

# Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen

Schriftleitung: Dr. Ing. H. Uebelacker, Nürnberg, unter Mitwirkung von Dr. Ing. A. E. Bloss, Dresden

83. Jahrgang

1. September 1928

Heft 17

## Elektrischer Bahnbetrieb.

### Betriebserfahrungen mit der elektrischen Zugförderung in Südbayern.

Von Reichsbahnoberrat Naderer, München.

Hierzu Tafel 14.

#### Inhalt:

I. Kraftquellen: a) Stromlieferung; b) Verlauf der Belastung, Frequenz und Spannung; c) Betriebsführung; d) Störungen. — II. Fernleitungen: a) Ausdehnung des Netzes; b) Bauform und Baustoffe; c) Störungen. — III. Unterwerke: a) Versorgungsbereich, Belastung und Ausnützung; b) Bauform; c) Störungen; d) Bedienung. — IV. Speise- und Fahrleitungen: 1. Speiseleitungen. 2. Fahrleitungen: a) Bauform; b) Speiseschaltung; c) Streckenschaltung; d) Fahrleitung in Schuppen; e) Störungen; f) Unterhaltung. — V. Fernmeldeleitungen. — VI. Triebfahrzeuge: a) Bauformen und Bestand; b) Unterhaltung; c) Störungen. — VII. Zugbeförderung; a) Fahrplan; b) Betriebsleistungen; c) Arbeitsverbrauch; d) Zugheizung; e) Störungen; f) Personal. — VIII. Wirtschaftliches; a) Anlagekosten; b) Betriebskosten und Vergleich mit dem Dampfbetrieb. — Schlußwort.

#### Einleitung.

Eine Zeitspanne von mehr als sieben Jahren ist verfllossen, seit mit den Bauarbeiten für Einrichtung der elektrischen Zugförderung in Südbayern begonnen wurde\*). Das elektrisch betriebene Netz ist in dieser Zeit auf eine Streckenlänge von rund 700 km angewachsen, so daß unter Abrechnung der schon

früher elektrisch betriebenen Linien im Durchschnitt in jedem Jahr rund 90 km Strecken auf die elektrische Betriebsform umgestellt wurden. Nach dem Stande vom 1. Juni 1928 werden die in nachfolgender Übersicht 1 aufgeführten Linien elektrisch betrieben:

#### Übersicht 1.

O. Z.	Elektrisch betriebene Strecke		Streckenlänge		Zeitpunkt der Umstellung	Bemerkungen
	von	bis	ingleisig	zweingleisig		
			in km			
1	München	Garmisch	61,0	39,5	23. II. 25	
2	Tutzing	Kochel	35,5	—	4. III. 25	1) Gleisdreieck bei Penzberg.
3	Weilheim	Peissenberg	3,2 <sup>1)</sup>	—	1. V. 25	
4	München	Gauting	—	18,9	16. III. 25	
5	München	Herrsching	12,5	25,8	5. VI. 25	
6	München	Regensburg	—	138,2	11. V. 27 <sup>2)</sup>	2) München—Landshut bereits seit 4. X. 25 umgestellt; Landshut—Neufahrn i. N. seit 3. X. 1926.
7	München	Kufstein	—	98,9	15. VII. 27	
8	München	Maisach/Nannhofen	—	31,0	17. X. 27	
9	München Ost	Ismaning	14,5	—	21. X. 27	
10	Rosenheim	Freilassing	—	81,7	1. IV. 28	
11	Güterverbindungs- bahnen bei München		27,7	10,3	{ 21. XII. 25 23. VIII. 26 2. XI. 27	
I. neu umgestellte Strecken:			163,4	444,3		
Zusammen:			27%	73%		
hierzu aus früherer Zeit:						
12	Salzburg—Reichen- hall—Berchtesgaden <sup>3)</sup>	—	33,7	6,7	31. VII. 16	3) Stromlieferung vom Saalachkraft- werk ab Mai 28 bis vor Freilassing.
13	Garmisch	Reichsgrenze bei Mittenwald <sup>4)</sup>	23,0	—	28. X. 12	4) Stromlieferung früher vom österr. Ruetzwerk, ab 1925 vom Unter- werk Murnau.
14	Garmisch	Reichsgrenze bei Griesen <sup>5)</sup>	14,8	—	29. V. 13	5) desgl.; bis Reutte auch f. d. österr. Teil vom Unterwerk Murnau.
15	Berchtesgaden	Reichsgrenze bei Schellenberg <sup>6)</sup>	12,4	—	15. I. 08	6) Gleichstrombahnen mit 1000 Volt Spannung; Stromlieferer: Reichs- bahnkraftwerk Gartenau.
16	Berchtesgaden	Königssee <sup>6)</sup>	4,3	—	29. V. 09	
II. bereits früher elektr. betr. Strecken:			88,2	6,7		
			93%	7%		
Summe I u. II:			251,6	451,0		
im ganzen:			36%	64%		

\*) Organ 1926, Heft 13, Seite 270 bis 287.

Von den 700 Kilometern elektrisch betriebener Strecken (= 8,2 v. H. des bayerischen Netzes der DRG) liegen 615,8 km oder 87,6 v. H. im RBD-Bezirk München, 80,6 „ „ 11,5 „ „ „ „ „ Regensburg, 6,2 „ „ 0,9 „ „ „ „ „ Augsburg.

Die elektrisch geförderten Verkehrsleistungen in den verflochtenen drei Jahren beliefen sich auf:

Bei Beurteilung der Werte für den spezifischen Arbeitsverbrauch ist zu beachten, daß in diesem der Arbeitsbedarf für die elektrische Zugheizung, ferner für die an das Fahrleitungsnetz angeschlossenen Licht- und Kraftanlagen, welcher z. B. in München Hbf. sehr erheblich sich auswirkt, mit enthalten ist. Die spezifischen Verbrauchszahlen für die einzelnen Zugkategorien werden später auf Grund des Ergebnisses von

## Übersicht 2.

Kraftwerk	Saalachkraftwerk		Gartenau		Großwasserkräfte	
	Salzburg—Reichenhall—Berchtesgaden		Gleichstrombahnen Schellenberg—Berchtesgaden—Königssee		Neu umgestellte Strecken einschl. Mittenwaldbahn	
Strecke	Lokkm	tkm einschl. Zugkraft	Triebwagen km	tkm einschl. Zugkraft	Lokkm und Triebwagenkm	tkm einschl. Zugkraft
1925	0,369	68,312	0,110	4,785	2,334	733,129
1926	0,461	98,681	0,124	5,181	4,786	1548,918
1927	0,499	129,404	0,143	7,080	7,610	3316,566

Der nunmehr seit drei Jahren, z. T. auf Linien von internationaler Verkehrsbedeutung durchgeführte elektrische Betrieb läßt es gerechtfertigt erscheinen, über die mit den neuen Anlagen für den elektrischen Zugbetrieb gemachten Erfahrungen hinsichtlich deren Ausnützung, Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit zu berichten.

## I. Kraftquellen.

## a) Stromlieferung.

Die aus den einzelnen Kraftwerken im Jahr bezogenen Arbeitsmengen sind nachstehender Übersicht 3 zu entnehmen:

## Übersicht 3.

O. Z.	Kraftwerk	Stromabgabe		
		1925	1926	1927
		in Millionen Kilowattstunden		
1	Reichsbahn-Saalachkraftwerk . . .	2,567	3,412	4,081
2	Reichsbahn-Kraftwerk Gartenau .	0,295	0,315	0,370
3	Walchenseewerk <sup>1)</sup> . . . . .	20,577	21,283	27,863
4	Mittlere Isar <sup>1)</sup> . . . . .	4,309	25,341	51,050
5	Aushilfsweise von Österreich (Achenseewerk) bezogen . . . . .	—	—	1,832
	Zusammen . . .	27,748	50,351	85,196

<sup>1)</sup> Gemessen an den 110 kV-Ausführungsklemmen der Kraftwerke.

Wird der Arbeitsverbrauch nach Übersicht 3 auf die Förderleistungen nach Übersicht 2 bezogen, so ergibt sich ein spezifischer Arbeitsverbrauch von:

Übersicht 4.  
Stromlieferung durch:

Kraftwerk	Saalachkraftwerk		Gartenau		Großwasserkräfte	
	Spezifischer Arbeitsverbrauch					
Jahr	kWh/Lokkm	Wh/tkm	kWh/Triebwkm	Wh/tkm	kWh/Lokkm	Wh/tkm
1925	6,95	37,6	2,70	61,5	10,7	34,0
1926	7,4	34,6	2,55	60,9	9,7	30,1
1927	8,2	31,5	2,60	52,3	10,6	24,4

Meßversuchen erörtert. Die Übersicht 4 zeigt bereits, daß mit zunehmendem kWh-Verbrauch für den Lokkm (Zugkm) der spezifische Arbeitsverbrauch für den tkm sinkt. Da die aus den Jahresverbrauchsziffern ermittelten Sätze den Verkehr auf den während der einzelnen Jahre neu umgestellten Strecken nur teilweise erfassen, liegen die wirklichen Verbrauchssätze tatsächlich niedriger als die errechneten Durchschnittswerte für das Jahr. Die Verbrauchswerte für die mit Steigungen von 40‰ behaftete Linie Salzburg—Reichenhall—Berchtesgaden und für die von Berchtesgaden ausgehenden straßenbahnähnlichen Kleinbahnen mit ausschließlichem Triebwagenverkehr sind zum Vergleiche mit einem großen Fernbahnnetz in Übersicht 4 beigelegt. Bei dem letzteren ist die starke Abnahme des spezifischen Verbrauches vom Jahre 1926 zum Jahre 1927 in der schrittweise vor sich gegangenen Umstellung von stärker mit Güterverkehr belegten Strecken (München—Kufstein, München—Regensburg, siehe Übersicht 1) begründet.

Die Verteilung des Strombezuges aus den Großwasserkraften auf die einzelnen Monate ist aus Abb. 1 zu entnehmen. Gut ersichtlich ist aus diesem Schaubild auch die Ausnützung des Walchensees als Jahresspeicher: während in den Sommermonaten entsprechend der größeren Arbeitsdarbietung des Flusses die Kraftstufen der Mittleren Isar zum überwiegenden Teil die Bahnstromlieferung übernehmen, setzt im Herbst, bei trockenem Sommer bereits früher, die Stromlieferung aus dem Walchenseewerk in größerem Umfange ein; in den Wintermonaten fällt wegen der Zurückhaltung der Niederschläge durch Frost und Schnee dem Walchenseewerk die Erfüllung seiner Aufgabe als Speicherkraft auch für den Bahnstromteil in erheblichem Umfange zu. Noch deutlicher als aus dem Schaubild ist die wasserwirtschaftliche Ausnützung der beiden Großwasserkraften hinsichtlich ihres Bahnstromteiles aus der nachfolgenden Übersicht 5 zu erkennen, in welcher

## Übersicht 5.

Monat	Walchenseewerk										Mittlere Isar									
	MWh <sup>1)</sup>		A		MW <sub>Spitze</sub>		h		B		MWh <sup>1)</sup>		A		MW <sub>Spitze</sub>		h		B	
	1926	1927	1926	1927	1926	1927	1926	1927	1926	1927	1926	1927	1926	1927	1926	1927	1926	1927	1926	1927
Januar . . . .	2554	1797	0,101	0,071	16	19,5	160	92	0,215	0,124	1310	2756	0,068	0,142	15,0	20,5	87	134	0,117	0,181
Februar . . . .	768	2116	0,034	0,093	15	19,5	31	109	0,067	0,161	2457	3142	0,141	0,183	13,5	18,5	182	170	0,271	0,253
März . . . . .	907	912	0,036	0,036	14	20,5	65	44	0,087	0,060	2847	3499	0,147	0,181	15,0	19,5	190	174	0,255	0,241
April . . . . .	333	156	0,014	0,006	15	21,5	22	7	0,030	0,010	3108	4846	0,166	0,259	15,0	21,5	207	225	0,288	0,313
Mai . . . . .	1099	427	0,043	0,017	16	20,5	69	21	0,092	0,028	2657	5559	0,137	0,282	15,0	22,5	177	247	0,238	0,332
Juni . . . . .	1113	681	0,045	0,028	17	20	65	34	0,091	0,047	2893	6638	0,155	0,355	19,5	24,5	148	271	0,206	0,376
Juli . . . . .	1277	2350	0,050	0,093	18,9	32,6	68	72	0,091	0,097	3061	5952	0,158	0,308	16,0	23,8	191	250	0,257	0,336
August . . . .	3457	3019	0,137	0,119	19,8	29,5	175	102	0,235	0,138	876	5424	0,047	0,280	15,5	25,0	37	217	0,076	0,292
September . .	1980	1207	0,081	0,049	17,6	29,5	113	41	0,156	0,057	1993	6285	0,106	0,336	18,5	24,5	108	257	0,150	0,356
Oktober . . . .	2506	4380	0,099	0,173	18,5	30,5	135	144	0,182	0,193	1618	3733	0,084	0,193	16,2	24,6	100	152	0,134	0,204
November . . .	2827	4990	0,115	0,204	19,5	30,8	145	162	0,201	0,225	1329	3186	0,071	0,170	16,0	25,0	83	127	0,115	0,177
Dezember . . .	2981	6387	0,118	0,252	21,0	30	142	213	0,191	0,286	1712	2032	0,089	0,105	16,6	19,5	103	104	0,139	0,140
Im Jahr . . . .	21802	28422	0,073	0,095	21,0	32,6	1101	872	0,119	0,100	25861	53052	0,114	0,233	19,5	25,0	1326	2122	0,151	0,242

<sup>1)</sup> Gemessen unterspannungsseitig an den Maschinenzählern (6,5 kV).

für die einzelnen Monate der Jahre 1926 und 1927 und auch für die beiden Jahre im ganzen Arbeitsverbrauch, Ausnutzungsfaktor, Höchstbelastung, Benützungsfaktor und Belastungsfaktor zusammengestellt sind. Hierbei soll verstanden sein unter: Ausnutzungsfaktor (A) das Verhältnis zwischen Monats- bzw. Jahresverbrauch in MWh und dem Produkt aus der installierten Leistung\*) mal Monats- bzw. Jahresstunden, also:

$$A_{\text{Jahr}} = \frac{\text{MWh}}{\text{MW}_{\text{inst}} \times 8760};$$

Benützungsdauer (h) das Verhältnis zwischen Monats- bzw. Jahresverbrauch und der monatlichen bzw. jährlichen Höchstleistung (Spitze), also:

$$h = \frac{\text{MWh}}{\text{MW}_{\text{Spitze}}};$$

Belastungsfaktor (B) das Verhältnis zwischen Monats- bzw. Jahresverbrauch und der monatlichen bzw. jährlichen Höchstleistung (Spitze  $\times$  Monats- bzw. Jahresstunden), also:

$$B_{\text{Jahr}} = \frac{\text{MWh}}{\text{MW}_{\text{Spitze}} \times 8760}.$$

Nach der Zusammenstellung in Übersicht 5 ist der Ausnutzungsfaktor des Walchenseewerkes vom Jahre 1926 (0,073) auf 0,095 im Jahre 1927, also um rund 30% gestiegen. Da etwa  $\frac{1}{3}$  der Gesamtzeugung des Walchenseewerkes (rund 180 Mill. kWh/Jahr) für Bahnstromversorgung zur Verfügung steht, ist im günstigsten Falle ein Ausnutzungsfaktor von

$$A_{\text{Jahr}} = \frac{60 \times 10^3}{34 \times 8760} = \text{rund } 0,2$$

zu erreichen; da aber 1927 ein Jahresausnutzungsfaktor von 0,095 erreicht wurde, so folgt daraus, daß die Ausnutzung des Walchenseewerkes für Bahnstromzwecke noch auf ungefähr das Doppelte gesteigert werden kann. Diese Ausnutzung zu erreichen, ist ein Gebot der Wirtschaftlichkeit, da der Bahnstromteil dieses Werkes bereits voll ausgebaut ist. Auch die 1927 erzielte Jahresbenützungsdauer, welche auf die im Monat Juli erreichte größte Jahresspitze von 32,6 MW bezogen werden muß und nur 872 Stunden ergibt, mahnt dringend zu einer besseren Verwendung der festgelegten Anlagewerte; denn bei Inanspruchnahme der gesamten eingebauten Leistung

\*) Walchenseewerk: 34 000 kW, Mittlere Isar (I. Ausbau): 36 000 kW.

von 34 MW und 60 000 MWh Jahresabgabe ist eine Benützungsdauer von

$$h = \frac{60 \times 10^3}{34} = \text{rund } 1760 \text{ Stunden,}$$

also das Doppelte wie 1927 zu erreichen.

Etwas günstiger liegen die Verhältnisse bei der Mittleren Isar. Dort stieg der Ausnutzungsfaktor von 0,114 im Jahre 1926 auf den doppelten Wert, nämlich 0,233 im Jahre 1927. Doch ist auch hierbei zu beachten, daß im Jahre 1929, dem letzten Jahre das dem Ausbau I dieses Werkes nach dem Stromlieferungsvertrag zuzuzählen ist, ein Ausnutzungsfaktor von

$$A_{1929} = \frac{80 \times 10^3}{26 \times 8760} = 0,35,$$

im Jahre 1932 dagegen, in welchem die Mittlere Isar voll ausgebaut sein wird, ein solcher von

$$A_{1932} = \frac{190 \times 10^3}{47,7 \times 8760} = 0,445$$

erreicht werden soll.

Für beide Großwasserkraft zusammen ergibt sich ein tatsächlicher Ausnutzungsfaktor von:

$$A_{1926} = \frac{47633}{(34 + 26) \times 8760} = 0,091,$$

$$A_{1927} = \frac{81474}{(34 + 26) \times 8760} = 0,155,$$

gegenüber einem Soll-Ausnutzungsfaktor von

$$A_{1929}^{\text{Soll}} = \frac{140 \times 10^3}{(34 + 26) \times 8760} = 0,266,$$

welcher bereits im Jahre 1929, und einem solchen von

$$A_{1932}^{\text{Soll}} = \frac{250 \times 10^3}{(34 + 48,7) \times 8760} = 0,345,$$

welcher im Jahre 1932 entsprechend der in beiden Werken zu dieser Zeit eingebauten Leistung\*) und nach dem angemeldeten Bedarfe erreicht werden sollte.

Die monatlichen Schwankungen des Ausnutzungsfaktors nach Übersicht 5 zeigen bereits an, in welchem Maße der

\*) In der Kraftstufe Eitting ist der zweite Bahnstromerzeuger mit 8700 kW Leistung im Einbau begriffen. Die vierte bereits im Bau befindliche Stufe Pfrombach erhält einen Erzeuger von 14000 kW.

Walchensee als Speicher herangezogen wurde; denn dieser Faktor erreichte im November 1927 bereits den oben erwähnten Sollausnutzungsfaktor von 0,2, im Dezember 1927 übersteigt er diesen Jahresdurchschnittswert sogar um 26 v. H.

Für sich allein betrachtet können jedoch die Zahlenwerte in Übersicht 5 kein genaues Bild über die Wasserwirtschaft der Großwasserkraften geben, weil diese Wirtschaft ja noch vom Drehstromteil der Kräfte wesentlich beeinflußt wird. Einige auffallende Zahlen der Zusammenstellung, so z. B. die geringe Höhe der Benutzungsstunden des Bahnstromteiles der Mittleren Isar im August 1926 hängen zudem mit der Wasserwirtschaft nicht unmittelbar zusammen, sondern mit dem Umstand, daß zu diesem Zeitpunkt die Kanalhaltungen der Mittleren Isar nachgesehen und z. T. ausgebessert werden mußten; in dieser Zeit war es nötig, das Walchenseewerk voll einzusetzen, was die hohe Benutzungsstundenzahl des letzteren in diesem Monat erklärt.

Auch müssen die Zahlenwerte der Übersicht 5 ebenso wie die Schaulinien in Textabb. 1 im Zusammenhang mit den Umstellungszeiten der einzelnen Streckenabschnitte betrachtet werden, die in Übersicht 1 angegeben sind.

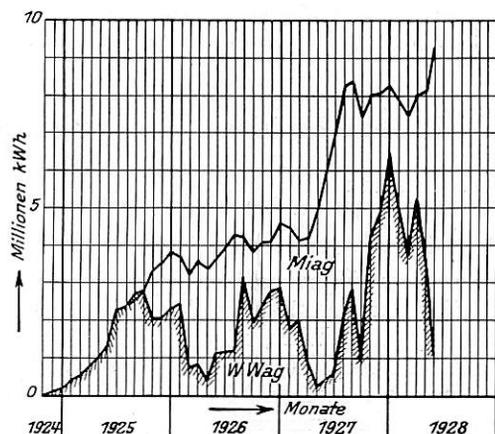


Abb. 1. Aufteilung der monatlichen Bahnstromlieferung auf Walchenseewerk und Mittlere Isar 1924 bis 1928.

Die vom Einphasennetz benötigte Blindarbeit wurde im allgemeinen auf beide Großwasserkraften gleichmäßig entsprechend der abgegebenen Wirkleistung verteilt. Da nur das Walchenseewerk mit Blind-kWh-Zählern ausgerüstet ist, kann nur für dieses der durchschnittliche Leistungsfaktor in Übersicht 6 angegeben werden.

Übersicht 6.

Jahr	Millionen		$\cos \varphi$	Bemerkung
	Wirk-kWh*	Blind-kWh*		
1926	21,802	20,280	0,732	*) unterspannungsseitig gemessen (Maschinen-spannung)
1927	28,422	25,548	0,744	

#### b) Verlauf der Belastung, Frequenz und Spannung.

Da Summen-Leistungsschreiber, welche die Einphasen-Belastung der einzelnen Kraftwerke oder des ganzen Netzes nachweisen, weder in den Kraftwerken noch bei der Zentralverteilungsstelle in Karlsfeld bei München vorhanden sind, kann der Belastungsverlauf nur durch die Aufzeichnungen der Leistungsschreiber der einzelnen Bahnstrom-Erzeuger überblickt werden. Auf Abb. 1 und 2, Taf. 14 ist der Belastungsverlauf der Bahnstrommaschinen (Wirk- und Blindleistung) am Freitag, den 15. Juli 1927 (Sommerfahrplan) und am Freitag, den 23. September 1927 (Ende des Sommerverkehrs) für die Zeit von 5 bis 23 Uhr wiedergegeben. Die

Schaulinien des erstgenannten Tages veranschaulichen das Zusammenarbeiten von zwei Kraftstufen der Mittleren Isar mit dem Walchenseewerk, während am 23. September 1927 das letztere abgeschaltet war und die gesamte Bahnstrombelastung von drei Erzeugern der Mittleren Isar übernommen wurde. Aus beiden Gruppen von Schaulinien ist zunächst der im allgemeinen sägezahnförmige Verlauf der Belastungslinien erkennbar, wie er den Kraftwerken für Bahnbetrieb infolge der Einflüsse des Fahrplans und der Neigungsverhältnisse der Strecken eigentümlich ist. Die Schaulinien für den 15. Juli 1927 zeigen von 7 Uhr ab das Walchenseekraftwerk als reines Spitzenkraftwerk; deutlich ersichtlich ist die zeitweise volle Ausnutzung je eines Bahnstromerzeugers in Aufkirchen (E IV) und Eitting (E V) mit je 8000 kW Wirklast und die Aufteilung der Grundlast auf die Niederdruckkräfte und der Spitzenlast auf das Speicherwerk. Da letzteres (Maschine E VII) durch die reine Spitzendeckung nicht genügend ausgelastet war, konnte von ihm mit Leichtigkeit ein erheblicher Teil der vom Netz geforderten Blindlast übernommen werden; auch die Schwankungen der letzteren wurden, wie der nur durch die Kurzschlüsse im Fahrleitungsnetz mit kurzzeitigen Unstetigkeiten behaftete, sonst aber ruhige Verlauf der Blindkilowattlinien der Maschinen (E IV und E V) der Mittleren Isar zeigt, vom Hochdruckwerk übernommen. Die Belastungslinien vom 23. September 1927, an welchem Tage das Walchenseewerk abgeschaltet war, sind gekennzeichnet durch das Bestreben, der Kraftstufe Eitting (Maschine E V) die Grundlast, den beiden Maschinen (E III und E IV) der Stufe Aufkirchen gemeinsam die Spitzendeckung zuzuteilen. Der nahezu gleichsinnige Verlauf der Schaulinien für die zuletzt genannten Stromerzeuger bestätigt, daß dieses Ziel verhältnismäßig gut erreicht wurde.

Die Auswertung der Schaulinien vom 15. Juli sowie 23. September 1927 und die Gegenüberstellung des Ergebnisses zeigt deutlich die große, auch innerhalb eines Fahrplanabschnittes am gleichen Wochentage auftretende Veränderlichkeit der Schwankungsziffer, das ist das Verhältnis der Durchschnittsleistung zur Höchstleistung. Der Arbeitsverbrauch am Freitag, den 15. Juli 1927, von 0 bis 24 Uhr betrug nämlich 272100 kWh, von 6 bis 24 Uhr 238500 kWh, also in der Zeit von 0 bis 6 Uhr 33600 kWh; am Freitag, den 23. September 1927, also nach Umfluß der Reisezeit, betrug der Arbeitsverbrauch von 0 bis 24 Uhr 216700 kWh, von 6 bis 24 Uhr 183400 kWh, also von 0 bis 6 Uhr 33300 kWh. Während also der Verbrauch zwischen 0 bis 6 Uhr an beiden Tagen (je ein Freitag) fast gar nicht voneinander abwich, war er in der übrigen Zeit, nämlich von 6 bis 24 Uhr am 15. Juli um 55100 kWh, d. i. rund 30 v. H. höher als am 23. September. Die Schwankungsziffer oder deren umgekehrtes Verhältnis, der Unstetigkeitswert, sollte daher zur einwandfreien Beurteilung der Belastungsverhältnisse nicht nur auf 24 Stunden, sondern auch auf einen Zeitraum (6 bis 24) bezogen ermittelt werden, innerhalb dessen an verschiedenen Tagen und größeren Zeitabschnitten in Wirklichkeit die Belastung sich am stärksten ändert. So beträgt der Unterschied im Unstetigkeitswert bezogen auf 18 Stunden und jenem bezogen auf 24 Stunden am 15. Juli + 16%, am 23. September + 13,6%. In welchem Umfang sich der Unstetigkeitswert im gleichen Fahrplanabschnitt ändern kann, zeigt die Gegenüberstellung dieser Zahlen an den beiden herausgegriffenen Tagen: er beträgt zur Zeit des großen Reiseverkehrs (15. Juli) 1,76 gegenüber 2,67 am 23. September, ist also am 15. Juli um rund 50 v. H. kleiner, bezogen auf 24 Stunden, und um 55 v. H. kleiner, bezogen auf 18 Stunden (1,52:2,35). Hierbei darf jedoch nicht unerwähnt bleiben, daß die Höchstlast am 15. Juli 20000 kW, am 23. September aber 24000 kW, also um 20 v. H. größer als am erstgenannten Tage war.

Die Belastungsschaulinien der einzelnen Maschinen der Kraftwerke, die zudem mit ungleichem Papierverschub der Leistungsschreiber aufgenommen werden, sind jedoch zur Beurteilung des Belastungsverlaufes innerhalb großer Zeitabstände zu unübersichtlich. Um einen Überblick über die Leistungsverhältnisse des ganzen Netzes zu erhalten, ist der Einbau eines Summen-Leistungsschreibers bei der Schaltbefehlsstelle Pasing ins Auge gefaßt, welcher die jeweilige gleichzeitige Belastung sämtlicher Unterwerke in kurzen Zeitabständen zusammenzählt und aufschreibt. Bis zur Aufstellung dieses Summenzählers werden zur Gewinnung einer angenäherten Übersicht über die Gesamtbelastung stündlich in sämtlichen Unterwerken die auf der 15 kV-Seite verbrauchten kWh abgelesen; damit wird die Belastung eines jeden Unterwerkes im Stundenmittel erhalten; die auf diese Weise gewonnenen Belastungslinien der Unterwerke werden aufeinander gesetzt und ergeben die Gesamtbelastungslinie des Netzes, bezogen auf die 15 kV-Seite der Unterwerke. Die einzelnen Tage als Schablonen herausgeschnitten, werden dann zu einem Belastungsgebirge zusammengesetzt. Die Textabb. 2 veranschaulicht diese räumliche Darstellung für die Zeit vom

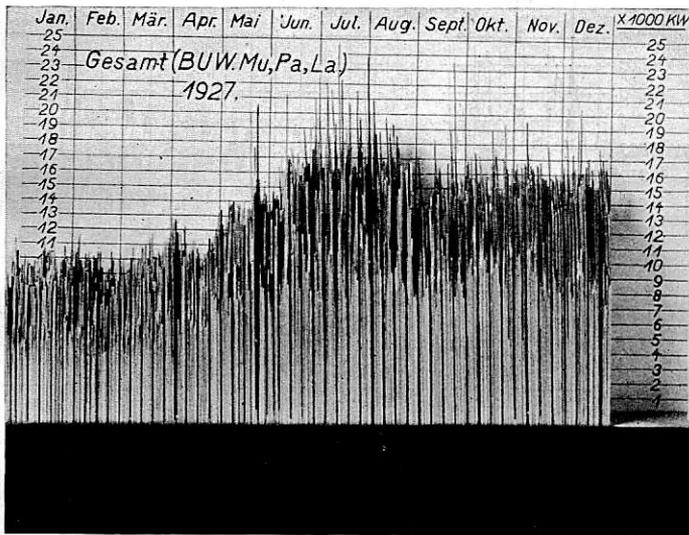


Abb. 2. Gesamtbelastung des Einphasennetzes im Stundenmittel 1927.

Januar bis Dezember 1927; die schwarzen Linien und Flächen in den Abbildungen bedeuten Sonn- und Feiertage. Obwohl die ermittelten Werte sich auf 1 Stunde beziehen, gibt sowohl die Seitenansicht des Gebirges (Jahresverlauf) als auch die Sicht senkrecht dazu (Tagesverbrauch) die Eigenart der Gesamtbelastungslinie hinreichend genau wieder; allerdings muß man sich vergegenwärtigen, daß auch innerhalb des Stundenmittels Spitzenbelastungen von manchmal nicht ungewöhnlichem Umfange auftreten können. Der Unstetigkeitswert innerhalb einer Stunde ist jedoch nicht so bedeutend, wie jener in 18 oder 24 Stunden. Deshalb ist auch aus Textabb. 2 ganz deutlich der Einfluß des Sommerverkehrs auf die Höhe der Belastung erkennbar; obwohl durch die im Oktober 1927 erfolgte Umstellung der mit Güterverkehr stark belasteten Linie München—Nannhofen (Übersicht 1) die Durchschnittsbelastung gehoben wurde, ist die durch den großen Reiseverkehr in den Sommermonaten bewirkte Anschwellung der Belastung stark ausgeprägt (Textabb. 2). Die Draufsicht auf den Tagesverlauf des Belastungsgebirges (Textabb. 3) zeigt auffallend eine den beiden Jahren 1926 und 1927 in gleicher Weise eigentümliche Form des täglichen Belastungsverlaufes; das starke Zurückgehen der Last zwischen

0 und 6 Uhr wird im Gebirge durch ein durch alle zwölf Monate des Jahres hindurchgehendes Tal angezeigt. Schon vor 6 Uhr beginnt ein starkes Anwachsen der Belastung, eine durch den Morgenverkehr bedingte große Spitze ist das ganze Jahr hindurch vorhanden. Auf diese Spitze folgt ein Absinken der Belastung bis 12 Uhr Mittag; dann folgt eine Spitze von geringer Höhe etwa um 14 Uhr, welche wieder einer wenn auch nicht bedeutenden Senke weicht, bis nach 16 Uhr ein nahezu stetiges Anwachsen der Belastung zu einer dritten dem Gebirge sein Gepräge gebenden Spitze oder Doppelspitze erfolgt, die um 18 Uhr oder auch etwas später eintritt. Nach 20 Uhr ungefähr beginnt die Senke, durch kurzzeitige Wellen unterbrochen, zu einem Tal, dessen tiefste Stelle von 3 bis 4 Uhr nachts erreicht wird.

Der so gleichmäßig wiederkehrende Verlauf der Belastungslinie im Stundenmittel, der dem bisher auf die elektrische Betriebsform umgestellten Netz eigentümlich ist und seine Ursache in der Fahrplanbildung für die von München

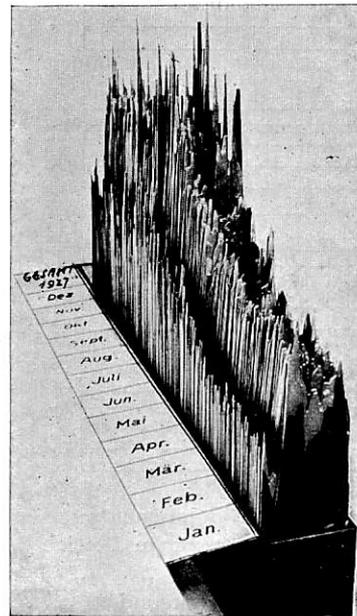


Abb. 3. Belastungsgebirge des Einphasennetzes im Stundenmittel 1927.

ausgehenden Strecken hat, ist noch deutlicher sichtbar aus den auf das Stundenmittel bezogenen Tages-Belastungslinien, die für je eine Woche aneinander gereiht, auf Abb. 3 bis 7, Taf. 14 wiedergegeben sind. Auf diesen Linien ist auch die Änderung des Belastungsverlaufes infolge der Ausdehnung des elektrischen Betriebes und der Unterschied dieses Verlaufes zwischen den Werktagen und Feiertagen gut erkennbar. Auch an letzteren bleibt das Schaubild mit den drei Spitzen im allgemeinen erhalten; die Mittagsspitze (14 Uhr) ist an Feiertagen gewöhnlich (1927) niedriger als an Werktagen; die übrigen Spitzen sind steiler wegen des teilweisen Ausfallens der Güterzüge.

Der Verlauf der Schaulinien in Abb. 3 bis 7, Taf. 14 zeigt eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Belastungsbild einer Drehstrom-Großversorgung, dessen Schwankungen im wesentlichen mit der Arbeitszeit der Industrie verknüpft sind. Mit der Umstellung weiterer Strecken, besonders solcher mit starkem Güterverkehr zur Nachtzeit, wie ihn die Linien München—Stuttgart und München—Ingolstadt—Nürnberg aufweisen, wird der Lastabfall zwischen 0 und 6 Uhr z. T. ausgeglichen und damit im Durchschnitt ein Stetigkeitswert erreicht werden, der sicher unter 2 liegt. Dies ermöglicht dann eine vorzügliche Ausnutzung der Mitteldruckwasserkraft der Mittleren Isar, die nach Vollendung des Ausbaus II neben dem Speicherinhalt der Kanalhaltungen mit einem ansehnlichen Speicherbecken ausgestattet, selbst zu Zeiten geringer Wasserführung der Isar, in hervorragendem Maße auch zur Spitzendeckung mit herangezogen werden können.

Die auftretenden Frequenzschwankungen, die ja im wesentlichen von der Bauart und Empfindlichkeit der Turbinenregler abhängig sind, liegen im allgemeinen innerhalb der gewährleisteten Grenzen, sind jedoch im Einphasennetz erheblich größer als im Drehstromnetz. Der Grund hierfür

liegt in den plötzlichen Belastungsstößen des Bahnbetriebes und zwar ist die Schwankung um so bedeutender, je geringer die Grundlast ist, auf welche sich die Belastungsspitzen aufsetzen. Arbeitet z. B. die Mittlere Isar mit voll ausgelasteten Maschinen und dient das Walchenseewerk nur zur Spitzendeckung, so fällt die Frequenz stärker ab, als in dem Falle, in dem noch die Walchenseewerk-Maschinen einen Teil der Grundlast mit übernehmen. Im allgemeinen sind die Schwankungen der Frequenz zur Nachtzeit mäßiger als am Tage, weil die Höhe der plötzlichen Belastungsstöße auf die Maschinen nachts nicht so bedeutend sind als tagsüber; ferner wurde bisher festgestellt, daß die Schwankungen geringer sind, wenn die Stufen der Mittleren Isar allein die Gesamtbelastung übernehmen, als bei Übernahme dieser Last durch das Hochdruckwerk. Textabb. 4 veranschaulicht einen ruhigen und einen unruhigen Verlauf der Frequenz, aufgenommen an den Sammelschienen des Unterwerkes Pasing mit einem Frequenzmesser

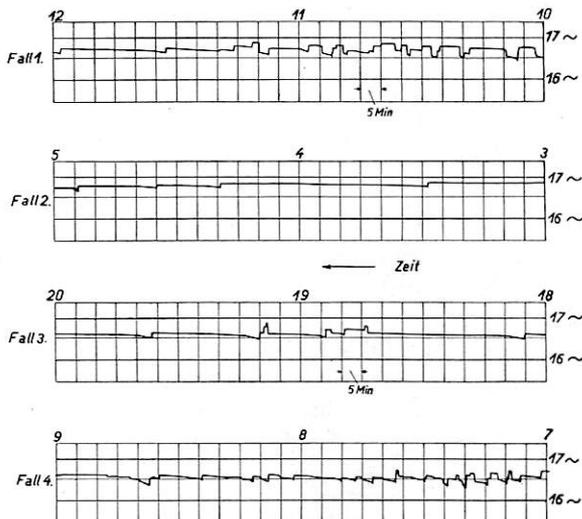


Abb. 4. Frequenzverlauf im Einphasennetz:

- Fall 1: 3 Maschinen im Walchenseewerk im Betrieb  
 „ 2: 2 „ bei der Mittl. Isar „ „  
 „ 3: 2 „ im Walchenseewerk und „ „  
 „ 1 „ bei der Mittl. Isar im Betrieb  
 „ 4: 2 „ im Walchenseewerk „ „

von verhältnismäßig großer Trägheit, so daß von ihm nur die größeren Abweichungen zur Darstellung gebracht sind. Es kann erwartet werden, daß der zackenartige Verlauf mit teilweiser Rechteckform durch feinere gegenseitige Abstimmung der Turbinenregler und durch zunehmende Auslastung der Maschinen sich noch vergleichmäßigen wird. Auf die Zuförderung selbst sind die bisherigen Frequenzschwankungen ohne jeden Einfluß, denn der Wechselstrom-Bahnmotor ist ja gegen solche Schwankungen sehr unempfindlich. Von wesentlicher Bedeutung wird der Frequenzverlauf allerdings, wenn der Bahnstrom durch Umformer in Drehstrom umgewandelt werden soll, die ihrerseits mit einem großen Drehstromnetz parallel laufen. Große Frequenzabfälle auf der Einphasenseite können dann Pendelungen auslösen, die zu ernststen Schwierigkeiten im Parallelbetriebe führen. Solche Erscheinungen zeigten sich bei dem Wechselstrom-Drehstrom-Umformer von 1600 kW Leistung, der im Unterwerk Pasing aufgestellt ist und im Parallelarbeiten mit dem städtischen Drehstromnetz in München oder dem Bahnkraftwerk München die Bahnhofs- und Werkstättenanlagen in München mit Licht und Kraft versorgt (siehe unter Abschnitt III).

Wichtiger als der Verlauf der Frequenz sind für den elektrischen Zugbetrieb die Spannungsschwankungen. In

erster Linie sind diese abhängig von der Wirksamkeit der in den Kraftwerken für die einzelnen Stromerzeuger vorhandenen Regler, die imstande sein müssen, trotz der hohen Erregerzeitkonstanten der verhältnismäßig langsam laufenden Maschinen die letzteren durch raschen Wechsel der Stärke und des Sinnes der Erregung zu beherrschen. Beide Kraftwerkgruppen haben nun Eilregler verschiedener Bauart: die Einphasenmaschinen der Mittleren Isar werden beeinflußt von Eilreglern Bauart Thoma, jene des Walchenseewerkes von solchen Bauart SSW. Obwohl die Eigenart des Einschaltvorganges bei beiden Bauarten nicht unwesentlich voneinander abweicht, ist der Spannungsverlauf hierdurch nicht beeinflußt; auch eine gegenseitige Rückwirkung der einzelnen Maschinen unter sich tritt nicht ein, da die letzteren unterspannungsseitig auf keine Sammelschiene arbeiten.

In zweiter Linie ist der Spannungsverlauf an den 15 kV-Sammelschienen der Unterwerke, auf die es im praktischen Betrieb allein ankommt, abhängig von der Verteilung der Wirk- und Blindlast auf die Kraftquellen und von der Streureaktanz der Kraft- und Unterwerkstransformatoren. Da letztere durch die Größe der für diese gewählten Kurzschluß-

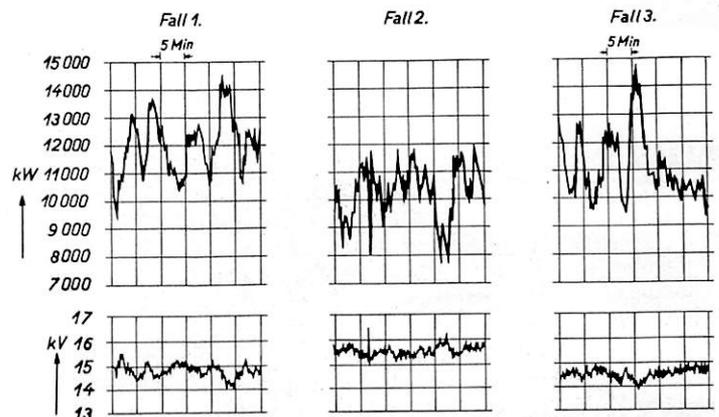


Abb. 5. Spannungsverlauf an der 15 kV Sammelschiene des Unterwerkes Pasing.

spannung festgelegt ist, bleibt im Zusammenhang mit dem möglichen Regelbereich der Stromerzeuger die Höhe der abgegebenen Blindleistung von maßgebendem Einfluß auf den Spannungsverlauf. Letzteres veranschaulicht die Textabb. 5, in welcher für verschiedene Betriebsfälle der praktische Verlauf der Spannung an der 15 kV-Sammelschiene des Unterwerkes Pasing nach den Angaben der Selbstschreiber wiedergegeben ist. Bei Beurteilung dieser Schaulinien ist zunächst zu beachten, daß die Maschinen des Walchensees für einen  $\cos \varphi$  von 0,75 und eine obere Spannungsgrenze von 6,9 kV, die zugehörigen Transformatoren für ein Übersetzungsverhältnis von  $6,9:122,5 = 1:17,7$ , die Stromerzeuger der Mittleren Isar für einen  $\cos \varphi$  von 0,7 und eine obere Spannungsgrenze von 6,6 kV, die zugehörigen Transformatoren für ein Übersetzungsverhältnis von  $6,6:123,5 = 1:18,7$  ausgelegt worden sind. Die Streuspannung sämtlicher Transformatoren ist verhältnismäßig hoch, nämlich rund 9%.

Im Falle 1 (Regelbetrieb), in dem Maschine E VI des Walchenseewerkes parallel arbeitet mit den Stromerzeugern E III und E IV der Stufe Aufkirchen und die Blindleistung auf jede Maschine entsprechend ihrer Wirkleistung verteilt ist, sinkt die Sammelschienenspannung in Pasing auf 14 kV, wobei die Maschinenspannung in Kochel 6,9, in Aufkirchen 6,2 kV beträgt. Wird fast die gesamte Blindleistung des Netzes von Aufkirchen allein aufgebracht, während das Walchenseewerk nur Wirkleistung abgibt (Fall 2), so hat dies, wie aus Textabb. 5 zu entnehmen, zur Folge, daß nicht bloß die Spannung in

Pasing verbessert wird, sondern auch der ganze Regelbereich der Maschine VI des Walchenseewerkes nicht voll ausgenutzt zu werden braucht. Die Maschinenspannung kann in beiden Kraftwerkgruppen auf 6,6 kV gehalten werden. Wird die gesamte Leistung (Wirk- und Blindlast) durch zwei Maschinen des Walchenseewerkes übernommen (Fall 3), so sinkt bei voller Ausnutzung des Regelbereiches bis zu 6,9 kV die Sammelschienenspannung in Pasing bis auf 14 kV. Im letzteren Falle ließe sich natürlich eine Verbesserung der Spannungsverhältnisse durch Einsetzen einer dritten Maschine des Walchenseewerkes erreichen, was aber ebenso wie die Übernahme der gesamten Blindleistung durch die Mittlere Isar vorerst aus wasserwirtschaftlichen Gründen nicht immer möglich ist. Die Schaulinien in Textabb. 5 zeigen jedoch bereits an, welche Bedeutung für den Spannungsverlauf auf der 15 kV-Seite der Verteilung der Blindlast zukommt. Wenn auch mit zunehmender Ausnutzung der Kraftstufen der Mittleren Isar im Ausbau II (1932) diese auch für den überwiegenden Teil der vom Netz geforderten Blindarbeit im Regelbetriebe aufkommen werden, so können bei weiterer Ausdehnung der elektrisch betriebenen Strecken die Spannungsverhältnisse im Fahrleitungsnetze unter Umständen dazu zwingen, an geeigneten Stellen dieses Netzes besondere Blindleistungsmaschinen aufzustellen.

### c) Betriebsführung.

Allenthalben war früher die Anschauung verbreitet, daß die Eisenbahnverwaltungen die für die elektrische Zugförderung auf einem großen Netze erforderlichen Kraftquellen in der Hand haben und den Betrieb der letzteren selbst leiten müssen, um die Sicherheit des Bahnbetriebes zu gewährleisten.

Die mit den Versuchsbetrieben bei den vormals bayerischen Staatsbahnen gewonnenen Erfahrungen (staatliches Saalackraftwerk: Eigenerzeugung, Mittenwaldbahn: Strombezug aus dem Ruetzwerk der ÖBB) ließen im Zusammenhange mit dem von der bayerischen Staatsregierung nach Kriegsende unter Führung Oskar von Millers verwirklichten Ausbau der süd-bayerischen Großwasserkraften jedoch den Entschluß reifen und begründet erscheinen, auch für den elektrischen Betrieb eines großen Bahnnetzes den Strom zu beziehen, statt ihn in bahneigenen Kraftwerken zu erzeugen. Abgesehen von dem Vorteile, daß die Last der Anlagekosten für die Wassergewinnungsanlagen auf zwei Schultern verteilt wurde, ergab sich von selbst — schon aus Rücksicht auf die Wasserwirtschaft — der Zwang, die mit Drehstrom- und Bahnstromerzeugern ausgestatteten Kraftwerke einer einheitlichen Betriebsführung zu unterstellen; daß letzteres auch einen wirtschaftlichen Gewinn bedeutet, ist zweifellos. Nachdem der Reichsbahn durch Beteiligung an den beiden Aktiengesellschaften, welche die Großwasserkraften errichteten und betreiben (MIA G und WWAG), der erforderliche Einfluß auf die Wirtschaftsgebarung dieser Gesellschaften gesichert war, konnte unbedenklich auch die Bahnstromerzeugung in den Großwasserkraften der Bayernwerk A. G. als Betriebsführerin der Kraftanlagen übertragen werden. Durch Einberufung von Mitgliedern der Reichsbahn in den Vorstand der Bayernwerk A. G. ist ersterer auch hinsichtlich der Betriebsführung ein genügender Einfluß gewahrt.

Da einerseits jeder Betrieb erfahrungsgemäß um so reibungsloser geht, je weniger Köpfe an den nötigen Entscheidungen mitzuwirken haben, andererseits die Sicherheit des Bahnbetriebes, besonders bei Störungen, einen entscheidenden Einfluß auch auf die Kraftwerke verlangt, wurde mit dem Bayernwerk eine formlose Regelung hinsichtlich der Bahnstromerzeugung in den drei bisher mit solchen Erzeugern ausgerüsteten Kraftwerken in der Weise getroffen, daß beim gewöhnlichen Betriebe der Einsatz der Einphasenmaschinen nur durch die „Zentralverteilungsstelle“ (ZVSt) des Bayernwerkes Karlsfeld erfolgt, welche die Lastverteilung auf

die Kraftwerke und im gesamten Netz des Bayernwerkes (Drehstrom) regelt. Auch die Anordnungen über die Zahl der einzusetzenden Einphasen-Maschinen gibt die ZVSt unmittelbar an die Kraftwerke. Da jedoch die Reichsbahn über die Bahnstrom-Lastverteilung auf die einzelnen Kraftwerke genau und jeder Zeit unterrichtet sein muß, wurde beim Unterwerk Pasing, dem wichtigsten Knotenpunkt in der Bahnstromverteilung, eine Schaltbefehlstelle errichtet, die allein befugt ist, mit der ZVSt zu verhandeln und selbständig die Schaltung im Einphasen-Oberspannungsnetz zu ändern. An die Schaltbefehlstelle Pasing wird von der ZVSt Karlsfeld die Art und Zahl der eingesetzten Bahnstromerzeuger nach Vollzug gemeldet. Über die Spannungshaltung wird von Pasing unmittelbar mit den einzelnen Kraftwerken verhandelt, ebenso müssen Blindstromverteilung und Schaltmaßnahmen im Einphasenteil innerhalb der Kraftwerke von diesen im Benehmen mit Pasing geregelt werden. Treten Störungen im Oberspannungsnetz auf, so ist die Schaltbefehlstelle Pasing unter Hinweis auf den Störfall befugt, Inbetriebnahme und Abschaltung von Maschinen in den Kraftwerken selbst anzuordnen und die Rückmeldung hierüber unmittelbar zu empfangen; die getroffenen Anordnungen werden erst nachher der ZVSt des Bayernwerkes gemeldet. Auf diese Weise werden Betriebsunterbrechungen bei Störungen im Oberspannungsnetz auf eine möglichst geringe Zeitdauer beschränkt. Es muß festgestellt werden, daß die Zusammenarbeit der ZVSt des Bayernwerkes mit der Schaltbefehlstelle völlig klaglos vor sich geht und die Sicherheit des Betriebes der Kraftwerke auch bei Führung des letzteren durch die Reichsbahn keine größere wäre als bei der getroffenen Regelung.

### d) Störungen.

Außer der planmäßigen Untersuchung der Kanalhaltungen und der Ausbesserung der Wasseraustrittsstellen bei der Mittleren Isar im August 1926, die etwa 14 Tage in Anspruch nahm, und der Ausführung ähnlicher Arbeiten an zwei Tagen im September 1927, wodurch in beiden Fällen der Betrieb der Kraftstufen eingestellt war und das Walchenseewerk das gesamte Bahnnetz allein zu versorgen hatte, sind im Kraftwerkbetrieb folgende Störungen zu verzeichnen gewesen: 1925: sechs, 1926: zwei, 1927: vier. Die Störungen im Jahre 1925, welche noch unter die Anlaufzeit zu rechnen sind, hatten hier Ursachen größtenteils im Versagen der Turbinen- und Maschinenregler. Zeitdauer dieser Störungen betrug für alle sechs Fälle zusammen 19 Minuten; die größte Zeitdauer des spannungslosen Zustandes des Netzes betrug 7 Minuten, die kleinste 2 Minuten. Von den zwei Störungen im Jahre 1926, die ihren Grund im Versagen je eines Überstrom- und Zeitrelais in der Kraftstufe Eitting hatten, machte die eine das Netz 6 Minuten, die andere 4 Minuten spannungslos. Von den vier im Jahre 1927 vorgekommenen Störungen, die in einem Falle im Versagen eines Relais, in drei Fällen im Versagen der Erregeranlagen begründet sind, wirkte sich nur eine auf die Dauer von 8 Minuten auf das ganze Netz aus; bei den übrigen Störungen wurde entweder nur ein Teil des Netzes kurzzeitig in Mitleidenschaft gezogen oder die Wirkung beschränkte sich auf einen etwas starken Abfall der Spannung.

## II. Fernleitungen.

### a) Ausdehnung des Netzes.

Das aus Textabb. 6 ersichtliche 110 kV-Oberspannungsnetz ist auf eine Länge von 403 km ausgebaut; hiervon sind 112 km oder rund 28 v. H. (Pasing—Landshut, Rosenheim—Traunstein) vorerst mit einer Schleife belegt; die Tragvorrichtungen sind jedoch zum Aufbringen einer zweiten Schleife vorgesehen; 98 km = 24 v. H. des Netzes (Landshut—Regensburg, Rosenheim—Traunstein) werden vorerst mit 15 kV betrieben; das gleiche ist der Fall mit einer Schleife der Leitungsstraße

Pasing—München Ost (26 km), während die zweite Schleife dieser Fernleitung 110 kV führt. Ersteres war nötig, da

München—Rosenheim im Betriebe abgetrennt sein müssen. Da die von der Mittleren Isar nach München Ost führende Leitungsstraße zwei 110 kV-Schleifen besitzt, war es nötig, in München Ost eine Freiluft-Umschaltanlage zu errichten, die ermöglicht, die eine von Pasing nach München Ost führende 110 kV-Schleife wahlweise mit einer der beiden nach der Mittleren Isar führenden Schleifen zusammenzuschalten. Textabb. 8 zeigt den 110 kV-Mast mit den Freiluft-Umschaltern.

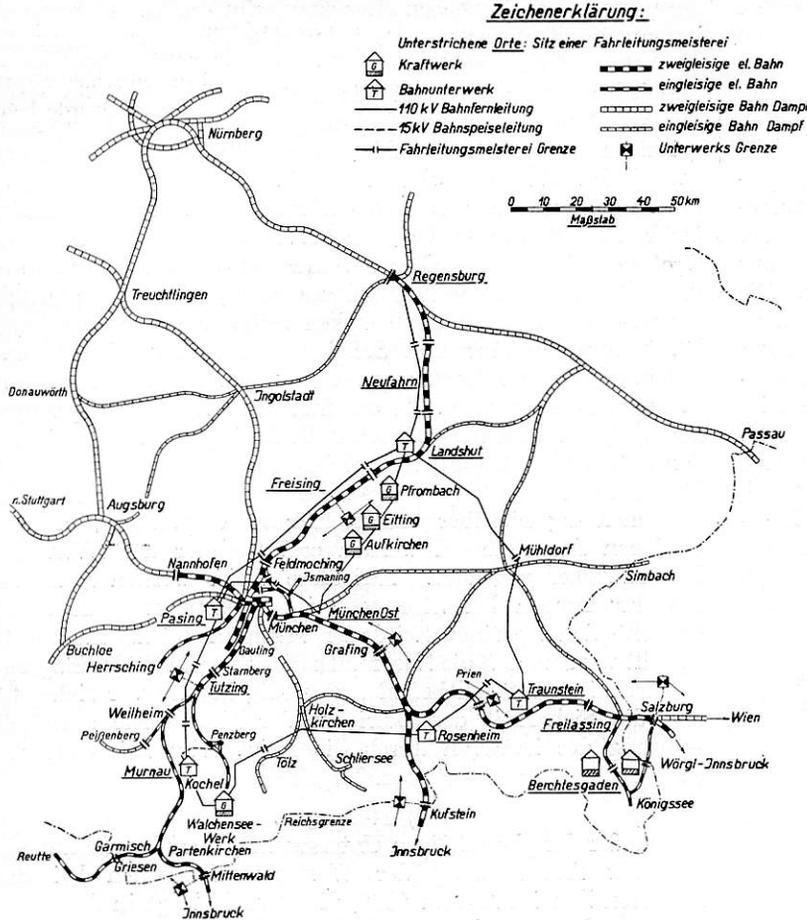


Abb. 6. Übersichtskarte des elektrischen Zugbetriebs in Südbayern nach dem Stande Mitte 1928.

Von dem Oberspannungsnetz werden vorerst vier Unterwerke versorgt, so daß auf ein Unterwerk rund 76 km mit 110 kV betriebene Freileitungen treffen. Rechnet man das im Bau befindliche Unterwerk Traunstein mit der geplanten 110 kV-Fernleitung Landshut—Mühldorf—Traunstein hinzu, so werden nach Fertigstellung dieser Anlagen auf ein Unterwerk rund 88 km Fernleitungen treffen. Von diesem Oberspannungsnetze aus werden die in Übersicht 1 unter Ziffer I aufgeführten Strecken mit einer Gesamtlänge von 607,7 km elektrisch betrieben, außerdem noch der Abschnitt Salzburg—Reichenhall (21 km), der vom Saalachkraftwerk abgetrennt werden wird, und die Mittenwaldbahn einschließlich des den Österreichischen Bundesbahnen gehörigen Teiles von der Reichsgrenze bei Griesen bis Reutte mit einer Gesamtlänge von zusammen 68,2 km, so daß im Mittel auf 100 km elektrisch betriebene Strecken 63 km mit 110 kV betriebene Fernleitungen treffen. Dieses Verhältnis kann in Ansehung der durchgeführten aus Textabb. 6 ersichtlichen Vermaschung des Oberspannungsnetzes (Kern-Ring: Pasing—Landshut—Mittlere Isar—München Ost—Pasing; Außen-Ring: Walchenseewerk—Pasing—Landshut—Traunstein—Walchenseewerk) als günstig bezeichnet werden und ist nur dadurch erreicht, daß die versorgten Bahnstrecken strahlenförmig vom Hauptverkehrs-knotenpunkt München ab auslaufen.

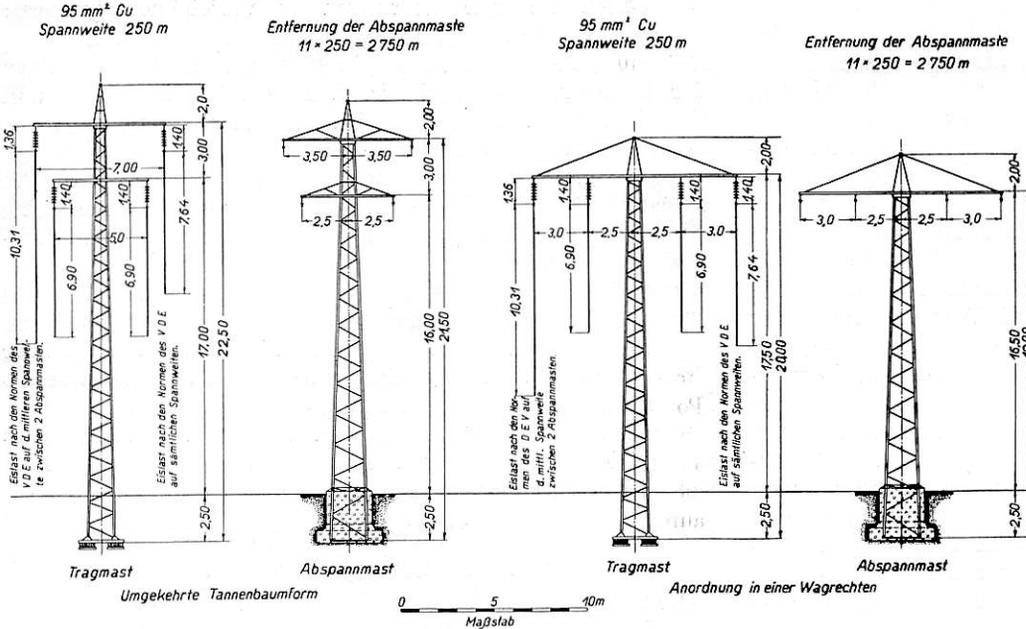


Abb. 7. Altes und neues Mastbild der 110 kV Bahnstrom-Fernleitungen.

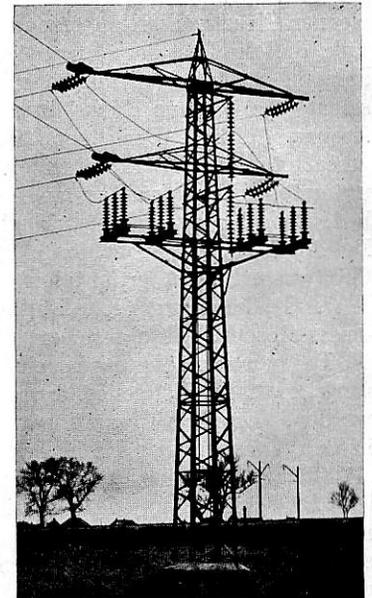


Abb. 8. Freiluftumschalter für 110 kV am Fernleitungsmast.

vorerst von der Errichtung eines Unterwerkes in München Ost abgesehen wurde, die ausgedehnten Fahrleitungsanlagen in München Ost aber von jenen der durchgehenden Bahnlinie

b) Bauform und Baustoffe.  
Die gewählte Form des Mastbildes, die „Schellenbaum“-Anordnung, bei welcher im Gegensatz zur „Tannenbaum“-

Form die langen Querträger oben, die kürzeren unterhalb der ersteren sich befinden, (vergleiche Textabb. 7 und 8) hat sich bisher auch unter ungünstigen Verhältnissen bewährt. Die letzteren treten besonders dann auf, wenn Leitungen durch übermäßigen Rauhreifansatz stark belastet infolge Versagens der Klemmen oder aus sonstigen Gründen reißen. Textabb. 9 zeigt die mit einer Schleife belegte Bahnstromfernleitung im Rauhreifgebiet in 30 m Entfernung von einer 110 kV-Drehstromleitung, die auf eine Abspannlänge zusammengebrochen ist; bei dem geringen gegenseitigen Abstand kann gleiche Einwirkung des Rauhrofrostes auf beide Leitungsstrecken vorausgesetzt werden. Obwohl schon seinerzeit bei Beschaffung der Tragmaste über die Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker hinausgegangen wurde, indem Lochleibungsdruck und Scherbeanspruchung an den Stoßverbindungsstellen, besonders aber die Knicksicherheit der Eckpfosten namentlich im Oberschuß größer als nach diesen Vorschriften gewählt wurden, entschloß man sich doch auf Grund der

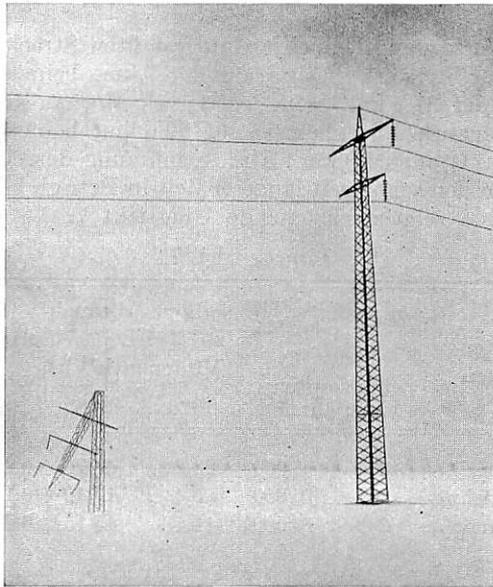


Abb. 9. Einseitig belegte 110 kV Bahnstrom-Fernleitung im Rauhreifgebiet.

anderwärts gemachten Erfahrungen für die erst vor kurzem gebaute Leitungsstraße Rosenheim—Traunstein, welche den Chiemsee im Norden umfährt, das Mastbild nach neuzeitlichen Gesichtspunkten zu ändern. Die letzteren zielen nicht bloß darauf ab, die Leiter in einer Ebene zu verlegen und damit beim Abfallen des Rauhreifes keine unzulässige Annäherung verschiedener Phasen infolge des Hochschnellens der Leiter zu ermöglichen, sondern streben auch eine möglichst große Verdrehungssicherheit der Tragmaste an, um Zusammenbrüche der Leitungsstraße beim Reißen der Seile zu vermeiden. Textabb. 7 zeigt das alte und neue Mastbild nebeneinander. Um die Verdrehungssicherheit der Tragmaste gegenüber der alten Bauform zu erhöhen, wurde in die Berechnungsvorschriften ein Stoßfaktor für die Verdrehung und auch ein solcher für die Biegung eingeführt, der die ruckweise vor sich gehende Beanspruchung beim Reißen der Seile berücksichtigen soll. Die Gewichte der Maste nach der neuen Bauform und Vorschrift werden allerdings nicht unwesentlich größer, denn die höhere Verdrehungssicherheit bedingt ein größeres Widerstandsmoment der Schrägen; auch der Nietanschluß muß den größeren mit Stoß wirkenden Kräften genügen; letzteres bedingt teilweise die Verwendung von Knotenblechen zum Anschluß der Schrägen an die Pfosten. Das hierdurch bedingte Mehrgewicht beträgt beim Regel-

tragmast etwa 30 v. H., beim Abspannmast 9 v. H. gegenüber der alten Ausführung der Maste nach der umgekehrten Tannenbaumform. Die verdrehungssichere Bauweise der Leitungsstraße ist jedoch ein so erheblicher Vorzug, daß die Mehrkosten in Ansehung der damit erreichten Betriebssicherheit nicht entscheidend ins Gewicht fallen.

Von den 403 km Fernleitungen sind 61 km oder 15 v. H. (nämlich München Ost—Mittlere Isar—Landshut) mit Rein-Aluminiumseilen von 120 mm<sup>2</sup> belegt, der Rest mit Kupferseilen von 120 und 95 mm<sup>2</sup> Querschnitt. Außer dem starken Ausschwingen und Flattern der leichten Aluminiumseile bei großer, stoßweisen Windbelastung konnte bisher kein Nachteil der Leitungen aus diesem Baustoff festgestellt werden. Die Seile sind mit Klemmen Bauart Hoffmann (Kötzschenbroda) aufgehängt, die sich bewährt haben; auch die für die Aluminiumseile verwendeten Auslöseklemmen, die auf 150 kg Auslösekraft eingestellt sind, genügten den Anforderungen; die Verwendung von Klemmen solcher Bauart, die den Zweck haben, nicht verdrehungssicher gebaute Maste beim Reißen

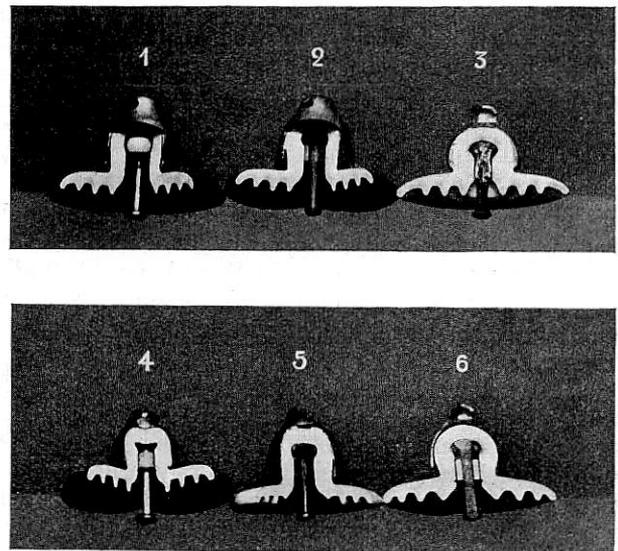


Abb. 10. Querschnitte der Kappenisolatoren für die 110 kV-Bahnstrom-Fernleitung in Südbayern: 1. Kugelkopf-Isolator, 2. V-Ring-Isolator, 3. Kegelkopf-Isolator, 4. C-Isolator, 5. Feder-ring-Isolator, 6. Kugel-Isolator.

eines Seiles vor Umbruch zu bewahren, ist jedoch auf solche Fälle beschränkt, in denen keine Gefährdung von Menschen und Tieren eintreten kann, wenn infolge Wirkens der Auslöseklemmen der Durchhang in einzelnen Spannungsfeldern sich unzulässig vergrößert.

