanlagen;
 z_5 : für die Bahnstromverteilung einschl. Bedienung und Unterhaltung der Unterwerke, der Fern-, Speise- und Fahrleitungen.

$$Z = z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5.$$

Die Kosten Z sind von der Verkehrsgröfse nicht beeinflusst, sondern von der Betriebslänge des dem Vergleiche zugrunde

liegenden Streckenabschnittes oder Netzes abhängig; z_5 ist für den Dampfbetrieb Null.

Weg- und Zeitkosten des Dampfbetriebs sind auf Grund der Betriebserfahrungen bekannt. Das Verhältnis $\frac{W^D}{Z^D}$ kann demnach für einen bestimmten Streckenabschnitt oder ein umzustellendes Netz, auf eine gewisse Förderleistung bezogen, gebildet werden.

Die im Laufe der Entwicklung erreichten technischen Verbesserungen an den Dampflokomotiven brachten eine Verminderung der Wegkosten, im gewissen Grade jedoch auch eine Erhöhung der Zeitkosten, da die Verbesserungen sich nicht ohne Aufwand erzielen lassen. Auch für Weg- und Zeitkosten des elektrischen Betriebs liegen die Erfahrungen mit den in den letzten Jahrzehnten elektrisch betriebenen Eisenbahnstrecken vor. Die Betriebslänge dieser Versuchsstrecken ist aber im Verhältnis zu jener der mit Dampf betriebenen Strecken sehr klein; ferner wurde bei Auswahl der Versuchsstrecken in der Regel auf Bahnen mit schwierigen Betriebsverhältnissen gegriffen, außerdem waren die für den Unterhalt der elektrischen Lokomotiven erforderlichen Einrichtungen (Werkstätten und deren Ausrüstungen) nicht in einer dem Dampfbetrieb gleichwertigen Ausführung vorhanden, sondern es mußten hierfür meist nur behelfsmäßige Vorrichtungen ausreichen; auch die Lokomotiven selbst waren zum Teil Versuchsausführungen, deren Bauarten voneinander wesentlich abwichen und hierdurch die Unterhaltung verteuerten; deshalb kann damit gerechnet werden, daß die bisher auf den elektrisch betriebenen Versuchsstrecken erzielten Weg- und Zeitkosten einen oberen Grenzwert darstellen, welcher bei Einführung des elektrischen Betriebs auf einem größeren Netze unterschritten wird.

Die Umstellungsfaktoren X und Y setzen sich aus Teilen zusammen, welche den Verhältnissen

$$x_1 = \frac{w_1^e}{w_1^d}, x_2 = \frac{w_2^e}{w_2^d}; y_1 = \frac{z_1^e}{z_1^d}, y_2 = \frac{z_2^e}{z_2^d} \text{ usw.}$$

entsprechen. Da ein Teil der Einzelwerte für W unmittelbar abhängig von den geleisteten tkm, ein anderer Teil von den geleisteten Lok-km, die Einzelwerte für Z aber von der Betriebslänge abhängig sind, kann ein wirtschaftlicher Vergleich der Betriebsformen nur gezogen werden, wenn die in Gleichung 2)

einführenden Werte für $\frac{W^D}{Z^D}$, X und Y auf die gleiche Einheit bezogen werden. Dies kann nur geschehen, wenn bestimmte Verkehrsverhältnisse dem Vergleiche zugrunde gelegt werden.

C. Anwendungsbeispiele.

I. Im Folgenden sollen für ein 1120,2 km Betriebslänge umfassendes Netz, dessen Stromversorgung durch in Südbayern zum Ausbau gelangte Großwasserkräfte ermöglicht ist, die Umstellungsfaktoren für zwei Verkehrsgrößen, nämlich Fahrplan 1913/14 und 1923/24 ermittelt werden, wobei die allgemeinen Wirtschaftsverhältnisse vom Februar 1924 zugrunde gelegt sind.

Die Stromversorgung des betrachteten Netzes erfordert die Anlage von 14 Bahnstrom-Unterwerken sowie die Errichtung eines Fernleitungsnetzes von rund 950 km Länge. Die Anlagekosten der Kraftwerke, welche den Strompreis beeinflussen, sind in den Vergleich der Zeit- und Wegkosten nicht einbezogen. Die bisher oberirdisch verlegten Fernsprech- und Fernmeldeleitungen sind als verkabelt angenommen. Das Verhältnis der zu vergleichenden Anlagekosten beim Dampfbetrieb und beim elektrischen Betriebe veranschaulichen die Abb. 2 a und b, Taf. 21.

Die Verkehrsverhältnisse des Bahnnetzes sind nachstehender Übersicht 1 zu entnehmen:

Übersicht 1: Verkehrsverhältnisse.

	1913/14		1923/24	
	Dampf-Betrieb	Elektr. Betrieb	Dampf-Betrieb	Elektr. Betrieb
Lokomotiv-km	19,71 Mill.		13,48 Mill.	
Nutzlastleistung tkm	6884 Mill.		4172 Mill.	
Gesamtzahl der Lokomotiven	324	244	260	201
Lokomotiv-Mannschaft	952	720	764	580

Die Zeitkosten für Dampf- und elektrischen Betrieb sowie die zugehörigen Umstellungsfaktoren Y, die für beide Verkehrsfälle gleich sind, zeigt die nachfolgende Übersicht 2; hierbei ist eine Verzinsung der Anlagekosten von 5, 8 und 10 v. H. angenommen, um den Einfluß der Kosten der Geldbeschaffung auf den ziffernmäßigen Wert der Umstellungsfaktoren und auf die Wirtschaftlichkeit darzulegen.

Übersicht 2:
Zeitkosten in Mark je km Betriebslänge.

Zeitkosten	1913/14 und 1923/24		Umstellungsfaktor Y ₁ , Y ₂ usw.	Zinsfuß v. H.	
	Dampf-Betrieb	Elektrischer Betrieb			
z_1	134.— 216.— 268.—	3720.— 5950.— 7440.—	27,8	5 8 10	
z_2	58.—	516.—		8,9	—
z_3	200.—	20.—		0,1	—
z_4	1010.—	292.—	0,29	—	
z_5	—	391.—	—	—	
Z:	1402.— 1484.— 1536.—	4939.— 7169.— 8659.—	3,52 4,84 5,64	5 8 10	

Die Wegkosten der zu vergleichenden Betriebsformen sind in Übersicht 3 zusammengestellt. Um den Einfluß der Stromkosten zu veranschaulichen, sind Strompreise von 1,0, 2,0, 3,0 und 4,0 Pfg/kWh bei einem Arbeitsverbrauch an den Kraftwerken von durchschnittlich 30 Watth je Brutto-tkm

Übersicht 3:
Wegkosten in Mark je km Betriebslänge.

Weg-kost.	1913/14				1923/24			
	Dampf-betrieb	Elektr. Betrieb	Umstellungsfaktor X ₁ , X ₂ usw.	Pfg/kWh	Dampf-betrieb	Elektr. Betrieb	Umstellungsfaktor X ₁ , X ₂ usw.	Pfg/kWh
w_1	14500.—	2412.— 4824.— 7236.— 9648.—	0,139 0,332 0,498 0,664	1 2 3 4	9950.—	1518.— 3036.— 4554.— 6072.—	0,153 0,306 0,459 0,612	1 2 3 4
w_2	120.—	100.—	0,8	—	81.—	63.—	0,8	—
w_3	8950.—	6260.— 7160.— 8050.— 8950.—	0,7 0,8 0,9 1,0	— — — —	6000.—	4200.— 4800.— 5400.— 6000.—	0,7 0,8 0,9 1,0	— — — —
w_4	2380.—	1810.—	0,76	0/0	1915.—	1490.—	0,78	0/0
w_5	4138.— 5755.— 6821.—	4440.— 6240.— 7440.—	1,072 1,083 1,089	5 8 10	3208.— 4458.— 5288.—	3580.— 5030.— 6000.—	1,115 1,127 1,133	5 8 10
W:	30088.— 31705.— 32771.—	1910 + $w_1 + w_3$ $+ w_5$		5 8 10	21154.— 22404.— 23234.—	1553 + $w_1 + w_3$ $+ w_5$		5 8 10

angenommen. Auch für die Unterhaltungskosten der elektrischen Lokomotiven wurden veränderliche Sätze, nämlich 100, 90, 80 und 70 v. H. der Unterhaltungskosten der Dampflokomotiven eingesetzt, um die Einwirkung dieser Ausgaben auf den Umstellungsfaktor der Wegkosten zu kennzeichnen.

Aus den Werten für den Dampfbetrieb in Übersicht 2 und 3 kann nunmehr das Verhältnis $\frac{W^p}{Z^p} = C$ bestimmt werden;

für die drei benutzten Werte des Zinsfußes errechnet sich im Durchschnitt $C = 21,4$ für die Verkehrsverhältnisse 1913/14 und $C = 15,1$ für jene von 1923/24. Mit Hilfe der Gleichung 2) lassen sich nach dem oben Gesagten die Linien festlegen, welche für die beiden der Berechnung zugrunde gelegten Verkehrsgrößen den Umstellungsfaktor X der Wegkosten begrenzen. Zu diesem Zwecke sind entsprechend den aus Übersicht 2 zu entnehmenden Umstellungsfaktoren der Zeitkosten die Linien für Y gleichlaufend mit der X -Achse in Abb. 1 einzutragen; der Schnittpunkt dieser Linien mit den Grenzlinien $\frac{W^p}{Z^p} = \frac{Y-1}{1-X}$ gibt die Grenzwerte X_{\max} , bei welchen für beide Betriebsformen feste und veränderliche Ausgaben gleich werden, nämlich:

Zinsfuß %	5	8	10
Y =	3,52	4,84	5,64
X_{\max} 1913/14 =	0,88	0,82	0,78
X_{\max} 1923/24 =	0,84	0,75	0,693

Die den Einzelwerten der Wegkosten nach Übersicht 3 entsprechenden Umstellungsfaktoren X sind in Abb. 3, Taf. 21 in Abhängigkeit von den Stromkosten unter Berücksichtigung der Veränderlichkeit des Zinsfußes und der Unterhaltungskosten der elektrischen Lokomotiven zeichnerisch aufgetragen.

