Die Elektrifizierung der Schweizerischen Bundesbahnen

bis Ende 1928

fach
M. 4.

Die Elektrifizierung der Schweizerischen Bundesbahnen bis Ende 1928.

Von

DR. E. HUBER-STOCKAR

Dipl. Maschineningenieur

Mit 1 Karte, 6 Tafeln, 73 photographischen Abbildungen und 15 Figuren im Text.

Sonderausgabe des

Neujahrsblattes der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich

auf das Jahr 1929.

Druck von Gebr. Fretz A.G. in Zürich.

Neujahrsblatt in Kommission bei Beer & Co. in Zürich.

Inhaltsverzeichnis.

	Einleitung	3
1.	Stand des elektrischen Betriebes	4
2.	Geschichtliches	7
3.	Vorbereitung der Elektrifizierung der S. B. B.	12
4.	Baugeschichte	14
5.	Organisatorisches	22
6.	Charakteristik des elektrischen Betriebes der S. B. B.	26
7.	Gesamtanordnung des elektrischen Betriebes der S. B. B.	28
8.	Kraftwerke	34
9.	Unterwerke	37
10.	Übertragungsleitungen	39
11.	Fahrleitungen	41
12.	Elektrische Fahrzeuge	47
13.	Verschiedene Anlagen	50
14.	Energiehaushalt	51
15.	Betriebserfahrungen	53
16.	Wirtschaftliches	55
	Schluss	62
	Fachliteraturhinweise	62

Die Elektrifizierung der Schweizerischen Bundesbahnen bis Ende 1928.

Einleitung.

Mit der Eröffnung des elektrischen Betriebes der Eisenbahnlinie (Zürich–)Oerlikon–Bülach–Eglisau–Schaffhausen im Dezember 1928 hatte die Umstellung der Zugförderung oder des Betriebes der Schweizerischen Bundesbahnen von Dampf auf Elektrizität, die „Elektrifizierung" der S. B. B., das fünf Jahre vorher gesteckte Ziel erreicht. Alle Linien, die nach dem Programm von 1923 „beschleunigt", nämlich bis Ende 1928, statt nach dem das ganze Netz umfassenden Programm von 1918 erst bis Ende 1933 zu elektrifizieren waren, und zwei dazu, waren am Ende des Jahres 1928 im regelmässigen elektrischen Betrieb.

Die Elektrifizierung der S. B. B., soweit bereits durchgeführt, stellt ein in den wesentlichen Beziehungen vollständiges Werk dar, das in dem Sinne fertig ist, in dem ein erweiterungsfähiges Werk mit einer wachsenden Aufgabe überhaupt fertig sein kann. Die elektrisch betriebenen Linien der S. B. B. bilden bereits das bei weitem grösste bestehende, lückenlos zusammenhängende, hinsichtlich des Systems einheitliche elektrische Liniennetz einer Eisenbahnverwaltung.

Ende 1928 hatten die S. B. B. ihr Liniennetz zu 58,1 %, ihre zweigeleisigen Linien zu 98,5 %, ihre Hauptgeleise zu 68,3 %, ihre Geleise überhaupt zu ca. 67 % der Längen elektrifiziert; sie werden im laufenden Jahre 1929 ihren Verkehr zu ca. 85 % der Förderleistung in Bruttotonnenkilometer [1]) elektrisch bedienen und dabei an Stelle von etwa 600 000 Tonnen Kohle rund 420 Millionen Kilowattstunden elektrische Energie verbrauchen.

Am Schlusse der Durchführung des Programmes von 1923, d. h. am Ende der „beschleunigten" Elektrifizierung, war also die durch das Programm von 1918 gestellte Aufgabe sowohl hinsichtlich des Baues und der Anschaffungen, als auch hinsichtlich des Betriebes zum weitaus grösseren Teil gelöst.

Auch wenn die Elektrifizierung bald fortgesetzt werden sollte, darf im Hinblick auf das, was bereits erreicht wurde, gesagt werden, die Elektrifizierung der S. B. B. habe im Jahre 1928 einen vorläufigen Abschluss gefunden.

Das Interesse, mit welchem das Schweizervolk und die Eisenbahnfachwelt die Elektrifizierung der S. B. B. verfolgten, und die wirtschaftliche Bedeutung, welche diese Elektrifizierung für die Schweiz hat, mögen die vorliegende Veröffentlichung bei Anlass des vorläufigen Abschlusses als gerechtfertigt erscheinen lassen. Mit den Schweizerischen Bundesbahnen elektrisch zu fahren, ist für die allermeisten Reisenden in der Schweiz bereits das Gewöhnliche geworden. Es dürfte daher für Viele von Interesse sein, auf die Vorgeschichte der Elektrifizierung der S. B. B. und die Entstehung des umfangreichen Werkes zurückzublicken und in die Einrichtungen des elektrischen Betriebes und in diesen selbst einigen Einblick in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht zu erhalten.

In den folgenden Ausführungen werden nur solche Personen mit Namen genannt, welche eine besondere geschichtliche Bedeutung haben, der Verwaltung der S. B. B. nicht angehören und an der Elektrifizierung der S. B. B. nicht mitarbeiteten. Da eine Begrenzung nicht möglich wäre, werden auch keine Bauunternehmer und, ausser in den Literaturhinweisen und Erklärungen zu gewissen Abbildungen, auch keine Fabriken oder Urheber genannt.

---

[1]) Nach Tabelle VIII 8549 Millionen.

1. Stand des elektrischen Eisenbahnbetriebes bei den Schweizerischen Bundesbahnen und in der Schweiz.

Es empfiehlt sich hier, unter „Eisenbahnen" nur die Bahnen zu verstehen, welche das „Eisenbahnnetz" eines Landes, eines Kontinentes bilden und vor dem Aufkommen elektrischen Betriebes ausschliesslich und noch heute, mit Ausnahme der schweizerischen, ganz vorwiegend mit Dampf betrieben werden. Es werden daher hier die Tramways und die Seilbahnen nicht berücksichtigt.

Die Tramways der Schweiz mit einer Gesamtläge von rund 500 km werden übrigens ausschliesslich elektrisch, die Seilbahnen nur elektrisch oder direkt mit Wasser betrieben.

Ende 1928 hatte der elektrische Betrieb bei den schweizerischen Eisenbahnen folgende durch die Landkarte am Schluss veranschaulichte Ausdehnung erlangt:

Tabelle I.

Schweizerische Eisenbahnen	Betriebslängen in km[1])			
	Im Ganzen a	Dampf b	Elektrizität c	c in % von a d
SBB ohne Brünig	2 868	1 202	1 666	58,1
Andere	835	419	416	49,8
Normalspurbahnen	3 703	1 621	2 082	56,2
SBB Brünig	74	74	—	—
Andere	1 591	327	1 264	79,5
Schmalspurbahnen	1 665	401	1 264	75,9
Zahnradbahnen	117	45	72	61,5
Alle Eisenbahnen	5 485	2 067	3 418	62,3

Bei den S. B. B. zeigte der elektrische Betrieb folgende Verteilung auf zweigeleisige und eingeleisige normalspurige Linien und Strecken.

Tabelle II.

Normalspuriges Netz der SBB	Betriebslängen in km[1])			
	Im Ganzen a	Dampf b	Elektrizität c	c in % von a d
Zweigeleisige Strecken	968	15	953	98,5
Eingeleisige Strecken	1 900	1 187	713	37,5
Alle Strecken, wie oben	2 868	1 202	1 666	58,1
Zweites Geleise der zweigeleisigen Strecken	968	15	953	98,5
Alle Hauptgeleise	3 836	1 217	2 619	68,3
Alle Geleise (siehe Tabelle XIII) . ca.	5 650	1 887	3 763	66,6

Für die Beurteilung der wirklichen Bedeutung, die der elektrische Betrieb bei einer Verwaltung oder in einem Lande erlangt hat, sind nicht die Längen der elektrisch betriebenen Linien oder elektrisch ausgerüsteten Geleise massgebend, sondern die elektrisch verrichtete Verkehrsleistung, einfach und genügend zutreffend auszudrücken in Bruttotonnenkilometer als Summe der Produkte der Zugsgewichte (ohne Lokomotivgewichte) in Tonnen und der Strecken in Kilometer, welche von den Zugsgewichten zurückgelegt wurden.

[1]) Die Statistik für 1928 stand noch nicht zur Verfügung.

Damit die durch die amtliche Statistik erst für 1927 für die S. B. B., erst für 1926 für die schweizerischen Eisenbahnen ausgewiesenen Zahlen benützt werden können, muss die dem elektrischen Betriebe ungünstige Annahme gemacht werden, die Verteilung des Bruttoverkehrs einschliesslich dessen Zunahme seit 1927, bezw. 1926 auf die Linien der S. B. B. und auf die Eisenbahnen überhaupt sei im Jahre 1929 gleich, wie sie im Jahre 1927, bezw. 1926 war. Das approximative Verhältnis des elektrischen Verkehrs auf den anfangs 1929 elektrisch betriebenen Linien zum ganzen Verkehr kann dann, wie folgt, gezeigt werden:

Tabelle III.

Schweizerische Eisenbahnen	Millionen Bruttotonnenkilometer			
	Ganzer Verkehr a	Dampfverkehr b	Elektr. Verkehr c	c in % von a d
SBB 1927 ohne Brünig	9 783,2	1 418,9	8 364,3	86,5
Andere 1926	677,4	177,9	499,5	73,7
Normalspurbahnen	10 460,6	1 596,8	8 863,8	84,8
SBB 1927 Brünig	38,7	38,7	—	—
Andere 1926	383,2	33,1	350,1	91,4
Schmalspurbahnen	421,9	71,8	350,1	82,9
Zahnradbahnen 1926	4,3	1,4	2,9	66,4
Alle Eisenbahnen	10 886,8	1 670,0	9 216,8	84,7

Die Prozentzahlen der Kolonne d sind als Rechnungsergebnisse aufzufassen, durch deren Aufrundung auf die nächst grössere ganze Zahl die Wirklichkeit im Jahre 1929 nicht ganz erreicht werden dürfte.

Der elektrische Verkehr der S. B. B. macht rund 91 % des elektrischen, rund 77 % des ganzen Verkehrs der schweizerischen Eisenbahnen aus; an dem ganzen Dampfverkehr von rund 15 % des Verkehrs überhaupt sind die S. B. B. mit rund 87 % beteiligt.

Mit dem Verhältnis von elektrischem Eisenbahnbetrieb zu Eisenbahnbetrieb überhaupt von 62,3 % nach Linienlänge und 84,7 % nach Verkehrsleistung steht die Schweiz allen andern Ländern weit voran. Dies ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, dass in keinem andern Lande die Anwendung der elektrischen Zugförderung bei neuen Eisenbahnen und die Einführung derselben bei bestehenden Dampfbahnen durch so viele Umstände nahegelegt und wirksam gefördert wurden.

An Länge der elektrisch betriebenen Eisenbahnen wird die Schweiz nur von den Vereinigten Staaten von Nordamerika übertroffen. In diesen gibt es ca. 2800 km grösstenteils ausgesucht verkehrsdichte Normalspurbahnen mit elektrischem Betrieb, die den 2082 km elektrische Normalspurbahnen der Schweiz gegenüberzustellen sind. Dazu gibt es an Gesamtlinienlänge wahrscheinlich alle elektrischen Eisenbahnen der Schweiz zusammen übertreffende, meist normalspurige sogenannte interurbane Bahnen, die den schweizerischen Schmalspurbahnen entsprechen und nicht zu den Tramways zu zählen sind. Die Hochbahnen und Untergrundbahnen, die als nicht zum Eisenbahnnetz eines Landes gehörende Bahnen betrachtet werden können und in der Schweiz nicht vorkommen, sind bei dieser Gegenüberstellung ausser acht gelassen.

Von den andern Ländern zeigen Italien und Deutschland die stärkste Entwicklung des elektrischen Eisenbahnbetriebes; sie erreichen aber mit der Gesamtlänge der elektrisch betriebenen Linien die Schweiz noch nicht.

Nach einer Veröffentlichung der Italienischen Staatseisenbahnen hatten diese Ende 1927 1150 km eigene Linien im elektrischen Betrieb, 457 km in der Elektrifizierung begriffen, während 1006 km elektrische Sekundärbahnen verschiedener Verwaltungen im Betrieb waren. Italien dürfte daher Ende 1928 zwischen 2600 und 2700 km elektrisch betriebene Eisenbahnlinien gehabt haben.

Die Deutsche Reichsbahngesellschaft hatte Ende 1927 1544 km elektrisch betriebene und in der Elektrifizierung begriffene Linien. Die Gesamtlinienlänge anderer elektrischer Eisenbahnen, die nicht

zu den Tramways gezählt werden können, dürfte etwas grösser sein als die der nicht staatlichen elektrischen Eisenbahnen in Italien. Deutschland dürfte daher hinter der Schweiz nicht mehr als Italien zurückstehen.

Bezogen auf den elektrischen Verkehr dürfte der Vorsprung der Schweiz vor Italien und Deutschland beträchtlich geringer sein.

Das Verhältnis, in dem der elektrische Eisenbahnbetrieb zum Eisenbahnbetrieb auf der Erde steht, ist sehr klein. Auf Grund einer unvollständigen statistischen Zusammenstellung auf Ende 1925, welche von der Revue des Transports im November 1927 veröffentlicht wurde, und unter Berück-

Tabelle IV.