Die in die Trag- und Abspannketten der Fernleitungen eingebauten Isolatoren sind durchwegs Kappenisolatoren aus Porzellan, bei welchen letzteres auf Druck beansprucht wird. Die Isolatoren — von verschiedenen Firmen bezogen (Textabb. 10) — unterscheiden sich im wesentlichen nur durch die Art und Weise, in welcher der vom Isolatoren-Klöppel aufgenommene Zug als Druckbeanspruchung auf den Porzellan-körper übertragen wird. Im allgemeinen konnten Unterschiede hinsichtlich der Güte bei den verschiedenen Bauweisen der Klöppelbefestigung im Betrieb nicht festgestellt werden.

#### c) Störungen.

In den drei Jahren 1925 bis 1927 sind im ganzen sieben Störungen an den Fernleitungen aufgetreten; von diesen wirkte sich nur eine einzige (1926) auf den Eisenbahnbetrieb aus. Die zwei 1925 vorgekommenen Störungen waren auf Beschädigungen von Isolatoren durch Flintenschüsse zurück-

zuführen und die 1926 vorgekommene Störung, durch welche das Fernleitungsnetz auf die Dauer von 27 Minuten spannungslos wurde, war hervorgerufen durch Überschlag auf eine die Bahnstromfernleitung unterhalb kreuzende Leitung eines Überlandwerkes, das diese Leitung ohne Kenntnis der Reichsbahn in der Linienführung verändert hatte. Ebenso ernst waren zwei weitere Störungen an der mit Aluminium belegten Leitungsstraße München Ost—Mittlere Isar im gleichen Jahre, wenn auch der Bahnbetrieb hierdurch nicht in Mitleidenschaft gezogen wurde: ein außergewöhnlich böiger Föhnsturm trieb in beiden Fällen die Aluminium-Seile der Bahnstromfernleitung so weit seitlich ab, daß das eine Mal auf einen Baum, das andre Mal auf eine fremde Verteilungsleitung ein Überschlag eintrat. Das 1927 vorgekommene Aufdrillen eines Kupferseiles der Fernleitung Walchenseewerk—Pasing wurde rechtzeitig bemerkt, so daß nach Abschalten der Leitung durch Herausschneiden eines 36 m langen Seilstückes mit schadhafte Lötstellen und Einsetzen eines gesunden Stückes weitere Folgen verhütet werden konnten.

Die zweite Störung im Jahre 1927 wurde durch einen Blitzschlag hervorgerufen, der an einigen Masten Isolatoren beschädigte, die ausgewechselt werden mußten; der Bahnbetrieb blieb unbeeinflusst.

Zwei Anfang 1928 vorgekommene Störungen wurden hervorgerufen durch je einen Isolator der Aluminium-Leitung München Ost—Mittlere Isar, dessen Klöppel sich durch Drehen infolge der Schwingungen des Leiters allmählich aus der Mutter herausgeschraubt hatte. Das von der Kette losgelöste Seil fiel mit Klemme und Klöppel ab, ohne den Boden zu berühren. Der ungewöhnliche große Durchhang (bis 3 m über Boden) fiel sofort auf, so daß die Behebung der Störung, die den Bahnbetrieb nicht beeinflusste, ungesäumt eingeleitet werden konnte.

Im allgemeinen kann die Betriebssicherheit der Fernleitungen als vorzüglich angesehen werden; genaue Untersuchung in bestimmten Zeitabständen ist jedoch unerlässlich. Deshalb ist es besonders wichtig, die Linienführung dieser Leitungen so zu wählen, daß sie möglichst nahe an mit Kraftwagen befahrbaren Straßen verlaufen. In besiedeltem Gelände, namentlich in der Nähe von Städten bedingt dies zwar häufig erhöhte Aufwendungen für die dingliche Belastung der in Mitleidenschaft gezogenen Grundstücke; diese einmaligen Ausgaben stehen jedoch in keinem Verhältnis zu dem Vorteil, den die rasche Erreichbarkeit der Leitungen im Falle von Störungen bietet.

### III. Unterwerke.

#### a) Versorgungsbereich, Belastung und Ausnützung.

Die Erfahrungen haben bestätigt, daß der gegenseitige Abstand der Unterwerke wesentlich größer gewählt werden kann als bei den vor dem Kriege für den elektrischen Betrieb eingerichteten Versuchsstrecken angenommen wurde. Wenn nicht außergewöhnliche, durch die Neigungsverhältnisse der versorgten Strecken bedingte Belastungsfälle vorliegen, kann — namentlich bei zweiseitiger Speisung — unbedenklich bis zu einem Unterwerkabstand von 80 km gegangen werden. Einen Beweis hierfür bieten die wiederholt bei Einführung des elektrischen Betriebes in Südbayern durchgeführten behelfsmäßigen Speiseschaltungen, so z. B. die seit Ende April 1928 im Betrieb befindliche einseitig freitragende Speisung des 35 km langen Abschnittes Traunstein—Salzburg vom Unterwerk Rosenheim aus; der Endpunkt Salzburg ist — auf der Bahnlinie gemessen — 88 km vom Unterwerk Rosenheim entfernt, im Abstand von 78 km von diesem beginnt eine nahezu 19 km lange Rampe 1:100. Diese Speiseschaltung ist ermöglicht durch die vorübergehende Benutzung der einschleifigen Fernleitung Rosenheim—Traunstein als 15 kV-

Speiseleitung; letztere ist allerdings 11 km kürzer als die Bahnstrecke Rosenheim—Traunstein, deren Gleise als Rückleitung benützt werden.

Die Anlage der Stützpunkte für den elektrischen Betrieb kann jedoch nicht allein im Hinblick auf den durch die Verkehrsgröße und die Neigungsverhältnisse der Strecken bewirkten Spannungsabfall erfolgen; die hohen Baukosten solcher Stützpunkte und der von letzteren in der Linienführung beeinflussten Fernleitungen bedingen die Rücksichtnahme auf eine allenfallsige spätere Ausdehnung der elektrischen Betriebsform auf abzweigende Bahnstrecken. Deshalb sind die Eisenbahnknotenpunkte die für die Anlage der Unterwerke vorgezeichneten Orte. Bei der in Südbayern durchgeführten Umstellung konnte daher über die Anlage der Unterwerke in Pasing, Landshut und Rosenheim kein Zweifel bestehen; sowohl die Entfernung Pasing—Landshut als auch jene Pasing—Rosenheim beträgt etwas über 70 km. Der gegenüber den früher gewählten Unterwerkentfernungen nahezu doppelt so große gegenseitige Abstand führte bisher zu keinen Schwierigkeiten.

Der Versorgungsbereich an umgestellten Strecken beläuft sich beim Unterwerk Pasing auf 258,7 km, beim Unterwerk Landshut auf 97,3 km, beim Unterwerk Murnau auf 147 km, beim Unterwerk Rosenheim\*) auf 86,6 km, beim Unterwerk Traunstein\*\*) auf 84,9 km. Die Ausnützung der eingebauten Leistung in den schon seit längerer Zeit in Betrieb befindlichen Unterwerken zeigt nachstehende Übersicht 7.

Übersicht 7.

O. Z.	Unterwerk	Zahl der eingebauten Umspanner	Leistung in kVA	Jahresverbrauch in Millionen kWh.		Jahresausnutzungsfaktor	
				1926	1927	1926	1927
1	Pasing <sup>1)</sup>	3	15 000	28,26	46,70	0,295	0,488
2	Landshut	2	10 000	5,4	16,46	0,144	0,258
3	Murnau	2	10 000	14,13	15,15	0,221	0,238

<sup>1)</sup> Seit 1928 ist ein vierter Umspanner von 5000 kVA aufgestellt.

Der Belastungsverlauf im Stundenmittel bei den einzelnen Unterwerken ist für einzelne Tage aus Abb. 3 bis 7, Taf. 14 zu entnehmen. Die Schaulinien zeigen, daß hauptsächlich die Belastung des Unterwerkes Pasing die Form des Belastungsgebirges nach Textabb. 3 entscheidend beeinflusst; doch treten auch bei den Unterwerken Landshut und Murnau die Spitzenbelastungen in ähnlicher Form, jedoch in wesentlich geringerer Höhe wie im Unterwerk Pasing auf, das infolge seines großen Versorgungsbereichs und des Nahverkehrs der Großstadt einen größeren Arbeitsverbrauch aufweist als die übrigen Unterwerke zusammen. Dies erhellt auch aus Textabb. 11, in welcher der wöchentliche Arbeitsverbrauch der einzelnen und aller Unterwerke zusammen vom Jahre 1925 ab bildlich dargestellt ist; die Schaulinien sind unter Berücksichtigung der Umstellungszeiten der Strecken nach Übersicht 1 zu bewerten; der Einfluß des Sommerfahrplans mit den größeren Zugleistungen ist jedoch in den einzelnen Jahren deutlich erkennbar.

Der Eigenverbrauch der Unterwerke für Heizung, Kühlung des Umspanneröles und sonstige Zwecke schwankt im Jahresdurchschnitt von 1,2 bis 1,9 v. H. des Gesamtverbrauches. Der Leistungsfaktor in den Unterwerken ist sehr stark abhängig von der Belastung; für das Unterwerk Pasing wurde nach den Ablesungen des Wirk- und Blindarbeitsverbrauches

\*) In Betrieb seit März 1928.

\*\*) Kommt erst 1929 in Betrieb.

(1927) ein durchschnittlicher  $\cos \varphi$  in den Monaten Juli und August von 0,7 ermittelt; er verschlechterte sich im September auf 0,67 und stieg dann infolge der induktionsfreien Belastung durch die Zugheizung in den Wintermonaten bis auf 0,75 an.

Im wöchentlichen Arbeitsverbrauch der einzelnen Unterwerke nach Textabb. 11 ist neben der Zugförderungsarbeit auch der Stromverbrauch der an die Fahrdrahtanlagen angeschlossenen Beleuchtungseinrichtungen von Stationen mit enthalten; dieser Verbrauch ist im Verhältnis zur Zugförderungsarbeit verschwindend; eine Ausnahme bildet nur die in Textabb. 11 kenntlich gemachte Arbeitsaufnahme der beim Unterwerk Pasing errichteten Umformeranlage, die im Juni 1927 in Betrieb genommen wurde. Diese hat die Aufgabe, die Werkstätte- und Bahnhofsanlagen in München und Neuaußing (Reichsbahnausbesserungswerk) mit Licht und Kraft zu versorgen. Bei der Wichtigkeit der Beleuchtung für den Bahnhof München und der Kraftbetriebe zweier großer Ausbesserungswerke mußte für den Wechselstrom-Drehstrom-Umformer ein Parallelarbeiten nicht bloß mit einer Gegen-drehturbine des Heizwerkes München Hbf. (Winter), sondern auch mit dem städtischen Drehstromnetz in München gefordert

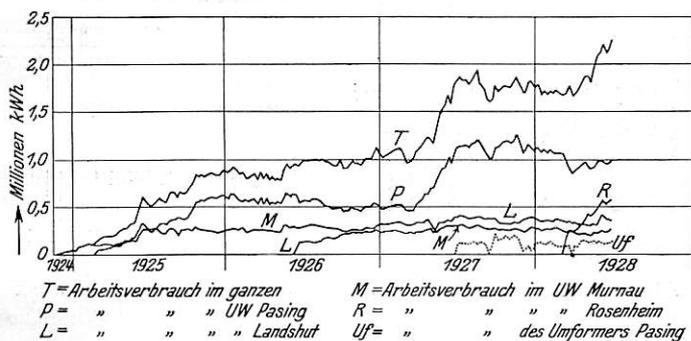


Abb. 11. Arbeitsverbrauch an Bahnstrom der einzelnen Unterwerke und Gesamtverbrauch 1924 bis 1928.

werden, das seinerseits mit den Großwasserkraften zusammenhängt. Die mechanische Kupplung zweier großer Netze mit verschiedener Polwechselzahl durch die Welle eines Umformers läßt sich bei dem verhältnismäßig rauhen Betrieb der Einphasenseite nur unter Anwendung von besonderen Hilfseinrichtungen lösen. Die Umformeranlage besteht im ganzen aus acht Maschinen, die in einen Haupt- und einen Hilfssatz gegliedert sind. Der erstere hat fünf, der letztere drei unmittelbar gekuppelte Maschinen. Der Antrieb des Hauptsatzes erfolgt durch einen asynchronen Einphasenmotor von 1700 kW-Leistung bei  $\cos \varphi = 1$  (3 kV,  $16\frac{2}{3}$  Hertz, 500 Umdrehungen in der Minute), der über einen Umspanner von 2000 kVA an die 15 kV-Sammelschienen des Unterwerkes angeschlossen ist. Der Drehstromerzeuger von 1600 kW Leistung ( $\cos \varphi = 0,915$ ; 5 kV; 50 Hertz) ist als Synchronmaschine ausgebildet und arbeitet unmittelbar auf das 5 kV-Netz der Licht- und Kraftanlagen. Zum gleichen Satz gehören noch eine Erregermaschine von 20 kW, eine Kollektorhintermaschine von 310 kVA-Leistung sowie ein Danielson-Umformer; die beiden zuletzt genannten Maschinen dienen zur Drehzahl und  $\cos \varphi$  = Beeinflussung des Einphasenmotors. Der von einem Synchronmotor (14 kW,  $16\frac{2}{3}$  Hertz) angetriebene Hilfssatz mit kleiner Erregermaschine hat die Aufgabe, Dreiphasenstrom von  $16\frac{2}{3}$  Hertz zu erzeugen (bis 38 kVA), welcher der Kollektorhintermaschine zugeführt und dort auf Schlupffrequenz umgeformt wird.

Um bei der großen Zahl der Maschinen für die Umformeranlage, die vom Personal der Warte mit bedient werden muß, Schaltfehler zu vermeiden und dieses Personal von der Überwachung des Zugförderungsdienstes nicht abzulenken, ist

der ganze Betrieb des Umformers, im besonderen der Anlaufvorgang soweit als möglich selbsttätig eingerichtet. Nach Einlegen des 15 kV-Ölschalters wird der Anlauf des Haupt- und Hilfssatzes durch kurzzeitiges Drücken auf einen Knopf eingeleitet und, ohne daß ein weiterer Handgriff gemacht werden müßte, selbsttätig zu Ende geführt. Merklampen lassen den ordnungsgemäßen Verlauf des Anlaufvorgangs erkennen, Störungen werden durch Fallklappen angezeigt. Nur Synchronisieren und Parallelschalten erfolgt von Hand. Vor dem Anlassen ist der Umformer auf eine bestimmte Leistungsabgabe einzustellen; letztere ist in weiten Grenzen regelbar, um den Betriebserfordernissen in den verschiedenen Jahreszeiten sich anpassen zu können. Die Umformeranlage soll im Jahre rund 6 Millionen kWh Drehstrom abgeben; bei einem Jahreswirkungsgrad von etwa 80% ist der Betrieb sehr wirtschaftlich, namentlich wenn die Soll-Abnahme aus den Großwasserkraften durch die Zugförderung allein nicht erreicht wird. Der unruhige Frequenzverlauf auf der Einphasenseite bereitet jedoch für den Parallelbetrieb mit dem Drehstromnetz vorerst noch Schwierigkeiten, an deren Meisterung zur Zeit angestrengt gearbeitet wird.

#### b) Bauform.

Bei den bisher errichteten Unterwerken wurden alle elektrischen Einrichtungen umbaut. Die Kosten des Hochbaues betragen in diesen Fällen etwa 35 bis 40 v. H. der Gesamtbaukosten; die größeren Werte gelten, wenn — wie beim Unterwerk Pasing — die Bestandteile in einzelnen getrennten Bauwerken — aufgelöste Bauform — untergebracht werden. Für das noch zu erstellende Unterwerk Traunstein ist in Aussicht genommen, die Oberspannungsseite als Freiluftanlage auszubilden. Der Anteil der Hochbaukosten an den Gesamtkosten, die um etwa 12 bis 15 v. H. niedriger werden, sinkt in diesem Falle auf rund 25 v. H.

Als besonderer Vorteil hat sich erwiesen, die elektrischen Einrichtungen nicht — wie anderwärts früher ausgeführt — in mehreren Stockwerken übereinander anzuordnen, sondern möglichst ebenerdig, wegen der leichteren Erreichbarkeit; dieser Grundsatz ist bei allen Unterwerken durchgeführt und zwar sowohl auf der Ober-, wie auf der Unterspannungsseite. Sammelschienen und Trennschalter liegen im Obergeschoß, soweit nicht letzteres wie bei der „Hallenbauform“ (z. B. in den Unterwerken Murnau und Rosenheim) infolge des Einbaues von in Betongruben versenkten Hochvolt-Schaltern ganz entfällt.

Die vor den 15 kV-Schaltern liegenden Werkgleise in den Umbau mit einzubeziehen, hat sich nicht bewährt. Die Vorbauten bieten zwar die Möglichkeit, geschützt vor den Witterungseinflüssen kleine Instandsetzungen an den Ölschaltern auszuführen, doch können bei wiederholten Kurzschlüssen leicht explosionsgefährliche Gemische in den Vorbauten auftreten. Textabb. 12 zeigt die Wirkung einer solchen

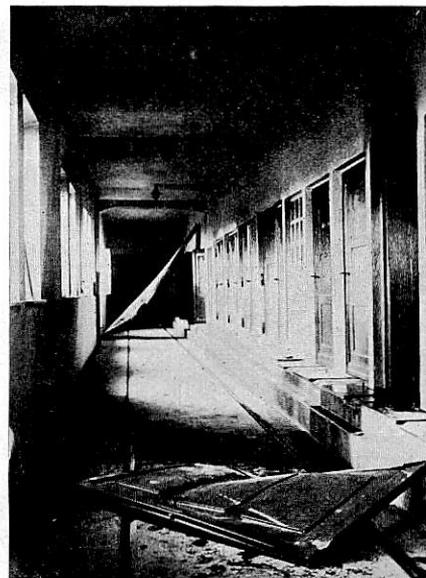


Abb. 12. Ölschalter-Explosion im abgeschlossenen Vorbau des 15 kV-Hauses im Unterwerk Pasing.

Explosion im abgeschlossenen Vorbau der 15 kV-Ölschalter beim Unterwerk Pasing. Außer der Explosion in der Schalterzelle, welche die Zellentüre in den Vorraum schleuderte, fand im Vorbau selbst noch eine heftige Nachexplosion statt; da diese Ölgase selbst bei starker Verdünnung mit Luft noch entzündungsfähige Gemische bilden, mußte der Vorbau in der aus Textabb. 13 ersichtlichen Weise geändert werden. Die statt der Fenster hergestellten bogenförmigen Durchbrüche an der Außenwand des Vorbaues bewirken einen guten Luftausgleich und damit Beseitigung der Explosionsgefahr im Vorbau.

Noch vorteilhafter ist in dieser Hinsicht die beim Unterwerk Rosenheim gewählte aus Textabb. 14 ersichtliche Anord-

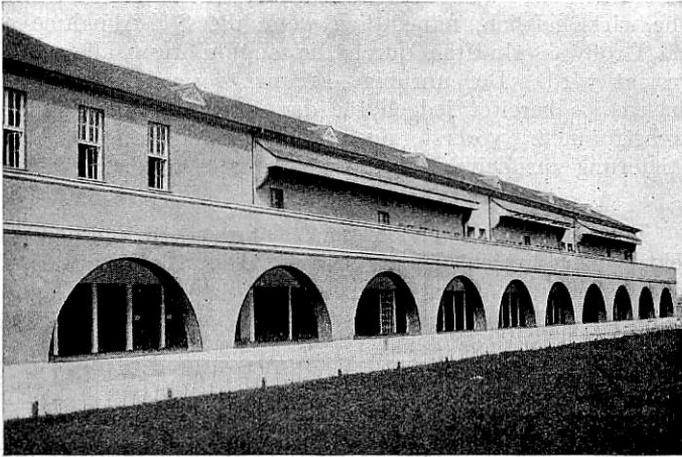


Abb. 13. Bogenförmige Durchbrüche zur Entlüftung des Vorbaues am 15 kV-Haus des Unterwerks Pasing.

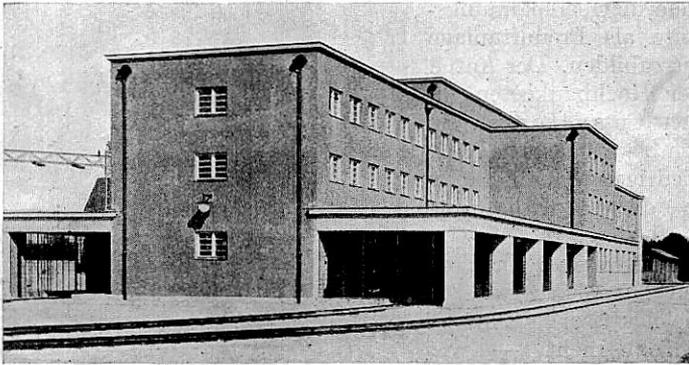


Abb. 14. Offene Zellen für die 15 kV-Ölschalter des Unterwerks Rosenheim (hängende Bauform).

nung, bei welcher die Speiseschalter-Zellen ganz offen gelassen sind und der Vorbau nur durch ein Gitter abgeschlossen ist; die 15 kV-Schalter ragen in diesem Falle nur mit dem unteren Teile in die Zelle hinein (hängende Bauform).

Die Anordnung der Warte (Betätigungsraum) ist bei der Lösung der Grundrißform eines Unterwerkes von Wichtigkeit. Sofern nicht die großen Ausmaße des letzteren, wie beim Unterwerk Pasing\*) dazu zwingen, für die Warte ebenso wie für Hoch- und Niedervolthaus eigene Gebäude zu errichten, muß für die Anordnung des Betätigungsraumes die Absicht entscheidend sein, dem Wärter möglichst die Wege abzukürzen, die er zurücklegen muß, um ins Hoch- oder Niedervolthaus zu gelangen. Dies ist am leichtesten möglich, wenn

die Achsen dieser Häuser, wie beim Unterwerk Murnau\*), an ihrem einen Ende einen rechten Winkel zueinander bilden. Die Warte läßt sich dann am Schnittpunkt der Achsen leicht unterbringen. Auch wenn die Achsen des Hoch- und Niedervolthaus, wie z. B. beim Unterwerk Rosenheim, gleichlaufend angeordnet sind (siehe Textabb. 15), läßt sich durch Einfügung eines Anbaues die Warte so in die Grundrißform einfügen, daß von ihr aus ein unmittelbarer Zugang zum Ober- und Unterspannungsraum ermöglicht ist. Da die Unterwerke im allgemeinen — namentlich zur Nachtzeit nur einmännig besetzt sind, ist es von großer Bedeutung, daß der Wärter rasch Sammelschienenanlagen und sonstige Einrichtungen übersehen kann. Ein Betreten von Zellen, in denen sich Hochspannung führende Teile befinden, ist dem Wärter, solange er allein im Unterwerk anwesend ist, untersagt.

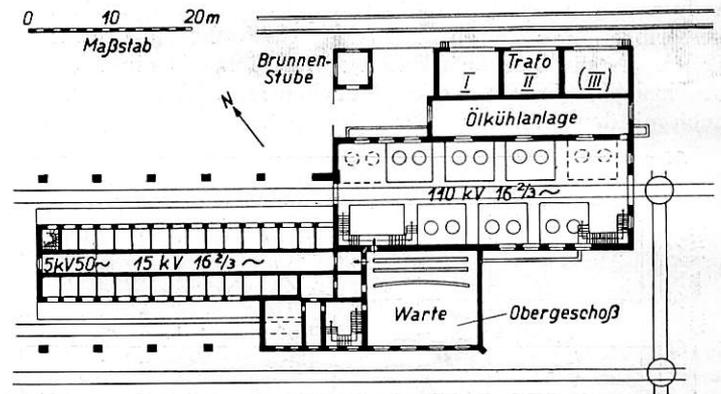


Abb. 15. Anordnung der Warte im Bahnstrom-Unterwerk Rosenheim.

Eine möglichst gedrungene Anordnung der Tafeln und Schaltgerüste in der Warte ist von Vorteil. Der Wärter soll von seinem Sitz aus nicht nur die wichtigsten Meßeinrichtungen und Schalterstellungen in der Ober- und Unterspannung des Werkes überblicken können, sondern auch in der Lage sein, den Fernsprecher zu bedienen und die angeordneten Schaltmaßnahmen im Fernsprechbuche zu vermerken sowie auf einem Schaltbilde zu kennzeichnen. Bei den Unterwerken Pasing und Landshut, die als Knoten im Oberspannungsnetze eine große Bedeutung haben, sind die Tafeln in der Warte in zwei bogenförmigen Teilen so angeordnet, daß der Blick des Wärters von seinem Sitz aus auf die Unterspannungsseite gerichtet ist; um die Oberspannung zu übersehen, muß er sich umdrehen. Bei den Unterwerken Murnau und Rosenheim sind die Tafeln für Ober- und Unterspannung im Gesichtskreis des Wärters nebeneinander aufgestellt; der in Rosenheim hierfür gewählte Halbbogen (vergl. Textabb. 15) ist vorteilhafter als die in einer Flucht geradlinig durchgeführte Aufstellung der Tafeln an einer Seitenwand des Unterwerkes Murnau.

Nicht geringen Raum in der Warte nehmen Fernsprecher, Bildfahrpläne und Schaltbilder ein. Diese Hilfsmittel müssen in unmittelbarer Nähe des Wärters sich befinden, so daß er in der Lage ist, mit dem Fernsprecher in der Hand Bildfahrplan und Schaltbild anzusehen und auf letzterem die Änderung des Schaltzustandes sofort entsprechend den von ihm gegebenen Weisungen vorzumerken. Textabb. 16 zeigt, in welcher Weise in der Warte des Unterwerkes Pasing diese Hilfsmittel angeordnet sind. Auf dem linken, der Unterspannungsseite zugewandten Pult ist ein Fernsprechumschalter mit 60 Anschlüssen eingebaut; zu beiden Seiten von diesem sind genügt

\*) „Elektrische Bahnen“ 1926, S. 196 bis 206.

\*) „Elektrische Bahnen“ 1925, S. 141 bis 150.

die Bildfahrpläne angeordnet, die über Rollen laufen. Gegenüber diesem Pult ist ein zweites aufgestellt, auf dem das Schaltbild für die 15 kV-Seite des gesamten Unterwerkbezirkes dargestellt ist. Die Fahrleitungen sind auf dem Bilde als feine Leisten aufgesetzt, die auf Weisung des Unterwerkes zu betätigenden Schalter der Stationen als Knöpfe. Letztere liegen, solange sie die Schalter als in der Grundstellung befindlich anzeigen sollen, in einer Ebene mit den die Fahrleitung darstellenden Leisten. Um die Änderung des Schaltzustandes recht augenfällig zu machen, treten jene Knöpfe, welche Fahrleitungsgruppen verbindende Schalter darstellen, aus der Ebene des Schaltbildes heraus, wenn die Grundstellung der Schalter geändert wird, während die Knöpfe für die Streckenschalter im Schaltbild versenkt sind, wenn diese nicht in der Grundstellung sich befinden. Die Schnur des Fernsprechhörers ist so lang gemacht, daß der Wärter sich

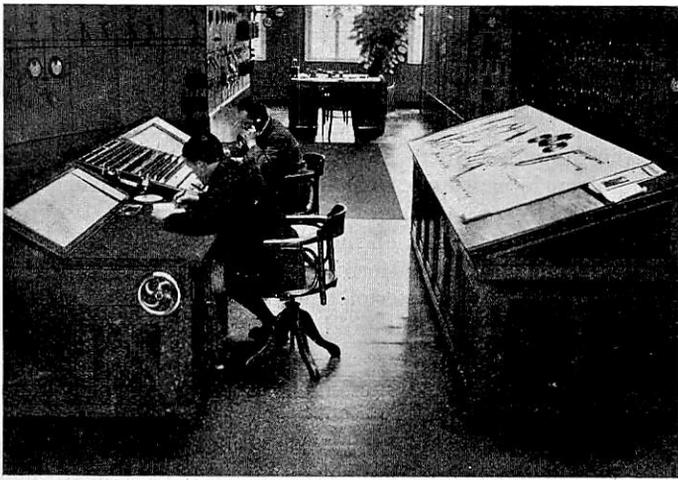


Abb. 16. Fernsprecher und Schaltbild in der Warte des Unterwerks Pasing.

umdrehen und von seinem Sitz aus an das Schaltbild gehen kann. Nach Eintreffen der Vollzugsmeldung über den von ihm gegebenen Schaltbefehl bringt er auf dem Schaltbild mit Hilfe eines einfachen Schlüssels und einer leichten Drehbewegung den Knopf in die dem Schaltbefehl entsprechende Lage. Ist eine Fahrleitungsstrecke, z. B. zwischen zwei Stationen wegen Unterhaltungsarbeiten ausgeschaltet, so klemmt der Wärter auf die betreffenden Leisten des Schaltbildes ein Sperrzeichen, welches angibt, daß der Abschnitt für jede Schaltmaßnahme gesperrt ist. Die Festlegung des jeweiligen Schaltzustandes ist, namentlich bei großen Unterwerkbezirken oder verwickelten Schaltanlagen großer Bahnhöfe, schon mit Rücksicht auf den Schichtwechsel der Wärter, unumgänglich notwendig; sie bietet eine wesentliche Erleichterung des Dienstbetriebes. Für den Bezirk des Unterwerkes Pasing, das auf der 15 kV-Seite 346 Schalter zu beherrschen hat, sind die Aufschreibungen im Fernsprechbuch allein derart unübersichtlich, daß Schaltfehler unausbleiblich wären. Der Eintrag jeder Schaltmaßnahme ins Fernsprechbuch unter genauer Angabe der Zeit sowie des Namens der den Befehl gebenden und ausführenden Personen ist jedoch unerlässlich. In der Mitte des Schaltbildes sind, wie Textabb. 16 zeigt, noch die Messer für die Prüfeinrichtung Bauart Täuber\*) (Strom-, Spannungs- und  $\cos \varphi$ -Messer) angebracht, die beobachtet werden müssen, wenn Störungen auftreten. Rechts vom Schaltbild ist noch eine abwischbare Tafel angebracht, auf der rasch Vormerkungen gemacht werden

\*) Elektrische Bahnen 1927, S. 251.

können über Meldungen und Befehle, die später ins Fernsprechbuch eingetragen werden.

Da das Unterwerk Pasing als Schaltbefehlstelle über das gesamte Oberspannungsnetz ausgebildet ist, letzteres aber vorerst vier (einschließlich Traunstein fünf) Unterwerke und drei (später vier) Kraftwerke umfaßt, erwies sich auch für den Betrieb der Oberspannung ein ähnliches Schaltbild wie für die Unterspannung nötig. Dieses konnte allerdings nicht in unmittelbarer Nähe der beiden Schaltpulte angeordnet werden, weil Raum hierzu auf diesen nicht verfügbar war. Drei freie Felder der bogenförmig gestalteten Hochspannungsschalttafel, welche der Wärter, wenn er Schaltungen auf dem 15 kV-Schaltbild kennzeichnet, mit einem Blick übersehen kann, wurden für die Anbringung des Oberspannungsschaltbildes verwendet. Auf diesem sind Sammelschienen der Kraft- und Unterwerke durch Leisten, Ölschalter und Trennmesser durch Schauzeichen dargestellt, deren Lage durch einen Schlüssel verändert werden kann. Die Schalternummern sind mit den Kraftwerken vereinbart und entsprechen ebenso wie die Schalternummern der Unterwerke den in diesen Werken vorhandenen Bezeichnungen. In der „Aus“-Stellung der Ölschalter leuchtet auf dem Schaltbild eine Signallampe auf. Schalter, die aus irgend einem Grunde nicht betätigt werden dürfen, werden durch besondere aufzusteckende Sperrzeichen hervorgehoben.

Die Ausführung dieser Schaltbilder hat sich bewährt; sie ist wesentlich einfacher und billiger als das im Unterwerk Murnau\*) für die 15 kV-Seite eingebaute Schaltbild, bei dem durch Relaisabhängigkeit die durch eine Schalterbetätigung auf dem Bilde bewirkte Abschaltung der Strecke durch Aufleuchten der letzteren gekennzeichnet wird.

#### e) Störungen.

Die in den drei Jahren 1925 bis 1927 in den Unterwerken (einschl. Schaltposten München Hbf.) vorgekommenen Störungen zeigt nachstehende Übersicht 8.

Übersicht 8.

O. Z.	Schäden an	Unterwerks-Störungen				
		1925 Zahl	1926 Zahl	1927 Zahl	1925 bis 1927 Zahl	v. H.
<b>A. Oberspannung:</b>						
1	Leitungen mit Trennschalter . . . . .	1	1	1	3	5,4
2	Ölschalter mit Schutzrelais . . . . .	1	2	4	7	12,5
3	Umspannern 110/15 kV . . . . .	1	—	—	1	1,8
<b>B. Unterspannung:</b>						
4	Leitungen mit Trennschalter . . . . .	2	—	2	4	7,1
5	Ölschalter mit Schutzrelais . . . . .	14	4	3	21	37,4
6	Werkumspannern . . . . .	—	—	1	1	1,8
7	Spannungs- und Stromwandlern . . . . .	1	1	4	6	10,7
8	Überspannungs-Schutzeinrichtung . . . . .	1	1	—	2	3,6
9	Schalterbetätigungsanlagen . . . . .	5	3	1	9	16,1
10	Meß-, Zähl- und Prüfeinrichtungen . . . . .	1	—	—	1	1,8
11	Signal- und Gefahrmeldeanlagen . . . . .	1	—	—	1	1,8
Zusammen . . . . .		28	12	16	56	100

\*) Elektrische Bahnen 1927, Heft 1, S. 29 bis 31.

Von den 56 in drei Betriebsjahren eingetretenen Störungen in den Unterwerken traten 11 oder 19,6 v. H. auf der Oberspannungsseite dieser Werke auf. Bei 25 oder 44,6% aller vorgekommenen Störungen wurde der elektrische Zugbetrieb nicht beeinflußt; in 13 Fällen, d. i. 23,6 v. H. aller Störungen wurde der Zugbetrieb auf die Dauer von 1 bis 6 Minuten, beim Rest der Störungen auf eine größere Zeitdauer in Mitleidenchaft gezogen. Die Auswirkung der Schäden erstreckte sich, soweit die Unterspannung in Frage kommt, fast ausnahmslos jeweils auf einzelne Speisebezirke, nicht auf den ganzen Unterwerkbezirk. Die Schäden an den Oberspannungsanlagen einschließlich Trennschaltern traten im Unterwerk Murnau auf, wo in einem Falle ein Schalter der 110 kV-Freiluftschaltanlage wegen Vereisung nicht betätigt werden konnte, in den beiden anderen Fällen die Wanddurchführungen ausgewechselt werden mußten. Die Störungen an den 110 kV-Ölschaltern beruhten in den meisten Fällen auf dem Versagen der Relais; in einem Falle trat ein Überschlag an einer Durchführung gegen den Schalterdeckel ein; in zwei Fällen brachen Kontaktbolzen im Ölschalter, die aus zu sprödem Baustoff gefertigt waren. Die Auswahl richtiger, der Beanspruchung

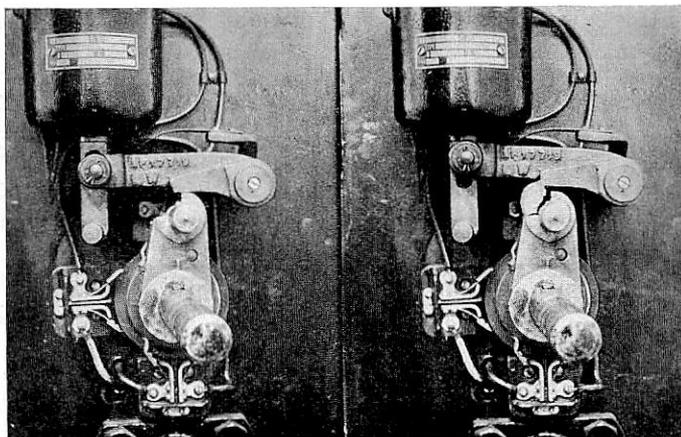


Abb. 17. Bruch eines Sperrklinkenhebels am Antrieb eines 110 kV-Schalters.

entsprechender Baustoffe ist für den Betrieb von größter Bedeutung. Dies zeigt Textabb. 17, in welcher der Bruch eines Sperrklinkenhebels eines 110 kV-Schalterantriebes dargestellt ist. Durch den unvollständigen Bruch des gegossenen Hebels konnte der Schalter in der „Ein“-Stellung eine kleine Rückwärtsbewegung machen, ohne in die Ausschaltstellung zurückzufallen. Diese geringe Rückwärtsbewegung genügte, um den Vorstufenwiderstand des Ölschalters einzuschalten. Die im Kraftwerk noch ausgeschaltete 110 kV-Leitung übertrug einen Ladestrom, welcher über den Vorstufenwiderstand ging, der so erwärmt wurde, daß eine Verrußung der Durchführungen eintrat, die bemerkt wurde. Beim Übertragen von Last wäre die Wirkung des Schadens eine verheerende geworden. Durch Austausch der gegossenen Hebel durch solche aus zähem Stoffe wurde einer Wiederholung der Gefahr vorgebeugt.

Die Umspanner von 5000 kVA Leistung zeigten sich in jeder Hinsicht betriebssicher, ein geringfügiges Lecken der Behälter konnte leicht behoben werden. Sie sind bis auf jene für das Unterwerk Rosenheim alle von gleicher Ausführung; bei den letzteren wurden die Spulen nicht mehr in rechteckiger, sondern kreisrunder Form ausgebildet, wodurch nicht bloß eine höhere mechanische Kurzschlußfestigkeit, sondern auch ein billigerer Preis erzielt wurde. Die Anordnung von Anzapfungen zur Veränderung der Unterspannung (17,25 bzw. 16,5 kV) hat sich bei dem großen Unterwerksabstand als

sehr vorteilhaft erwiesen und zwar um so mehr, als bei der großen für die Umspanner gewählten Kurzschlußspannung (9,2%) die Sammelschienenspannung bei starker Belastung sehr rasch sinkt; infolgedessen kann die vorgesehene Überbelastung der Umspanner von 7500 kVA auf  $\frac{1}{2}$  Stunde und 10000 kVA auf 10 Minuten praktisch wenig ausgenützt werden.

Berücksichtigt man, daß die im Oberspannungsteil der Unterwerke vorgekommenen Störungen zum Teil in die erste Betriebszeit (Anlaufzeit) derselben fallen, so kann im allgemeinen mit einer großen Betriebssicherheit dieser Anlagen gerechnet werden.

Von den Störungen auf der Unterspannungsseite der Unterwerke fallen in Übersicht 8 die Schäden an den 15 kV-Schaltern (37,4 v. H. aller Störungen) besonders auf. Sie sind begründet in der unzureichenden Bauart der Schalter, die den Anforderungen des rauen Bahnbetriebs mit seinen häufigen Kurzschlüssen nicht Rechnung trug. Ein Teil der Lieferer mußte daher die zuerst von ihnen eingebauten Schalter gegen neue, der Eigenart des Bahnbetriebs entsprechende Schalter austauschen; dies hatte zur Folge, daß die Zahl der Ölschalterschäden auf nahezu  $\frac{1}{5}$  von 1925 bis 1927 zurückgegangen ist. Unter Abschnitt III b) wurde bereits auf die üble Wirkung der Kurzschlüsse auf die 15 kV-Schalter und deren Folgen hingewiesen. Ein Schalter, der schon nach ein paar Kurzschlüssen nachgesehen und instandgesetzt werden muß, ist für den Bahnbetrieb nicht brauchbar; 40 bis 60 Kurzschlüsse je nach der Entfernung des Kurzschlußortes vom Schalter, sollten vom letzteren bewältigt werden können; erst dann ist er als ein für den Vollbahnbetrieb geeigneter 15 kV-Schalter anzusprechen.

Textabb. 18a und b zeigen einige Beispiele von der Wirkung der Kurzschlüsse auf Ölschalter, die zum Teil den Anforderungen nicht entsprachen: Teilbild 1 veranschaulicht die Wirkung des Überschlages von der spannungführenden Befestigungsschelle eines Vorkontaktbolzens nach geerdeten Teilen des Schalttraversen-Antriebs, eingeleitet durch Schlammablagerung auf dem wagrecht angeordneten Hartpapierrohr der Traverse. In Teilbild 2 ist das Austreten der Füllmasse des Porzellan-Durchführungsisolators gut erkennbar, welcher infolge eines Überschlagfeuers von spannungführenden Teilen oberhalb der Löschkammern nach den geerdeten seitlichen Seitenwänden des Kessels platzte; Ursache: zu großer Ölverlust infolge eines Kurzschlusses. Teilbild 3 zeigt die Überschlagwirkung zwischen zwei einander nicht zugeordneten Kontaktpunkten einer Vierfachunterbrechung, vermutlich hervorgerufen durch eine große Gasblase, die beim Kurzschluß durch die Ölschicht zwischen den beiden Kontakten hindurch wanderte. Der in Teilbild 4 dargestellte Schaden bestand in einem Überschlag von dem spannungführenden Bolzen eines Durchführungsisolators zum geerdeten Seitenwandblech des Ölkessels; unmittelbarer Grund: zu großer Ölverlust beim Kurzschluß; ungenügende Auskleidung des Kessels. Auch aus Teilbild 5 ist die Wirkung von Überschlägen ersichtlich, welche infolge zu großen Ölverlustes von spannungführenden Teilen (Kontaktfedern) auf geerdete Teile (Antriebswelle, Hebel, Ölkesselunterteil) eintraten.

Auf Grund der gewonnenen Erfahrungen muß von einem 15 kV-Bahnstrom-Ölschalter verlangt werden, daß er eine höchste Abschalt-Leistung bewältigt, die zwischen 300000 und 400000 kVA liegt. Hierbei soll die Abschaltzeit möglichst klein sein, jedenfalls nicht über drei Perioden betragen. Auch dann, wenn die Durchschlagfestigkeit des Schalteröles durch die Schaltvorgänge bereits erheblich, etwa auf 40 kV/cm gesunken ist, soll der Ölschalter noch eine Leistung von mindestens 200000 kVA abschalten können. Es ist zuzugeben, daß diese Bedingungen für den Schalter sehr schwere sind; wegen der Stromwirkung bei Kurzschlüssen und deren üblen

Folgen auf die Unterwerke und die Streckenausrüstung muß jedoch die Abschaltzeit so gering als möglich sein. In gleicher Weise wie für jeden mechanischen Bauteil auch unter den ungünstigsten Belastungsverhältnissen noch ein gewisser Sicherheitsgrad gegen Bruch vorhanden sein muß, ist auch von den elektrischen Einrichtungen, insbesondere von einem für die elektrische Zugförderung so wichtigen Bestandteil wie die 15 kV-Schalter zu fordern, daß sie den im Eisenbahn-

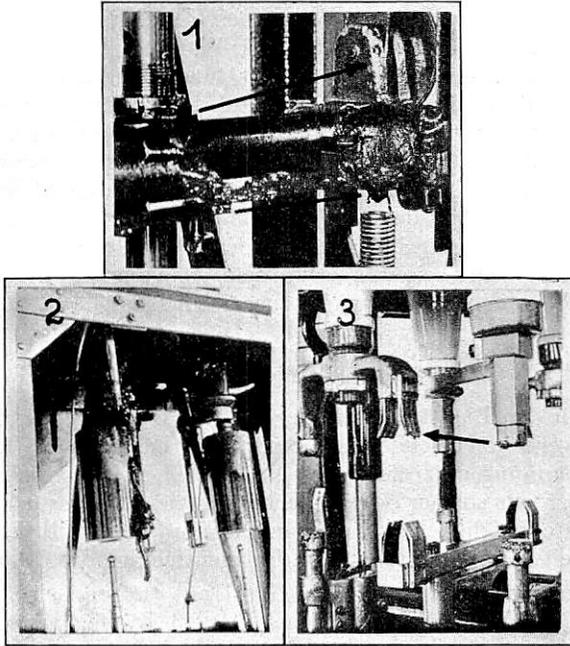


Abb. 18 a.

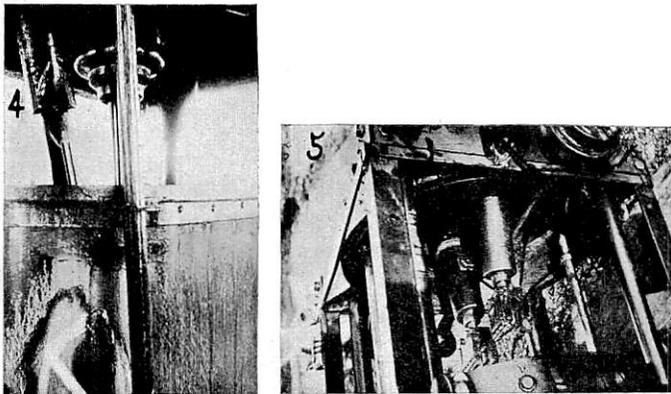


Abb. 18 b.

Abb. 18 a und b. Schäden an 15 kV-Bahnstrom-Ölschaltern.

betriebe nicht vermeidbaren, durch die Einwirkung von Ruß und Witterung sich unter Umständen häufenden Höchstbeanspruchungen in elektrischer Hinsicht mit mehrfacher Sicherheit gewachsen sind. Bereits bei der derzeitigen Ausnützung der Kraftquellen und der Unterwerke treten Stoßkurzschlußströme auf, die eine recht ansehnliche Höhe erreichen; sie errechnen sich unter Benützung des für 50-periodige Schenkelpolmaschinen mit Dämpferwicklung angewendeten Mittelwertes für die Kurzschlußziffer (1,8) nach der bekannten Formel:

$$J_s = 1,8 \times J_n \frac{\sqrt{2}}{\varepsilon \%};$$

hiernach ergibt sich, wenn drei Umspanner im Unterwerk Pasing arbeiten, bei zwei im Walchenseewerke im Betrieb befindlichen Stromerzeugern ein Stoßwert von  $J_s = 7000 A_{\max}$ ,

bei drei Stromerzeugern im Walchenseewerk ein solcher von  $J_s = 9800 A_{\max}$ , bei einem im Walchenseewerke und zwei bei der Mittleren Isar im Betrieb befindlichen Stromerzeugern ein Stoßwert von  $J_s = 14200 A_{\max}$ .

Infolge der häufigen in den ersten Betriebsjahren vorgekommenen Störungen an den 15 kV-Schaltern wurden eingehende Untersuchungen mit verschiedenen Schalter-Bauarten durchgeführt; erst diese Versuche brachten den Bauanstalten, welchen die Leistungen eines  $16\frac{2}{3}$ periodigen Netzes in der erforderlichen Höhe nicht zur Verfügung standen, wertvolle Aufschlüsse über die beim Bau von Bahnstromschaltern anzuwendenden Grundsätze. Die nachfolgende Übersicht 9 zeigt das nach oszillographischen Aufnahmen ausgewertete Ergebnis einiger ausgeführter Kurzschlußversuche mit Schalterbauarten, die den zu stellenden Anforderungen am nächsten kommen. Die letzteren lassen sich, wie folgt zusammenfassen:

Sofern der Schalterkessel in einem Gestell befestigt wird, muß diese Befestigung sehr kräftig durchgeführt werden; auch das Gestell muß auf seiner Unterlage zuverlässig festgemacht sein, damit sich der Schalter bei Kurzschlüssen nicht in seiner Lage verändern kann. Der Kessel soll rasch abgesenkt werden können; Seile haben sich hierfür nicht bewährt. Eckige Querschnittsform des Kessels ist nachteiliger als die Kreisform; sorgfältige Schweißung an der Stoßstelle der Kesselbleche; der Kesselboden soll gewölbt sein mit Abzapfrohr am tiefsten Punkte. Im Innern des Kessels hat sich die Auskleidung mit einem Isoliermantel vom Deckel bis zum Kesselboden als sehr vorteilhaft erwiesen; der Abstand zwischen Kesselwandung und Isoliermantel soll so groß sein, daß die Durchschlagfestigkeit der dazwischen liegenden Ölschicht ein mehrfaches der Betriebsspannung beträgt (15 bis 20 mm). Der Ölinhalt ist reichlich zu bemessen (400–500

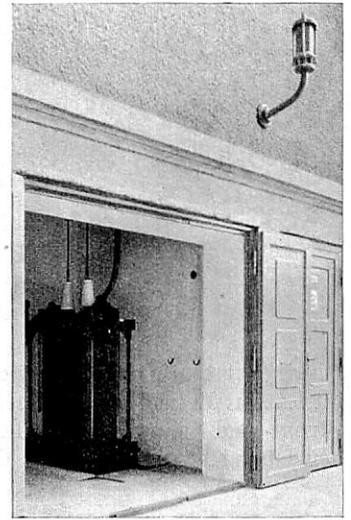


Abb. 19. Bahnstrom-Ölschalter für 15 kV mit hochgezogenem Auspuffrohr und Topf oberhalb der Zelle (Landshut).

Liter); keine geerdeten Teile im Ölraum innerhalb des Isoliermantels; die Unterbrechungsstellen möglichst tief unter dem Ölspiegel anordnen und zwar reichlich weit vom Isoliermantel entfernt; großer Abstand der Schaltkontakte vom Kesselboden, wo sich die Ausscheidungen nach den Kurzschlüssen ansammeln. Die Deckeldurchführungen sind tief ins Öl hinabzuführen, jedoch nicht unmittelbar bis über die Kontakte reichend. Bei Vielfachunterbrechung ist die Entfernung zwischen den einzelnen Unterbrechungsstellen reichlich zu wählen, um ein Überspringen von Abschaltfeuer zwischen zwei einander zugeordneten Stellen auf benachbarte Kontaktpaare zu verhindern; womöglich Trennwände zwischen solchen Kontakten einbauen. Bei Löschkammern sind die Gasblasen schräg nach oben abzulenken; leicht auswechselbare Schutzringe vor Eintritt des Stiftes in die abgefetteten Kontakte erleichtern die Unterhaltung. Isolierstreifen sind besser senkrecht als wagrecht anzuordnen, da im letzten Falle sich leicht Kriechwege bilden. Keine Schutz-(Vorstufen-)Widerstände innerhalb des Schalterkessels. Die Antriebsvorrichtung ist so auszubilden, daß beschleunigte Schalterteile am Ende der Ausschaltbewegung gut abgebremst werden. Öl auswurf bei Kurzschluß soll nicht eintreten; Einbau entsprechend geformter Ölfangbleche unter dem Kesseldeckel vorsehen oder noch besser (mit Kies gefüllte) Auspufftöpfe anordnen, welche die Gase ins Freie entweichen lassen und ein Zurückfließen des ausgeschleuderten Öles in den Kessel ermöglichen; Textabb. 19 zeigt den beim Unterwerk Landshut ausgeführten Einbau solcher Auspufftöpfe oberhalb den 15 kV-Zellen; auch beim Unterwerk Pasing (Textabb. 13) wurden nachträglich solche Töpfe aus Sicherheitsgründen angebracht. Bei den hängenden Ölschaltern (Unterwerk Rosenheim Textabb. 14) fällt das ausgeworfene Öl, soweit es nicht Anfangbleche zurückschleudern, in die offenen Zellen ab und fließt dort, wie aus Textabb. 20 zu entnehmen, am geneigten Boden einer Rohrleitung zu.

Von den anderen in Übersicht 8 verzeichneten Schäden erreichten im ersten Betriebsjahre die unter Ziffer 9 der Zusammenstellung aufgeführten Störungen an den Schalter-

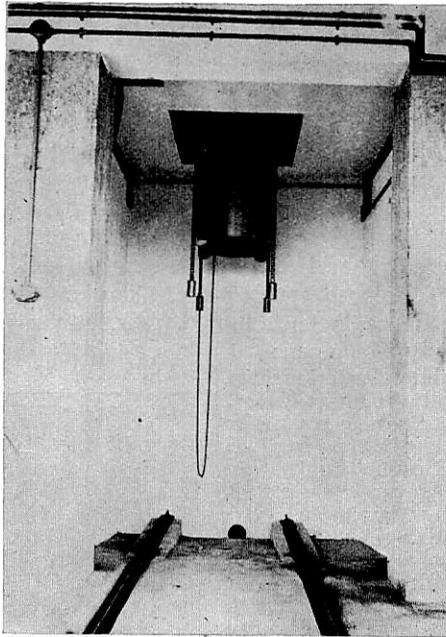


Abb. 20. Hängender 15 kV-Ölschalter in offener Zelle mit Ölabbau im Unterwerk Rosenheim.

betätigungseinrichtungen eine beachtenswerte Zahl; sie sind im letzten Betriebsjahre erheblich zurückgegangen; die an den Strom- und Spannungswandlern eingetretenen Schäden (Ziffer 7 der Übersicht 8) waren in der Regel eine Folge der Kurz-

schlüsse und der damit zusammenhängenden Überspannungen oder von Blitzschlägen. Die Explosion eines Dämpfungswiderstandes einer Überspannungsschutzvorrichtung, der zu klein bemessen war, verlief ohne großen Sachschaden.

Von allen in den Unterwerken aufgetretenen Störungen waren jene an den 15 kV-Schaltern die folgenschwersten; Explosionen und Brand des Ölauswurfes zwangen zu durchgreifenden Maßnahmen sowie zur genauen Erforschung der Ursachen. Trotz der verhältnismäßig großen Sicherheit der neuen, auf Grund der gewonnenen Erfahrungen gebauten Schalter ist auch in Zukunft ihrer Wartung die größte Aufmerksamkeit zu widmen; denn mit zunehmender Kurzschlußleistung infolge des Ausbaues des auf den elektrischen Betrieb umgestellten Netzes wird ihre Beanspruchung größer werden. Deshalb sollten in den Schalterzellen andere Bestandteile, wie Stromwandler, Kabel usw. nicht untergebracht werden. Auch der Ausbildung der 15 kV-Seite der Unterwerke als Freiluftanlage sollte in Ansehung der geschilderten Störungen mehr Augenmerk zugewendet werden, wenn auch ein wirtschaftlicher Vorteil hierdurch nicht zu erreichen ist.

#### d) Bedienung der Unterwerke.

Für den Dienst bei den vier z. Z. im Betriebe befindlichen Unterwerken einschließlich der Schaltbefehlsstelle für das Oberspannungsnetz sind im ganzen 39 Köpfe vorhanden, darunter ein solcher des gehobenen mittleren Dienstes für die genannte Befehlsstelle. Von den 39 Köpfen sind 19 Beamte, 20 Arbeiter, unter den letzteren drei nichtfachhandwerkliche.

Auf 100 km ausgerüstete Gleislänge treffen beim Unterwerk Pasing (ohne Schaltbefehlsstelle) 2,1 Köpfe, beim Unterwerk Murnau 3,0, beim Unterwerk Landshut 4,2, beim Unterwerk Rosenheim 1,5 Köpfe (letztere bezogen auch auf den Bezirk des künftigen Unterwerkes Traunstein).

#### Übersicht 9: Kurzschlußversuche.

O. Z.	Meßergebnis	Einheit	A		B		C	
			Schalter mit Sechsfach-Unterbrechung		Schalter mit 2 Löschkammern		Schnellschalter <sup>1)</sup> Zweifach-Unterbrechung	
			I	II	I	II	mit magnetischem Gebläse I	ohne magnetischem Gebläse II
1	Scheitelwert des Stoßkurzschlußstromes	$A_{max}$	2250	2250	7300	6700	7900	9300
2	Effektivwert des unterbrochenen Stromes	$A_{eff}$	1500	1550	2900	3100	5600	6600
3	Schaltespannung . . . . .	kV	15,3	15,3	15,9	16,1	15,5	14,6
4	Ausschaltleistung (W) . . . . .	MVA	23	24	46	50	87	96
5	Verzögerung (Einstellung des Auslösers)	sec	0	0	1,5	1,5	0	0
6	Gesamte Kurzschlußdauer (Auslösezeit + Eigenzeit + Kurzschlußzeit) . . . . .	sec	0,54	0,51	0,75	1,3	0,027	0,066
7	Lichtbogendauer ( $t_L$ ) . . . . .	$10^{-2}$ sec	6,0	9,7	5,5	6,0	2,35	5,0
8	Relativer Weg <sup>2)</sup> . . . . .	%	32	48	64	65	22	82
9	Abschaltarbeit (A) . . . . .	kWsec	58	138	77	44	94	106
10	Gasmenge . . . . .	Liter	8,8	8,8	7,4	5,9	—	—
11	Gasmenge je 1000 kWsec . . . . .	Liter/1000 kWsec	45	45	96	80	—	—
12	Bauersche Zahl <sup>3)</sup> ( $\alpha$ ) . . . . .	%	4,2	5,9	3,2	2,5	4,6	2,2
13	Mittlere Traversen-Geschwindigkeit . . . . .	m/sec	0,8	0,8	2,3	2,2	2,0	3,0

<sup>1)</sup> Neu entwickelte Versuchsausführung (SSW 1927).

<sup>2)</sup> Das Verhältnis der Lichtbogen-Abreißlänge zur Entfernung zwischen Unterkante des festen Schaltstückes und dem in Ausschaltstellung befindlichen Traversenkontakt („freier Weg“).

<sup>3)</sup> Der Festwert ergibt sich aus  $A_{kWsec} = \alpha \cdot W_{MVA} \cdot t_{Lsec} \cdot 10^{-3}$ .

## IV. Speise- und Fahrleitungen.

### 1. Speiseleitungen.

Die Verbindungsleitungen zwischen den Sammelschienen der Unterwerke und den Fahrleitungen sind im allgemeinen von kurzer Länge. Sie wurden entweder verkabelt oder als Freileitungen verlegt. Die Isolation der Kabel wurde für 35 kV Betriebsspannung bemessen; ihre elektrische Sicherheit ist daher sehr groß; außer einigen Schäden an den Endverschlüssen, die wohl auf Fehler beim Einbau zurückzuführen sind, kamen Störungen nicht vor; als vorteilhaft erwies es sich, die Kabel über Hörnerschalter an die Fahrleitung anzuschließen, um sie im Bedarfsfalle rasch und ohne den Eisenbahnbetrieb zu behindern außer Spannung setzen zu können. Die als Freileitungen verlegten Speiseleitungen erwiesen sich, soweit sie an Hängeisolatoren befestigt sind, als durchaus betriebssicher, weniger die auf Stützen verlegten Leitungen. In größerem Ausmaße sind solche Freileitungen nur bei der Garmischer Liniengruppe vorhanden wegen der bei eingeleisigen Strecken (Tutzing—Garmisch, Tutzing—Kochel)

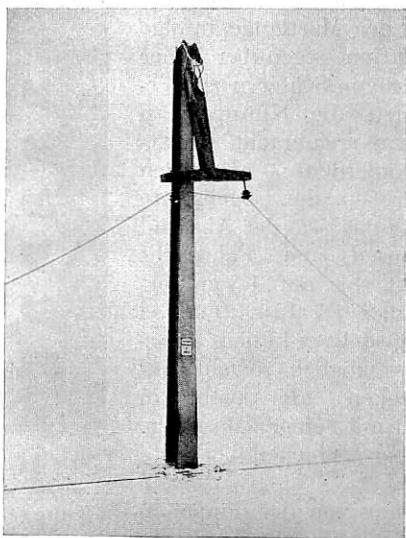


Abb. 21. Umbruch der 15 kV-Speiseleitung Murnau-Penzberg (Betonmaste).

notwendigen besonderen Speiseschaltung; ihre Länge beträgt rund 98 km, hiervon 82 km oder 85 v. H. auf dem Fahrleitungsgestänge verlegt, der Rest von 16 km (Leitung Murnau—Penzberg zur Speisung des Abschnittes Tutzing—Kochel) abseits der Bahnlinie. Die letztgenannte Leitung war ursprünglich als Doppelleitung auf Stützisolatoren verlegt, wobei die eine Leitung an Erde gelegt war und im Bedarfsfalle als Speiseleitung benützt werden sollte. Diese Schaltung erwies sich im Zusammenhang mit der ursprünglich verwendeten Isolatorenbauart (Stützglocken) als unhaltbar. Trotz der besonders groß gewählten Länge der Stützbolzen kamen wiederholt Kurzschlüsse durch Vögel (Krähen) vor, die bei der verhältnismäßig schlechten Erdung der angewendeten Betonmaste ein Abschmelzen des Leiters bewirkten. Nachdem zweimal je ein Abspannfeld in der aus Textabb. 21 ersichtlichen Weise zusammengebrochen war, wurden statt der Stützer Hängeisolatoren auf der einen Leitung eingebaut, die zweite Leitung dauernd an Erde gelegt und die Befestigungsteile der ersteren mit dieser verbunden; die Störungen waren damit beseitigt.

### 2. Fahrleitungen.

#### a) Bauform.

Der Aufbau der elektrischen Streckenausrüstung hat seit Beginn der Bauarbeiten (1921) nicht unerhebliche Wand-

lungen erfahren. Bei den ersten nach dem Kriege auf den elektrischen Betrieb umgestellten Linien (Garmischer Gruppe, München—Landshut) lehnte sich die Ausführung im allgemeinen an die alten Bauformen an, die auf den schon früher für elektrischen Betrieb eingerichteten Strecken benützt wurden. In Übereinstimmung mit den von der Reichsbahn erlassenen grundsätzlichen Vorschriften wurden jedoch bereits seit 1921 die Fahrleitungen an einem festgelagerten Tragseil aufgehängt und mit einem Zuge von 10 kg/mm<sup>2</sup> selbsttätig nachgespannt (Einheitsfahrleitung\*), wobei der Abstand der Nachspannfelder nicht größer als 1500 m gewählt worden ist. Der Fahrdraht wurde in Abständen von 12,5 m am Tragseil aufgehängt und so verlegt, daß seine Unterkante im nicht angehobenen Zustande und unter den ungünstigsten Witterungsverhältnissen nicht unter 6,0 und nicht über 6,5 m über Schienenoberkante liegt, außer unter Überbauten, bei welchen besondere Maßnahmen erforderlich sind. Die Abstände der Tragvorrichtungen wurden bei den zuerst umgestellten Linien auf gerader Strecke noch zwischen 80 und 90 m gewählt; obwohl mit dieser Mastteilung sich größere Anstände (Bügelentgleisungen) nicht ergaben, wurde in Ansehung der anderwärts gemachten Erfahrungen und der aus diesem Grunde durchgeführten genauen Untersuchungen\*\*) über den Einfluß des Winddruckes auf Kettenfahrleitungen mit selbsttätig nachgespannten Fahrdrähten in der Folge mit der Mastteilung auf einen Höchstwert von 75 m bei gerader Strecke zurückgegangen. Letzteres war um so mehr geboten, als mit der Herstellung durchschlag-sicherer Isolatoren an Stelle von auf Böcken oder Stützen festgemachten Glocken zu Isolatoren hängender Bauform übergegangen werden konnte; letztere ermöglichen aber im gewissen Grad ein Ausschlagen der Kette im Stützpunkt infolge des Winddruckes, erfordern also kleinere Mastteilung. Auch die ursprünglich zu  $\pm 0,6$  m ausgeführte Seitenverschiebung des Fahrdrähtes zur Gleisachse infolge des Zickzacks konnte bei der festgelegten Breite des Stromabnehmerbügels (2100 mm bei 1300 mm Schleifstückbreite) der Triebfahrzeuge nicht aufrecht erhalten werden; die starken Seitenschwankungen der letzteren und das Seitenspiel der Abnehmerbügel infolge ihrer Abfederung sowie infolge ungenauer Gleislage und dergl. zwangen dazu, den Zickzack auf  $\pm 0,5$  m zurückzunehmen; eine Verringerung der Seitenverschiebung ermöglicht nun eine geringere Vergrößerung des Mastabstandes (etwa 4 v. H.), wodurch der Nachteil des Einbaues von hängenden Isolatoren und des hierdurch bedingten Ausschlagens der Kette bei Windbelastung senkrecht zur Gleisachse wieder ausgeglichen ist. Die Windsteifigkeit der Ketten wurde übrigens noch erhöht durch den Übergang von der lotrechten zur halbwind-schiefen Fahrdrahtaufhängung, in welcher alle seit 1924 gebauten Fahrleitungen ausgelegt sind. Während nämlich vor diesem Zeitpunkt das Tragseil am Ausleger des Stützpunktes so aufgehängt wurde, daß Fahrdraht und Tragseil an dieser Stelle senkrecht untereinander lagen, das Tragseil also den Zickzack des Fahrdrähtes mitmachte, führten die angestellten Untersuchungen über den Windabtrieb der Fahrleitungen zur Erkenntnis, daß es vorteilhaft ist, das Tragseil so auszulegen, daß es die Seitenverschiebung des Fahrdrähtes nicht mitmacht, sondern in der Gleisachse durchläuft. Durch diese halbwind-schiefe Aufhängung wird eine Verspannung des Kettenwerkes erzielt, welche dem Windabtrieb entgegenwirkt. Auf einer Strecke von geringer Länge wurde auch ein Versuch mit einer ganz wind-schiefen Aufhängung gemacht, bei der das Tragseil gegenläufig zum Fahrdraht im Zickzack verlegt ist. Die Windsteifigkeit einer solchen Kette ist noch größer als jene einer halbwind-schief ausgelegten; gewisse Befürchtungen hinsichtlich der Unter-

\* Elektrische Bahnen 1926, Heft 2, S. 50 bis 57.

\*\* Organ 1924, Heft 9/10, S. 197 bis 205.

haltung der ersteren Bauart sowie hinsichtlich der ungleichmäßigen Abnutzung der Bügelschleifstücke waren jedoch die Veranlassung, sich mit der halbwindstiefen Verspannung nach Textabb. 22 zu begnügen, nach welcher die Fahrleitungen des überwiegenden Teiles der umgestellten Linien gebaut sind.