Diese Schaulinientafel, in welche auch die aus Abb. 1, Taf. 21 gewonnenen Grenzwerte der Wegkosten (X_{\max}) eingetragen sind, gibt einen Überblick über den Verlauf der wichtigsten für den wirtschaftlichen Vergleich der Betriebsformen maßgebenden Beziehungen. Unter der Annahme eines Zinsfußes von 10 v. H. und gleicher Unterhaltungskosten der Lokomotiven bei Dampf- und elektrischem Betrieb ergibt sich nach der Schaulinientafel für $Y_{13/14}$ und $23/24 = 5,64$ der Umstellungswert der Wegkosten zu:

$$X_{13/14} = 0,705 \text{ und}$$

$$X_{23/24} = 0,714$$

bei einem Strompreis von 2,0 Pfg./kWh ab Kraftwerk*); hieraus ermittelt sich nach Gleichung 3a)

$$e_{13/14} = 0,926$$

$$e_{23/24} = 1,02 \text{ d. h.}$$

unter den angenommenen wirtschaftlichen Bedingungen würde der elektrische Betrieb bei den Verkehrsverhältnissen in dem Ausmaße 1913/14 um 7,4% billiger, bei den Verkehrsverhältnissen vom Jahre 1923/24 um 2% teurer sein als der Dampfbetrieb. Soll auch für die Verhältnisse von 1923/24 der elektrische Betrieb nicht teurer kommen, als der Dampfbetrieb, so müßte — wie der Schnittpunkt der Linie für $X_{\max} = 0,693$ mit der Linie für die Wegkosten $x_{3,1,0}$ auf der Schaulinientafel Abb. 3 angibt — Bahnstrom zum Preise von 1,67 Pfg./kWh ab Kraftwerk zur Verfügung stehen, oder ermöglicht sein, die Unterhaltungskosten der elektrischen Lokomotiven um etwa 2,5 v. H. gegenüber jenen der Dampflokomotiven zu ermäßigen. Gestatten jedoch die Einrichtungen der Werkstätten, diese Unterhaltungskosten auf 80 v. H. jener der Dampflokomotiven herabzudrücken, was bei entsprechender

*) Einschließlich des Zins- und Tilgungsdienstes für die Kosten, welche anteilmäßig bei Anlage der Kraftwerke für die Zwecke der Bahnstrom-Erzeugung aufgewendet wurden.

Ausstattung und Betriebsführung der Werkstätten mit Sicherheit zu erwarten ist, dann wird für diesen Fall nach der Schaulinientafel

$$X_{13/14} = 0,652 \text{ und } e_{13/14} = 0,875; \text{ ferner}$$

$$X_{23/24} = 0,662 \text{ und } e_{23/24} = 0,971;$$

d. h. bei den Verkehrsverhältnissen wie im Jahre 1913/14 würden 12,5%, bei jenen wie im Jahre 1923/24 würden 2,9% gegenüber dem Dampfbetrieb eingespart.

In gleicher Weise kann für den Zinsfuß von 8 und 5 v. H. bei verschiedenen Unterhaltungskosten der elektrischen Lokomotiven aus der Schaulinientafel jener Strompreis entnommen werden, bei dem die Umstellung der Betriebsform wirtschaftlich noch keinen Verlust bedeutet, oder bei festliegendem Strompreis kann die Höhe der Unterhaltungskosten der elektrischen Lokomotiven oder die Höhe des Zinsfußes für den Umstellungsaufwand bestimmt werden, welcher bei Wahrung der Wirtschaftlichkeit nicht überschritten werden darf.

Eine bildliche Darstellung über die wirtschaftliche Umstellung, das ist die Überführung von veränderlichen Ausgaben in feste Ausgaben bei Einführung des elektrischen Betriebs gibt für einen bestimmten Fall (Verkehr 1913/14, Zinsfuß 5%, 80 v. H. Unterhaltungskosten der Lokomotiven, 2,34 Pfg./kWh Strompreis, 30 Wh/tkm Stromverbrauch) Abb. 2, Taf. 21.

II. Die unter I. ermittelten Wirtschaftsziffern beziehen sich auf die Umstellung eines 1120,2 km Betriebslänge umfassenden Netzes. Durch den auf letzterem aufkommenden Verkehr wird eine verhältnismäßig günstige Ausnutzung der zum Ausbau gelangten südbayerischen Großwasserkräfte, der Bahnstromfernleitungen und Unterwerke, ferner der elektrischen Lokomotiven, Werkstätten und sonstigen für die elektrische Betriebsform nötigen Einrichtungen erreicht werden. Aus Gründen der Geldbeschaffung kann die Umstellung des Netzes nur abschnittsweise erfolgen; Ausbauleistung der Wasserkräfte, Fernleitungen, Unterwerke, Werkstätten usw. müssen jedoch schon vom Beginn der Umstellung an entweder ganz oder teilweise in einem dem vollen Ausbau entsprechenden Ausmaße erstellt werden; hierdurch werden nicht nur die Gestehungskosten des Bahnstroms infolge schlechter Ausnutzung der bereitgestellten Maschinen-Leistung, sondern auch die Zeitkosten der Zuförderung ungünstig beeinflusst. Aufschluß hierüber gibt Abb. 4 auf Tafel 21, in welcher für zwei im ersten Ausbau-Abschnitt zur Umstellung gelangende Strecken mit zusammen 174,4 km Betriebslänge (123,3 km Einfachspur) die Wegkosten in Abhängigkeit vom Strompreis bei veränderlichem Zinsfuß und Unterhaltungsaufwand für die Lokomotiven in gleicher Weise, wie für das 1120,2 km umfassende Netz, für die Verkehrsgröße 1923,24 zeichnerisch aufgetragen sind.

Aus diesem Schaubilde ist zu entnehmen, daß für die in Betracht gezogenen Streckenabschnitte bei einem Zinsfuß von

	5	8	10 v. H.
C	= 48,2	43,0	40,4 und
Y	= 13,3	16,5	18,3
X_{\max}	= 0,695	0,568	0,486

wird, wenn die Unterhaltungskosten der elektrischen Lokomotiven zu 80 v. H. jener der Dampflokomotiven angenommen werden. Der Schnittpunkt der Linie $x_{3,0,8}$ mit dem Höchstwert der Wegkosten $X_{\max} = 0,695$ gibt den Strompreis ab Kraftwerk, der bei Wahrung der Wirtschaftlichkeit und einem Zinsfuß von 5% noch gezahlt werden kann, das ist 1,6 Pfg./kWh. Bei der schlechten Ausnutzung der ausgebauten Stromerzeugungs-, Fernleitungs- und Umspannanlagen wird letzteres nicht möglich sein. Wird ein Strompreis von 6,0 Pfg./kWh ab Kraftwerk in Rechnung gesetzt und lassen sich die Unterhaltungskosten der elektrischen Lokomotiven auf 70 v. H. jener der Dampflokomotiven herabdrücken, so wird bei einem Zinsfuß von 5% $X = 0,948$ und nach Gleichung (3a):

$$e = \frac{48,2}{49,2} \cdot 0,948 + \frac{1}{49,2} \cdot 13,3 = 1,2$$

d. h. selbst unter den oben angenommenen günstigen wirtschaftlichen Bedingungen wird der elektrische Betrieb noch um 20 v. H. teurer als der Dampfbetrieb.

Schlussbemerkung.

Durch die vorstehenden Beispiele ist nachgewiesen, daß mit der Umstellung eines größeren Eisenbahnnetzes vom Dampf- betrieb auf den elektrischen Betrieb erhebliche Einsparungen erzielt werden können, wenn durch Ausbau von Wasserkräften billiger Strom zur Verfügung steht und die Unterhaltungs-

kosten der elektrischen Lokomotiven gegenüber jenen der Dampflokomotiven herabgedrückt werden können. Da jedoch der Ausbau der Wasserkräfte und der für die Umstellung erforderlichen Nebeneinrichtungen einen erheblichen Aufwand erfordern, muß aus wirtschaftlichen Gründen darnach getrachtet werden, die geschaffenen Einrichtungen möglichst gut und rasch auszunutzen. Letzteres kann durch Verkürzung der Bauzeit für die Umstellung der Betriebsform geschehen. Je rascher demnach weitere Strecken der Umstellung zugeführt werden, je schneller also die letztere der Ausbauleistung der Kraftwerke, Fernleitungen, Unterwerken und sonstigen Einrichtungen angepaßt wird, desto wirtschaftlicher wird die neue Betriebsform.

Rundschau.

Die elektrische Zugförderung in den verschiedenen Ländern der Erde.

Im folgenden soll ein Überblick über den derzeitigen Stand und über die geplante Ausdehnung der elektrischen Zugförderung auf den Vollbahnen in den verschiedenen Ländern der Erde gegeben werden. Zur Grundlage dienen Berichte und Mitteilungen in- und ausländischer Zeitschriften. Die Zusammenstellung kann infolgedessen keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Aber sie gibt doch ein gutes Bild der bedeutenden Entwicklung des elektrischen Betriebes. Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Betriebes durch Ausnutzung der natürlichen Energiequellen und Verwendung minderwertiger Brennstoffe, sowie Verbesserung der Betriebsverhältnisse sind hauptsächlich die Gründe für die Einführung der elektrischen Zugförderung.

Zunächst werden die Länder besprochen, die sich in Mitteleuropa einheitlich für die Einführung von hochgespanntem Einphasenwechselstrom von 15 000 Volt und 16 $\frac{2}{3}$ Per./Sek. entschieden haben.

Im Gebiet der Deutschen Reichsbahn sind es hauptsächlich drei Streckengruppen, auf denen Züge elektrisch befördert werden und deren weiterer Ausbau im Gange oder geplant ist: das bayerische, das die erste im Deutschen Reich betriebene Vollbahn enthält und nach dem Ausbau das größte sein wird, das mitteldeutsche und das schlesische Netz.

In Bayern sind in Betrieb	78 km
(die Strecken: Salzburg—Freilassing—Berchtesgaden, Scharnitz—Garmisch—Partenkirchen—Griesen);	
im Bau	626 km
(München—Garmisch, Tutzing—Kochel, München—Holzkirchen—Rosenheim, Holzkirchen—Lenggries, Holzkirchen—Bayrischzell, München Ost—Deisenhofen, München—Rosenheim—Kufstein, Rosenheim—Freilassing, München—Regensburg);	
in Vorbereitung und geplant	961 km
(München—Herrsching, München—Lindau, München—Ulm—Stuttgart, Augsburg—Treuchtlingen, München—Ingolstadt—Nürnberg, Regensburg—Hof).	