Eisenbahn	Linienlänge km	Geleiselänge km	Bemerkungen
Schweizerische Bundesbahnen (2 868 km normalspurig) Schweiz	1 666	3 763	1 589 km zusammenhängendes Netz Einphasenstrom 15 000 V, $16^2/_3$ Perioden/sec. 55 km Seetalbahn Einphasenstrom 5 500 V, 25 „ Umbau bevorstehend 22 km Simplontunnel Dreiphasenstrom 3 300 V, $16^2/_3$ „
Ferrovie dello Stato Italien	1 607	3 143	862 km zusammenhängendes Netz Dreiphasenstrom 3 700 V, $16^2/_3$ Perioden/sec. 364 km 4 einzelne Linien Dreiphasenstrom 3 700 & 3 300 V, $16^2/_3$ „ 108 km 2 Liniengruppen Gleichstrom 650 V. Dritte Schiene 101 km 1 Linie Gleichstrom 3 000 V 172 km 1 Linie Dreiphasenstrom 10 000 V, 45 „
Deutsche Reichsbahn (53 600 km) Deutschland	1 544		1 270 km 4 Liniengruppen von 364, 184, 692, 155 km. Einphasenstrom 15 000 V, $16^2/_3$ Perioden/sec. 225 km Berliner Stadt- und Ring-Bahnen Gleichstrom 800 V. Dritte Schiene 49 km einzelne Linien Andere Stromarten
Chicago, Milwaukee & St. Paul Vereinigte Staaten von Nord-Amerika	1 043	1 364	Zwei Linien, jede mit einem Hochgebirgsübergang 705 km Harlowton-Avery 338 km Othello-Pacific Coast 1 043 km Gleichstrom 3 000 V
Schwedische Staatsbahnen Schweden	892		434 km Svartön-Riksgränsen (87 km norwegische Fortsetzung bis Narvik) 458 km Stockholm-Göteborg 892 km Einphasenstrom 15000 V, $16^2/_3$ Perioden/sec.
Chemin de fer du Midi Frankreich	919		Zusammenhängendes Netz 765 km im Betrieb 145 km in der Elektrifizierung begriffen 919 km Gleichstrom 1 500 V

sichtigung der 1926 und 1927 entstandenen elektrischen Eisenbahnbetriebe kann jenes Verhältnis zu ca. 2% der Linienlänge geschätzt werden. Auf die Verkehrsleistung bezogen dürfte es etwa 3% betragen.

Die Tabelle IV gestattet die Vergleichung der Ausdehnung der Elektrifizierung der S. B. B. mit den bei weitem ausgedehntesten Elektrifizierungen anderer Verwaltungen.

2. Geschichtliches.

Der Versuch, die Eisenbahn elektrisch statt mit Dampf zu betreiben, ist einer der frühesten, die mit der praktischen Anwendung des elektrischen Motors gemacht wurden. 1839 experimentierte ROBERT DAVIDSON auf der Eisenbahn Glasgow–Edinburgh mit einer elektrischen „Lokomotive". Diese hatte zwei Achsen, jede durch einen elektromagnetischen Motor angetrieben, führte die elektrische Energie in einer Primärbatterie mit sich und konnte ihr eigenes Gewicht von ca. 5 t mit einer Geschwindigkeit von etwa 6,5 km/h auf horizontalem Geleise fortbewegen; die Leistung betrug etwa 0,6 PS.

Nach dem Stand des elektrotechnischen Wissens und Könnens von damals waren die Voraussetzungen zu erfolgreicher Weiterarbeit auf dem von DAVIDSON betretenen Gebiete noch lange nicht gegeben. 1840 hatten die Dampfeisenbahnen eine Entwicklung von etwa 1300 km in Grossbritannien und Irland, von etwa 2900 km in ganz Europa und etwa 4700 km in Nordamerika.

Erst in den Siebzigerjahren fing die elektrische Maschine an, allmählich zu verdienen, als Maschine bezeichnet zu werden, und erst in den Achtzigerjahren wurden sie und die andern Teile elektrischer Anlagen Gegenstand industrieller Erzeugung und Verwendung.

Es ist heute allgemein erkannt, dass die Mitführung der elektrischen Energie auf dem Fahrzeug, seit den Achtzigerjahren in Akkumulatorbatterien, ein Prinzip ist, nach welchem das Problem der elektrischen Traktion der Eisenbahnen nicht allgemein, sondern nur kleinere spezielle Aufgaben innerhalb eines elektrischen oder andern Eisenbahnbetriebes — freilich vorteilhaft — gelöst werden können.

Die elektrische Übertragung mechanischer Energie wurde zum ersten Mal an der Wiener Weltausstellung 1873 in praktischer Anwendung gezeigt und die elektrische Traktion nach dem Prinzip solcher Übertragung mit Hilfe einer dem Geleise entlang gehenden Leitung zum ersten Mal an der Berliner Ausstellung 1879, darauf an der Pariser Weltausstellung 1881 vorgeführt. Diese Vorführungen bestimmen den Anfang der Entwicklung der elektrischen Traktion der Eisenbahnen, obwohl sie erst die Möglichkeit des elektrischen Betriebes von Strassenbahnen und Kleinbahnen zu beweisen geeignet waren. Zu dieser Zeit hatten die Dampfeisenbahnen bereits eine Entwicklung von etwa 170 000 km in Europa und etwa 370 000 km auf der Erde.

Im Laufe der Achtzigerjahre entstanden mehrere elektrische tramwayartige Strassenbahnen. Die Elektrotechnik machte bedeutsame Fortschritte in ihrem ganzen Gebiet und zahlreiche Erfinder beschäftigten sich mit den Einzelproblemen der elektrischen Traktion, wie Stromzuführung, Stromabnahme, Verbindung von Motor mit Triebrad, Regelung von Zugkraft und Fahrgeschwindigkeit.

Die rasche und unaufhaltsame Entwicklung der elektrischen Traktion der Strassenbahnen, die vollständige Verdrängung der animalischen und die fast vollständige Verdrängung anderer Arten von Traktion bei Tramways und ähnlichen Bahnen nahm ihren Anfang 1888 mit dem elektrischen Tramway in Richmond Va., bei dem, ausser bedeutsamen anderen Neuheiten der Konstruktion und Schaltung, der Rollenstromabnehmer und eine über der Geleiseaxe gespannte Drahtleitung angewendet und die bei Tramways bis heute gebräuchlich gebliebene Gleichstromspannung von 500 V gewählt wurden, im ganzen die Leistung von FRANK SPRAGUE.

Im gleichen Jahre erhielt die Schweiz ihren ersten elektrischen Tramway, Vevey–Montreux–Chillon, 10,5 km, Gleichstrom, 500 V.

Es war gelungen, ein betriebsfähiges und, als Tramwaywagen ausgeführt, bereits kommerziell verwendungsfähiges Eisenbahnfahrzeug zu schaffen, ihm die zur Fortbewegung erforderliche mechanische Arbeit auf dem Wege der Übertragung von ortsfest mechanisch erzeugter elektrischer Energie, und

zwar Gleichstrom von 500 V, zuzuführen und es in Mehrzahl auf einem mit Fahrdrähten überspannten Geleisenetz, selbst in belebten Strassen der Städte, verkehren zu lassen. Damit war auch die Lösung jeder Eisenbahntraktionsaufgabe gesichert, bei der es sich nur um Leistungen handelte, die ähnlich klein waren wie die der Tramwaywagen, also im Vergleich zu den damals bereits gewohnten Leistungen der Dampflokomotiven der Vollbahnen als kleine gelten mussten.

1890 gab es bereits etwa 220 000 km Eisenbahnen in Europa, etwa 610 000 km auf der Erde, alle mit Dampf betrieben. Alle elektrischen Tramways zusammen erreichten 1000 km Gesamtlänge noch nicht. Doch war bereits die die Themse unterfahrende, etwa 8 km lange elektrische Untergrundbahn City & South London mit 52 kleinen Lokomotiven im Betrieb, Spannung 500 V.

Im Laufe der Neunzigerjahre wurde in Amerika die Steuerung mehrerer elektrischer Motorwagen von einem aus ausgearbeitet, zuerst durch SPRAGUE, und damit die Bildung von längeren, aus Motorwagen und Schleppwagen zusammengesetzten Zügen möglich gemacht. So konnten mit angemessen vielen, auf die Achsen mehrerer Wagen des Zuges verteilten Motoren die Leistungen der Dampflokomotiven der Eisenbrückenhochbahnen von New York leicht übertroffen werden, ohne dass die Belastung der Längeneinheit der Fahrbahn vergrössert wurde. Die Vielfachsteuerung machte Eisenbahnzüge von bedeutendem Fassungsvermögen überhaupt möglich und verschaffte der elektrischen Traktion nach und nach Eingang bei allen ausschliesslich einem dichten Personenverkehr dienenden, nicht als Tramways anzusehenden Eisenbahnen innerhalb der grossen Städte und um dieselben herum. Die ganz oder mit langen Strecken unterirdisch verlaufenden Untergrundbahnen und gar die Rohrbahnen wären ohne elektrische Traktion überhaupt, ohne Vielfachsteuerung betriebstechnisch und kommerziell nicht möglich geworden. 1895 betrieb die Baltimore & Ohio Bahn ihren, einen Teil der Stadt Baltimore unterfahrenden Tunnel von gegen 6 km Länge mit elektrischen Lokomotiven mit je 4 Achsen und 4 Motoren. Dies ist der erste Fall, in dem sonst von Dampflokomotiven gezogene Züge auf einer Hauptbahnstrecke elektrisch gefördert wurden.

In den Neunzigerjahren wurde ausserhalb der Schweiz bei elektrischer Traktion nur Gleichstrom von höchstens 650 V angewendet. Die Entstehung ausgedehnter Tramwaynetze wurde durch die Fortschritte im Gebiete der Erzeugung und Verteilung höher gespannten Dreiphasenstroms, sowie der Spannungstransformation und Stromumformung möglich.

In der Schweiz boten keine Hoch- oder Untergrund-Bahnen Anwendungs- und Entwicklungs-Gelegenheiten; auch zwang noch kein Tunnel zur Einführung der elektrischen Zugförderung über eine kurze Strecke einer Hauptbahnlinie. Bis Ende 1900 dehnte sich die elektrische Traktion in der Schweiz auf 107 km Eisenbahnen und 188 km Tramways aus, von ersteren 75 km mit Dreiphasenstrom, von letzteren 182 km mit Gleichstrom von 500 V. Eine kurze normalspurige Strecke wurde mit Motorwagen, 2 kurze schmalspurige mit Lokomotiven betrieben, Stromart wie bei den Tramways. Von grosser entwicklungsgeschichtlicher Bedeutung war die Verwendung von Dreiphasenmotoren auf den Fahrzeugen, also die Übertragung von ortsfest erzeugter Dreiphasenenergie auf die Motoren der Fahrzeuge mit einer zweipoligen Fahrleitung und mit passender ortsfester Spannungstransformation in über die Bahnlinie verteilten Speisungspunkten, 1896 bei einem Tramway, 1898 bei drei Bergbahnen, 1899 bei der normalspurigen Burgdorf-Thun-Bahn von 41 km Betriebslänge, Bahnen, die alle neu gebaut wurden. Die Spannung des Dreiphasenstromes der Fahrleitung betrug 750 V, die Periodenzahl 33 bis 42.

Der elektrische Betrieb der Burgdorf-Thun-Bahn war der erste elektrische Eisenbahnbetrieb, der die Aussicht darauf eröffnete, dass es in absehbarer Zeit technisch und wirtschaftlich möglich sein werde, gerade in der Schweiz vom Dampf zur Elektrizität, von der „schwarzen Kohle“ zur „weissen Kohle“ im Eisenbahnbetrieb überzugehen. Diese Aussicht wurde sehr viel bestimmter, als 1902 auf den normalspurigen, vorher mit Dampf betriebenen Linien Lecco-Colico-Sondrio und Colico-Chiavenna von ca. 106 km Gesamtlänge der elektrische Betrieb mit einer Spannung des den Triebfahrzeugen zugeführten Dreiphasenstromes von 3000 V, Periodenzahl 15, erfolgreich eröffnet wurde. Zu gleicher Zeit wurde auch die verkehrsreiche normalspurige, meist zweigeleisige Linie Milano-Varese-Porto Ceresio, 73 km, in elektrischen Betrieb mit Gleichstrom von 650 V gesetzt.

Seit dem Anfang des laufenden Jahrhunderts lässt die Entwicklung der elektrischen Traktion besonders in der Schweiz deutlich zwei Hauptrichtungen erkennen. Die erste folgt den Tramways und Schmalspurbahnen, die zweite den Normalspurbahnen.

Die elektrischen Tramways dehnten sich auf der bereits gefestigten technischen Grundlage, Gleichstrom von reichlich 500 V, weiter aus, auch die Städte mit Ortschaften in beschränkter Entfernung verbindend. Es entstanden zahlreiche schmalspurige, meistens die Landstrassen als Bahnkörper benützende Sekundärbahnen mit elektrotechnisch dem Tramwaybetrieb gleichem oder sehr ähnlichem Betrieb. Sie können als technische Vorstufe zu den schmalspurigen Adhäsions- und Zahnrad-Bahnen im Gebirge mit eigenem, zum Teil kunstbautenreichen Bahnkörper angesehen werden, bei denen mit der Spannung nach und nach höher, schliesslich mit einem Sprung von 1500 V bis 2000 V gegangen wurde. Die meisten dieser Adhäsionsbahnen konnten nur als elektrische gebaut werden. Die Umstellung eines grösseren solchen Betriebes von Dampf auf Elektrizität kam nur bei den Berner Oberland-Bahnen, 23 km, und bei der Rhätischen Bahn, 228 km, vor.

Schon Ende 1909 waren die schweizerischen Schmalspurbahnen zu 50 %, die Zahnradbahnen zu 49 % ihrer Linienlänge elektrisch betrieben. Ende 1928 betrug das Verhältnis 79,5 %, bezw. 61,5 % bei grösserer Gesamtlänge. Bei diesen Bahnen spielte der elektrische Neubau eine grössere Rolle als die Umstellung des Betriebes, die „Elektrifizierung" der Bahnen. Die Furka-Oberalpbahn, 97 km, ist die einzige längere Schmalspurbahn, die seit 1909 neu gebaut wurde und mit Dampf betrieben wird.