Das äußere Ansehen solcher Streckenausrüstungen wurde wesentlich und zwar im günstigen Sinne beeinflusst durch den Einbau von hängenden Isolatoren. Bei den zuerst in die neue Betriebsform übergeführten Linien wurden noch die schon vor dem Kriege benützten Einfach- und Doppelglocken (Diabolo) verwendet, die auf einer wagrechten Achse mit Hilfe von stehenden Böcken an wagrechten Auslegern, auf Bahnhöfen in Tempergußrahmen oder in einer Seilverspannung mit Spreizen angebracht wurden. Jeder Stützpunkt erfordert bei dieser Anordnung sechs Isolatoren, nämlich vier Einfach- und zwei Doppelglocken; das Porzellangewicht je Stützpunkt betrug hierbei 29 kg. Da jeder Isolator eine Störungsquelle bedeutet, ist eine Verringerung der Zahl der in die Fahr-

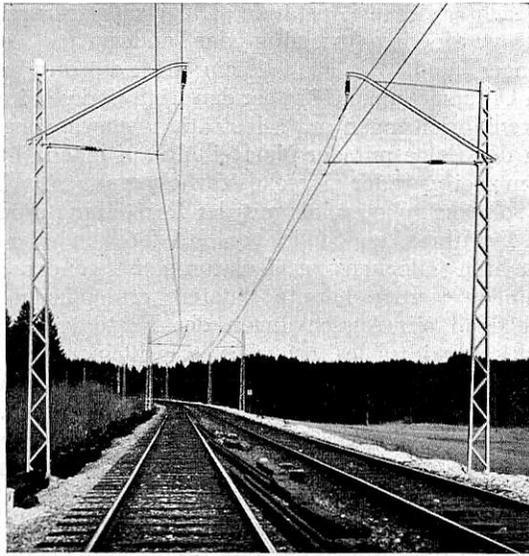


Abb. 22. Halbwindstiefe Kettenaufhängung mit Schrägausleger und Knüppelisolatoren.

leitung eingebauten Isolatoren zugleich eine Erhöhung der Betriebssicherheit. Der erste Versuch, die Zahl der Isolatoren durch Verwendung von Hängeisolatoren zu vermindern, wurde auf den Linien Weilheim—Peißenberg und Pasing—Herrsching gemacht; bei ersterer wurden Doppel-Doppelkopf-Isolatoren, bei letzterer zweigliedrige Ketten von V-Isolatoren eingebaut. Damit war die Zahl der Isolatoren je Stützpunkt zwar auf vier gesunken, die doppelte Isolation und die Beanspruchung des Porzellans auf Druck jedoch noch beibehalten. Als die Herstellung von Stabisolatoren aus Steatit und der hierdurch eingeleitete Wettbewerb auch die Porzellanfabriken bestimmte, durchschlagsichere Knüppel aus besonders fester Masse auf den Markt zu bringen, konnte der Schritt, einfache Isolation im Fahrleitungsbau anzuwenden, gewagt werden.

Nachdem Probeausführungen in einigen Bahnhöfen keine Anstände ergaben, wurde bei der elektrischen Ausrüstung der 99 km langen Doppelbahn München—Kufstein der erste Großversuch mit Knüppelisolatoren für die Befestigung des Trageiles und des Seitenhalters durchgeführt. Beim letzteren gelang es durch Zwischenschaltung eines U-Eisens den Abstand spannungführender Teile vom Mast erheblich zu vergrößern. Die verwendeten Knüppel von 60 mm Strunk- und 100 mm Rillendurchmesser wurden mit 4800 kg vorgeprüft; ihre durchschnittliche Zugfestigkeit liegt zwischen 6000 und 8000 kg bei Porzellan, noch höher bei Steatit. Die

auf genannter Strecke eingebauten Stäbe sind mit sechs gewöhnlichen Rillen versehen. Schon im Prüffeld wurde erkannt, daß ihre elektrische Sicherheit gegen Überschlag in wagrechter Lage nicht unwesentlich günstiger ist als bei lotrechter Aufhängung des Stabes. Diese Tatsache wurde namentlich dort durch die Erfahrung bestätigt, wo gemischte Betriebsweise eine starke Verruung der Knüppel bewirkt. Deshalb wurde beim Bau der Streckenausrüstung München—Nannhofen und Rosenheim—Freilassing dazu übergegangen, unter Vergrößerung des Rillendurchmessers auf 120 mm die Rillen in der aus Textabb. 23 ersichtlichen Weise schirmartig und mit Tropfkanten auszubilden. Da die Häufung der Rillen keine wesentlichen Vorteile bietet, wurde deren Zahl auf vier herabgesetzt, was sich als ausreichend erwies. Das Porzellangewicht je Stützpunkt (im ganzen zwei Knüppel) ist bei dieser einfachen Isolation auf 6,8 kg herabgedrückt, beträgt also weniger als  $\frac{1}{4}$  des Porzellangewichts der früher verwendeten doppelten Isolation mit Einfach- und Doppelglocken. Auch das Gewicht der Befestigungsteile ist erheblich kleiner als bei der alten Bauform. Um eine Vergrößerung der Mastlänge infolge der Hängeisolation gegenüber jener bei Anwendung von Stützern zu vermeiden, wurden die Knüppel an Schrägauslegern angebracht (Textabb. 22) und außerdem — abgesehen in Bahnhöfen — die sogenannte „Systemhöhe“, das ist der Abstand zwischen Trageil und Fahrdraht am Stützpunkt, bis auf 1,3 m verringert gegenüber 1,7 bis 1,9 m bei den zuerst umgestellten Linien. Hierdurch war es möglich sowohl auf geraden Strecken als auch in Krümmungen mit einer Masthöhe von 8,2 m über Schienenoberkante auszukommen.

Der Übergang von der doppelten zur einfachen Isolation mit Knüppeln in der aus Textabb. 22 ersichtlichen

Weise bedeutet daher nicht bloß eine Vergrößerung der Betriebssicherheit und eine Vereinfachung der Bauform wegen der verringerten Zahl der Isolatoren je Kilometer Streckenlänge, sondern auch einen großen wirtschaftlichen Gewinn. Dazu kommt, daß der mit Kappe und Öse versehene Knüppelisolator überall verwendet werden kann; selbst in Streckentrennern ist er, wenn diese entsprechend ausgebildet werden, leicht einzubauen, wenn auch zuzugeben ist, daß bei Bruch dieses Isolators in Streckentrennern die Folgen weit übler sind als beim Versagen von Streckentrennern mit einem Isolatorkörper, der auf Druck beansprucht wird.

In Bahnhöfen wurde das Kettenwerk grundsätzlich in Querseilaufhängungen eingebaut. Die Erfahrungen mit letzteren sind durchaus günstig. Es hat sich gezeigt, daß es vorteilhaft ist, Zwischenmaste, sogenannte Pendelstützen, zu vermeiden und die Maste möglichst weit von den Gleisen an den Bahnhofseiten abzurücken. In großen Bahnhöfen wurde die Querseilaufhängung bis über 16 Gleise ausgedehnt; die Maste wurden dabei bis zu 20 m hoch. Die Auswahl der Maststandorte muß sehr gewissenhaft geprüft werden; denn die in Bahnhöfen vorkommenden Entgleisungen bilden eine nicht geringe Gefahr für die Streckenausrüstung; insbesondere ist, wo nur irgend möglich, die Nähe von Prellböcken für die Aufstellung der Maste zu vermeiden. Textabb. 24 veranschaulicht die Folgen des Überrennens eines Prellbockes durch eine Verschiebung auf die Fahrleitungsanlage.

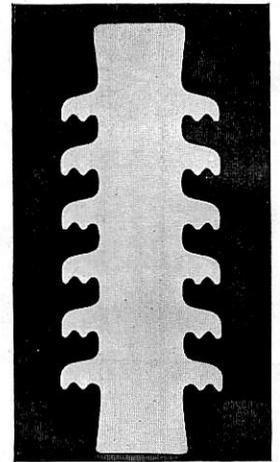


Abb. 23. Querschnitt eines sechsrippigen Knüppelisolators mit Tropfkanten.

Bis vor kurzem wurden Trag- und Richtseile der Querseilaufhängungen geerdet eingebaut; dies hat den Vorteil, daß die Länge der spannungsführenden Leitungen möglichst gering ist und Verschiebungen des Kettenwerkes bei Änderung der Spuranlagen senkrecht zu diesen leicht durchzuführen sind. Bei geerdeten Richtseilen müssen jedoch zum Befestigen der Seitenhalter besondere Rohrstützen eingebaut werden, wie aus Textabb. 25 ersichtlich ist. Diese können entfallen, wenn das untere Richtseil unter Spannung gehalten wird; diese Anordnung wurde auf dem Abschnitt Rosenheim—Freilassing erstmals in allen Bahnhöfen ausgeführt. Die äußere Form der Querseilaufhängung wird, wie Textabb. 26 zeigt, noch durchsichtiger als bei geerdeten Richtseilen. Die Seitenhalter werden in einfacher Weise an das untere Richtseil angeklemt. In letzteres müssen entsprechend der Zahl der Schaltgruppen Isolatoren eingebaut werden; das Richtseil muß also öfters aufgeschnitten werden. Eine Verschiebung des Seitenhalters bei Änderungen der Spur ist nur beschränkt möglich, wenn nicht die Isolatoren im Richtseil ausgebaut werden. In Bahnhöfen mit starken Gleiskrümmungen genügt es nicht, das untere Richtseil allein unter Spannung zu nehmen, sondern auch das obere ist unter Spannung zu setzen, um unzulässige Schräglagen der Tragseilisolatoren zu vermeiden; hierdurch ist es nötig, auch das obere Richtseil aufzuschneiden und Isolatoren wie im unteren einzusetzen.

Von den übrigen Teilen der Streckenausrüstung ist zu berichten, daß die ursprünglich allgemein angewendete Gewichtsnachspannung mit Ketten bei späteren Ausführungen verlassen wurde, weil sie bei Vereisung der Ketten und Rollen im Winter nicht mehr einwandfrei arbeitete. Zunächst (München—Rosenheim) wurden anstatt der Ketten seemäßig verzinkte Seile angewendet, die über Rollen geführt sind. Um beim Reißen des Fahrdrabtes oder Bruch des Isolators ein Abfallen der Gewichte und damit ein Verziehen des Kettenwerkes zu vermeiden, wurden in diese Nachspanner Fangvorrichtungen in der aus Textabb. 27 ersichtlichen Weise eingebaut; die beiderseits vorgezogenen Enden der Rollenachse fallen in eine Doppelzahnstange ein. Noch vorteilhafter sind die von Dipl.-Ing. Hannes angegebenen Winkel-Hebel-Nachspanner nach Textabb. 28, die auf den Abschnitten Pasing—Nannhofen und Rosenheim—Freilassing eingebaut wurden und sich bisher in jeder Hinsicht bewährten; bei dieser entfallen Rollen und Seile ganz; der mit zwei Zahnsegmenten ausgerüstete Winkelhebel ist in einer Konsole gelagert, die sich in der Richtung des Fahrdrabtzuges einstellen kann und zugleich in dieser Richtung eine geringe Verschiebbarkeit besitzt; letztere bewirkt beim Eintreten der Entlastung, daß die Konsole um etwa 5 bis 8 mm verschoben wird, wodurch ein Klinkenträger in die Zahnsegmente eingreifen kann.

Der Einbau von Fahrleitungen unter Überbauten zwang nicht nur in vielen Fällen zu besonderen Maßnahmen, um die in den Vorschriften\*) geforderte Höhe des Fahrdrabtes über Schienenoberkante zu erreichen, sondern führte auch im Betriebe zu manchen Schwierigkeiten, namentlich in jenen Gleisabschnitten, die zugleich von Dampflokomotiven benützt werden. Möglichst große

Lichthöhen unter Überbauten sind besonders bei Güterbahnen— soweit wirtschaftlich tragbar — anzustreben. Der früher häufig angewendete Einbau von Gleitschienen zur Begrenzung des

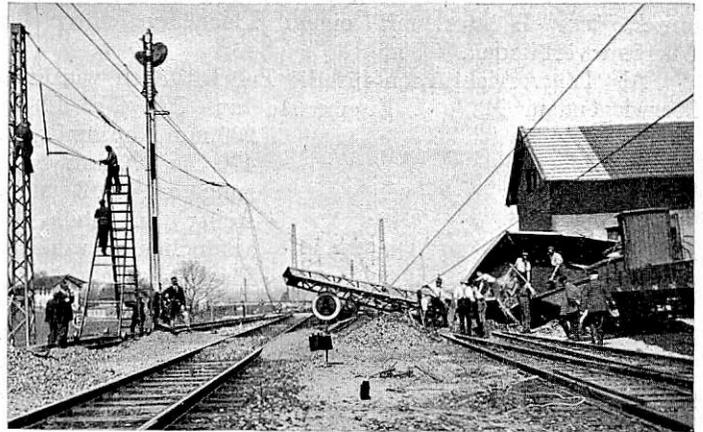


Abb. 24. Sperrung der Doppelbahn durch einen beim Verschiebedienst umgefahrenen Fahrleitungsmast.

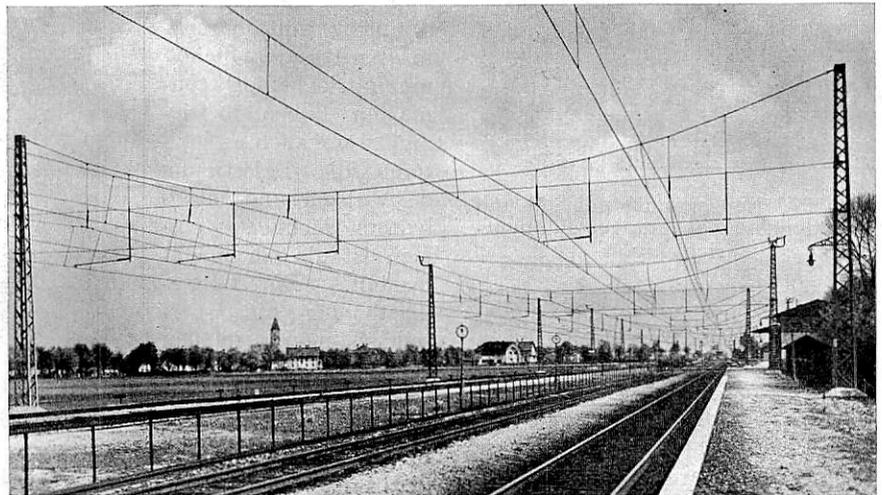


Abb. 25. Querseilaufhängung mit geerdeten Richtseilen und Stabisolatoren.



Abb. 26. Querseilaufhängung mit unter Spannung stehendem Richtseil und Stabisolatoren.

Anhubes des Fahrdrabtes unter Überbauten durch die Stromabnehmer kann in Fällen, in denen die Breite des Überbaues nicht größer als 16 m ist, entfallen, wenn Federringe

\*) Organ 1923, S. 95.

aus nicht rostendem Stahl in der aus Textabb. 29 ersichtlichen Weise beiderseits des Überbaues zwischen Fahrdrabt und Tragsseil eingesetzt werden. Letzteres wird dann nicht auf jeder Seite abgespannt, sondern die beiden Enden werden hinter dem Isolator mit einem Flacheisen unter dem Überbau verbunden.

Als Tragvorrichtungen für die Fahrleitungen wurden in überwiegendem Maße U-Eisenmaste aus NP Nr. 12 mit 200 mm Kopfbreite und 470 bis 570 mm Spreizung am Fuß aufgestellt; an Stelle der anfänglich verwendeten Flacheisenschnecke zwischen den Schenkeln der U-Eisenstiele wurden später Schrägen aus  $\Gamma$ -Eisen an der Schenkelninnenseite angeietet; das Widerstandsmoment wird hierdurch vergrößert. Versuche auf kleinen Abschnitten mit Streckmasten Bauart „Jucho“ und mit Schleuderbetonmasten haben befriedigt, wenn auch an letzteren die Befestigung des Auslegers und Seitenhalters nicht so einfach ist als bei Flachmasten. Die Gittermaste für die Querseilaufhängung in den Bahnhöfen wurden fast durchweg als Aufsetzmaste ausgebildet; in neuerer Zeit wurde der Fuß dieser Maste nach der der Bauanstalt Mitterer (Regensburg) geschützten Bauart ausgeführt, bei welcher zwei aus einem Grey-Träger herausgeschnittenen Teile unter Verwendung von Knotenblechen mit den Stielen verbunden werden. Der Vorzug der Aufsetzmaste trat besonders dort in Erscheinung, wo infolge von Bahnhofumbauten oder Unfällen ein rascher Ersatz der Maste sich als notwendig erwies.

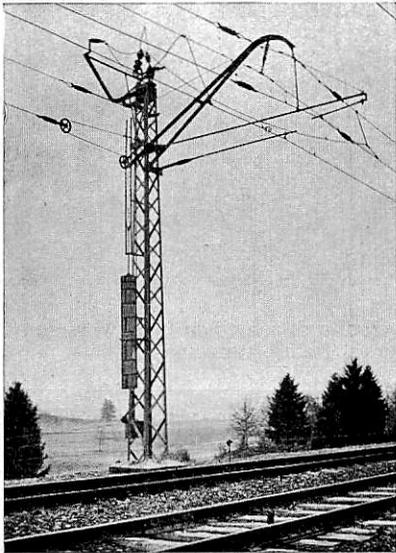


Abb. 27. Nachspanner mit Seil und Rollen nebst Zahnstangen-Fangvorrichtung.

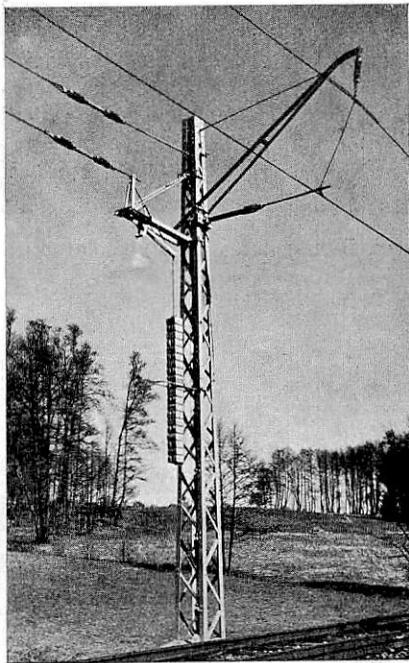


Abb. 28. Hebelnachspanner mit Fahrdrabt Bruchsperr Bauart Hannes.

#### b) Speiseschaltung\*)

Alle zwischen zwei Unterwerken liegenden Fahrleitungsabschnitte sind zweiseitig gespeist; dies ist durch Anordnung selbsttätiger Kupplungsschalter an den Unterwerksgrenzen erreicht; an diesen Stellen sind in die Fahrleitungen kurze Abschnitte eingefügt, die als Schutzstrecken ausgebildet

sind. Letzteres ist nötig, weil nicht eine einzige Kraftquelle vorhanden ist, sondern mehrere Werke gleichzeitig auf das Oberspannungsnetz arbeiten; bei Störungen in der Fernübertragung kann daher der Fall eintreten, daß die Kraftwerke nicht mehr synchron arbeiten, die 15 kV-Seiten der einzelnen Unterwerke infolgedessen auch nicht mehr synchron sind. Dies könnte zu großen Spannungserhöhungen und auch zu Kurzschlüssen führen; die selbsttätigen Kupplungsschalter an den Schutzstrecken sind daher so ausgebildet, daß sie in der Regelstellung („ein“) nicht bloß die Fahrleitungen beider Unterwerke verbinden und die Schutzstrecke unter Spannung halten, sondern die Unterwerkbezirke auch selbsttätig trennen, wenn die Kraftwerke nicht mehr synchron arbeiten oder eine Störung auf einem Fahrleitungsabschnitt eintritt. Die Änderung des Schaltzustandes wird dem Führer der Triebfahrzeuge durch besondere Signale angekündigt; die Zeichen der letzteren sind vor kurzem durch internationale Vereinbarung\*) vereinheitlicht worden. Bei aufgetrennter Speiseschaltung hat der Führer den Ölwechsler des Triebfahrzeuges auszulegen. Beim Regelbetrieb hängen die Sammelschienen aller Unter-

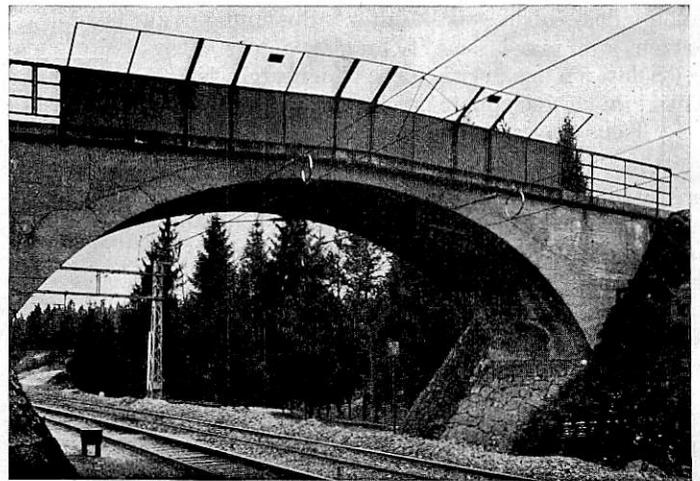


Abb. 29. Federnder Stahlring als Fahrdrabt-Hubbegrenzer unter Überbauten.

werke (Pasing, Landshut, Murnau, Rosenheim) über die Fahrleitungen und selbsttätigen Kupplungsschalter zusammen. Sinkt daher in einem Unterwerke infolge hoher Belastung die Sammelschienen Spannung, so unterstützt das benachbarte Unterwerk das erstere durch Arbeitsabgabe über die Fahrleitungen; damit wird nicht nur eine nicht unwesentliche Verbesserung der Spannungsverhältnisse in der Fahrleitung erzielt, sondern auch die Notwendigkeit einer Erhöhung der in den Unterwerken eingebauten Transformatorenleistung bei zunehmendem Verkehre zeitlich hinausgeschoben. Der Einbau der Kupplungsschalter ist wegen der hohen an diese gestellten Anforderungen zwar ziemlich verwickelt, doch konnten die anfänglich aufgetretenen Mängel, die hauptsächlich in der Einstellung des Relais begründet waren, bald gemeistert werden; sie arbeiten jetzt einwandfrei; die sofortige Aufteilung der zwischen zwei Unterwerken gelegenen Abschnitte ermöglicht eine rasche Eingrenzung der Störungsstellen.

Bei Doppelbahnen ist jede Fahrriichtung gesondert gespeist; eine Ausnahme hiervon bildet nur der vorübergehend einseitig gespeiste Abschnitt Pasing—Nannhofen und der Abschnitt Traunstein—Freilassing; beim ersteren ist in Station Maisach, beim letzteren in Station Freilassing ein selbsttätiger Kupplungsschalter zwischen beide Fahrriichtungen eingebaut; auch diese Speiseschaltung hat sich bewährt,

\*) Elektrische Bahnen 1927, Heft 1, S. 6 bis 31.

\*) Elektrische Bahnen 1928, Heft 7, S. 196 bis 199.

so daß ins Auge gefaßt ist, sie gleichzeitig neben der erstgenannten zu verwenden, denn hierdurch werden nicht nur die Spannungsverhältnisse auf der Fahrleitung erheblich verbessert, sondern auch die Arbeitsverluste geringer, weil für den Regelzustand der doppelte Querschnitt verfügbar ist. Sind diese Verluste auf den zweiseitig gespeisten Abschnitten mit nur etwa 4 v. H. im Jahresdurchschnitt anzusetzen, so können bei einem Jahresarbeitsverbrauch von rund  $70 \cdot 10^6$  kWh auf diesen Strecken etwa rund  $1,5 \cdot 10^6$  kWh/Jahr an Verlusten gespart werden.

#### e) Streckenschaltung.

Die beiderseits der Stationen — ausnahmslos jener ohne Überholungsgleis — in die Fahrleitungen eingebauten Streckenschalter (Freiluft-Hörnerschalter), welche zum Eingrenzen von Fahrleitungsstörungen nötig sind, wurden auf einzelnen Linien anfänglich versuchsweise in Abhängigkeit gesetzt mit der Stellung der Einfahrsignale; dies konnte bei Bahnhöfen, die mit mechanischen Stellwerken ausgestattet sind, in einfacher Weise durchgeführt werden, wenn die Betätigung der Schalter von den Stellwerken aus mit den gleichen Hebelvorrichtungen und Drahtzügen wie jene der Signale und Weichen durchgeführt wurde. Die Einfahrsignale können bei dieser Anordnung und bei abgeschalteter Fahrleitung der Bahnhöfe nur auf Fahrt gezogen werden, wenn vorher die Abhängigkeit zwischen Schalter und Signal beseitigt ist. Die Erfahrung lehrte, daß im allgemeinen die Ausführung einer solchen Abhängigkeit nicht erforderlich ist. Sie wurde auf den in den letzten Jahren neu umgestellten Linien nicht mehr angewendet. An Stelle von mechanisch mit Drahtzügen bedienten Streckenschaltern, die bei Vereisung der Züge nicht selten versagen, wurde elektrische Fernbedienung in erhöhtem Maße angewendet, so z. B. auf allen Stationen des Abschnittes Rosenheim—Freilassing; diese Fernbedienung ist nicht bloß billiger in der Anlage, sondern auch einfacher und rascher zu bedienen als die mechanische.

Die Schaltung der Fahrleitungsnetze ganz großer Bahnhöfe hat sich in allen Fällen nach den Betriebsverhältnissen zu richten, insbesondere ist die Bahnhoffahrordnung für die Einteilung der Gruppen maßgebend. Gleisgruppen mit ausschließlichem Güterverkehr von jenen mit Personenverkehr abzutrennen, hat sich bewährt; doch darf mit der Unterteilung in Fahrleitungsgruppen auch nicht zu weit gegangen werden, weil die Schaltung sonst zu unübersichtlich wird und die Unterhaltungsarbeiten erschwert.

Der Einbau eines besonderen doppelseitig gespeisten Schaltpostens für die umfangreichen Fahrleitungen in München Hbf. mit fünf Haupt-Ölschaltern und zahlreichen Gruppen-Trennschaltern, die alle elektrisch fernbedient werden, führte bisher betrieblich zu keinen Schwierigkeiten.

#### d) Fahrleitungsschaltung in Schuppen.

Die Schaltung wurde gegenüber der vor dem Kriege oder während desselben angewendeten Regel grundsätzlich geändert. Bei dieser war die Grundstellung der Schalter für die in die Schuppenstände eingeführten Fahrleitungsabschnitte „Aus“; nur bei Einfahrt und Ausfahrt der Triebfahrzeuge wurden diese Abschnitte kurzzeitig unter Spannung gesetzt, wobei Hör- und Sichtsignale zur Warnung der Mannschaft in Tätigkeit gesetzt wurden und auf die Dauer der Einschaltung in Tätigkeit blieben. Bei den großen neu erstellten Schuppenanlagen in München Hbf. und Ostbf. sind die in die Schuppen eingeführten Fahrleitungen dauernd unter Spannung; auf Hör- und Sichtsignale ist verzichtet. An jeder Einfahrt zum Schuppen ist ein Schalter angeordnet, dessen Grundstellung „ein“ ist; er darf nur in Notfällen ausgeschaltet werden und liegt unter Bleiverschluß. Arbeiten dürfen auf dem Dache der Triebfahrzeuge nicht ausgeführt

werden; das Besteigen der Dächer ist vielmehr an bespannten Schuppengleisen wie bei der übrigen Streckenausrüstung verboten. Zu Instandsetzungsarbeiten auf dem Dache sind die Triebfahrzeuge auf Stände zu bringen, die nicht mit Fahrdrabt versehen sind. Bei dieser Schaltung, auf welche auch die älteren Schuppenanlagen in Garmisch und Freilassing umgebaut werden, tritt kein Zeitverlust ein; der Betrieb ist flüssig wie bei Dampflokomotivschuppen, namentlich wenn, wie im Schuppen zu München Hbf., auch die Schiebebühne mit Fahrleitung bespannt wird und damit das Schleppen mit Spill usw. entfallen kann.

#### e) Störungen.

Auf 1 km am Ende des Jahres mit Fahrleitung versehene Gleislänge traten an Störungen in Fahr- und 15 kV-Speiseleitungen ein:

1925:	0,20
1926:	0,38
1927:	0,30

Hierbei sind alle Störungen erfaßt, gleichgültig, ob sie sich auf den Zugbetrieb auswirkten oder nicht; auch sind alle Ölschalerauslösungen in den Unterwerken, deren Ursache nicht ermittelt werden konnte, als durch die Fahrleitung bewirkt, angenommen. Über die Ursachen der Störungen gibt nachstehende Übersicht 10 näheren Aufschluß.

Übersicht 10.

Fahrleitungsstörungen hervorgerufen durch		1925 %	1926 %	1927 %	1925—1927 %
1	Einfahren von elektrisch. Triebfahrzeugen in geradete Fahrleitungen oder nicht ausgerüstete Gleise . . . . .	2,3	0,7	1,5	1,3
2	Überschläge von d. Fahrleitung auf zu hoch beladene Wagen . . .	—	0,3	—	0,1
3	Entgleisung der Stromabnehmer infolge Verlagerung der Fahrleitung zur Gleisachse	4,6	6,7	8,6	7,4
4	Überschlag hervorgerufen durch Dampflokomotiven, Ruß, Nebel, Rauhreif . . . . .	17,1	15,7	24,6	20,3
5	Kurzschluß durch Vögel (Krähen) . . . . .	28,4	30,1	10,4	20,1
6	Kurzschluß infolge Blitzschlags . . . . .	12,5	4,3	5,4	5,8
7	auf die Fahrleitung gefallene Bäume, Äste und Ähnliches . . . . .	3,4	1,0	0,3	0,9
8	Steinwürfe, Schüsse und dergl. (Böswilligkeit) .	2,3	1,3	1,8	1,7
9	schadhafte Klemmen . .	5,7	9,4	1,5	5,0
10	schadhafte Isolatoren . .	1,1	13,7	10,4	10,6
11	Reißen von Fahrdrabt, Tragseil, Hängedrähten und Ähnliches . . . . .	7,9	9,4	9,3	9,2
12	ungeklärte Ursachen mit kurzzeitig. Ölschalerauslösungen . . . . .	14,7	7,4	26,2	17,6
Zusammen . . . . .		100	100	100	100

Die Zusammenstellung zeigt, daß ein ganz erheblicher Teil der Störungen durch äußere Einflüsse hervorgerufen ist; hierzu zählen unmittelbar die unter Ziff. 1 bis 2 und 4 bis 8

aufgeführten Ursachen, welche für die Jahre 1925/27 zusammen über 50 v. H. aller Störungen ausmachen; mittelbar sind dieser Art von Störungsursachen auch jene unter Ziff. 11 und 12 zuzuzählen, weil einerseits das Reißen der mit entsprechender Sicherheit ausgelegten Drähte und Seile wohl im allgemeinen nur eine Folge vorheriger Stromeinwirkung oder sonstiger von außen kommenden Beschädigungen sein kann, andererseits die kurzzeitigen Ölschalterausschaltungen unter Ziff. 12 irgend einen nicht in der Fahrleitungsanlage selbst liegenden Grund haben müssen, da sonst ihre Ursache hätte festgestellt werden können. Die unmittelbar und mittelbar auf äußere Einwirkung zurückzuführenden Störungen sind daher auf rund 70 v. H. aller Störungen zu schätzen.

Von diesen erreichen die höchste Ziffer die Überschläge gegen Erde, welche durch Dampflokomotiven, Ruß, Nebel und Rauhreif hervorgerufen sind. Der gemischte Betrieb bedeutet immer eine große Gefahr für die Sicherheit der Fahrleitung, namentlich wenn bei großen Überbauten ein rascher Abzug des Qualmes nicht möglich ist und daher Ruß und Feuchtigkeit sich an den Isolatoren ansetzen. Solche Schäden werden nur durch Aufgeben des gemischten Betriebes ganz vermieden werden können. Durch Umstellung des Verschiebedienstes auf die elektrische Betriebsform wird ein großer Teil solcher Störungsquellen ausgeschaltet werden. Ganz besonders stark tritt der ungünstige Einfluß des Dampfbetriebes auf die Fahrleitung in Erscheinung, wenn durch Nebel und Rauhrost das Ansetzen der Rußteilchen an die Isolatoren begünstigt wird. Dies führte schon zweimal zu nahezu lähmenden Betriebsstörungen. Bei Rauhrost, der mehrere Tage anhält, überziehen sich nämlich auch die Isolatoren, wie alle Bauteile, mit einer Reifschicht; gerade an dieser rauhen Schicht haften die etwas schweflige Säure enthaltenden Rußteilchen fest an; der Rauhreifansatz schreitet, wenn diese Witterungslage länger anhält, weiter fort, so daß schließlich die Isolatoren mit einer vollständig mit Ruß durchsetzten Rauhreifschicht umgeben sind. Solange die Außenwärme hierbei unter  $0^{\circ}$  liegt, besteht noch keine Gefahr. Tritt aber der Witterungsumschlag (Föhn) ein, so wird der mit Ruß geschwängerte Rauhreif zuerst zu einer teigigen Masse, die vor dem Abfallen die Isolation überbrückt. Einer solchen Witterungslage zeigt sich weder die einfache noch die doppelte Isolation gewachsen. Daß in den beiden bisher beobachteten Fällen nur die Einwirkung des Dampfbetriebes die Ursache der Störungen bildete, ist durch die Tatsache erwiesen, daß auf jenen Strecken, die nicht vom Dampfbetrieb berührt waren, die Erscheinung nicht eintrat. Die Auswirkung der letzteren auf das Unterwerk Pasing zeigt Textabb. 30, in welcher die Zahl der Ölschalterausschaltungen an einem solchen für den elektrischen Betrieb wohl als „dies ater“ zu bezeichnenden Tage (6.12.27) eingetragen sind. Die Machtlosigkeit gegenüber solchen Einwirkungen des Dampfbetriebes bei der geschilderten Witterungslage muß zugestanden werden; nach dem Abtropfen des geschmolzenen Raureifansatzes von den Isolatoren war der Schwächeanfall der Kraftübertragung wieder beseitigt.

Eine zweite, nicht minder üble Störungsquelle (Ziff. 5 der Übersicht 10) liegt in der Bewirkung von Kurzschlüssen durch große Vögel, hauptsächlich Krähen. Diese bäumen sehr gerne an den Fahrleitungsmasten auf, weil sie häufig entlang der Bahnlinie Nahrung finden. Beim Abfliegen setzen sie die ausgebreiteten Schwingen nach unten kurzzeitig auf und überbrücken damit die Isolatoren. Solchen Störungsquellen wurde durch Einbau besonderer Vogelschutzisolatoren an den gefährdeten Stellen mit Erfolg begegnet. Textabb. 31 veranschaulicht diesen Schutz bei den Einfachglocken der doppelten Isolation, die mit Porzellanstulpen versehen wurden, Textabb. 32 bei wagrecht eingebauten Knüppelisolatoren,

deren eine Kappe mit einem am Seitenhalter befestigten Reiter aus Porzellan abgeschirmt wurde. Wie aus Übersicht 10, zu entnehmen, sind die durch Vögel hervorgerufenen Kurzschlüsse von 30,1 v. H. im Jahre 1926 auf 10,4 v. H. im Jahre 1927 zurückgegangen. Den Störungen infolge Entgleisung der Stromabnehmer wurde durch Zurücknahme des

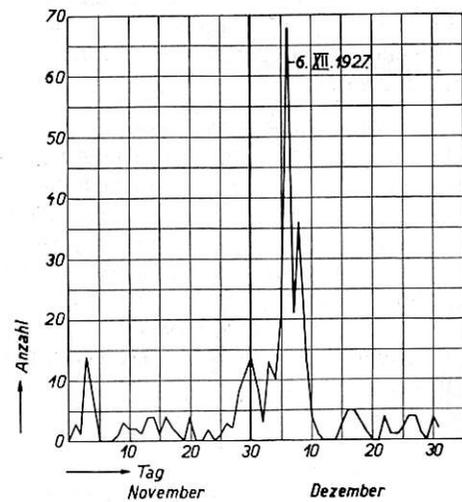


Abb. 30. Zahl der Ölschalterausschaltungen\* im November und Dezember 1927 im Unterwerk Pasing.

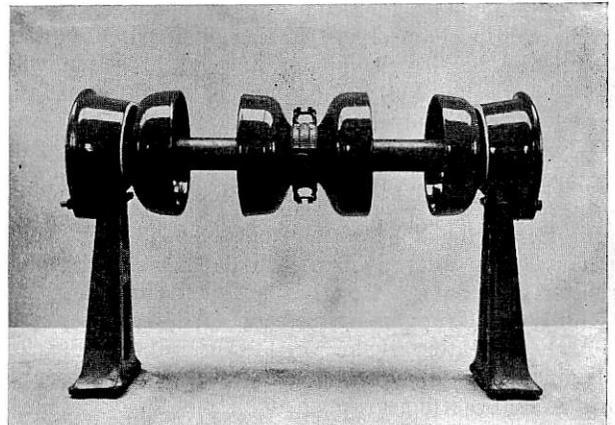


Abb. 31. Porzellanstulpen als Vogelschutz an den Einfachglocken der doppelten Isolation.

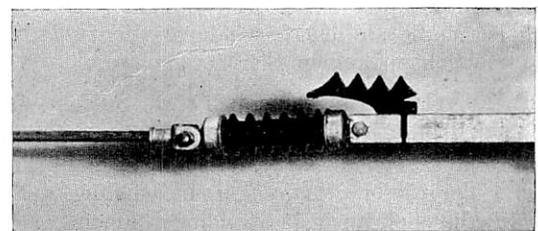


Abb. 32. Porzellanreiter am Seitenhalter als Vogelschutz bei Knüppelisolatoren.

Zickzacks von  $+0,6$  m auf  $+0,5$  m vorzubeugen versucht. Gegen unmittelbaren Blitzschlag in die Fahrleitung konnte ein Abhilfemittel bisher nicht gefunden werden. Die unter Ziff. 10 aufgeführten Störungen infolge schadhafter Isolatoren betrafen größtenteils die am Anfang des elektrischen Betriebes auftretenden Ausfälle an den neu umgestellten Strecken. Den durch die Klemmen hervorgerufenen Störungen (Ziff. 9) wurde durch Einbau verbesserter Bauarten entgegengetreten.

## f) Unterhaltung der Fahrleitungen.

Fahrleitungen, Speiseleitungen und Fernleitungen zu erhalten, obliegt besonders für den elektrischen Zugbetrieb neu errichteten Dienststellen, den Fahrleitungsmeistereien. Sitz dieser Dienststellen, sowie die Abgrenzung ihrer Bezirke ist in Textabb. 6 kenntlich gemacht. Außer ihrer eigentlichen Dienstaufgabe ist den Fahrleitungsmeistereien, wenn nicht besondere örtliche Verhältnisse vorliegen, auch die Unterhaltung der Licht- und Kraftanlagen in den mit Fahrleitung versehenen Bahnhöfen zugewiesen.

Unter Einrechnung des die gleiche Geschäftsaufgabe miterfüllenden Betriebswerkes Berchtesgaden sind im ganzen zwölf Fahrleitungsmeistereien für 702,6 km elektrisch betriebene Strecken mit zusammen 1496,6 km mit Fahrleitung ausgerüsteten Gleisen, für 400,2 km 110 kV-Fernleitungen und 235,3 km Speiseleitungen vorhanden. Auf eine Fahrleitungsmeisterei treffen daher im Durchschnitt nicht ganz 60 km elektrisch betriebene Strecken oder 124,7 km mit Fahrleitungen ausgerüstete Gleise; hierzu kommen im Mittel noch 53 km Fern- und Speiseleitungen je Fahrleitungsmeisterei.

Zur Durchführung ihrer Geschäftsaufgabe einschließlich Unterhaltung der Licht- und Kraftanlagen an den elektrisch betriebenen Linien sind diesen Dienststellen im ganzen 106,5 Köpfe, darunter 28,5 oder rund 27 v. H. des Personalstandes als Beamte zugewiesen. Auf ein Kopf der Fahrleitungsmeisterei treffen im Durchschnitt 14 km mit Fahrdrabt bespannte Gleislänge oder rund 20 km Fahr-, Fern- und Speiseleitungen zusammen. Neben den am Sitze der Unterwerke errichteten Fahrleitungsmeistereien, die in der Regel einen verhältnismäßig großen Personalstand haben, sind auch solche mit kleiner Kopfzahl vorhanden, z. B. Tutzing, Freising, Neufahrn, Freilassing, deren Personal sich aus dem Fahrleitungsmeister und dessen Stellvertreter (Beamte) und drei bis vier Arbeitern zusammensetzt. Bei den großen Fahrleitungsmeistereien (z. B. Pasing mit im ganzen 24 Köpfen) sind besondere, dem Fahrleitungsmeister unterstellte Gruppen (Kolonnen) gebildet, denen bestimmte Fahrleitungsabschnitte (Strecken oder große Bahnhöfe) zur Unterhaltung zugewiesen sind; der Gruppenführer ist in der Regel Beamter. Auf 100 km zu unterhaltende Fahr-, Fern- und Speiseleitungen treffen rund fünf Köpfe einschließlich des Personals für die Instandhaltung der Licht- und Kraftanlagen und 4,3 Köpfe ohne Berücksichtigung der letzteren.

Die planmäßige Unterhaltung der Fahrleitungen zerfällt in die Hauptuntersuchung, die jährlich zweimal vorgenommen wird, und in die gewöhnlichen Untersuchungen. Bei ersterer, die mit dem Turmwagen durchgeführt wird, muß die Fahrleitung abgeschaltet sein; um dies zu ermöglichen, ist die Untersuchung entweder in Zugpausen vorzunehmen oder es ist bei Doppelbahnen für kurze Zeit ausnahmsweises Befahren des falschen Gleises anzuordnen. Für jeden Fahrleitungsmeistereibezirk empfiehlt es sich, zu diesem Zwecke im Benehmen mit den Betriebsdienststellen Fahrplanweisungen für das Verkehren des Turmwagens (Arbeitszüge) aufzustellen, die während des ganzen Fahrplanabschnittes in Kraft bleiben. Die gewöhnliche Untersuchung der Fahrleitung findet im Monat zweimal statt; sie besteht in dem Begehen der mit Fahrleitung ausgerüsteten Strecke und zwar das eine Mal bei Tag, das andere Mal zur Nachtzeit; außerdem muß in jedem Fahrleitungsabschnitt monatlich zweimal vom Packwagen-Oberfenster eines Zuges aus der Lauf der Stromabnehmerbügel durch die Fahrleitungsmeisterei beobachtet werden. Bei den monatlichen Untersuchungen ist gleichzeitig das ordnungsgemäße Arbeiten der fernbedienten Streckenschalter festzustellen. Auch die 110 kV-Fernleitungen und die abseits der Bahnlinie verlaufenden 15 kV-Speiseleitungen

werden in der Regel halbjährlich abgegangen und auf ihren einwandfreien Zustand geprüft.

Zur Durchführung der planmäßigen Untersuchungsarbeiten, besonders aber um bei Störungen ein ungesäumtes Eingreifen der Fahrleitungsmeistereien zu ermöglichen, sind letzteren besondere Hilfsmittel zugewiesen, mit welchen sie rasch Hilfsmannschaft und Ersatzstoffe an die vom Unterwerk ermittelte Störungsstelle verbringen können. Jede Fahrleitungsmeisterei hat mindestens einen Kraftwagen, um ohne jeden Zeitverlust auch an die abseits der Bahnstrecke verlaufenden Fern- und Speiseleitungen mit den erforderlichen Baustoffen herankommen zu können. Die Erfahrung lehrte, daß auch bei Fahrleitungsstörungen — namentlich bei solchen in der Nähe großer Bahnhöfe mit starkem Verkehre — die Störungsstelle in vielen Fällen mit Schnell-Lastkraftwagen rascher erreicht werden kann, als mit einem Hilfszuge; die rascheste Feststellung, ob durch eine Fahrleitungsstörung das leichte Raummaß der Strecke durch etwa herunterhängende Bauteile der Ausrüstung gestört ist oder nicht, ist bei dicht belegten oder eingleisigen Strecken für den Betrieb von größter Bedeutung. Jeder Fahrleitungsmeisterei ist ferner mindestens ein Turmwagen zugewiesen, in dem alle Ersatzteile und zur



Abb. 33. Selbstfahrender Turmwagen mit Gleichstromantrieb für Gleichrichter und Speicherbetrieb.

Instandsetzung erforderlichen Hilfsmittel untergebracht sind. Fahrleitungsmeistereien, am Sitze von Stationen, in denen Dampflokomotiven verfügbar sind, haben Turmwagen, die mit Hilfe solcher Lokomotiven an die Störungsstelle gebracht werden; Fahrleitungsmeistereien, für welche Dampflokomotiven erst mit großem Zeitverlust bereit gestellt werden könnten, z. B. Pasing, Murnau, Freising sind mit selbstfahrenden Turmwagen ausgestattet. Diese von der Gruppenverwaltung Bayern entwickelten Selbstfahrer\*) sind als Gleichrichter-Speichertriebwagen ausgebildet. Textabb. 33 zeigt den äußeren Aufbau eines solchen Selbstfahrers. Auf zwei mit Rücksicht auf den Glasgleichrichter besonders weich abgedichteten Drehgestellen ruht das von letzterem ohne Ausbau von Teilen abhebbare Untergestell des Wagenkastens. In diesem sind zwei Führerstände an den Stirnseiten; auf der einen Seite ist ein kleiner und auf der anderen ein großer Stand vorhanden; hinter dem letzteren befindet sich der Maschinenraum mit abgeschlossenem Hochspannungsabteil, in dem Ölschalter und Haupttransformator angebracht sind; Gleichrichter und Drosselspule nützen den übrigen Teil des Maschinenraumes aus. Der übrige Teil des Kastens dient als Werkstätte- und Aufenthaltsraum für die Hilfsmannschaft und zum Lagern der Ersatzteile und Werkzeuge. Die stets hintereinander geschalteten Speicherbatterien sind in den beiden Vorbauten untergebracht. Die vom Innern des Wagens aus bestiegbare Bühne ist leicht drehbar. Eine zwischen Ausstiegeöffnung und

\*) Zentralblatt für elektrischen Zugbetrieb 1928, Märzheft, S. 69 bis 78.

Stromabnehmer hergestellte Verriegelung sichert die Arbeitsmannschaft in der Weise, daß der Ausstieg nur bei geerdeter Fahrleitung freigegeben ist; der zweite Bügel ist ein besonderer Erdungsbügel, der in die Abhängigkeit einbezogen ist. In jedem Drehgestell ist ein Gleichstrom-Hauptmotor von 77 kW-Stundenleistung und 52 kW-Dauerleistung untergebracht, der mit Zahnrädern ( $\ddot{u} = 1:3,94$ ) auf die innenliegende Triebachse arbeitet. Der Gleichrichter, dessen Leistung durch einen Stufentransformator eingestellt werden kann, befindet sich während der Fahrt mit Strombezug aus der Oberleitung im Nebenschluß zum Speicher; letzterer arbeitet allein, wenn die Oberleitung spannungslos ist. Der Turmwagen ist imstande mit einer Anhängelast von 21 t dauernd 47 km/h auf  $8^{\circ}/_{00}$ , 28,6 km/h auf  $16^{\circ}/_{00}$  Steigung zu fahren. Sein Hauptvorteil ist die Freizügigkeit und stete Betriebsbereitschaft.

Einzelnen Fahrleitungsmeistereien sind auch Schienenkraftwagen zum raschen Beheben einfacher Störungen zugeteilt, die sich in jeder Hinsicht bewährt haben. Textabb. 34 zeigt einen solchen Wagen, der außer der Mannschaft und den Ersatzteilen, noch eine fahrbare Leiter nachziehen kann. Wichtig ist auch die Ausbildung von möglichst viel Mannschaften der Fahrleitungsmeistereien als Kraftwagen- und Triebwagenführer.

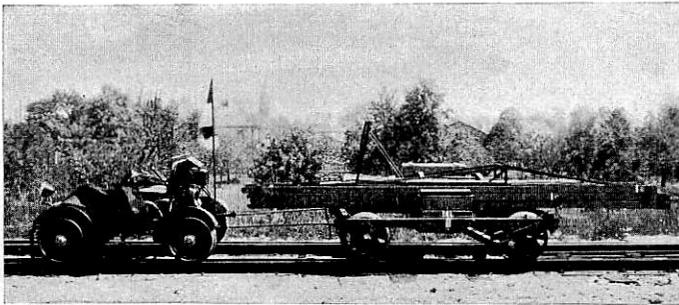


Abb. 34. Schienenkraftwagen mit fahrbarer Leiter.

Bei den Fahrleitungsmeistereien ist ein entsprechender Bestand von Bauteilen in möglichst einbaufertigem Zustand vorzuhalten; hierzu gehören nicht bloß die kleinen Teile der Fahrleitung, wie Klemmen, Isolatoren und Seile, sondern auch Ausleger und Maste. Um bei Unfällen, durch welche Maste zerstört werden, den elektrischen Betrieb ehestens wieder aufnehmen zu können, sind Holzmaster mit entsprechender Ausrüstung bereitzuhalten, die vorübergehend im Bedarfsfalle aufgestellt werden. Außer dem Turmwagen muß daher noch ein Hilfswagen bereitstehen, auf dem Fahrdraht- und Seiltrommeln sowie Maste und Ausleger rasch an die Unfallstelle befördert werden können.

### V. Fernmeldeleitungen.

Bildet die Kraftübertragung das Rückgrat des elektrischen Betriebes, so stellen die Fernmeldeleitungen die Nerven der neuen Betriebsform dar. Eine unter allen Umständen zuverlässige Fernsprechverbindung zwischen den Kraftwerken und Unterwerken einerseits, sowie zwischen den letzteren unter sich, ferner andererseits zwischen den Unterwerken und den in ihrem Auftrag die Schaltmaßnahmen durchführenden Stellen (Fahrdienstleiter, Stellwerkswärter der Stationen) ist eine unerläßliche Voraussetzung für ein elektrisch betriebenes Netz. Möglichste Unabhängigkeit von den übrigen Fernsprech- und Meldeanlagen des Bahnbetriebes bringt daher eine Erhöhung der Betriebssicherheit. Wenn auch aus wirtschaftlichen Gründen die Auslegung eigener Fernsprechkabel für den elektrischen Zugbetrieb unterbleiben mußte, so ist doch bei Anlage des durch die Beseitigung der Schwachstrom-Freileitungen nötig gewordenen Kabelnetzes in

der Weise auf die Bedürfnisse der neuen Betriebsform Rücksicht genommen worden, daß eine gewisse Anzahl von Adern der ausgelegten Schwachstromkabel ausschließlich den Zwecken des Starkstromdienstes dient; im besonderen ist vermieden, diese Verbindungen über Umschalter in den Stationen zu führen, so daß in allen Fällen ein unmittelbarer fernmündlicher Verkehr zwischen den Unterwerken und den die Schaltmaßnahmen durchführenden Personen der Stationen sowie zwischen den Unterwerken unter sich und zwischen Schaltbefehlsstelle und Kraftwerken möglich ist. Das Personal der Stationen ging allerdings bei Beginn der Umstellung teilweise nur zögernd an die ihnen durch die Betriebsform neu gestellte Aufgabe heran. Durch wiederholte Belehrungen und Vorträge über die Zusammenhänge der Kraftübertragung und über die Auswirkung des Verlustes der Freizügigkeit der Zugkraft wurde auch das nichtfachkundige Personal des Betriebsdienstes bald soweit eingeschult, daß es die für sie neuartigen Störungen des Zugbetriebes fahrdienstlich zu beherrschen lernte.

Bei den zuerst umgestellten Strecken (Garmischer Gruppe, München—Regensburg) wurden neben den Adern des Bahnbetriebes auch jene des öffentlichen Verkehrs (Postverwaltung) in ein gemeinschaftliches Kabel einbezogen; später wurde

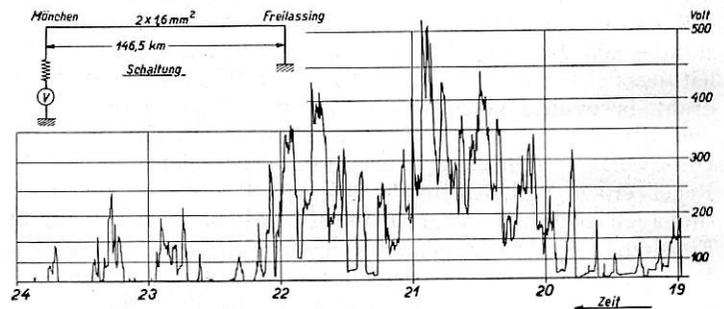


Abb. 35. Verlauf der durch das magnetische Wechselfeld des Fahrstromes induzierten Spannung in zwei nebeneinander geschalteten Kabeladern.

die Verlegung solcher Gemeinschaftskabel aufgegeben. Wenn auch die Anlagekosten für die Umstellung der Betriebsform durch diese Maßnahme größer werden, so ist nicht zu verkennen, daß die häufige Unterbrechung der Kabel durch die längs der Bahnlagen erforderlichen Abzweigungen zu den Fernsprekbuden für die Leitungen des öffentlichen Verkehrs eine Quelle von Störungen bedeutet. Dazu kommt, daß auch die induktive Beeinflussung der Kabel ganz erheblich mit der größeren Entfernung von der Fahrleitung abnimmt, infolgedessen — vom elektrischen Gesichtspunkte aus betrachtet — es vorteilhafter ist, die Kabel der Reichspost nicht neben den Gleisen, sondern auf den öffentlichen Straßen auszulegen. In welchem Ausmaße diese Beeinflussung erfolgt, zeigen die mit einem Selbstschreiber aufgenommenen Schaulinien in Textabb. 35. In dieser ist der Verlauf der durch den Fahrstrom induzierten Spannung dargestellt, welche zwei nebeneinander geschalteten Adern ( $2 \times 1,6 \text{ mm}^2$ ) des bahneigenen Fernmeldekabels München—Freilassing aufgedrückt wird. Sie steigt bis zu 520 Volt betriebsmäßig an. Die Speisung ist allerdings im vorliegenden Falle recht ungünstig, da das Unterwerk Traunstein noch fehlt, also eine einseitige Speisung in Frage kommt, bei der gerade an der entferntesten Stelle die größte Belastung infolge ungünstiger Streckenverhältnisse eintritt. Neben den beiden Fahrleitungen der Doppelbahn mußten daher zwei am Gestänge zwischen Traunstein und Freilassing ausgelegte Verstärkungsleitungen zur Versorgung der Strecke mit herangezogen werden, welche die induktive Beeinflussung erhöhen. Da aber bekanntlich

die Fernsprechadern, die neben elektrischen Bahnen liegen und für einen unteren Grenzwert von 2000 Volt isoliert sind, an den Enden mit Übertragern abgeschlossen wurden, kann die durch den Bahnstrom induzierte hohe Spannung die Fernsprecheinrichtungen selbst nicht gefährden. Zahlreiche in Zusammenarbeit mit der Firma Siemens & Halske durchgeführte Untersuchungen und Versuche haben erhebliche Fortschritte in der Herabsetzung der durch die magnetischen Wechselfelder des Fahrstromes in den Kabeladern induzierten Spannung gezeitigt. Während bei dem anlässlich der Umstellung der Garmischer Liniengruppe verlegten Kabel noch Spannungen von 4,0 Volt/100 Akm festgestellt wurden, gelang es, die Schutzwirkung des Kabelmantelstromes durch Verwendung einer Bandbewehrung aus Eisen mit hoher Permeabilität bei Betriebsströmen auf 2 bis 2,5 Volt/100 Akm, im Kurzschlußfalle auf 1,4 Volt/100 Akm zu erniedrigen. Kabel mit sogenanntem Kupferschutz zur Erhöhung des Kabelmantelstromes, wie sie die Österreichischen Bundesbahnen im Arlbergtunnel verwendet haben, wurden noch nicht ausgelegt. Versuche, die gleiche Wirkung wie durch den Kupferschutz durch Erdung des Neutralpunktes der Übertrager zu erreichen, konnten zwar eine Absenkung der von der Grundwelle des Bahnstromes induzierten EMK auf 1,9 Volt/100 Akm erzielen, doch ist diese Verbesserung verhältnismäßig gering, weil außer den Aderwiderständen auch noch die Widerstände der Pupinspulen und Übertragerwicklungen in diesem Falle den Schutzstrom herabdrücken.

Allgemein kann festgestellt werden, daß bei allen bisher verlegten bahneigenen Fernmeldekabeln nennenswerte Schwierigkeiten, die ihre Ursache in der induktiven Beeinflussung durch den Fahrstrom haben, für den Fernmeldedienst nicht eingetreten sind.

## VI. Triebfahrzeuge\*).

### a) Bauformen und Bestand.

Die Erfahrungen mit den schon vor dem Kriege beschafften elektrischen Lokomotiven waren im allgemeinen keine erfreulichen. Die Vielgestaltigkeit der von den einzelnen Bauanstalten entwickelten Bauformen, in den meisten Fällen Probeausführungen, erschwerten die Unterhaltung in hohem Maße; zudem waren für letztere völlig unzureichende Hilfsmittel vorhanden, meist nur behelfsmäßige Einrichtungen in vorhandenen Werkstätten und Schuppen des früheren Dampfbetriebes.

Schon bei Beginn der Arbeiten für die Umstellung neuer Strecken wurde erkannt, daß möglichst wenig Bauformen und weitgehendste Vereinheitlichung\*\*) einzelner Bauteile für alle Bauformen im betrieblichen und wirtschaftlichen Interesse angestrebt werden müssen. Dieses Ziel mit den Leistungsanforderungen des Betriebes einerseits, mit der Herstellungsweise und grundsätzlichen Einstellung der Bauanstalten andererseits in Einklang zu bringen, war neben der Neuentwicklung der Formen die Hauptaufgabe der Beschaffungsstellen (Gruppenverwaltung Bayern und Reichsbahn-Zentralamt der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft). Die Forderungen des Betriebes nach bestimmten Anhängelasten und Geschwindigkeiten der einzelnen Zuggattungen führten zunächst zur Beschaffung von fünf neuen Bauarten elektrischer Lokomotiven, deren Einzelheiten und Hauptangaben im Schrifttum eingehend behandelt sind, nämlich zu einer Schnellzug- und je einer schweren und leichten Per-

sonen- und Güterzuglokomotive. Außer diesen fünf Bauarten wurden später noch eine leichte Güterzuglokomotive für die Bergstrecke Reichenhall—Berchtesgaden, eine Rangierlokomotive sowie ein Triebwagen von Grund aus neu entwickelt. Sämtliche Gattungen sind — zum Teil schon mehrere Jahre lang — im Dienst und konnten damit sowohl den Nachweis ihrer Eignung für die Betriebsbedürfnisse erbringen, als auch eine Dauerprüfung über die technische Wertigkeit der Bauform an sich und ihrer Einzelteile ablegen. Der Bestand an elektrischen Triebfahrzeugen, die alle der Reichsbahndirektion München zugehören, auch wenn sie in einem anderen Direktionsbezirk fahren, ist in Übersicht 11 auf Seite 346 zusammengestellt; letztere enthält auch schon die früher beschafften Wechselstromlokomotiven, ferner die Gleichstrom-Triebfahrzeuge sowie einen Hinweis auf Einzelbeschreibungen.

Nach dem Entscheid über den allgemeinen Aufbau der neuen Triebfahrzeuge war noch die für Betrieb und Unterhaltung außerordentlich wichtige Vereinheitlichung durchzuführen. Diese erstreckte sich nicht bloß auf Einzelteile, sondern in bestimmten Fällen sogar auf Gesamtschaltung und Hauptteile; so wurden z. B. Motoren, Transformator, Steuerung und Schaltung für die schwere Personenzuglokomotive (E 52) in genau gleicher Ausführung wie für die schwere Güterzuglokomotive (E 91) erstellt; auch die Rangierlokomotive (E 60) entspricht größtenteils bis auf Kasten und Transformator mechanisch und elektrisch (Antrieb) der Hälfte einer Lokomotive der Reihe E 91; auch die Motoren der Lokomotiven E 16 (je 4 Stück) und E 32 (je 2 Stück) sind von gleicher Ausführung. Die für alle Triebfahrzeuge zu vereinheitlichenden Einzelteile wurden entweder von der DRG selbst beschafft und den Bauanstalten zum Einbau zur Verfügung gestellt (z. B. Stromabnehmer (SSW), Ölshalter (BBC), Luftpresse (Knorr), Antriebe für Luftpresse (BEW und MSW), oder es wurde die Bezugsfirma von der DRG vorgeschrieben, z. B. Zubehör zu den Luftpessern, Bremsausrüstungen, Führerbügelhähne und Einstellventile (Knorr), Geschwindigkeitsmesser (Deuta), Meßinstrumente mit Kasten (S & H), Zentralöl (Bosch) oder es konnten Einzelteile nach von der Reichsbahn genehmigten Regelzeichnungen von den Bauanstalten selbst hergestellt oder beschafft werden, wie Dach- und Luftzuführungs- und Durchführungsisolatoren, Nebenschaltkasten mit Sicherungen, Prüfkupplungen, Steckdosen, Handlampen, Beleuchtungskörper u. a. Dieses Vorgehen hat sich im Betrieb äußerst vorteilhaft erwiesen; ihm ist nicht zuletzt die rasche Einfühlung und Umstellung des Fahrpersonals auf die neue Betriebsform und des Werkstättepersonals auf die Unterhaltung der Fahrzeuge zuzuschreiben.

Hinsichtlich des äußeren Aufbaues und der Achsanordnung haben alle Bauformen den Anforderungen des Betriebes im allgemeinen durchaus entsprochen; dies ist schon durch deren hohe Laufleistungen, worüber weiter unten näheres ausgeführt ist, erwiesen. Daß die mit hochgelagerten Antrieben und Blindwellen ausgestatteten Lokomotiven der Gattung E 32 und E 52 infolge dieser Bauart ein höheres Gewicht je Leistungseinheit aufweisen als die Schnellzuglokomotive Gattung E 16 mit Einzelachs Antrieb ist eine mehr wirtschaftliche als technische Frage; außerdem beträgt in Ansehung der Leistungsanforderung das Gewicht der elektrischen Ausrüstung im Verhältnis zum Gesamtgewicht bei der Gattung E 32 nur 36,8 v. H. gegenüber 48,5 bis 52,1 v. H. bei den übrigen Personen- und Güterzuglokomotiven. Auf die Leistungseinheit bezogen ist natürlich die Lokomotive mit Einzelachs Antrieb (E 16) am günstigsten. Die Lokomotiven E 77 und E 91 sind als mehrteilige Lokomotiven gebaut. Daß diese gegliederten Formen hinsichtlich des Laufes, dann wegen der großen Zahl von Preßluft und Kabelkupplungen, der Abdichtung der Faltenbälge, zum Teil aber

\*) Siehe Michel, „Die neuen elektrischen Lokomotiven der Deutschen Reichsbahn“. Organ 1924, Heft 9/10, S. 177 bis 187.

\*\*) „Die Wechselstromlokomotive der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft auf dem Wege zur Vereinheitlichung“. Siehe „Elektrische Bahnen“ 1925, Heft 2, S. 39 bis 44 und Heft 9, S. 332 bis 338; 1926, Heft 7, S. 233 bis 235; 1927, Heft 4, S. 105 bis 113.

## Übersicht 11.

Bestand an elektrischen Oberleitungs-Triebfahrzeugen im Reichsbahndirektionsbezirk München (Juli 1928).

Triebfahrzeug bestimmt für	Achsanordnung	alte Bezeichnung	neue (Stamm-Nummer)	Höchstgeschwindigkeit km/h	Dienstgewicht Tonnen	Leistungsverhältniszahl	Bestand Stückzahl	Im Schrifttum eingehend behandelt	
									A) Neue Bauformen (Wechselstrom)
1 Schnellzüge	1 Do 1	ES 1	E 16	110	111	2,8	10	„Elektrische Bahnen“ 1927, Heft 3 S. 71 bis 92	
2 schwere Personenzüge	2 B + B 2	EP 5	E 52	90	143	2,8	35	desgl. 1925, Heft 8 S. 241 bis 270	
3 leichte Personenzüge	1 C 1	EP 2	E 32	75	85	2,1	29	„ 1925, „ 6 S. 181 bis 194	
4 schwere Güterzüge	C + C	EG 5	E 91	55	123	4,1	20	„ 1925, „ 8 S. 311 bis 320 ferner Elektrojournal 1924, Heft 9	
5 leichte Güterzüge	1 B + B 1	EG 3	E 77	65	113	2,9	31	„ 1925, Heft 11 S. 414 bis 427	
6 Personen- u. Güterzüge auf d. Bergstrecke 1:25	2 D 1	EG 4	E 79	65	116	3,0	2		
7 Verschubdienst und leichte Güterzüge	1 C	—	E 60	55	72,5	2,1	7		
8 Nahverkehr	—	—	D <sup>41</sup> elT	75	60,5	1,4	30	„ 1927, Heft 6 S. 161 bis 171	
Bestand an neuen Triebfahrzeugen: 164									
				B) Alte Bauformen (Wechselstrom)					
9 Personenzüge	2 C 1	EP 3/6	E 36	80	(78,8)	1,9	4	Wechmann „Der elektrische Zugbetrieb der Deutschen Reichsbahn“ S. 200 bis 202	
10 Personenzüge	1 C 1	EP 3/5	E 62	60	69	1,4	5	desgl. S. 224	
11 Güterzüge und Schubdienst	B + B	EG 2 × 2/2	E 70	50	65	2,0	2	„ „	
12 Güterzüge und Schubdienst	Bo + Bo	EG 4 × 1/1	E 73	50	56	2,0	2	„ „	
13 Verschubdienst	D	EG 4/4	E 70	50	65	2,0	2		
Alte Wechselstromlokomotiven: 19									
				C) Gleichstromtriebfahrzeuge (1000 Volt)					
14 Güterzüge	Do	EGg 4 × 1/1	EGg 4 × 1/1	25	56	1,2	1	{ Gesamtbestand an elektr. Triebfahrzeugen für Oberleitung: 164+19+11=194	
15 Personenverkehr	A + A	MBCL	BCL <sup>1</sup> elT	40	17	0,9	9		
16 Güterverkehr	A + A	MPL	PwLelT	40	15	0,9	1		
							11		

auch hinsichtlich der Ausbesserung mehr Schwierigkeiten bieten als einrahmige Triebfahrzeuge, ist erklärlich und durch den Betrieb bestätigt worden.