Die Betriebsenergie liefern Wasserkräfte. Neben den kleineren Werken an der Saalach und in Gartenau bei Berchtesgaden sind es vor allem das Walchensee-Werk und die noch im Ausbau befindlichen Werke der „Mittleren Isar“.

Hier seien auch die seit 1913 elektrisch betriebenen und vom Rhein-Kraftwerk Wyhlen gespeisten badischen Strecken erwähnt: die Wiesetalbahn Basel—Zell und die Wehratalbahn Schopfheim—Säckingen zusammen 52 km

Der mitteldeutsche Bezirk wird durch das Braunkohlenkraftwerk Muldenstein versorgt und umfaßt folgende Strecken;	
in Betrieb	176 km
(Halle—Leipzig, Leipzig—Bitterfeld—Magdeburg, Leipzig—Wahren—Engelsdorf);	
in Vorbereitung	89 km
(Halle—Cöthen—Magdeburg, Schönebeck—Groß-Salze—Elmen).	

Das Kraftwerk Mittelsteine bei Glatz versorgt die schlesischen Bahnen mit Strom. Die Elektrisierung umfaßt hier folgende Strecken:

in Betrieb	263 km
(Königszell—Görlitz—Schlauroth, Nieder-Salzbrunn—Halbstadt, Ruhbank—Liebau, Hirschberg—Grünthal);	
im Bau und in Vorbereitung	53 km
(Dittersbach—Glatz).	

Erwogen wird ferner die Elektrisierung der verkehrsreichen Strecken Berlin—Halle, Leipzig—Hof, Breslau—Liegnitz—Görlitz—Dresden—Leipzig. Dadurch würden die elektrisierten Bahnen Bayerns, Mitteldeutschlands und Schlesiens verbunden.

Die Vorortbahn Hamburg—Blankenese—Ohlsdorf (27 km) wird schon seit Jahren mit Einphasenwechselstrom von 6000 Volt und 25 Per./Sek. betrieben. Die Stadt-, Ring- und Vorortbahnen Berlins sollen dagegen mit Gleichstrom von 800 Volt ausgerüstet werden. Auf der Vorortstrecke Berlin—Bernau ist der elektrische Betrieb bereits aufgenommen. Die Linien Berlin—Hermsdorf—Oranienburg gehen der Vollendung entgegen. Später werden die eigentlichen Stadtbahnstrecken, zuletzt wird die Ringbahn umgebaut werden.

Österreich hat unter dem Einfluß der drückenden Kohlennot eine großzügige Elektrisierung seiner Bahnen begonnen, wobei die reichen Wasserkräfte des Landes zu statten kamen.

Neben einigen schmal- und regelspurigen Strecken, die zum Teil hochgespannten Gleichstrom, zum Teil Einphasenwechselstrom verschiedener Spannung und Periodenzahl anwenden, waren bisher mit Einphasenwechselstrom von 15 000 Volt und 16 $\frac{2}{3}$ Per./Sek. in Betrieb 133 km (Innsbruck—Scharnitz, Griesen—Reutte, Wien—Pöfing).

Nach dem Gesetz vom 23. Juli 1920 befinden sich	
im Ausbau	342 km
(die Arlberg- und Vorarlbergbahn Innsbruck—Landeck—Bludenz—Bregenz nebst Abzweigungen nach Buchs und St. Margarethen	235 km
versorgt vom Ruetz- und Spullerseewerk und die Salzkammergutbahn Stainach-Irdning—Attnang-Puchheim	107 km
(Kraftwerk Steeg);	
in Vorbereitung	309 km
(die Strecken Salzburg—Wörgl der Westbahn 192 km, St. Veit—Spittal—Villach der Tauernbahn 117 km) (Stubach- und Mallnitzwerk).	

Die Elektrisierungsarbeiten gehen rasch vorwärts. Der Abschnitt Innsbruck—Landeck ist im regelmäßigen Betrieb. Auf der Strecke Stainach-Irdning—Aussee ist der elektrische Betrieb seit 24. Juli 1924 aufgenommen. Bis 1926 soll die Elektrisierung der angeführten Strecken beendet sein und dann der Umbau von weiteren 1135 km in Angriff genommen werden, nämlich der Strecken der östlichen Bezirke: Wörgl—Innsbruck, Wien—Salzburg, Amstetten—St. Michael, St. Valentin—Klein-Reifling, Hieflau—Vordernburg, Linz—Selzthal, Wels—Passau, Selzthal—Bischofshofen, St. Michael—Villach, St. Veit—Klagenfurt.

In gleich umfassender Weise betreibt die Schweiz die Elektrisierung ihrer Bahnen. Nach einem im Jahre 1918 aufgestellten Programm sollten die 2900 km der Schweizer Bundesbahnen innerhalb von 30 Jahren elektrisiert werden. Nunmehr wird der Ausbau derart beschleunigt, daß der größte Teil der Hauptbahnstrecken schon 1928 in elektrischen Betrieb genommen werden kann.

Die Schweizerischen Bundesbahnen hatten im Jahre
 1923 in Betrieb 384 km
 im Bau und in Vorbereitung 1145 km
 Die Berner Alpenbahn-Gesellschaft
 in Betrieb 194 km
 in Vorbereitung 43 km

Die Rhätische Bahn hatte ihr ganzes Netz mit 277 km in elektrischem Betrieb.

Seit Mitte Mai 1924 werden auf der Simplonbahn die Züge über Sitten hinaus bis Lausanne (92 km) elektrisch gefahren, desgleichen seit 1. Juni auf den Strecken Zürich—Thalwil—Richterswil und Basel—Luzern (95 km). Damit ist die ganze Gotthardbahn elektrisch betrieben (Basel—Chiasso 320 km) und mit unter die Reihe der schnellst befahrenen Strecken Europas gerückt. Die Fahrt Basel—Lugano dauert statt früher 6 Stunden heute $4\frac{1}{2}$ Stunden. Die Strecke Zürich—Richterswil ist ein Glied der Ost-West-Linie Innsbruck—Zürich—Bern—Genf (600 km), die wohl bereits im Jahre 1927 rein elektrisch befahren werden kann.

Die skandinavischen Länder machen ebenfalls ihre reichen Wasserkräfte für die elektrische Zugförderung nutzbar.*) Das Porjus-Kraftwerk speist die teilweise im Polargebiet liegende Reichsgrenzenbahn Luleå—Riksgränsen—Narvik (472 km). Durch Einführung des elektrischen Betriebes sind auf dieser Linie die Zuggeschwindigkeiten um 52%, die Belastungen — es handelt sich um schwere Erztransporte — um 40% gesteigert worden. Die zu Zeiten des Dampfbetriebes beabsichtigte Verdoppelung des Gleises hat sich damit erübrigt. Im südlichen Schweden ist die Elektrisierung der Strecke Stockholm—Gotenburg (458 km) in Angriff genommen und wird bis 1925 durchgeführt sein. Auch werden die Pläne für die elektrische Zugförderung auf den Strecken Järna—Malmö—Trälleborg, Katerinenholm—Norköpping, Stockholm—Upsala—Bräcke (zusammen 1147 km) ausgearbeitet. Ebenso werden zur Zeit allgemeine Erhebungen über die Elektrisierung einer Reihe von Privatbahnen Mittelschwedens durchgeführt. Bemerkenswert ist die bereits elektrisierte, 157 km lange, schmalspurige Nordmark-Klarälvensbahn nördlich des Wenern-Sees, die der Uddeholm-Gesellschaft gehört.

Die Elektrisierung der Bahnen Norwegens hält sich in bescheidenen Grenzen. Neben dem Abschnitt der Reichsgrenzen-(Ofoten)-bahn Riksgränsen—Narvik (42 km) sind bisher in Betrieb die Thamshavnbahn Thamshavn—Lökken (16 km) seit 1908, die Rjukanbahn (16 km) seit 1911/12, die Tinnosbahn Notodden—Tinnoset—Saaheim (46 km) und die Strecke Kristiania—Drammen (53 km).

Beschlossen ist die Elektrisierung der Strecken Kristiania—Lilleström (22 km) und Drammen—Kongsberg (46 km), Kongsberg—Brevik und Hjukstebo—Notodden ist in Aussicht genommen. Die staatlichen Wasserkraftwerke Hakavik, Mörkfofs und Solbergfofs werden die elektrische Energie liefern.

Während die bisher besprochenen Länder sich auf die Einführung von Einphasenwechselstrom von 15 000 Volt und $16\frac{2}{3}$ Per./Sek. für die Hauptbahnen geeignet haben, weist Italien keine Einheitlichkeit der Stromart auf. Allgemein wird in Oberitalien die Stromart beibehalten, mit der die Elektrisierung begonnen wurde, niederfrequenter Drehstrom. In Mittelitalien schließt man sich mit der Frequenz dem allgemeinen Drehstromnetz für Kraftbetriebe an. In Süditalien ist dagegen, wohl unter dem Einfluß Frankreichs, hochgespannter Gleichstrom in Aussicht genommen. Ein im Jahre 1920 aufgestelltes Programm sieht den Ausbau von 2 600 km Strecke vor. Ende 1923 waren 700 km elektrisiert und 400 km in Vorbereitung.

Wenden wir uns zur Gruppe europäischer Länder, die sich zur Einführung hochgespannten Gleichstroms (1 500 bzw. 3 000 Volt) entschlossen haben, so steht in erster Linie Frankreich mit weiten, auf lange Jahre berechneten Plänen.

Die Staatsbahn elektrisiert im ganzen 400 km, hauptsächlich Vorortbahnen von Paris, mit starkem Personenverkehr und dichter Zugfolge. So ist im April dieses Jahres der elektrische Betrieb auf den Strecken Paris—St. Lazare—Bécon les Bruyères und St. Lazare—Bois Colombes eröffnet worden; 1925 soll er nach St. Germain und St. Cloud ausgedehnt werden, 1926 über Bécon hinaus bis Versailles und Marly und 1927 über Bois Colombes bis Argenteuil geführt werden.

*) Siehe Organ 1923, S. 218 u. f.

Die Paris-Orleans-Bahn, die ihre Energie aus Wasserkraftwerken an der Creuse und der oberen Dordogne bezieht, hofft bis Mitte dieses Jahres die 200 km von Paris bis Vierzon der Hauptverkehrsstrecke Paris—Limoges—Toulouse in elektrischen Betrieb zu nehmen.