Die zweite Hauptrichtung der Entwicklung der elektrischen Traktion in der Schweiz wurde hauptsächlich bestimmt durch den bereits populären Wunsch, die schweizerischen Dampfbahnen, zunächst wenigstens die verkehrsreicheren Linien der Normalspurbahnen, nach der Verstaatlichung der grossen Eisenbahngesellschaften vor allem die Schweizerischen Bundesbahnen zu einem grossen Verbraucher elektrischer Energie zu machen und damit die Ausnützung einheimischer Wasserkräfte zu fördern, die Einfuhr ausländischer Kohle zu vermindern, sowie der schweizerischen Maschinen- und Elektro-Industrie ein fruchtbares Tätigkeitsfeld zu eröffnen. Die zweite Hauptrichtung ist also die der Elektrifizierung des schweizerischen Dampfbahnnetzes einschliesslich neuer Linien, die nach den Normen für Dampfbahnen noch gebaut werden konnten. Die Verfolgung dieser Richtung musste sofort zur Stellung der bestimmten Frage führen: Wie kann auf dem schweizerischen Normalspurbahnnetz ein einheitlicher elektrischer Betrieb eingerichtet werden, welcher der Struktur des Netzes und dem Charakter des Verkehrs entspricht? Die bestimmte Beantwortung dieser Frage musste für jeden Einsichtigen eine sehr grosse Tragweite haben und mit einer sehr schweren Verantwortung verknüpft sein. Es war also Studium nötig.

In der Generalversammlung des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins im Oktober 1901 beantragte Dr. E. Tissot, die Frage der Elektrifizierung der schweizerischen Normalspurbahnen zu studieren; er wies auf die in den Nachbarländern gemachten Vorarbeiten und besonders auf die Wünschbarkeit hin, den schweizerischen Eisenbahnbetrieb von den kohleproduzierenden Ländern unabhängiger zu machen und der schweizerischen elektrotechnischen Industrie ein neues Arbeitsfeld zu eröffnen. Der Bildung eines provisorischen Komitees mit Dr. Tissot als Präsidenten folgte im Mai 1904 unter Beteiligung der S. B. B. und des Eisenbahndepartementes die Bildung der Schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb mit den Herren J. Flury, Vizepräsident der Generaldirektion der S. B. B., als Präsidenten und Prof. Dr. W. Wyssling als Sekretär.

Die Studienkommission stellte sich die Aufgabe, „die technischen und finanziellen Grundlagen zur Einführung des elektrischen Betriebes bei den schweizerischen Eisenbahnen zu studieren und abzuklären"[1]). Da mit der Elektrifizierung in der Schweiz nicht wie in den meisten andern Ländern hauptsächlich rein technische Verbesserungen, wie Ermöglichung der Verkehrsverdichtung ohne bahnbauliche Erweiterung, Vergrösserung der Fahrgeschwindigkeiten, Vermeidung des Rauches bezweckt wurden, sondern die Verwertung der einheimischen Wasserkräfte an Stelle der ausländischen Kohle

[1]) Statuten der Schweizerischen Studienkommission.

und, soweit möglich, die Verbilligung des Betriebes, hatte sich die Studienkommission nicht nur mit der Frage des technischen Genügens der elektrischen Traktion im Vollbahnbetrieb und mit der Systemfrage zu befassen, sondern hatte auch bestimmte Vorschläge betreffend die Energiebeschaffung, Bau- und Betriebsprojekte zu Kraftwerken, Baukostenvoranschläge für die Elektrifizierung typischer Linien und Vergleichungen zwischen den Betriebskosten bei Dampf und bei Elektrizität zu machen.[1])

Im Mai 1912 erstattete die Studienkommission der Generaldirektion der S. B. B. auf deren Wunsch einen ausführlichen Bericht, betitelt „Die Elektrifizierung der Schweizerischen Bahnen mit besonderer Berücksichtigung der ehemaligen Gotthardbahn", dessen Schluss lautet:

„Der elektrische Vollbahnbetrieb ist technisch zuverlässig und vollkommen befriedigend möglich."

„Für die Verhältnisse der S. B. B., auch mit besonderer Berücksichtigung der Gotthardbahn, eignet sich am besten das Betriebssystem mit Einphasenstrom von ungefähr 15 Perioden und einer Fahrdrahtspannung von etwa 15 000 Volt, wobei diese Stromart zweckmässig direkt als solche in Wasserkraftwerken zu erzeugen und auf möglichste Verwendung von Werken mit Akkumulierfähigkeit zu sehen ist."

„Die für diese Betriebsart durchgerechneten Projekte für den elektrischen Betrieb der Gotthardbahn zeigen, dass dieser für einen Verkehr, wie er[2]) nach der Elektrifizierung[2]) vorhanden sein wird, schon bei den gegenwärtigen Kohlenpreisen trotz Annahme wesentlich grösserer Geschwindigkeiten erheblich billiger sein wird als der Dampfbetrieb, wozu die Vorteile der Rauchlosigkeit und der Möglichkeit besserer Ausnützung der Bahnanlage hinzukommen."

In der Zeit, während welcher die Studienkommission an der Arbeit war, brachte eine Reihe neuer elektrischer Eisenbahnbetriebe die Fortschritte der ausführenden Technik zur Darstellung. Bei Schmalspurbahnen im Gebirge erwies sich Gleichstrom von 1500 V, bei einer schon 1907 Einphasenstrom von 5000 V, bei der Rhätischen Bahn 1912 sogar von 11 000 V als betriebssicher anwendbar. Die S. B. B. eröffneten 1906 den elektrischen Betrieb der Simplon-Tunnelstrecke Brig-Iselle, 22 km, nach dem seit 1902 bei den Linien Lecco-Colico-Sondrio und Colico-Chiavenna erfolgreich angewendeten Dreiphasensystem, 3300 V, Periodenzahl 15, in der Wahl des Systems hauptsächlich geleitet durch Rücksichten auf die Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit und besondere Umstände. Nach Vorversuchen wurde 1907 bis 1909 die Linie Seebach-Wettingen, 19,4 km, mit Einphasenstrom von 15 000 V, Periodenzahl 15, mit zwei Lokomotiven und einem Motorwagen regelmässig betrieben. Dadurch wurde mittelbar gezeigt, dass mit dieser Stromart alle Aufgaben der elektrischen Traktion, einzeln und zusammen, im Bereich eines Normalspurbahnnetzes mit einer einpoligen Fahrleitung und einem Minimum von Einrichtungen zur Beschaffung des Fahrstromes vollkommen gelöst werden können. 1910 folgten die Seetal-Bahn, 55 km, meist auf der Landstrasse, und die Martigny-Orsières-Bahn, 20 km, mit Betrieben nach dem Einphasensystem mit, als den besonderen Verhältnissen angemessen betrachteten, anderen Spannungen und Periodenzahlen. 1911 eröffnete die Berner Alpenbahn den elektrischen Betrieb der Linie Spiez-Frutigen, 13 km, nach dem System, welches bei der Linie Seebach-Wettingen vorgeführt wurde, und dehnte denselben 1913 auf die neu erbaute eigentliche Lötschberglinie Frutigen-Brig, 60 km, aus. Im gleichen Jahre eröffnete die Rhätische Bahn den elektrischen Betrieb ihrer Linien im Engadin nach dem gleichen System, nur mit der den Verhältnissen einer Schmalspurbahn angepassten Spannung von 11 000 V.

Die Tabelle V ist eine statistische Darstellung der Entwicklung aller Elektrifizierungen in der Schweiz, welche Normalspurbahnen betrafen. Die Rhätische Bahn wurde einbezogen, weil ihr elektrischer Betrieb grösstenteils durch eine umfangreiche wirkliche Elektrifizierung entstand und in wichtigen Beziehungen dem einer normalspurigen Bahn besonders nahe kommt.

Von 1894 bis 1913 wurde der elektrische Betrieb von 5 Bahnen ganz, von 3 Bahnen teilweise eingeführt. Der Versuchsbetrieb der Linie Seebach-Wettingen ist nicht mitgezählt. Der durchschnittliche Jahresfortschritt betrug von 1894 bis 1913 15,6 km, von 1900 bis 1913 16,2 km. Innerhalb

[1]) Frei nach dem Bericht der Studienkommission vom Mai 1912.

[2])—[2]) Zitiert dem Sinn nach, nicht wörtlich.

D bedeutet Dampfbetrieb bis zur Einführung des elektrischen Betriebes.
E bedeutet elektrischer Betrieb von Anfang an.
A_1 bedeutet Einphasenstrom
A_3 bedeutet Dreiphasenstrom.
C bedeutet Gleichstrom.

Tabelle V.

Elektrifizierung in der Schweiz.

(elektrifizierte Linien in km Betriebslänge)

Pos.	Eisenbahnen	Betriebslängen km		Stromart	Jahr																	
					1894	1899	1903	1906	1910	1913	1916	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928
1	Schweiz. Bundesbahnen	2942[1]	D	A_1 15000 V, $16^2/_3$ ~	—	—	—	—	—	—	—	1	32	122	141	306	376	535	820	925	1413	1589
2			E	A_3 3300 V, $16^2/_3$ ~	—	—	—	22	22	22	22	22	75[2]	75	75	75	75	75	75	75	22	22
3	Seetalbahn		D	A_1 5500 V, 25 ~	—	—	—	—	55	55	55	55	55	55	55	55[3]	55	55	55	55	55	55
4	Orbe-Chavornay	4	E	C 660 V	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	Burgdorf-Thun-Bahn	41[4]	E	A_3 750 V, 40 ~	—	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
6D	Freiburg-Murten-Ins	33	D	C 840 V	—	—	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
6E			E		—	—	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
7D	Bern-Lötschberg-Simplon (BLS)	118	D	A_1 15000 V, $16^2/_3$ ~	—	—	—	—	14	14	24	24	24	45	45	45	45	45	45	45	45	58[5]
7E	(Berner Alpenbahn)		E		—	—	—	—	—	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
8	Martigny-Orsières	20	E	A_1 8000 V, 15 ~	—	—	—	—	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
9D	Rhätische Bahn (Schmalspur)	277	D	A_1 11000 V, $16^2/_3$ ~	—	—	—	—	—	14	14	14	90	105	178	228	228	228	228	228	228	228
9E			E		—	—	—	—	—	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
10	Emmentalbahn (Burgdorf-Langnau)	22	D	A_3 750 V, 40 ~	—	—	—	—	—	—	—	—	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
11	Bern-Schwarzenburg (Normalspur von der BLS betrieben)	21	D	A_1 15000 V, $16^2/_3$ ~	—	—	—	—	—	—	—	—	—	92	92	92	92	92	92	92	92	92
	Erlenbach-Zweisimmen (Normalspur von der BLS betrieben)	24																				
	Gürbetalbahn (Normalspur von der BLS betrieben)	35																				
	Spiez-Erlenbach (Normalspur von der BLS betrieben)	12																				
12	Bern-Neuenburg „Direkte" (Normalspur von der BLS betrieben)	43	D	A_1 15000 V, $16^2/_3$ ~	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	4	4	4	4	43
13	Sihltalbahn (Energie von den SBB)	19	D	A_1 15000 V, $16^2/_3$ ~	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19	19	19	19	19
	Total am Jahresende . . . . . km				4	45	78	100	189	312	322	323	505	723	815	1030	1104	1282	1567	1672	2107	2335[6]
	Zunahme					41	33	22	89	123	10	1	182	218	92	215	74	178	285	105	435	228
						312					11		2012									

1. Inklusive Brünig (Schmalspur), 74 km
2. Im Jahre 1919 wurde die Strecke Brig-Sitten (53 km) provisorisch für den Betrieb mit Dreiphasenstrom elektrifiziert. Der Umbau auf Einphasenbetrieb ist im Jahre 1926 erfolgt.
3. Die Seetalbahn wurde im Jahre 1922 von den SBB übernommen.
4. Inklusive 7 km der Emmentalbahn, Pos. 10.
5. Lengnau-Münster, 13 km, durch SBB betrieben.
6. Stand Ende 1928:
   - 2213 km Einphasenstrom (A_1): 1861 km A_1 15000 V, $16^2/_3$ ~, Normalspur; 277 km A_1 11000 V, $16^2/_3$ ~, Schmalspur; 197 km andere Systeme, Normalspur
   - 85 km Dreiphasenstrom (A_3)
   - 37 km Gleichstrom (C)

   2058 km Normalspur; 277 km Schmalspur

dieser Gruppe von Betrieben kommt Gleichstrom mit 2 verschiedenen Spannungen, Dreiphasenstrom mit 2 verschiedenen Periodenzahlen und Spannungen, Einphasenstrom mit 2 verschiedenen Periodenzahlen und 4 verschiedenen Spannungen vor. Nicht 2 dieser Betriebe haben das gleiche „System". Aber dadurch, dass sie das von der Studienkommission empfohlene System, Einphasenstrom von 15 000 V, Periodenzahl 15, für die der Gotthardlinie technisch ähnliche Lötschberglinie wählte, eröffnete die Berner Alpenbahn die seither von 9 Verwaltungen einheitlich nach diesem System durchgeführten Elektrifizierungen, durch die ein zusammenhängendes normalspuriges und normalelektrisches Bahnnetz von 1861 km Gesamtlinienlänge in der Schweiz entstand.

Von 1914 bis 1918 war der durchschnittliche Jahresfortschritt nur 2,5 km, herrührend davon, dass nur der elektrische Betrieb der Lötschberglinie bis Thun ausgedehnt wurde. Es waren die Kriegsjahre, während welcher der Fortschritt der Elektrifizierung in der Schweiz äusserlich verschwand, dagegen durch die Kohlenteuerung und Kohlennot in Schwung gebracht wurde. Der durchschnittliche Jahresfortschritt von 1919 bis 1928 betrug 201,2 km.