War Vereinheitlichung der Einzelbauteile eine der obersten Richtlinien für die Beschaffungsstellen, so bildete sie doch kein starres Gesetz, das den Fortschritt unterbindet. In weit-schauender Weise wurden nämlich nebenher sowohl im mechanischen wie im elektrischen Teile der Triebfahrzeuge Versuchsausführungen erprobt, um Erfahrungen und Grundlagen für die Weiterentwicklung zu gewinnen, so z. B. hinsichtlich des Laufwerkes durch probeweisen Einbau von Buchli-Gestellen an einigen Lokomotiven Gattung E 16; der Versuch erwies einwandfrei die Überlegenheit des Krauß-Helmholtz-Gestelles. Der bei einer Anzahl Güterzuglokomotiven Gattung E 77 gemachte Versuch, den Laufachsen keine Seitenverschiebung zu geben und dafür die erste und vierte Triebachse verschieblich einzurichten, erwies sich im Betriebe nachteiliger als die feste Anordnung aller Triebachsen und die Seitenverschieblichkeit der Laufachsen um 30 mm nach jeder Seite.

Im elektrischen Teile ist hervorzuheben die Verwendung von Widerstandskollektoren an den Triebmaschinen der Lokomotiven der Gattung E 16 und E 32. Der Großversuch mit nahezu 100 Motoren ließ die Vor- und Nachteile dieser Bauart deutlich erkennen; erstere bestehen im wesentlichen in der Möglichkeit, höhere Motorspannungen (660 Volt gegen-

über 380 bis 420 bei den Maschinen anderer Bauart) anzuwenden und damit die Anfahrleistung verhältnismäßig höher zu wählen wie die zeichnerische Gegenüberstellung der Leistungslinien auf Textabb. 36 zeigt. Diesem Vorzug steht als Nachteil gegenüber die hohe Erwärmung der Widerstände und die hierdurch bewirkte Ausdehnungsänderung der erwärmten Teile sowie die Wärmeübertragung auf Nachbarbauteile (z. B. Fahnen des Läufers, die bisweilen ausgelötet werden). Eine bei diesen Triebmaschinen anfänglich angeordnete zusätzliche Wendepolwicklung wirkte eher nachteilig als günstig auf die Kollektoren, so daß sie wieder abgeschaltet wurde, wodurch sich die Laufleistung der letzteren nicht unerheblich erhöhte.

Hinsichtlich der Art der Steuerung, die bei 39 Lokomotiven (E 16 und E 32) als Schaltwalzen- und Schlittensteuerung ausgebildet ist, zeigten die Betriebs Erfahrungen, daß diese der Steuerung mit Schützen vorzuziehen ist; von letzterer erwiesen sich die elektromagnetischen betriebs-sicherer als die elektropneumatischen Schützen.

Hinsichtlich der Abfederung der Zahnräder zeigte die Erfahrung, daß gleichzeitiges Abfedern von Ritzel und großem Zahnrad nicht nötig ist; beim letzteren kann sie entfallen. Das Ritzel nicht abzufedern und dafür das große Zahnrad, ist nicht vorteilhaft.

Von den Ergebnissen mit den vereinheitlichten Einzelteilen ist anzuführen, daß an den Lokomotivschaltern die

Schutzwiderstände neuerdings ausgebaut wurden; da der Einschaltstoß auf den Umspanner hierdurch ziemlich bedeutend wurde, mußte die Zeitverzögerung der Höchststromauslösung vergrößert werden. Für die Rangierlokomotiven konnten die Stromabnehmer mit nur einer Wippe nicht angewendet werden wegen der in die Fahrleitung eingebauten Streckentrenner ohne Luftisolation; um Stromunterbrechungen und Hinüberziehen von Lichtbögen über die Streckentrenner zu verhindern, wurden an solchen Abnehmern zwei Wippen im Abstand von 1200 mm angeordnet, wie Textabb. 37 zeigt.

Die Stromabnehmer der Triebwagen konnten nicht in ganz gleicher Ausführung wie jene der Lokomotiven ausgebildet werden, da der Scheitel des Daches der Triebwagen 100 mm höher liegt als jener des Lokomotivdaches. Die Verwendung eines geraden statt eines gewölbten Schleifstückes mit offenen Hörnern erwies sich sowohl hinsichtlich der Art der Abnutzung des Schleifstückes, als auch hinsichtlich des Einflusses auf die Fahrleitung als ungünstig und wurde deshalb wieder verlassen.

Die von der Gruppenverwaltung Bayern entwickelten für ein Fassungsvermögen von 100 Fahrgästen ausreichenden Triebwagen weisen in vieler Hinsicht, besonders aber in der Unterbringung der elektrischen Ausrüstung neuartige Wege auf. Der Einbau von Transformator, Lüftersatz mit Lichtstromerzeuger und Ölschalter in einer besonderen Kammer des Wagenkastens, der Steuer- und Heizschütze sowie Wendeschalter in einem vom Wageninnern aus zugänglichen Schranke statt der vielfach üblichen Anordnung dieser Teile unter dem Fußboden, hat sich im Betriebe als recht vorteilhaft erwiesen; nur die beiden Luftpresser und ein Motorshunt sind unten am Gestell des Wagenkastens aufgehängt. Als Ölschalter wurde nicht der druckfeste Einheitsölschalter wie bei Lokomotiven verwendet, sondern wegen der Gewichtsersparnis ein etwas leichterer Schalter in einer Hochspannungskammer untergebracht, der hochspannungsseitige Kurzschlüsse nicht abschalten kann. Zum Schutze des Wagens gegen letztere ist eine besondere Dachsicherung angeordnet. Ob die hierdurch bedingte Verlegung des Abschaltens hochspannungsseitiger Kurzschlüsse in das Unterwerk in ihrer Auswirkung auf andere Triebfahrzeuge den Verlust der Freizügigkeit der Zugkraft bei Zunahme des Triebwagenverkehrs nicht zu stark hervortreten läßt, muß erst die Erfahrung zeigen. Die zwei Triebmaschinen, ebenfalls mit Widerstandsverbindungen in der Ankerwicklung (höchste Spannung 450 Volt) sind als Achsmotoren in eines der beiden Drehgestelle eingebaut; die zusätzliche Fremdbelüftung der Motoren ist namentlich wegen des häufigen Anfahrens im Nahverkehr vorteilhaft.

Jeder Triebwagenzug führt in der Regel einen Steuerwagen mit sich, der in wagenbaulicher Hinsicht dem Triebwagen gleicht; der in letzterem für den Einbau des Transformators, Ölschalters und Schützenschrankes erforderliche Platz (etwa 6 m<sup>2</sup>-Fläche) ist als Gepäckraum verwendet, was für den Nahverkehr sich in den meisten Fällen als ausreichend erwies. Die neu entwickelte Kupplung für die Vielfachzugsteuerung, welche Druckkontakte (20 Punkte) statt Stecker verwendet und an allen Triebwagen, Beiwagen und Steuerwagen an beiden Stirnseiten vorhanden sein muß, hat sich gut bewährt. Die aus Textabb. 38 ersichtliche Mehrung

der Verbindungskupplungen bei Triebwagenzügen gegenüber Lokomotivzügen um weitere zwei Stück, nämlich um die erwähnte doppelseitige Steuerstromkupplung und die zweimal doppelseitige Luftkupplung für Bügelbetätigung und Ausgleichsleitung hat sich im Betriebe nicht störend bemerkbar gemacht, da die Triebwagenzüge als geschlossene Einheit nur selten aufgelöst werden.

#### b) Unterhaltung.

Hinsichtlich der Unterhaltung sind zu unterscheiden: die in verhältnismäßig kurzen Zeitabständen regelmäßig vor-

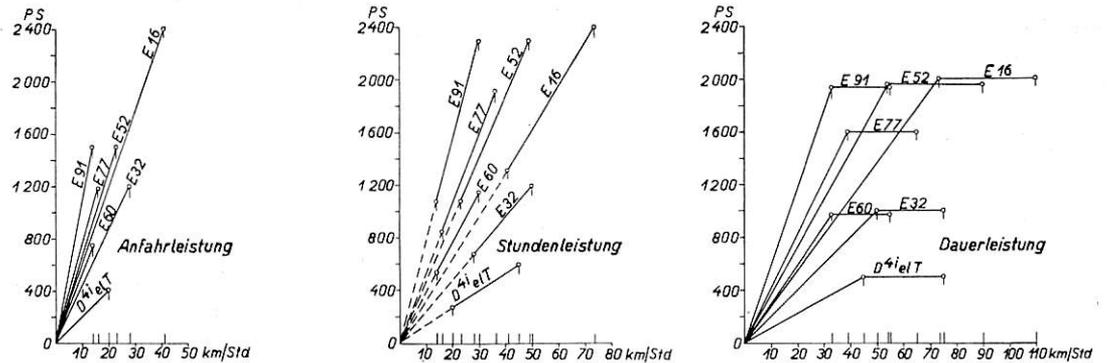


Abb. 36. Leistungslinien der elektrischen Triebfahrzeuge.



Abb. 37. Rangierlokomotive Gattung E 60 der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft.

zunehmenden Überholungen, die Zwischen- und Großausbesserungen. Die regelmäßigen Überholungen werden gewöhnlich alle drei bis vier Wochen nach 6000 bis 8000 km Laufleistung durchgeführt, wenn das Triebfahrzeug nicht ohnehin wegen Instandsetzung irgend eines Bauteiles früher aus dem Betriebe gezogen werden muß und dieser Stillstand gleichzeitig auch zur Überholung der gesamten Einrichtung ausgenutzt werden kann. Der überwiegende Teil der Überholungen wird beim Betriebswerk in München Hbf. durchgeführt (116 Triebfahrzeuge); der Rest verteilt sich auf die Betriebswerke in München Ost, Freilassing, Garmisch und Berchtesgaden. Die Überholung dauert in der Regel 9 Stunden und wird von besonders hierfür eingeteilten Arbeitsgruppen ausgeführt. So sind z. B. beim Betriebswerk München Hbf. für die Überholungen neun Arbeitsgruppen vorhanden, darunter eine Nachtschichtgruppe, welche dringliche Instandsetzungen an den nachts in die Schuppen heimkehrenden Triebfahrzeugen ausführt. Eine Gruppe besteht in der Regel aus einem Vorhandwerker und zwei bis fünf Fachhandwerkern; nur die für die Überholung der elektrischen Inneneinrichtungen vorgesehene Gruppe ist wesentlich stärker (vier Vorhandwerker und 15 Schlosser). Weiter ist je eine besondere Gruppe ge-

bildet für Instandhaltung von Ölschaltern, Stromabnehmern und Dachausrüstungen zusammen, ferner für Überholung der Hilfsmaschinen und Apparate, Lichtmaschinen mit Batterien, Heizkörper, Feuerlöscher zusammen, dann für Arbeiten an Achsen und Blindwellen (Achssenkguppe), weiter für Antriebs-, Zahnrad-, Federungs- und Heizungseinrichtungen, ferner für Drucklufteinrichtungen, endlich für den mechanischen Teil der Bremsen, der Tragfedern, Zug- und Stoßvorrichtungen. Im ganzen sind 70 Köpfe darunter drei Beamte für diese Überholungen zur Zeit beim Betriebswerk München Hbf. eingesetzt; auf ein Triebfahrzeug treffen demnach 0,61 Köpfe, auf die Laufleistung der zugeordneten Triebfahrzeuge (1927) bezogen im Durchschnitt 11,5 Köpfe für eine Million im Jahr geleistete Lokkm, ein Satz, der mit zunehmender Umstellung von Strecken und dadurch bewirkter besserer Ausnutzung der Triebfahrzeuge noch sinken wird.

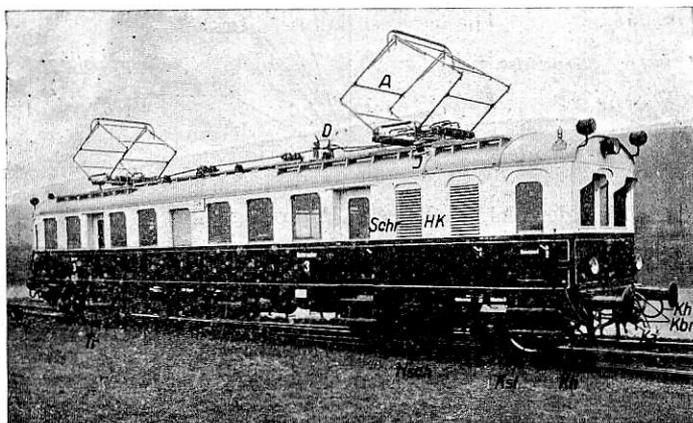


Abb. 38. 15 kV-Wechselstrom-Triebwagen:

- Tr = Drehgestell mit den Antrieben;  
 A = Stromabnehmer mit offenem Horn u. geradem Schleifstück;  
 HK = Hochspannungskammer, anschließend Schützenschrank  
 Schr.;  
 D = Dachsicherung;  
 Hsch = Heizungsschalter;  
 Kst. = Zugsteuerungskupplung;  
 Kh = Heizkupplung;  
 Ka = Luftkupplung für Bügelbetätigung und Ausgleichleitung;  
 Kbr = gewöhnliche Luftbremskupplung.

Die Zwischenausbesserungen, die im wesentlichen durch die Abnutzung des Laufwerkes bedingt sind, abgesehen vom Abdrehen und Aufrichten der Kollektoren, werden in der Regel zwischen 120000 und 180000 Lokkm bei Personenzuglokomotiven, zwischen 70000 und 100000 Lokkm bei Güterzuglokomotiven erforderlich. Diese Zwischenausbesserungen werden gewöhnlich in der für elektrische Triebfahrzeuge neu errichteten Nebenwerkstätte in München Hbf. vorgenommen, in welcher der größte Teil der neubeschafften elektrischen Lokomotiven von den elektrotechnischen Bauanstalten auch aufgebaut wurde. Hierdurch ergab sich die Möglichkeit, die Belegschaft der Werkstätte entsprechend auszubilden und während des Probebetriebes der einzelnen Lokomotivgattungen auf die Besonderheiten der letzteren und die Unterhaltung der Einzelteile einzuschulen. In der mit einem reichhaltigen Ersatzteillager für den Austauschbau ausgerüsteten Werkstätte arbeiten zwei Aufbaugruppen mit je 30 Schlossern, ferner eine Kleinbau- und eine allgemeine Werkgruppe. Auf ein Triebfahrzeug in dieser Werkstätte treffen zur Zeit 0,67 Köpfe einschließlich der Aufsichtsbeamten (4).

Die Durchführung der Großausbesserung („allgemeine“ Untersuchung), über welche noch keine Erfahrungen vorliegen, werden nach Laufleistungen erwartet, die in der ersten

Zeit auf 250000 bis 300000 km für die Personenzuglokomotiven, bei den übrigen Triebfahrzeugen auf etwa 180000 km anzusetzen sind. Ein im Rahmen der Betriebssicherheit liegendes möglichst langes Hinausschieben dieser allgemeinen Untersuchungen ist für die Wirtschaft der Betriebsform von entscheidendem Einflusse.

Hinsichtlich der Unterhaltung der Einzelteile verdient jene der Stromabnehmer wegen ihrer Beziehung zur Fahrleitung besondere Beachtung. Im Durchschnitt mußten in drei Betriebsjahren auf die Gesamtleistung aller neuen Triebfahrzeuge (16,34 Millionen Lok- und Triebwagenkm) 5,5 Schleifstücke je 100000 Lokkm ersetzt werden. 1,3 Stromabnehmer wurden — auf die gleiche Einheit bezogen — schadhaf; es ist wohl kein Zufall, daß die mehrteiligen Lokomotiven (E 77 und E 91) diese Durchschnittsätze weit überragen. Die Gliederung dieser Lokomotiven wirkt sich auf die Schwankungen des Fahrzeuges und damit auch auf jene der Stromabnehmer ungünstig aus. Doch sind letztere im all-

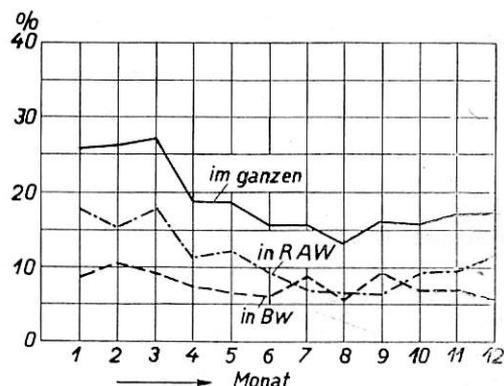


Abb. 39. Ausbesserungsstand der elektrischen Triebfahrzeuge 1927.

gemeinen nicht so bedeutend als sie anfänglich eingeschätzt wurden. Filmaufnahmen, die vom Zugführersitze eines hinter der Lokomotive laufenden Packwagens von den mit besonderen Meßeinrichtungen versehenen Abnehmern während der Fahrt gemacht wurden (25 Aufnahmen in der Sekunde), ergaben, daß die Pendelungen des Schleifstückes, bezogen auf das Triebfahrzeug, höchstens  $\pm 6,0$  cm betragen; die Schwankungen des Fahrzeuges selbst infolge Federspiels und veränderter Gleislage waren, namentlich beim Einlauf in Krümmungen und in diesen selbst, erheblich größer.

Kollektorabschleifen war in den drei Betriebsjahren durchschnittlich 1,9mal auf je 100000 km Laufleistung der Triebfahrzeuge nötig; hierbei ist jedoch zu beachten, daß auch die Anlaufzeit und Versuche mit Bürstenkohlen in diesen Wert eingerechnet sind, so daß jetzt erheblich höhere Kollektorlaufzeiten sich ergeben (bis zu 180000 Lokkm). Bürstenkohlen wurden ersetzt 48,5 auf 100000 Lokkm infolge gewöhnlicher Abnutzung und 19,3 infolge Schäden; auch in diesen Werten ist der Verbrauch in Anlauf- und Versuchszeiten enthalten, wodurch die Sätze nicht unwesentlich erhöht sind. An Ölschaltern und Transformatoren waren 3,1 Schäden auf eine Million Lokkm zu verzeichnen.

Der aus Textabb. 39 ersichtliche Verlauf der Schaulinien des Ausbesserungsstandes aller elektrischen Triebfahrzeuge für 1927 kann zu wirtschaftlichen Schlüssen noch nicht verwertet werden, weil in den Verhältniszahlen nicht bloß die alten Lokomotiven inbegriffen sind, sondern auch die an den neugelieferten Lokomotiven auf Grund der Gewährpflicht von den Lieferanten vielfach ausgeführten Ausbesserungen einbezogen sind. Das Jahresmittel des Ausbesserungsstandes dürfte bei dem heute üblichen neuzeitlichen Austausch-

verfahren der Ausbesserungswerke wohl leicht auf einen Wert von unter 15 v. H. gebracht werden können.

### c) Störungen.

Die Zahl der im Betriebe an den Triebfahrzeugen aufgetretenen Störungen betrug in den drei Jahren (1925 bis 1927) im Durchschnitt 66 auf je eine Million Lokkm (einschließlich Triebwagenkm). In dieser Zahl sind alle, auch noch so kurzzeitigen Störungen inbegriffen; auch die an den Triebfahrzeugen im Probendienst und während der Gewährzeit beobachteten Störungen sind erfaßt. 15,6 v. H. aller Störungen lagen im mechanischen Teile der Triebfahrzeuge, der Rest im elektrischen, wobei nicht einwandfrei geklärte Störungen, die im ganzen 23,8 v. H. ausmachen, zu Lasten des elektrischen Teiles angenommen sind. Hinsichtlich der Häufigkeit stehen die Störungen an den Schützen und Steuerstromeinrichtungen an der Spitze (34,1 v. H.); gerade diese sind aber in der Regel von ganz kurzer Dauer, so daß durch sie der Betrieb in den meisten Fällen (Hängenbleiben der Schützen) nur ganz unwesentlich beeinflußt ist, in vielen Fällen sogar entstandener Zeitverlust während der Fahrt wieder eingeholt werden konnte. Stärker wirkten sich die durch die Stromabnehmer eingetretenen Störungen (9,9 v. H.) aus, nicht allein wegen ihrer Wirkung auf die Fahrleitung, sondern auch deshalb, weil häufig bei Schadhafwerden eines Stromabnehmers auch der zweite durch die gleichzeitig beschädigte Fahrleitung in Mitleidenschaft gezogen wird. Durch Verwendung besonders harter Rohre (Nickelstahl) für die Stromabnehmer wurde versucht, die Sicherheit der letzteren zu erhöhen, was auch erreicht wurde. Nach den an den Triebmaschinen (Motor-Überschläge, -Bandagenbrüche) eingetretenen Störungen (5,4 v. H.) nehmen jene infolge von Achsenheilauf die nächste Stelle ein; auch hinsichtlich dieser Störungen muß beachtet werden, daß durch die Indienststellung neuangelieferter Triebfahrzeuge der Satz höher ist als dem tatsächlichen Durchschnitt entspricht. Die übrigen Störungen bewegen sich wie jene an den Luftleitungen, Ventilen und Bremsen (zus. 3,9 v. H.), ferner an den Ölschaltern (2,8 v. H.), an den Isolatoren und Einführungen (2,7 v. H.), an den Rädern und Aufbauten (2,1 v. H.) über einem Durchschnittssatz von 2 v. H., während jene an den Transformatoren, an Zahnrädern, Triebstangen, Meßinstrumenten usw. eine unbedeutende Höhe erreichten.

## VII. Zugbeförderung.

### a) Fahrplan.

Würde die Umstellung auf die elektrische Betriebsform im Endziel nur darin bestehen, statt der Dampfzugkraft die elektrische Lokomotive vor den Zug zu setzen, so wäre wohl eine Enttäuschung der technischen Kreise sowohl als auch der Allgemeinheit unausbleiblich; denn nicht zuletzt verdanken die neuzeitlichen Verkehrsmittel, im besonderen Kraffrad und Kraftwagen, ihren riesenhaften Aufschwung der Unabhängigkeit nicht nur vom Wege, sondern auch vom Fahrplan. An beide bleibt die elektrische Betriebsform zwar gebunden; doch besteht bei ihr die Möglichkeit, einmal durch nicht unerhebliches Verkürzen der Fahrzeit, sodann auch durch Verdichten des Betriebes mit Hilfe kleiner Zugeinheiten den allen Schienenbahnen eigenen Nachteil der Abhängigkeit von Weg und Zeit noch innerhalb wirtschaftlicher Grenzen in nicht geringem Maße zu mildern.

Die bisher bei den vorgenommenen Umstellungen durchgeführten Fahrzeitverkürzungen hielten sich in den meisten Fällen im erheblichen Maße unter der Grenze des Möglichen; allzu stark gespannte elektrische Fahrzeiten wurden zunächst absichtlich vermieden, um bei fahrdienstlichen Unregelmäßigkeiten und vorkommenden Störungen die Aufholung von Verspätungen leicht zu ermöglichen. Immerhin sind auch

unter Einhaltung dieses Gesichtspunktes die Fahrzeiten um 10 bis 20 v. H. bei Personenzügen und um 20 bis 30 v. H. bei Güterzügen gegenüber dem vorherigen Dampffahrplan im allgemeinen, in Einzelfällen in noch höherem Grade, verkürzt worden. Dies wurde erreicht durch die große Anfahrbeschleunigung der elektrischen Triebfahrzeuge und durch Einsetzen ihrer Stundenleistung auf den Steigungen. Eine Schnellzugfahrzeit von 90 Minuten von München nach Garmisch (100 km) und eine solche von 120 Minuten von München nach Salzburg (138 km) bedeuten bei den gegebenen Streckenverhältnissen eine nicht unwesentliche Verkehrsverbesserung.

Der Übergang zu kleinen Zugeinheiten, der für den großen Güterverkehr und für die zwischenstaatlichen Zugverbindungen im allgemeinen nicht in Frage kommt, wurde durch Einstellung von Triebwagenzügen (30 Einheiten) und durch Vermehrung der Verbindungen, hauptsächlich im Nahverkehr, eingeleitet; ferner wurde eine teilweise Staffelung des Fahrplanes im Personenzugdienste vorgenommen. Eine Verwendung der Triebwagenzüge im Fernverkehr ist nur in Einzelfällen

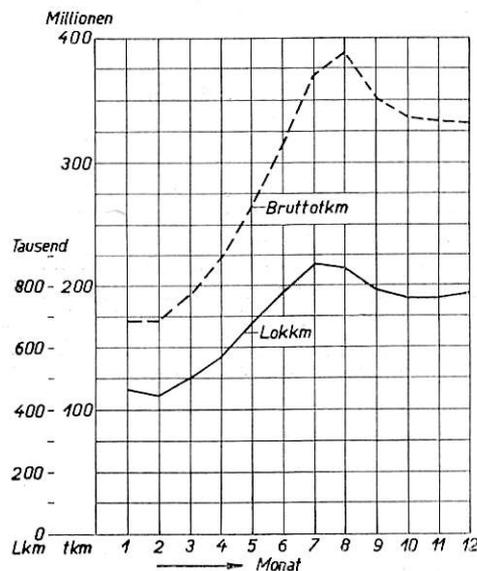


Abb. 40. Monatliche Leistungen der elektrischen Triebfahrzeuge 1927.

(bis auf 138 km) durchgeführt; doch dürfte nach weiterem Ausbau des Netzes die Einrichtung eines Schnelltriebwagen-dienstes (mit 100 km Höchstgeschwindigkeit) für den Städteverbindungsverkehr (z. B. München—Augsburg) als ein ernst zu nehmendes Mittel gegen den Wettbewerb des Kraftwagens aufzunehmen sein.

### b) Betriebsleistungen\*).

Die jährlichen Betriebsziffern der elektrisch betriebenen Strecken sind bereits in Übersicht 2, ausgeschieden nach den stromliefernden Kraftquellen, angeführt; die monatliche Leistung aller Triebfahrzeuge einschließlich Verschiebedienst usw. im Jahre 1927 veranschaulicht Textabb. 40. Von den neubeschafften Triebfahrzeugen wurden seit ihrer Indienststellung bis Ende 1927 im ganzen 16,28 Millionen Lokkm geleistet (Bestand Ende 1927: 140 Stück); hiervon 12,6 Mill.km von den Personenzuglokomotiven und Triebwagen, 3,68 Mill.km von den Güterzuglokomotiven (E 77 und E 91), die etwas später als die ersteren vollzählig angeliefert wurden. Als höchste monatliche Laufleistung wurden 1927 von den auch für Schnellzüge verwendeten Personenzuglokomotiven (E 16 und E 52) 11 bis 12000 Lokkm, von der Gattung E 32, die vor Anlieferung der Triebwagen auch den Nahverkehr be-

\* Siehe auch Zentralblatt für elektrischen Zugbetrieb 1928, Aprilheft S. 110 bis 117.

dienten, 8600 Lokkm, von den Triebwagen nahezu 11000 km erreicht. Wenn auch die durchschnittliche Ausnützung der elektrischen Lokomotiven in Ansehung der verhältnismäßig geringen Länge der elektrisch betriebenen Strecken und der gegebenen Fahrplangestaltung noch nicht den günstigsten Wert erreicht hat, so liegen ihre durchschnittlichen Jahresleistungen doch um 13800 km d. i. 30 v. H. höher als der Durchschnittswert der Dampflokomotiven. Dies liegt hauptsächlich in der günstigen Wendemöglichkeit der elektrischen Triebfahrzeuge, die kürzeste Übergänge im Dienstenteiler bis zu einer Stunde noch ermöglichen. Noch augenfälliger tritt dieser Vorteil im Triebwagendienst in Erscheinung durch Verwendung der Steuerwagen, wo Umkehrzeiten bis zu drei Minuten vorkommen, eine Spanne, die beim Dampftrieb selbst unter Benützung besonderer Wendelokomotiven nicht einzuhalten ist. Die Triebwagenzüge werden gewöhnlich als Steuerwagenzüge oder in Einzelfällen, im Sonntagsverkehr fast ausschließlich, als Doppeltriebwagenzüge eingesetzt; bei letzteren ist an der Spitze und am Ende des Zuges je ein Triebwagen. Zwischen Trieb- und Steuerwagen sind zwei bis drei dreiachsige Beiwagen eingeschaltet, die wie die ersteren mit Ausgleichluftleitungen und Steuerstromkupplungen versehen sein müssen. Die durch den Wegfall des Umsetzens infolge Verwendung von Steuerwagen eingetretene Entlastung der Fahrstraßen und Stellwerke ist fahrdienstlich ein sehr großer Vorteil; sie erhöht die Leistungsfähigkeit der Bahnhöfe und vermehrt dadurch die Betriebssicherheit ganz außerordentlich. Auch für den Stoßverkehr bedeuten die rasch umkehrenden Doppel-Triebwagenzüge, die bis zu 800 Personen aufnehmen, eine nicht zu unterschätzende Erleichterung.

Im Verschubdienst und im Ablaufbetriebe zeigte sich ferner sowohl betriebstechnisch als auch wirtschaftlich die elektrische Betriebsform überlegen; der Wegfall der Ausrüstungszeiten nebst Ergänzung der Betriebsstoffe, sodann die große Anfahrbeschleunigung läßt Verschubdienst und Ablaufbetrieb rascher abwickeln als beim Dampftrieb; dies ist namentlich dann wichtig, wenn durch diese Dienste die Fahrstraßen ein- oder ausfahrender Züge gekreuzt werden, wie z. B. im Rangierbahnhof München Laim, wo seit dem elektrisch durchgeführten Ablaufbetrieb die Einfahrgruppen rascher geräumt werden können. Auch diese Tatsache bedeutet praktisch eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Bahnhofs.

#### c) Arbeitsverbrauch.

In Übersicht 4 wurde bereits der durchschnittliche Arbeitsverbrauch je Zugkm und tkm als Verhältnis der in den einzelnen Jahren verbrauchten kWh zu den Betriebsleistungen angegeben. In diesen Ziffern, die den Arbeitsverbrauch für die Leistungseinheit bezogen auf das Kraftwerk darstellen, ist der Verbrauch für Zugheizung, Beleuchtung kleinerer Stationen usw. mit enthalten. Bei Entwurfsarbeiten und Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurde früher mit einem Jahresdurchschnittswert von 35 Wh/tkm ab Kraftwerk gerechnet. Die Erfahrung des letzten Jahres (1927), in dem mit schweren Zugeinheiten belegte Strecken auf die elektrische Betriebsform umgestellt wurden, zeigten nun einen erheblichen Rückgang des spezifischen Arbeitsverbrauches (24,4 Wh/tkm einschließlich Zugheizung usw.). Um Klarheit über den Einfluß der verschiedenen Zugattungen auf den Durchschnittssatz des Arbeitsverbrauches zu erhalten, hat die Gruppenverwaltung Bayern zahlreiche Meßfahrten mit dem von ihr für die Zwecke der elektrischen Zugförderung ergänzten Meßwagen durchgeführt. In Übersicht 12 ist das Ergebnis dieser Versuche enthalten und ausgewertet. Hierbei ist zu beachten, daß die unter Ziff. 15 dieser Übersicht angegebene Zugförderungsarbeit hinter dem Stromabmesser gemessen wurde, die unter Ziff. 16 bis 19 angegebenen Sätze sich demnach auch

auf den 15 kV-seitigen Verbrauch der Triebfahrzeuge beziehen und um den Verlust in der Gesamtkraftübertragung (Fernleitung, Unterwerke, Speise- und Fahrleitungen) zu erhöhen sind, damit die Verbrauchsziffern ab Kraftwerk erhalten werden; diese Verluste betragen im Durchschnitt zwischen 20 und 25 v. H. Die Versuchszüge wurden mit den im Fahrplanbuche enthaltenen Fahrzeiten gefahren; die den Arbeitsverbrauch beeinflussenden Größen, wie Geschwindigkeit, Zwischenhalte, mittlerer Abstand der Zwischenhalte, die auf eine Triebachse treffende Anhängelast wurden in Übersicht 12 besonders aufgeführt, um deren Einwirkung auf die Meßergebnisse beurteilen zu können.

Den geringsten Arbeitsverbrauch auf die Förderleistungseinheit bezogen, weisen, wie zu erwarten war, die Durchgangsgüterzüge auf (Ziff. 17, Spalte 3, 7, 10 der Übersicht 12); bei dieser Gattung wurde ein Mindestverbrauch (Spalte 7) von 9,59 Wh/tkm am Bügel oder rund 12,5 Wh/tkm ab Kraftwerk gemessen; dieser Zug war allerdings besonders gut ausgelastet, da auf eine Triebachse rund 252 t Anhängelast trafen; deshalb ist auch der mittlere Leistungsbedarf je Tonne Zuggewicht (Ziff. 19) bei diesem Versuch am geringsten von allen festgestellten Werten. Im Mittel kann, wenn nicht besonders ungünstige Streckenverhältnisse vorliegen, mit einem Verbrauchswert von 16 Wh/tkm und einem durchschnittlichen Leistungsbedarf von 0,60 kW/t Zuggewicht für Durchgangsgüterzüge gerechnet werden; diese Werte sind für Unterwegsgüterzüge im allgemeinen um etwa 10 bis 15 v. H. wegen des Anfahrens zu erhöhen, je nach dem mittleren Abstand der Haltepunkte. Bei Personenzügen mit 75 km Höchstgeschwindigkeit steigt Wh/tkm auf etwa 30 ab Kraftwerk, wenn die Haltepunkte im Mittel etwa fünf bis sieben km auseinanderliegen; bei diesen Zügen muß, um die Fahrzeiten halten zu können, ein erheblicher Teil der zur Beschleunigung aufgewendeten Arbeit durch Abbremsen vernichtet werden. Noch deutlicher zeigt sich dies bei den Triebwagenzügen im Nahverkehr: bei einem durchschnittlichen Haltepunkt-Abstand von 4,5 km steigt der Wert für Wh/tkm auf 31,5, bei einem mittleren Abstand von 2,4 km sogar auf 48, bezogen auf das Kraftwerk; wird die gleiche Strecke ohne Anhalten durchfahren (Spalte 12 und 14 der Übersicht), so sinken die Verbrauchsziffern im ersten Falle um 38 v. H., im letzteren sogar um 49 v. H. Die Fahrzeiten sind bei den Nahzügen aber so gespannt, daß ein Auslaufen in nennenswertem Umfang bei den geringen Haltepunkt-Abständen nicht mehr möglich ist. Dies zeigt auch der für den Nahtriebwagenzug gefundene Wert des mittleren Leistungsbedarfes je Tonne Zuggewicht (Ziff. 19, Spalte 13), der mit 1,5 kW sogar den mittleren Leistungsbedarf je Tonne eines mit durchschnittlich 73,2 km/h Geschwindigkeit fahrenden Schnellzuges von 707,5 t Gesamtgewicht übertrifft. Der Arbeitsverbrauch für Zugheizung ist in den ermittelten Ziffern nicht enthalten.

#### d) Zugheizung\*).

Übergangsweise mußten am Anfang der Umstellungen auf die neue Betriebsform bei einem Teil der Personenzüge noch Heizkesselwagen mitgeführt werden. Nachdem inzwischen der Bestand der mit elektrischen Heizeinrichtungen versehenen Wagen auf nahezu 1200 vorgeschritten ist, können alle Personenzüge und auch ein Teil der Schnellzüge elektrisch geheizt werden. Im zwischenstaatlichen Verkehr ist der Einbau der elektrischen Zugheizung in die Übergangswagen angestrebt und zum Teil bereits durchgeführt.

Die bauliche Ausbildung der Heizeinrichtungen erfolgte im Rahmen der im Verein deutscher Eisenbahnverwaltungen und vom Internationalen Eisenbahnverband\*\*) gefaßten

\*) „Elektrische Bahnen“ 1926, Heft 12, S. 421 bis 432.

\*\*) „Elektrische Bahnen“ 1927, Heft 3, S. 92 bis 103.

Übersicht 12.

Versuchsstrecke		München—Kufstein und zurück				München—Regensburg und zurück				München—Salzburg und zurück	Freilassing—Mü Ost	München—Freissing und zurück		München—Gauting und zurück		
		Schnellzug	Personenzug	Durchgangsgüterzug	Unterwegsgüterzug	Schnellzug	Personenzug	Durchgangsgüterzug	Unterwegsgüterzug			Schnellzug	Durchgangsgüterzug	Nah-Triebwagenzug	durchgehender	Nah-Triebwagenzug
Spalte		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
O. Z.	Einheit															
1	Länge der Versuchsstrecke	km	98,96	98,96	86,82	86,82	138,13	138,13	133,77	133,77	153,13	134,29	40,65	40,65	18,93	18,93
2	Fahrzeit ohne Aufenthalte	Min	169,5	224	268	317,5	252,5	351,5	432,5	504	251	213	103,5	98	54,5	38,5
3	Zahl der Zwischenhalte . .	Min	3	26	2	28	2	50	3	36	1	3	16	0	14	0
4	Mittlere Geschwindigkeit .	km/h	70,06	53,02	38,88	32,81	65,65	47,16	37,72	31,85	73,21	37,83	47,13	49,78	41,67	58,99
5	Mittlerer Abstand der Haltepunkte . . . . .	km	39,6	7,1	43,4	5,8	69,2	5,3	53,5	7,0	102,2	33,6	4,5	40,6	2,4	18,9
6	Triebfahrzeug-Gattung . .	—	E 16	E 32	E 77	E 77	E 16	E 32	E 91	E 77	E 16	E 91	D <sup>4i</sup> el T	D <sup>4i</sup> el T	D <sup>4i</sup> el T	D <sup>4i</sup> el T
7	Triebfahrzeug-Gewicht . .	t	111	85	113	113	111	85	123	113	111	123	60,5 <sup>1)</sup>	60,5 <sup>1)</sup>	60,5 <sup>1)</sup>	60,5 <sup>1)</sup>
8	Anhängelast . . . . .	t	455	291	860	899/860 <sup>2)</sup>	687,5	292	1514	809/806 <sup>2)</sup>	596,5	1299	113,5+30 <sup>3)</sup>	113,5+30 <sup>3)</sup>	113,5+30 <sup>3)</sup>	113,5+30 <sup>3)</sup>
9	Zuggewicht . . . . .	t	566	376	973	1012/973 <sup>2)</sup>	798,5	377	1637	822/919 <sup>2)</sup>	707,5	1422	174	174	174	174
10	Achsenzahl der Anhängelast	—	46	42	78	110/78 <sup>2)</sup>	70	42	114	60	62	112	12 <sup>4)</sup>	12 <sup>4)</sup>	12 <sup>4)</sup>	12 <sup>4)</sup>
11	Anhängelast: Achsenzahl .	t	9,89	6,93	11,03	8,17/11,03	9,82	6,95	13,28	13,48/13,43	9,62	11,60	11,96	11,96	11,96	11,96
12	Anhängelast: Zahl der Triebachsen . . . . .	t	113,75	97,00	215,00	224,75/215,0	171,87	97,33	252,33	202,25/201,5	149,13	216,50	71,75	71,75	71,75	71,75
13	Fahrleistung . . . . .	Zkm	197,93	197,93	173,64	173,64	276,26	276,26	267,55	267,55	306,25	134,29	81,30	81,30	37,85	37,85
14	Förderleistung . . . . .	tkm	112027	74421	168956	173060	220594	104150	437973	246089	216673	190963	14146	14146	6586	6586
15	Zugförderungsarbeit . . .	kWh	1912	1544	2039	2357	3537	2590	4201	3148	4193	2740	333	206,5	238	120,5
16	Arbeitsverbrauch <sup>5)</sup> für die Fahrleistungseinheit . .	kWh/Zkm	9,66	7,80	11,74	13,57	12,80	9,37	15,70	11,77	13,69	20,40	4,10	2,54	6,29	3,18
17	Arbeitsverbrauch <sup>5)</sup> für die Förderleistungseinheit . .	Wh/tkm	17,06	20,75	12,07	13,62	16,03	24,86	9,59	12,79	19,35	14,35	23,54	14,60	36,13	18,29
18	Mittlerer Leistungsbedarf während der Fahrzeit . .	kW	676,8	413,6	456,5	445,4	840,5	442,1	582,8	374,8	1002,3	771,8	193,0	126,4	262,0	187,8
19	Mittlerer Leistungsbedarf je t Zuggewicht . . . . .	kW/t	1,19	1,10	0,47	0,46	1,05	1,17	0,36	0,41	1,45	0,54	1,10	0,73	1,50	1,08

1) Hiervon 22,5 t für elektrische Triebwagenausrüstung.  
 2) Belastungsänderung während der Hin- und Rückfahrt.  
 3) Auf Anhängelast treffender Teil des Triebwagens.  
 4) Ausschließlich Triebachsen des Triebwagens.  
 5) Am Stromabnehmer.

Beschlüsse. Versuche, die Dampfheizrohre als Heizkörper zu benutzen unter Zwischenschaltung eines Umspanners mit dem Übersetzungsverhältnis 1000/10 Volt, konnten nicht weiter verfolgt werden, da sie sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht nicht befriedigten. Außer 20 Wagen mit Niederspannungsheizung sind alle übrigen mit Hochspannungsheizkörpern ausgerüstet. Bei einem Teil der im Ferndienst verwendeten Wagen war eine Regelung der Heizleistung vom Wageninnern aus nicht vorgesehen; dies führte zu Anständen mit den Fahrgästen, so daß sie nachträglich angebracht werden mußte. Die durchschnittlich mit 200 Watt/m<sup>3</sup> bemessene Heizleistung hat sich als ausreichend erwiesen.

Die Zahl der im Jahre an den Heizeinrichtungen und Kupplungen aufgetretenen Störungen betraf etwa 7 v. H. der Ende 1927 mit solchen Einrichtungen versehenen Wagen.

Der überwiegende Teil der Störungen bestand im Durchschlagen der Lamellen von Hochspannungsheizkörpern, bei der Niederspannungsheizung im Lockern von Befestigungsteilen und Verbindungen. Die Zahl der Störungen an den Heizkupplungen ist sehr klein; auch die Schalteinrichtungen haben sich bis jetzt im allgemeinen bewährt. Der Arbeitsverbrauch für die Zugheizung beträgt etwa 6 bis 8 Wh/tkm, bezogen auf das Gewicht der mit Heizeinrichtung versehenen Wagen und eine Heizspannung von 800 Volt. Für Personenzüge mit 75 km Höchstgeschwindigkeit kann als guter Durchschnitt etwa 4 Wh/Tonne Zuggewicht für überschlägige Rechnungen angenommen werden.

#### e) Störungen.

Die im elektrischen Zugförderungsdienste aufgetretenen Unregelmäßigkeiten betragen 1925 bis 1927 im Durchschnitt 113 je 1 Million Lokkm; hierbei sind auch jene mitgezählt, die ganz kurzzeitiger Natur waren und keine Auswirkung auf den Betrieb hatten. In mindestens 30 v. H. aller Fälle konnten die Verspätungen ganz oder im überwiegenden Maße wieder aufgeholt werden. Die Ursache der Unregelmäßigkeiten lag in 0,6 v. H. der Fälle in Störungen in den Kraftwerken und in der gleichen Höhe in Schäden der Oberspannungsübertragung; 3,0 v. H. waren durch Störungen in den Unterwerken, 41,6 v. H. durch solche an den Fahr- und Speiseleitungen, 54,2 v. H. durch solche an den elektrischen Triebfahrzeugen veranlaßt. Da in diesen Zahlen auch die Anlaufzeit für die Umstellung der einzelnen Strecken (Übersicht 1) und der Probedienst der elektrischen Triebfahrzeuge enthalten sind, können sie noch keinen einwandfreien Gradmesser für die Sicherheit des Betriebes darstellen.

#### f) Personal.

In der Natur der elektrischen Betriebsform liegt es begründet, daß für einen „Heizer“ kein Raum mehr ist auf einem elektrischen Triebfahrzeug. Selbst der Führer eines solchen ist von all den Aufgaben entlastet, welche ihm bei einer unabhängigen Zugkraft durch die Überwachung der Kraftquelle zufallen. Die Beobachtung der vor seinen Augen angebrachten elektrischen Meßeinrichtungen erfordert ganz geringe Mühe; er kann daher seine ganze Aufmerksamkeit der Zugbeförderung widmen. Die weder durch Rauchfahnen und Dampfschwaden noch durch den Kessel behinderte Sicht vom Führerstande aus gestattet einen völlig freien Ausblick über die Strecke, wodurch die Betriebssicherheit nicht unwesentlich gegenüber dem Dampfbetrieb erhöht ist. Letzteres wird — weil wirtschaftlich schwer zu erfassen — viel zu wenig gewürdigt; es kann aber kein Zweifel bestehen, daß eine Reihe schwerer, in den letzten Jahren vorgekommener Eisenbahnunglücke, die nicht wenigen Menschen das Leben kosteten, entweder ganz vermieden oder wenigstens in ihrer Auswirkung gemildert worden wären, wenn in den fraglichen Fällen die Zugbeförderung statt mit Dampf mit elektrischen Triebfahr-

zeugen abgewickelt worden wäre. Dem Führer ganz allein den Dienst auf dem Triebfahrzeug zu überlassen, wie dem Führer eines Kraftwagens, hinderte die Befürchtung, daß bei plötzlicher Dienstunfähigkeit des Führers der Zug gefährdet wird. Solch ein plötzliches Versagen des Lokomotivführers ist zwar bisher beim Dampfbetrieb äußerst selten beobachtet worden, jedoch nicht ausgeschlossen. Deshalb wurde neben dem Führer bei den bisherigen Umstellungen auf die neue Betriebsform ein Mann des Zugbegleitpersonals, in der Regel der Zugführer, auf das elektrische Triebfahrzeug gestellt; dieser ist soweit in der Bedienung der Einrichtungen des Triebfahrzeuges unterwiesen, daß er den Zug zum Halten bringen kann, wenn der Führer plötzlich dienstunfähig werden sollte. Nur bei Zügen über 75 km Höchstgeschwindigkeit (Schnellzügen) wird ein fachtechnischer Beimann eingesetzt, weil diese Züge in der Regel große Strecken ohne Aufenthalte durchfahren und eine Nachschau im Maschinenraum des Triebfahrzeuges während der Fahrt für nötig gehalten wird, ferner bei den kurzen Aufenthaltszeiten solcher Züge in den Stationen die Untersuchung des Laufwerkes durch einen zweiten Mann die Betriebssicherheit erhöht. Die Zahl dieser Züge, deren Triebfahrzeug mit einem technischen Beimann besetzt ist, beträgt zur Zeit etwa 6 v. H. im Sommer, im Winter 11 v. H. unter Einrechnung des Wärters für die übergangsweise beigeestellten Heizkesselwagen. Die wirtschaftlichen Folgen dieser Maßnahme sind, wie im letzten Abschnitt gezeigt wird, sehr bedeutende, in manchen Fällen sogar ausschlaggebend für die Wertigkeit einer Strecke zur Umstellung auf die neue Betriebsform. Wird mit dem Fortschreiten der Ausrüstung des Wagenparkes für die elektrische Zugheizung in den Wintermonaten die Beigabe von Heizkesselwagen entbehrlich, so wird die Einsparung an Personal noch günstiger sich auswirken. Zur Zeit kann für 1000 Lokkm gerechnet werden mit  $\text{Kopffzahl (E)} = 0,55 \times \text{Kopffzahl (Dampf)} = 0,55 \times 0,067 = 0,03685$ .

Die „Einfachmann“-Besetzung der elektrischen Triebfahrzeuge sowie die Verwendung von Zugbegleitpersonal auf der Lokomotive vollzog sich bisher im allgemeinen ohne Schwierigkeiten. Die Betriebssicherheit und der wirtschaftliche Erfolg wird noch erhöht werden, wenn — wie bei den Schweizer Bundesbahnen\*) — die Triebfahrzeuge mit einer Sicherheitssteuerung versehen werden, welche bei Dienstunfähigkeit des Führers zur Wirkung kommt, indem selbsttätig der Hauptschalter ausgelöst und die Luftbremse betätigt wird. Der Einbau dieser Sicherung ist in Aussicht genommen; von der „Einfachmann“-Besetzung kann dann zur „einmännigen“ Bedienung der Triebfahrzeuge übergegangen werden.

Außer auf den Stand des Fahrpersonals wirkte sich die elektrische Betriebsform auch auf die Kopffzahl der für die Lokomotivbehandlung (Betriebsarbeiter) erforderlichen Kräfte aus; bei diesen konnten 52 v. H. gegenüber dem Dampfbetrieb eingespart werden (1 Kopf auf 63000 Lokkm gegenüber 40000 beim Dampfbetrieb).

Auch der Krankenstand des Fahrpersonals ist beim elektrischen Betrieb geringer; in einem Beobachtungsabschnitt wurden 25 v. H. weniger Krankheitstage gezählt als beim Dampfbetrieb.

### VIII. Wirtschaftliches\*\*).

#### a) Anlagekosten.

Die bisherigen Aufwendungen für die von den Großwasserkraften mit Strom versorgten Strecken, einschließlich der Mittenwaldbahn und des Abschnittes Salzburg—Reichen-

\*) Zentralblatt für elektrischen Zugbetrieb 1928, Märzheft, S. 89 bis 91.

\*\*) Organ 1924, Heft 9/10, S. 237 bis 241.

hall, mit zusammen 667 km Länge, veranschaulicht Textabb. 41; hierbei sind die Ausgaben bis November 1923 entsprechend aufgewertet und die Kosten auf den in Textabb. 6 dargestellten Stand für die noch durchzuführenden Ergänzungen (Unterwerk Traunstein usw.) in die Gesamtaufwendungen mit einbezogen. Die Umstellungskosten betragen ohne den Aufwand für Beteiligung an den Herstellungskosten der Kraftwerke je km Strecke rund 165000 *R.M.*; hiervon treffen im Durchschnitt 40,7 v. H. auf die Triebfahrzeuge, 27,1 v. H. auf die Fahrleitungsanlagen einschließlich 15 kV-Speiseleitungen und einschließlich Ausrüstung der Fahrleitungsmeistereien, 8,8 v. H. auf die Unterwerke, 7,8 v. H. auf die Änderung der Fernmeldeeinrichtungen, 4,4 v. H. auf die Errichtung von Werkstätten und Schuppenanlagen, 2,5 v. H. auf den Umbau von Brücken und Überbauten, Änderung der Signaleinrichtungen und Starkstromanlagen, 2,2 v. H. auf die Einrichtung der elektrischen Zugheizung in dem vorhandenen Wagenpark. Die bisher für die Bereitstellung der Kraftquellen gemachten Ausgaben können in vollem Umfange nicht dem derzeit elektrisch betriebenen Netze angelastet werden, da die Werke, wie unter Abschnitt I ausgeführt, durch letzteres noch ganz ungenügend ausgenützt sind; in wenigen Jahren wird nach Vollendung des Ausbaues der Mittleren Isar und der hierdurch bewirkten Erhöhung der Kraftwerkskosten um rund 22 v. H. (siehe Textabb. 41 Buchstabe a) eine Strommenge zur Verfügung stehen, welche das Mehrfache der 1927 verbrauchten Arbeit beträgt und für den Betrieb eines rund 1100 km großen Netzes ausreichen wird. Auf dieses bezogen treffen dann an Kraftwerkskosten rund 28000 *R.M.* je km umgestellte Strecken, so daß die Gesamtumstellungskosten einschließlich der Kosten der Kraftwerke sich auf  $165000 + 28000 = 193000$  *R.M.* belaufen werden, gegenüber einem Aufwand je km umgestellte Strecke von  $165000 + 40000 = 205000$  *R.M.*, der sich errechnet, wenn die bis Ende 1927 angefallenen Kosten für die Kraftquellen auf das derzeit von ihnen versorgte Netz von 667 km bezogen werden. Dieser zusätzlichen Erhöhung der Anlagewerte infolge der Umstellung stehen gegenüber jene Kosten, die zu Lasten des Dampfbetriebes zu buchen sind, nämlich die Anlagewerte der Dampflokomotiven und ihrer Behandlungsanlagen, soweit sie beim elektrischen Betriebe entfallen. Diese Werte belaufen sich auf 61300 *R.M.*/km Betriebslänge, also nicht ganz auf ein Drittel der Umstellungskosten.

#### b) Betriebskosten und Vergleich mit dem Dampfbetrieb.

Auf den bisher umgestellten Strecken wurde der elektrische Betrieb in der Regel in Teilabschnitten von 40 bis 50 km schrittweise eingeführt und zu diesem Zwecke auf geeignet ausgewählten Bahnhöfen die Dampfzugkraft durch die elektrische Lokomotive ersetzt; in diesem Umspanndienst konnten die Schnellzüge in der Regel nur insoweit einbezogen werden, als sie in den Umspannstationen ohnehin fahrplanmäßig anzuhalten hatten. Während dieser Übergangszeit war demnach gemischter Betrieb nicht zu vermeiden. Diese Tatsache ist der genauen Erfassung der Kosten der elektrischen Betriebsform in gewissem Umfange hinderlich; doch konnten bereits Grundlagen gewonnen werden, die gestatten, die Jahreskosten des elektrischen Betriebes auf dem 667 km Betriebslänge umfassenden Netz mit einer Leistung von 4363 Mill. Btkm bei 13,77 Mill. Lok- und Triebwagenkm mit ziemlicher Sicherheit zu ermitteln und mit den Kosten in Vergleich zu setzen, die anfallen würden, wenn dieses Netz noch mit Dampf betrieben würde. In Textabb. 42 ist dieser Vergleich zeichnerisch dargestellt.

##### A) Elektrischer Betrieb.

1. Zugförderungsarbeit: Für das Jahr 1927 ergibt sich, wie bereits in Übersicht 4 gezeigt, auf Grund der von den

Stromlieferern in Rechnung gestellten Strommengen ein durchschnittlicher Arbeitsverbrauch von 24,4 Wh/tkm einschließlich Zugheizung und der für Licht- und Kraftwerke verwendeten Mengen. Da eine Reihe von Linien mit nicht unbedeutendem Güterverkehr erst im Laufe des Jahres 1927 auf die elektrische Betriebsform umgestellt wurde (vergl. Übersicht 1), kann in Berücksichtigung dieses Umstandes auf Grund der Meßversuche der Jahresdurchschnittssatz des Arbeitsverbrauches für das 667 km große Netz mit 22 Wh/tkm ab Kraftwerk ohne Zugheizung und ohne Verbrauch für sonstige Zwecke angesetzt werden; dies ergibt einen Gesamtjahresverbrauch für die Zugbeförderung von 96 Mill. kWh, die nach dem Stromlieferungsvertrag mit 0,0172 *R.M.*/kWh von den Großwasserkraften in Rechnung

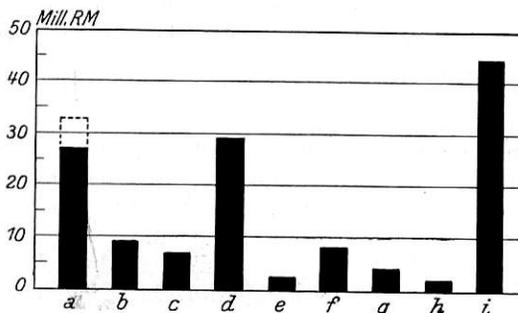


Abb. 41. Kosten der Umstellung auf die elektrische Betriebsform: a Kraftwerke; b Unterwerke; c Fernleitungen; d Fahrleitungen, Speiseleitungen, Fahrleitungsmeistereien; e Umbau von Brücken, Gleissenkungen, Umbau von Starkstromeinrichtungen; f Fernmeldeanlagen; g Werkstätten und Schuppen; h Zugheizung; i Triebfahrzeuge.

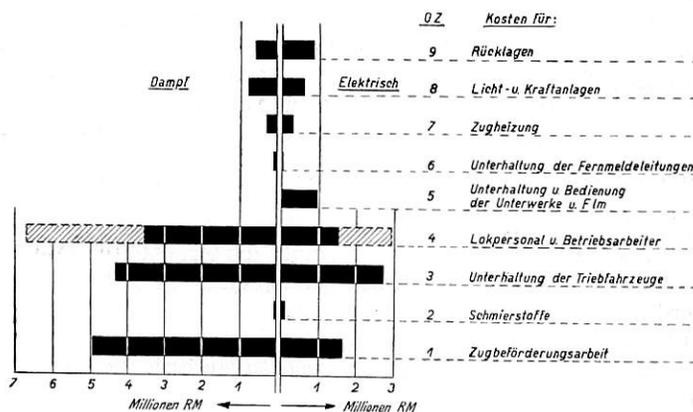


Abb. 42. Betriebsausgaben bei Dampf- und elektrischem Betrieb.

gestellt werden. In diesem Preise sind nicht bloß die Vergütung für die Verwaltung, Betriebsführung, Bedienung und Unterhaltung der Kraftwerke, sondern auch die Erneuerungsrücklagen für diese sowie eine Entschädigung für aushilfsweisen Wärmestrombezug enthalten.

2. Schmierstoffverbrauch: Nach den bisherigen Beobachtungen ist mit einem Verbrauch von Mineralöl von 21,6 kg und von Dynamoöl von 5,2 kg auf 1000 Lokkm zu rechnen; dieser Verbrauch liegt noch etwas höher als jener der Dampflokomotiven.

3. Unterhaltung der Triebfahrzeuge: Im Jahre 1927 sind 192,3 *R.M.* an Unterhaltungskosten auf 1000 Lokkm angefallen; mit einem Satz von 200 *R.M.*/1000 Lokkm dürfte in den nächsten Jahren zu rechnen sein.

4. Personal: Mit 293 Führern, 22 Begleitern und 88 Betriebsarbeitern kann nach den Dienstenteilern die Zugbeförderung durchgeführt werden, wobei ein Zuschlag von 10 v. H. für Urlaub und Krankheitstage inbegriffen ist.

5. Die Bedienung und Unterhaltung der Unterwerke, Fern-, Speise- und Fahrleitungen erfordert nach den bisherigen Erfahrungen einen Jahresaufwand von 1435  $\mathcal{R}\mathcal{M}$  je km elektrisch betriebener Strecke.

6. Die Kosten der Unterhaltung der Fernmeldeanlagen sind mit 20  $\mathcal{R}\mathcal{M}$  je km Streckenlänge angesetzt; sie sind für die Wirtschaftsrechnung belanglos, wie Textabb. 42 zeigt.

7. Die Ausgaben für Zugheizung sind unter Berücksichtigung der teilweisen Dampfvorheizung, der elektrischen Vorheizung und des Mitführens von Heizkesselwagen, soweit letzteres nötig, festgestellt; sie sind ein geringes höher als beim Dampftrieb.

8. Da ein Teil der vorhandenen Licht- und Kraftanlagen an die Fahrleitung angeschlossen ist, entweder unmittelbar an Wechselstrom von  $16\frac{2}{3}$  Hertz oder mit Hilfe von Umformern ist beim Vergleiche die wirtschaftliche Auswirkung dieser Maßnahme zu berücksichtigen.

9. Bei Festsetzung der Rücklagen für bauliche Anlagen und verkabelte Leitungen ist eine Lebensdauer von 50 Jahren, für andere Leitungsanlagen eine solche von 40 Jahren, für sonstige elektrische Einrichtungen und Triebfahrzeuge eine solche von 25 Jahren unter Berücksichtigung eines entsprechenden Altstoffwertes angenommen.

Nach diesen Ansätzen (Ziff. 1 bis 9) ergibt sich je Lokkm ein Aufwand von 0,636  $\mathcal{R}\mathcal{M}$  und je tkm ein solcher von 0,2  $Rpf$  hierbei sind die in Textabb. 42 O.Z. 4 angedeuteten Zuschläge zu den Personalkosten des Zugförderungsdienstes (Pensionen, Versicherung usw.) nicht in Rechnung gestellt.

#### B) Dampftrieb.

1. Zugförderungsarbeit: Nach den Betriebsergebnissen für 1927 wurden im Bereich der Gruppenverwaltung Bayern für je 1000 Lokkm durchschnittlich 11,83 t Kohle (Reichsdurchschnitt 12,735 t/1000 Lokkm) verbraucht; die Fahrleistung erhöht sich gegenüber dem elektrischen Betrieb um etwa 4,7 v. H. auf 14,42 Millionen Lokkm. Dieser Fahrleistung entspräche nach dem angeführten Durchschnittssatze ein jährlicher Kohlenverbrauch von  $14,42 \cdot 10^2 \cdot \frac{11,83}{103} =$  rund 170000 t. Da in dieser Menge der Verbrauch für die Zugheizung inbegriffen ist, muß die ermittelte Jahreskohlenmenge für das 667 km umfassende Netz ermäßigt werden. Es soll nur ein Jahresverbrauch von 150000 t (d. i.  $10,4 \text{ t}/1000 \text{ Lokkm} = 88 \text{ v. H. des Durchschnittssatzes}$ ) in Rechnung gesetzt werden. Hierbei sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß der Vergleich auf Grund der bisherigen Betriebsergebnisse mit den zur Zeit vorhandenen Dampflokomotiven geführt werden soll, nicht unter Zuhilfenahme des Ergebnisses einzelner Versuchsfahrten mit nur in geringer Zahl zur Zeit vorhandenen neubeschafften Dampflokomotiven, deren größere Wirtschaftlichkeit hinsichtlich des Kohlenverbrauches gegenüber solchen früherer Bauart als erwiesen anzunehmen ist. Nach den bisherigen Erfahrungen kann 1 kWh Verbrauch ab Kraftwerk gleich 1,4 kg Kohlenverbrauch der Dampflokomotive gesetzt werden; hierbei sind jedoch die Vergleichsgrundlagen nicht die nämlichen, weil die elektrischen Züge viel kürzere Fahrzeiten haben, der Kohlenverbrauch mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit, besonders auf den Rampen, jedoch rasch ansteigt. Wird letzteres dadurch berücksichtigt, daß statt des Gleichwertes 1,4 ein solcher von 1,56 kg eingesetzt wird, so ergibt sich, wie oben, für die gesamte Förderleistung von 4363 Millionen Btkm des betrachteten Netzes ein Kohlenverbrauch von  $96 \cdot 10^6 \text{ kWh} \times 1,56 =$  rund 150000 t. Die Kosten der Kohle frei Tender betragen 29  $\mathcal{R}\mathcal{M}/t^*$ ; hierzu ist noch für den Vergleich der

Aufwand zu rechnen, der durch Bereitstellung, Unterhaltung und Erneuerung der für die Verfrachtung der Kohlenmengen erforderlichen Güterwagen, ferner für die Verzinsung des vorzuhaltenden Kohlenvorrats erwächst; diese Kosten errechnen sich zu 2,50  $\mathcal{R}\mathcal{M}/t$ .

Die Ausgaben für Wasser, Anheizstoffe, Beleuchtung der Lokomotiven sind mit 1,55  $Rpf/\text{Lokkm}$  anzunehmen.

2. Schmierstoffverbrauch: Nach den bisherigen Erfahrungen erwachsen hierfür 0,56  $Rpf/\text{Lokkm}$ .

3. Unterhaltung der Dampflokomotiven: Kosten 300  $\mathcal{R}\mathcal{M}/1000 \text{ Lokkm}$  (Reichsdurchschnitt).

4. Personal: Nach den Dienstenteilern wären erforderlich: 383 Führer, 383 Heizer, 242 Betriebsarbeiter, zusammen: 1008 Köpfe, inbegriffen ein Zuschlag von 10 v. H. für Kranke und Beurlaubte.

5. Kosten für Bedienung und Unterhaltung elektrischer Zugförderungseinrichtungen entfallen.

6. Die Unterhaltung der Fernmelde-Freileitungen sind mit rund 180  $\mathcal{R}\mathcal{M}/\text{Jahr}$  je km Strecke (667 km) angesetzt.

7. Zugheizung: Die Kosten sind etwas geringer als beim elektrischen Betrieb.

8. Der Aufwand für Licht- und Kraftanlagen ist um etwa 25 v. H. größer als beim elektrischen Betrieb, weil höhere Strompreise als bei Verwertung des Bahnstromes gezahlt werden müssen.

9. Beim Dampftrieb wären etwa 30 v. H. mehr Zugkräfte erforderlich als beim elektrischen Betrieb; die Rücklagensätze bewegen sich in gleicher Höhe wie bei letzterem; der Altstoffwert ist um die Hälfte geringer angesetzt.

Nach den gemachten Ansätzen (Ziff. 1 bis 9) ergibt sich für die Fahrleistung ein Aufwand von 1,02  $\mathcal{R}\mathcal{M}/\text{Lokkm}$  und für die Förderleistung ein solcher von 0,34  $Rpf/\text{tkm}$ , wobei Zuschläge für Personalkosten auch in diesem Falle außer Ansatz geblieben sind. Die Ausgaben sind demnach beim Dampftrieb, auf die Fahrleistung bezogen, um 62%, auf die Förderleistung bezogen, um 70% höher als beim elektrischen Betrieb, wenn die Verzinsung der Anlagekosten für beide Betriebsformen zunächst unberücksichtigt bleibt. Auf den km elektrisch betriebener Strecken treffen 8900.—  $\mathcal{R}\mathcal{M}$  weniger Jahresausgaben für die oben unter Ziff. 1 bis 9 angeführten Posten als beim Dampftrieb. Da nun die Umstellungskosten je km Betriebslänge nach dem unter Abschnitt VIIIa) Gesagten einschließlich des Aufwandes für die Kraftwerke 193000  $\mathcal{R}\mathcal{M}$  betragen, errechnet sich hieraus eine Verzinsung dieser Umstellungskosten von 4,6 v. H. Werden Zuschläge für allgemeine Unkosten zu den Personalausgaben in der üblichen in Textabb. 42 angedeuteten Höhe gemacht, so steigt die Verzinsung auf 5,86 v. H. und werden weiter die dem Dampftrieb anzulastenden Verzinsungen für entbehrliche Anlagewerte (4250  $\mathcal{R}\mathcal{M}$  je km Betriebslänge) berücksichtigt, so steigt die Verzinsung der Umstellungskosten auf 8,2 v. H.

In welcher Weise auf Grund der bisherigen Betriebserfahrungen die der technischen Umstellung folgende Verschiebung in der Wirtschaft sich auswirkt, zeigt nachstehende Gegenüberstellung (Übersicht 13), in der die Betriebsausgaben — ausgeschieden nach veränderlichen und festen Kosten — jeweils für jeden Ausgabeposten des Dampfbetriebes gleich 1 gesetzt sind, wodurch das Verhältnis der Ausgaben beim elektrischen Betrieb zu jenen beim Dampftrieb, d. i. der wirtschaftliche Umstellungsfaktor erhalten wird.

Die Übersicht zeigt, in welchem Grade veränderliche Ausgaben in feste Kosten durch die Umstellung der Betriebsform verwandelt werden. Während beim Dampftrieb die Wegkosten 79 v. H., die Zeitkosten 21 v. H. der Gesamtausgaben ausmachen, sinken beim elektrischen Betriebe die ersteren auf 37 v. H. entsprechend einer wirtschaftlichen

\* ) Preissteigerung ab Mai 1928 um 2,20  $\mathcal{R}\mathcal{M}/t$  hierin nicht inbegriffen.