Bisher weist das größte umgebaute Netz die Südbahn auf (250 km in Betrieb), die ihre Bahnen mit der Energie der Pyrenäenflüsse speist. Jedoch wird nach vollzogenem Ausbau die Paris—Lyon—Mittelmeerbahn das größte elektrisch betriebene Netz besitzen. Die Bahn beschränkt sich aber zunächst auf die Einrichtung zweier Versuchsstrecken: Culoz—Modane und Marseille—Ventimiglia. Über den Umfang der einzelnen Entwürfe ist in dieser Zeitschrift schon öfters berichtet worden. Zusammen wollen die verschiedenen Gesellschaften 9 200 km elektrisieren; davon sind bis jetzt etwa 1 000 km umgebaut

In Belgien wird augenblicklich die elektrische Ausrüstung der Vorortbahnen von Antwerpen nach Eeckeren, Wyneghem, Wommelghem und Deurne erweitert, auch die der Strecken von Antwerpen nach Mecheln und Rumpst ist beabsichtigt.

In den Niederlanden und in England besteht Neigung die Elektrisierung der Bahnen mit der allgemeinen Elektrizitätsversorgung des Landes zu verbinden. Beide Länder haben sich für hochgespannten Gleichstrom von 1500 Volt entschieden, wenn auch zur Zeit einzelne Linien mit Einphasenwechselstrom betrieben werden (Rotterdam—Haag—Scheveningen, London—Brighton und die South-coast-Bahn). In Holland soll die Strecke Amsterdam—Rotterdam sofort elektrisiert werden. Aus England sind bestimmte größere Pläne, außer Stadt- und Vorortbahnen, nicht in die Öffentlichkeit gelangt. Es scheint auch die Dringlichkeit der Elektrisierung bei dem Kohlenreichtum des Landes nicht so groß.

Ebenso nehmen in Rußland die leitenden Stellen in der Frage der elektrischen Zugförderung, schon mit Rücksicht auf die finanzielle Lage, eine abwartende Haltung ein, wenn sie auch anerkennen, daß die Elektrisierung einiger Bezirke möglich und wirtschaftlich vertretbar ist. In Betracht kommen der Vorortverkehr von Moskau und Petersburg, dann die Strecken im Donez-, Ural- und Kaukasusgebiet.

Kleinere Staaten dagegen z. B. Estland gehen aus wirtschaftlichen Erwägungen an die Ausarbeitung von Plänen für die Elektrisierung ihrer ganzen Bahnen. Die Strecke Reval—Römmel soll noch im Laufe des Jahres elektrisch betrieben werden. Die erforderliche Energie wird durch Ausnutzung von Wasserkraften und Torflagern gewonnen.

Die Tschechoslowakei plant die Umstellung der in Prag einmündenden Hauptbahnen von insgesamt 463 km Länge, vor allem der Strecke Prag—Pilsen. Zur Energielieferung werden die Moldau-Wasserkraften südlich von Prag mit etwa 19 000 PS. herangezogen werden.

Auch Bulgarien hat den Energiebedarf für die Bahn-elektrisierung festgestellt und mit 130 000 bis 150 000 PS beziffert, die Stärke der natürlichen Wasserkraften des Landes übersteigt 1 000 000 PS.

Ungarn befindet sich hinsichtlich natürlicher Energiequellen in der denkbar ungünstigsten Lage. Es sind ihm durch den Vertrag von Trianon fast alle hochwertigen Energieträger (Kohle, Wasserkraften) genommen worden und nur minderwertige Lignit- und Torflager geblieben. Sie können für den Bahnbetrieb nur durch die Elektrisierung nutzbar gemacht werden. Ende April 1924 ist auf der Strecke Budapest—Dunakeszi—Alag (15 km) der elektrische Probetrieb eröffnet worden. Der im bahneigenen Kraftwerk erzeugte Einphasenwechselstrom von 15 000 Volt und 50 Per./Sek. wird auf der Lokomotive in niedergespannten Drehstrom umgewandelt. Nach Klärung der finanziellen Verhältnisse ist der Ausbau der Strecke Budapest—Bruck (197 km) beabsichtigt.

Aus Spanien wird berichtet, daß die Pyrenäenbahn Ripoll—Puigcerda und die 64 km lange Strecke Leon—Gijon elektrisch betrieben werden sollen, und zwar mit Gleichstrom von 3 000 Volt.

Vom afrikanischen Kontinent liegen nur vereinzelte Mitteilungen vor.

So soll im Anschluß an die Elektrisierung der französischen Bahnen auch die Strecke Casablanca—Marokko mit Gleichstrom

von 3000 Volt Spannung betrieben werden, der durch Umformung aus Drehstrom mit 60 000 Volt Fernleitungsspannung gewonnen wird.

In Tunis verbindet eine 40 km lange elektrische Bahn die Stadt mit ihren Wohnvororten.

Auch im Innern Afrikas, in Uganda, soll beim Neubau einer Bahn, die das Baumwollgebiet von Jinja und die Uasin-Gishu-Hochfläche erschließt, ein Streckenabschnitt elektrisch betrieben werden. Die Energie dazu werden die Riponfälle liefern.

Größeres Interesse beansprucht die Elektrisierung der Natal-Linie in Südafrika. Zunächst wird die 275 km lange Strecke Pietermaritzburg—Glencoe ausgebaut. Es ist dies der wichtigste und verkehrsreichste Abschnitt, der außerdem starke Steigungen aufweist und zur Zeit den Verkehr nicht mehr in befriedigender Weise bewältigen kann. Für den Betrieb ist Gleichstrom von 3000 Volt gewählt, der durch Umformung aus Drehstrom von 88000 Volt Fernleitungsspannung gewonnen wird. Ein Wärmekraftwerk in Colenso am Tugelafuß erzeugt die Energie.

Die Berichte über Elektrisierungspläne auf Java in Niederländisch-Indien, auf Neuseeland und in Australien sind nur kurz und unvollständig. Als Betriebsstrom wird dort im allgemeinen hochgespannter Gleichstrom verwendet.

Dagegen ergibt sich über den Stand der Bahnelektrisierung in Japan ein vollständigeres Bild. Seit Mai 1912 ist auf der Shin-Yetsu-Bahn, einer wichtigen Querverbindung von Takasaki nach Naoyetsu der Abschnitt mit Zahnradstrecke zwischen Yokogawa und Karnizawa ekektisch betrieben. Die Energie wird durch Turbogeneratoren erzeugt. Mit Gleichstrom von 1200 Volt, der aus einer Wasserkraft gewonnen wird, arbeitet die Chichibu-Eisenbahn, eine 56 km lange Industriebahn von Kagemori nach Kumagaya. Die Elektrisierung der Tokaido-Bahn ist der Beginn der Verwirklichung des großen Planes, der im Zusammenhang mit der Verwertung zahlreicher Wasserkraft die Elektrisierung von 1100 km Staatsbahnlinien, darunter umfangreiche Neubauten vorsieht. Die 600 km lange Strecke von Tokio über Yokohama—Nagaya—Kioto—Osaka nach Kobe ist zweigleisig und die wichtigste und verkehrsreichste Linie Japans. Ihr mittlerer Teil weist beim Überschreiten mehrerer Wasserscheiden erhebliche Steilrampen auf. Für den Betrieb ist Gleichstrom von 1500 Volt Spannung gewählt. Die Elektrisierung sollte in drei Teilen vor sich gehen. Die Strecken Tokio—Yokohama—Odawara und Tokio—Yokosuka sind schon ausgebaut, der Abschnitt bis Numadsu sollte bis 1926/27, die ganze Strecke bis 1928/29 vollendet sein. Infolge der Zerstörungen des Erdbebens und der notwendigen Sparmaßnahmen ist jedoch die Ausführung auf spätere Zeiten verschoben worden.

Der japanische Einfluß macht sich auch in der Mandchurei geltend. Die Süd-Mandschurische Eisenbahn besitzt bereits 40 km elektrische Bahnen.

Die Vereinigten Staaten von Nordamerika und Kanada besaßen 1920/21 zusammen 2465 km elektrisierte Bahnen. Davon trafen auf die Vereinigten Staaten allein 1220 km mit Gleichstrombetrieb und 315 km mit Einphasenwechselstrom von 11000 Volt und niedriger Periodenzahl, im Verhältnis zu dem großen Eisenbahnnetz keine sehr hohe Zahl. Die Stromart ist, wie ersichtlich, nicht einheitlich. Doch wird neuerdings mehr und mehr Gleichstrom von 3000 Volt Spannung verwendet, der im Anschluß an die bestehenden Großkraftwerke der allgemeinen Landesversorgung durch Umformung aus Drehstrom gewonnen wird. Vereinzelt kommt auch das Spaltphasensystem in Anwendung. Von den neuesten Plänen sei besonders die Elektrisierung der Virginia-Eisenbahn erwähnt, die durch die außergewöhnlichen Ausmaße des Betriebsprogrammes Aufsehen erregt.

Die in den übrigen amerikanischen Staaten verfolgten Elektrisierungspläne haben ihren Grund meist in der unwirtschaftlichen Beschaffung von Brennstoffen für die Dampflokomotiven.

In Argentinien umfaßt der elektrische Betrieb den Verkehr zwischen Buenos-Aires und den Vororten z. B. Moreno, Tigre. Die 30 bis 40 km langen Strecken gehören verschiedenen Gesellschaften, ihre Einrichtung hat sich gut bewährt. Es ist jetzt beabsichtigt die Betriebsspannung des Gleichstroms von 800 auf 1600 Volt zu erhöhen.

In Brasilien wird seit 1921 auf der Paulista-Bahn die 45 km lange Strecke Jundiahy—Campinas, welche Steilrampen von 18 bis 22 $\frac{0}{100}$ hat, elektrisch betrieben. Die elektrische Ausrüstung

soll nunmehr bis Tahu auf 90 km Länge ausgedehnt werden. Drehstrom von 38000 Volt wird für den Bahnbetrieb in Gleichstrom von 3000 Volt umgeformt. Dem Beispiel der Paulista-Gesellschaft folgend beabsichtigt auch die Zentralbahn die Elektrisierung von 600 km ihres Netzes.

Chile hat im vergangenen Jahr den ersten Abschnitt seines Elektrisierungsplanes vollendet. Er umfaßt die 187 km lange Linie Santiago—Til, Til—Valparaiso und die 45 km lange Zweigbahn Los Vegas—Los Andes mit Steigungen bis 22,5 $\frac{0}{100}$. In zwei Wasserkraftwerken wird Drehstrom erzeugt, der für den Bahnbetrieb von 110000 Volt Fernleitungsspannung in Gleichstrom von 3000 Volt umgeformt wird. Auch die von Santiago südlich nach Puente Alto führende 22 km lange Schmalspurbahn soll mit Gleichstrom von 600 Volt betrieben werden.