Die Kohlennot erteilte dem Schweizervolk einen eindrücklichen Anschauungsunterricht über die Abhängigkeit des Betriebes des übergrossen Teiles seiner verkehrswichtigsten Eisenbahnen von der Kohlenzufuhr aus dem Ausland. Die Elektrifizierung erschien als eine nationale Aufgabe; sie wurde Gegenstand einer vorwärtstreibenden Politik. Die Bedenken bezüglich der sog. Rentabilität der Elektrifizierung traten weit hinter die Sorge zurück, den Eisenbahnverkehr von der Kohleneinfuhr möglichst unabhängig zu machen. Elektrifizierung wurde eine populäre Forderung, die in der Presse und in den Ratssälen stark vertreten und nur ganz vereinzelt angefochten wurde. Bezüglich der Beschaffbarkeit der grossen Geldmittel herrschte Zuversicht, die in der Folge nicht enttäuscht wurde.

Der Einfluss dieser Lage auf die Elektrifizierung der S. B. B. wird im 4. Kapitel betrachtet. Hier ist zu erwähnen, dass die eidgenössischen Räte im Oktober 1919 das Bundesgesetz „betreffend die finanzielle Unterstützung schweizerischer Eisenbahngesellschaften durch den Bund zum Zwecke der Elektrifizierung bestehender verkehrswichtiger Eisenbahnlinien" annahmen. Dieses Gesetz war wirksam bei der Elektrifizierung von 8 auf der Tabelle V stehenden Bahnen mit einer Gesamtlinienlänge von 388 km. Die Unterstützung bestand in Darlehen zu angemessenen Bedingungen betreffend die Verzinsung und Tilgung, sowie betreffend die finanzielle Mitunterstützung durch die beteiligten Gemeinwesen. Das Gesetz ist noch in Kraft.

Wird angenommen, die 1913 beschlossene Elektrifizierung Erstfeld-Bellinzona hätte sich sowieso bald bis Chiasso und Luzern, also auf 220 km ausgedehnt, so kann die Elektrifizierung von ca. 1800 km, enthalten in der Gesamtlinienlänge von 2335 km, [1]) jedenfalls die Raschheit dieser Elektrifizierung, als eine Folge des Weltkrieges für die Schweiz gelten, die nicht zu beklagen ist.

3. Vorbereitung der Elektrifizierung der Schweizerischen Bundesbahnen.

Die sich auf Linien der S. B. B. beziehenden Arbeiten der Studienkommission dürfen als ein grundlegender Beitrag an die Vorbereitung der Elektrifizierung der S. B. B. angesehen werden, um so mehr, als Vertreter der S. B. B., zuerst auch der noch nicht zurückgekauften Gotthardbahn, gewichtigen Anteil an den Arbeiten nahmen. Die Verwaltung der S. B. B. musste auch Wert darauf legen, die bestimmte Meinung der, der Studienkommission angehörenden verantwortungsbewussten Fachleute über die technischen Grundlagen, die voraussichtliche betriebswirtschaftliche Wirkung und die finanzielle Tragweite einer Elektrifizierung in grösserem Masstabe kennenzulernen, bevor sie sich zur Inangriffnahme eines Werkes entschloss, das sich nach seiner Ausführung zur Ausdehnung schliesslich auf das ganze Netz der S. B. B. eignen sollte.

Die ersten Schritte zur tatsächlichen Vorbereitung der Elektrifizierung der S. B. B. tat der schweizerische Bundesrat, indem er die damalige Gotthardbahngesellschaft veranlasste, bedeutende Wasserrechte in den Kantonen Uri und Tessin zu erwerben, die 1907, bezw. 1909 in Konzessionsverträgen

[1]) Siehe Tabelle V, Summe der letzten Kolonne.

niedergelegt wurden und bei Anlass des Rückkaufs der Gotthardbahn durch die Eidgenossenschaft auf die S. B. B. übergingen.

Die S. B. B. selbst bestellten 1907 beim Baudepartement der Generaldirektion ein besonderes Bureau für elektrischen Bahnbetrieb, welches zunächst die Energie-Versorgung eines umfassenden elektrischen Betriebes der S. B. B. zu studieren, Vorprojekte zur Ausnützung geeigneter grösserer Wasserkräfte und Projekte zur Verwertung der erwähnten Konzessionen auszuarbeiten und die Bewerbung von Konzessionen in andern Teilen der Schweiz technisch vorzubereiten hatte. 1909 erwarben die S. B. B. Wasserrechte an der Binna, 1910 an der Rhone im Oberwallis; 1909 erwarben sie von der Maschinenfabrik Oerlikon deren auf Grund umfangreicher Terrainaufnahmen und eingehender geologischer und anderer Untersuchungen ausgearbeitetes Projekt zur Ausnützung der Wasserkräfte der Sihl (Etzelwerk) und den Anspruch darauf, dass sie sich nach Ablauf der Baufristen, welche in zwei von der Maschinenfabrik Oerlikon bereits erworbenen Konzessionen bedungen waren, selbst um die erforderlichen Konzessionen bewerben konnten.

Diesen Vorarbeiten lag offenbar und wie aus den Akten deutlich zu ersehen ist, die bestimmte Absicht der Verwaltung zugrunde, die umfassende Elektrifizierung der S. B. B. wirklich vorzubereiten.

Dass als erste zu elektrifizierende Linie die Gotthardlinie in Aussicht genommen und wirklich gewählt wurde, braucht nicht mehr besonders gerechtfertigt zu werden. Linien mit starken Steigungen oder langen Tunneln, erst recht bei starkem Verkehr, waren längst selbst nach Ansicht der dampffreundlichen Fachleute diejenigen, deren elektrischer Betrieb die grössten technischen Erleichterungen verschaffen und die bedeutendsten wirtschaftlichen Vorteile bieten kann. In den Ländern, in denen die Ersetzung der „schwarzen Kohle“ durch die „weisse Kohle“ keine bestimmende Rolle spielt, so besonders in den Vereinigten Staaten, wurden bis jetzt keine netzartig ausgedehnten Elektrifizierungen durchgeführt, sondern nur ausgesuchte, meist nicht längere Strecken entweder mit einem mit Dampf nicht mehr genügend zu bedienenden Großstadt- und Vorort-Personenverkehr, oder mit starken Steigungen innerhalb oder auch nur ausserhalb von Tunneln und einem mit Dampf nicht mehr vorteilhaft zu bedienenden Güterverkehr elektrifiziert. So befasste sich denn das Bureau für elektrischen Bahnbetrieb bei der Generaldirektion der S. B. B. mit dem Ausführungsprojekt zur Elektrifizierung der Strecke Erstfeld-Airolo und zum Kraftwerk Amsteg.

Im November 1911 erweiterten die S. B. B. das 1907 bestellte Bureau für elektrischen Bahnbetrieb zu der, den anderen technischen Abteilungen bei der Generaldirektion gleichgeordneten Abteilung für Elektrifizierung, damals „für die Einführung der elektrischen Zugförderung“. Das Amt des dieser Abteilung vorstehenden Oberingenieurs für Elektrifizierung wurde provisorisch dem ständigen technischen Berater übertragen, den die Generaldirektion zu gleicher Zeit für die mit der Einführung des elektrischen Betriebes zusammenhängenden Fragen bestellte. Die nächste Hauptaufgabe der neuen Abteilung war, die bereits in Aussicht genommene Elektrifizierung eines Teiles der Gotthardlinie endgültig zu projektieren und eine Vorlage an den Verwaltungsrat auszuarbeiten.

Die Absicht, nur die Strecke Erstfeld-Airolo, 44,6 km, zu elektrifizieren, wurde fallen gelassen und das Ausführungsprojekt auf die Strecke Erstfeld-Bellinzona, 109,3 km, und auf die zwei Kraftwerke Amsteg und Ritom ausgedehnt, damit ein Betrieb entstehe, in welchem sich die elektrische Traktion möglichst voll sollte auswirken und welcher eine genügende Erfahrungsgrundlage für das weitere Vorgehen sollte liefern können.

Von industrieller und politischer Seite hatten sich inzwischen Stimmen Gehör verschafft zugunsten des Bezuges der elektrischen Energie durch die S. B. B. von den sogenannten privaten oder industriellen Elektrizitätswerken, deren Geschäft es war, das Land, in Interessengebiete geteilt, mit elektrischer Energie zu versorgen. Der Bericht der Generaldirektion vom 9. August 1913 an den Verwaltungsrat, von dem dieser am 25. November zustimmend Kenntnis nahm, schloss folgendermassen:

„Nach den vorstehenden Darlegungen erscheint es für die Bundesbahnen geboten, die Kraftwerke für die Erzeugung der elektrischen Energie selbst zu bauen und zu betreiben, weil nur auf diese Weise die Sicherheit für die Aufrechterhaltung des Betriebes unter allen Verhältnissen und die Sicherheit der Deckung des Energiebedarfes in der Zukunft erlangt wird, und weil ein finanzieller

Vorteil weder für die Bundesbahnen, noch für die Allgemeinheit durch die Übertragung der Krafterzeugung an die Privatindustrie zu erreichen wäre."

„Mit dieser Stellungnahme soll jedoch eine allgemein gültige und für alle Zukunft bindende Regel nicht gegeben sein. Kurze und wenig verkehrsreiche Strecken können, insbesondere wenn sie zwischen mit Dampf befahrenen Linien liegen, unbedenklich an private Werke angeschlossen werden. Eine Verbindung dieser Werke mit den staatlichen Bahnkraftwerken wird ferner bei der Schaffung grösserer hydraulischer Ausgleichanlagen und Stauseen und — unter bestimmten Voraussetzungen — zum Zwecke gegenseitiger Aushilfe erforderlich sein."

Dem Ausführungsprojekt und Kostenvoranschlag zur Elektrifizierung am Gotthard wurde das Einphasensystem mit 15 000 V und $16^2/_3$ Perioden[1]) pro Sekunde zugrunde gelegt, welches von der Berner Alpenbahn für die Lötschberglinie bereits angenommen worden war. Über das geeignetste System wurde aber in den technischen Kreisen der Welt immer noch gestritten. Auch in der Schweiz waren die Fachleute nicht restlos mit dem Einphasensystem einverstanden, wobei zu beachten ist, dass die Frage des Systems nicht unabhängig war von der Frage, ob sich die Bahnverwaltung mit Energie selbst oder bei den industriellen Elektrizitätswerken versorgen soll.

Aus Rücksicht auf den weitergehenden Streit über das System und besondere Umstände behielt sich die Generaldirektion in der Vorlage vom 23. August 1923 betreffend die Elektrifizierung Erstfeld–Bellinzona die endgültige Wahl des Systems zu gegebener Zeit vor. Der Verwaltungsrat genehmigte diese Vorlage und bewilligte den Kredit von rund 39 Millionen Franken für die festen Anlagen am 23. November. Er erteilte damit den Auftrag zu einer Elektrifizierung, die, wenn Linienlänge, Tunnellänge, Stärke und Länge der Steigungen, Einzelzugsleistungen, Fahrgeschwindigkeiten, Zugszahl und Gesamtförderleistung zusammen berücksichtigt werden, von keiner anderen, in einem Mal beschlossenen und durchgeführten Elektrifizierung übertroffen wurde. Ein Programm für weitere Elektrifizierungen wurde nicht aufgestellt, auch von keiner Seite gewünscht. Doch konnte als selbstverständlich gelten, dass sich die Gotthard-Elektrifizierung wenigstens bis Chiasso und Luzern ausdehnen solle, wenn der Erfolg der Elektrifizierung Erstfeld-Bellinzona dazu veranlasst und die Geldmittel beschafft werden können.

Die Vorbereitungen zur Elektrifizierung der S. B. B. können als durch die Kreditbewilligung des Verwaltungsrates am 23. November 1913 abgeschlossen betrachtet werden; denn die Vorbereitungen zu den, damals nicht erwartbar rasch aufeinanderfolgenden Elektrifizierungen weiterer Linien der S. B. B. lassen sich von den Ausführungsarbeiten nicht trennen. Die Verhältnisse, die der Weltkrieg schuf, sorgten dafür, dass am Gotthard der Anfang zu einer bis 1928 ununterbrochenen Elektrifizierung gemacht wurde.

4. Baugeschichte.

Das Äussere der Baugeschichte der Elektrifizierung der S. B. B. kann kaum deutlicher dargestellt werden als durch die Tafel I. Die selbständigen Bauobjekte, die in der Regel einzeln Gegenstand eines Projektes, einer Vorlage an den Verwaltungsrat und einer Kreditbewilligung durch diesen waren, sind als rechteckige Flächenstücke, in gewissen Fällen mit getreppter Seite rechts, dargestellt. Die linke Seite liegt in der Zeitskala so, dass sie die Zeit angibt, zu welcher die betreffende Vorlage durch den Verwaltungsrat genehmigt wurde. Die rechte Seite liegt so, dass sie angibt, wann das betreffende Bauobjekt fertig und dem Betrieb übergeben wurde. Die getreppten Seiten machen diese Angabe bei Bauobjekten, die stückweise fertig und dem Betrieb übergeben wurden. Die getreppte punktierte Linie gibt die Jahre an, innerhalb welcher die Linien nach dem am 4. Mai 1923 vom Verwaltungsrat der S. B. B. angenommenen Programm dem elektrischen Betrieb zu übergeben waren.

[1]) $16^2/_3$ ist die in der Schweiz, Deutschland und Oesterreich angenommene Normalfrequenz des Einphasenstromes, in Italien auch des Dreiphasenstromes für Bahnbetrieb; sie ist die auf dem europäischen Kontinent geltende Normalfrequenz des industriellen Dreiphasenstromes dividiert durch 3. Die Berner Alpenbahn, welche 15 angenommen hatte, konnte ohne weiteres zu $16^2/_3$ übergehen.

Seite 14, Zeile 17 von oben,

lies 1913 statt 1923.

Die, die einzelnen Linienelektrifizierungen darstellenden Rechtecke bilden eine zusammenhängende Fläche, welche die Ununterbrochenheit der Elektrifizierung von 1916 bis 1928 veranschaulicht. Rechts von dieser Fläche liegt elektrischer Betrieb, links von derselben fortschreitende Vorbereitung und Projektierung.