## Übersicht 13.

Ausgaben für		Wirtschaftlicher Umstellungsfaktor	Vomhundertsatz der Gesamtkosten beim Dampf-   elektr. Betrieb	
			Dampf-	elektr.
a) Veränderliche Kosten:				
1	Zugförderungsarbeit . .	0,326	23,84	7,76
2	Schmierstoffe . . . . .	1,199	0,39	0,47
3	Unterhaltung der Triebfahrzeuge . . . . .	0,637	20,84	13,27
4	Personal (mit allgemein. Unkosten) . . . . .	0,442	32,40	14,32
5	Zugheizung . . . . .	1,008	1,44	1,45
1—5	zus. veränderl. Kosten	0,472	78,91	37,27
b) Feste Kosten:				
6	Bedienung, Betrieb und Unterhaltung d. Unterwerke, Leitungsanlag., Fernmeldeleitungen, Starkstromanlagen . .	1,785	4,37	7,80
7	Rücklagen für Wiederbeschaffung . . . . .	1,449	2,86	4,15
8	Zinsendienst . . . . .	3,664	13,86	50,78
6—8	Feste Kosten . . . . .	2,974	21,09	62,73
1—5	Veränderliche Kosten . .	0,472	78,91	37,27
			100%	100%

Verschiebungsziffer von 0,47; die festen Kosten des elektrischen Betriebes steigen auf 63 v. H. der Gesamtkosten an, also auf nahezu das Dreifache der Zeitkosten des Dampfbetriebes.

In der geschilderten wirtschaftlichen Verschiebung liegt ein viel zu wenig hervorgehobener und beachteter Vorteil der elektrischen Betriebsform. Denn es ist ein allgemein gültiges wirtschaftliches Grundgesetz, daß von zwei Betriebsformen bei steigender Ausnützung der geschaffenen Anlagen jener Betrieb am günstigsten arbeitet, in dem die veränderlichen Kosten am geringsten sind. Eine so bedeutende Mittel festlegende Umstellung wie die Einführung des elektrischen Betriebes, deren vollständige Durchführung nach den durch die Kraftquellen gezogenen Grenzen mehr als ein Jahrzehnt

erfordert, muß daher nicht zuletzt in ihrer wirtschaftlichen Auswirkung auf weite Sicht beurteilt werden. Geschieht letzteres, dann werden gegenüber den bei Verkehrssteigerungen durch die neue Betriebsform zu erwartenden wirtschaftlichen Vorteilen alle mehr oder minder berechtigten Bemängelungen der in den Vergleichen mit einer noch nicht vorhandenen oder nicht mehr bestehenden Betriebsform gemachten Ansätze zurücktreten müssen.

## Schlußwort.

Daß eine in ihren Folgen so bedeutend sich auswirkende Maßnahme wie die Einführung des elektrischen Betriebes auf einem großen Netze sowohl in technischen wie in wirtschaftlichen Kreisen auch Gegner findet, ist erklärlich. Wer die Entwicklung von Technik und Wirtschaft kennt, weiß, daß der geistige Kampf nicht ein Übel, sondern ein unbedingt nötiges Mittel ist, um von jeder Neuerung nicht bloß die Vorzüge, sondern auch die Schwächen in voller Klarheit herauszustellen. Die letzteren wurden — soweit sie bisher erkannt sind — im vorstehenden auf Grund der vorliegenden Betriebserfahrungen ohne jede Beschönigung bekannt gegeben. Sie beruhen im wesentlichen auf den Folgen des Verlustes der Freizügigkeit der Zugkraft. Die hierfür eingetauschte Abhängigkeit von der Kraftübertragung, die zu meistern zu den ersten Aufgaben der Elektrotechnik gehört, ist zweifellos ein Nachteil, mit dem die Vorzüge der elektrischen Betriebsform erkauft werden müssen. Diese Vorteile im einzelnen darzulegen, erübrigt, da sie schon wiederholt einläßlich im Schrifttum behandelt wurden. Bei Straßenbahnen, Hoch- und Untergrundbahnen, Städteverbindungsbahnen, zum Teil auch im Überlandverkehr, sind sie auf der ganzen Welt unbestritten anerkannt. Die elektrische Betriebsform beherrscht deshalb auch fast ausnahmslos diese im wesentlichen durch kleine Zugeinheiten gekennzeichnete Arten von Bahnen trotz der auch bei diesen bestehenden Nachteile der Kraftübertragung. Daß die letztere bei Vollbahnen, die im allgemeinen schwere Zugeinheiten zu bewältigen haben, sich technisch so ungünstig auswirken sollte, daß die elektrische Betriebsform auch dann zurückstehen müßte, wenn die wirtschaftlichen Voraussetzungen für sie gegeben sind, ist nicht anzunehmen. Der von der Reichsbahngesellschaft in Südbayern gemachte Großversuch wird innerhalb des nächsten Jahrzehntes klar vor Augen stellen, ob die derzeitigen Vorkämpfer der neuen Betriebsform oder deren Gegner sich getäuscht haben. Denn auch in Technik und Wirtschaft kann sich wie im Leben der einzelnen Menschen nur das auf die Dauer durchsetzen und halten, was auf ganz einwandfreier Grundlage aufgebaut ist.

## Gleichstrom-Schnellzuglokomotiven von 5400 PS.

Die Bahngesellschaft Paris-Lyon-Méditerranée hat im Jahre 1925 auf einem kurzen Stück der Zufahrtlinie zum Mont Cenis einen elektrischen Probebetrieb eröffnet. Um sich über die Frage der geeignetsten Schnellzuglokomotiven Klarheit zu verschaffen, wurden damals vier verschiedene Probeschnellzuglokomotiven bestellt. Von diesen zeigte sich die Oerlikon-Lokomotive mit Einzelachs Antrieb, Bauart 2 B<sub>0</sub>-B<sub>0</sub> 2, den anderen derart überlegen, daß die erste Serie der zur Durchführung der Elektrisierung notwendigen Schnellzuglokomotiven im elektrischen Teil der Société Oerlikon in Paris übergeben wurde, während den Bau des mechanischen Teils die Société de Construction des Batignolles übernahm.

Da sich die Notwendigkeit größerer Leistung als die der Probelokomotive ergab, erhalten die im Bau befindlichen Lokomotiven zweimal drei Triebachsen und erhöhte Leistung je Triebachse. Bei diesen 2 C<sub>0</sub>-C<sub>0</sub> 2 Lokomotiven wird jede der sechs Triebachsen von einem Doppelmotor durch den Einzelachs Antrieb „Oerlikon“ angetrieben. Dieser Antrieb ist von der Probeloko-

omotive unverändert übernommen. Die Doppelmotoren leisten bei 1350 Volt zugeführter Spannung je 800 PS bei 72 km/h; bei der vollen Spannung von 1500 Volt beträgt die Stundenleistung eines Doppelmotors 900 PS, folglich die der Lokomotive 5400 PS, was alle bisher erreichten Lokomotivleistungen erheblich übertrifft.

Der zulässige Achsdruck ist 18 t, die Höchstgeschwindigkeit 130 km/h. Das Gewicht beträgt 156 t, somit für die PS-Stundenleistung 28,9 kg/PS, was von Lokomotiven ähnlicher Bauart und Leistung wohl kaum unterboten werden wird.

Die Steuerung geschieht wie bei allen neuzeitlichen Oerlikon-Gleichstrom-Lokomotiven mittels elektropneumatisch gesteuerter Einzelhüpfen. Die Kompressor- und Ventilatorgruppen, sowie die Führerstandsheizung sind an die Fahrdrachtspannung von 1500 Volt mittels elektropneumatischer Betätigung angeschlossen, die übrigen Nebenstromkreise an die Niederspannung von 60 Volt. Pp.

(Schweizerische Bauzeitung 1928, Nr. 2.)

## Elektrische Versuchlokomotiven der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft.

Von Dipl.-Ing. **Tetzlaff**, Reichsbahnoberrat, Berlin.

Es könnte vielleicht als Modesache erscheinen, daß bei fast allen Eisenbahnunternehmungen der Welt das Bestreben zu erkennen ist, bei elektrischen Lokomotiven an Stelle des vielfach ausgeführten Stangenantriebes zwischen Motor und Treibachsen den Einzelachsantrieb mit ausschließlich umlaufenden Bestandteilen zu setzen; dennoch sprechen triftige Überlegungen für diese Entwicklung. Daß man sie an so vielen Orten wiederfindet, spricht für die Richtigkeit dieser Erwägung. Die Übertragung der Motorleistung mittels Kurbelgetriebes auf die Räder steht bei europäischen elektrischen Lokomotiven aus den Anfangsjahren des elektrischen Vollbahnbetriebes im Vordergrund. (Schweiz, Italien, Frankreich, Deutschland, Österreich, Schweden, Norwegen, Ungarn und andere Länder.) Geringere Verbreitung dieses Getriebes findet sich in Amerika, wo man von Anfang an mehr danach trachtete, die Motoren ohne jede Übersetzung oder nur durch Zahnräder mit den Treibachsen zu verbinden. Die Einführung des Einphasen-Wechselstromes ging Hand in Hand mit einer Zusammenziehung der Leistung in möglichst wenige Motoren, weil dadurch spezifisch leichtere und billigere Ausrüstungen zu erzielen waren. Am ausgeprägtesten finden wir diesen Grundsatz in der 2 D 1-Lokomotive der Deutschen Reichsbahn verwirklicht, die für ihre vier Treibachsen einen einzigen großen Motor von etwa 3000 PS Stundenleistung aufweist, der auf zwei Blindwellen wirkt und dessen Abmessungen lediglich durch die vorgeschriebenen größten Baumaße der Eisenbahnfahrzeuge begrenzt waren. Der Lokomotivkonstrukteur griff auch im Zusammenhang mit dem Elektromotor gern zu dem ihm vertrauten Stangenantrieb und nur durch dieses Getriebe ließ sich die erforderliche hohe Lage der Motorwelle, die bei so großen Leistungen gegeben ist, sowie die wirtschaftlich als vorteilhaft befundene Zusammenziehung der Motorleistung durchführen.

Daß man sich in der Annahme, dieses Getriebe zu beherrschen, etwas getäuscht hatte, stellte sich bald heraus. Es ist wohl bekannt, daß die elektrischen Lokomotiven mit Stangengetriebe, besonders sobald mehrere Motoren miteinander gekuppelt wurden, Resonanzschwingungen des Getriebes und gleichzeitig des ganzen Lokomotivaufbaues zeigten, die anfänglich heftigste Zerstörungen zur Folge hatten. Das genaue mechanisch-mathematische Studium dieser Erscheinungen, bei dem sich besonders der leider so früh verstorbene Direktor der Brown, Boveri & Cie., A.-G. in Mannheim, Dr. Jng. Wichert, Verdienste erworben hat, gaben dem Lokomotivbauer zwar bald Mittel an die Hand, diese Erscheinungen soweit zu beseitigen, daß diese Lokomotiven heutzutage als vollkommen betriebssicher gelten können. Immerhin haften aber dem Stangenantrieb Eigenschaften an, die dem Fachingenieur das Suchen nach besseren, einfacheren Lösungen nahelegten.

Im allgemeinen ist der ruhige Lauf des Stangentriebwerkes nur durch äußerst genaue Einstellung des Triebwerkes in bezug auf Stangenstichmaße, Kurbelhalbmesser, Kurbelwinkel usw. sicherzustellen. Diese Arbeiten erfordern in den Betriebswerken gut geschulte Mannschaften und in den Herstellungswerken wie auch im Betriebe genaueste Meßverfahren. Die große Überlastbarkeit des Elektromotors hat sehr hohe Beanspruchungen des Triebwerkes zur Folge, so daß auch die Abnutzung der Kurbelzapfen und Stangenlager eine Rolle spielte, wie man sie im Dampflokomotivbetrieb bisher nicht zu beobachten gewöhnt war. Zugunsten des Stangengetriebes der elektrischen Lokomotive sei aber

erwähnt, daß bei richtiger Einstellung und dann nahezu schüttelfrei laufendem Getriebe die Abnutzungen sich nicht wesentlich über das im Dampflokomotivbau tatsächlich vorkommende, dort aber weniger unangenehm empfundene Maß steigern, und daß die Abnutzung als solche, selbst wenn sie mehrere Millimeter im Lagerschalendurchmesser beträgt, keine Schüttelschwingungen zur Folge hat, solange sich nicht dadurch die oben erwähnten, genau einzuhaltenden Maße ändern. Weiter wird den elektrischen Lokomotiven mit Kurbelbetrieb hoher Ölverbrauch nachgesagt. Es ist erklärlich, daß Lager, die infolge hoher Beanspruchung sich rasch abnutzen, auch beträchtliche Ölverluste zeigen. Hierzu kam, daß man bei den übersetzungslos arbeitenden Großmotoren aus elektrotechnischen Gründen ziemlich hohe Umlaufzahlen wählte, d. h. also auch verhältnismäßig kleine Treibräder, und daß hierdurch Fliehkraftbeanspruchungen und Abspritzen des Öls in hohem Grade auftraten.

Bei Ausführung großer elektrischer Lokomotiven mit Einzelachsantrieb erwuchs dem Wechselstromtechniker der Nachteil, daß er die Motorleistung unterteilen mußte, und daher für die Leistungseinheit schwerere und kostspieligere Motoren erhielt. Die Zusammenhänge in dieser Beziehung sind jedoch nicht so einfach, wie man ursprünglich annahm und es wurde hauptsächlich seitens der Ingenieure bei Brown, Boveri & Cie. und bei den Bergmann-Elektrizitäts-Werken sowie auch bei schweizerischen Elektrizitätsunternehmungen rechnerisch nachgewiesen, daß man durch geeignete Wahl der Leistungsgröße je Motor einen gewissen günstigsten Wert erzielen könnte. Auf diesem Wege sowie durch die Vervollkommnung der Wechselstrommotoren in den letzten Jahren gewann der Antrieb durch mehrere Einzelmotoren immer mehr Aussicht, dem Großmotorantrieb wirtschaftlich ebenbürtig zu werden. Es darf in diesem Zusammenhange nicht unerwähnt bleiben, daß durch Steigerung der Umlaufzahl und Verbesserung der Kühlung bei neuzeitlichen Bahnmotoren außerordentliche Fortschritte in ihrer spezifischen Leistung (bezogen auf das Gewicht und zum Teil auch auf den Preis) erzielt worden sind, größere als man in den ersten Jahren des Wechselstrombahnbetriebes durch kunstvolle Schaltungen der Motoren verwirklicht hatte.

Lief also demnach die Entwicklung des Einzelachsantriebes auf eine spezifische Verbilligung und Gewichtersparnis hinaus, so zeigten sich auch bezüglich des Werkstattendienstes mehr und mehr Vorzüge. Das Ersatzlager an Motoren und Teilen zu solchen wird geringer je größer die Anzahl gleichartiger Motoren wird. Der Ersatz eines beschädigten Motors und auch die Ausbesserung eines solchen wird bei kleineren Einheiten unvergleichlich günstiger als bei großen, sowohl der Zeit als auch den Kosten nach. Der Fortfall jeglicher Kurbeln und Stangen vereinfacht das Triebwerk und seine Unterhaltung wesentlich und verringert auch den Schmierstoffverbrauch. Es besteht die Möglichkeit, ölsparende Lager (Rollenlager) zu verwenden, die Achslager ähnlich den Wagenachsbuchsen außerhalb der Räder anzuordnen, sie gegen Ölverluste dicht abzuschließen und daher Dauerschmierungen einzuführen. Außerdem entfallen alle oben gestreiften Erscheinungen, die aus pulsierenden Triebwerkskräften entstehen. Auch elektrotechnisch bot die Vermehrung der Motorzahl Ersparnismöglichkeiten, indem mehrere Motoren in Reihe geschaltet werden konnten, wodurch höhere Spannungen und geringere Stromstärken in der Lokomotive fortzuleiten sind und man also mit kleineren

Kupferquerschnitten auskommt. Gleichzeitig lassen sich die Steuerungseinrichtungen für diese kleineren Ströme zuverlässiger und kleiner ausführen.

Allerdings sind mit dem Einzelachsantrieb auch gewisse Nachteile gegenüber dem Stangengetriebe in Kauf zu nehmen. Die Auswahl der Motorgröße konnte bei der Lokomotive mit gekuppelten Achsen zu größerer Einheitlichkeit der Motoren durchgeführt werden. Man kann schnell und langsam fahrende Lokomotiven mit ein und demselben Motor betreiben, wenn man die Zahnradübersetzung und entsprechend die Anzahl der von einem Motor angetriebenen Achsen verändert. Als Beispiel seien hier die für das bayerische Netz der Reichsbahn mit großem Erfolg durchgebildeten 2 B B 2, C + C und C-Lokomotiven erwähnt, die sämtlich mit demselben Motor ausgerüstet sind, so daß der Betrieb und der Einkauf mit einer großen Anzahl vollständig übereinstimmender Motoren in wirtschaftlichster Weise arbeiten kann. Dem Einzelachsantrieb sind hier engere Grenzen gezogen. Bei Übertragung eines Motors von einer Schnellzuglokomotive auf eine Güterzuglokomotive kann zwar die Zahnradübersetzung in ausreichendem Maße dem Bedürfnis nachfolgen, nicht aber die für einen Motor bei Einzelantrieb zur Verfügung stehende Schienenreibung. Bei begrenzten Achsdrücken, die man auf jeden Fall möglichst auszunutzen bestrebt ist, kann das zunehmende Treibachsdrehmoment, welches die zunehmende Übersetzung hergibt, nicht mehr durch die Schienenreibung bewältigt werden, es sei denn, daß man den Motor mit geringeren Spannungen speiste und ihn also bezüglich Drehmoment und Leistung nicht voll ausnutzt. Unter gewissen Umständen kann dies immer noch wirtschaftlich sein, besonders für kleinere Betriebe, die für ihre verschiedenen Lokomotivgattungen aus Beschaffungs- und Werkstattgründen nicht mehrere verschiedene Motoren in Kauf nehmen wollen. Bei größeren Betrieben wird man aber meistens stets, mindestens zwei Motorgrößen vorsehen, die mit entsprechenden Übersetzungen (beispielsweise zwei für jede Motorgattung) allen Bedürfnissen an die Geschwindigkeit und Zugkraft der verschiedenen Lokomotivgattungen gerecht werden. Bahnunternehmungen von dem Ausmaß der Reichsbahn werden also über diese Eigenschaft des Einzelachsantriebes leicht hinwegkommen.

Schwieriger dürfte man sich damit abfinden, daß die Schienenreibung beim Stangenantrieb im allgemeinen eine höhere Ausnutzung zuläßt als beim Einzelantrieb. Bei gleichbleibender Achsbelastung wird es zwar praktisch nicht viel ausmachen, ob ein gegebenes Drehmoment je Achse mit oder ohne Kupplung dieser Achsen ausgeübt wird. Die Verhältnisse liegen bei der elektrischen Lokomotive hierin etwas günstiger als bei der Dampflokomotive, denn diese arbeitet mit einem schwankenden Drehmoment, während die elektrische Lokomotive ein gleichbleibendes Drehmoment ausübt. Die Zugkraftsprünge, die sich aus der Stufensteuerung elektrischer Lokomotiven ergeben, lassen sich durch die Wahl der Stufenzahl dem Bedürfnis anpassen und die Drehmomentschwankungen infolge der Periodenzahl des Wechselstromes wirken sich praktisch auf die Schienenreibung nicht aus. Es gibt außerdem bestbewährte Lokomotivsteuerungen, welche die Zugkraft nahezu stufenlos ansteigen lassen. Unangenehm ist jedoch beim Einzelantrieb die Entlastung einzelner Achsen durch das Drehmoment, welches die Zughakenkraft in Verbindung mit der Radumfangskraft auf den Lokomotivrahmen ausübt und welches ein Aufkippen des ganzen Fahrgestelles in der Fahrriechtung zur Folge hat. Da man nun im allgemeinen die Motorspannung für sämtliche Motoren gleichmäßig ansteigen läßt und dementsprechend auch das Drehmoment, ist für dessen Höchstgrenze die Schienenreibung der am stärksten entlasteten, d. h. der vordersten Treibachse, maß-

gebend, andernfalls die erste Achse schleudern würde. Die hierdurch gegebene Einschränkung der Spitzenzugkraft kann je nach dem Rahmenbau und der Unterteilung der in gemeinsamem Rahmen zusammengefaßten Fahrgestelle mehr als ein Zehntel ausmachen. Je länger der Rahmen ist, desto geringer ist diese Zugkräfteeinschränkung. Bei Lokomotiven mit mehreren kürzeren Triebgestellen kann man durch Verwendung für diesen Zweck geschaffener Ausgleichkupplungen die Entlastung der führenden Treibachse ebenfalls verringern, so daß man bei gleichzeitiger geeigneter Anordnung der Achsstände und Rahmenlängen auf Entlastungswerte von drei bis vier Prozent ja, noch weniger, herunterkommen kann.

Trotzdem gibt es Fälle, bei denen der Einzelantrieb den Kuppelstangenantrieb kaum wird ersetzen können, nämlich dann, wenn bei genauester Innehaltung eines vorgeschriebenen Achsdruckes die äußerste Reibungszugkraft herausgeholt werden muß, und man selbst auf die erwähnten geringen Fehlbeiträge durch Achsentlastung nicht verzichten kann. Durch Kupplung der Treibachsen muß dann die erhöhte Belastung der hinteren Treibachsen die Entlastung der vorderen Achsen ausgleichen. Dieser Fall lag, wie hier erwähnt sei, bei der Reichsbahn vor, als man kürzlich für die schlesischen Gebirgstrecken sich entschloß, die C + C-Lokomotive mit Stangenantrieb beizubehalten und nicht durch eine  $C_0 + C_0$  oder  $1 C_0 + C_0$  1-Lokomotive zu ersetzen.

Die vorstehenden allgemeinen Betrachtungen gelten für alle Bauarten der Einzelachsantriebe. Die Betrachtungen über die Achsentlastung sind besonders bei Antrieb durch Tatzenmotoren (wie bei Straßenbahnwagen) zu beachten, da hier außer dem Aufkippen des Rahmens infolge der Zughakenkraft auch noch das Anheben der Treibachsen durch die Motorzahnäder eine Rolle spielen kann. Welche Art des Zahnradantriebes für eine gegebene Lokomotivgattung oder für ganze Bauarten gewählt wird, muß von einer Reihe weiterer Gesichtspunkte aus beurteilt werden. Die verschiedenen Bauformen des Einzelantriebes, die in den verschiedenen Weltteilen entwickelt worden sind, weisen Eigenarten auf, die unter verschiedenen Verhältnissen auch verschieden beurteilt werden müssen, und es gab wohl bis in die neueste Zeit hinein noch keinen Einzelantrieb, dem man nicht neben Vorzügen auch Nachteile nachgesagt hätte. Als die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft auf Grund der oben dargelegten Erwägungen der Prüfung näher trat, inwieweit sich Einzelachsantriebe für ihre elektrischen Lokomotiven eignen, mußte sie also die in Betracht kommenden Bauformen zunächst unter ihren eigenen Gesichtspunkten vergleichen. Bekanntlich ist unter solchen Verhältnissen der praktische Versuch das beste Mittel, sich Klarheit zu verschaffen. Die Reichsbahn entschloß sich daher im Jahre 1924 eine gewisse, kleine Anzahl elektrischer Lokomotiven (5) als Versuchsfahrzeuge für Einzelantriebe zu behandeln und stellte der deutschen Industrie zunächst frei, beliebige Bauarten vorzuschlagen, seien es ältere bekannte oder nach eigenen Gedanken neu entwickelte. Die Anregung wurde mit großem Eifer aufgegriffen und es dauerte rund zwei Jahre, bis unter allen Vorschlägen die geeignetsten soweit vorbearbeitet und geprüft waren, daß man sie in Form von Versuchsfahrzeugen verwirklichen konnte. An dieser Entwicklung beteiligten sich unter Mitwirkung der Reichsbahn die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, die Siemens-Schuckert-Werke und die Bergmann-Elektrizitäts-Werke bezüglich des elektrischen Teiles, die erst genannte auch bezüglich des Fahrzeugteiles. Dazu kamen Entwicklungsarbeiten der Linke-Hoffmann-Werke und der A. Borsig G. m. b. H. Es seien nun die einzelnen Bauarten dieser Versuchslokomotiven in ihren wesentlichsten Punkten und, soweit bemerkenswert, auch in ihrer Vorgeschiede behandelt. Die 1 D<sub>0</sub> 1-Lokomotive von Brown, Boverie & Cie. mit Buchli-Antrieb ist hier nicht behandelt, da solche Loko-

motiven bereits in Deutschland und der Schweiz zahlreich betrieben werden und nicht als Versuchsfahrzeuge mehr gelten können.

#### A.

Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft entwickelte eine Schnellzuglokomotive E 2101 (Abb. 1) für das Leistungsprogramm der für den elektrischen Betrieb in Aussicht genommenen Hauptbahn Breslau—Liegnitz—Kohlfurt—Görlitz. Dieser Leistungsplan war auch für die anderen Versuchslokomotiven der Bergmann-Werke und der Siemens-Schuckert-Werke maßgebend. Er umfaßt in der Hauptsache folgende Leistungen:

1. Schnellzugdienst auf der zunächst in Betracht gezogenen Flachlandstrecke Breslau-Liegnitz, im Sommer 600 t Anhängelast, im Winter 630 t (Heizkesselwagen) mit 95 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit ohne Aufenthalt zwischen den letztgenannten Endpunkten (Höchstgeschwindigkeit 110 km/h). Bei 15 Minuten Wendezeit an den Endpunkten soll diese Leistung dauernd ohne Überschreitung der nach den Reichs-

Diese Federn haben also außer den Motorkräften auch die Verschiebungen zwischen Achse und Hohlwelle auszuhalten, die aus dem Federspiel entstehen. Wo dieser Antrieb bisher im Ausland benutzt wurde, rechnete man mit häufigem Bruch dieser Federn. Die A. E. G. schlug daher neben dem gewöhnlichen Federantrieb auch einen pufferartig eingerichteten Antrieb vor (Abb. 1 und 2). Sechs Federn sind an dem Stern der Hohlwelle in geschlossenen Gehäusen untergebracht, deren unterstes die Abb. 2 im Schnitt zeigt, und drücken an beiden Enden gegen topfförmige Stempel, welche in der Längsrichtung verschiebbar in den sechs Federgehäusen gelagert sind. An der Innenseite verhindert ein Bund das Herausdrücken der Federköpfe aus dem Gehäuse und dient gleichzeitig als Widerlager für den jeweilig gemäß der Drehrichtung nicht wirksamen Stempel. Der gegenüberliegende Stempel drückt gegen eine austauschbare Platte an der nächsten Radspeiche. Diese Platte wie auch der Topfboden sind gehärtet und zeigen nach den bisherigen Betriebserfahrungen, die bereits weit über 100 000 km Laufleistung aufweisen, ganz geringe Abnutzungen.

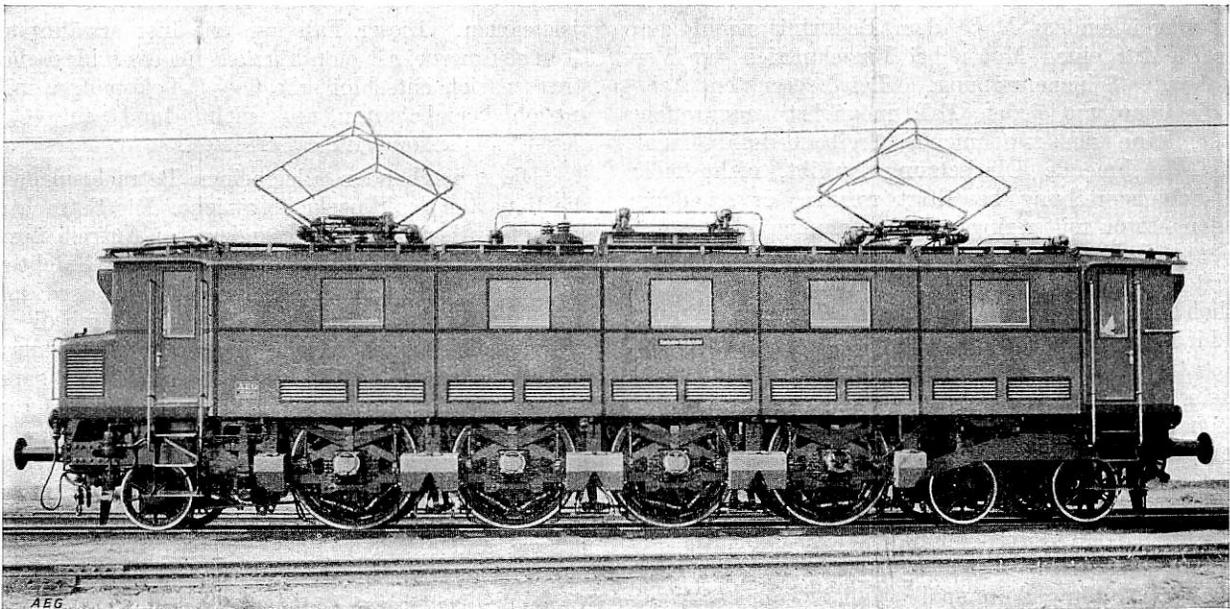


Abb. 1. 2 Do 1 Schnellzuglokomotive A E G. E 2101. Ansicht.

bahnvorschriften zulässigen Erwärmungen ausgeführt werden. Diese Erwärmungen entsprechen den Regeln des Verbandes deutscher Elektrotechniker für ortsfeste elektrische Maschinen, mit Ausnahme der Kollektortemperatur, für welche die Reichsbahn etwas höhere Werte zuließ.

2. Personenzugdienst mit einer Anhängelast von 500 t im Sommer und 530 t im Winter bei zehn Aufenthalten von je einer Minute zwischen den erwähnten Endpunkten und einer Reisegeschwindigkeit von 45 km/h. Daneben war dem Lieferwerk anheimgestellt, bis zu derjenigen Leistung der elektrischen Ausrüstung zu gehen, welche bei dem gegebenen Höchstachsdruk von 20 t und vier angetriebenen Achsen sich verwirklichen ließe.

Die A. E. G. schlug den aus Amerika bekannten Westinghouse-Antrieb vor. Er bildete an sich keine Neuerung und man konnte bei dem Achsdruk von 20 t, der dem Drehmoment je Achse die Grenze setzte, günstige Ergebnisse erwarten, obgleich man in Amerika allerdings bei 25 bis 30 t Achsdruk mit diesem Antrieb nicht mehr auszukommen schien. Bekanntlich wird hier das Drehmoment von einer Hohlwelle, welche mit Zahnradübersetzung durch zwei in einem gemeinsamen Gehäuse gelagerte Motoren angetrieben wird, mittels beiderseits eingespannter Wickelfedern auf die Treibräder übertragen.

Eine Schmierung dieser Druckstellen, welche infolge des Federspiels stets etwas gegeneinander reiben, war zunächst nicht vorgesehen, wird aber neuerdings in beliebigen kurzen Betriebspausen ohne besonderen Personalaufwand in einfachster Weise ausgeführt. Eine Klappe an der Außenseite der Federführung verschließt eine Schauöffnung, durch welche man die Federn auf etwaige Brüche untersuchen kann. Während der bisherigen Betriebszeit ist noch keine Feder beschädigt worden.

Um gute Zugänglichkeit der Doppelmotoren, die über den Achsen bis knapp zur Kniehöhe in den Maschinenraum hineinragen zu erhalten, wurde der Transformator vor das Ende der Motorgruppen gesetzt, so daß dort ein zweiachsiges Laufdrehgestell gewöhnlicher Bauart nötig wurde (Abb. 3, rechts). Am anderen Ende wird die Lokomotive durch ein einachsiges Lenkgestell mit Deichsel, Bauart Bissel, geführt. Beide Gestelle besitzen Rückstellfedern. Die Treibachsen weisen den ungewöhnlich langen festen Achsstand von 6,6 m auf. Die beiden mittleren haben einen Querspielraum von  $2 \times 15$  mm, zu dem noch eine Spurkranzschwächung von je 15 mm hinzukommt. Die Endachse neben dem zweiachsigen Drehgestell hat 5 mm Seitenspiel, welches für die Bogen-einstellung der Lokomotive kaum ins Gewicht fällt. Für eine

Strecke ohne schärfere Bögen wie die im Leistungsplan genannte konnte man einen solchen langen Radstand ohne weiteres in Kauf nehmen. Eingehende Versuche des Reichsbahn-Zentralamtes auf einer die ungünstigsten Steigungs- und Krümmungsverhältnisse aufweisenden Gebirgsstrecke haben aber den Beweis erbracht, daß selbst bei einem Halbmesser von 180 m die Lokomotive mit Geschwindigkeiten bis nahe an 55 km/h völlig sicher und ohne Zwängen läuft. Sie wird daher zur Zeit auf der schlesischen Gebirgsbahn benutzt, und die seit etwa einem Jahr festgestellten geringen Abnutzungen der Spurkränze lassen ihre Eignung auch für diese Streckenverhältnisse erkennen.

Da die Gewichtsverhältnisse elektrischer Lokomotiven in den letzten Jahren vielfach nur schwer beherrscht werden konnten, stellte die Reichsbahn besonders scharfe Anforderungen für die Innehaltung des zugelassenen Höchstachsdrukkes. Um sicher zu gehen, wurde die Anordnung von sieben Achsen gewählt. Das Ergebnis war eine beträchtliche Unterschreitung des zugelassenen Lokomotivgewichtes, so daß

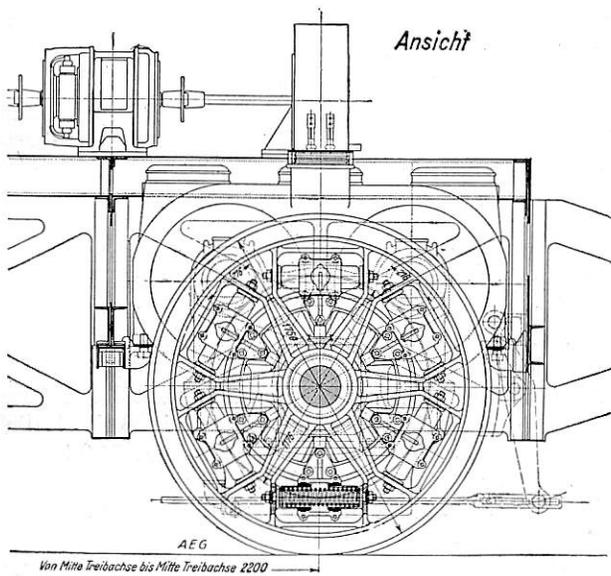


Abb. 2 a.

Treibradsatz mit Doppelmotor und Federkupplung.

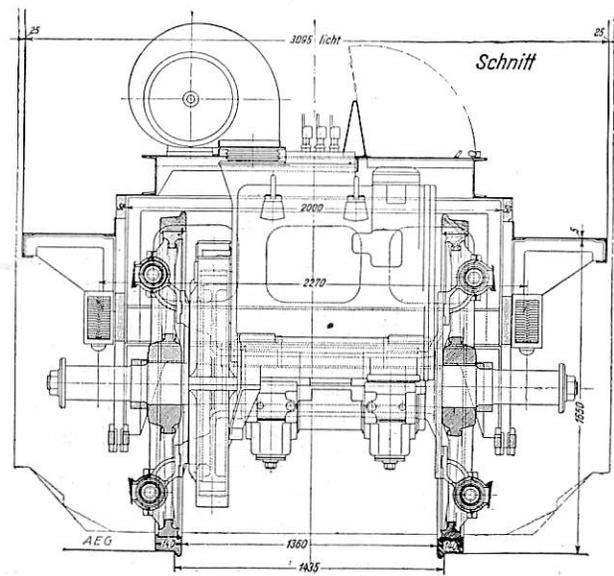


Abb. 2 b.

auch der Treibachsdruck durchschnittlich nur wenig über 19 t beträgt. Dieser günstige Erfolg beim Bau der Lokomotive ist zum Teil der eigenartigen Rahmenbauweise zu verdanken, welche die A.E.G. hier erstmalig ausgeführt hat. Wie aus Abb. 4 erkennbar, ist ein fachwerkartiger Träger aus 50 mm starken Stahlplatten gebildet worden, d. h., es ist aller nicht aus Festigkeitsrücksichten erforderliche Baustoff entfernt worden. Dies kostet zwar beträchtliche Bearbeitungsaufwendungen und Abfälle. Der Rahmen ist jedoch sehr leicht ausgefallen und trotzdem von größter Festigkeit. Die Unterbringung der Doppelmotoren läßt verhältnismäßig wenige Querversteifungen im mittleren Teil des Rahmens zu, so daß auf eine möglichst starre Ausbildung der Rahmenwangen Wert gelegt werden mußte. Die Motorabmessungen bedingten auch den verhältnismäßig großen Achsstand. Man wählte den Treibraddurchmesser von 1750 mm vorwiegend deshalb, weil der Platz dazu vorhanden war und die Federkupplung sich dabei bequem unterbringen ließ.

Die elektrische Ausrüstung der Lokomotive umfaßt weiter den schon erwähnten Transformator, der hier mit Luftkühlung, also ohne Öl, ausgeführt worden ist und sich ebenfalls bisher bestens bewährt hat. Auf diesem sind gemäß Abb. 5 die Stufenschütze mit elektromagnetischer Betätigung und Steuerung durch gewöhnliche Führerschalter mit Kontaktwalzen in den beiden Führerständen angeordnet. Über den

Motoren sind bankartige Gerüste aufgestellt, welche ohne Einschränkung der Zugänglichkeit der Kollektoren und Zahnradkästen die Fahrtwendeschtze und Hilfsschalteinrichtungen tragen. Unter diesen Gerüsten stehen zwei Lüftermotoren, die für jede Motorgruppe einen Lüfter zu deren Kühlung antreiben (vgl. Abb. 2), sowie gleichzeitig eine Gleichstrom-Lichtdynamo, letztere mittels Riemens. Die bei einem Trockentransformator besonders wichtigen Kühlgebläse für diesen letzteren sind neben ihm so aufgestellt, daß sie keine Erschütterungen auf die Transformatorwicklungen übertragen können und saugen die Kühlluft durch den Transformator hindurch. Sie sind in Abb. 3 links am Transformator erkennbar. Auch die Motorlüfter entnehmen die Kühlluft dem Maschinenraum. Bei starker Kälte kann ein Teil der aus dem Transformator austretenden erwärmten Luft in den Maschinenraum zurückgeblasen werden.

Die Lokomotive ist mit Knorr-Bremse nach den Regeln der Deutschen Reichsbahn ausgerüstet. Die zugehörige zwei-stufige Motorluftpumpe befindet sich in einem Vorbau vor dem

einen Führerstände. Neben ihr ist ein Batteriekasten für die Beleuchtung untergebracht. Inmitten des Daches hängt der Einheitsölschalter der Deutschen Reichsbahn, Bauart Brown-Boveri.

Auf Grund der günstigen Erfahrungen mit dieser ersten Versuchslokomotive bestellte die Deutsche Reichsbahn zunächst eine zweite 2 D<sub>0</sub> 1-Lokomotive und kurz darauf eine Reihe von achtunddreißig in den Grundzügen übereinstimmenden Lokomotiven, jedoch nur mit je einer Laufachse an den Enden (1 D<sub>0</sub> 1). Die verhältnismäßig geringen Achsbelastungen der ersten Lokomotive legten es nahe, eine Laufachse zu sparen, wozu man aber den Transformator in die Mitte der Lokomotive so hoch über die Motoren legen mußte, daß letztere gut zugänglich blieben. Die Stufenschütze finden dann auf den erwähnten Gerüsten über den Motoren vor und hinter dem Transformator Platz. Eine Vereinfachung und Raumersparnis erzielte man durch Zusammenfassung der zahlreichen Fahrtwendeschtze zu zwei Walzenfahrtwendern. Die Gesamtanordnung der noch in der Entwicklung befindlichen 1 D<sub>0</sub> 1-Lokomotive zeigt Abb. 7. Infolge der nach den Erfahrungen bei der 2 D<sub>0</sub> 1-Lokomotive vorzunehmenden Vervollkommnungen dürfte diese neue Lokomotive in den schon günstigen Verhältnissen ihres Gewichtes zur Leistung noch einen beträchtlichen Fortschritt bilden.

Zur Verbesserung der Führung der Lokomotive wird schon bei der ersten nachbestellten Lokomotive (2 D<sub>0</sub> 1) das Bissel-

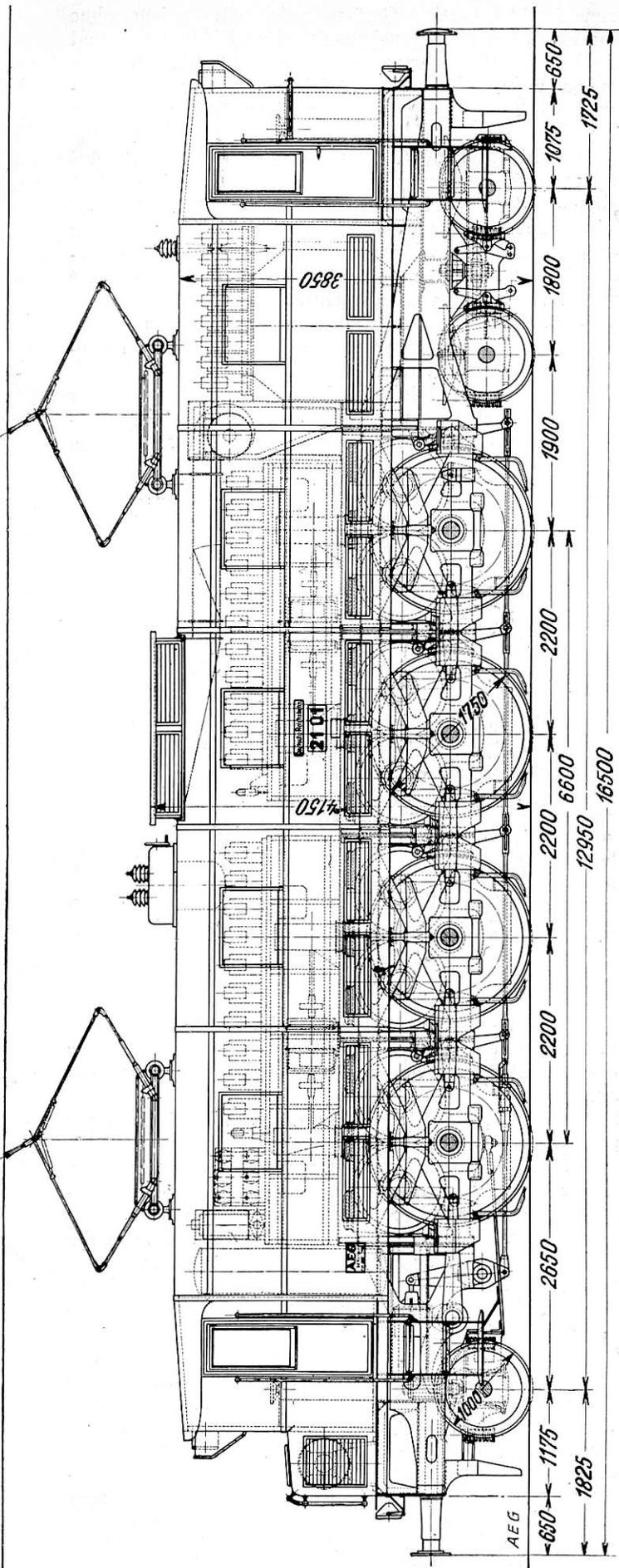


Abb. 3. 2 D<sub>0</sub> 1 Schnellzuglokomotive. A. E. G. Längsschnitt.

gestell verlassen und durch ein den vorliegenden besonderen Bauverhältnissen angepaßtes Kraus-Helmholtz-Gestell ersetzt, bei den zur sanfteren Einfahrt in Krümmungen der Seitendruck von zwei Achsen aufgenommen wird. Zu diesem Zweck wird durch eine Verlängerung des Lenkgestelles nach der Lokomotivmitte zu ein gabelförmiger Rahmen gefaßt, der sich außen mit besonderen Lagern auf die benachbarten Treibachsschenkel stützt und somit dieser Achse eine solche Querbewegung erteilt, daß auch ihre Spurkränze sich an der Führung beteiligen. Diese von der A. E. G. durchgebildete Bauform findet auch bei den 1 D<sub>0</sub> 1-Lokomotiven, und zwar dort an beiden Enden, Anwendung.

Die Einzelabmessungen und Leistungsangaben dieser Lokomotiven sind am Schlusse zusammengestellt. Das in Abb. 6 wiedergegebene Hauptschaltbild läßt erkennen, daß die zu je zwei ständig hintereinandergeschalteten Motoren (Einphasen-Reihenschluß-Kommutatormotoren) in zwei Gruppen geschaltet werden, so daß beim Übergang von einer Fahrstufe zur nächsten der Schalttakt abwechselnd immer zwei Doppelmotoren an die nächsthöhere Spannung legt. Der Zugkraftsprung beschränkt sich also jeweilig auf nur zwei Achsen und hat daher je Achse den doppelten Wert, als wenn man jeweilig sämtliche Motoren um je den halben Betrag weiterschaltete. Wie schon oben erwähnt, ist die Ausnutzung der Schienenreibung daher etwas ungünstig. Die nachbestellten Lokomotiven werden deshalb nicht mehr mit dieser Gruppenschaltung, sondern mit gemeinsamer Fortschaltung aller vier Motoren eingerichtet, was auch den Vorteil hat, daß man in Störungsfällen jeden einzelnen Doppelmotor abschalten kann. Zur Ersparnis an Stufenschützen wird jede Hauptspannungsstufe noch mittelbar durch den an die Schütze A oder B gelegten Zusatztransformator (3e) in zwei Motorspannungsstufen zerlegt.

Als Beispiel der hohen Leistungsfähigkeit der Lokomotive sind in Abb. 8 die Motorleistungen und in Abb. 9 die Aufzeichnungen einer Meßfahrt mit einem rund 700 t schweren Schnellzuge für eine Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h dargestellt. Die Lokomotive bietet, da diese Meßfahrten durchweg Erwärmungen der elektrischen Ausrüstung beträchtlich unter den zugelassenen Grenzwerten ergaben, großen Überschuß für Überlastungen und Steigerung des Verkehrs, so daß man in absehbarer Zeit stärkere Schnellzuglokomotiven in Deutschland kaum wird zu bauen brauchen. Es können längere Zeit hindurch 4000 PS elektrisch geleistet werden. Betont sei hierbei, daß Leistungsergebnisse, wie sie diese Meßfahrten nachweisen, jederzeit im Betriebe verwirklicht werden können, da ihre Erzielung nicht wie manchmal beim Dampfbetrieb mit der Güte der Kohle und der Gewandtheit des Bedienungspersonals verknüpft ist.

B.

Während in der 2D<sub>0</sub> 1-Lokomotive E2101 die A. E. G. bezüglich des Antriebes nur eine bekannte und bewährte Bauform weiterentwickelt hat, schlugen die Bergmann-Elektrizitätswerke, Berlin, neuartige Wege ein. Zwar hat diese Firma nicht den Vorteil der A. E. G., im eigenen Hause auch den Fahrzeugteil herstellen zu können, dafür bot aber die Zusammenarbeit mit der Lokomotivfabrik Linke-Hofmann-Werke-Breslau Gelegenheit, auch von dieser Seite den Fortschritt fördernde Gedanken zu verwirklichen. Aus dieser Zusammenarbeit entstand die Versuchsschnellzuglokomotive E 2151 (Abb. 10). Man ging davon aus, daß die unmittelbare Verbindung eines Motors mit einer Treibachse durch Zahnräder gewisse Beschränkungen in der Bemessung der Übersetzung und in der freizügigen Verwendbarkeit der Motoren bedingt und steuerte daher auf eine Bauart hin, bei welcher die Motorabmessungen und der Treibraddurchmesser von der Übersetzung ganz unabhängig werden. Eine Lösung

hierfür bot der sogenannte Zwischenradantrieb. Abb. 11 zeigt die von den B.E.W. durchgebildete Motoranordnung.

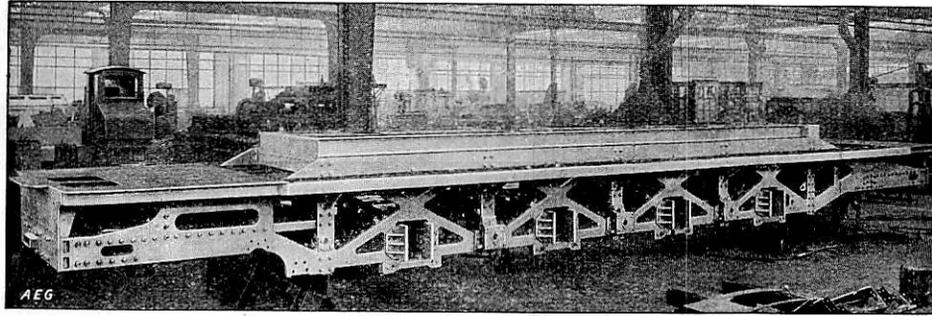


Abb. 4. Rahmen der Lokomotive E 2101.

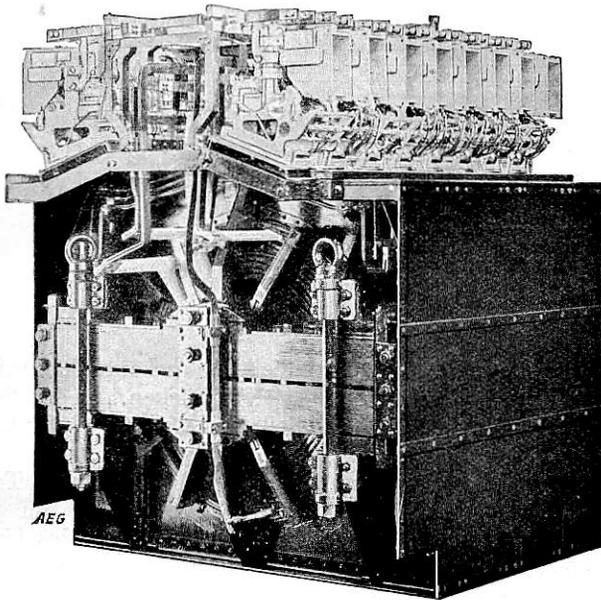


Abb. 5. Transformator mit Schützen.

Kennzeichnend für diese ist zunächst die Verwendung eines vom ortsfesten Motor kaum abweichenden Motorgehäuses (siehe Abb. 12). Der Luft- und Staubführung wegen ist der Kollektorraum geschlossen, durch große Klappen aber bequem zugänglich gemacht. Er besitzt eine Luftaustrittsöffnung, die unmittelbar ins Freie führt. Auf jedem Motor steht ein kleiner Lüftermotor mit Kühlgebläse, welches aus dem Maschinenraum saugt. Der Aufbau des Übersetzungsgetriebes ist nun nach den Anregungen der beiden erwähnten Firmen verschiedenartig eingerichtet worden. Nach dem Vorschlage Bergmann (Abb. 11) ruht das ganze Getriebe unabgefedert auf der Treibachse. In dem Getriebekasten befinden sich unten neben dem auf der Treibachse befestigten Zahnrad die Traglager für das Ganze. Im Oberteil des Räderkastens liegen die Motorritzel in Rollenlagern und zwar je zwei für jede Treibachse, die hintereinander im gleichen Gehäuse liegen, so daß die Achsen je zweier zur gleichen Treibachse gehörenden Motoren um etwas mehr als einen Ritzeldurchmesser in der Lokomotiv-Längsachse gegeneinander verschoben sind (siehe Abb. 13). Dazwischen läuft ein Blindzahnrad als Zwischenrad, um dessen Durchmesser

sich der Abstand zwischen Motorritzel und Achszahnrad gegenüber unmittelbarem Eingriff vergrößert. Diese Trennung der zusammenarbeitenden Teile läßt es ohne große Änderungen ermöglichen, daß verschiedene Übersetzungen in ein und dieselbe Lokomotive eingebaut werden, indem man das Motorritzel austauscht. Hiervon ist auch bei der ersten Prob Lokomotive nach dieser Bauart schon Gebrauch gemacht worden. Ein weiterer grundlegender Gedanke des Bergmann-Antriebes ist die Verlegung der Gelenkkupplung zwischen den Motor und sein Ritzel. Wie aus Abb. 11 erkennbar, stehen sich im Maschinenraum die Treibteile dieser beiden Maschinenteile dicht gegenüber und sind durch je zwei Schubstangen miteinander verbunden. Diese sind mittels Kugelzapfen ähnlich dem Brown, Boveri-Antrieb (Buchli-Antrieb) für alle Lagenveränderungen durch das Federspiel des Getriebekastens nachgiebig eingerichtet. Gegenüber dem Buchli-Antrieb weist diese Kupplung grundsätzlich den Unterschied auf, daß die bekannten Zahnbogen letzterer Bauart durch Kurbelarme auf einer gemeinsamen Welle ersetzt sind. Da auch bei dieser Lokomotive je zwei Motoren auf je eine Treibachse arbeiten, waren die günstigsten Motorabmessungen erzielbar. Das von je einem Ritzel zu übertragende Drehmoment bleibt in gut beherrschbaren Grenzen.

Beim Linke-Hofmann-Antrieb ist das gesamte Rädergetriebe mit dem Lokomotivrahmen fest verbunden, also abgefedert. Die in Abb. 14 sichtbaren Kupplungen, welche je ein Ritzel mit dem zugehörigen, im übrigen wie beschrieben angeordneten Motor verbinden, besitzen nur ganz geringe Nachgiebigkeit zum Ausgleich von kleinen Einbaufehlern. Das Federspiel wird dagegen in einer dem Westinghouse-Antrieb verwandten Weise durch eine um die Treibachse angeordnete Hohlwelle aufgenommen. Diese ist jedoch nicht mit der bekannten Federkupplung an die Treibräder angeschlossen, was an sich auch möglich wäre, sondern durch eine Gelenkkupplung, die der oben kurz beschriebenen von Bergmann verwendeten

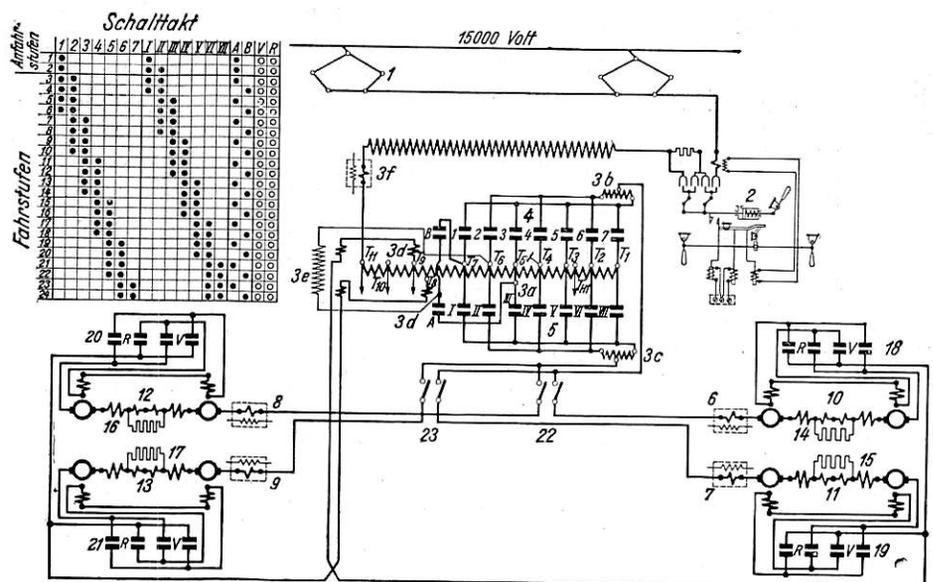


Abb. 6. Hauptschaltbild der Lokomotive E 2101.

Ritzelkupplung gleichartig ist, auf jeder Seite der Hohlwelle. Ein Vorteil dieser Anordnung ist die Verringerung der unabgefederten, auf der Achse ruhenden Massen, ein Nachteil dagegen, daß die Gelenkkupplung nicht gegen Staub, Schnee usw. geschützt ist wie bei ihrer Anbringung am Motor selbst.

Zunächst sind in die Versuchslokomotive E 2151 vier Bergmann-Getriebe eingebaut und bisher anstandslos gelaufen. Die zugleich angefertigten Linke-Hofmann-Getriebe können späterhin ohne nennenswerte Änderungen eingesetzt werden.

Die Abb. 11, 13 und 14 und der Einblick in den Maschinenraum Abb. 15 zeigen, daß über den Getriebekästen etwa 1,2 m über dem Fußboden des Maschinenraums eine Laufbrücke eingebaut ist, die zur Verbindung der beiden Führerstände mit-

untergebracht werden. Von der Brücke aus (Abb. 15) hat man einen umfassenden Überblick über die gesamte elektrische Ausrüstung der Lokomotive. Im Hintergrunde rechts neben der Brücke ist der Ölschalter der Reichsbahn-Einheitsbauart erkennbar, hinter welchem der Transformator, ebenfalls mit Luftkühlung ohne Öl, steht. Der Abstieg von der Brücke ist an beiden Enden durch eine kurze Treppe zum Führerstand hergestellt. Das Dach hat einen so hohen Aufbau bekommen, wie

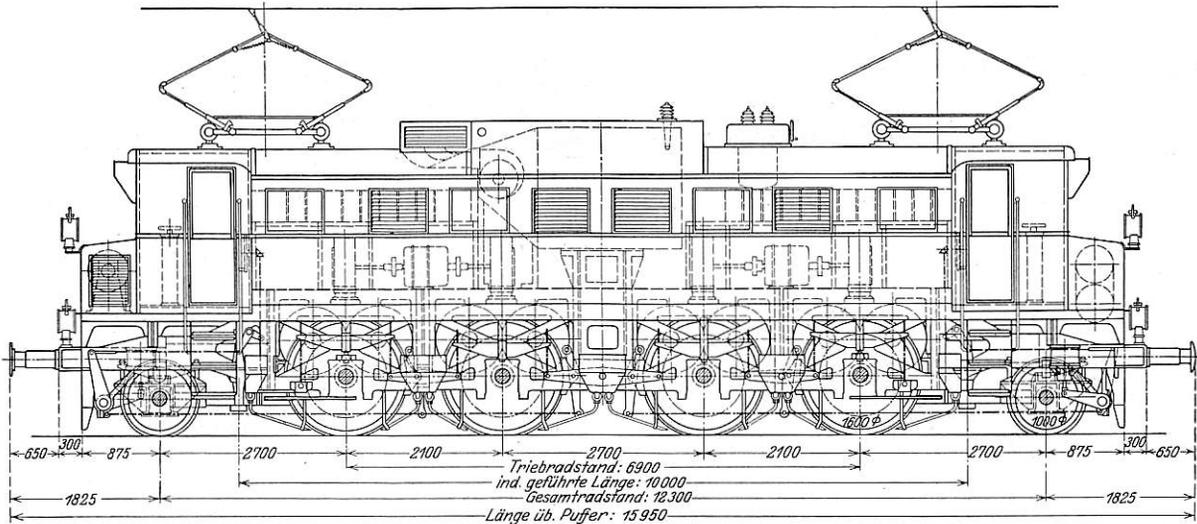


Abb. 7. 1 Do 1 Schnellzuglokomotive (Reihenbauart) der A E G. (Entwurf.)

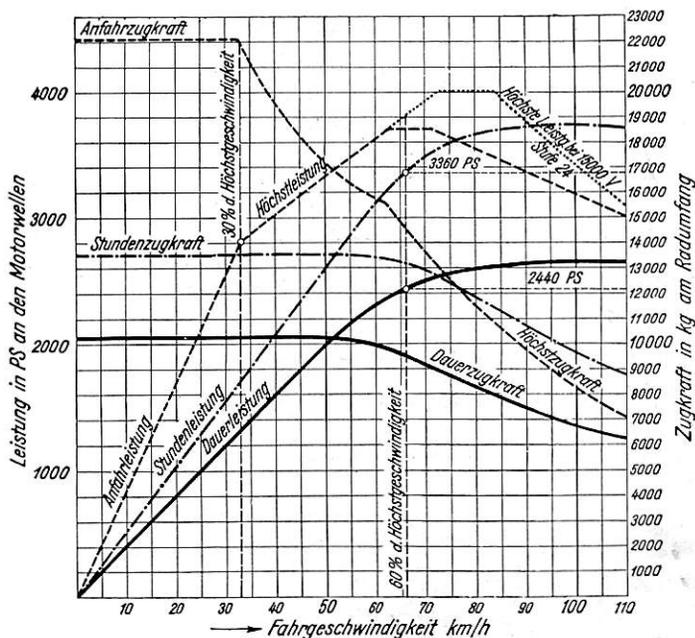


Abb. 8. Leistung der Lokomotive E 2101 an den Motorwellen, Zugkraft am Radumfang bei 0,96 Wirkungsgrad nach Prüffeldmessungen.

einander dient. Von dieser führen nach rechts und links Stufen zwischen die einzelnen Motoren hinab. In diesen Zwischenräumen stehend, kann man sämtliche Teile jedes Motors und die zugehörigen Steuerungsteile bequem besichtigen und behandeln. Die nur um wenig gegeneinander versetzten Einzelmotoren nehmen in der Längsrichtung einschließlich des erwähnten Bedienungszwischenraumes weniger Platz ein, als Westinghouse-Doppelmotoren. Daher weist die Lokomotive auch einen geringeren Treibachsstand auf (5100 mm) als die oben beschriebene Lokomotive. Hierbei konnte der verhältnismäßig kleine Treibraddurchmesser von 1400 mm zwischen den Rahmenquerverbindungen bequem

es die Lichtraumgrenzung zuließ. Man kann sich auf der Laufbrücke daher bewegen ohne sich zu bücken. An den Seiten dieses Dachaufsatzes sind verschließbare Lufteintrittsöffnungen, in seiner Decke Drahtglasscheiben angebracht.

Auch bei dieser Lokomotive ist zur Aufnahme des Transformatorgewichts ein zweiachsiges Drehgestell am entsprechenden Ende vorgesehen. Die Aufstellung des Transformators an einer anderen Stelle ist hier natürlich unmöglich. Zwischen dem Transformator und dem benachbarten Führerstand sieht man in Abb. 13 die Transformatorlüfter angedeutet. Neben dem entgegengesetzten Führerstand steht die Motorluftpumpe Bauart Knorr nebst zwei Hauptluftbehältern. Der gesamte Innenraum einer Lokomotive ist wohl bisher kaum so bis auf den letzten Platz ausgenutzt worden wie hier. Trotzdem sind im Betriebe sämtliche Teile gut zugänglich.

Bezüglich des Rahmenbaues weist diese Lokomotive keine Besonderheiten auf. Sie besitzt einen gewöhnlichen Plattenrahmen (Abb. 11), zwischen dessen Seitenteilen zwei parallele innere Träger untergebracht sind, durch deren Verbindung mittels Querträgern ein sehr fester rostartiger Unterbau für die in zwei Reihen daraufgesetzten Motoren entsteht. Auch bezüglich der Bremse und sonstigen Ausrüstungen des Fahrzeugteiles bestehen keine Besonderheiten, ausgenommen die durch Flacheisengehänge getragenen Bremsklötze (Abb. 13). Diese Gehänge legen sich ähnlich einem Bremsbande um die Rückseite der Bremsklötze herum, so daß für die Bremsklötze in Höhe der Achsmitte erforderliche Raum zwischen den Rädern ganz gering wird. Dies trägt zur Erzielung des oben erwähnten kurzen Treibachsstandes bei. Da die beiden Endtreibachsen fest gelagert sind, wurde eine Seitenverschiebung der mittleren Treibachsen von 25 mm nach jeder Seite gleichzeitig mit einer Spurkranzschwächung von 15 mm ausgeführt. Die Führerstände haben des besseren Aussehens wegen eine nach den Seiten etwas abgeschrägte Stirnwand erhalten. In ihnen findet, wie bei der Reichsbahn üblich, rechts der Führerschalter, links ein gleichzeitig als Ölkannenschrank dienendes Schreibpult für den Begleitmann Platz. Zur Erwärmung der Führerstände dienen zwei elektrische Heizöfen, deren einer

als Wärmeschrank für Speisen usw. an der Rückwand des Führerstandes befestigt ist. Der andere ist seitlich an den Ölkannenkasten angesetzt und von diesem durch eine gelochte

An der elektrischen Ausrüstung ist die Steuerung noch besonders zu erwähnen. Die auf den Trockentransformator aufgebauten Druckluftschütze werden nicht durch Elektro-

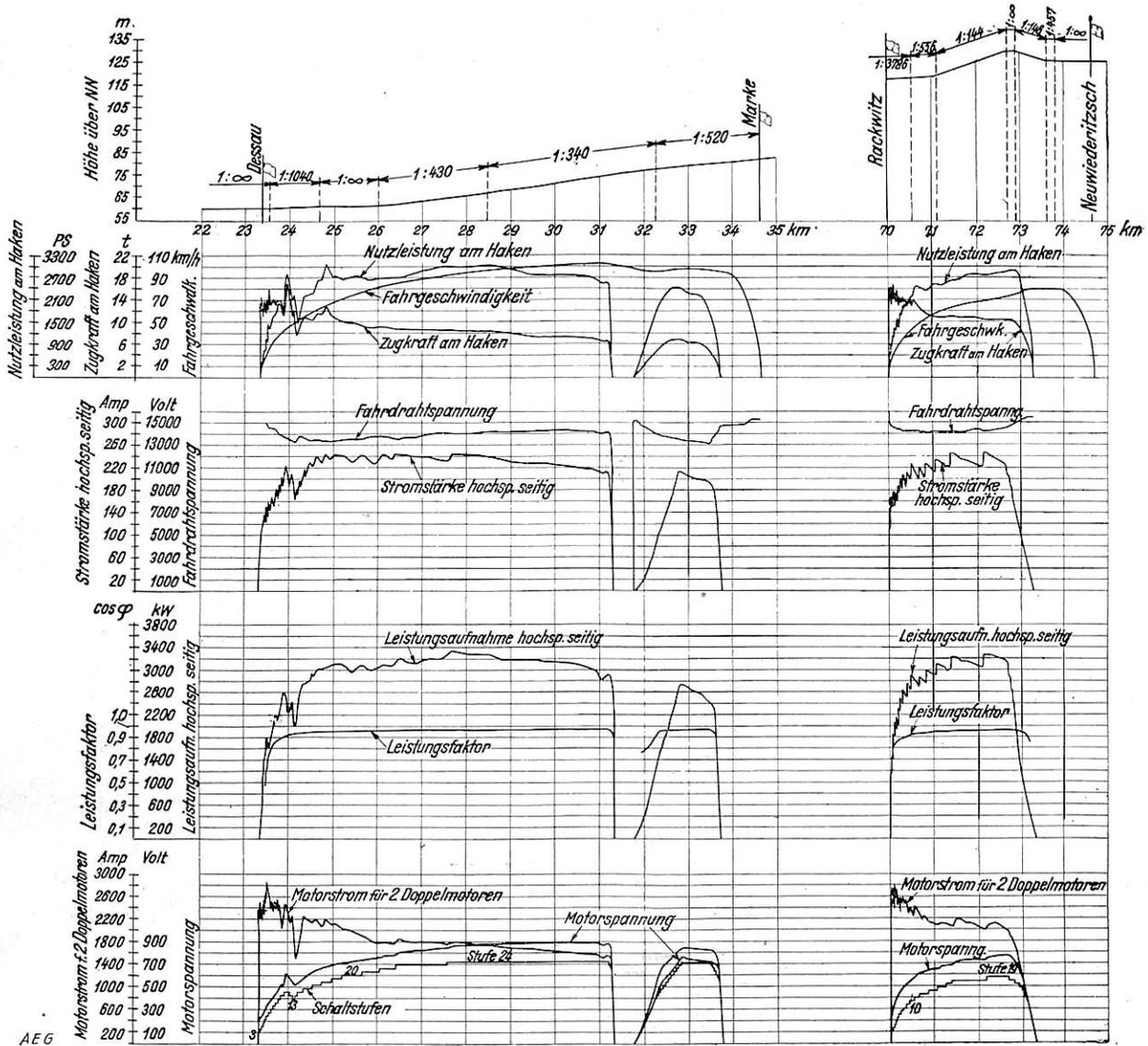


Abb. 9. Meßfahrtresultate mit Lokomotive E 2101.