Die mexikanische Eisenbahngesellschaft beabsichtigt ihre 470 km lange, eingleisige Strecke Veracruz—Mexiko teilweise zu elektrisieren. Die Bahn erklimmt in Steilrampen von der Küste aus das mexikanische Hochland mit 2200 bis 2600 m Seehöhe. Zunächst wird mit dem Umbau des steilsten Abschnittes, der Strecke Orizaba—Esperanza (48 km) begonnen, die längere Steigungen von 45 bis 52,5 $\frac{0}{100}$ aufweist. Als Stromart ist Gleichstrom von 3000 Volt aus einem 8 km von Orizaba entfernten Kraftwerk gewählt. Auch die mexikanische Staatsbahn hat die Vorarbeiten für die Elektrisierung der Strecke Monterrey—Cerneros beendet.

Ferner wird aus Venezuela gemeldet, daß dort die Linie La Guaira—Caracas elektrisiert werden soll, wozu die Energie Dieselmotoren liefern werden. Scherzer.

Elektrische Zugförderung auf der Paris—Lyon—Mittelmeer-Bahn.

(Le Génie Civil 1923, Bd. 83, Heft 24.)

Die elektrische Zugförderung wird von den französischen Eisenbahngesellschaften in großem Umfang aufgenommen. Neben der Paris—Orléans- und der Südbahngesellschaft*) geht auch die Paris—Lyon—Mittelmeer-Bahn (P. L. M.) daran ihre Strecken elektrisch zu betreiben. Der Bauplan, der im Laufe der nächsten 20 Jahre verwirklicht werden soll, sieht zwei voneinander unabhängige Abschnitte vor:

1. Die Strecken im Pariser Stadtgebiet, wo der ständig steigende Verkehr eine immer dichtere Zugfolge erfordert;
2. Das Eisenbahnnetz zwischen Lyon und dem Mittelmeer.

In diesem Gebiet sollen ungefähr 3000 km d. s. sämtliche bedeutenderen Strecken südlich der Linien St. Germain des Fossés—Lyon und Lyon—Genf (beide inbegriffen) ausgebaut werden. Die für den Bahnbetrieb erforderlichen Energiemengen sind in den reichen Wasserkraften der Alpenflüsse verfügbar. Die Kohlenersparnis würde bei Annahme eines Vorkriegsverkehrs 700 000 t, bei gesteigertem Verkehr etwa 1 000 000 t im Jahr betragen.

Zunächst werden, zugleich als Versuchsstrecken, zwei Linien umgebaut: von der Mt. Cenis-Bahn der Abschnitt Culoz—Modane (135 km) und von der Küstenbahn Marseilles—Ventimiglia der Abschnitt Carnoules—Ventimiglia nebst den Nebenbahnen Cannes—Grasse und Nizza—Breil (zusammen 174 km). (Vergl. Abb. 1 und 2.)

Besonders die Strecke Culoz—Modane eignet sich sehr gut zu Versuchszwecken. Von Culoz bis St. Pierre d'Albigny verläuft sie horizontal. Von da ab weist sie den Charakter einer Gebirgsbahn auf mit stets zunehmender Steigung bis zu 30 $\frac{0}{100}$ in den letzten 15 km. Auf der Strecke laufen internationale Schnellzüge und Güterzüge schwerster Belastung. Auf der Küstenbahn dagegen ähnelt der Verkehr mit dichter Zugfolge mehr dem großstädtischen Vorortverkehr. Ein nicht zu unterschätzender Vorzug ist schließlich, daß die Energie erzeugenden Wasserkraftwerke in der Nähe der Versuchsstrecken gelegen sind.

Im Gegensatz zur Paris—Orléans- und zur Südbahngesellschaft verzichtet die P. L. M. auf den Bau eigener Kraftwerke, bezieht vielmehr die für den Bahnbetrieb notwendige Energie von bereits bestehenden Gesellschaften, die die Wasserkraft der Alpenflüsse ausbeuten.

Den Abschnitt der Mt. Cenis-Bahn versorgt die „Compagnie Paul Girod“. Ihre Kraftwerke erzeugen beim derzeitigen Ausbau dauernd etwa 30 000 kW bei 57 000 kW installierter Leistung, d. s. jährlich 250 Millionen kWh. Der mittlere Bahnbedarf der Strecke

*) Vergl. Organ 1923, Heft 10.

erörtert und zwar vom Standpunkt der Milderung der Arbeitslosigkeit aus; der Facharbeiter stellt einen höheren Wert an Arbeitskraft in einem an Arbeit armen Lande dar, als der ungelernete; an den Facharbeiter hat demnach in erster Linie der Ruf zur Arbeit zu ergehen, umso mehr, als seine Verwendung in der Regel auch die Beschäftigung einer größeren Zahl ungelernerter Arbeiter nach sich zieht. Da außerdem die bisherigen Umstellungen auf den elektrischen Betrieb nur günstige wirtschaftliche Ergebnisse gezeitigt haben, so wird der weitere Ausbau des elektrischen Betriebs als eine Arbeit bezeichnet, die in Ansehung der durch sie zu erreichenden Vervollkommnung und Verbilligung des Verkehrs von bedeutendem Einfluss auf die wirtschaftliche Gesundung des Landes sein würde. Eine rege Werbetätigkeit habe einzusetzen, welche nicht blofs die Leiter der Eisenbahngesellschaften von der Notwendigkeit der elektrischen Betriebsform überzeugt, sondern auch die breiten Schichten des Volkes für die Sache gewinnt.

Am Schlusse des Leitartikels wird der eingangs erwähnte Vortrag von H. E. O'Brien einer kurzen Besprechung unterstellt und angeregt, anstelle von allgemeinen Ausführungen wirtschaftlicher Art über den elektrischen Vollbahnbetrieb, wie solche O'Brien bringt, einen einzelnen bestimmten Fall (Strecke) herauszugreifen und diesen der öffentlichen Erörterung zu unterbreiten.

Die Untersuchungen von O'Brien gipfeln nämlich in dem allgemeinen Nachweis der wirtschaftlichen Überlegenheit der elektrischen Betriebsweise auf Hauptbahnlinien gegenüber dem Dampftrieb; hierzu werden reiche statistische Unterlagen sowie Erfahrungswerte benützt. O'Brien hebt besonders hervor, dafs es ihm für englische Verhältnisse richtiger erscheint, als Grundlage des Vergleichs beider Betriebsformen die Lokomotivmeile zu verwenden und nicht die Lokomotivzahl je Meile Gleislänge wie R. Smith verfährt, oder auch nicht den Kohlenverbrauch auf 1 Meile Betriebslänge, wie dies M. Parodi der Paris-Orleansbahn getan hat.

Bevor O'Brien die bekannten Nachteile der Dampfzugkraft den Vorzügen der elektrischen Lokomotive gegenüberstellt, streift er kurz noch, welche Bedeutung die Turboelektrolokomotive, die gewöhnliche Turbolokomotive und die Ölokomotive auf die Frage der elektrischen Betriebsform ausübt; erstere kommt nicht in Betracht, weil das Gewicht je erzielbare PS Nutzleistung höher ist als bei Dampflokomotiven, die Anlagekosten gröfser, die Bedienung teurer als jene der elektrischen Lokomotiven sind. Mehr Aussicht schreibt der Verfasser der gewöhnlichen Turbolokomotive zu, wenn es gelingt, die Nachteile des höheren Gewichts und die verwickelte Anordnung durch Ersparnisse in den Kosten für Feuerung und Kesselausbesserung auszugleichen. Die Ölokomotive, welche zur Zeit noch in den Kinderschuhen steckt, kann nach Ansicht des Verfassers erst dann ernstlich den Wettkampf mit der Elektrolokomotive aufnehmen, wenn es gelingt, eine Maschine zu bauen, die in der Anschaffung nicht teurer kommt, als eine Dampflokomotive, deren Feuerungskosten etwa die Hälfte der letzteren betragen und die außerdem einmännige Bedienung ermöglicht und niedrige Unterhaltungskosten aufweist.

Einen besonderen Vorzug der elektrischen Betriebsform sieht O'Brien in dem Freiwerden zahlreicher Gleise infolge des Wegfallens des Wendens der Lokomotiven, des Einfahrens in die Schuppen, des Fassens von Kohlen und Wasser; deshalb ist die Wirtschaftlichkeit erst dann gesichert, wenn mit der Umstellung es nicht mehr nötig ist, einen Teil der Dampflokomotiven mit den von diesen benötigten Einrichtungen für Kohle, Wasser, Reinigung usw. im Dienst zu behalten. Daher sind Übergangsbahnhöfe, in welchen gemischer Betrieb sein mufs, von grossem Nachteil.

Mehr Bedeutung als vorstehenden allgemeinen Ausführungen kommt den ziffernmässigen Werten zu, welche O'Brien seinen Vergleichen zugrunde legt; dabei wird darauf hingewiesen, dafs ein Vergleich der Kosten für eine Dampflokotivmeile einer Hauptbahnlinie mit den Kosten für den elektrischen Vorortbetrieb nicht zu günstigen Schlüssen für die elektrische Betriebsweise der Hauptbahnen führt, weil der Vorortbetrieb wegen der hohen Beschleunigung und den zahlreichen Haltestellen kostspieliger ist als der Hauptbahnbetrieb.

Für einen Dampflokotivpark von 10802 Stück gibt O'Brien eine durchschnittliche Leistung von jährlich 34000 Lokotiv-km an (41900 km im Personen-, 29400 km im Güterverkehr); die Instandhaltungskosten je Dampflokotiv-km schwanken zwischen 23,8 und 36,45 Pfg., der Durchschnitt liegt bei 30,6 Pfg. In der Abhandlung ist darauf hingewiesen, dafs obige Kostensätze auch die Unterhaltungs-

kosten zahlreicher kleiner Lokotiven mit geringen Leistungen einschliessen und dafs die Unterhaltungskosten der Dampflokotiven jener Strecken, auf denen zuerst der elektrische Betrieb eingeführt wird, erheblich über dem Durchschnitt liegen. Auf den bereits elektrisch betriebenen Vorortstrecken Englands beträgt die durchschnittliche kilometrische Leistung je Zug und Jahr 58500 bis 76000 km. Die Unterhaltungskosten je Zug-km schwanken zwischen 11,1 und 31,7 Pfg.; im Durchschnitt betragen sie 22,1 Pfg. Der Unterschied ist im Alter und in der Bauart der elektrischen Ausrüstung begründet. Auf Grund dieser Unterlagen kommt O'Brien zu folgendem Vergleich zwischen dem Dampf-Vollbahnbetrieb einerseits und dem Vorortverkehr bei Dampf- bzw. elektrischem Betrieb andererseits.