20 Linienelektrifizierungen schlossen den Bau von Übertragungsleitungen und Unterwerken (Transformatorstationen) ein; alle umfassten, freilich in sehr verschiedenem Masse, Tunneltrockenlegung, Hebung von Überbauten und Senkung von Geleisen, Umbau und Sicherung der Stationsbeleuchtungsanlagen, sowie der Schwachstromanlagen der S. B. B. und der eidg. Telegraphen- und Telephon-Verwaltung. Den Linienelektrifizierungen entsprechend musste der Kraftwerkbau, überhaupt die Energiebeschaffung, fortschreiten, zwar mit weniger, dafür mit grösseren Schritten; ebenso musste die Anschaffung von Lokomotiven und Motorwagen, die Einrichtung der elektrischen Zugsheizung, der Umbau und Neubau von Depots und Werkstätten, sowie deren Neueinrichtung, endlich die Verstärkung und der Umbau von Brücken fortschreiten.

Keine neu elektrifizierte Linie konnte dem Betrieb übergeben werden, ohne dass die allermeisten ihretwegen unternommenen Arbeiten und Anschaffungen wirklich durchgeführt waren. Wenn dies bedacht wird, dürfte der Blick auf die Tafel I, besonders auf die, die Folge der Betriebseröffnungen zeigende Treppenlinie rechts erkennen lassen, dass es der Verwaltung der S.B.B. gelang, das sehr mannigfaltig zusammengesetzte und umfangreiche Werk der 1928 vorläufig abgeschlossenen Elektrifizierung mit befriedigend regelmässigem Fortschritt zu schaffen.

Aus der Bemerkung am Schlusse des 3. Kapitels folgt, dass die Baugeschichte die Entwicklungsgeschichte der Elektrifizierung und des elektrischen Betriebes der S. B. B. vom November 1913 an ist. Schon am 1. Mai 1914 bewilligte der Verwaltungsrat den Kredit zum Kraftwerk Massaboden, welches die 1906 provisorisch gemachte Anlage zur Erzeugung von Dreiphasenenergie für den elektrischen Betrieb im Simplon-Tunnel dringend zu ersetzen hatte. Das Kraftwerk Massaboden wurde im Dezember 1915 dem Betrieb übergeben; es war im wesentlichen den Bauerschwernissen und der Teuerung der Kriegszeit noch entgangen.

Als der Weltkrieg ausbrach, waren die ersten Bauarbeiten der Gotthard-Elektrifizierung zur Ausschreibung bereit. Was war natürlicher, als dass, wie im ganzen Lande, bei den S. B. B. alle Bauten, die nicht unbedingt dringend oder schon erheblich weit fortgeschritten waren, bis auf weiteres verschoben wurden? In das Budget der S. B. B. für 1915 wurden keine Bauausgaben für die Gotthard-Elektrifizierung eingesetzt.

Der Weltkrieg belebte den in- und ausländischen Absatz vieler Industrien der Schweiz stark und rief viele neue Fabrikationsbetriebe ins Leben. Das Steigen des Bedarfes an elektrischer Energie gab in gewissen Kreisen Anlass zu der Ansicht, die S. B. B. sollten wenigstens die bewilligten Kraftwerke unverzüglich bauen. Noch weitere Kreise beanstandeten die Verschiebung der Elektrifizierung überhaupt und zwar gerade im Hinblick auf den Weltkrieg. Im Herbst 1915 wurden Bauausgaben für die Gotthard-Elektrifizierung in das Budget der S. B. B. für 1916 eingesetzt, die Aufnahme der Arbeiten also vorgesehen. Am 14. Dezember 1915, zur Zeit der Session der eidgenössischen Räte, fand im Grossratssaal in Bern eine öffentliche Versammlung statt, zu welcher der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband eingeladen hatte, hauptsächlich veranlasst durch die verbreitete Meinung, die Generaldirektion der S. B. B. zögere überhaupt mit der Elektrifizierung und deshalb auch mit der endgültigen Wahl des Systems. Zwei Referenten sprachen eingehend für die Durchführung der Gotthard-Elektrifizierung nach dem, vom Verwaltungsrat der S. B. B. 1913 bereits genehmigten, nach dem Einphasensystem ausgearbeiteten Projekt; ein Diskussionsredner führte aus, wie sehr sich die S. B. B. die endgültige Wahl des Systems und die Art der Anwendung überlegen sollten. Die Generaldirektion der S. B. B. beschränkte sich darauf, durch den Vorsteher ihres Baudepartementes die Aufnahme der Ausführungsarbeiten am Gotthard unter Hinweis auf das bereits vorliegende Budget für 1916 in nahe Aussicht zu stellen.

Am 18. Februar 1916 nahm der Verwaltungsrat der S. B. B. zustimmend Kenntnis von dem Berichte der Generaldirektion vom 12. Januar, in welchem diese ihre endgültige Wahl des Ein-

phasensystems und ihr Festhalten an der, dem 1913 genehmigten Projekt zugrunde gelegten Art der Anwendung eingehend begründete. Ein Blick auf die Tabelle IV lehrt, dass die S. B. B. mit der Wahl dieses Systems nicht allein waren oder blieben. Die Deutsche Reichsbahn, die Oesterreichischen Bundesbahnen, sowie die Staatsbahnen von Schweden und Norwegen verwenden das Einphasensystem mit den gleichen Normen der Spannung und Periodenzahl als Normalsystem für ihre Fernbahnnetze; die Gesamtlänge der von diesen Verwaltungen nach diesem System schon heute betriebenen Linien beträgt rund 2700 km, sodass die Gesamtlänge der so betriebenen Linien, weitaus vorwiegend Hauptlinien, in Europa rund 4600 km misst, weit mehr als die Gesamtlänge der nach diesem oder jenem anderen System betriebenen vergleichbaren Linien. Der Hinweis hierauf und auf den praktischen Erfolg der Elektrifizierung der S. B. B. macht eine rückblickende Würdigung der Gründe überflüssig, aus denen das Einphasensystem endgültig gewählt wurde.

Die endgültige Wahl des Systems ermöglichte die Ausarbeitung aller Ausführungspläne und der Unterlagen zu den Ausschreibungen und Vergebungen von Bauarbeiten und Lieferungen aller Art, die nach einem Programm zu erfolgen hatten, das aus dem, auf Grund ungenauer Kenntnis der bevorstehenden besonderen Schwierigkeiten für möglich gehaltenen Termin der Eröffnung des elektrischen Betriebes Erstfeld-Bellinzona, Ende 1920, und den voraussichtlichen Ausführungszeiten der zu vergebenden Arbeiten und Lieferungen abgeleitet war. Grössere Bauarbeiten konnten erst im Herbst wirklich eröffnet werden.

Der elektrische Betrieb Göschenen-Airolo (Gotthard-Tunnel) wurde am 13. September, Erstfeld-Airolo am 18. September, Erstfeld-Biasca am 12. Dezember 1920, und, weil die Vollendung der Erweiterung des Bahnhofes Bellinzona abgewartet werden musste, Erstfeld-Bellinzona [1]) am 29. Mai 1921 eröffnet. Die Bauzeit betrug daher 4 bis $4^1/_2$ Jahre.

Die besonderen, 1916 noch bei weitem nicht in der später wirklich gewordenen Grösse voraussehbaren Schwierigkeiten der Elektrifizierung Erstfeld-Bellinzona rührten hauptsächlich von folgenden Umständen her:

Es fehlte am Angebot auf dem Arbeitsmarkt des Baugewerbes, sodass die Bauunternehmer zum Teil sehr langsam vorwärts kamen und die Termine nicht einhalten konnten; die Verwendung von Internierten hatte keinen Erfolg.

Die Rationierung der Lebensmittel erschwerte die Verpflegung der Arbeiter.

Die Löhne und Materialpreise stiegen und konnten nicht mehr als bekannte Grössen betrachtet werden, sodass es unmöglich wurde, Arbeiten, zum Teil auch Lieferungen, zu festen Preisen zu vergeben [2]).

Die Liefertermine für ausländische Rohmaterialien waren so lang und unsicher, dass Bestellungen bei der Maschinenindustrie sehr früh gemacht werden mussten, damit rechtzeitige Lieferung erwartet werden konnte.

Der Bezug von Material (Eisen, Kupfer) aus dem Ausland war mit grossen Umtrieben verknüpft und bezüglich der Lieferzeit unsicher.

Die Teuerung oder Unerhältlichkeit von Material und die Teuerung der Arbeit zwang zu mancherlei Änderungen von Konstruktionen und Anordnungen.

Der Beschluss des Verwaltungsrates der S. B. B. betreffend die Elektrifizierung der Monte Ceneri-Linie (Bellinzona-Chiasso) anfangs 1918, erst recht die Gutheissung des das ganze Netz der S. B. B. umfassenden Elektrifizierungsprogrammes im gleichen Jahre, zwangen zu Erweiterungen der Projekte zu den Kraftwerken zum Zwecke der Verfügbarmachung möglichst grosser Leistung und Energiemenge.

Für den Bau der Fahrleitungen und die Legung der Kabelleitungen fanden sich keine geeigneten Unternehmer, sodass, im Gegensatz zu fast allen einigermassen grösseren Arbeiten, zum Regiebau Zuflucht genommen werden musste.

Die Stärke, mit welcher die meisten dieser Umstände die Arbeiten am Gotthard erschwerten, spiegelt sich ziemlich zutreffend in der Bewegung der Preise der Materialien und der Löhne, welche

[1]) Bis Castione schon am 4. April 1921.

[2]) Siehe Tafel I, unten.

für die Zeit der ganzen Elektrifizierung auf der Tafel I unten veranschaulicht ist. Diese Darstellung lässt einigermassen ermessen, wie stark der Einfluss der Teuerung auf die Grösse der Überschreitung des 1913 bewilligten Kredites, aber auch auf die Grösse der in den Jahren 1917 bis 1922 bewilligten Kredite sein musste. Die Raschheit, mit der die Teuerung zunahm und dann abnahm, führte einen gewissen Ausgleich von Bemessung und Beanspruchung der Kredite aus der Zeit von 1913 bis 1922 herbei. Trotz sehr bedeutenden Erweiterungen des Projektes zur Gotthard-Elektrifizierung betrug die Überschreitung der Kreditgesamtsumme von rund 222 Millionen Franken nur 17 %.

Die erwähnten Umstände wirkten alle unmittelbar oder mittelbar als Hindernisse und Verzögerungsursachen. Dagegen erleichterte zeitweise die Flauheit des Verkehrs die Fahrleitungsbauten nicht unwesentlich. Die umfangreichen Tunneltrockenlegungen, Geleisesenkungen und Brücken-Verstärkungen und -Umbauten zwangen immer wieder zu streckenweise eingeleisigem Betrieb, was dem Fahrleitungsbau im allgemeinen zustatten kam.

Im Interesse der Einhaltung des Termines der Eröffnung des elektrischen Betriebes, Ende 1920, wurde vom Frühjahr 1917 an der Bau des Kraftwerkes Amsteg zugunsten des Baues des Kraftwerkes Ritom, welches zunächst allein genügen konnte, verlangsamt. Das Kraftwerk Amsteg kam daher erst im Dezember 1922 in Betrieb, zu welcher Zeit es wegen der Ausdehnung des elektrischen Betriebes über Luzern und Zug hinaus nötig wurde.

Das Kraftwerk Ritom wurde erstmals am 1. Juli 1920 in Betrieb gesetzt. Dabei erwies sich der Druckstollen als undicht. Verhältnismässig einfach und rasch liess sich ohne Beeinträchtigung der Leistung des Kraftwerkes der Druckstollen provisorisch in einen Freilaufstollen verwandeln und arbeitete als solcher ohne Störung bis im Frühjahr 1928, um nach der Armierung des Wasserschlosses vom Herbst des gleichen Jahres an als Druckstollen nach dem ursprünglichen Projekt weiter zu arbeiten. Dieser, übrigens bei der Elektrifizierung einzige schwerere technische Zwischenfall vermochte nicht, die Eröffnung des elektrischen Betriebes im Gotthard-Tunnel länger als bis zum 13. September 1920 zu verzögern.

Bis zur Eröffnung des elektrischen Betriebes mussten die Isolatoren der Fahrleitung in den Tunneln vorauszusehendermassen so stark verrusst werden, dass sie im Betrieb bei der vollen Spannung von 15000 V nicht sicher genug sein konnten. Deshalb war im Kraftwerk Ritom, in den Unterwerken Göschenen, Giornico und Giubiasco, sowie auf den zum Dienst während der ersten Monate benötigten Lokomotiven eine Umschaltung von 7500 V auf 15000 V vorbereitet, die absichtlich nur unter Anwendung von Werkzeugen, aber binnen einer Viertelstunde sicher vollzogen werden konnte. Nachdem von der Linie Erstfeld-Biasca die Dampflokomotiven verschwunden waren, wurden die Isolatoren während des Betriebes mit 7500 V einer gründlichen Reinigung unterzogen. Am 29. Mai 1921, am Tage der Eröffnung des elektrischen Betriebes bis Bellinzona, wurde die ganze Anlage von 7 Uhr 50 bis 8 Uhr 30 abgestellt, die Umschaltung von 7500 V auf 15000 V vollzogen und der Betrieb mit der vollen Normalspannung pünktlich und ohne Zwischenfall aufgenommen. Diese Vorsichtsmassregel wurde nur am Gotthard getroffen und war schon in der Vorlage von 1913 ausdrücklich vorgesehen.

Die Elektrifizierung Erstfeld-Bellinzona war die schwerste nicht nur, weil sie die erste und tunnelreichste war und ausser bezüglich der Fahrgeschwindigkeit lauter gewissermassen maximale elektrotechnische und maschinentechnische Aufgaben umfasste, sondern auch, weil sie mit ausnahmsweise zahlreichen kleineren und grösseren bahnbaulichen Arbeiten verknüpft war. Von diesen waren freilich die den Kosten nach zusammen bei weitem grössten, die Erweiterungen der Stationsanlagen in Göschenen, Airolo und Bellinzona und die Verstärkung oder der Umbau sozusagen aller Brücken, nicht eigentliche Elektrifizierungsarbeiten, sondern bahnbauliche Begleitungsarbeiten; bei der sonst nicht abwendbar gewesenen Einführung leistungsfähiger Dampflokomotiven hätten sie doch in kurzer Zeit ausgeführt werden müssen, wurden also durch die Elektrifizierung nur beschleunigt veranlasst.