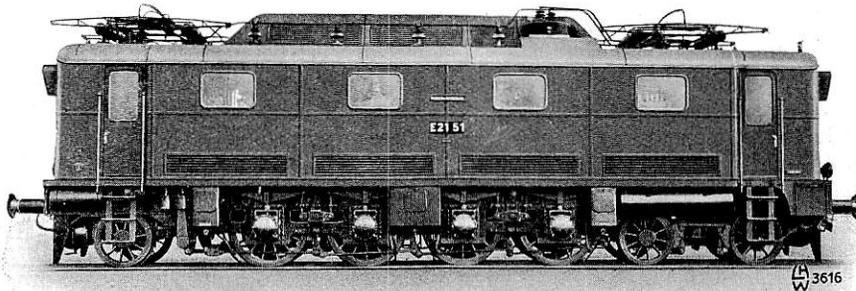


Abb. 10. 2 Do 1 Schnellzuglokomotive von Bergmann, Linke-Hofmann E 2151. (Ansicht.)

Blechplatte abgetrennt, so daß er die Ölkannen zur Erhaltung des Öls in flüssigem Zustand mitheizt. Die gleiche Führerstandeinrichtung weisen übrigens alle drei hier beschriebenen Versuchslokomotiven auf.

magnetventile gesteuert wie bisher bei den Reichsbahnlokomotiven und wie dies auch viel im Auslande üblich, sondern durch mechanisch angetriebene Ventile. Je vier Schütze sind, wie Abb. 16 zeigt, zu einer Einheit zusammen-

gebaut. Die unten sichtbare Nockenwelle betätigt die Luftventile zur Steuerung der in den Funkenkästen erkennbaren Hauptkontakte. Gleichzeitig besteht eine mechanische Verbindung zwischen diesen Kontaktarmen und den Nockenscheiben, so daß beim zufälligen Zusammenschweißen von zwei Kontakten diese durch die Nockenwelle auseinandergerissen werden oder aber die Steuerung nicht weiter bewegt werden kann. Verriegelungskontakte wie bei der gewöhnlichen Schützensteuerung sind hier vollständig vermieden. Mittels Ketten und Wellen werden die Nocken durch die Führerschalter bewegt.

Schalttechnisch ist bemerkenswert, (vergleiche das Schaltbild Abb. 17) daß je zwei Motoren in Reihe an die jeweilig eingeschaltete Stufenspannung gelegt sind. Der Fahrtrichtungswechsel geschieht durch Bürstenverstellung, die hier

wurden die vorgeschriebenen Baugewichte mit einer für Erstausführungen anerkennenswerten Genauigkeit innegehalten, so daß auch hier gegenüber dem zulässigen Achsdruck noch ein beträchtlicher Sicherheitsspielraum besteht.

## C.

Bei der Entwicklung der von den Siemens-Schuckert-Werken erbauten Versuchslokomotive E. 1801 sind besonders eingehende Gegenüberstellungen der verschiedenen Bauartmöglichkeiten vorausgegangen. Auch hier tauchte zunächst der Gedanke des Zwischenradantriebes auf, der mit einer Hohlwelle verbunden werden sollte. Die Kupplung zwischen dieser und der Treibachse war als Federkupplung gedacht. Man wollte jedoch abweichend von der Entwicklung bei Bergmann nur je einen Motor für jede Treibachse

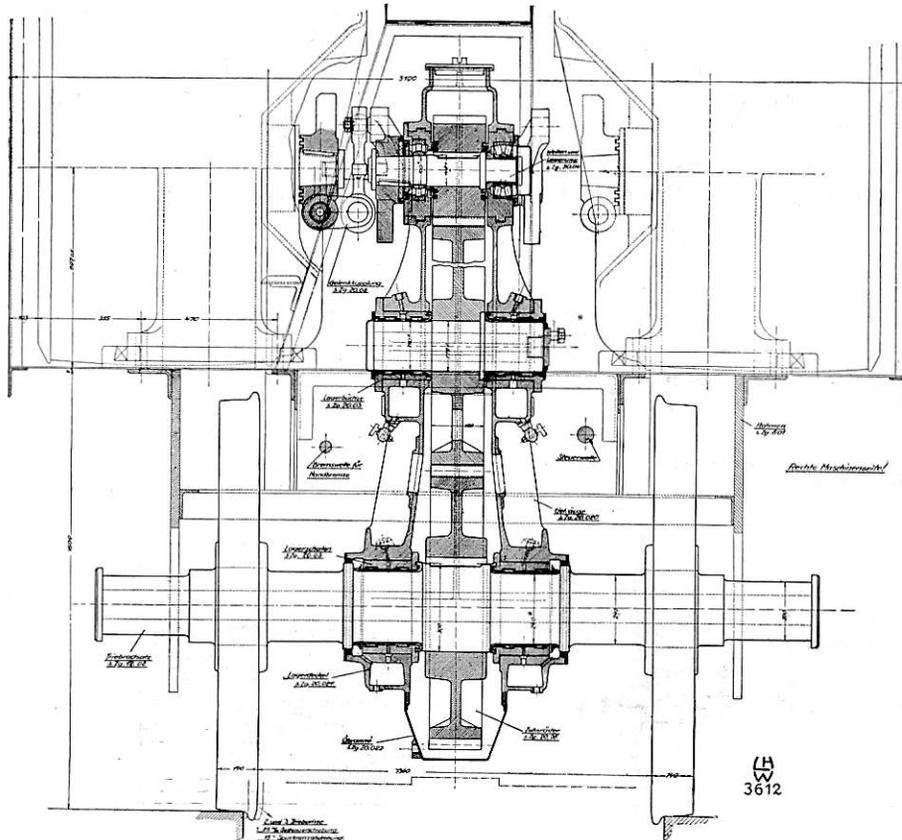


Abb. 11. Bergmann-Antrieb der Lokomotive E 2151.

zum ersten Male für so zahlreiche Motoren in einer Lokomotive ausgeführt worden ist. An jedem Motor befindet sich ein besonderer Druckluftantrieb für die beiden Endlagen der Bürstenträger. Durch den Fahrtrichtungsgriff am Führerschalter wird je ein Vierweghahn betätigt, der die Druckluft nach Wunsch steuert. Durch die Anordnung dreier Steuertransformatoren (Stromteiler) wird erreicht, daß in jeder Schaltstufe stets gleichzeitig vier Schütze eingeschaltet sind, so daß das einzelne Schütz recht geringe Abmessungen bekommt. Auf einem Gehäuse, welches die Motorluftpumpe vom übrigen Maschinenraum abtrennt, ist ein kleiner Gleichstrom-Lichtumformer angeordnet. Zur Sicherung gegen Durchgehen bei Leerlauf trägt er auf seiner Welle einen kleinen Lüfter, der nebenher zur Förderung von Kühlluft durch den Luftpumpenraum benutzt wird.

Die Motorleistungen der Lokomotive E 2151, die außer der am Schluß wiedergegebenen Übersicht auch durch das Schaubild Abb. 18 dargestellt werden, haben sich nach den Prüffeldergebnissen der Motoren und nach Versuchsfahrten als reichlich bemessen erwiesen. Auch bei dieser Lokomotive

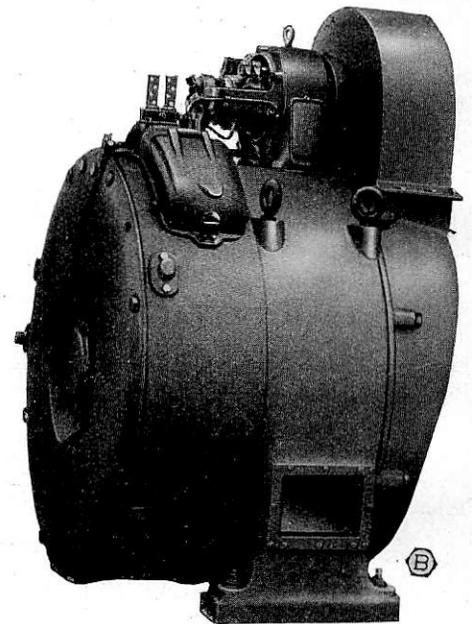


Abb. 12.  
Motor der Lokomotive E 2151.

verwenden. Das Zahnradgetriebe sollte dann unsymmetrisch auf die Treibachse wirken, so daß man den Motor etwa in die Mitte der Lokomotive über die zugehörige Achse setzen konnte. Die eingehende Durcharbeitung ergab jedoch, daß diese Anordnung große Gewichte in den Einbauteilen (also nicht im rein elektrischen Teil) erforderte. Außerdem führte die Übertragung der Leistung eines solchen Motors durch ein einziges Zahnrad zu sehr hohen Zahnbeanspruchungen und Lagerdrücken. Es wurde daher beschlossen, trotz der bisher angewendeten umfangreichen Vorarbeit von einem Zwischenradantrieb abzusehen und mit einem kühnen Griff das einfachste bestehende Getriebe, d. h. den Straßenbahnantrieb mit Tatzenmotor zu verwirklichen.

Die Leistungsbedingungen für diese Lokomotive (Abb. 19) sind die gleichen wie für die beiden oben genannten. Der Antrieb muß also Fahrgeschwindigkeiten bis zu 110 km/h aushalten. Gewisse Bedenken gegen so hohe Geschwindigkeiten bei den sich ergebenden großen unabgedehnten Massen auf den Treibachsen konnten nicht unterdrückt werden. Andererseits vertrat die Reichsbahn den Standpunkt, daß

nur der Versuch in dieser Beziehung wirklich Klarheit schaffen konnte. Die Lokomotive entstand daher in der durch Abb. 20 gezeigten Form.

Der Fahrzeugteil wurde von der Lokomotivfabrik A. Borsig, Berlin-Tegel, unter Mitwirkung der Siemens-Schuckert-Werke entworfen und erhielt zwei Triebgestelle unter einem gemeinsamen Brückenaufbau. In der Mitte zwischen den beiden Triebachsen jedes Gestells liegt in einer kugelig einstellbaren Führung ein Drehzapfen mit Höhenspiel aber ohne Querspiel. Zur Führung des Triebgestells dient ein Lenkgestell mit Deichsel Bauart Bissel nach den Einheitsbauformen der Reichsbahndampflokomotiven. Um das Schlingern der beiden Triebgestelle zu unterdrücken, wurde eine in der Senkrechten gelenkige Steifkupplung zwischen beiden Gestellen angeordnet, so daß alle Drehbewegungen um die Drehzapfen stets von beiden Gestellen gleichzeitig im entgegengesetzten Sinne ausgeführt werden müssen.

Der Brückenträger, welcher bei dieser Lokomotive durch ein Formeisenfachwerk in den Seitenwänden unterhalb der Fenster versteift ist, stützt sich an im ganzen sechs Punkten auf die Triebgestelle. Die Hauptlast wird durch zwei an der Mittelebene am Ende der Brücke befindliche starre, aber senkrecht einstellbare Kugelstützen übertragen. Rechts und links legt sich dann außerdem die Brücke auf je zwei entsprechende, etwas mehr nach der Mitte zurückgesetzte Stützen mit Federung.

Bei Tatzemotoren macht bekanntlich die Zugänglichkeit oft Schwierigkeiten. Es wurde daher zunächst zur Fernhaltung leicht von oben hereinfallender Fremdkörper und Unreinigkeiten grundsätzlich angenommen, daß diese Motoren nur von unten, also über einer Arbeitsgrube, nachgesehen werden sollen. Außerdem wurde aber eine Zugänglichkeit vom Maschinenraum her durchgeführt, die trotz der zahlreichen dort unterzubringenden Vorrichtungen verhältnismäßig günstig ausgefallen ist. Der mit Ölkühlung (Umwälzpumpe und henkelförmige, mit Kühlluft angeblasene Rohre am Ölkessel) ausgestattete Transformator steht ungefähr in der Mitte der Brücke und trägt auf

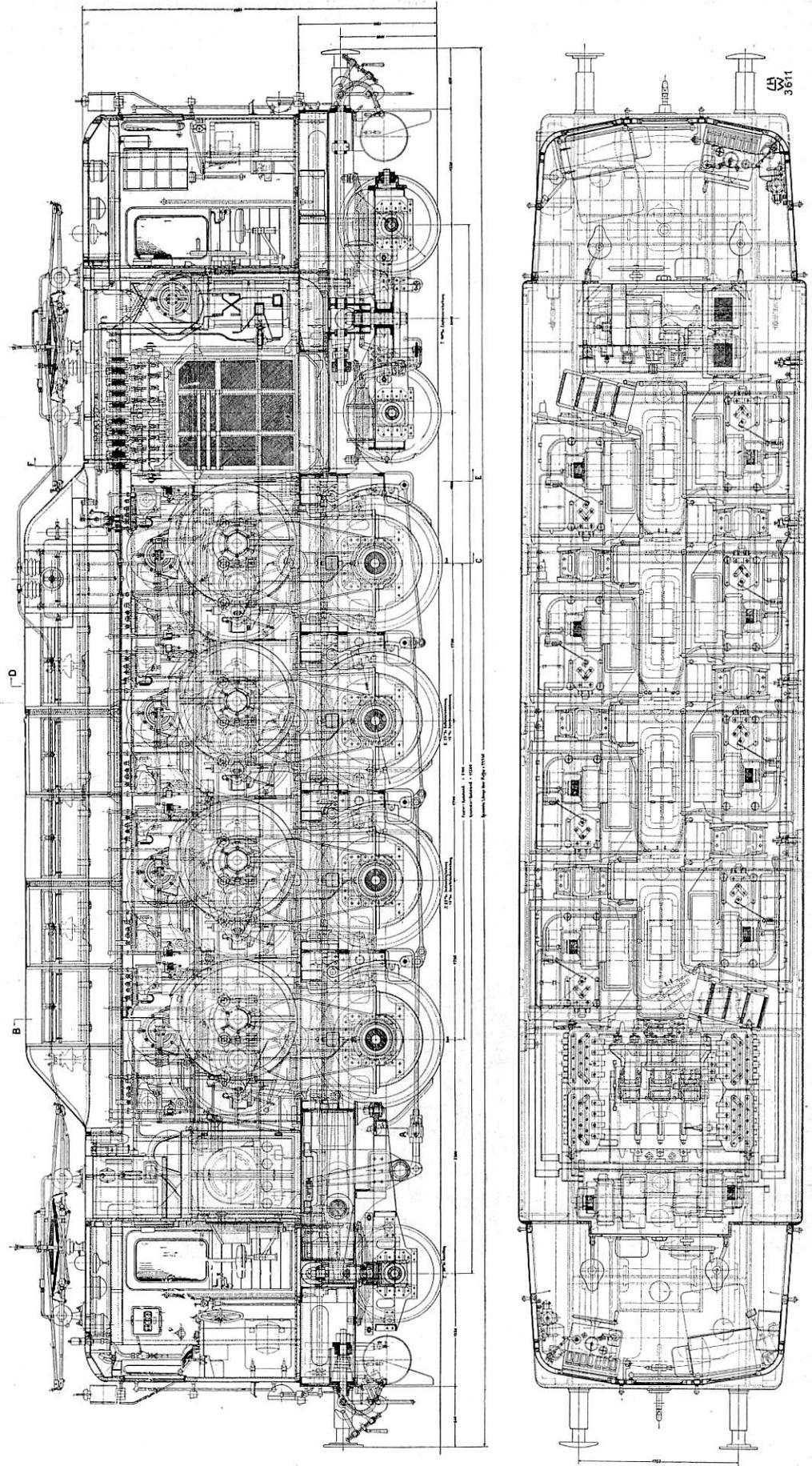


Abb. 13. 2 D<sub>0</sub> 1 Schnellzuglokomotive E 2151 (Längsschnitt und Grundriß).

seiner Decke elektromagnetische Schütze (Abb. 21). Hinter dem Transformator steht je ein Lüftermotor mit je zwei Lüftern, zum Durchsaugen der Luft durch den um die Ölkühlrohre herumgebauten Schacht. Sie blasen durchs Dach aus. Über den Drehzapfen stehen zwei weitere Gebläse, die

Sorgfalt durchgebildet wurde. An den Enden des Maschinenraums sind auf Walzeisengerüsten die übrigen erforderlichen Schaltvorrichtungen aufgebaut. An der Decke hängt in Nachbarschaft des Transformators der Reichsbahn-Einheitsölschalter. Darunter steht der zum Ölpumpenantrieb dienende

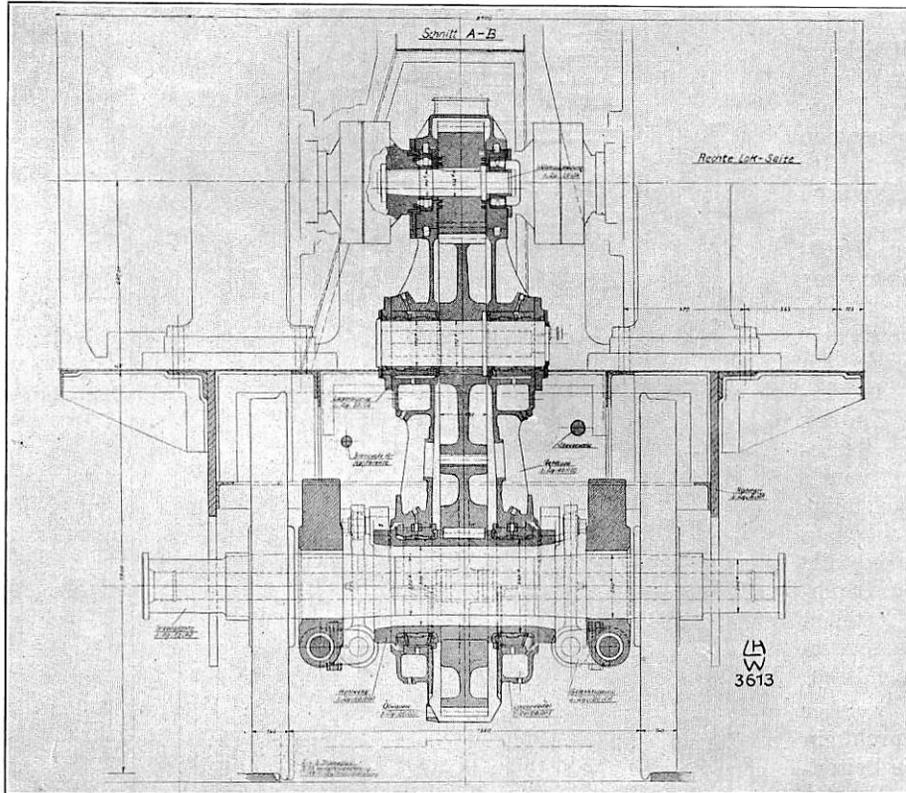


Abb. 14. Linke-Hofmann-Antrieb der Schnellzugslokomotive E 2151.

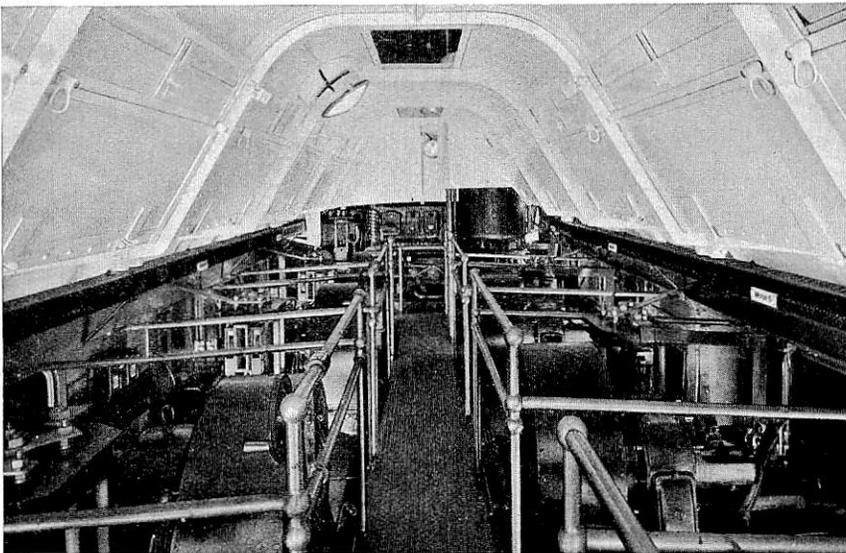


Abb. 15. Maschinenraum der Lokomotive E 2151.

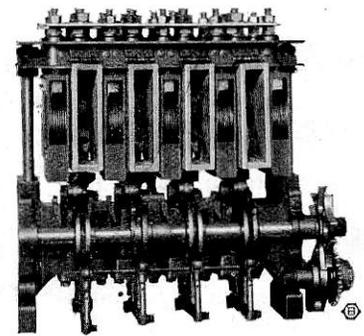


Abb. 16.  
Schützengruppe.

durch gradlinig verlaufende Kanäle in die Motoren die Kühlluft hineinblasen. Einen solchen Fahrmotor mit Treibachse zeigt Abb. 22. Zu beiden Seiten des Motors befindet sich je ein Zahnradvorgelege, dessen große, auf den Treibradnaben sitzende Räder gefederte Zahnkränze haben. Der bei Tatzenbauart sehr beengte Raum für die Motoren brachte es mit sich, daß zur Erreichung möglichst hoher Leistung die Kühlluftführung im Motor mit ganz besonderer

Motor, welcher gleichzeitig die Lichtdynamo treibt. Zwischen den verschiedenen Luftkanälen befinden sich Bodenklappen über den Motorkollektoren. Die niedrigen Vorbauten auf den Triebgestellen vor und hinter dem Brückenaufbau enthalten am einen Ende die Einheitsmotorluftpumpe, am anderen Ende die Hauptluftbehälter: Zur Betätigung der Steuerung von den beiden Führerständen aus dienen gewöhnliche Walzenführerschalter, die den Steuerstrom regeln.

Die Schaltung der Motoren in Verbindung mit dem Transformator ist durch Abb. 23 erläutert. Sie weist keine besonderen Neuerungen gegenüber anderen Reichsbahnlokomotiven auf; jedoch sind hier wieder einfache Fahrtwendschalter mit Druckluftantrieb statt Wendeschützen benutzt worden, um Raum und Gewicht zu sparen.

Die aus den Motorprüfleistungen ermittelten Angaben sind im Schaubild Abb. 24 zusammengestellt. Man erwartete von vier Tatzenmotoren, deren Einzelgewicht man mit Rücksicht auf die Beanspruchung des Oberbaues nicht gern über 5 bis 6 t steigern möchte, nicht die Leistung, wie sie die beiden erstbeschriebenen Lokomotiven aufweisen. Trotzdem darf aber auf Grund der Prüffeldermittlungen anerkannt werden, daß die Lokomotive für ihr Gewicht eine sehr hohe Leistungsfähigkeit aufweist und den beiden anderen Versuchslokomotiven nicht nachsteht, wie die Zusammenstellung am Schluß zeigt. Es ist auch hier gelungen, mit verhältnismäßig niedrigen, unter den zugelassenen Werten bleibenden Achsdrücken

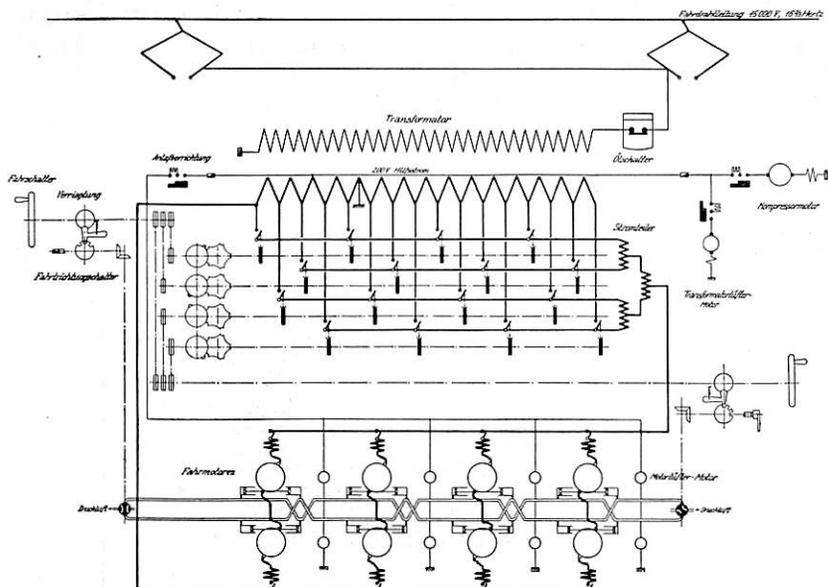


Abb. 17. Schaltbild der Lokomotive E 2151.

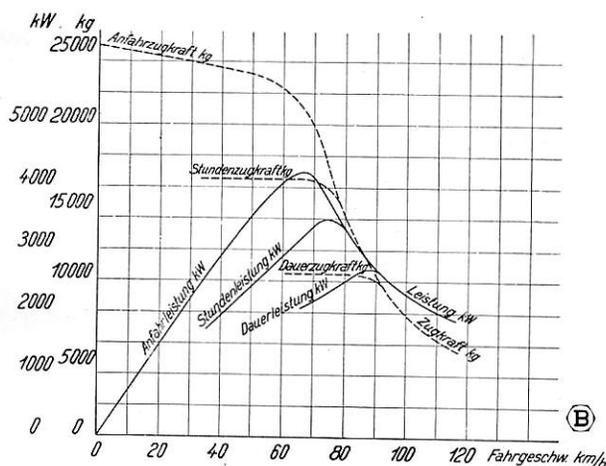


Abb. 18. Leistung der Lokomotive E 2151 nach Prüffeldmessungen, Zugkraft am Radumfang.

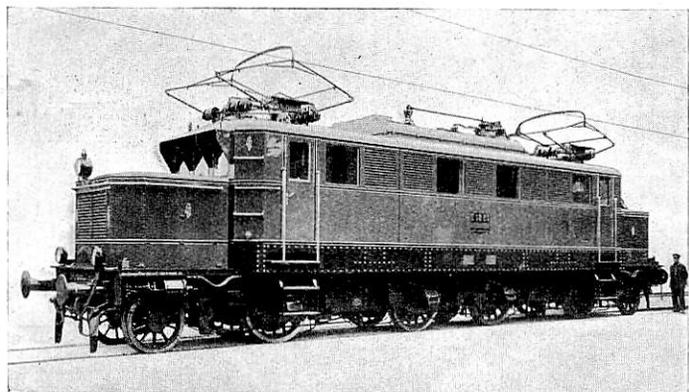


Abb. 19. 1 Bo + Bo 1 Schnellzuglokomotive.

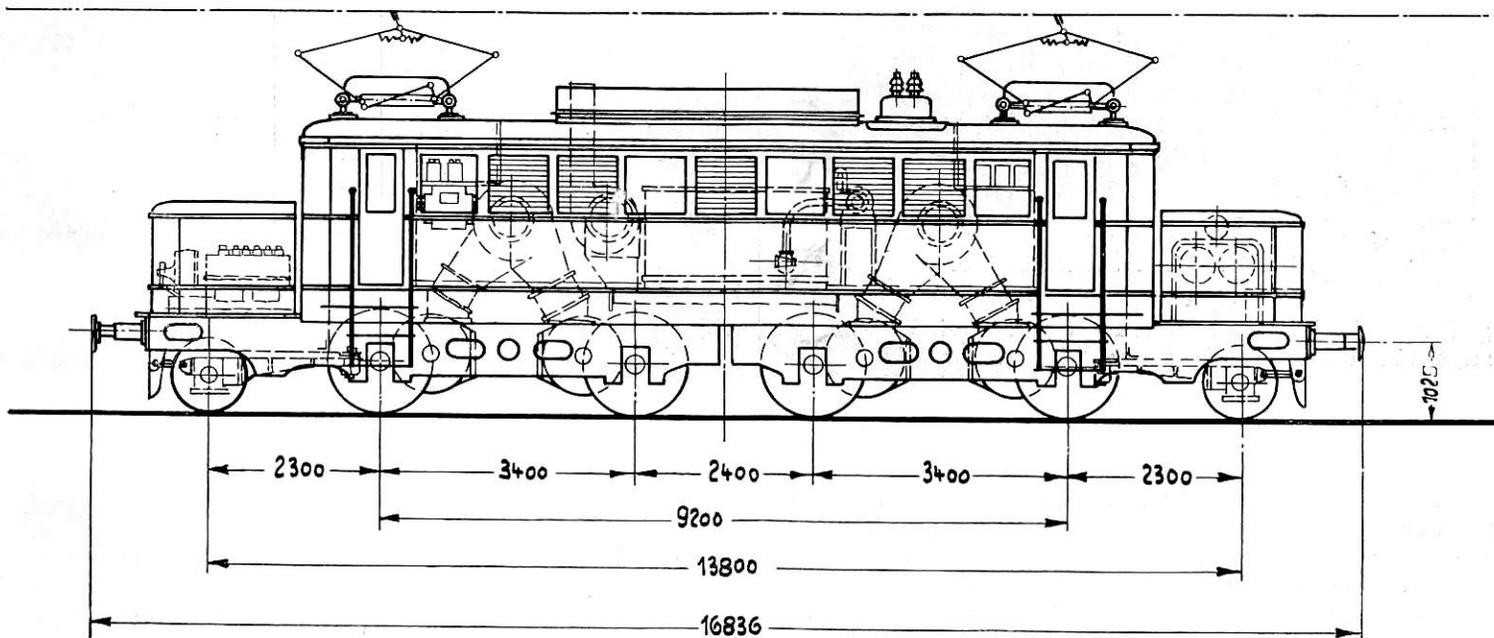


Abb. 20. Gesamtanordnung der Lokomotive E 1801.

auszukommen. Es verlohnt sich, diese Zahlen mit denen aus den ersten fünf bis zehn Jahren der Wechselstromzugförderung zu vergleichen, um zu erkennen, welche außerordentlichen Fortschritte seitdem gemacht wurden. Infolge der angedeuteten verhältnismäßig langwierigen Entwicklung dieses Lokomotiventwurfes ist die Lokomotive E 1801 erst kürzlich dem Betriebe übergeben worden, wobei sich gezeigt hat, daß ihre Laufeigenschaften trotz des verhältnismäßig tief liegenden Schwerpunktes und der verhältnismäßig

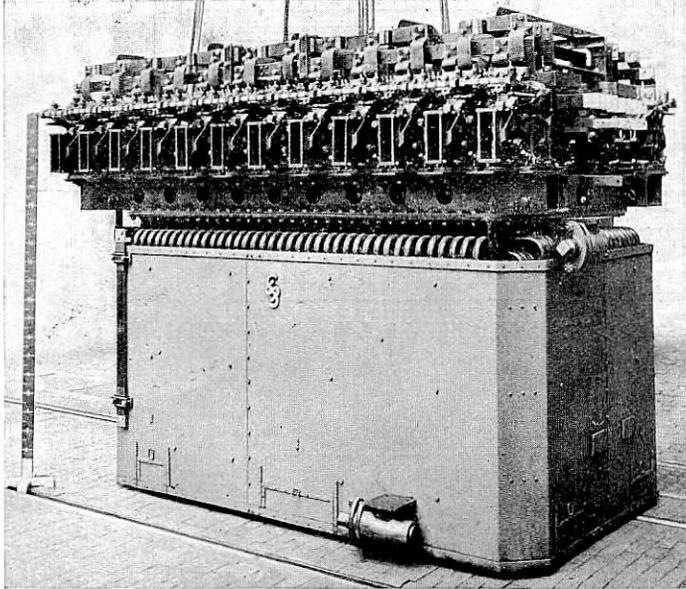


Abb. 21. Transformator mit Schützen.

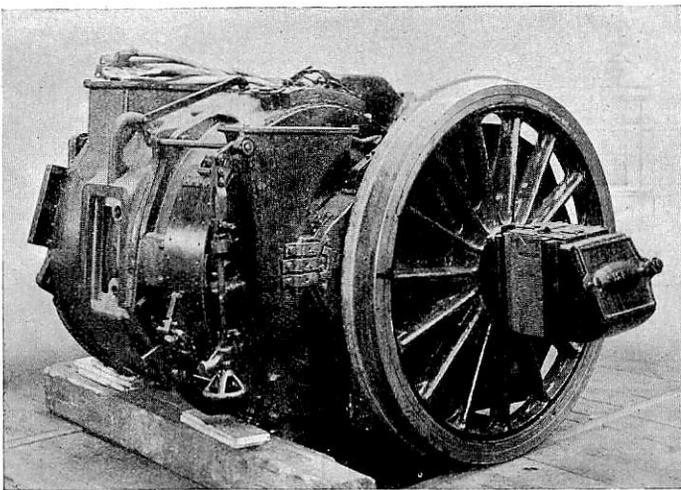


Abb. 22. Motor auf Treibachse.

großen unabgefederten Massen recht günstig sind. Übrigens zeigt ein Vergleich mit neuzeitlichen Dampflokomotiven, daß dort bei Verwendung von Kropfachsen und im allgemeinen wesentlich größeren Treibraddurchmessern, drei- bis vierfachem Triebwerk usw. ziemlich dieselben unabgefederten Schienendrucke entstehen wie bei dieser elektrischen Lokomotive.

Den Erbauern schien es nicht unbedingt sicher, daß die für hohe Geschwindigkeiten verhältnismäßig kurzen festen Achsstände der Lokomotive eine ruhige Führung ergeben würden. Die bisherigen Fahrten haben, allerdings bei Geschwindigkeiten beträchtlich über 100 km/h, das Gegenteil bewiesen. Um außerdem noch an Baugewicht zu sparen, wurde noch während des Baues dieser Lokomotive der Ent-

schluß gefaßt, eine weitere im elektrischen Teil übereinstimmende Versuchslokomotive von denselben Lieferwerken erbauen zu lassen wie die E 1801, jedoch mit einem einzigen durchlaufenden Rahmen. Hierfür war ferner hauptsächlich die Behandlung mehrteiliger Lokomotiven in den Werkstätten maßgebend. Elektrische Lokomotiven mit Triebgestellen und Brückenaufbauten erfordern zu ihrer Behandlung beträchtlich mehr Platz als einteilige Lokomotiven. Die Auseinander- und Zusammenbauzeiten bei der Ausbesserung werden durch die Mehrteiligkeit verlängert und es ist auch nicht immer mit

### Übersicht

Hauptangaben über die Versuchs-Schnellzuglokomotiven der Deutschen Reichsbahn.

Betriebsnummer	E 2101	E 2151	E 1801
Hersteller der elektrischen Ausrüstung . . . . .	A. E. G.	Bergmann	S. S.W.
Hersteller des Fahrzeugteils . . . . .	A. E. G.	Linke-Hofmann	A. Borsig
Achsanordnung . . . . .	2 D <sub>0</sub> 1	2 D <sub>0</sub> 1	1 B <sub>0</sub> +B <sub>0</sub> 1
Spurweite . . . . . mm	1435	1435	1435
Fester Achsstand . . . . . mm	6600	5100	2 × 3400
Gesamter Achsstand . . . . . mm	12950	11200	13800
Länge über Puffer . . . . . mm	16500	14940	16836
Treibraddurchmesser . . . . . mm	1750	1400	1400
Laufreddurchmesser . . . . . mm	1000	1000	1000
Höchstgeschwindigkeit km/h	110	110	110
Regelmäßige Fahrdrahtspannung . . . . . kV	15	15	15
Wechselstrom-Periodenzahl . . . . .	16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>
Anzahl der Motoren . . . . .	8	8	4
Transformator Kühlung durch . . . . .	Luft	Luft	Öl
Fahrstufenzahl . . . . .	24	16	21
Steuerungsart . . . . .	Magnet-schütze	Druckluft-schütze mechanisch gesteuert	Magnet-schütze
Fahrtrichtungssteuerung durch . . . . .	Magnet-schütze	Bürsten-verstellung	Druck-luft-fahrt-wender
Stundenleistung an den Motorwellen *) . . . . . PS	3500	4500	2990
Fahrgeschwindigkeit hierbei . . . . . km/h	70	70	70
Dauerleistung *) . . . . . PS	2700	3400—2700	2700
Fahrgeschwindigkeit hierbei . . . . . km/h	80—110	80—110	80—110
Treibzahnradübersetzung . . . . .	1:4,26	1:2,27	1:3,65
Größte Motorumlaufrzahl u/min	1420	950	1520
Gewicht der elektrischen Ausrüstung . . . . . t	61	55	47
Gewicht des Fahrzeugteils . . . . . t	61	67	56
Gewicht der fertigen Lokomotive . . . . . t	122	122	103
Reibungsgewicht . . . . . t	75	78	73
Achsdrucke . . . . . t	16,10	14,70	15,08
. . . . . t	15,43	14,83	18,75
. . . . . t	18,28	19,21	18,07
. . . . . t	17,93	19,71	18,20
. . . . . t	19,46	19,77	18,43
. . . . . t	19,56	19,50	14,85
. . . . . t	15,03	14,22	
Gewicht der Längeneinheit t/m	7,4	8,1	6,15
Gewicht auf die Leistungseinheit (Dauerleistung) kg/PS	45	36	38

\*) Nach Erwärmungsvorschriften der Deutschen Reichsbahn.

den vorhandenen Hebezeugen ohne weiteres möglich, die mehrteilige Lokomotive als Ganzes durch die Werkstättenräume zu befördern.

Die zweite im Bau befindliche Versuchslokomotive Siemens-Borsig ist in Abb. 25 in ihren Grundzügen

Sammelkanäle. Der Transformator hat hier Luftkühlung ohne Öl erhalten. Die Kühlluft wird aus dem Maschinenraum durch seine Wicklungen hindurch mittels zweier von einem gemeinsamen Motor betriebener Gebläse angesogen und durchs Dach ausgeblasen. Die Steuerung geschieht

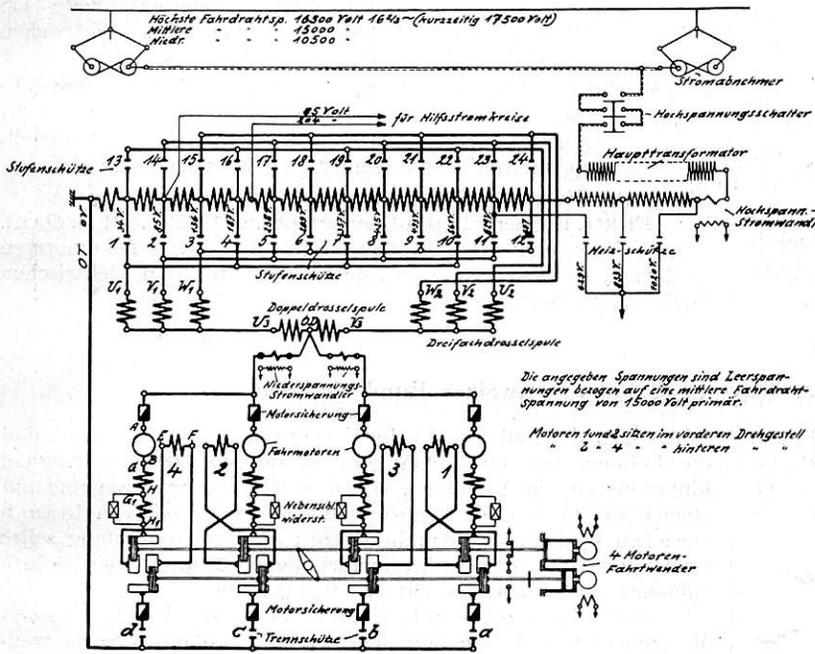


Abb. 23. Hauptschaltbild der Lokomotive E 1801.

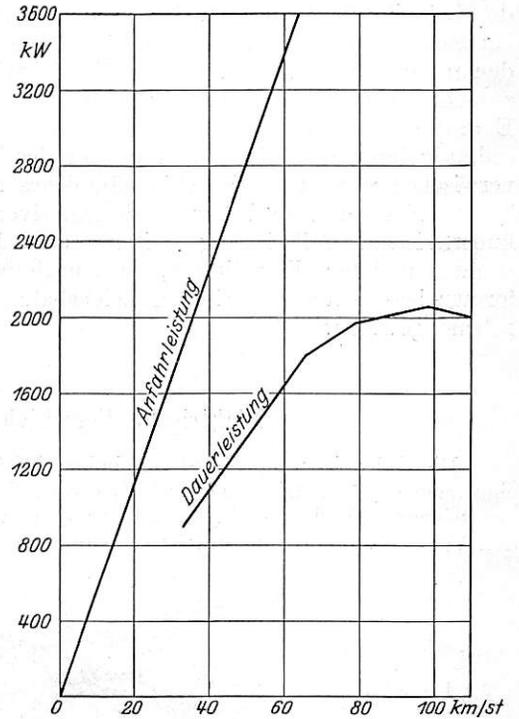


Abb. 24. Leistung der Lokomotive E 1801

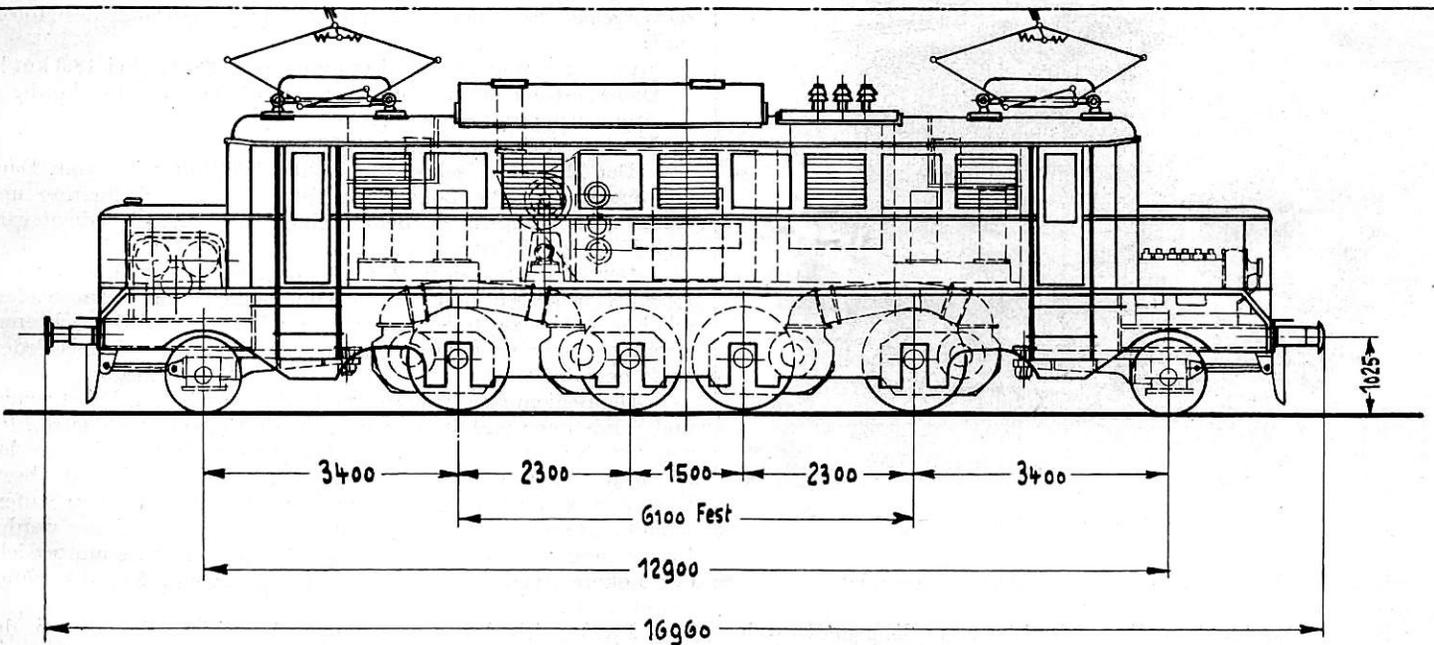


Abb. 25. 1 Do 1 Schnellzuglokomotive S. S. W.-Borsig.

wiedergegeben. Die Anordnung der elektrischen Ausrüstungsteile mußte zur Erzielung eines möglichst geringen steifen Achsstandes beträchtlich geändert werden. Die Motoren sind also von dem Mittelpunkt der Maschine wegweisend an die Achsen gehängt, so daß auch die mittleren noch unterhalb des Transformators einigermaßen zugänglich bleiben. Man versucht hier auch zur Stoßmilderung eine geringe Federung der Tatzenlager gegen den Motor. Die Lüfter fördern die Kühlluft nicht unmittelbar in die Motoren, sondern durch

ebenfalls durch elektromagnetische Schütze. Es sind Versuche bei dieser Lokomotive eingeleitet, statt des Ölschalters einen in Luft arbeitenden trockenen Hauptschalter einzuführen. Der für die Funkenlöschung bei 15 kV nötige große Raum ist die Ursache zu dem in Abb. 24 sichtbaren, einen beträchtlichen Teil des Maschinenraums einnehmenden Hauptschalter-schacht. Die Unterbringung der Motorluftpumpe und Luftbehälter stimmt mit der Lokomotive E 1801 überein. (Vergl. Übersicht Seite 368.

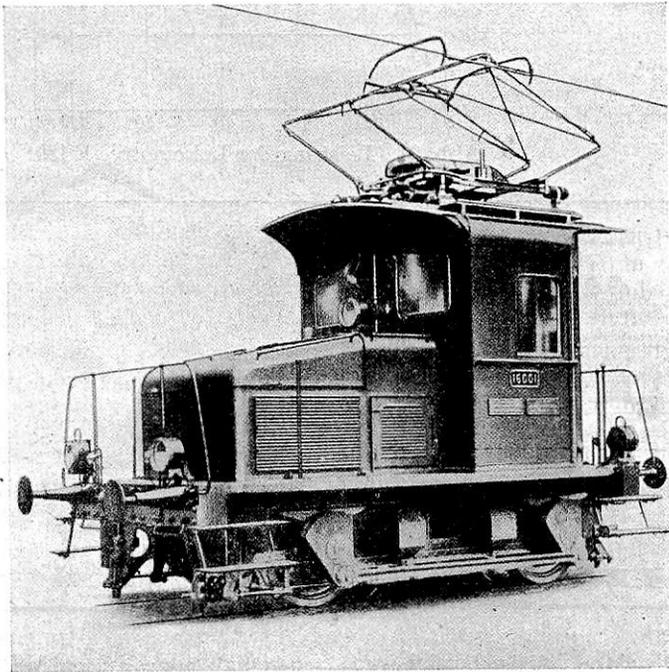
Die drei Versuchslokomotiven dienten gleichzeitig dazu, in der äußeren Gestaltung elektrischer Lokomotiven einen dem Schönheitsgefühl nach Möglichkeit Rechnung tragenden Weg zu finden. Die Abbildungen zeigen, wie nach verschiedenen Grundsätzen verfahren worden ist, indem teils scharfeckige Bauformen, teils abgerundete erprobt wurden. Die Gliederung des Lokomotivaufbaues ist bei gegebener Anordnung seiner Inneneinrichtung leider in vieler Beziehung eingengt und in den meisten Fällen ähnelt daher die elektrische Lokomotive zu sehr einem Wagen mit glattem Kasten. Die Lokomotive E 1801 bot hier noch die besten Möglichkeiten durch die Anordnung ihrer Bauteile den Charakter des Wagenkastens zu verwischen und etwas Maschinenähnliches zu schaffen. Die äußere Form der drei Versuchslokomotiven ist unter baukünstlerischer Mitwirkung seitens der Reichsbahn entstanden und für alle weiteren, auch nach bekannten Grundformen beschafften elektrischen Reichsbahnlokomotiven maßgebend gewesen.

#### Literaturverzeichnis.

- 2 D<sub>0</sub> 1 Schnellzuglokomotive der A. E. G. Hohlwellenantrieb:  
 „Elektrische Bahnen“ (Berlin-Charlottenburg 1925, Seite 291) (Tetzlaff, Neue elektrische Schnellzuglokomotive mit Einzelachs Antrieb für die Deutsche Reichsbahn); 1926, Seite 380 (desgl.); 1927, Seite 41 (Kleinow, Elektrische Schnellzuglokomotive mit Einzelachs Antrieb).  
 „Glaser's Annalen“, Berlin 1927, Sonderheft, Seite 178 (Wechmann, Mitteilungen über den elektrischen Fernzugbetrieb der Deutschen Reichsbahn).
- 2 D<sub>0</sub> 1 Schnellzuglok. der Bergmann-E.W. Zwischenradantrieb:  
 „Elektrische Bahnen“ Berlin-Charlottenburg, 1925, Seite 291 (s. oben); 1926, Seite 209 (Löwentraut, 2 D<sub>0</sub> 1 Schnellzuglokomotive mit neuartigem Einzelachs Antrieb).
- 1 B<sub>0</sub> + B<sub>0</sub> 1 Schnellzuglokomotive der S. S.W.:  
 „Elektr. Bahnen“ Berlin-Charlottenburg, 1925, S. 291 (s. oben).  
 Weitere, eingehende Aufsätze über die obigen Lokomotiven erscheinen in der Zeitschrift „Zentralblatt für den elektrischen Zugbetrieb“, Berlin.

### Elektrische Verschiebelokomotive, Type Ee 2/2 der Schweizer Bundesbahnen.

Die Schweizer Bundesbahnen haben Mitte vorigen Jahres eine neue Type elektrischer Verschiebelokomotiven — gebaut von den Sécheron-Werken — in Betrieb genommen (siehe Abb.), die den Verschiebedienst auf mittleren Bahnhöfen der elektrisierten



Elektrische Verschiebelokomotive Type Ee 2/2 der S. B. B.

Strecken versehen soll, wo bisher Akkumulatorenlokomotiven verwendet wurden.

Für die Durchbildung dieser Maschinen war die grundlegende Forderung gestellt, daß Konstruktion und Bedienung genügend einfach sein sollten um die Lokomotiven ungelerntem Personal anvertrauen zu können, wie dies auch bei den Akkumulatoren-

fahrzeugen der Fall ist. Im Betriebsprogramm war verlangt, daß die Lokomotiven einen Zug von mindestens 300 t zwanzigmal hintereinander in Abständen von drei Minuten anfahren und auf ebener Strecke in einer Minute eine Geschwindigkeit von 15 km/h erreichen können. Die Anfahrzugkraft am Triebbradumfang sollte 6000 kg betragen, die Höchstgeschwindigkeit 30 km/h; der höchste zulässige Achsdruck war mit 12,5 t angegeben.

Der Fahrzeugteil wurde von der Schweizerischen Lokomotiv-Maschinenfabrik Winterthur geliefert. Die Lokomotive ist zweiachsrig, dem Führerstand ist ein niedriger Vorbau vorgelagert, der die elektrische Ausrüstung enthält. Die beiden Achsen sind durch Kuppelstangen verbunden. Der Antrieb erfolgt durch einen einzigen im Untergestell liegenden Motor über ein doppeltes Zahnradvorgelege mit einer Übersetzung 1:9,6. Die Daten des Motors sind:

Stundenleistung am Triebbradumfang = 200 PS bei 18,3 km/h;  
 Dauerleistung am Triebbradumfang = 150 PS bei 18,3 km/h;  
 Stundenzugkraft = 2950 kg;  
 Mittlere Anfahrzugkraft = 6000 kg.

Der Motor ist selbstlüftend, die Kühlluft wird vom Dach her angesaugt. Die Lokomotive ist mit Wurfhebelbremse und Sandstreuer ausgestattet, der durch einen Fußhebel bedient wird und für beide Fahrtrichtungen sandet.

Der Stufentransformator ist für eine Stundenleistung von 180 kVA bemessen und besitzt Ölumlaufrückführung. Am Stufenschalter stehen zwölf Schaltstufen zur Verfügung. Der Scheerenstromabnehmer trägt zwei Schleifstücke und wird mittels Federkraft angepreßt.

Die Bedienungseinrichtungen für Stufenschalter, Fahrtwender und Sandstreuer und die Handbremse sind sowohl auf der rechten wie auf der linken Seite des Führerstands angebracht, so daß der Führer stets den Platz einnehmen kann, der ihm die beste Übersicht gewährt. Durch gegenseitige Verriegelungen von Stufenschalter, Hauptschalter, Fahrtwender und Stromabnehmer werden Bedienungsfehler des Führers ausgeschlossen. Das Gesamtgewicht der Lokomotiven beträgt 24,5 t, der Achsstand 2,8, die Länge zwischen den Puffern 6,4 m.

Im Betrieb haben die neuen Verschiebelokomotiven der Type Ee 2/2 den gestellten Anforderungen voll entsprochen, so daß die S. B. B. weitere drei Lokomotiven der gleichen Bauart in Auftrag gegeben haben.

A. P.

## Das elektrische Reichsbahnnetz in Schlesien\*).

Von W. Usbeck, Breslau.

Hierzu Tafel 15.

Die elektrisch betriebenen Strecken der Deutschen Reichsbahn bilden bisher kein zusammenhängendes Netz. Das erklärt sich z. T. aus der technischen Entwicklung, da die vor dem Kriege bestehenden Ländereisenbahnen Preußens, Bayerns und Badens fast gleichzeitig (1890) die neue Betriebsart zu erproben begannen und zwar die preussische Bahnverwaltung gleichzeitig auf einem weit von einander entfernten Flachlandnetz und einem Gebirgsnetz, z. B. in den besonders günstigen örtlichen Verhältnissen für die Anfänge des elektrischen Betriebes, Vorhandensein von Wasserkraften, Braunkohlen, billigen Steinkohlen, Gebirgsstrecken mit schweren Betriebsverhältnissen und dergleichen. Die Erweiterung des elektrischen Betriebes muß von den zuerst ausgerüsteten Streckenteilen ausgehen. Denn der Betrieb wird um so wirtschaftlicher, je umfangreicher und verkehrsreicher er wird, da dann die Verkehrsmittel besser ausgenutzt werden können, als in einem eng begrenzten Gebiet.

### 1. Entwicklung des elektrischen Bahnbetriebs in Schlesien. Streckenverhältnisse.

Das schlesische Gebirgsbahnnetz wurde im Jahre 1910 gleichzeitig mit der im mitteldeutschen Braunkohlengebiet liegenden Strecke Magdeburg—Bitterfeld—Leipzig und Leipzig—Halle für den elektrischen Betrieb bestimmt. Die damalige preussische Staatseisenbahnverwaltung wollte die neue Betriebsart sowohl auf einer Flachlandstrecke, wie auf einer Gebirgsbahnstrecke erproben. Sie wählte die schlesische Gebirgsbahn in erster Linie deshalb, weil die militärische Bedeutung der Strecke gering war, in zweiter Linie, weil sie in bezug auf die Verkehrsdichte nicht zu den wichtigsten Linien gehört, ein Fehlschlagen des Versuchs also nicht so sehr in die Erscheinung getreten wäre. Wahrscheinlich aus dem letzteren Grunde beschränkte sie den elektrischen Betrieb auch nur auf die Teilstrecke Lauban—Königszelt, die allerdings die schwierigsten Streckenverhältnisse aufwies, und deren nach Süden ausstrahlenden Seitenlinien. Diese Beschränkung erwies sich bald nach Aufnahme des elektrischen Betriebes als verfehlt. Beide Endbahnhöfe des elektrischen Betriebes waren bis dahin keine Lokomotivwechselbahnhöfe gewesen. Betriebliche Schwierigkeiten stellten sich ein, deren Beseitigung nur durch Ausdehnung des elektrischen Betriebes zu den betrieblich und verkehrlich geeigneten Bahnhöfen, Breslau im Osten und Görlitz im Westen, möglich war. Die Einbeziehung der Strecke Lauban—Görlitz gelang trotz großer Schwierigkeiten in der Baustoffbeschaffung durch die Inflationsverhältnisse im Sommer 1923. Im gleichen Jahre wurde auch mit den Vorarbeiten für die Ausrüstung der Strecke Dittersbach—Glatz begonnen, die aber dann infolge der Schwierigkeiten in der Kapitalbeschaffung wieder aufgegeben wurden. Dagegen konnte mit der Ausrüstung der Strecke Königszelt—Breslau erst 1926 begonnen werden. Am 28. Januar 1928 ist dieser Restabschnitt der schlesischen Gebirgsbahnen und damit die schlesische Hauptstadt in den elektrischen Betrieb einbezogen worden. Im Frühjahr 1928 sind noch zwei weitere Anschlußlinien hinzugekommen, die 22 km lange Hauptbahn Lauban—Kohlfurt und die 11 km lange Nebenbahn Lauban—Marklissa. Damit ist erst die volle Ausnutzung des elektrischen Betriebes möglich und

ein vorläufiger Abschluß in der Entwicklung des elektrischen Betriebes in Schlesien erreicht worden. Ein betrieblich zusammenhängendes Netz von erheblicher Ausdehnung wird jetzt einheitlich elektrisch betrieben. Ein Überblick über die Entwicklung des elektrischen Betriebes in Schlesien und über die hier gewonnenen Betriebserfahrungen wird daher von Interesse sein.

Über die Entwicklung der elektrischen Reichsbahnen in Schlesien mögen zunächst einige Daten folgen:

Der im Jahre 1910 aufgestellte Plan umfaßte die Elektrisierung folgender Strecken: Abb. 1, Taf. 15

1. Lauban—Königszelt . . . . .	129 km
2. Niedersalzbrunn—Halbstadt . . . . .	35 „
3. Ruhbank—Liebau . . . . .	17 „
4. Hirschberg—Schreiberhau—Polaun . . . . .	52 „
5. Hirschberg—Schmiedeberg—Landeshut . . . . .	40 „

273 km

Die Ausrüstung der unter 5 genannten Strecke ist s. Z. des geringen Verkehrs wegen zunächst zurückgestellt worden und schließlich ganz unterblieben.

Im Herbst 1911 wurde mit dem Bau begonnen. Im Frühjahr 1914 begannen die ersten Probefahrten auf der Teilstrecke Niedersalzbrunn—Fellhammer. Dann brach der Krieg aus und nach kurzer Zeit mußten die Bauarbeiten bis auf die Fertigstellung der Teilstrecke Königszelt—Dittersbach—Gottesberg und Niedersalzbrunn—Halbstadt eingestellt werden. Auf diesen Teilstrecken wurde mit wenigen vorhandenen Lokomotiven und Triebwagen ein notdürftiger Betrieb aufrecht erhalten. Erst nach dem Kriege konnte das unterbrochene Werk wieder aufgenommen und mit Überwindung großer Schwierigkeiten allmählich im Laufe von vier Jahren fertiggestellt werden. Aber auch dann war der Betrieb nur unvollkommen, da es an Lokomotiven fehlte. Erst von 1923 ab konnte der größte Teil der Züge elektrisch befördert werden. Die Abb. 2, Taf. 15 zeigt den Stromverbrauch des schlesischen Netzes vom Beginn der Strömlieferung ab. Die Kurve veranschaulicht die Nöte, unter denen die Entwicklung des elektrischen Betriebes in den Jahren 1914 bis 1922 infolge Fehlens der nötigen Zahl an Lokomotiven und infolge anfänglicher Mängel ihrer Bauart zu leiden hatte. Erst vom Jahre 1922 ab sehen wir einen schnellen Anstieg des Stromverbrauchs, der abgesehen von kleineren, vom Verkehr abhängigen Schwankungen in stetiger Aufwärtsentwicklung zu dem heutigen Verbrauch von über fünf Millionen kWh im Monat geführt hat. Im Jahre 1920 wurde die Teilstrecke Gottesberg—Hirschberg in den elektrischen Betrieb eingeführt. Es folgte 1921 Ruhbank—Liebau, 1922 Hirschberg—Lauban, Anfang 1923 Hirschberg—Polaun, im Sommer 1923 Lauban—Görlitz, 1928 Königszelt—Breslau, Lauban—Kohlfurt und Lauban—Marklissa und die Güterzugstrecke Groß Mochbern—Mochbern—Breslau. Dadurch haben die schlesischen elektrischen Reichsbahnen eine Länge von 356 km erreicht, von denen 213 km zweigleisig sind.

Die Abb. 3, Taf. 15 stellt das Längenprofil der Hauptstrecke Breslau—Görlitz dar. Von Breslau bis zum 58 km entfernten Freiburg besitzt sie den Charakter einer Flachlandbahn. Dann tritt sie in das Waldenburger Gebirge ein und steigt mit starken Steigungen (bis 20‰) und kleinen Krümmungshalbmessern (bis herab zu 182 m) durch das Waldenburger Kohlengbiet bis zur höchsten Erhebung bei Fellhammer (547 m über NN). Von dort fällt sie, das Vorgelände des

\*) Der vorliegende Aufsatz bildet den 1. Teil der Darstellung der Entwicklung und der Betriebserfahrungen des schlesischen elektrisch betriebenen Netzes. Der 2. Teil erscheint in einem späteren Hefte.

Riesengebirges durchschneidend, mit Gefällen von etwa  $10\text{‰}$  bis Hirschberg. Von dort übersteigt die Bahn wieder mit  $10\text{‰}$  das Vorgelände des Riesen- und Isergebirges, um dann mit gleichmäßigem Gefälle von  $10\text{‰}$  bis Lauban zu fallen. Die Reststrecke Lauban—Görlitz weist wechselnde Neigungsverhältnisse ebenfalls mit  $10\text{‰}$  auf.

Von den Nebenstrecken nimmt die Strecke Hirschberg—Polaun eine besondere Stellung ein. Sie gehört zu den landschaftlich hervorragendsten Strecken Deutschlands. Sie führt von Hirschberg aus über Petersdorf—Schreiberhau zur Paßhöhe bei Jakobsthal zwischen dem Riesen- und Isergebirge (888 m über NN) und überwindet von Petersdorf bis Jakobsthal bei 21 km Länge einen Höhenunterschied von fast 600 m mit Steigungen bis zu  $25\text{‰}$  und Krümmungshalbmessern bis herab zu 200 m. Diese Bahnlinie kann sich in bezug auf die Schwierigkeit der Streckenverhältnisse den bekannten Alpenbahnen an die Seite stellen. Sie erreicht zwar nicht deren absolute Höhe über NN, aber die zu überwindende Höhe ist nahezu die gleiche (Abb. 4, Taf. 15). Die Strecke bietet im Winter besondere Schwierigkeiten für den Betrieb. Ungeheure Schneemassen gehen im Riesengebirge im Winter nieder, so daß die Offenhaltung der Strecke oft nur mit Hilfe

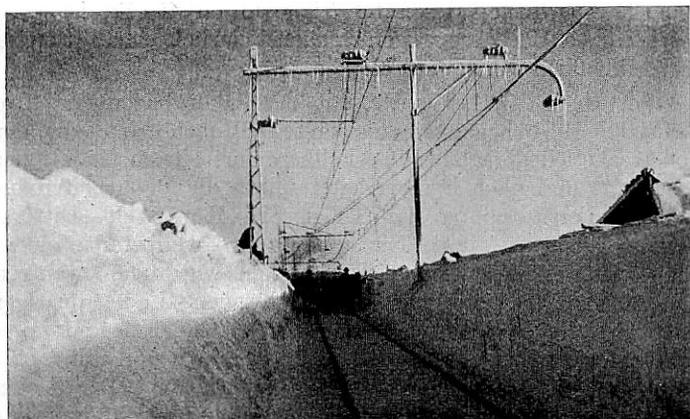


Abb. 1. Verschneite Bahnstrecke an der Paßhöhe bei Jakobsthal.

einer Schneeschleuder und der an den Fahrzeugen angebrachten Schneepflüge möglich ist. Die Textabb. 1 gibt einen Begriff von den Schneemassen, die an der Paßhöhe bei Jakobsthal im Winter auftreten. Häufige Nebelbildung verursacht starken Eisbehang an den Fahrleitungen, bei deren Ausbildung hierauf besonders Rücksicht genommen werden mußte.

Der Umfang des Verkehrs auf den schlesischen Gebirgsbahnen ist als mittelmäßig zu bezeichnen. Der Personenverkehr ist stark schwankend. Abgesehen von dem Berufsverkehr im Waldenburger Kohlenrevier ist der Personenverkehr in der Hauptsache mit der Jahreszeit schwankend. Starke Spitzenleistungen in den Hauptreisemonaten Juni bis August nach dem Riesengebirge und dem Glatzer Bergland stehen recht verkehrsschwache Zeiten im Frühjahr und Herbst gegenüber. Einen gewissen Ausgleich hat die starke Zunahme des Wintersports geboten, der im Riesengebirge vom Dezember bis in den April hinein dauernd ausgeübt werden kann und zahlreiche Wintersportler herbeizieht. Infolge dieser Schwankungen des Verkehrs sind auch die Zuggewichte stark wechselnd. In den Hauptreisetagen werden schwere Schnellzüge bis 600 t Anhängengewicht, oft mit Vor- und Nachzügen und zahlreiche Sonderzüge gefahren. Die Personenzüge weisen zeitweise ebenfalls hohe Zuggewichte bis 500 t auf. In den verkehrsschwachen Monaten dagegen steigt das Zuggewicht selten über 300 t. Täglich verkehren ein Schnellzugpaar und elf Personenzugpaare auf der Hauptstrecke,

außerdem einige, örtlichem Berufsverkehr dienende Personenzüge, die nur kleine Streckenabschnitte bedienen.