Übersicht 1.

Ausgaben für	Dampfbetrieb auf Hauptlinien	Dampf- Vorortverkehr	elek- trischer
	Kosten je Loko- motiv-km	Geschätzte Kosten bei einem dem elektrischen Betrieb gleichwertigen Dampfbetrieb	Kosten je Zug-km
	Pfg.	Pfg.	Pfg.
Oberleitung	2,84	2,64	unten enthalten
Löhne, die mit der Zug- kraft zusammenhängen	53,70	52,80	17,75
Feuerung oder Strom . .	41,40	63,40	92,10
Wasser	1,75	2,64	—
Schmierung	1,86	2,64	0,42
Ersatzteile	2,37	2,11	—
Ausbesserung	36,50	47,55	27,90
Verschiedenes	0,52	0,21	0,53
Zusammen	140,94	173,99	138,70

Auf Grund der Erfahrungen auf den bereits elektrisch betriebenen Strecken schliesst der Verfasser, dafs die Unterhaltungskosten der elektrischen Lokotiven sich auf etwa $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ jener der Dampflokotiven belaufen werden. Die Lebensdauer eines neuzeitlichen Kollektors wird auf 1,2 Millionen Lokotiv-km geschätzt. Durch die geringen Unterhaltungsarbeiten an den elektrischen Lokotiven wird ferner ermöglicht, dafs diese eine jährliche Leistung von 65000 bis 80000 km erreichen; an persönlichen Ausgaben werden rund $\frac{1}{3}$ erspart. Den wirtschaftlichen Vergleich beider Betriebsformen für Hauptbahnen veranschaulicht nachstehende Übersicht 2: Betriebs- und Unterhaltungskosten je Lokotiv-km ausschliesslich Erneuerung, Feuerung bzw. Strom.

	Dampf- betrieb 1922	elektrischer Betrieb geschätzt	Minderung der Kosten beim elektrischen Betrieb
	Pfg.	Pfg.	%
Oberleitung	2,84	2,84	—
Lokotivpersonal	39,60	26,40	33,3
Unterhaltung	36,48	12,16	66,0
Wasser	1,75	—	100,0
Schmierung	1,86	0,62	66,0
Ersatzteile	2,37	1,18	50,0
Verschiedenes	0,52	0,52	—
Sonstige Löhne in den Schuppen	13,03	3,27	rund 75,0
Zusammen	99,45	46,99	rund 53,0

Schliesslich geht O'Brien in längeren Ausführungen auf die Strompreisfrage und den Wirkungsgrad der Kraftübertragung ein. Für erstere ist eine Übersicht für verschiedene Ausnützungswerte der Stromerzeugungsanlagen zusammengestellt, die nachstehend wiedergegeben ist:

Übersicht 3. Stromkosten für die an die Hochspannungsfernleitungen abgegebenen Einheiten.

Kraftwerk	A	B	C	D	Kraftwerk für	
					elektrischen Vorortbetrieb	elektrischen Hauptbahnbetrieb (geschätzt)
Ausnutzung in % . . .	25,3	31,2	25,2	—	40	50
Kohle je Einheit in lib.	1,86	1,95	2,4	1,9	2,4	1,8
Kosten in Pfg. für:						
Kohle	1,27	1,56	1,64	1,10	1,68	1,21
Schmier- und Putzmittel usw.	0,03	0,037	0,043	0,043	0,017	0,017
Unterhaltung	0,299	0,293	0,393	0,425	0,297	0,212
Gehälter und Löhne	0,353	0,409	0,473	0,637	0,484	0,332
Verzinsung und Tilgung 8%	1,81	1,66	1,57	1,70	0,88	1,41
Gesamtkosten in Pfg. je abgegebener Strom-einheit	3,762	3,959	4,119	3,905	3,358	3,231

Die angeführten Strompreise sind besonders zum Vergleich mit den Preisen für Wasserkraftstrom wertvoll.

Der Wirkungsgrad der Kraftübertragung wird in nachstehender Weise angegeben:

Übersicht 4. Wirkungsgrad der Kraftübertragung (0/0).

	Vorhandene elektrische Vorortbahnen	O'Briens-Schätzung	Parodi's-Schätzung	Roger Smith's-Schätzung
Hochspannungsfernleitung	97	94,5	95	95
Umspannung und Umformung	91	92	83	85
Niederspannung (Fahrleitung)	90	90	95	90
Wirkungsgrad bis zum Radumfang	85	85	85	85
Gesamtwirkungsgrad	67,5	66,5	63,6	60

Bei Beurteilung aller ziffernmäßigen Angaben ist zu beachten, daß es sich bei den Untersuchungen um Gleichstrombetrieb handelt; da außerdem die Verkehrsverhältnisse wesentlich von jenen des Festlandes verschieden sind, dürften die mitgeteilten Ziffern mit Vorsicht zu verwerten sein. Na.

Elektrischer Bahnbetrieb in Norwegen.

Der Entwicklung, die das Eisenbahnwesen etwa seit Mitte des vorigen Jahrhunderts in den meisten Kulturländern der Erde genommen hat, konnte das dünnbevölkerte, weitausgedehnte und kapitalarme Norwegen nicht recht folgen. Seit dem ersten Bahnbau um 1850 ging der Ausbau des norwegischen Bahnnetzes nur mit großen wirtschaftlichen Opfern und teilweise unter Überwindung der größten technischen Schwierigkeiten vor sich. Nur selten laufen diese Bahnen durch verhältnismäßig dicht bevölkerte und wohl angebaute Landstriche, meist handelt es sich um lange, enge Talsenken mit nur schmalen Bebauungstreifen, und vielfach führen die Bahnen über mächtige unbebaute Hochgebirgsgefilde. Abgesehen von diesen durch große Entfernungen und dünnen Verkehr bedingten wirtschaftlichen Erschwernissen bewirkt die Schwierigkeit des Geländes und des Klimas, daß Bauweisen angewendet werden mußten, die im Kostenpunkt mindestens für die kleineren, weniger verkehrsreichen Bahnen in keinem Verhältnis zur Verkehrsgröße stehen. Trotz aller dieser erschwerenden Umstände bringt der Zwang der Bedürfnisse in Norwegen immer wieder die Frage neuer Eisenbahnpläne auf die Tagesordnung.

Generaldirektor Holtfodt hat seinerzeit vielbeachtete Mitteilungen gemacht über einen neuen 1300 Millionen Kr. umfassenden Eisenbahnplan, der außer den Stammbahnen, der Sörlandsbahn und der Nordlandbahn, die dazu bestimmt sind, das Rückgrat der Verkehrsverbindungen des Landes zu bilden, auch ein Netz von Zweig- und Nebenbahnen umfassen soll. Der Plan ist insbesondere von der wirtschaftlichen Seite nicht unbestritten geliebt und es ist bezweifelt worden, ob die Kapitalkraft des Landes derartigen Millionenplänen, die zudem noch die Einrichtung von Fähren u. a. zur Voraussetzung haben, gewachsen sei und ob nicht durch Einrichtung von Automobilverkehr auf schon bestehenden oder neu zu erbauenden Straßen, unter Umständen auch durch Wasserstraßenverkehr, dem Bedürfnis an kostspieligen Seitenlinien viel billiger und schneller genügt werden könne. Hierbei wurde auch die Frage des elektrischen Betriebs der norwegischen Bahnen, die sich gegenwärtig bei den Hauptdirektionen der Eisenbahnen und des Flufsbauwesens in Bearbeitung befindet, berührt. Es handelt sich hier für Norwegen um eine heikle, vielumstrittene Frage, denn weiten Kreisen gehen die Vorarbeiten hierfür zu langsam vor sich. Sie weisen darauf hin, daß, nachdem im Jahre 1894 ein kgl. Ausschufs zur Festsetzung der elektrisch zu betreibenden Bahnstrecken eingesetzt worden war, die Sache nun schon bald 30 Jahre nicht vom Flecke komme und daß man nach dieser Richtung an Ergebnissen bisher nur ein paar kleine Privatbahnen und die schon vor 10 Jahren beschlossene Drammenbahn aufweisen könne.

Es wird von seiten der Fachleute, wie wir einem von Direktor Lund in der technischen Vereinigung von Trondhjem am 7. Februar 1922 gehaltenen Vortrag entnehmen, behauptet, daß der Umstand, daß im Lande der Automobilverkehr sichtlich auf verhältnismäßig sehr große Entfernungen mit der Eisenbahnbeförderung in Wettbewerb treten könne, darin seine Erklärung finde, daß das norwegische Eisenbahnwesen an grundlegenden Mängeln, einer großen Reibungsziffer in der Verwaltung und allzu großem totem Gewicht beim rollenden Material leide.

Von elektrischem Betrieb der Eisenbahnen war in Norwegen schon lange die Rede, die Grundfrage bildet hierbei die Bestimmung des nötigen Energieverbrauchs, und hier ist nach Ansicht Lunds von viel zu hohen Ziffern und zu weit schweifenden Gedanken ausgegangen worden. Er glaube beweisen zu können, daß der Eisenbahntransport Norwegens vom Jahre 1918 von elektrischen Gleichstromlokomotiven mit einer Arbeitssumme von durchschnittlich 6500 PS am Radumfang bewältigt werden könne. Der Wasserkraftausschufs vom Jahre 1913 ging davon aus, daß die Umstellung auf elektrischen Betrieb in Verbindung mit dem allgemeinen Drehstrom des Landes erfolgen solle. Dies hielt auch Lund für richtig, aber das System sei durch die Drammenbahn, die mit Einphasenstrom betrieben wird, durchbrochen worden. Der Ausschufs hatte sich den Ausbau der Eisenbahnen nach dem Einphasensystem so gedacht, daß eine Strecke von 50 km Länge von einem Umspannwerk am einen Ende betrieben werden könne und daß zwischen zwei Umspannwerke eine Entfernung von 100 km treten könne. Es hat sich indessen gezeigt, daß der Betrieb längerer Einphasenbahnen mit einseitiger Stromzuführung wegen der Störung der Schwachstromleitungen bedenklich ist. Bei Stromzuführung von beiden Enden wird die Induktion auf ein Drittel oder noch weniger eingeschränkt. Wo aber dieser Gesichtspunkt beachtet werde, da seien die Anlagekosten höher als für Gleichstrombetrieb; letzterer habe außerdem noch andere grundlegende Vorteile in der Ausnutzung der Bremskraft und in geringerer Spitzenbelastung im Vergleich zur mittleren Belastung. Das war, als der Ausschufs 1913 sich aussprach, noch nicht bekannt. Die Strecke Kristiania-Asker der Drammenbahn sollte 1922 mit Einphasenstrom und mit Stromzufuhr nur vom einen Ende aus in Betrieb gesetzt werden. Große Beträge seien auf Telephonumlegungen verwendet worden. Das ganze sei ein Versuch. — Im „Electrical Journal“ August 1920 bezeichnet A. W. Copley einen solchen Einphasenbetrieb nur vom einen Ende aus als die vermutlich unvorteilhafteste Art wie eine Einphasenbahn gebaut werden könne.