Die Verteilung der Arbeiten unter verschiedene Dienststellen, die Bauorganisation, welche bei der Gotthard-Elektrifizierung vorgenommen wurde, wurde in grundsätzlicher Beziehung für alle folgenden Elektrifizierungen beibehalten und soll im 5. Kapitel betrachtet werden. Es soll hier nur erwähnt werden, dass 1916 in Amsteg und Piotta je ein der Abteilung für Elektrifizierung bei der

Tabelle VI.

Elektrifizierung Erstfeld-Bellinzona	Datum [1])	Übrige Elektrifizierungstätigkeit der S.B.B.
	1916	
Wahl des Einphasensystems	12. I. (18. II.)	
Vergebung: Druckleit. Ritom, Unterbau	4. VIII. (12. VIII.)	
Vergebung: Umlaufstollen Amsteg-Pfaffensprung	29. VIII. (30. IX.)	
Vergebung: Druckleit. Amsteg, Unterbau	12. XII. (17. II. 1917)	
	1917	
Bestellung: Turbinen Ritom	30. I. (8. V.)	
Bestellung: Generatoren Ritom . . .	30. I. (8. V.)	
Bestellung: 4 elektr. Probelokomotiven	12. VI. (31. VI.)	
Vergebung: Fundamente Zentrale Ritom	28. VI.	
Vergebung: Druckleitung Ritom . . .	28. VI. (30. VIII.)	
	6. XI. (21. XI.)	Elektrifizierung Bern-Scherzligen, Kredit Fr. 3000000 Elektrifizierung Sitten-Brig, Kredit Fr. 6000000
	1918	
	7. II. (31. VIII.)	Elektrifizierung Monte Ceneri, Kredit Fr. 14800000
Vergebung: Druckstollen und Wasserschloss Ritom	14. III. (3. V.)	
Bestellung: 20 elektr. Lokomotiven . .	26. III. (2. V.)	
	1. VI. (30. VIII.)	Programm zur Elektrifizierung des ganzen Netzes der S.B.B.
Neue Werkstätte Bellinzona, Kredit Fr. 2170000	30. VII. (17. VIII.)	
	12. XI.	Vertrag mit BKW betr. Energie für Bern-Scherzligen
	14. XII. (27. II. 1919)	Bestellung: 2 elektr. Lokomotiven für Sitten-Brig, Kredit Fr. 1310000
	1919	
	7. I.	Elektrischer Betrieb Simplon-Tunnel II
Erste Probelokomotive geliefert . . .	21. III.	
	28. III. (29. IV.)	Kraftwerk Barberine, Kredit Fr. 37500000
	3. IV. (27. IV.)	Elektrifizierung Erstfeld-Luzern, Immensee-Rothkreuz, Art-Goldau-Zug-Zürich, Luzern-Zug, Kredit Fr. 43500000
Zweite Probelokomotive geliefert . .	16. IV.	
Dritte Probelokomotive geliefert . . .	19. IV.	
Bestellung: Turbinen Amsteg	14. V. (15. VII.)	
Bestellung: Generatoren Amsteg . . .	14. V. (15. VII.)	
Vergebung: Druckstollen und Wasserschloss Amsteg	20. V. (15. VII.)	
Bestellung: 23 elektr. Lokomotiven . .	30. V. (15. VII.)	
	7. VII.	Elektrischer Betrieb Bern-Scherzligen
	31. VII.	Elektrischer Betrieb Sitten-Brig
Letzte Probelokomotive geliefert . . .	7. VIII.	
	2. X.	Pro memoria: Bundesgesetz betr. Unterstützung der Elektrifizierung von Privatbahnen
	2./6. IX. (7. X.)	Konzession Aarewasserkraft Rupperswil
	22. XII. (28. I. 1920)	Bestellung: 7 elektr. Lokomotiven Kredit Fr. 5515000
	1920	
Vergebung: Fundamente der Zentrale Amsteg	13. IV. (1. V.)	
	18. V. (5. VII.)	Bestellung: 30 elektr. Lokomotiven Kredit Fr. 26650000
Erste Inbetriebsetzung Kraftwerk Ritom	1. VII.	
Zweite Inbetriebsetzung Kraftw. Ritom	12. IX.	
Elektr. Betrieb: Göschenen-Airolo-Ambri	13. IX.	
	28. IX. (21. X.)	Elektrifizierung Sitten-Lausanne, Kredit Fr. 40000000
Elektrischer Betrieb:		
Erstfeld-Airolo-Ambri	18. X.	
Erstfeld-Biasca	12. XII.	
	1921	
Elektrischer Betrieb:		
Erstfeld-Castione	4. IV.	
	7. V. (24. V.)	Bestellung: 32 elektr. Lokomotiven und 4 Motorwagen, Kredit Fr. 24040000
Erstfeld-Bellinzona und Umschaltung von 7500 V auf 15000 V	29. V.	
	1. IX. (1. X.)	Werkstätte Zürich, Kredit Fr. 2470000
	27. XII. (9. II. 1922)	Elektrifizierung Luzern-Olten-Basel, Kredit Fr. 28300000

[1]) Das eingeklammerte Datum rechts ist dasjenige der verwaltungsrätlichen Genehmigung der betreffenden Vorlage der Generaldirektion mit dem Datum links.

Generaldirektion zugeteiltes Kraftwerk-Bauleitungsbureau und am Sitz der Kreisdirektion in Luzern ein dem Oberingenieur für Elektrifizierung technisch unterstelltes Leitungsbau-Bureau (später Bureau für Elektrifizierung des Kreises) eingerichtet wurden.

Obwohl schon 1918 die Elektrifizierung der Monte Ceneri-Linie beschlossen wurde und bereits in Ausführung genommen war, bestimmte die Eröffnung des elektrischen Betriebes Erstfeld-Bellinzona in zwei Beziehungen das Ende des ersten Abschnittes der Baugeschichte der Elektrifizierung der S. B. B. Erstens war die grosse erste, 1913 beschlossene Elektrifizierung durchgeführt, zweitens war die umfassende Elektrifizierung des Bundesbahnnetzes auf Grund mehrerer Beschlüsse des Verwaltungsrates bereits im Gange.

Folgende, die Zeit von 1916 bis 1922 umfassende Nebeneinanderstellung von Beschlüssen des Verwaltungsrates und Bauereignissen, links die Gotthard-Elektrifizierung, rechts die übrige Elektrifizierungstätigkeit der S. B. B. betreffend (Tabelle VI), stellt deutlich dar, wie die 1917 sich verstärkende Kohlenteuerung und Kohlennot den Anstoss zu einer wuchtigen Inangriffnahme der umfassenden Elektrifizierung durch die Verwaltung der S. B. B. gab.

Als die Gotthard-Elektrifizierung bis zur Eröffnung des elektrischen Betriebes Erstfeld–Bellinzona gediehen war, hatten die Kredite, welche der Verwaltungsrat der S. B. B. von Mitte 1917 an für weitere Elektrifizierungen (feste Anlagen und elektrische Lokomotiven) bewilligte, bereits den Gesamtbetrag von rund 200 Millionen Franken erreicht.

Die sogenannten Notelektrifizierungen Bern-Scherzligen und Sitten-Brig wurden den S. B. B. nahegelegt als Zugeständnisse an die verbreitete Ansicht, die S. B. B., deren eben erst angefangene Gotthard-Elektrifizierung noch lange keine Kohle sparen konnte, sollten im Hinblick auf die Kohlenrationierung nicht nur durch Verminderung ihrer Fahrleistungen Kohle sparen, sondern schnell anderswo als am Gotthard etwas elektrifizieren. Es konnten nur die beiden genannten Linien in Frage kommen, weil nur bei ihnen die Anlehnung an vorhandene Betriebe möglich war, bei der ersten nach dem Einphasensystem an den Lötschberg, bei der zweiten nach dem Dreiphasensystem an den Simplon. Der elektrische Betrieb Scherzligen-Bern bot ein grösseres Interesse sowohl als Dauerzustand, als auch als Gelegenheit zu Versuchen mit den für den Gotthard bestellten „Probelokomotiven". Die Anlage wurde denn auch so ausgeführt, dass sie unverändert beim jetzigen Verkehr vollständig genügt. Der elektrische Betrieb Sitten-Brig bot ein kleineres Interesse, weil es von vornherein feststand, dass er in absehbarer Zeit vom Dreiphasensystem auf das Einphasensystem umgestellt werden müsse. Dies geschah in der Tat 1926.

Die Monte Ceneri-Elektrifizierung wurde vom Verwaltungsrat am 31. August 1918 als Teil der sog. Verbesserung der Monte Ceneri-Linie beschlossen. Sie ermöglichte die rascheste und billigste dauerhafte Lösung des bereits Jahre alten Problems, der Linie Bellinzona-Chiasso die erforderliche Leistungsfähigkeit zu geben. Die bereits grosse Kohlennot war wesentlich mitbestimmend. Diese ist es auch, welche die Stimmung für die umfassende rasche Elektrifizierung der S. B. B. in weiten Kreisen des Volkes sehr stark werden liess und politische Kräfte in Bewegung setzte. Unter diesen Umständen war ein die Elektrifizierung des ganzen Netzes der S. B. B. umfassendes Programm, das schon 1917 gewünscht wurde, das beste Mittel, mit dem die Tragweite des Werkes nach Bauzeitbedarf und Geldbedarf vor Augen geführt werden konnte. Nach diesem Programm sollte das ganze Netz der S. B. B. in 3 Teilen oder Liniengruppen von ca. 1100 km, ca. 600 km und ca. 1000 km mit je 10 Jahren Bauzeit, also ganz etwa bis 1939 elektrifiziert werden. Die Kosten wurden zu ca. 750 Millionen Franken[1]) geschätzt. Der Verwaltungsrat der S. B. B. genehmigte dieses Programm am 30. August. Es befriedigte nicht allgemein und veranlasste im Dezember 1918 das Postulat Wettstein im Ständerat, nach welchem die Bauzeit um 10 bis 15 Jahre verkürzt werden sollte. Die Finanzierung auch nur des ersten Teiles dieser Gesamtelektrifizierung wurde wenig erörtert; sie machte in der Folge aus verschiedenen Gründen keine Schwierigkeiten.

[1]) Ohne elektrisches Rollmaterial.

Das Programm von 1918 war als Arbeitsprogramm nicht geeignet, weil es keine Reihenfolge der Linienelektrifizierungen festlegte, sondern nur die Linien jeder Gruppe aufzählte und damit einem gewissen Wettbewerb der interessierten Landesteile rief. Aber es hatte das Gute, dass es mit der grossen Gesamtlänge und der geographischen Verteilung der Linien der ersten Gruppe und mit der auf diese entfallenden Bauzeit von 10 Jahren eine bestimmte Grundlage zur Projektierung eines grossen Teiles der Energieversorgung und zur Schaffung einer Bauorganisation von bestimmter Leistungsfähigkeit lieferte. Bis Ende 1928 waren im Jahresdurchschnitt etwa 110 km dem elektrischen Betrieb zu übergeben.

Unter der Herrschaft des Programmes von 1918 musste zur Energieversorgung des im Kreis I entstehenden elektrischen Betriebes das Kraftwerk Barberine auf Grund einer bereits erworbenen Konzession in Angriff genommen und die Erwerbung der Konzession für das Kraftwerk Vernayaz vorbereitet werden. Bei der Unsicherheit einer 10 oder mehr Jahre weit reichenden Verkehrs- und Energiebedarfs-Prognose musste an weitere geeignet gelegene Wasserkräfte gedacht werden. So wurde das Recht zur Ausnützung der Aare durch ein Kraftwerk Rupperswil erworben und die Erwerbung der Wasserrechte für das Etzelwerk weiter verfolgt. Dem allen musste ein Plan für die künftige Versorgung des ganzen Netzes der S. B. B. mit Energie zugrunde gelegt werden, der sich elastisch der Entwicklung anpassen konnte.

Der weitere Verlauf der Linienelektrifizierungen gibt zu besonderen baugeschichtlichen Bemerkungen keinen Anlass. Sie verliefen immer regelmässiger, weil die ausführenden Dienststellen mit ihren Aufgaben immer vertrauter wurden.

Nachdem sich die S. B. B. an der Bekämpfung der Arbeitslosigkeit mit zahlreichen Bauten im Kostenbetrag von vielen Millionen Franken beteiligt hatten, bei denen für die Industrie- und Gewerbe-Betriebe mit höher qualifizierten Arbeitskräften nicht viel abfiel und für die S. B. B. auch nur einigermassen den Kapitalzinsen entsprechende Betriebsersparnisse in absehbarer Zeit nicht herausschauen konnten, erwog die Generaldirektion die Beschleunigung der Elektrifizierung, welche, wie bereits feststand, das Kapital zu verzinsen und den Betrieb zu verbilligen vermochte, als Mittel zur Herbeiführung mannigfaltiger industrieller und gewerblicher Beschäftigung.

Der Verwaltungsrat der S. B. B. genehmigte am 4. Mai 1923 das von der Generaldirektion aufgestellte Programm zur „beschleunigten" Elektrifizierung, nach welchem die Linien, die nach dem Programm von 1918 etwa bis Ende 1933 zu elektrifizieren waren, bis Ende 1928 elektrifiziert werden sollten. Das Programm stützte sich auf eigentliche Projektierung und Kostenveranschlagung. Nach demselben sollte sich der elektrische Betrieb der S. B. B., Simplon-Tunnel und Seetalbahn nicht inbegriffen, bis Ende 1928 auf 1509 km erstrecken und die am Gotthard angefangene Elektrifizierung, elektrisches Rollmaterial inbegriffen, die Baukostensumme von 760 Millionen Franken erreichen. Seine Ausführung sollte an die Bedingung geknüpft sein, dass die Eidgenossenschaft einen Beitrag von 60 Millionen Franken an die Kosten der „beschleunigten" Elektrifizierung leiste im Hinblick auf deren Wirkung auf den Beschäftigungsstand in Industrie und Gewerbe. Die Eidgenössischen Räte bereicherten das Programm um eine Linie[1]) und bewilligten den Beitrag am 2. Oktober 1923.