Der Güterverkehr ist dagegen ziemlich stetig und in der Hauptsache durch die Kohlenförderung im Waldenburger Kohlenbezirk bestimmt. Es werden z. Z. durchschnittlich 15 Güterzugpaare auf der Hauptstrecke befördert, die bis 1300 t ausgelastet werden. Die Zahl steigt zeitweise auf 18 Güterzugpaare.

Die Nebenstrecken Niedersalzbrunn—Halbstadt, Ruhbank—Liebau, Hirschberg—Polaun dienen abgesehen von dem Zubringerverkehr zu den Gebirgsorten dem Übergangsverkehr zur Tschechoslowakei, der aber nur mäßigen Umfang hat. Die Anschlußstrecke Lauban—Kohlfurt besorgt den Übergangsverkehr von der Gebirgsbahn auf die Strecke Görlitz—Liegnitz und Kohlfurt—Sommerfeld—Berlin. Ein großer Teil der Güterzüge zweigt in Lauban von der Gebirgsbahn nach Kohlfurt ab. Die Nebenbahn Lauban—Markklissa hat nur örtliche Bedeutung.

## 2. Stromversorgung.

Für die Speisung des 356 km Streckenlänge umfassenden Netzes steht nur das Bahnkraftwerk Mittelsteine (Textabb. 2)

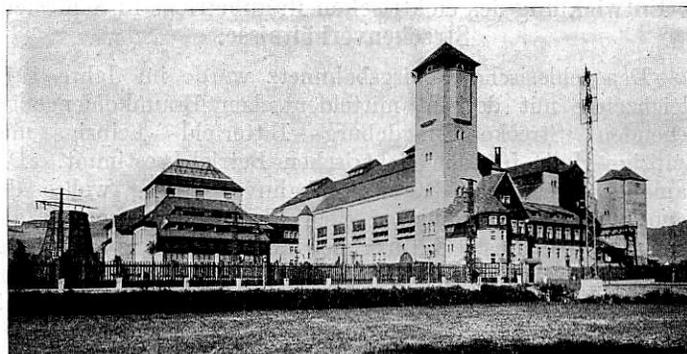


Abb. 2. Bahnkraftwerk Mittelsteine.

zur Verfügung. Es ist ein Zeichen der betriebssicheren Ausgestaltung dieses Werkes, daß trotz des Fehlens eines zweiten Stützpunktes niemals nennenswerte Störungen der Stromversorgung des umfangreichen Netzes vorgekommen sind, obwohl das Kraftwerk noch recht ungünstig zum Versorgungsgebiet liegt. Es ist nur durch eine an gemeinsamem Gestänge verlegte Doppelleitung mit dem Unterwerk Niedersalzbrunn verbunden. Von dort aus verzweigt sich die Fernleitung in der Richtung nach den Unterwerken Hirschberg und Lauban einerseits und Breslau andererseits.

Das Bahnkraftwerk Mittelsteine ist in den Jahren 1912 bis 1913 von privater Seite errichtet und bis 1926 betrieben worden. Dann ist es von der Reichsbahn angekauft worden und wird seit 1927 auch von ihr betrieben. Es besitzt eine installierte Einphasenleistung von 24000 kW und eine Drehstromleistung von z. Z. 4000 kW, die demnächst auf 10400 kW vergrößert wird (Textabb. 3). Der Drehstrom wird zum kleineren Teil für den Eigenbetrieb des Kraftwerks, zum größeren Teil für die Versorgung der die Kraftwerkskohle liefernden Zeche und der Grafschaft Glatz mit elektrischer Arbeit verwendet. Das Kraftwerk ist ein Dampfkraftwerk, in dem eine in der 12 km entfernten Johann Baptista-Grube der Neuroder Kohlen- und Tonwerke gewonnene abgeseibte Feinkohle von 6000 bis 6500 kcal mit stark backenden Eigenschaften zur Verfeuerung kommt.

Das erste Betriebsjahrzehnt des Kraftwerks stand unter der Einwirkung des Krieges, so daß bis 1922 nur eine ganz beschränkte Ausnutzung des Kraftwerks möglich war. Der schnelle Anstieg der Stromlieferung in den Jahren 1922 bis 1924

zeigte, daß die Kesselanlage nicht geeignet war, die im Bahnbetriebe auftretenden hohen Spitzen immer mit Sicherheit zu bewältigen. 1924 wurde daher eine Ruths-Speicheranlage eingebaut, bestehend aus einem Dampfspeicher von zwei Gefäßen von je 180 m<sup>3</sup> Inhalt, ausreichend für eine Speicherung von 3000 kWh und eines Speicherturbinensatzes von 8000 kW Dauerleistung. Textabb. 4 zeigt den Ruths-Speicher vor Aufbringung der Wärmeisolation. Außerdem wurden zwei der vier älteren Turbinensätze von je 4000 kW auf Speicherbetrieb umgebaut. Der Einbau der Ruths-Speicheranlage hat zu einem glänzenden Erfolge geführt. Das Kraftwerk wird z. Z.

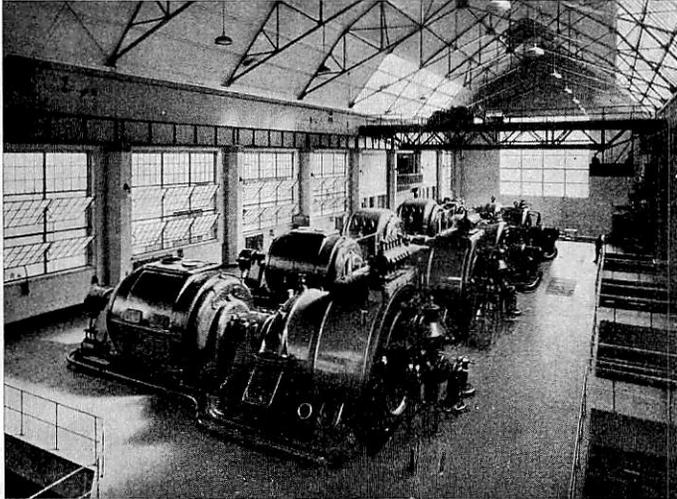


Abb. 3. Ansicht der im Bahnkraftwerk Mittelsteine aufgestellten Maschinensätze.

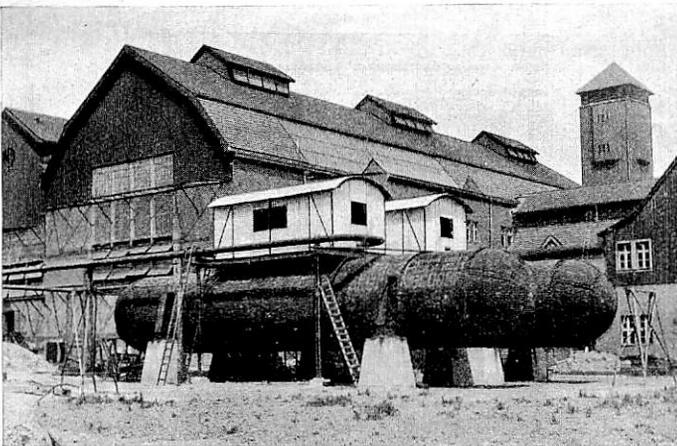


Abb. 4. Ruths Wärmespeicher im Reichsbahnkraftwerk Mittelsteine.

mühe los den Anforderungen des stetig gestiegenen Strombedarfs gerecht. Ursprünglich für 40 000 000 kWh Bahnstrom und 10 000 000 kWh Drehstrom angelegt, gibt es jetzt ohne Vergrößerung des Kesselhauses über 70 000 000 kWh ab und damit ist noch keineswegs die Grenze erreicht. Bis zu einer Stromabgabe von 90 000 000 kWh, also 80% mehr als ursprünglich vorgesehen, wird keine Vergrößerung des Kesselhauses, in dem 10 Kessel von je 450 m<sup>2</sup> Heizfläche vorhanden sind, nötig werden. Allerdings ist dieser Erfolg nicht allein der Ruths-Speicheranlage zu verdanken. Hand in Hand damit ging die Ausrüstung der Kessel mit Rußbläsern, die eine bedeutende Erhöhung des Wirkungsgrades zur Folge hatte. Auch die Aufstellung des 8000 kW Maschinensatzes, der mit Zahnradvorgelege zwischen Turbine und Dynamo

arbeitet und wesentlich geringeren Dampfverbrauch aufweist als die älteren Maschinen hat eine wesentlich bessere Ausnutzung der Kesselanlage ermöglicht. Die Abb. 5, Taf. 15 zeigt die Kurve des Wärmeverbrauchs des Kraftwerks, der in den ersten Jahren infolge der mangelhaften Belastung recht hoch war, dann aber in den Jahren 1925 und folgenden infolge des Einbaues der Ruths-Speicheranlage und der Rußbläser sprunghaft sich ermäßigte und heute einen Wert von 6000 WE/kWh erreicht hat bei einem Wirkungsgrad der Kesselanlage von etwa 80%, der für eine Anlage von 15 atü als außerordentlich günstig bezeichnet werden muß. Wieviel von der Wärme-

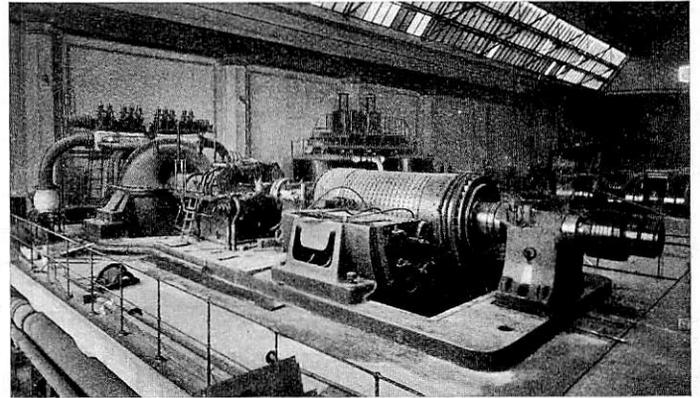


Abb. 5. 8000 kW Turbodynamos beim Zusammenbau.

ersparnis auf den Speicherbetrieb und auf die Einrichtung der Rußbläser entfällt, läßt sich nicht sagen, da beide Einrichtungen etwa gleichzeitig in Betrieb genommen worden sind. Beim Ruths-Speicher geht bekanntlich ein Teil des

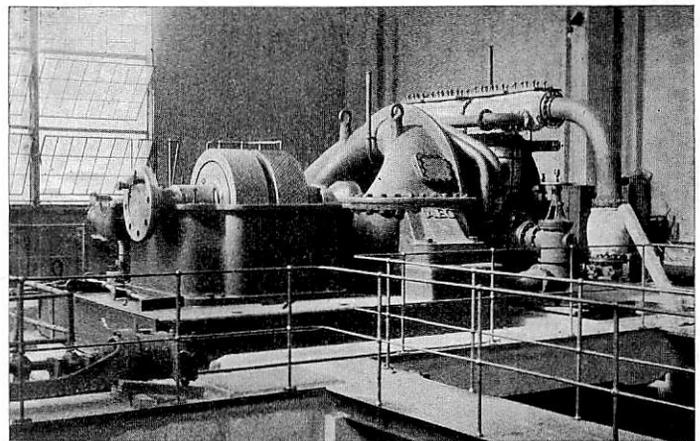


Abb. 6. Dampfturbine des 8000 kW-Maschinensatzes mit Zahnradvorgelege im Zusammenbau.

nutzbaren Wärmegefälles verloren, weil der Speicher mit überhitztem Dampf gespeist wird, während er gesättigten Dampf abgibt. Trotzdem wirkt er im Sinne erhöhter Wirtschaftlichkeit aus zwei Gründen. Erstens ermöglicht er praktisch unveränderliche Feuerführung und verringert dadurch die Verluste im Kesselhaus, zweitens reicht die Kesselanlage für viel größere Leistungen aus, weil die Spitzen vom Speicher gedeckt werden. Die Erweiterung der Kesselleistung in Mittelsteine auf das Maß, das ohne Einbau des Speichers notwendig gewesen wäre, hätte wesentlich mehr Geld gekostet als die Speicheranlage, ohne daß die gleiche Sicherheit der Dampflieferung erzielt worden wäre. Abb. 6, Taf. 15 zeigt die Belastung des Kraftwerks an einem verkehrsreichen Tage. Die Kurve stellt die Mittelwerte der Belastung über 10 Minuten

dar. Bemerkenswert ist die ziemlich hohe Belastung auch der Nachtstunden.

Bemerkenswert ist, daß der Speicherturbinensatz von 8000 kW mit Zahnradvorgelege 1:3 ausgerüstet ist, so daß eine Turbinendrehzahl von 3000/min verwendet werden konnte. Textabb. 5 stellt den ganzen Maschinensatz,

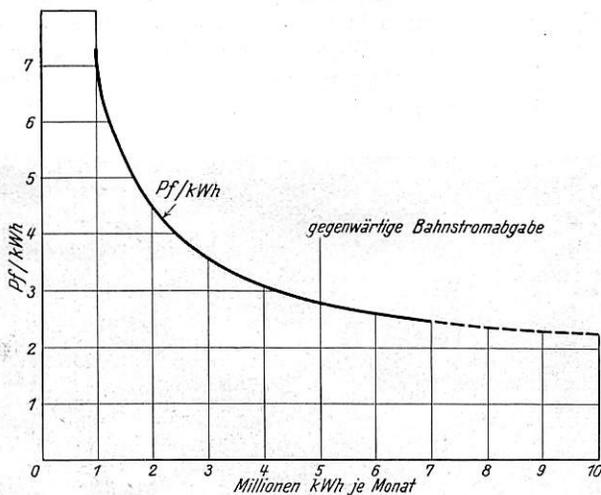


Abb. 7. Betriebskosten des Bahnstromes.

Textabb. 6 die Dampfturbine allein während des Zusammenbaus dar. Das Zahnradvorgelege ist deutlich zu erkennen. Das Zahnradvorgelege hat sich so gut bewährt, daß jetzt auch die beiden älteren auf Speicherbetrieb umgebauten Turbinen mit direktem Antrieb des Generators durch Speicherturbinen

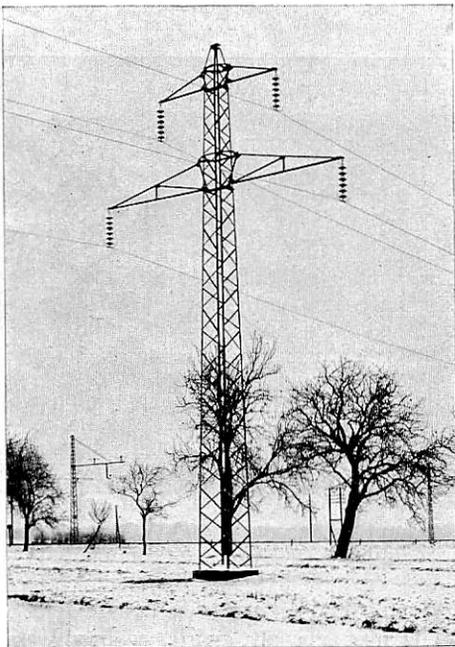


Abb. 8. Tragmast der 80 kV-Fernleitung Niedersalzbrunn—Breslau.

mit Zahnradvorgelege ersetzt werden. Durch den günstigeren Dampfverbrauch dieser Turbinen wird eine weitere Wärmeersparnis erzielt werden.

Die Betriebskosten des Bahnstromes, gemessen auf der Hochspannungsseite des Kraftwerks einschließlich Kapitaldienst zeigt die Textabb. 7. Bei der heutigen Stromabgabe von rund 60000000 kWh Bahnstrom ergibt sich ein Strompreis von 2,8 Rpf.

Die elektrische Ausrüstung des Werkes hat niemals Schwierigkeiten verursacht. Die zahlreichen Kurzschlüsse des Bahnbetriebes werden anstandslos ertragen.

### 3. Stromverteilung.

Die Weiterleitung der vom Kraftwerk gelieferten elektrischen Arbeit geschieht durch eine doppelte Fernleitung an gemeinsamem Gestänge mit 80 kV. Die Schwierigkeiten, die in den Jahren 1920 und 1921 durch Rauhreifbildung

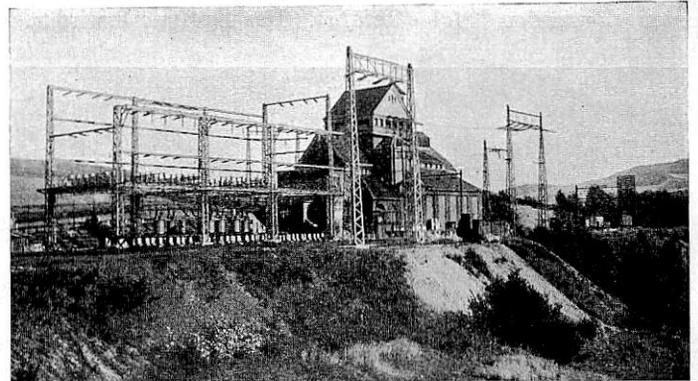


Abb. 9. Unterwerk Niedersalzbrunn mit Freiluftschaltstelle der Fernleitung.

und Stürme an diesen Leitungen auftraten, sind s. Z. eingehend erörtert worden\*). Sie haben dazu geführt, daß bei der Erweiterung der Fernleitung, die 1927 durch die Ausdehnung des elektrischen Betriebes von Königszell nach Breslau notwendig wurde, die beiden Phasen der Fernleitung mit sehr großen horizontalen Abständen (2,5 m) voneinander verlegt wurden (Textabb. 8), eine Maßnahme, die sich bei dem auf

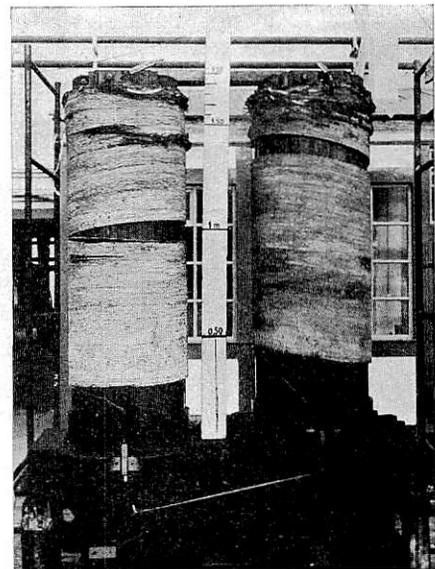


Abb. 10. Zerstörung eines Unterwerkstransformators mit niedriger Kurzschlußspannung durch Einwirkung von Kurzschlüssen.

Grund der Erfahrungen von 1920/21 durchgeführten Umbau der Fernleitung so gut bewährt hat, daß niemals wieder Störungen durch Phasenberührung vorgekommen sind. Die Fernleitung ist an drehbaren Auslegern aufgehängt worden.

Bei Einrichtung des elektrischen Betriebes sind vier Unterwerke gebaut worden, in Niedersalzbrunn, Ruhbank,

\*) ETZ 1923, Heft 25 vom 21. 6. 23.

Hirschberg und Lauban. Die Schaltanlagen dieser Unterwerke sind in Gebäuden untergebracht. Die Fernleitung wurde durch das Obergeschoß der Unterwerke durchgeführt. Die Entfernung dieser Unterwerke voneinander, gemessen an der Bahnlinie, betrug 33, 29 und 49 km. Das Unterwerk Ruhbank erwies sich als unnötig und wurde im Jahre 1923 aufgehoben. Es besteht nur als Schaltstelle für die Fernleitung weiter. Der Ausbau der Strecke Breslau—Königszell macht ein weiteres Unterwerk nötig, das aber noch nicht errichtet wurde. Die Strecke wird vorläufig von dem Unterwerk Niedersalzbrunn gespeist und zwar auf eine freitragende Länge von 68 km. Das neue Unterwerk soll in Breslau errichtet werden, damit es später auch zur Stromversorgung der Strecke Breslau—Liegnitz mitbenutzt werden kann. Der Bau der Fernleitung zwischen Niedersalzbrunn und Breslau ist zur Hälfte, bis Mettkau, fertiggestellt. Diese Fernleitung wird vorläufig als Speiseleitung für die Fahrleitung der Strecke Breslau—Königszell benutzt und mit 15 kV betrieben. Das Unterwerk Niedersalzbrunn hat durch die Abzweigung der Fernleitung nach Breslau erhöhte Bedeutung gewonnen. Es ist jetzt zum Hauptverteilungspunkt für die Fernleitung geworden. Die dafür notwendigen Ein-

auf 7% erhöht worden, da bei den zahlreichen Kurzschlüssen starke Beschädigungen von Transformatoren mit niedriger Kurzschlußspannung vorgekommen sind (Textabb. 10). Auch die Ölschalter für die Fahrleitung, die in erster Linie den Kurzschlüssen ausgesetzt sind, haben z. T. Schwierigkeiten bereitet. Textabb. 11 zeigt die Wirkung einer Explosion, die infolge mangelhafter Konstruktion einer Ölschalterbauart im Unterwerk Hirschberg vorgekommen ist, bei der zwei Personen schwer verletzt wurden. Es handelt sich dabei um eine ältere Ölschalterbauart mit horizontaler Anordnung der Isolation an der Schalttraverse. Die Anforderungen, die an

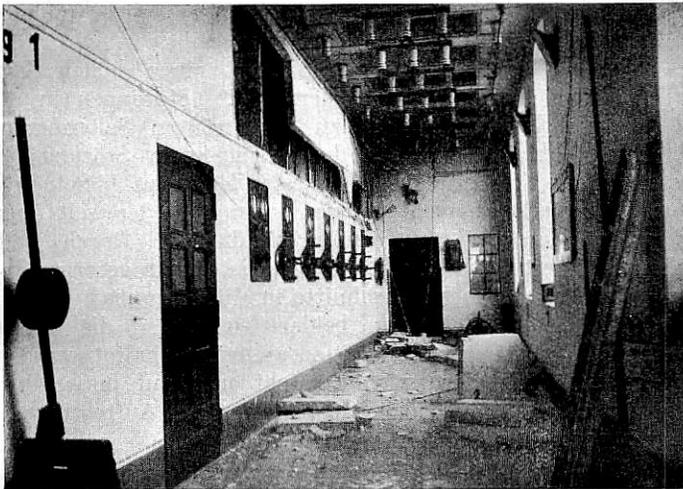


Abb. 11. Wirkung einer Ölschalterexplosion im Unterwerk Hirschberg.

richtungen ließen sich nicht mehr in dem vorhandenen Gebäude unterbringen. Infolgedessen wurde außerhalb des Gebäudes eine in Freiluftbauweise hergestellte Schaltstelle errichtet und die bisherige Durchführung der Fernleitung durch das Unterwerk beseitigt (Textabb. 9).

Von der Schaltstelle aus werden in Zukunft das Unterwerk Niedersalzbrunn und Breslau durch je eine besondere, die Unterwerke Hirschberg und Lauban durch eine gemeinsame Speiseleitung mit elektrischer Arbeit versorgt. Bei der großen Bedeutung dieser Schaltstelle für die Sicherheit des Betriebes sind sowohl die Ölschalter als auch die Trennschalter der Freiluftschaltstelle mit motorischem Antrieb versehen und werden von einer Warte aus durch elektrische Fernsteuerung geschaltet. Infolge Platzmangel konnte die jetzt bevorzugte Flachbauweise nicht angewendet werden. Die Freiluftschaltanlage am Unterwerk Niedersalzbrunn ist die erste in Freiluftbauweise ausgeführte Schaltanlage der deutschen Reichsbahn.

In den Unterwerken sind bei Einrichtung des elektrischen Betriebes Transformatoren mit Selbstkühlung und einer Leistung von 1600 kVA und einer Kurzschlußspannung von etwa 4% aufgestellt worden. Bei der inzwischen vorgenommenen Erweiterung der Unterwerke ist die Leistung für die Einheit verdoppelt und die Kurzschlußspannung

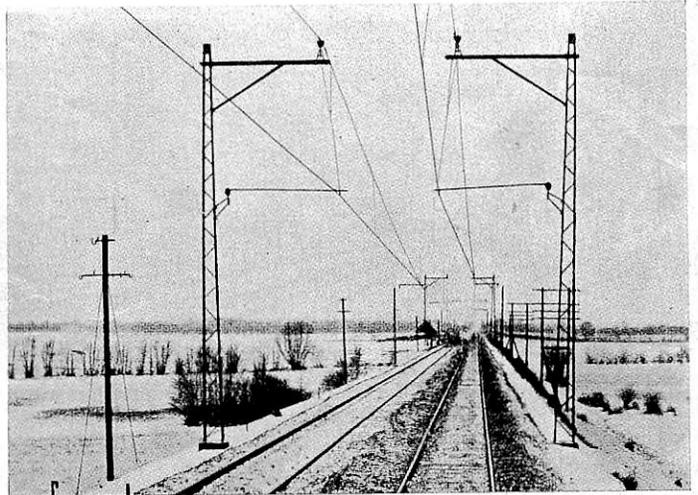


Abb. 12. Neue Fahrleitung auf der Strecke Breslau—Königszell in der geraden Strecke.

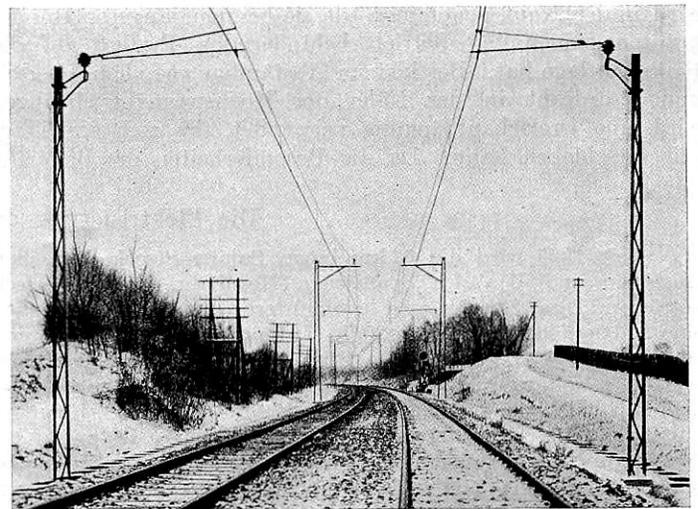


Abb. 13. Neue Fahrleitung auf der Strecke Breslau—Königszell in der Krümmung.

diese Ölschalter gestellt werden, sind außerordentlich hoch. Abb. 7, Taf. 15 zeigt die Zahl der monatlichen Kurzschlüsse in den Jahren 1924 bis 1927. Die Kurve zeigt alljährlich etwa das gleiche Bild. In den durch starke Gewittertätigkeit ausgezeichneten Monaten steigt die Zahl der Kurzschlüsse zu großer Höhe an. Da mit steigender Ausdehnung des Netzes und größerer Kraftwerks- und Unterwerksleistung auch die Kurzschlußstromstärke anwächst, ist besondere Vorsicht bei der Ausbildung der Fahrleitungsschalter geboten. Die neueren Konstruktionen scheinen den gestellten Anforderungen zu genügen. Doch bleiben noch weitere Erfahrungen abzuwarten.

Die Fahrleitungen sind s. Z. in den drei verschiedenen Bauarten ausgeführt worden, die von der Allgemeinen

Elektrizitäts-Gesellschaft, den Bergmann-Elektrizitätswerken und den Siemens-Schuckertwerken angeboten worden sind. Die Besonderheiten dieser verschiedenen Bauarten sind bekannt. Die Reichsbahn-Gesellschaft hat dann auf Grund der Erfahrungen im Betriebe eine einheitliche Bauart festgelegt, die ein fest verankertes Tragseil aus Bronze oder

der Elektrizitätsfirmen sich als nicht notwendig erwiesen, wurden aus Gründen der vereinfachten Unterhaltung allmählich alle Fahrleitungen auf die Einheitsbauart umgebaut.

Die Tragwerke der Fahrleitung waren ursprünglich mit Abständen von 100 m in der geraden Strecke angeordnet. Dieser Abstand hat sich als zu weit erwiesen. Zahlreiche Entgleisungen der Stromabnehmerbügel waren die Folge. Infolgedessen mußten an zahlreichen Stellen in der Mitte der einzelnen Spannweiten Maste zur Abstützung des Fahrdrahtes eingebaut werden.

Diese Erfahrung wurde beim Bau der neuen Fahrleitung auf der im Januar dieses Jahres in Betrieb genommenen Strecke Breslau—Königszell in der Weise berücksichtigt, daß von vornherein eine Abstützung der Fahrleitung in Feldmitte vorgesehen und der Abstand der Stützpunkte auf 120 m vergrößert wurde. Textabb. 12 und 13 zeigen diese Fahrleitung in der geraden Strecke und in der Krümmung.

Die auf Bahnhöfen früher benutzte Aufhängung der Fahrleitung an Quertragwerken aus Eisen ist grundsätzlich verlassen worden. Jetzt wird allgemein die Querseilaufhängung benutzt (Textabb. 14), die wesentlich größere Spannweiten ermöglicht und ein lichter Bild der Fahrleitung ergibt.

Die Fahrleitung hat jetzt einen hohen Grad der Betriebssicherheit erreicht. Störungen in der Fahrleitung gehören zu den größten Seltenheiten.

Die Kurzschlüsse haben in der Regel keine Störung des Betriebes zur Folge, da sie in kürzester Zeit (etwa  $\frac{1}{4}$  Sekunde) vom Unterwerk abgeschaltet werden und in der weit überwiegenden Mehrzahl nur vorübergehend sind. Durch weitgehende Unterteilung der Fahrleitung ist dafür gesorgt, daß nur beschränkte Streckenabschnitte in Mitleidenschaft gezogen werden. Die Fahrleitungen beider Gleise und die Unterwerksspeisebezirke sind nicht zusammengeschaltet worden, da ein Bedürfnis dazu nicht besteht und auf diese Weise komplizierte Einrichtungen zur selbsttätigen Aufteilung des Netzes vermieden werden konnten.

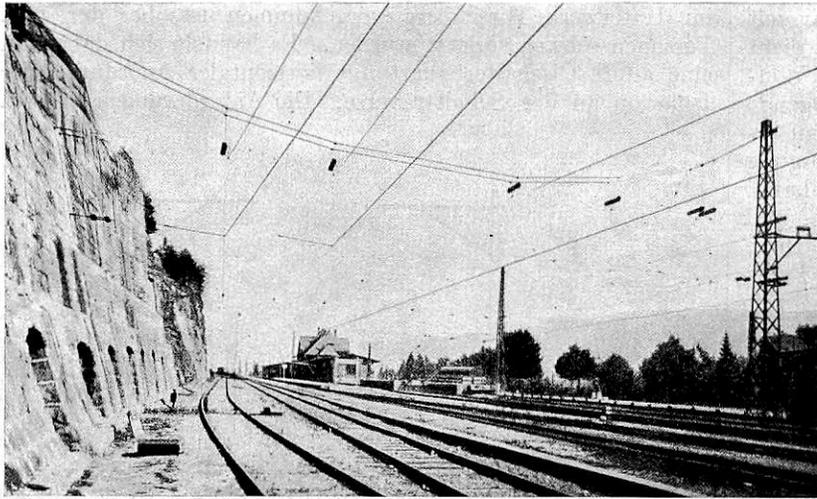


Abb. 14. Aufhängung der Fahrleitung an Querseilen auf Bahnhof Oberschreiberhau.

verzinkt-verbleitem Stahl, einen Fahrdraht mit rundem, mit Rillen versehenen Querschnitt und Aufhängung des Fahrdrahtes am Tragseil durch Hängeseile aus biegsamem Bronzeseil von  $10 \text{ mm}^2$  in Abständen von etwa 12 m vorsieht. Die Schiefstellung der Hängeseile bei Temperaturänderungen wird in den Kauf genommen, da sie bei den längeren Hängedrähten keinen den Betrieb behindernden Einfluß auf die Fahrdrahtlage hat. Bei kleinen Abständen zwischen Tragseil und Fahrdraht in der Nähe der Hochspannvorrichtungen wird eine Dreieckaufhängung verwendet, die sich am Tragseil verschieben kann. Da die Besonderheiten der Bauarten

### Die Elektrisierung der spanischen Nordbahn.

Seit 1925 wird die 62 km lange Pajares-Strecke zwischen Bustongo und Ujo der Spanischen Nordbahn rein elektrisch betrieben. Diese Strecke weist bei ununterbrochenen Krümmungen eine mittlere Steigung von  $20\%$  auf und hat 74 Tunnel von zusammen 26 km Länge. Als Stromsystem wurde Gleichstrom von 3000 Volt gewählt. Der Strom wird mit 30 kV und 50 Per aus dem bahnfremden Kraftwerk Cobertoria zugeführt. In zwei Unterwerken wird der Strom umgeformt, deren jedes zwei Umformergruppen, bestehend aus einem Drehstromtransformator von 1900 kVA und 30 000/3500 V und einem Motorgenerator von 1500 kW Leistung, enthält.

Die bisherigen Ergebnisse des elektrischen Zugbetriebes sind sehr günstig. Während im Dampfbetrieb nur täglich 15 Züge mit 4950 Bruttotonnen befördert werden konnten, ist jetzt die Leistungsfähigkeit auf 7260 t bei Verwendung einer und auf 13 200 t bei zwei Zuglokomotiven gestiegen. Die elektrischen

Lokomotiven brauchen nur 51,6 v. H. der Lokomotiv-km, wie sie die Dampflokomotiven für gleiche Zugleistungen brauchten. Der Stromverbrauch betrug 1925 für den Lokomotiv-km 15,7 kWh, für den tkm 53 Wh. Die durch Nutzbremsung zurückgewonnene elektrische Arbeit betrug etwa 10 v. H. des Verbrauches der auf der Steigung liegenden Züge. Die Gegenüberstellung der Betriebskosten für den ehemaligen Dampfbetrieb und den heutigen elektrischen Betrieb ergibt eine Ersparnis von rund einer Million Mark jährlich zugunsten des elektrischen Betriebes.

Dreißig Dampflokomotiven wurden durch nur zehn elektrische Lokomotiven ersetzt, im Preise der Zugförderungsarbeit wurde eine Ersparnis von 55 v. H. erzielt, die Lokomotiv-km wurden um 47 v. H. vermindert, die Unterhaltungskosten der Lokomotiven um 73 v. H. und die Personalkosten um 63 v. H. verringert.

E b.

(Nach „Waggon- u. Lokomotivbau“.)

### Elektrische Lokomotive mit Stromabnehmer und Batterie.

Die Chicago North Shore und Milwaukee-Bahn hat zwei elektrische Lokomotiven in Dienst gestellt, die mit Stromabnehmer und Batterie ausgerüstet sind. Auf der Hauptstrecke und allen Gleisen, die Oberleitung besitzen, wird der Stromabnehmer benützt, während auf Industriegleisanschlüssen und sonstigen Gleisen ohne Oberleitung die Batterie in Tätigkeit tritt. Während der Fahrt mit Stromentnahme aus der Oberleitung kann die Batterie wieder aufgeladen werden. Die Lokomotive wiegt 65 t, hat vier Motoren von je 205 PS und eine Batterie von 600 Ampèrestunden. In die Lokomotive ist ein

Motorgenerator von 25 kW eingebaut. Ist die Batterie geladen, so wird selbsttätig der Motorgenerator abgeschaltet, ist sie zu etwa 15% entladen, so wird er selbsttätig angelassen. Ebenso wird der Motorgenerator selbsttätig abgeschaltet oder angelassen, wenn während des Ladens die Lokomotive ein Gleis mit Oberleitung verläßt oder wieder befährt. Die Lokomotive entwickelt bei Fahrt an der Oberleitung mit 600 Volt Spannung eine Stundenzugkraft von etwa 10 000 kg bei 22 km/h Geschwindigkeit und eine Dauerzugkraft von etwa 7 600 kg bei 23 km/h Geschwindigkeit.

(Railw. Age, März 1928.)

E b.

# Die Elektrisierung der Berliner Stadt-, Ring- und Vorortbahnen.

Kurzer Überblick über die Einrichtungen für die elektrische Zugförderung.  
 Von Regierungsbaumeister Lang.

## Allgemeines.

Schon lange vor dem Kriege war geplant, die Berliner Stadt-, Ring- und Vorortbahnen zu elektrisieren. Man machte auch den ersten Versuch, indem man die 9 km lange Strecke Potsdamer Bahnhof—Lichterfelde Ost (seit dem Jahre 1903) elektrisch betrieb. Bei diesem Versuch blieb es lange Jahre, bis nach dem Kriege alle interessierten Kreise den Gedanken wieder aufnahmen. Im Jahre 1923 beschloß die Deutsche

Schnellbahn die Verhältnisse bessern könnte. Nachdem die Inflationsjahre noch einmal der Bahn infolge des niedrigen Tarifs einen erheblichen Verkehrszuwachs gebracht hatten, verschob sich das Bild in den letzten Jahren. Straßenbahn, Autobus und insbesondere die U-Bahn bauten wieder auf und erweiterten ihr Netz und ihren Wagenpark. Um konkurrenzfähig zu bleiben, mußte jetzt auch die Reichsbahn daran denken, die Stadt- und Ringbahn zu einer neuzeitlichen



Abb. 1. Lageplan der Berliner Stadt-, Ring- und Vorortbahnen. Stand Ende 1927.

Reichsbahn-Gesellschaft endgültig, das gesamte Netz der Berliner Stadt- und Ringbahn und den größten Teil der Vorortstrecken zu elektrisieren. Der Umfang der Elektrisierung ist aus Abb. 1 zu ersehen.

Der Übergang zum elektrischen Betrieb war aus Gründen des Verkehrs, des Betriebs und der Wirtschaftlichkeit eine zwingende Notwendigkeit geworden.

Eine Dampfbahn ist den Anforderungen nicht in dem Maße gewachsen, wie ihn heute der Nahverkehr einer Großstadt an ein Beförderungsmittel stellt. Das zeigte sich schon vor dem Kriege, als der Verkehr auf der Stadt- und Ringbahn immer mehr anstieg. Man mußte damit rechnen, daß die Stadt- und Ringbahn bald an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit angelangt sei, und sah ein, daß nur eine Änderung der Betriebsart und zwar die Umgestaltung der Bahn zu einer elektrischen

Schnellbahn umzugestalten und damit dem Publikum rasche und bequeme Verkehrsmöglichkeit zu bieten.

Außer der für eine Stadtbahn wichtigen Rauchfreiheit und Sauberkeit hat der elektrische Betrieb gegenüber dem Dampfbetrieb noch eine ganze Anzahl anderer Vorteile. Der elektrische Betrieb wird mit Triebwagenzügen durchgeführt, welche es ermöglichen, auch in den Zeiten schwachen Verkehrs mit kleinen Zugeinheiten eine dichte Zugfolge aufrecht zu erhalten. Die elektrischen Züge haben eine viel höhere Anfahrbeschleunigung und größere Fahrgeschwindigkeit als die Dampfzüge. Während beim Dampfbetrieb der Kopfbahnhof Potsdamer Ringbahnhof einer Verstärkung der Zugfolge Grenzen setzt, ist beim elektrischen Zugbetrieb dieser Bahnhof kein Hindernis für eine Erhöhung der Zugdichte; denn die Wendezeit wird, da die elektrischen Triebwagenzüge an beiden Enden Führerstände



### Fahrstrom und Fahrleitung.

Im Gegensatz zu den übrigen elektrischen Strecken der Deutschen Reichsbahn, bei denen Einphasen-Wechselstrom verwendet wird, hat man für die Berliner Stadt-, Ring- und Vorortstrecken Gleichstrom gewählt. Der Gleichstrom ist die gegebene Stromart für Stadtschnellbahnen, deren Betrieb wegen ihres im Laufe des Tages stark wechselnden Verkehrs



Abb. 3a. Stromschiene mit abgehobenem Schutz und Kabelanschlüssen. (Im Hintergrund Triebwagenzug Bauart 1925.)

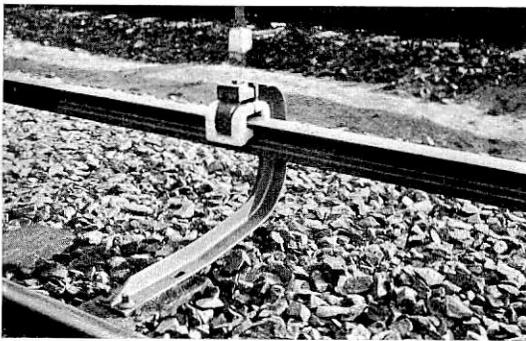


Abb. 3b. Stromschiene mit Bock (ohne Holzschutz).<sup>1</sup>

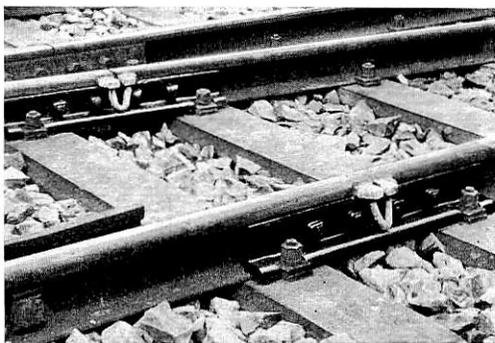


Abb. 4. Kupferner Stoßverbinder.

wirtschaftlich nur mit Triebwagenzügen durchgeführt werden kann. Die Gewichte und Kosten von Wechselstromtriebwagen sind bedeutend höher, als die von Gleichstromtriebwagen. Die Betriebsspannung beträgt 750 Volt, eine Spannung, die gestattet, noch mit einfacher Isolation auszukommen.

Als Fahrleitung wird mit Rücksicht auf die auftretenden Stromstärken, die einen grossen Leitungsquerschnitt erfordern, eine dritte Schiene verwendet. Sie besteht aus Weicheisen und

ist in geringer Höhe seitlich neben den Fahrstienen mit klauenförmigen Porzellan- oder Steatitisolatoren an Tragböcken aus T-Eisen aufgehängt, die mit Schrauben auf den Schwellen befestigt sind. Durch eine dreiseitige Holzabdeckung ist sie gegen zufällige Berührung geschützt (Abb. 3a und 3b).

Die Stromschiene wird von den Stromabnehmern der Fahrzeuge von unten bestrichen; auf längeren Brücken dagegen ist wegen des geringen Platzes zwischen den Obergurten eine seitlich bestrichene Stromschiene eingebaut worden.

Da der Strom über die Fahrstienen zum Unterwerk zurückgeleitet wird, müssen diese zur Verbesserung ihrer Leitfähigkeit mit besonderen, gut leitenden Stoßverbindungen versehen werden. Die Stöße setzen dem Stromdurchgang einen sehr hohen Widerstand entgegen; man überbrückt sie durch kurze U-förmige Kupferleitungen, die mit Eisenschuhen an die Köpfe der beiden zusammenstößenden Schienen angeschweißt sind (Abb. 4). Es werden auch längere Kupferseile verwendet, die mit Eisenstößeln an den Schienenstegen befestigt sind (Stößelverbinder). Die Leitfähigkeit der Stöße wird auch noch auf eine andere Art verbessert; die Auflageflächen von Laschen und Schienen werden stark verzinkt und die Laschen durch starkes Anziehen der Schrauben in innige Berührung mit den Schienen gebracht („verzinkter Stoß“). Auf den Berliner Strecken werden die genannten Arten der Stoßverbindungen nebeneinander angewendet und zwar verwendet man Kupferverbinder wegen ihrer leichten Austauschbarkeit in der Hauptsache auf stark befahrenen Strecken, auf denen die Schienen öfters erneuert werden müssen.

### Die Stromverteilung.

In den bahneigenen Schaltwerken Markgrafendamm und Halensee wird der Fremdstrom übernommen und in Zählern gemessen. Von dort aus wird er über ein bahneigenes 30000 Volt-Kabelnetz auf die übrigen Werke verteilt. Außer den beiden Schaltwerken Halensee und Markgrafendamm im Westen und Osten sind noch zwei Schaltwerke an den beiden anderen Knotenpunkten im Norden und Süden vorhanden und zwar eines in der Nähe des Bahnhofs Gesundbrunnen, das Schaltwerk „Böttgerstraße“ und eines am Bahnhof Ebersstraße, das Schaltwerk „Ebersstraße“ (Abb. 5). Auch am Bahnhof „Friedrichstrasse“ befindet sich ein Schaltwerk, das die Aufgabe hat, die Kupplung der im gewöhnlichen Betriebe hier aufgetrennten 30 kV-Kabel vorzunehmen, wenn bei einem der beiden Lieferer die Stromlieferung aussetzt. Die Schaltwerke enthalten alle für das Hochspannungsnetz notwendigen Schalt- und Meßeinrichtungen. Den Werken Halensee (Abb. 6), Markgrafendamm und Ebersstraße sind außerdem noch Gleichrichterwerke mit acht bzw. zehn Gleichrichtern angegliedert. Im Werk Markgrafendamm sitzt der sogenannte „Lastverteiler“; das ist ein Beamter, der die gesamte Lieferung und Verteilung des Drehstroms überwacht. Leuchtschaltbilder und Lichtbandinstrumente geben ihm eine bequeme Übersicht über den Betriebszustand des Drehstromnetzes. Der Lastverteiler sorgt dafür, daß von jedem Lieferer gleiche Energiemengen bezogen werden und führt die zu diesem Zweck notwendigen Umschaltungen aus; er ist die einzige Stelle, die mit den Lieferwerken unmittelbar verkehrt.

In jedem der vier Schaltwerke an den Eckpunkten befindet sich eine Schaltwarte, von der aus die übrigen Gleichrichterwerke der Stadt- und Ringbahn, die nicht besetzt sind, ferngesteuert werden. Die unbesetzten Gleichrichterwerke werden nach einem besonderen System ferngesteuert, das von der Firma Siemens & Halske gemeinsam mit der Reichsbahndirektion Berlin ausgearbeitet worden ist. Eine nähere Beschreibung über dieses System, dessen Elemente aus der Fern-

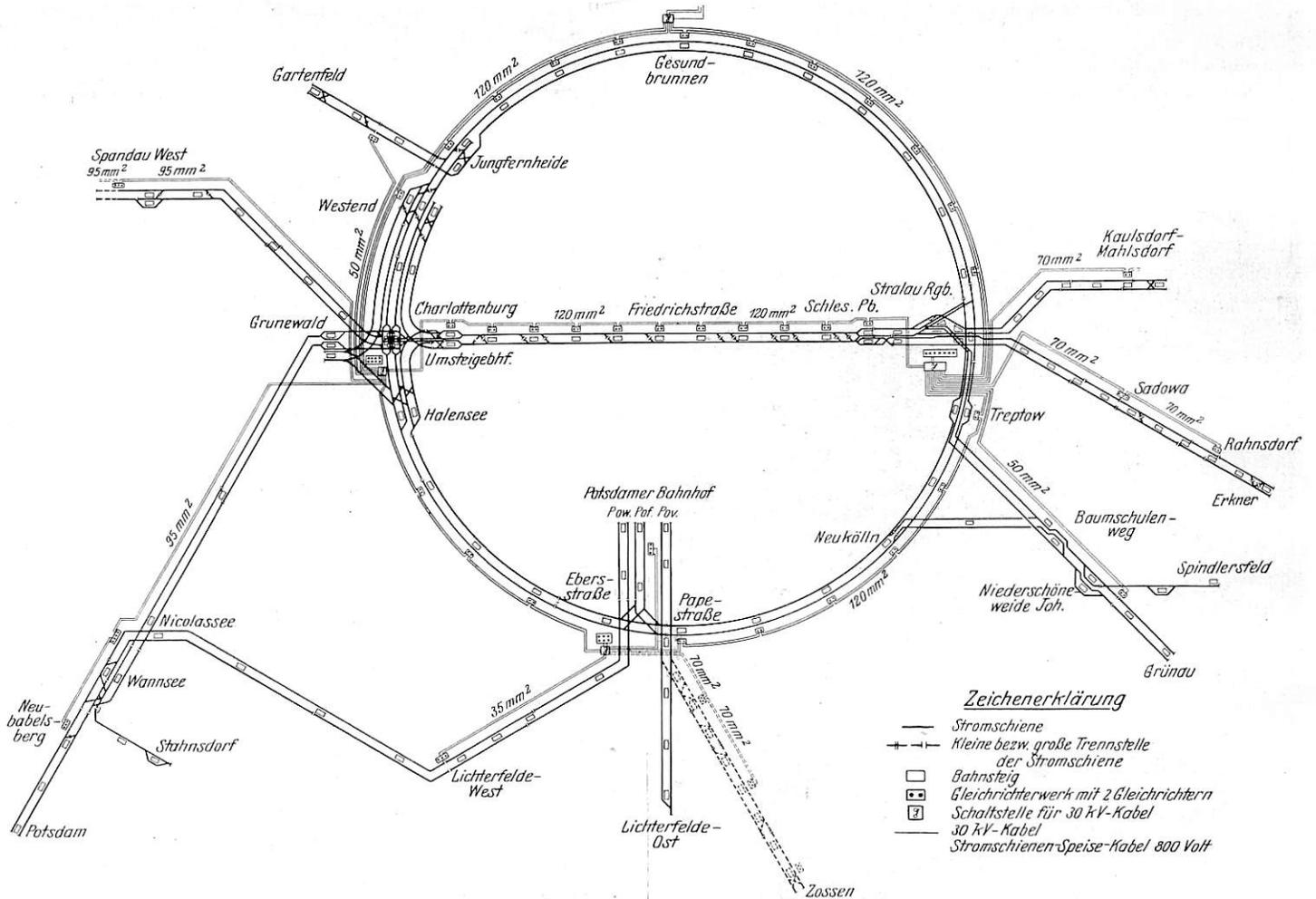


Abb. 5. Schaltbild des Kabel- und Stromschiennetzes (ohne Nordstrecken).

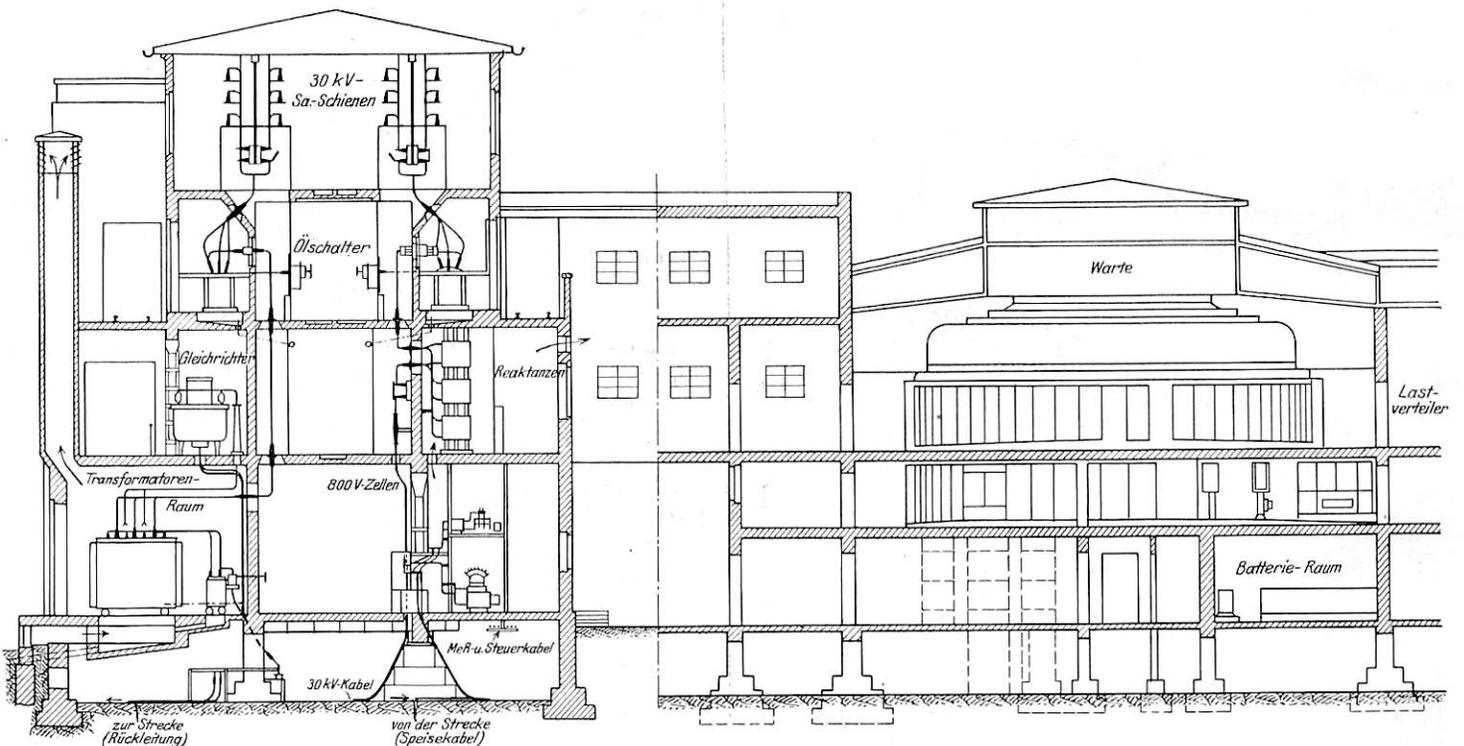


Abb. 6. Schaltwerk Markgrafendamm (Querschnitt).

telephonie bekannt und entnommen sind, ist in dem Aufsatz von Schlemmer, „Mitteilungen über die Elektrisierung der Berliner Stadt-, Ring- und Vorortbahnen“ enthalten. (Glaser's Annalen, Jubiläumsheft S. 214).

Das Schaltwerk Markgrafendamm besteht aus einem langgestreckten Hauptgebäude, das die Gleichrichteranlage und die Gesamtschaltanlage, und aus einem Nebengebäude, das die Schaltwarte enthält. Beide Gebäude sind durch Übergänge im Keller, Erdgeschoß und ersten Stock miteinander verbunden. Das Hauptgebäude hat eine Länge von 62 m und eine Breite von 16 m.

Die vier Zuführungskabel der Stromlieferer treten im Keller ein und werden über Trennschalter, Ölschalter und

transformatoren (später zehn) 30000/750 Volt und zwei Transformatoren 30000/3000 Volt für besonderen Bedarf (zur Versorgung der Nebenantriebe in den Unterwerken und der Stellwerks- und Signalanlage mit Strom); außerdem befindet sich dort die Gleichstromschaltanlage.

Im Keller liegen die 30 kV-Drehstromkabel, die 800 Volt-Gleichstromkabel, die Meß- und Steuerkabel, die Rohrleitungen für Ölumläufe und für das Kühlwasser der Gleichrichter und die Kessel und Rohrleitungen für die Zentralheizungsanlage. Im Keller stehen außerdem noch zwei Transformatoren 3000/220/125 Volt für den Eigenbedarf.

Im Erdgeschoß des Wartengebäudes sind die Batterien für Steuerstrom, Notbeleuchtung, für die Stellwerks- und

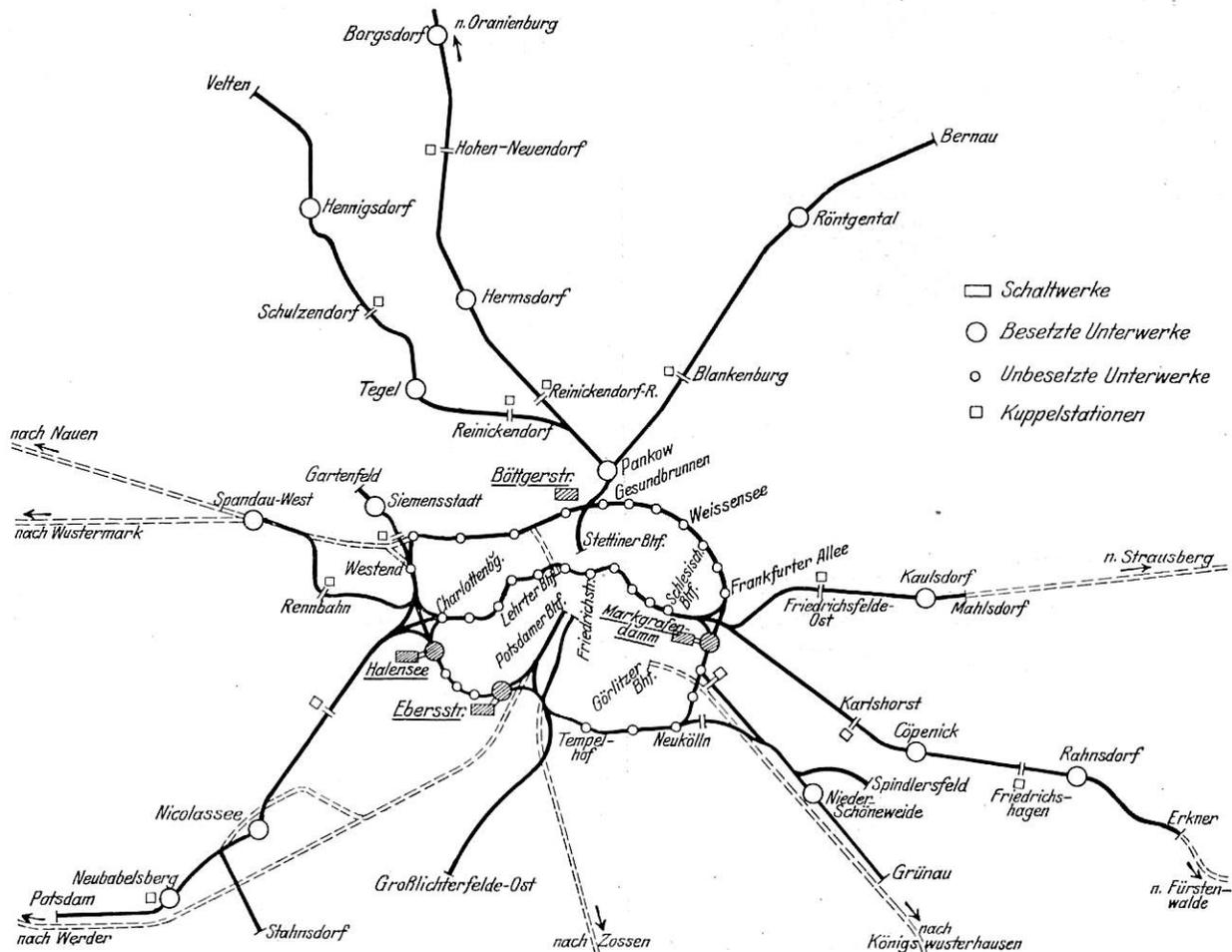


Abb. 7. Schaltwerke, Unterwerke und Kuppelstationen der Berliner Stadt- und Ringbahn.

Meßgeräte zu den 30 kV-Sammelschienen geführt, die sich im obersten Geschoß befinden. Die Sammelschienen bestehen aus zwei Systemen, die ihrerseits in Gruppen unterteilt sind. Das Geschoß unter dem Sammelschienenraum enthält die Ölschalter und die Ölschalterferntriebe. Die Zellen für die Ölschalter liegen an den Außenseiten des Gebäudes längs einer Galerie, auf der die Ölschalter an die Zellen herangeführt werden können. Die Ölschalterantriebe liegen in einem Schaltgang im Innern des Hauses. Der Schaltgang ist durch eine starke Wand gegen die Ölschalterzellen abgeschlossen. Ölschalterexplosionen können sich unmittelbar ins Freie auswirken, ohne große Beschädigungen und Verqualmungen im Innern des Gebäudes herbeizuführen. Im ersten Stock stehen acht (später zehn) Gleichrichter, außerdem befinden sich dort die 30 kV-Messung und die Reaktanzen der abgehenden 30 kV-Kabel. (Im Zuge der Zuführungskabel liegen keine Reaktanzen). Im Erdgeschoß stehen die acht Gleichrichter-

Signalanlage untergebracht. Dort befinden sich auch Büroräume für das Betriebspersonal. Über dem Erdgeschoß befindet sich ein Zwischengeschoß, in dem Relais tafeln und Relais schränke stehen. Im ersten Stock befindet sich die ellipsenförmige Schaltwarte in der die Bedienungsschalttafeln für die ganze Anlage, die Fernsteuertafeln für mehrere unbesetzte Gleichrichterwerke und Schaltpulte für die Gleichstromanlage stehen. Hinter der Warte befindet sich der Raum für den Lastverteiler; dieser Raum enthält die Zentralmessung für das gesamte 30 kV-Netz.

Das Schaltwerk Halensee ist ähnlich aufgebaut, die anderen Schaltwerke haben, da sie nur Durchgangs- und Kuppelstellen sind, einen entsprechend geringeren Umfang.

Der Drehstrom wird in einer ganzen Anzahl von Unterwerken (34 auf der Stadt- und Ringbahn und 14 auf den Vorortstrecken (Abb. 7) in der Hauptsache durch Quecksilberdampfgleichrichter in Gleichstrom umgeformt. Nur auf

den Nordstrecken laufen auch einige Einankerumformer. Nach dem völligen Ausbau sind 129 Gleichrichter und 12 Einankerumformer im Betrieb.

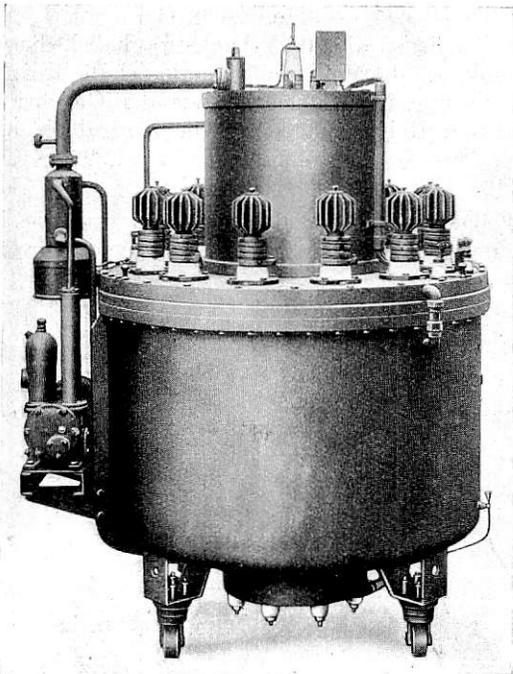


Abb. 8. Gleichrichter der Firma Brown, Boveri & Co. für 1200 kW Dauerleistung.

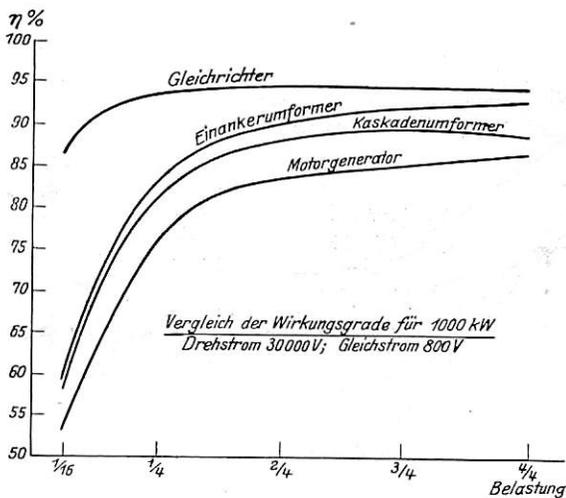


Abb. 9. Wirkungsgradkurven verschiedener Umformer.

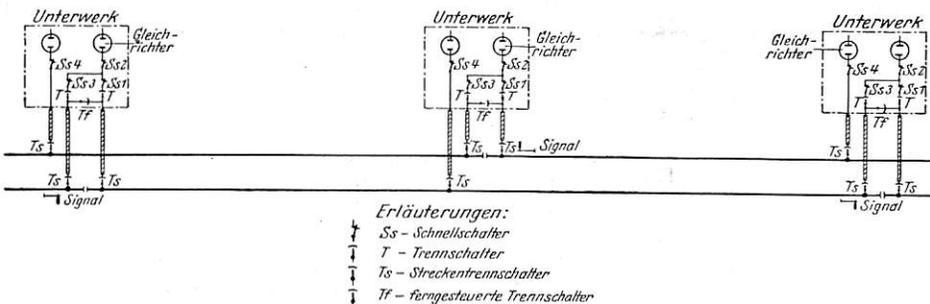


Abb. 10. Schaltbild der verteilten Speisung.

Man entschied sich für Gleichrichter (Abb. 8), weil der Gleichrichter im Bahnbetrieb allen anderen Umformerarten überlegen ist. Der Gleichrichter ist im Gegensatz zum Ein-

ankerumformer, der bei stärkeren Spannungsschwankungen außer Tritt fällt und bei Kurzschlüssen zu Rundfeuer am Kollektor neigt, vollkommen unempfindlich gegen Spannungsschwankungen und kann sehr stark überlastet werden. Außerdem ist der Wirkungsgrad des Gleichrichters für jeden Belastungszustand ungefähr gleich, während der Wirkungsgrad anderer Umformer bei Teillasten sinkt (Abb. 9). Der Gleichrichter hat auch noch den großen Vorteil, daß er fast keine Bedienung und Wartung erfordert und vollkommen selbsttätig arbeiten kann.

Die Eigenschaft des Gleichrichters, daß er selbsttätig arbeiten kann, hat es ermöglicht, auf der Stadt- und Ringbahn ein neues Speisesystem, die sogenannte „verteilte Speisung“ einzuführen. Bei dieser Anordnung ist eine große Anzahl kleiner Werke, die verhältnismäßig kleine Abschnitte speisen, auf der Strecke verteilt und zwar befindet sich auf jeder Station der Stadt- und Ringbahn ein Gleichrichterwerk (Abb. 7 und 10). Der Hauptvorteil dieser Speisung liegt darin, daß der Strom unmittelbar der Stelle zugeführt wird, wo er bei der Anfahrt der Züge entnommen wird. Es fallen also längere Leitungen und die mit diesen verbundenen Spannungsverluste weg. Der Spannungsverlust zwischen Zug und Unterwerk ist praktisch gleich Null. Wegen des fast vollkommen fehlenden Spannungsabfalles können daher keine vagabundierenden Ströme mit ihren schädlichen Folgeerscheinungen, wie Anfrassungen an benachbarten eisernen Bauwerken, an Gas- und Wasserleitungen usw. auftreten. Ein weiterer Vorteil der verteilten Speisung liegt darin, daß bei ihr Störungen benachbarter Schwachstromleitungen durch den restlichen Wechselstrom des Gleichrichterstroms nicht auftreten können, weil die induzierenden Leitungsschleifen sehr kurz sind.