Zum Betrieb der Drammenbahn ist, abweichend von den Vorschlägen des Wasserkraftausschusses 1913, eine Kraftanlage in Hakavik gebaut worden. Selbst wenn die Drammenbahn als Einphasenbahn gebaut werden sollte, war kein Grund vorhanden, eine Kraftanlage wie Hakavik zu bauen. Es sind dort Maschinen für eine Höchstbelastung von 15000 kW vorhanden, während die Wasserkraft nur für eine mittlere Belastung von 1100 kW ausreicht. Die

vollständig fertige Station wird Maschinen und Reservemaschinen für eine Spitzenbelastung von 20 000 kW haben; bei Zuleitung von anderen Wasserläufen wird aber Wasserkraft nur für 2 800 kW geschaffen werden können. Dabei wird die 23 km lange Bahn an Hakavik für Energieverbrauch allein mehr bezahlen müssen, als der Wasserkraftausbau vom Jahre 1913 als Bezahlung seitens der Smaalensbahn, Kristiania-Gjovikbahn, Kongsvingerbahn, Kristiania-Drammenbahn, Drammen-Skienbahn, Drammen-Randsfjordbahn und der Hovedbahn mit einer Gesamtbelastung von 44 000 PS für den jährlichen Kraftverbrauch ansetzte.

Außer der Drammenbahn ist auch die norwegische Ofotenbahn zu elektrischem Betrieb nach dem Einphasensystem übergegangen. Man muß die Energie hierfür von Schweden beziehen. Bei diesem Energiebezug aus dem Auslande müssen auf Verlangen des norwegischen Generalstabes die Dampflokomotiven als Reserve beibehalten werden. — Wäre die Ofotenbahn nach dem Gleichstromsystem elektrifiziert worden, so hätte sie nach Meinung Lunds keine Energie beziehen brauchen, denn die belastet zu Tal fahrenden Erzzüge hätten den für den Bahnbetrieb notwendigen Strom geliefert.

Zu den weiteren Vorteilen des Gleichstromes rechnet Lund die Möglichkeit, unmittelbar mit Akkumulatoren zusammen zu arbeiten. Dadurch kann, wenn erforderlich, die Spitzenbelastung noch weiter eingeschränkt werden.

Die Einsparung an Anlagekosten bei Gleichstrom im Vergleich zu den Dampfbahnen wird nach Lund dadurch erzielt, daß die Lokomotivanschaffung, auf die Tonne Fördermenge ausgerechnet, billiger ist. Der Oberbau kann ferner für einen Achsdruck von 10 t gegen 17 t bei Dampflokomotiven hergestellt werden. Die Brücken können für ein Lokomotivgewicht von 3,5 t/m gegen jetzt 7,5 t/m gebaut werden. Auch der Unterbau wird insofern billiger, als stärkere Steigungen angewendet werden können. Man braucht keine Wasserstationen und kommt mit kleineren Lokomotivschuppen und teilweise ohne solche Schuppen und ohne Drehscheiben, mit kleineren Kreuzungsstationen und kleineren Werkstätteanlagen zurecht. Es hat sich gezeigt, daß Bahnen, die zu elektrischem Betrieb und diesem angepaßtem Fahrplan übergehen, eine starke Transportsteigerung erfahren. Lund glaubt aus all diesem einen um 23 Millionen Kr. besseren Jahresabschlufs der Bahnen ableiten zu können. Dabei würde noch das Transportvermögen zunehmen und die wirtschaftliche Entwicklung im Lande gefördert werden. Nach Lund wäre der gegenwärtige Zeitpunkt für Durchführung der Elektrifizierung auch nach der Lage des Geldmarktes günstig und es sollte möglichst bald in die Ausführung eingetreten werden.

Dr. S.

Elektrische Zugförderung in Japan.

Zwischen den 30,6 km voneinander entfernten Städten Tokio und Yokohama bestand schon bisher elektrischer Triebwagenverkehr. Nunmehr geht die japanische Regierung daran, die elektrische Zugförderung in großzügiger Weise auszubauen. Zunächst soll der eingangs genannte elektrische Städteverbindungsverkehr bis Odawara und Yokosuka ausgedehnt werden. Letzteres, ein Schiffsstützpunkt, liegt 37 km, ersteres 53 km von Yokohama entfernt. Der einschneidendste Teil des Bauplanes ist jedoch die Einführung des elektrischen Betriebes auf der wichtigsten Verkehrsader des Landes, der sogenannten „Tokaido“-Linie, die von Tokio über Yokohama,

Nagoya, Kyoto, Osaka nach Kobe führt und rund 605 km lang ist. (Zum Vergleiche: Leipzig - Magdeburg 119 km; Breslau - Hirschberg - Görlitz 203 km; Garmisch - München - Regensburg 238 km; Innsbruck - Bludenz - Feldkirch 183 km; Chiasso - Luzern - Olten - Basel 320 km; Luleå - Narvik 475 km).

Von den für die Durchführung des elektrischen Betriebs (Gleichstrom 1500 Volt) erforderlichen Lokomotiven wird der größte Teil aus England geliefert. Im „Engineering“ vom 25. Januar 1924 ist die Bauart der Schnellzuglokomotive mit der Achsanordnung 2 C - C 2 (mit Abbildungen), beschrieben, von welchen 8 Stück durch die English Electric Company, Limited, Kingsway, London geliefert werden, welche außerdem noch 23 Stück elektrische Lokomotiven mit der Achsanordnung B - B für Japan baut.

Bei der in Japan vorhandenen schmalen Spur von 106,6 cm ist die Unterbringung der für die Schnellzuglokomotiven erforderlichen Stundenleistung von rund 1800 PS besonders bemerkenswert. Es sind 6 Motoren für je 300 PS Stundenleistung angeordnet; je zwei Motoren arbeiten bei 1500 Volt dauernd in Reihe. Der Rahmen der Lokomotive ist auf zwei Spurwagen gelagert, von denen jeder mit drei Triebachsen und einem in einem Zapfen beweglichen Drehgestell ausgerüstet ist. Das Gewicht der Lokomotiven beträgt 100 t; auf jede Triebachse entfallen etwa 12 t, auf jede Laufachse 7 t. Der Triebdurchmesser beträgt 1396 mm.

Von der elektrischen Ausstattung ist die Verwendung der „Kammsteuerwalze“ („Camshaft Controller“) der English Electric C. bemerkenswert, die von einem Elektromotor angetrieben wird, der seinerseits durch die in den Führerständen befindlichen Meisterwalzen zu betätigen ist. Durch die Kammwalze, die aus einer Reihe von Stahl-Kniehebeln besteht, die auf einer mit Glimmer isolierten Welle sitzen, wird die gruppenweise Schaltung der Motoren und die Änderung der Widerstandsgrößen in den Motorstromkreisen geregelt. Mit dem Antrieb der Kammwalze ist ein Netzschalter derart verriegelt, daß die Walze in der Richtung „Vorwärts“ nur betätigt werden kann, wenn der Netzschalter geschlossen ist und umgekehrt; dadurch entfallen Funkenlöcher.

Die Steuereinrichtungen sind an den Längswänden des Lokomotiv-Aufbaues in mit Schiebetüren abgeschlossenen Räumen angeordnet; die Türen sind mit dem Hauptschalter verriegelt. Zwischen den beiden Räumen ist ein Umformer aufgestellt, der den Steuerstrom von 110 Volt erzeugt. Dieser fließt vom Fahrschalter zum Stufenregler der Kammwalze und von hier zum Antrieb der letzteren. Wird der Fahrschalter eingerückt, so läuft der Antrieb der Kammwalze an und bringt sie in die durch den Fahrschalter festgelegte Stellung. Ist diese erreicht, so bringt eine in den Stufenregler der Walze eingebaute Auslösung den Antrieb augenblicklich zur Ruhe. Der Antrieb des Umformers zur Erzeugung des Steuerstromes treibt noch zwei Lüfter an zum Kühlen der Hauptmotoren. Bei Schäden am Umformer springt als Ersatz ein Speicher ein, der 4 Stunden lang den erforderlichen Strom liefern kann.

Der Antrieb des Luftverdichters für die Versorgung der Stromabnehmer und der Luftdruckbremse wird gleichfalls von der 110 Volt-Seite des Umformers aus versorgt, desgleichen der Sauger für die Luftsaugbremse. In der Abhandlung ist angedeutet, daß die Japanischen Eisenbahnen die Luftsaugbremsen aufgeben werden.

Na.

Bücherbesprechungen.

Elektrische Zugförderung von Dr. Ing. E. E. Seefehlner, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1924. 2. Auflage, 659 Seiten. Preis gebunden Mk. 48.—.

Mit dem vor zwei Jahren erstmals herausgegebenen Werk über elektrische Zugförderung ist Seefehlner einem dringenden Bedürfnis gerecht geworden; das Buch erfreute sich deshalb in allen Fachkreisen der lebhaftesten Zustimmung und war in der ersten Auflage rasch vergriffen. Die nunmehr erschienene zweite Auflage des Buches weicht grundsätzlich wenig von der ersten Ausgabe ab und berücksichtigt im allgemeinen die in der Zwischenzeit gemachten Erfahrungen und Verbesserungen.

Wie früher werden im ersten Teil des Buches die allgemeinen Fragen der elektrischen Zugförderung behandelt. Der zweite Teil bringt in übersichtlicher Weise kurzgedrängte Ausführungen über die Stromerzeugung.