Die Annahme des Programmes zur „beschleunigten" Elektrifizierung bestimmt das Ende des zweiten Abschnittes dieser Baugeschichte.

Im Programm zur „beschleunigten" Elektrifizierung war die Reihenfolge der Linienelektrifizierungen und die Jahre der Durchführung derselben festgelegt. Es war also eine brauchbare Grundlage zu einem allgemeinen Arbeitsprogramm mit bestimmten Terminen vorhanden, aus dem die ausführenden Dienststellen die Programme zu ihren Vorbereitungen und Ausführungsarbeiten ableiten konnten. Bei der Bemessung des Umfanges des Programmes wurde berücksichtigt, dass der Bau des Kraftwerkes Vernayaz die notwendige Folge des eben vollendeten Baues des Kraftwerkes Barberine sei. Es wurden daher in das Programm so viele Linien aufgenommen, dass die durch das Kraftwerk Vernayaz verstärkte Energieversorgung der S. B. B. 1928 eine befriedigende Ausnützung erfahren, aber

[1]) Bern–Biel (–Lengnau–) Münster–Delsberg, 37 km.

voraussichtlich einige Jahre über 1928 hinaus genügen konnte. Die Frage, wann und in welchem Ausmasse weiter elektrifiziert und wie die Energieversorgung entsprechend erweitert werden solle, konnte so offen gelassen werden; ihre Beantwortung musste von Umständen abhängig gelassen werden, die noch nicht bekannt sein konnten. In der Folge kamen die im Programm nicht vorgesehenen Elektrifizierungen Rapperswil-Wattwil (Ricken) und Sargans-Buchs (Anschluss an den elektrifizierten Arlberg) hinzu; auch entwickelte sich der Verkehr stärker als vorausgesehen wurde. Die Energieversorgung wurde daher schon während der Durchführung der „beschleunigten" Elektrifizierung durch den Abschluss eines Vertrages mit den Bündner Kraftwerken und durch den Bau des Nebenkraftwerkes Trient verstärkt.

Da die Kraftwerkgruppe Vernayaz-Barberine viel mehr Energie zu erzeugen vermochte, als die in das Programm aufgenommenen Linien der Westschweiz beanspruchten, die Kraftwerkgruppe Amsteg-Ritom dagegen viel weniger, als die Linien der Zentral- und Nord-Schweiz beanspruchten, war die Durchführung des Programmes mit dem Bau einer besondern Übertragungsleitung mit 132 000 V Betriebsspannung verknüpft, durch welche die erste Kraftwerkgruppe mit dem an die zweite Kraftwerkgruppe angeschlossenen Übertragungsleitungsnetz mit 66 000 V Betriebsspannung in Rupperswil verbunden wurde. Das Etzelwerk mit grossem Stausee, zu dem die Konzession fehlte, und das Kraftwerk Rupperswil, zu dem die S. B. B. die Konzession hatten, das aber als grosses reines Flusskraftwerk des Energieausgleiches durch ein akkumulierendes Kraftwerk bedurfte, wurden für eine bedeutende Erweiterung der Energieversorgung nach 1928 aufgespart.

Von 1919 bis und mit 1923 wurden durchschnittlich rund 75 km Linie pro Jahr dem elektrischen Betrieb übergeben. Das Programm von 1923 verlangte rund 235 km, schliesslich 245 km pro Jahr. Die bereits vorhandene Bauorganisation bedurfte trotzdem keiner Erweiterung oder personellen Verstärkung; das Elektrifizierungspersonal nahm vielmehr von 1923 an langsam ab. Es war nur noch eine grosse Kraftwerksbaute im Gang; bei der Festlegung der Reihenfolge der Linien war auf eine gleichmässige Beschäftigung der an den Elektrifizierungsarbeiten beteiligten Dienststellen Bedacht genommen worden. Deshalb und weil an der Reihenfolge der Linien festgehalten wurde, konnte das Programm zur „beschleunigten" Elektrifizierung mit zunehmender Sicherheit ohne Stockung bis zum Schlusse durchgeführt und die Betriebseröffnungstermine mit einer unwesentlichen Ausnahme am Anfang eingehalten oder unterschritten werden. Eine einzige Betriebseröffnung gelang wegen der Mangelhaftigkeit einer Lieferung von Isolatoren nicht sofort, sondern erst nach einigen Tagen.

In der Tat mussten im wesentlichen alle in der umfassenden Elektrifizierung der S.B.B. steckenden technischen Hauptaufgaben schon im Zusammenhang mit der Gotthard-Elektrifizierung gelöst und für alle Anlageteile brauchbare Anordnungen und Konstruktionen gefunden werden. Bei den folgenden Elektrifizierungen handelte es sich im wesentlichen um Anwendung von schon vorhandenen, freilich mit Verbesserung, Verbilligung, Vereinfachung und Normalisierung. Dies gilt sowohl für die ortsfesten Anlagen, als auch für die elektrischen Fahrzeuge, bei welch' letzteren die Leistung schrittweise erhöht wurde.

Die Entwicklung der angewendeten Bauarten und Konstruktionen, besonders der elektrischen Triebfahrzeuge, kann geschichtlich hier nicht betrachtet werden. Es muss auf die technisch beschreibenden Kapitel 7 bis 14 verwiesen werden. Es soll nur bemerkt werden, dass das rasche Tempo der Elektrifizierung, besonders von 1923 an, nur sehr beschränkt gestattete, geänderte Konstruktionen oder Anordnungen, welche zur Vereinfachung und Verbilligung ausgearbeitet wurden, vor wiederholter Anwendung erst zu erproben. Dieser Umstand wurde am meisten bei der Ausbildung der Triebfahrzeuge empfunden.

Die durch die Elektrifizierung nach Programm verursachte technische Arbeit war zeitweise leichter als die administrative. Besonders während der Jahre, da die Maschinen- und elektrotechnische Industrie an Beschäftigungsmangel litten und das Baugewerbe wenig zu tun hatte, war es schwierig und mühsam, die vielen Ansprüche an die S. B. B. als staatlichen Arbeitgeber zu berücksichtigen; es war vor allem schwierig, die Bestellungen auf Maschinen und Apparate einigermassen nach dem Auftragsbedürfnis der Fabriken zu verteilen, ohne dass die technische Einheit unzulässig beeinträchtigt

wurde. Schon 1922 wurden grosse Mengen von genieteten Fahrleitungstragwerken über den unmittelbaren Bedarf hinaus in Arbeit gegeben. Zumal bei der Durchführung des Programmes zur „beschleunigten" Elektrifizierung mussten die S. B. B. die Pflicht anerkennen, die Bestellungen nach Möglichkeit zu verteilen.

Bei aller Bestimmtheit der Zielsetzung durch das Programm von 1923 und aller Ungewissheit des Anfanges der Fortsetzung der Elektrifizierung nach 1928 musste die Erweiterung der Energieversorgung vorbereitet werden.

Der mit dem Fortschreiten der Elektrifizierung sich ausdehnende elektrische Betrieb musste bis in die Einzelheiten ausgebildet und geregelt werden. Während der Bau der elektrischen Anlagen von selbst die Gelegenheit zur Ausbildung des Bedienungspersonales bot, musste das Personal der elektrischen Lokomotiven und Motorwagen durch kursmässige Unterrichtung und Einübung aus vorhandenem Personal der Dampflokomotiven gebildet werden.

Die sich mehrenden technischen und wirtschaftlichen Erfahrungen mussten planmässig gesammelt, verarbeitet und verwertet werden.

Die Bauorganisation, mit welcher etwa von 1922 an gearbeitet wurde, war selbst bei sofortiger Fortsetzung der Elektrifizierung nach 1928 nicht nötig. Sie wurde daher von 1927 an erst nach Personalbestand, dann durch Zusammenlegung von Tätigkeiten allmählich abgebaut. Ende 1928 waren die Bureaux für Elektrifizierung in den Kreisen aufgehoben. Die Abteilung für Elektrifizierung bei der Generaldirektion befasste sich noch mit der Erweiterung der Energieversorgung, die wegen der Entwicklung des Verkehrs, also des Energiebedarfes, auch ohne Fortsetzung der Elektrifizierung nötig wird; sie leitet und überwacht den Energieversorgungsdienst und schliesst den früher anders eingereihten Dienst der nicht der Zugförderung dienenden elektrischen Schwachstrom- und Starkstrom-Anlagen ein.

1925 trat der ständige technische Berater der Generaldirektion von der Ausübung der Funktionen des Oberingenieurs für Elektrifizierung zurück; dieselben wurden seinem Stellvertreter übertragen, welcher schon dem Bureau für elektrischen Bahnbetrieb von Anfang an angehört hatte, das 1907 bei der Generaldirektion der S. B. B. bestellt wurde.

Zum Schluss dieser Baugeschichte kann auf den im 1. Kapitel (Tabellen I, II, III) mitgeteilten Stand des elektrischen Betriebes hingewiesen werden, den die S. B. B. Ende 1928 erreichten. Der Hauptzweck, der mit der Elektrifizierung verfolgt wurde, als das Programm von 1918 angenommen wurde, die Umstellung des Betriebes der S. B. B. von der ausländischen Kohle auf die inländische Wasserkraft, wurde in 10 Jahren fünfundachtzigprozentig erfüllt. Dabei wurde auch der Zweck, der mit der Beschleunigung der Elektrifizierung nach dem Programm von 1923 verfolgt wurde, die Mehrung der Beschäftigung gewisser Industrien und Gewerbe in kritischer Zeit, auf eine für die Beteiligten und die Allgemeinheit fruchtbare Art erfüllt. Es wurden, wie im 16. Kapitel ausgeführt wird, eine berechenbare Verbilligung des Betriebes und eine Reihe in Geldbeträgen nicht ausdrückbarer betriebstechnischer und -wirtschaftlicher Vorteile teils erreicht, teils erreichbar gemacht. Die rauchfreie und im allgemeinen raschere Fahrt, an denen dem reisenden Volk bei der Elektrifizierung so viel lag, wurde bei 58 % der Gesamtlänge der Linien und für etwa 90 % aller Fahrgäste der S.B.B. verwirklicht.

Die Tafel II veranschaulicht das Wachstum des elektrischen Betriebes in Linienkilometern[1]) und in Bruttotonnenkilometern, des Elektrifizierungskapitales und damit, allerdings nur äusserlich, die technische und die finanzielle Leistung, welche bei der Elektrifizierung bis Ende 1928 zu verrichten waren.

5. Organisatorisches.

Im 4. Kapitel wurde angedeutet, wie bei der Elektrifizierung Erstfeld–Bellinzona die Arbeit geteilt und unter verschiedene Dienststellen verteilt, d. h. organisiert wurde. Diese Organisation

[1]) Eine Linie, welche den wirklichen Baufortschritt, nicht die jährlichen Inbetriebsetzungen darstellen würde, verliefe ohne deutliche Brechungen.

wurde in der Folge beibehalten, auf Grund des Programmes von 1918 weiter ausgebaut und erst 1927 schrittweise bis zum vorläufigen Abschluss der Elektrifizierung abgebaut.

Auf den Zeitpunkt, in dem die Elektrifizierung Erstfeld–Bellinzona durchgeführt war, wurden auch die mit der elektrischen Zugförderung verknüpften neuen Betriebstätigkeiten organisiert. Der Betrieb der Kraftwerke wurde der Abteilung für Elektrifizierung bei der Generaldirektion, der Betrieb der Unterwerke und der Unterhalt der Übertragungsleitungen und Fahrleitungen der Dienststelle für elektrische Anlagen bei der damaligen Kreisdirektion V übertragen, welcher schon vor der Elektrifizierung die elektrischen Schwachstrom- und Starkstromanlagen des Kreises unterstellt waren. Die Ersetzung von Dampflokomotiven durch elektrische Lokomotiven bedeutete für den Fahr- und Werkstätten-Dienst des Kreises organisatorisch nichts Neues. Auch diese Organisation wurde in der Folge beibehalten und weiter ausgebaut. Die Reorganisation der Verwaltung der S. B. B. veranlasste 1927 nur die Änderung der Bezeichnung und Einreihung einiger Dienststellen.

Die Tabelle VII gibt eine Übersicht über die bei der Elektrifizierung bis 1927 vollzählig tätig gewesenen und die beim elektrischen Betrieb weiterhin tätigen Dienststellen und deren Gliederung in technischer Beziehung. Es werden nur die interessanteren bei der Elektrifizierung (links) vorgekommenen und im elektrischen Betrieb (rechts) vorkommenden technischen Tätigkeiten erwähnt. Die Elektrifizierungstätigkeiten waren Bautätigkeiten. Dieselben schlossen nur ausnahmsweise Bauausführungen „in Regie“ ein; sie beschränkten sich, wie bei den Eisenbahnverwaltungen üblich, auf die Vorstudien, die Projektierung, die Ausarbeitung der Wettbewerbs- und Vergebungs-Unterlagen, die Durchführung der Wettbewerbe, die Vergebung von Arbeiten und die Bestellung von Material, die Aufsicht über die Arbeiten der Unternehmer, die Abnahme der Bauwerke von den Unternehmern und die Prüfung und Abnahme der Lieferungen von den Fabriken.

Die Dienststellen erscheinen auf der Tabelle mit ihren, der durchgeführten Reorganisation der Verwaltung der S. B. B. entsprechenden Bezeichnungen. Die dirigierende und überwachende Tätigkeit der höheren Dienststellen gegenüber den niedrigeren wird, weil selbstverständlich, nicht erwähnt.