Die Gleichrichterwerke auf der Stadt- und Ringbahn enthalten je zwei Gleichrichtersätze, von denen jeder die Stromschiene einer Fahrriichtung speist. Jeder Speiseabschnitt wird von drei Werken gespeist. Fällt ein Werk infolge einer Störung aus, dann übernehmen die beiden Nachbarwerke die Stromlieferung für den betreffenden Abschnitt. Diese Anordnung bietet also eine sehr grosse Sicherheit gegen Störungen.

Die Speiseabschnitte der einzelnen Werke sind im Regelbetrieb über Schnellschalter miteinander verbunden. Die Schnellschalter lösen bei Überstrom (also bei Kurzschlüssen usw.) aus und trennen so den gestörten Abschnitt vom gesunden Teil der Stromschieneanlage ab. Dadurch wird immer nur der Abschnitt spannungslos, in dem die Störung aufgetreten ist, während der übrige Teil der Stromschieneanlage durch die Störung nicht beeinflußt wird.

Auf der Stadtbahn sind die Werke in den Stadtbahnbögen untergebracht. Auf der Ringbahn sind besondere kleine Häuser errichtet worden, die mit Rücksicht auf leichte und wirtschaftliche Herstellung alle gleiche Bauart und Größe haben.

Auf den Vorortstrecken ist die sonst übliche Art der zusammengefaßten Speisung beibehalten worden, bei der die einzelnen Werke größere Streckenabschnitte (bis zu 15 km) speisen. Der Verkehr ist hier zu schwach, um eine verteilte Speisung zu rechtfertigen (siehe Abb. 7 und 11a).

Um auch hier den Spannungsabfall in mäßigen Grenzen zu halten, sind benachbarte Unterwerke an den Stellen, wo ihre Speiseabschnitte zusammenfallen, miteinander gekuppelt. Dadurch wird die Last auf die beiden Werke verteilt; ein anfahrender Zug entnimmt seinen Strom beiden Werken (Abb. 11b). Die Stromschiene der beiden

Fahrrichtungen, die auf der Stadt- und Ringbahn grundsätzlich getrennt gespeist werden, sind auf den Vorortstrecken durch Kuppelschalter miteinander verbunden. Auch hierdurch wird ein gewisser Lastausgleich erreicht und der Spannungsabfall in der Fahrleitung verringert.

**Betriebsmittel.**

Der Betrieb auf der Stadt- und Ringbahn wird nach der Elektrisierung mit Triebwagenzügen durchgeführt. Um auch in Zeiten schwachen Verkehrs die Zugdichte möglichst groß zu machen, mußten die Triebwagenzüge so ausgebildet werden, daß sie in möglichst kleine Einheiten aufgelöst werden können. Der Ganzzug besteht aus vier Triebwagen und vier Beiwagen, von denen je ein Trieb- und ein Beiwagen eine Zugeinheit bilden (Abb. 12). Für den ersten Ausbau werden 368 Triebwagen und 340 Beiwagen beschafft.

Wagenbaulich sind die Fahrzeuge so gestaltet, daß sie in den Zeiten starken Verkehrs die stoßweise andrängenden Massen von Fahrgästen leicht aufnehmen können, also möglichst viel Stehplätze haben (Abb. 13). Gleichzeitig enthalten sie aber auch genügend und bequeme Sitzplätze mit Rücksicht darauf, daß sie auf den Vorortstrecken verwendet werden müssen, auf denen die Reisezeiten länger sind, als auf den Stadtschnellbahnen. Die Wagen haben an jeder Seitenwand vier Doppelschiebetüren, die vom Führer bei der Abfahrt des Zuges durch Druckluft gleichzeitig geschlossen werden.

An den Enden der Viertelzüge befindet sich je ein Führerstand.

Als Zugkupplung wird eine Mittelpufferkupplung und zwar die Scharfenbergkupplung verwendet. Trieb- und Beiwagen sind durch eine Kurzkupplung verbunden.

Der Wagenkasten ruht mittels kugelförmiger Drehzapfen auf zwei zweiachsigen Drehgestellen, die sich mit Blattfedern auf die Achslager stützen. Die Achslager sind Rollenlager.

Jede Triebwagenachse wird über ein Zahnradvorgelege von einem Gleichstrommotor angetrieben, der eine Stundenleistung von 90 kW hat. Der Vollzug hat demnach die nicht unbeträchtliche Leistung von rund 2000 PS.

Die Motoren sind nach Art der Straßenbahnmotoren federnd am Drehgestellrahmen aufgehängt und stützen sich

lichkeit des Führers selbsttätig eingeschaltet, und zwar werden die einzelnen Schaltvorgänge durch eine Schaltwalze eingeleitet, die durch ein elektrisch gesteuertes Druckluftklinkwerk in Umdrehung versetzt wird. Auf der Schaltwalze sitzen Kurvenscheiben, die bei der Umdrehung der Walze die Einzelschalter für die Fahrstufen betätigen. Der Vorteil dieser Steuerung besteht darin, daß die Anfahrbeschleunigung zwangsläufig konstant bleibt, und hohe Stromspitzen, welche die Kraftwerke und die Motoren unzulässig beanspruchen könnten, vollkommen vermieden werden.

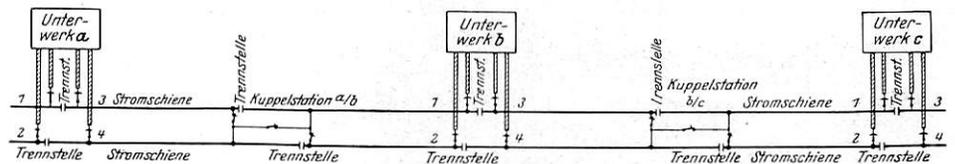


Abb. 11a. Speisung und Kupplung der Stromschiene auf den Vorortstrecken.

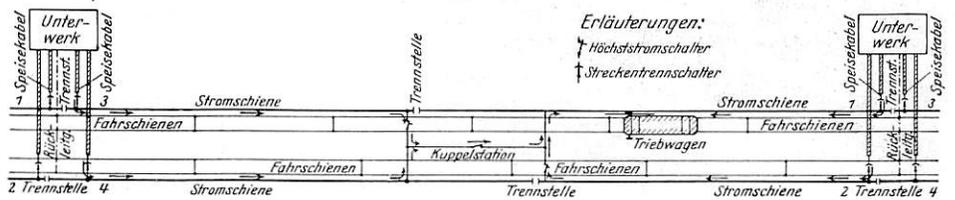


Abb. 11b. Stromfluß zum Zug bei Kupplung der Stromschiene zwischen zwei Unterwerken. (Die Pfeile geben die Stromrichtung an.)

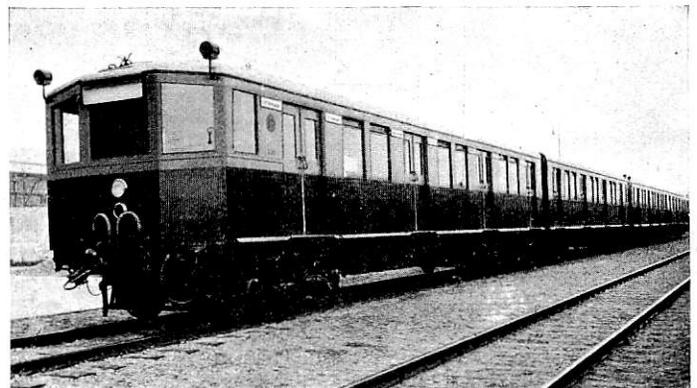


Abb. 12. Neuer Triebwagenzug.

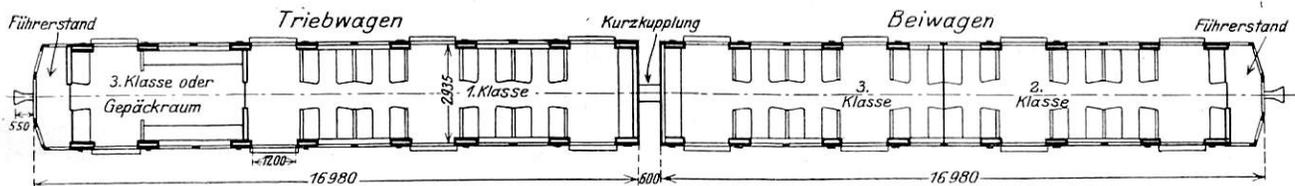


Abb. 13. Grundriß eines Viertelzuges.

mit Tatzenlagern auf die Achsen. Jeder Trieb- und Beiwagen hat zwei Stromabnehmer, die seitlich an den äußeren Drehgestellen zwischen den Achsen angebracht sind. Sie bestreichen die Stromschiene von unten und teilweise, z. B. bei den Brückenleitschiene und Weichenaufläufen auch von der Seite (Abb. 14 und 15).

Die Züge werden durch eine selbsttätige Schaltwalzensteuerung gesteuert. Um den Zug in Bewegung zu setzen, braucht der Führer nur einen Knopf niederzudrücken; die Fahrstufen werden dann völlig unabhängig von der Geschick-

Die Züge können mit verschiedener Beschleunigung angefahren werden, und zwar kann am Fahrshalter eine Stufe für eine kleine Beschleunigung von etwa 0,3 m/sec<sup>2</sup> und eine Stufe für eine größere Beschleunigung von etwa 0,5 m/sec<sup>2</sup> eingestellt werden. Die große Anfahrbeschleunigung ist bei den kurzen Stationsabständen (insbesondere auf der Stadtbahn) von hoher Bedeutung für die Abkürzung der Fahrzeiten.

Der Druckknopf, mit dem die Steuerung betätigt wird, ist ein sogenannter Totmannknopf. Läßt der Führer den Knopf los, so wird der Steuerstrom unterbrochen, wodurch

die Schaltwalze zurückläuft und die Stromzuführung zu den Motoren unterbricht.

Die Züge werden mit einer mechanischen Fahrsperrung ausgerüstet. Die Fahrsperrung besteht im wesentlichen aus einem beweglichen Anschlag am Triebwagen, der in Verbindung mit der Bremse und der Steuerung des Wagens steht und aus einer Sperrschiene, die längs dem Gleise liegt. Sobald ein Hauptsignal „Halt“ zeigt, dreht sich die mit dem Mechanismus

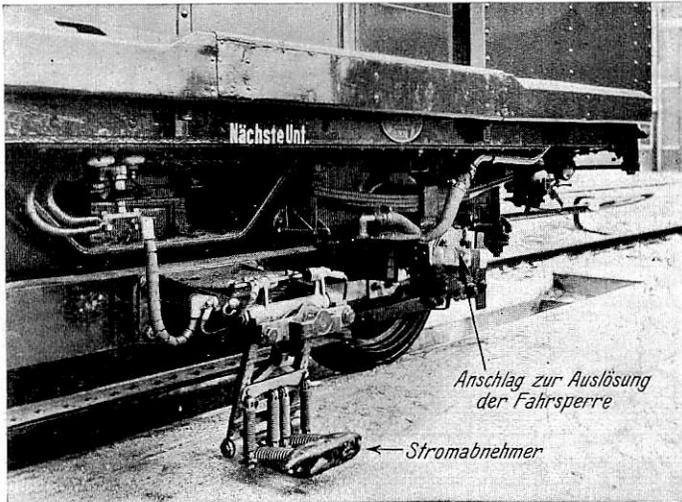


Abb. 14. Stromabnehmer neuester Bauart am Drehgestell.

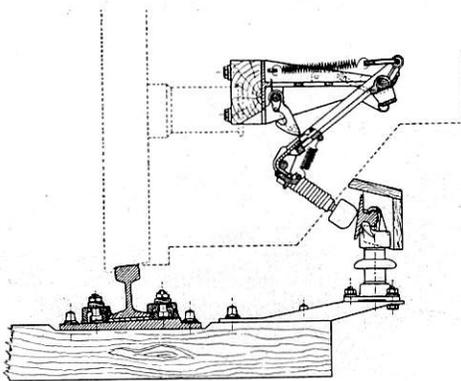


Abb. 15. Stromabnehmer an der seitlich bestrichenen Stromschiene.

des Signals verbundene Sperrschiene in den Bereich des Anschlags am Zuge. Überfährt der Zug das Signal, so schlägt der Anschlag an die Sperrschiene und die Bremse löst aus, während gleichzeitig der Steuerstrom ausgeschaltet wird; der Zug kommt innerhalb des Bremsweges zum Stehen.

Als Bremse wird die Einkammer-Druckluftbremse von Knorr verwendet.

Die Züge werden elektrisch beleuchtet und geheizt. (Für die Heizung können je nach der Außentemperatur drei verschiedene Stufen eingestellt werden.)

## Werkstätten.

Für die größeren Ausbesserungsarbeiten und die regelmäßigen Untersuchungen der Triebwagen ist ein neues Ausbesserungswerk in Niederschöneweide—Johannisthal errichtet worden, da die vorhandenen Werkstätten für die Unterhaltung der Triebwagen nicht geeignet sind. Dieses Werk ist mit den neuesten Werkstatteinrichtungen versehen und soll nach neuzeitlichen Arbeitsmethoden arbeiten.

Mit dem Bau der Werkstätten wurde im Oktober 1926 begonnen. Schon knapp nach einem Jahr war der umfangreiche Bau vollendet. Zur Zeit werden in dem Werk die elektrischen Einrichtungen an den Triebwagenzügen angebracht.

Zum Abstellen der Wagen sind zehn Triebwagenschuppen zum Teil neu errichtet worden, zum Teil wurden die alten Schuppen mit Längsständen zu diesem Zweck umgebaut.

Einige Betriebswerkstätten führen die kleineren Unterhaltungsarbeiten und Untersuchungen an den Wagen aus.

Für die Überwachung der ortsfesten Anlagen ist in der Nähe des Bahnhofs Stralau—Rummelsburg ein besonderes Überwachungswerk errichtet worden. Das Werk, das Gleis- und Straßenanschluß hat, setzt Transformatoren, Gleichrichter, Schaltapparate usw. in stand. Man ist damit in der Ausbesserung dieser Teile unabhängig von fremden Firmen, deren Fabriken zudem noch fast alle außerhalb Berlins liegen. Das Werk enthält unter anderem eine neuzzeitliche Ölinreinigungsanlage und ein umfangreiches Prüffeld, in dem alle notwendigen Isolations- und Maschinenprüfungen vorgenommen werden. In dem Werk befinden sich auch einige Ersatzteillager, in denen die wichtigsten Apparate in genügender Anzahl bereitgehalten werden.

Dort ist auch eine vollständige fahrbare Gleichrichteranlage stationiert. Diese Anlage wird, wenn ein Gleichrichterwerk durch eine Störung ausfällt, an das betreffende Werk herangefahren und an die Hochspannungssammelschienen dieses Werkes durch besondere Leitungen angeschlossen. Das fahrbare Werk übernimmt für das gestörte Werk die Speisung des betreffenden Stromschienenabschnitts.

## Bauleitung und Betriebsaufnahme.

Für die Durchführung der Umstellung wurde bei der Hauptverwaltung eine besondere Stelle geschaffen, die „Oberste Leitung der Stadtbahnelektrisierung“. Die Leitung der Bauarbeiten selbst liegt in der Hand einer besonderen Abteilung der Reichsbahndirektion Berlin.

Die ersten Bauabschnitte sind bereits fertig, so daß von jetzt an die elektrischen Züge nach und nach eingesetzt werden. Zunächst werden noch Dampfzüge und elektrische Züge gemischt fahren, da die Triebwagenzüge nur Zug um Zug angeliefert werden. Zur Zeit ist der volle elektrische Betrieb auf der Strecke Erkner—Potsdam aufgenommen worden. Ende dieses Jahres wird der reine elektrische Betrieb auf allen Strecken durchgeführt sein.

## Neukonstruktionen von elektrischen Lokomotiven im Ausland.

In dem hier folgenden Bericht mußte es sich der Bericht-erstat-ter versagen, eine vollständige Übersicht zu geben, geschweige denn auf Einzelheiten einzugehen; es soll hier lediglich an Hand weniger bemerkenswerter Beispiele ein Einblick in die konstruktive Tätigkeit des Auslandes gewährt werden.

Die Entwicklung drängt allgemein zum Einzelachsenantrieb. So hat die amerikanische Great Northern-Bahn zwei auch für dortige Verhältnisse schwer zu nennende Gebirgs-Personenzuglokomotiven mit Tatzenlagermotoren ausrüsten lassen\*). Diese von der General Electric Comp. erbauten Maschinen sollen vorerst auch für den Güterzugverkehr dienen, später aber auf der tunnelreichen Strecke zwischen Skykomish

gebracht, während die ganze übrige Ausrüstung in dem geräumigen Oberkasten ruht. Aus diesem Grunde und auch wegen seiner bedeutenden Länge (19,2 m) mußte dieser besonders kräftige, in Doppel-Tform aufgebaute Unterstützungsträger erhalten, zwischen denen indessen Luftkanäle für die Motorbelüftung vorgesehen wurden. Der Oberkasten enthält an beiden Enden Führerstandsräume und an diese anschließend besondere Zellen für die Wechselstrom- bzw. Gleichstrom-Schaltapparate, während in dem mittleren Maschinenraum Transformator, Umformer und sämtliche Hilfsmaschinen und Nebenapparate untergebracht sind.

Neuartig, wenn auch von fragwürdiger Wirtschaftlichkeit ist auch die elektrische Einrichtung der Lokomotive. Die

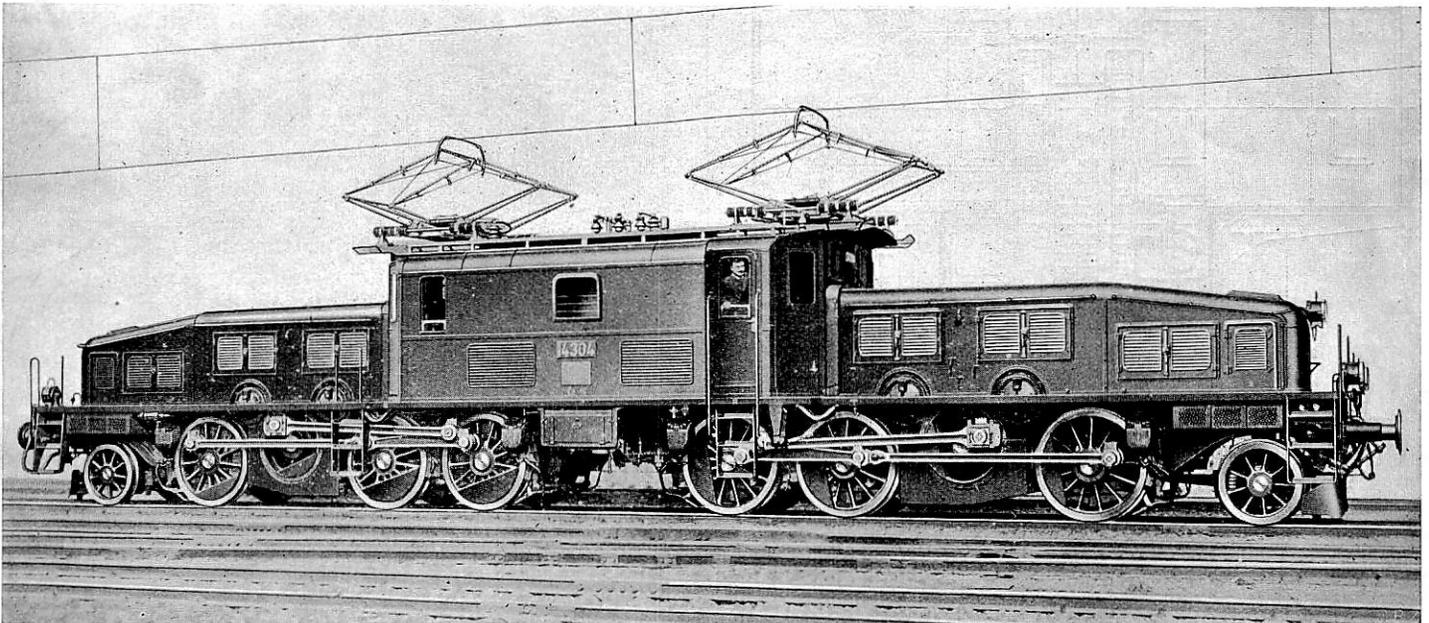


Abb. 1. 1 C+C1 Güterzuglokomotive, gebaut von der Schweizerischen Lokomotivfabrik Winterthur.

und Wenathee (Wash.) bei Steigungen bis 16<sup>0</sup>/<sub>00</sub> Verwendung finden. Die Hauptabmessungen der Lokomotiven sind folgende:

Spurweite . . . . .	1435 mm
Gesamtgewicht . . . . .	235 t
Reibungsgewicht . . . . .	186 t (Triebachsdruk 31 t)
Länge über Puffer . . . . .	22,7 m
Treibraddurchmesser . . . . .	1397 mm
Laufreddurchmesser . . . . .	914 mm
Kleinster Krümmungshalb- messer . . . . .	76,2 m
Stromart . . . . .	Wechselstrom 25 H
Fahrdrachtspannung . . . . .	11 kV
Dauerleistung der Motoren. . .	6 × 307 = 3042 PS
Stundenleistung der Motoren. .	insgesamt 3350 PS
Hierbei Geschwindigkeit 29 km/Std. (volle Motorerregung)	
Bei der Probefahrt erreichte Geschwindigkeit . . . . .	72,5 km/Std.

Die Maschine besitzt zwei kräftig gebaute Drehgestelle, die durch je drei ungekuppelte Treibachsen und eine angelenkte Laufachse gebildet werden. In jedem der durch eine Gelenkkupplung verbundenen Drehgestelle sind drei Tatzenlagermotoren, daneben nur noch die Bremsenrichtung unter-

Fahrdrachtspannung wird in einem Transformator auf 2,3 kV herabgesetzt und einer Synchronmaschine zugeführt, welche zwei dauernd in Reihe geschaltete Gleichstromgeneratoren antreibt, die ihrerseits wieder den für die Fahrmotoren benötigten Gleichstrom von max 1500 V liefern. Die Geschwindigkeits- und Leistungsregelung erfolgt in erster Linie durch Änderung der Generatorspannung, außerdem sind noch zwei Feldschwächungsstufen für die paarweise in Reihe geschalteten Fahrmotoren vorgesehen; durch eine besondere Erregermaschine für diese kann endlich eine äußerst fein regelbare Nutzbremmung eingeleitet werden. Wenn auch für den letzteren Zweck das gewählte Regelsystem geradezu ideal ist, so darf doch nicht verkannt werden, daß die Umformung insbesondere in Verbindung mit dem bei der geringen Fahrdrachtspannung doch wohl vermeidbaren Haupttransformator eine wesentliche Gewichtsvermehrung sowie eine gewisse Wirkungsgradverschlechterung bedeutet.

Hinsichtlich der Baustoffwirtschaft gerade umgekehrt liegen die Verhältnisse bei den neuen, von der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur in Verbindung mit Örlikon gebauten Einheitgüterzuglokomotiven der Schweizerischen Bundesbahnen. Diese erinnern in ihrem Aufbau sehr an die 1 C+C1 Güterzuglokomotiven älterer Lieferung, sind aber wesentlich stärker und dabei kaum schwerer geworden.

\*) Railway Age vom 24. September 1927, Seite 569.

Bei einem Dienstgewicht von 131 t leistet die Maschine dauernd 2500 PS bei 35 km/Std; dieses für die hohen Zugkräfte — bei der Anfahrt bis 32000 kg — sehr geringe Gewicht wird z. T. (besonders im Vergleich mit der oben beschriebenen amerikanischen Maschine) durch günstigen mechanischen Aufbau erreicht. Die beiden vierachsigen, unter sich gekuppelten Drehgestelle, deren drei Treibachsen sich jedesmal eine als Bisselachse ausgebildete Laufachse anschließt, tragen eine kurze und deshalb sehr leichte Brücke mit dem Lokomotivoberkasten (s. Abb. 1). Dieser enthält außer den beiden Führerständen den ebenfalls sehr leichten Transformator sowie den Ölschalter und einige Hilfsbetriebe. Der größte Teil der letzteren, sowie die vier paarweise mit beiderseitigen Ritzeln auf die Kurbelzahnäder arbeitenden Fahrmotoren sind in niedrigen, leicht zugänglichen Vorbauten untergebracht.

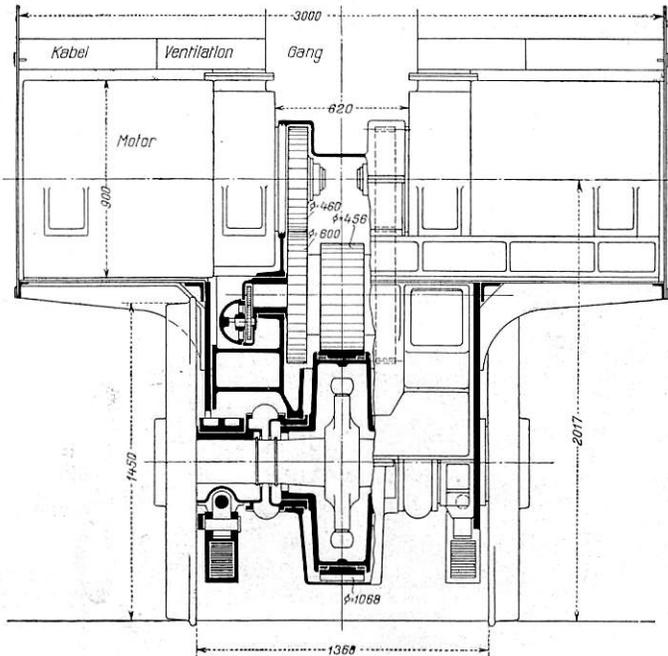


Abb. 2.

Querschnitt durch den Universalantrieb Winterthur.

Außer der auch bei dieser Lokomotive vorgesehenen, im vorliegenden Aufsatz jedoch nicht näher beschriebenen Einrichtung für Nutzbremse ist am elektrischen Teil noch bemerkenswert, daß der mit Vielfachunterbrechung und eingebautem Auslösestromwandler ausgerüstete Ölschalter hoch- und niedervollseitige Kurzschlüsse bzw. Überströme nur bis zu einem Primärstrom von etwa 2500 A abzuschalten hat; bei Überschreitung dieses Wertes wird durch ein sogenanntes Blockierrelais der Auslösestromkreis sofort unterbrochen und damit die Abschaltung der Kurzschlußleistung an den zugehörigen Unterwerkschalter weitergegeben; durch diese Einrichtung war es möglich, den Ölschalter für eine bestimmte, nicht allzugroße Höchstleistung zu bemessen. Nach Ausschaltung im Unterwerk fällt vermöge der Nullspannungsauslösung (mit 2 Sek. Verzögerung) der Lokomotivölschalter gleichfalls ab.

Nach den Angaben der Maschinenfabrik Örlikon hat die Lokomotive auf den angestellten Probefahrten vollauf befriedigt.

Auch im Bau von Schnellzuglokomotiven, für die der Einzelantrieb jetzt selbstverständlich geworden ist, wurden bedeutende Neuerungen geschaffen. So berichtet Ing. Buchli in der Schweizerischen Bauzeitung\*) von einem mit doppelter

Zahnradübersetzung ausgerüsteten Einzelachsenantrieb, wie er bei der im mechanischen Teil an die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur vergebene Probelokomotive für die Great Indian Peninsula Raylway zur Anwendung kam. In Anbetracht der auf 137 km/Std. festgesetzten Höchstgeschwindigkeit dieser Lokomotive ist die Hochlage der Motoren, wie sie bei der als „Universal-Antrieb Winterthur“ bezeichneten Anordnung möglich ist, und die damit verbundene Höherlegung des Schwerpunkts der ganzen Lokomotive von besonderer Bedeutung (vergl. Abb. 2). Durch die doppelte Zahnradübersetzung soll eine merkliche Verschlechterung des Wirkungsgrades nicht eintreten, sie er-

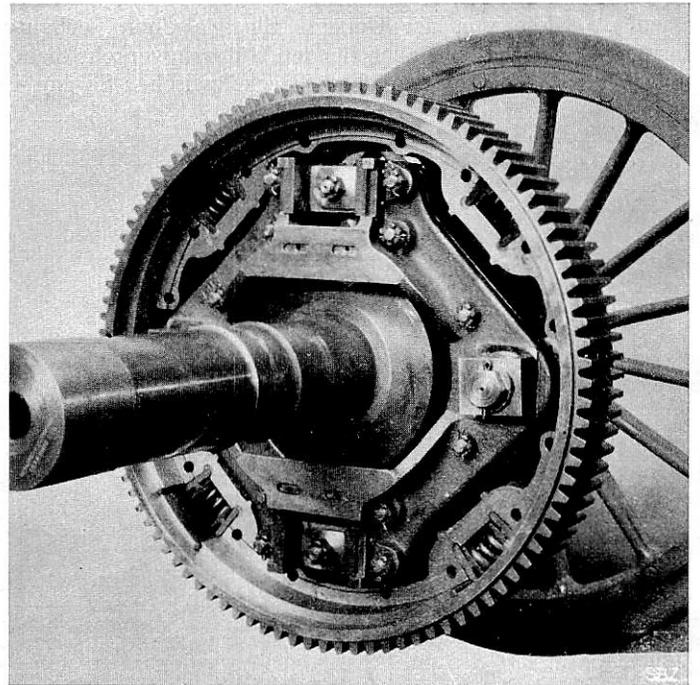


Abb. 3.

Blick in das Innere der Kreuzkuppelung der S. L. M.

möglicht aber für sämtliche Lokomotivgattungen die Verwendung von Einheitsmotoren, von denen (bei allen größeren Achsdrücken) jeder Achse zwei zugeordnet werden, so daß in Verbindung mit der in Treibachsmittle angreifenden Übertragungskuppelung eine in der Längsachse völlig symmetrische Anordnung entsteht. Ferner können die Motoren ohne Schwierigkeit nach der Seite hin ausgebaut werden, während durch ihre paarweise Reihenschaltung (je Triebachse) Verminderung der Stromstärken und damit des Gewichtes der elektrischen Schaltapparate entsteht. Endlich gestattet die gewählte allseitig bewegliche Kreuzkuppelung bei dem notwendigen freien Spiel der Treibachsen eine stoßfreie Übertragung des Drehmoments (s. Abb. 3). Kulisie und Federung der Kuppelung können ohne Umstände nach der Seite hin ausgebaut werden. Das Laufwerk der Lokomotive wird nach der 2 C<sub>0</sub>1 Anordnung einerseits durch ein Winterthur-, andererseits in Verbindung mit einer Treibachse durch ein Java-Drehgestell vervollständigt; über beide ist im Organ 1927, Heft 21, S. 413 bereits berichtet worden.

Eine weitere Probelokomotive für die Great Indian Peninsula Raylway wurde von der British Brown-Boveri-Comp. zusammen mit Hawthorn, Leslie and Company gebaut und ist im Engineering vom März 1928 näher beschrieben. Diese Maschine ist nach der 2 C<sub>0</sub>2-Achsfolge gebaut, besitzt Buchliantrieb und ist an beiden Enden mit ameri-

\*) Bd. 90, S. 294.

kanischen Drehgestellen ausgerüstet. Die Hauptabmessungen sind folgende:

Spurweite . . . . .	1676 mm
Länge über Puffer . . . . .	17,13 m
Gesamtgewicht . . . . .	104,5 t
Reibungsgewicht . . . . .	60 t
Spannung . . . . .	1400 V Gleichstrom
Zahl der Motoren . . . . .	6
Leistung eines Motors . . . . .	320 PS dauernd
(an der Welle gemessen). . . . .	411 PS 1 Stunde
Höchstgeschwindigkeit . . . . .	137 km/Std.

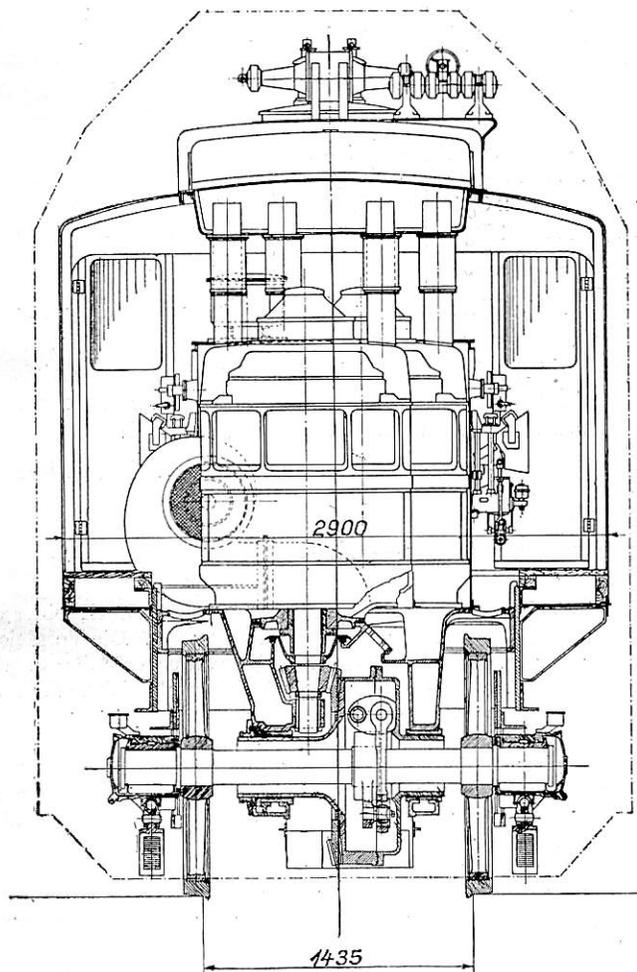


Abb. 4. Talschnellzuglokomotive, Reihe 1570 der Österreichischen Bundesbahnen, Achsfolge 1-D<sub>0</sub>-1. (Querschnitt.)

Bemerkenswert ist vor allem die elektrische Ausrüstung der Lokomotive. Der Fahrleitungsstrom, welcher bei Stundenleistung nicht weniger als 1380 A beträgt, wird durch zwei Doppelbügel abgenommen und über den Hauptschalter geführt. Dieser ist mit Überstrom- und Nullspannungsauslösung versehen, als Schnellschalter ausgebildet und besitzt besonders kräftige Funkenbläser, sowie eine Art Vorkontakt, welcher das Abschalten des Stromes über eine Widerstandsstufe durchführt. Die Leistungs- und Geschwindigkeitsregelung erfolgt von jedem der beiden Führerstände aus durch druckluftangetriebene und elektromagnetisch gesteuerte Walzenschalter. Vermittels Reihenschaltung aller sechs, von  $2 \times 3$  bzw.  $3 \times 2$  Motoren werden drei Hauptstufen gewonnen, mit denen zusammen je zwei Feldschwächungskontakte neun wirtschaftliche Dauerstufen ergeben. Das Anfahren und Umschalten muß durch besondere Verriegelungen der Haupt- und Umschaltsteuerwalze erzwungen mit Einschaltung von bis zu 13 Vor-

widerstandsstufen bewirkt werden; trotz der betriebsmäßigen Reihenschaltung mindestens zweier Motoren können bei Störungen einzelne Motoren abgetrennt bleiben.

Die Lokomotive ist mit Druckluftbremse, die zu schlep-penden Züge dagegen sind mit Luftsaugebremse ausgerüstet, so daß noch besondere Einrichtungen zum Erzielen gleicher Bremsverzögerungen notwendig waren.

Eine noch sehr selten versuchte konstruktive Lösung des Einzelachs-antriebs findet sich bei den von der Lokomotivfabrik Krauß u. Co., Linz und den Österreichischen Siemens-Schuckert-Werken (Ö. S. S. W.) gelieferten Talschnellzuglokomotiven der Österreichischen Bundesbahnen\*) (Abb. 4). Diese für eine Stundenleistung von 2240 PS und 85 km/Std. Höchstgeschwindigkeit gebaute Maschine mußte auf einen Treibachsdruk von 15,9 t beschränkt werden und wiegt im ganzen nur 91,5 t. Jeder der vier mit sattelförmigen Stahlgußstücken auf die beiden Außenrahmen abgestützten Vertikalmotoren arbeitet durch eine schraubenverzahnte Kegelradübersetzung auf eine im Rahmen festgelagerte Hohlwelle, die ihrerseits durch eine den Ö. S. S. W. geschützte Gelenkkupplung (Abb. 5) das Drehmoment auf die Treibachse überträgt. (Die Kreiselwirkungen der Motoren werden durch verschiedensinnige Dreh-

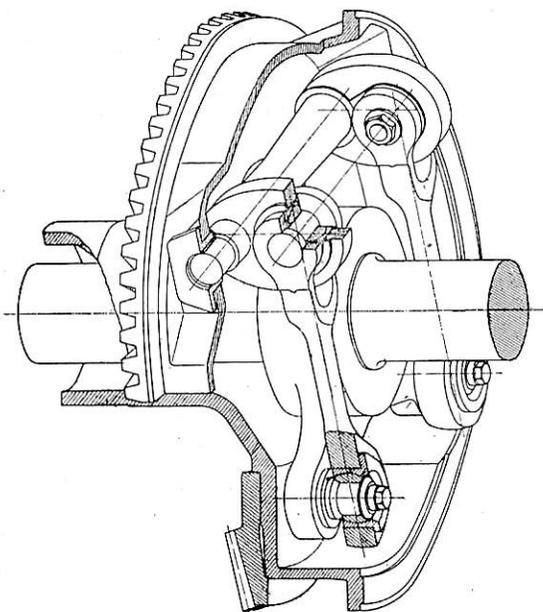


Abb. 5. Schematische Darstellung der ausgeführten ÖSSW-Kupplung.

richtung derselben ausgeglichen.) Die genannte Kupplung besteht im wesentlichen aus zwei Lenkern, die mit der Hohlwelle durch auf gemeinsamer Welle drehbare Schwingen, mit der Treibachse durch Kurbelzapfen kugelig verbunden sind und bei allen parallelen Lagen der Hohl- und Treibachse ein Parallelogramm bilden, so daß eine vollkommen gleichmäßige Übertragung des Drehmoments stattfindet; bei seitlichen und vertikalen Auslenkungen der Treibachse werden die Lenker windschief und bedingen dann geringe Schwankungen des übertragenen Drehmoments, die indessen durch eine zwischen Motorachse und Läufer eingebaute Federung aufgenommen werden. Je eine Laufachse bildet mit der benachbarten Treibachse ein amerikanisches, ohne Seitenverschiebbarkeit ausgeführtes Drehgestell. Die beiden mittleren Treibachsen

\*) Bericht aus Elektrotechnik und Maschinenbau 1928, Heft 15, S. 321.

haben schwächergedrehte Spurkränze und Seitenverschiebbarkeit; durch die Längsausgleichhebel ihrer Federn und die vier Gleitkugelnstützen der Drehgestelle — die Drehzapfen sind entlastet — entsteht eine (ideelle) Sechs-Punkteunterstützung des 85% vom Gesamtgewicht enthaltenden Lokomotivkastens. Diese bedingt zwar größere Stabilität im Lauf, hat aber auch Schwankungen im Achsdruck zur Folge, die um so bedenklicher sind, als durch die paarweise Reihenschaltung getrennt arbeitender Motoren (die ohne große Schwierigkeiten hätte vermieden werden können) die Neigung zum Schleudern noch vergrößert wird. Wenn auch die allseitige Zugänglichkeit und hohe Schwerpunktlage der Vertikalmotoren zweifellos Vorteile bieten, so darf doch heute das letzte Wort über die Verwendbarkeit des Kegelradantriebs im Dauerbetrieb noch nicht gesprochen werden.

Am elektrischen Teil der Lokomotive ist die Steuerung bemerkenswert, bei der in üblicher Weise jeweils zwei aufeinanderfolgende Transformatorstufen über einen Spannungsteiler den Motorstrom liefern. Die geradzahligen und die ungeradzahligen sind zu je einer Gruppe unter sich „feindlicher“ Schütze zusammengefaßt und in dieser durch eine Gelenkkette mechanisch gegeneinander verriegelt. Bei der getroffenen Anordnung sind für jede Gruppe nur zwei außenliegende und leicht kontrollierbare Rückzugfedern vorhanden, während die alle Schütze umfassende Gelenkkette so kurz gehalten ist, daß nicht nur die gleichzeitige Einschaltung zweier Schütze unmöglich gemacht, sondern auch beim Überschalten das abzutrennende Schütz durch das zuschaltende beschleunigt herausgerissen wird; das Einschalten der Schütze erfolgt durch

elektrisch gesteuerte Druckluftkolben. Die Steuerung ist auf beiden Längsseiten des künstlich gekühlten Öltransformators aufgebaut. Ein Teil der Nebenapparate ist in zwei ganz kurzen (wenig gefälligen) Vorbauten vor den Führerständen untergebracht. Die Lokomotiven sollen sich bisher gut bewährt haben, insbesondere soll an der Kegelradübersetzung kein meßbarer Verschleiß eingetreten sein.

Zum Abschluß soll hier noch in einer Tabelle die bei den besprochenen und bei der deutschen „S 1“ 1 D<sub>0</sub>1 (Buchli) Lokomotive erreichte Materialausnutzung angegeben werden:

Land	Achsfolge	Verwendung	Gesamtgewicht t	Dauerleistung PS	Materialausnutzung kg/PS
Amerika ...	1C <sub>0</sub> +C <sub>0</sub> 1	Gebirgs P (G)	235	3050	77
Schweiz ....	1C + C1	Gebirgs G	131	2500	52
England....	2 C <sub>0</sub> 1	S	104,5	1920 <sup>1)</sup>	55 <sup>1)</sup>
Österreich ..	1 D <sub>0</sub> 1	S	91,5	1720	53
Deutschland	1 D <sub>0</sub> 1	S	110	2010	55

<sup>1)</sup> An der Motorwelle gemessen. Übrige Leistungsangaben auf den Treibradumfang bezogen.

Es ergibt sich, daß die etwas weiter zurückliegende deutsche Maschine einen Vergleich mit den neuesten Bauformen des Auslands nicht zu scheuen braucht.

v. Grundherr.

### Gutachten über die Elektrisierung der Strecke Salzburg—Wien.

Die Österreichischen Bundesbahnen hatten bekanntlich den Beschluß gefaßt, die Elektrisierung der Strecke Wien—Salzburg bis auf weiteres zurückzustellen. Die Angelegenheit wurde vor den Nationalrat gebracht und der Verkehrsausschuß des Nationalrates beauftragte den Bundesminister für Handel und Verkehr von einem Sachverständigenkollegium ein Gutachten in dieser Sache einzuholen. Vom Minister wurden acht, verschiedenen Fachgebieten angehörige Sachverständige bestellt, die nun ihr Gutachten erstattet haben\*).

Bevor das Gutachten den Fragebogen beantwortet, der ihm mit 11 Fragen zur Klärung der strittigen Rentabilitätsfrage gestellt worden war, legt es die Annahmen für eine Rentabilitätsberechnung fest, die zu machen sind, wenn eine vorhandene Anlage durch eine solche anderen Systems ersetzt werden soll. Es werden hier also die Fragen geklärt, die die Verwertung der freierwerdenden Dampflokomotiven, die Erneuerungsquote, die Oberbauverstärkung u. a. betreffen.

Die 11 Fragen des Fragebogens selbst werden kurz und bündig beantwortet, die Begründungen zu jeder Antwort werden sehr eingehend im Anhang gegeben. Diese 11 Fragen suchen in der Hauptsache die Unterschiede aufzuklären, die in der Rentabilitätsberechnung der Österreichischen Bundesbahnen\*\*) einerseits und jener der Elektrofirmen andererseits bestehen. In der Beantwortung dieser Fragen legt das Gutachten fest: Kostenaufwand für die Schwachstromleitungen, Zahl und Kosten der Unterwerke, Kostenaufrechnung für Ersatzteilbeschaffung, Zuschläge für Unvorhergesehenes, Gesamtanlagekosten, Frachtsätze für Lieferfirmen, Bewertung freierwerdender Fahrzeuge, Kohlentransportkosten, Energiebedarf und Energiekosten, Instandhaltungskosten der Dampffahrzeuge und elektrischen Fahrzeuge, Personalsparnis. Der Vergleich mit den entsprechenden Zahlen in den Denkschriften der Bundesbahnen und der Elektrofirmen zeigt, daß die Ergebnisse im Gutachten sich teils dem Standpunkt der Bundesbahnen, teils dem der Elektrofirmen nähern oder sich zwischen den gegnerischen Annahmen halten.

\*) Erschienen im Verlag Julius Springer, Wien.

\*\*) Organ 1928, Heft 9, Seite 185.

Das Sachverständigenkollegium stellt sodann auch seinerseits eine Kapitals- und Vergleichsrechnung auf. Die Vergleichsrechnung ergibt ohne die ziffernmäßig schwer erfaßbaren Vor- und Nachteile eine Steigerung der jährlichen Betriebskosten von 2425000 Schilling zu Ungunsten der Elektrisierung. Nach 30 Jahren (Anleihtilgung) würde sich nach Ansicht von fünf Sachverständigen dieser Mehrbetrag in einen Minderbetrag von 8100000 Schilling zugunsten der Elektrisierung umwandeln. Drei Sachverständige können sich diesem Standpunkt nicht anschließen. Sie gehen davon aus, daß bei Entfall des Kapitaldienstes in der Vergleichsrechnung eine höhere Betriebsersparnis, nämlich von 9469000 Schilling zugunsten der Elektrisierung verbleibt. Dieser Betrag reiche zur Tilgung und Verzinsung des Anlagekapitals nicht aus, vielmehr müßte zu den tatsächlichen Ersparnissen noch ein Beitrag von 2425000 Schilling jährlich geleistet werden, wodurch statt einer Tilgung ein ständiges Anwachsen der Schuld erfolgen würde.

Für die Schlußfolgerungen der Sachverständigen ist schließlich die Auffassung über Art und Größe der ziffernmäßig schwer erfaßbaren Vor- und Nachteile ausschlaggebend gewesen. Fünf Sachverständige sind der Meinung, daß die Vorteile überwiegen, und daß deshalb in die Rentabilitätsrechnung ein jährlicher Pauschbetrag von 1500000 Schilling zugunsten der Elektrisierung einzusetzen ist. Während der Laufzeit der Anleihe (30 Jahre) würden sich dadurch die Betriebskosten nur um 0,9 Millionen Schilling jährlich zu Ungunsten der Elektrisierung ändern, nach Ablauf der Tilgungsfrist aber um 9,6 Millionen Schilling zugunsten der Elektrisierung. Die drei anderen Sachverständigen sind der Meinung, daß die Nachteile des elektrischen Betriebes die Vorteile voll aufwiegen, so daß der jährliche Fehlbetrag von 2,425 Millionen Schilling zu Ungunsten der Elektrisierung sich nicht ändert.

Die fünf Sachverständigen raten schließlich zur pausenlosen aber im langsamen Tempo durchzuführenden Fortsetzung der Elektrisierung Salzburg—Wien, die drei Sachverständigen verneinen die Dringlichkeit der Fortführung der Elektrisierung und empfehlen die Einschaltung einer größeren Pause nach Beendigung der im Zuge befindlichen Elektrisierungsarbeiten. Eb.

## Gleichstrom-Lokomotive für drei Spannungen.

Einem Bericht des „Engineering“ vom 1. Juni 1928 zufolge hat die Westinghouse E. & M. Co. in Pittsburg zwei von den Baldwin Lokomotivwerken in Philadelphia gebaute Lokomotiven mit einer Gleichstromausrüstung versehen, die ermöglicht, die 68 t schweren Triebfahrzeuge für drei Spannungen (1500, 1200 und 600 Volt) zu verwenden, wobei in allen drei Fällen die volle Geschwindigkeit von 52 km/h erreicht wird. Der Grund für diese ungewöhnliche Einrichtung ist der, daß die Lokomotiven sowohl für das vorhandene Stromsystem, bei dem aus der Oberleitung Strom von 1200 Volt und aus einer dritten Schiene Strom von 600 Volt entnommen werden kann, als auch für das künftige im Ausbau befindliche Stromsystem von 1500 Volt verwendet werden sollen. Die beiden für die Sacramento-Nothern-Eisenbahn in Kalifornien bestimmten Drehgestell-Lokomotiven mit je 20,5 t Zugkraft können den Gleichstrom mit 1500 oder 1200 Volt Spannung aus der Oberleitung, solchen mit 600 Volt aus einer Stromschiene entnehmen. Im letzteren Falle sind die vier Triebmaschinen, die auf ein Zahngetriebe mit dem Übersetzungsverhältnis 18 : 68 arbeiten, nebeneinander geschaltet, während für die oberen Spannungswerte Reihen-Nebeneinanderschaltung und Reihenschaltung vorgesehen ist. Sie sind gebaut für Betrieb mit vollem und „kurzem“ Feld (short field); die Feld-Umschaltung besorgen elektropneumatisch gesteuerte Schützen. Durch Strombegrenzungsrelais und eine entsprechende Steuerschaltung ist dafür gesorgt, daß unabhängig

von der Stellung der Steuerwalze, die „Kurzfeld“-Schaltung benützt wird. Besondere Vorrichtungen verhindern, daß bei den hohen Spannungen die Motoren nebeneinandergeschaltet werden. Beim Übergang auf Fahrleitungsabschnitte anderer Spannung sind Schutzstrecken eingeschaltet. Die Ausrüstung für den Übergang von Fahrdraht zur Stromschiene besteht aus zwei Relais, einer elektropneumatisch gesteuerten Umschaltwalze und einigen Schaltern. Wird eines der beiden Relais stromlos, so wird die Umschaltwalze betätigt, welche sowohl die Hilfsbetriebe entweder auf den Fahrdraht oder Stromschiene Stromkreis schaltet, als auch die Umlegung der Schaltung für die Hauptantriebe vornimmt. Die Ausrüstung zum Übergang von einer Oberleitungs-spannung auf die andere besteht aus einem Hoch- und Niederspannungsrelais, einem Walzenschalter und einem Druckknopf auf jedem Führerstand. Beim Durchfahren einer Schutzstrecke öffnet das Niederspannungsrelais und die Umschaltwalze legt die Stromkreise auf 1200 oder 1500 Volt um. Bei Einfahrt von einem Abschnitt mit 1200 oder 1500 Volt in einen solchen von 600 Volt ist die Bewegung der Umschaltwalze für die Umlegung auf diese Spannung von der Betätigung des Druckknopfes durch den Führer abhängig gemacht. Die Hauptantriebe haben in der Feldwicklung Zellen für Wärmemesser, die auf Relais wirken, welche den Hauptstromkreis bei Überschreiten einer bestimmten Temperatur ausschalten. N a d.

## Elektrische Bremsung für elektrische Güterzuglokomotiven der Österreichischen Bundesbahnen.

Auch für Wechselstrom-Triebfahrzeuge unterscheidet man bekanntlich wie bei Gleichstrom zwei grundsätzliche Bremsstromschaltungen, die Nutzbremse und die Widerstandsbremse. Die Entscheidung der Frage, welche von beiden Schaltungen angewendet werden soll, ist nicht bloß vom wirtschaftlichen Gesichtspunkte der Stromrückgewinnung aus beeinflußt, sondern auch von dem für eine festgelegte Achsfolge zulässigen Achsdruck abhängig. Die Nutzbremse erfordert in der Regel ein höheres Gewicht des elektrischen Teiles; deshalb wird in jenen Fällen, in denen aus bestimmten Gründen, z. B. Vermeidung der Verschmutzung durch Bremsstaub, der Radreifenlockerung und übermäßigen Erhitzung, nur das Lokomotivgewicht ganz oder teilweise elektrisch abgebremst werden soll, die Widerstandsbremse vorteilhafter sein als die Nutzbremse. An neun hauptsächlich auf der Arlbergstrecke verwendeten elektrischen Lokomotiven der Reihe 1080.100 (siehe Organ 1927, Heft 22/23 „Fachheft Österreich“, Seite 498 Übersicht Spalte 3a und Seite 499, Abb. 10) haben die Österreichischen Bundesbahnen durch den Lieferer des elektrischen Teiles (SSW) eine elektrische Widerstandsbremse einbauen lassen, welche auf allen vorkommenden Gefällen bis zur Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h das Lokomotivgewicht abbremsen soll. Im Maiheft der „Siemens“-Zeitschrift 1928 beschreibt Ing. Linsinger der ÖSSW die Ausführung der Bremsenrichtung und deren Schaltung. Letztere für selbsterregte Motoren auszu-

bilden, wurde wegen geringer Verlässlichkeit verworfen. Von den zwei möglichen Arten der Fremderregung — mit Wechselstrom über den Haupttransformator unter Benützung von Hilfstransformatoren oder mit Gleichstrom aus einem besonderen Umformer — entschloß man sich für letztere, weil sie nicht nur dem Gewichte nach Vorteile bot, sondern auch hinsichtlich der Einfachheit der Schaltung. Das wesentliche der letzteren besteht darin, daß bei Einleitung der Bremsung die Anker der drei vorhandenen Motoren — jeder für sich — über einen unveränderlichen Widerstand von 0,92 Ohm kurz geschlossen, die Felder dieser drei Motoren in Reihe geschaltet und von einem mit einem Einphasen-Reihenschlußmotor von 4,6 kW Leistung angetriebenen Gleichstromerzeuger erregt werden, dessen Feld mit 24 Volt Gleichstrom aus dem gesonderten Beleuchtungsstromkreis mit Hilfe eines Regelwiderstandes geregelt wird. Die Umschaltung von Fahrt auf Bremsen wird mit einer besonderen nicht mit dem Fahrtwender vereinigten Bremswalze besorgt, welche auf ein Umschaltgetriebe wirkt, das einerseits den Stufenschalter bei der Bremsung von seinem Antrieb abtrennt und verriegelt, andererseits mit letzterem den Regelwiderstand verbindet, so daß der Führer mit dem Stufenschalter auch die Bremswirkung einstellt. Die ganze Bremsenrichtung, für deren Ausbildung, wie die Quelle angibt, auch die Möglichkeit des späteren Einbaues in vorhandene Lokomotiven mitbestimmend war, wiegt 1700 kg. N a d.

## Buchbesprechungen.

„Elektrische Vollbahnlokomotiven.“ Ein Handbuch für die Praxis sowie für Studierende von Dr. techn. Karl Sachs, Ingenieur der A. G. Brown, Boveri & Cie, Baden (Schweiz). Mit 448 Abbildungen im Text und 22 Tafeln. XI, 461 Seiten. Gebunden R. M. 84.—

Das im April 1928 bei der Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin, erschienene Werk füllt eine Lücke im Schrifttum aus, welche bei den letzten Jahrzehnt in fast allen Kulturländern vor sich gegangenen Umstellungen von Vollbahnen auf die elektrische Betriebsform immer stärker fühlbar geworden war. Dem hierdurch hervorgerufenen Bedürfnisse nach einer übersichtlichen Darstellung der Entwicklung und des derzeitigen Standes im mechanischen und elektrischen Aufbau der elektrischen Lokomotiven konnten die bisher erschienenen Bücher über elektrische Zugförderung nur zum Teil genügen, weil ihnen die Aufgabe zugefallen war, das gesamte Gebiet des elektrischen Bahnbetriebes, also auch Straßenbahnen, Städtebahnen, Spezialbahnen zu erfassen und deshalb außer den Triebfahrzeugen für Vollbahnen gleichzeitig auch noch die übrigen besonderen Teile der elektrischen Bahnen behandelt werden mußten. Daß solches für ein Buch zuviel ist, beweist Inhalt und Umfang des Werkes von Dr. techn. Sachs, der wohlweislich sich darauf beschränkte,

nur die Durchbildung der Vollbahnlokomotiven und das zu ihrem Aufbau erforderliche Rüstzeug erschöpfend darzustellen. Was dieses Werk besonders wertvoll macht, ist der Umstand, daß sein Erscheinen zu einer Zeit erfolgte, welche im gewissen Sinne einen Abschluß der Entwicklung bedeutet, nämlich den Abschluß von Großversuchen mit einer neuen Betriebsform in fast allen Ländern, die vor etwa einem Jahrzehnt darangegangen waren, die Dampfkraft durch die elektrische Lokomotive zu ersetzen. Da aber die Bedeutung der letzteren in der Wirtschaft der Umstellung von ausschlaggebendem Einfluss ist, wird die Zusammenfassung ihrer technischen Aufbaumöglichkeiten, wie Dr. techn. Sachs sie dargestellt hat, zum bleibenden Denkstein im Schrifttum über die Entwicklungsgeschichte der elektrischen Lokomotiven.

In der zehn Seiten umfassenden Einleitung zu seinem Werke berührt der Verfasser kurz die Wirtschaftlichkeit der elektrischen Betriebsform unter Hinweis auf die Untersuchungen der Generaldirektion der S B B über den Kohlen-„Paritätspreis“ und bringt eine nicht allgemein bekannte Formel von Parodi über den kritischen Kohlenverbrauch je km Bahnstrecke als Wertmesser für die Würdigkeit einer solchen zur Änderung der Betriebsform; sodann werden die Leistungsgrenzen der elektrischen Lokomotiven

im Gegensatz zu den nach Strahl aufgestellten Leistungslinien für Dampflokomotiven erörtert, mit der allgemeinen Schlußfolgerung, daß die letzteren Maschinen konstanter Leistung, die ersteren bei Einphasenstrom Maschinen konstanter Zugkraft, bei Drehstrom-, „Universalmaschinen“ sind; letzteres, weil sogar ein mit der Geschwindigkeit steigender Leistungsverlauf möglich ist.

Das Werk ist in vier Abschnitte gegliedert; der erstere behandelt Zugkraft und Leistung, der zweite den mechanischen Teil, der dritte die elektrische Ausrüstung der Lokomotiven, der vierte Abschnitt enthält Ausführungsbeschreibungen.

Im ersten Abschnitt wird die Zergliederung des Bahnwiderstandes in seine Einzelteile unter Angabe der in den verschiedenen Ländern eingebürgerten Formeln dargestellt und zum Teil kritisch beleuchtet. Dann folgen Ausführungen über die Zugkraft und Reibungsziffer sowie über die Beziehungen zwischen Gesamtgewicht und Reibungsgewicht. Besonders wertvoll ist die Erläuterung aller Zusammenhänge durch Beispiele. Der größte Teil dieses Abschnittes ist der Aufstellung von Fahrdiagrammen gewidmet, deren zeichnerische Darstellung eingehend erläutert und für Einphasen-, Gleichstrom-, Drehstrom- und Phasenumformerlokomotiven getrennt an Hand zahlreicher auf ausgeführte Lokomotiven bezogener Schaubilder behandelt ist.

Im zweiten 170 Seiten umfassenden Abschnitt ist der mechanische Teil (Wagenteil) der elektrischen Lokomotive dargestellt. In einer kurzen Einleitung hierzu ist die Bezeichnungweise dieser Triebfahrzeuge erörtert; sodann werden in neun Unterabschnitten die Einzelteile des gesamten mechanischen Aufbaues und ihre verschiedenen Ausführungsformen beschrieben und — was besonders wertvoll ist — zum Teil auch ihre Berechnungsweise gezeigt. Letzteres ist mit besonderer Sorgfalt bei der Behandlung des Laufes in Krümmungen, des Triebwerks und bei der Festsetzung des Massenausgleichs durchgeführt. Die Angabe des Verfassers, daß die Anordnung des Laufwerkes mit Buchli-Gestell, bei dem bekanntlich der Drehzapfen hinter der Triebachse angeordnet ist, besondere Vorteile bietet, ist durch die Erfahrungen mit solchen Gestellen an den in Bayern laufenden Lokomotiven der Reihe E 16 nicht bestätigt worden; das Krauß-Helmholtz-Gestell zeigte sich lauftechnisch als überlegen. Bei der Erörterung der Übersetzungstriebwerke hätte die nach dem Vorgang der Rhätischen Bahn gewählte Anordnung mit freier Aufstellung der Triebmaschinen im Lokomotivkasten und der hierdurch bedingten Notwendigkeit des Einbaues von zwei Blindwellen in ihrer Auswirkung auf das Gewicht und die Unterhaltung der Lokomotiven schärfer beleuchtet werden können. In einem 46 Seiten umfassenden Unterabschnitt sind die Drucklufterzeuger und die mechanischen Bremsen behandelt. Von den ersteren ist der bei den Triebfahrzeugen der DRG noch nicht angewendete umlaufende Luftpresser (Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur) bemerkenswert. Eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Arten von Druckluft- und Luftsaugebremsen und ihrer Einzelteile ist besonders für den nicht eisenbahntechnisch vorgebildeten Leser wertvoll. Sandstreuer, Geschwindigkeitsmesser und Signalpfeifen sind in einem eigenen Abschnitt behandelt; letztere allerdings mit nur  $3\frac{1}{2}$  Zeilen, was etwas dürftig erscheint und den in den letzten Jahren gemachten Anstrengungen eine in jeder Hinsicht brauchbare Luftpfeife für elektrische Triebfahrzeuge zu finden, nicht entspricht.

Der dritte 200 Seiten umfassende Abschnitt ist der elektrischen Ausrüstung der Lokomotiven gewidmet; er ist in vier Teile gegliedert, nämlich: Gleichstrom-, einphasige Wechselstrom-, Drehstrom- und Umformerlokomotiven. Diesen Teilen ist in der Einleitung hierzu eine geschichtliche Übersicht vorangestellt, die einen guten Überblick über die Entwicklung der Lokomotiven für genannte Stromarten in den Ländern mit elektrischem Zugbetrieb bietet. Die Beschreibung der elektrischen Einrichtungen ist bei den ersten drei Teilabschnitten in je zwei Gruppen unterteilt; in der ersten von diesen sind die im Hauptstromkreis liegenden Bestandteile ihre Bauform und Schaltungen behandelt, in der zweiten die in Nebenstromkreisen liegenden Hilfsbetriebe, wie Luftpresser, Luftsauger, Lüfter, Beleuchtung usw. erörtert. Die Oberleitungsstromabnehmer für Einphasenlokomotiven sind — wohl wegen der Ähnlichkeit der Bauart — unter dem Teilabschnitt „Gleichstromlokomotiven“ behandelt. In eingehender Darstellung werden die in den Hauptstromkreisen liegenden

Einzelbauteile beschrieben und durch Abbildungen erläutert, besonders ausführlich sind die Steuerungen und die Bremschaltungen, bei Drehstromlokomotiven die Mittel zur Geschwindigkeitsregelung, im besonderen die polumschaltbaren Wicklungen, behandelt. In den Text eingefügte Formeln und Berechnungsbeispiele unterstützen auch hier das Verständnis der Darlegungen erheblich.

Im vierten Teil des dritten Abschnittes werden die Umformerlokomotiven behandelt, soweit auf den Triebfahrzeugen eine Umwandlung der Stromart vorgenommen wird, also die sogenannten Phasenumformerlokomotiven und die Einphasen-Gleichstromlokomotiven.

Der vierte Abschnitt enthält die Beschreibungen von 15 ausgeführten Lokomotiven und zwar sind fünf Lokomotiven der italienischen Staatsbahnen, je drei solche französischer Bahnen und der Schweizerischen Bundesbahnen, zwei der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft und je eine der niederländisch-indischen Staatsbahnen und einer amerikanischen Bahn zum Teil sehr ausführlich beschrieben; der Stromart nach sind vier Gleichstrom-, fünf Wechselstrom-, fünf Drehstrom- (darunter eine für zehn kV, 45 Hertz) und eine Umformerlokomotive (Wechselstrom-Gleichstrom) behandelt. Die in den Text der Beschreibungen eingestreuten Bilder werden durch 22 Tafeln ergänzt, auf denen außer Grundriß und Schnitten der Lokomotiven auch zusammenfassende Schaltbilder ganzer Triebfahrzeuge wiedergegeben sind.

Die Ausstattung des Werkes ist unübertrefflich; die im Text enthaltenen Lichtbilder und Zeichnungen sind sorgfältig ausgewählt und scharf wiedergegeben, von allen überflüssigen Maßen befreit und äußerst übersichtlich. Die Ausführung der Tafeln, die zum Teil mit Legenden versehen sind, muß geradezu als glänzend bezeichnet werden. In allen Abschnitten ist durch zahlreiche Fußnoten auf bereits vorliegende Veröffentlichungen und Vorschriften hingewiesen; die auf die einzelnen Bauformen in den verschiedenen Ländern erteilten Schutzrechte sind in ausgiebigster Weise durch Bekanntgabe der Patentnummern in Anmerkungen aufgeführt, was einen großen Behelf für jene bedeutet, denen die praktische Verwertung einzelner Bauformen zur Aufgabe gesetzt ist. Verfasser und Verleger haben mit der Herausgabe des Werkes dem technischen Schrifttum einen Schatz beigefügt, welcher durch die Fülle des Stoffes und die Gründlichkeit der Darstellung nicht bloß augenblicklich hervorsteht, sondern für alle, die mit elektrischer Zugförderung sich befassen, einen dauernden Wert behalten und ihnen in kurzer Zeit unentbehrlich sein wird.

Naderer.

„Elektrische Gleisfahrzeuge“ von Regierungsrat Dr. Ing. Zeulmann; 3. Band der Verkehrstechnischen Bücherei, mit 253 Abbildungen im Text. Verlagsbuchhandlung Bruno Volger in Leipzig, 1926. Preis *R.M.* 14.— (in Ganzleinenband).

Das Buch behandelt im ersten Teile die geschichtliche Entwicklung und die Vorzüge des elektrischen Bahnverkehrs, die Stromsysteme, die Leitungsanlagen und die Berechnungsgrundlagen für elektrische Gleisfahrzeuge; der zweite Teil enthält eingehende Darstellungen der baulichen Einzelheiten der Straßenbahntriebwagen und der elektrischen Lokomotiven für Vollbahnbetrieb. Im dritten Teil sind besondere Ausführungsformen elektrischer Gleisfahrzeuge — wie Speichertriebwagen, Verschiebelokomotiven usw. — beschrieben. Das Buch wird durch einen Anhang ergänzt, in dem unter anderem die R. E. B. 1925 und ein Auszug aus den Vorschriften für elektrische Bahnen vom 1. 1. 1926 wiedergegeben sind.

Das Werk bietet einen sehr guten Überblick über den Stand des Baues der elektrischen Gleisfahrzeuge und zeichnet sich durch Reichhaltigkeit des Inhaltes aus. Das Studium dieses Werkes kann jedem Eisenbahnfachmann aufs wärmste empfohlen werden.

Für den Fall einer Neuauflage des Werkes dürfte zu erwägen sein, im ersten Teil die Leistungseigenschaften der elektrischen Lokomotiven noch ausführlicher zu behandeln und auf den Vergleich der Leistungseigenschaften der elektrischen Lokomotive mit denjenigen der Dampflokomotive weiter einzugehen; auch wäre für den zweiten Teil eine gründlichere Behandlung der Frage der Kraftübertragung zwischen Fahrmotor und Triebachsen unter Beifügung von Berechnungen erwünscht.

Sorger.