Im dritten Teil werden ausführlich alle Gesichtspunkte dargelegt, die für die Theorie, die Berechnung und praktische Ausführung der Leitungsanlagen maßgebend sind. Hier wäre es wohl zweckmäßig gewesen, in dem Kapitel über Fernwirkungen die Einwirkungen auf Schwachstromleitungen etwas eingehender zu behandeln und auch die Maßnahmen (Grundsätze für die Verkabelung, Anlage von Saugtransformatoren usw.) kurz zu erörtern, die zur Behebung der auftretenden Störungen notwendig sind. Bei der weitgehenden Elektrisierung, die die Deutsche Reichsbahn gegenwärtig durchführt, wäre es ferner angezeigt gewesen, auf die deutsche Einheitsfahrleitung kurz einzugehen, die auf Grund der zahlreichen Erfahrungen mit den bisherigen Sonderbauarten der einzelnen Firmen durchgebildet worden ist. Die auf Seite 122 gebrachte Darstellung von Verbundkettenwerken hat, soweit die Deutsche Reichsbahn in Betracht kommt, nur mehr historische

Bedeutung. Auch eine kurze Darstellung der auf der Riksgränsbahn verwendeten Leitungsbauart wäre von Vorteil gewesen. In dem Kapitel Isolatoren wird der Hinweis auf die neuerdings zahlreich verwendeten Bauarten der Kugel- und Kegelkopfisolatoren vermifst. Auch eine weitere Behandlung der schwierigen Fragen der Streckentrenner wäre wünschenswert gewesen, desgleichen die Wiedergabe einiger Bilder von neueren Mastshaltern.

Im vierten Teil des Buches sind die Fahrzeuge übersichtlich und auf das eingehendste behandelt. Die Bewegungsgesetze erfahren eine gründliche und gegen die 1. Auflage erweiterte Darstellung. In diesem Zusammenhange möchte bezüglich des Bogenlaufes auf die grundlegende Arbeit von Dr. Uebelacker hingewiesen werden, die in dem einschlägigen Literaturverzeichnis wohl versehentlich nicht erwähnt ist, und die seinerzeit im Ergänzungsband zum „Organ“, Jahrgang 1903 veröffentlicht wurde. Unter dem Absatz Achsdruck ist der für Deutschland zulässige Achsdruck elektrischer Lokomotiven mit 16,0 t angegeben. Dieser wurde jetzt bei den neuen Lokomotiven auf 18,4 t erhöht; neuesten Entwürfen wird ein solcher von 20 t zugrunde gelegt. Bei der Behandlung der elektrischen Ausrüstung der Fahrzeuge verdient besondere Erwähnung der unter Mitwirkung von Dr. Winkler aufs sorgfältigste bearbeitete Abschnitt über Erwärmung und Abkühlung der Motoren.

Weiterhin möchte besonders die eingehende Behandlung der Getriebebauarten hervorgehoben werden. Hier ist das Gebiet der Schüttelschwingungen des massenreichen Parallelkurbelgetriebes gegenüber der 1. Auflage unter Verwendung einer Originalarbeit von Dr. Winkler völlig neu bearbeitet. Besondere Beachtung verdienen die neuen Vorschläge über die Verwendung von Bogenschubkurbelsystemen. Neu ist auch die Darstellung des Lentzgetriebes. Dagegen erscheinen die Gestellmotoren für Einzelantrieb nicht ausreichend behandelt. Hier hätte vor allem der bei den Schweizerischen Bundesbahnen in zahlreichen Ausführungen verwendete BBC (Buchli)-Antrieb, der auch bei der Deutschen Reichsbahn bei den schweren Schnellzuglokomotiven Verwendung fand, eingehender behandelt werden müssen; auch eine Darstellung des Westinghouse-Antriebs, der bei den Sécheron-Lokomotiven der SBB ausgeführt ist und der noch weitere Entwicklungsmöglichkeiten bietet, hätte Erwähnung verdient. Hingegen liegt der dargestellte Tschanzantrieb nur in einer Ausführung vor und wird dem Vernehmen nach nicht mehr gebaut. Auch eine eingehendere Behandlung der gefederten Riegel, bei denen neuerdings häufig Lamellen mit regelbarer Dämpfung verwendet werden, wäre zweckmäßig gewesen.

Bei den Kapiteln über Steuerungen, Stromabnehmer, Nebeneinrichtungen, wäre es wohl angezeigt gewesen die Einheitskonstruktionen der Deutschen Reichsbahn zu berühren, die sich aus den bisherigen Erfahrungen herausgebildet haben und der gegenwärtigen umfangreichen Beschaffung von rund 170 Lokomotiven zugrunde gelegt wurden. Das gleiche trifft zu auf die im Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen festgelegten Grundsätze über die elektrische Heizung und die für Deutschland, Österreich und die Schweiz einheitlich festgelegte Bauart der Heizkupplung. Nicht behandelt wurden ferner die wichtigen Fragen über Ölschalter und die Lokomotivtransformatoren, bei denen die Frage der Ölkühlung eine besondere Rolle spielt.

In den Bauregeln für Triebfahrzeuge gibt der Verfasser wertvolle Unterlagen für den Konstrukteur. Nahezu lückenlos erscheinen auch die wesentlich erweiterten Angaben über ausgeführte Lokomotiven aller Länder, die mit zahlreichen Abbildungen versehen sind und dem Fachmann als sehr schätzenswerter Behelf dienen. Soweit auf den Seiten 434—436 die in den Jahren 1922 und ff. neu bestellten Lokomotiven der Deutschen Reichsbahn aufgeführt sind, können die Zahlenangaben, die aus vorläufigen Veröffentlichungen der Entwurfszeit stammen, nicht als endgültig betrachtet werden und müssen durch die vor kurzem erfolgten Beschreibungen ergänzt werden.

In dem fünften Teil des Werkes endlich behandelt Ing. Peter Zürich in übersichtlicher Weise eingehend die Zahnbahnen, Stand- und Schwebeseilbahnen. Besonders zu erwähnen ist hier die von dem Verfasser neu aufgestellte Ableitung über das theoretische Längenprofil für unveränderliche Zugkraft, seine Bearbeitung der Gefällausrundungen, der Kettenlinien- und Planparabelausrundung.

In einem Anhang ist ein kurzer Abrifs der angewandten Nomographie beigegeben, die in dem Werke zahlreiche Anwendung findet, wodurch über mannigfache schwierige Fragen ein rascher Überblick gewonnen werden kann.

Nicht unerwähnt möchte auch das jedem Abschnitt des Buches vorausgesandte einschlägige umfangreiche Literaturverzeichnis bleiben, das für weiter Forschende nicht hoch genug geschätzt werden kann, und das dem gesamten Werke zum besonderen Vorteil gereicht.

Sind in vorstehendem auch verschiedene Wünsche nach dieser oder jener Ergänzung vorgebracht, so soll damit in keiner Weise dem Werte des Buches Abbruch getan werden. Das Buch ist, wie schon eingangs erwähnt, einzigartig auf seinem Gebiet und stellt den Stand der in so raschem Fortschreiten begriffenen elektr. Zuförderung in mustergültiger Weise dar. Allen auf diesem Gebiet tätigen Fachleuten wie den Studierenden kann es daher nur auf das wärmste empfohlen werden, zumal es auch in der beim Springer'schen Verlag bekannten gediegenen Ausstattung erscheint.

Otto Michel.

Für weitere Aufschlüsse sei aus der neueren Literatur über elektrische Zuförderung folgender kurze Hinweis gegeben:

Gleichmann, Denkschrift über die Einführung des elektrischen Betriebes auf den bayer. Staatsbahnen, eingehend besprochen in „Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen“ 1908, Heft 14.

Wachsmuth, Die Steuerungen der elektrischen Wechselstromlokomotiven der preussischen Staatsbahnen, Glasers Annalen 1916, Seite 947.

Gerstmayer, Die Wechselstrombahnmotoren, Verlag Oldenbourg, 1919.

Döry, Einphasenmotoren, Verlag Vieweg 1919.

Brown Boveri, Mitteilungen, Baden 1919, Heft 4, Die neuen SBB Wechselstromlokomotiven.

Cramer, Die Fahrdrableitung der Gotthardbahn E. T. Z. 1922, Seite 687.

Brown Boveri, Mitteilungen, Baden 1922, Heft 5, Einphasen-Schnellzuglokomotiven mit Einzelachs-antrieb der Bauart BBC.

Sachs, Die Elektrisierung der Gotthardstrecke Luzern—Chiasso der Schweizerischen Bundesbahnen E. T. Z.

Schweizer Techniker Zeitung, 1922, Nr. 48—51, Zur Elektrifikation der Schweizer Bundesbahnen. I. Triebfahrzeuge. II. Kraftwerke.

Gleichmann, Die elektrische Zuförderung auf den Deutschen Reichsbahnen, Organ 1922, Heft 9, 10, 11.

Wechmann, Mitteilungen aus dem elektrischen Fernzugbetrieb der Deutschen Reichsbahn E. T. Z. 1922, Heft 24, 25, 27.

Wichert, Die Leistungseigenschaften der Elektrolokomotiven, Zeitschrift des V. D. J. 1922, Seite 1080.

Kleinow, Elektrische Zuförderung, Glasers Annalen 1923, Nr. 1110.

Kleinow, Antrieb für elektrische Lokomotiven mittels Kuppelstangen, Organ 1923, Heft 4.

van Nes, Die ersten Gebirgs-Schnellzuglokomotiven der österr. Bundesbahnen, Zeitschrift „Elektrotechnik und Maschinenbau“ 1923, Seite 361.

Döry, Die Schüttlerscheinungen elektrischer Lokomotiven mit Kurbelantrieb. Verlag Vieweg 1923.

Dittes, Über den gegenwärtigen Stand der Vollbahnelektrisierung unter besonderer Berücksichtigung der Arbeiten für die Elektrisierung der österr. Bundesbahnen bis zum Beginn des Jahres 1924, Elektrotechnik und Maschinenbau, 1924, Maiheft.

Kleinow, Die elektrischen Lokomotiven, unter besonderer Berücksichtigung der Lokomotiven der Deutschen Reichsbahn, E. T. Z. 1924, Seite 547.

Winkler, Die Schüttelschwingungen elektrischer Lokomotiven mit Stangenantrieb, Elektrotechnik und Maschinenbau, 1924, Seite 241.

Wechmann, Die elektrische Zuförderung der Deutschen Reichsbahn, Rom-Verlag Mittelbach Charlottenburg 1924.

Michel.