Im Aussendienst der Bureaux für elektrische Anlagen der Kreise bezüglich der Unterwerke, Fahrleitungen und Übertragungsleitungen steht 1 Leitungstechniker pro 100 bis 150 km Linie oder 350 bis 700 km Fahrdraht, 1 Leitungsaufseher pro 35 bis 70 km Linie oder 110 bis 150 km Fahrdraht, 1 Leitungs-Arbeiter (oder -Aufseher) pro 5 bis 8 km Linie oder 15 bis 20 km Fahrdraht. Dieses Personal ist zum Teil zugleich solches der Unterwerke; seine Standorte sind fest bestimmt.

Die Abteilung und die Bureaux für Elektrifizierung entwickelten die stärkste Tätigkeit in den Jahren 1922 bis 1926. Sie hatten Ende 1923 folgenden grössten Bestand an technischem und administrativem Personal (Beamte und Temporär-Angestellte Ende 1923):

Abteilung für Elektrifizierung in Bern (ohne das Betriebspersonal in den Kraftwerken)		58
Bureau für Elektrifizierung	I in Lausanne	27
„ „ „	II in Olten	39
„ „ „	III in Zürich	26
	im ganzen	150

Die Ausführung von Bauarbeiten mit von den S. B. B. besonders angestellten Arbeitern kam in verhältnismässig verschwindend kleinem Gesamtkostenbetrag vor. Sie kam regelmässig vor bei der Montierung der Leitungen und Apparate der Kraftwerke und Unterwerke zwecks Ausbildung des Bedienungspersonals für den Betrieb, bei der Zusammensetzung gewisser von Fabriken bezogenen Fahrleitungsteilen zur Abgabe an die Fahrleitungsbauunternehmer, denen zwecks Sicherstellung der technischen Einheit überhaupt alles Material von den S. B. B. geliefert wurde, und bei der Installation der Schienenverbinder zwecks Bereitstellung von Spezialarbeitern für den Unterhalt der Schienenverbinder. In der Regel wurden, wenn möglich, auch die mit der Elektrifizierung zusammenhängenden Änderungen an Schwachstrom- und Starkstrom-Anlagen der Bahn durch schon vorhandenes Unterhaltspersonal der betreffenden Dienste ausgeführt. Bedeutendere Bauausführungen „in Regie“ mussten

Tabelle VII.

Elektrifizierung	Bei der Generaldirektion	Elektrischer Betrieb
Erwerbung von Wasserrechten	Abteilung Rechtswesen	Juristische Seite der Ausführung von Konzessionsverträgen
	Abteilung Bahn-Bau und -Unterhalt	
	Sektion Oberbau	
	» Stellwerke	
Besondere Brückenumbauten	» Brücken	
	» Tiefbau	
Hochbauten der Kraftwerke und von Unterwerken und Werkstätten	» Hochbau	
Sicherung und Umbau von Schwachstrom- und Starkstromanlagen, Anschaffung der Schwachstromhauptkabel, Normalisierung	» elektrische Anlagen (von Mitte 1927 an bei der Abteilung Elektrifizierung und elektrische Anlagen	
	Abteilung Zugförderungs- und Werkstätten-Dienst	
Anschaffung der elektrischen Triebfahrzeuge	Zugförderung	Ueberwachung des Verhaltens der Triebfahrzeuge, Studium der Störungen, Versuche, Belastungsnormen
Einrichtung der elektrischen Wagenheizung		
Studien, Normalisierung		
Projektierung und Ausrüstung der Werkstätten	Werkstätten	Grössere Reparaturen u. «Revisionen»
	Abteilung Elektrifizierung und, von Mitte 1927 an, elektrische Anlagen	
Tiefbauten der Kraftwerke, Staumauern, Stollen, Rohrleitungen etc.	Sektion Tiefbau 1)	Ueberwachung des Verhaltens der links erwähnten Bauwerke, Hydrologische Arbeiten
Leitung des ganzen Kraftwerkbaues am Bauort	Bauleitungen der Kraftwerke an den Bauorten	
Projektierung der Kraftwerkzentralen, maschinelle und elektrische Ausrüstung derselben	Sektion Kraftwerkausrüstung 2)	
Projektierung der Unterwerke, maschinelle und elektrische Ausrüstung derselben	Sektion Unterwerkausrüstung 3)	
Projektierung und Bau der Uebertragungsleitungen	Baubureau Uebertragungsleitungen 4)	
Allgemeine Geschäfte des Fahrleitungsbaues, Normalisierung, Anschaffung von Leitungskupfer und Isolatoren für die Bureaus für Elektrifizierung der Kreise	Sektion Fahrleitungen (bis Mitte 1927) 5)	Ueberwachung des Verhaltens der Fahrleitungsanlagen, Studium der Störungen der Fahrleitungsanlagen
Technisch-wirtschaftliche Studien, Energiehaushalt, Energiebedarf, Energiebeschaffung	Sektion Betrieb I	Technisch-wirtschaftliche Studien, Energiehaushaltsprogramme, Vertrieb der Ueberschussenergie, Wirtschaftliche Ueberwachung der Energieversorgung
	Sektion Betrieb II (zentrale technische Betriebsdienststelle)	Maschinentechnische und elektrotechnische Ueberwachung des Verhaltens der Kraftwerke, Uebertragungsleitungen und Unterwerke, Studium der Störungen

	Betriebsleitung Amsteg/Ritom in Amsteg Betriebsleitung Vernayaz-Barberine in Vernayaz	Betrieb der Kraftwerke Amsteg und Ritom Betrieb der Kraftwerke Vernayaz und Barberine samt Nebenkraftwerk Trient
(Bautätigkeit nach 1928)	Nach dem vorläufigen Abschluss der Elektrifizierung 1928	
Wie oben	Sektion Betrieb I	Wie oben
	Sektion Betrieb II	Wie oben
	Betriebsleitung Amsteg/Ritom in Amsteg	Betrieb der Kraftwerke Amsteg und Ritom
	Betriebsleitung Vernayaz/Barberine in Vernayaz	Betrieb der Kraftwerke Vernayaz und Barberine samt Nebenkraftwerk Trient
Ergänzung des Uebertragungs- und Fahrleitungsnetzes nach Bedarf	Sektion Starkstrom- u. Schwachstrom-Anlagen an der Bahn (von Mitte 1927 an)	Obliegenheiten von 4 u. 5) und frühere
Projektierung neuer Wasserkraftanlagen	Sektion Tiefbau	Obliegenheiten von 1)
Ergänzung der vorhandenen Anlagen und Projektierung neuer	Sektion Kraftwerk- und Unterwerk-Ausrüstung	
	Bei den Kreisdirektionen I, II und III (bei jeder)	
Erwerbung von Land und Durchleitungsrechten, Expropriationen	Sektion Rechtswesen	
	Bauabteilung	
Sicherung und Umbau der Schwachstromanlagen der Bahn und der Stationsbeleuchtungsanlagen, Geschäfte betreffend Kreuzungen der Bahn durch bahnfremde elektrische Leitungen, elektrische Anschlüsse an die Energieversorgung des elektrischen Bahnbetriebes	Bureau elektrische Anlagen	Schon vor der Elektrifizierung zugeteilte Obliegenheiten bez. elektrischer Anlagen Betrieb und Unterhalt der Unterwerke, Unterhalt der Fahrleitungen und Uebertragungsleitungen, Behebung der Störungen im Leitungsnetz
Geleisetieferlegungen, Tunneldichtungen	Bureau Tiefbau	
Verstärkung und Umbau von Brücken, Höherlegung von Ueberbauten	Bureau Brückenbau	
Anpassungsarbeiten	Bureau Stellwerke	
Hochbau von Unterwerken; Dienstwohnhäuser, Depots	Bureau Hochbau	
	Betriebsabteilung	
Aenderung und Ausrüstung der Depots Instruktion des Lokomotivpersonals	Unterabteilung Fahrdienst	Unterhalt der Triebfahrzeuge in den Depots, kleine Reparaturen
	Bureau für Elektrifizierung	
Bau der Fahrleitungen, Detailprojektierung derselben, Anschaffung des Materials, Aufsicht über die Arbeiten der Unternehmer		

aus Mangel an geeigneten Unternehmern nur bei den Elektrifizierungen am Gotthard und am Monte Ceneri ausgeführt werden (Montierung der Fahrleitung, Legung der Kabel, Dichtung von Tunneln).

Es würde hier zu weit führen, die durch die Tabelle dargestellte Organisation zu begründen. Ihre Zweckmässigkeit darf durch den glatten Verlauf der Elektrifizierung und durch die sichtbaren Leistungen des elektrischen Betriebes als genügend nachgewiesen betrachtet werden. Gewisse interessantere Einzelheiten der Betriebsorganisation werden übrigens in den technisch beschreibenden Kapiteln noch erwähnt werden.

6. Charakteristik des elektrischen Betriebes der Schweizerischen Bundesbahnen.

Der elektrische Betrieb der S. B. B. ist mit dem Betrieb eines grossen Elektrizitätswerkes zu vergleichen; seine massgebende Eigentümlichkeit ist, dass die Energiekonsumenten sozusagen ausschliesslich die auf dem elektrifizierten Teil des Bahnnetzes der S. B. B. verkehrenden (elektrischen) Züge sind.

Jeder Zug, d. h. dessen Lokomotive oder Motorwagen, nimmt die zur Bewegung erforderliche elektrische Leistung vom Fahrdraht ab und verursacht dadurch eine gleich grosse Teilbelastung des Elektrizitätswerkes, als welches die Gesamtheit der Fahrleitungen, Unterwerke, Übertragungsleitungen und Kraftwerke zu betrachten ist. Die Summe der durch die gleichzeitig sich bewegenden Züge verursachten Teilbelastungen und der Energieverluste in den Fahrleitungen, Unterwerken und Übertragungsleitungen ist die Belastung oder erforderliche Leistung der Kraftwerke. Belastung und Leistung beziehen sich immer auf einen Augenblick. Sie werden ausgedrückt als Arbeit oder Energie pro Zeiteinheit, im vorliegenden Falle in Kilowatt (kW).

Die durch einen Zug verursachte Belastung ist stark veränderlich. Die Beschleunigung aus dem Stillstand, der Übergang von einer Steigung auf ein Gefälle oder auf eine horizontale Strecke, zumal bei der Annäherung an eine Haltestation, die Aufhebung der Zugkraft durch den Führer auf dem Wege der „Abschaltung" der Leistungszufuhr bei der Sichtung eines geschlossenen Signals bedeuten meist starke und rasche Änderungen der durch den Zug verursachten Belastung. Bei raschfahrenden schwereren Zügen können diese Änderungen von „leer" bis „voll" (2000 bis 3000 kW) innerhalb etwa einer bis dreier Minuten, von „voll" bis „leer" innerhalb einer bis zweier Sekunden stattfinden. Das Verhältnis der grössten Belastung zur durchschnittlichen, die ein Zug bei der Fahrt auf einer längeren Strecke verursacht, hängt von mancherlei ab. Bei einem Schnellzug, der die Strecke Biasca-Airolo ohne Halt durchläuft, ist das Schwankungsverhältnis nahezu 1 : 1, bei einem schweren Personenlokalzug in der Ebene kann das Schwankungsverhältnis 10 : 1 sein. Je mehr Züge gleichzeitig verkehren, desto unwahrscheinlicher ist es, dass sie gleichzeitig maximale Belastungen verursachen. Die Summe vieler Einzelzugsbelastungen schwankt daher weniger als die stärkst schwankende, aber mehr als die am wenigsten schwankende.

Die Bewegung eines Zuges über eine Strecke, also während einer Zeit, ist eine Arbeit oder Energie, ausgedrückt in Kilowattstunden (kWh). Ihre Betrachtung bietet hier kein Interesse. Es werde die Energie betrachtet, welche zur Bewegung aller Züge während eines Tages erforderlich ist. Z. B. am Donnerstag, 14. Juni 1928, betrug die Energie, welche die Kraftwerke der S. B. B. an den von ihnen gespeisten Teil des elektrifizierten Bahnnetzes abgeben mussten, von 5 Uhr 00 bis 23 Uhr 30 Min. 949 000 kWh [1]). Wäre die Belastung unveränderlich gewesen, so hätten diese Kraftwerke zusammen eine Leistung von 51 300 kW geben müssen. Während der übrigen Stunden des gleichen Tages war die Energie 99 500 kWh, der eine unveränderliche Leistung von 18 100 kW entsprochen hätte. In Wirklichkeit schwankte die Belastung und daher die Leistung der Kraftwerke stark, wie folgende Zusammenstellung lehrt:

[1]) Energie nicht für Zugförderung, Leitungs- und Transformations-Verluste und Eigenverbrauch der Unterwerke eingeschlossen.

Zeit . . . Uhr	8.25	11.10	12.25	13.10	13.26	15.55	17.42	17.59	18.46	19.32	19.35
Höchstleistungen kW	75 800		70 700		74 300		73 700		76 000	75 400	
Tiefstleistungen kW		30 300		45 100		34 700		43 100			47 600

Bezogen auf die 18,5 Stunden starker Belastung schwankte also die Leistung im Verhältnis 76 000 : 51 300 = 1,48. Bezogen auf die 24 Stunden schwankte sie im Verhältnis 76 000 : 43 700 = 1,74 [1]). Der allgemeine Charakter der Schwankungen wird durch die Tafel VI veranschaulicht. Die Belastung durch die Gesamtheit der gleichzeitig verkehrenden Züge ist „unruhig"; die Ungleichheit der Unruhe der Belastungen der verschiedenen Kraftwerke ist durch die absichtliche Einstellung der Regulatoren zu einem Zwecke, der an anderer Stelle angedeutet wird, bewirkt.

Am Mittwoch vor Auffahrt, am 16. Mai 1928, also an einem Werktag, an dem die Güterzüge verkehrten, wurde die bis Ende des Sommers 1928 grösste Spitzenleistung abgelesen, nämlich 77 000 kW, entsprechend 110 000 Turbinenpferdestärken. Am Auffahrtstag selbst, an dem keine Güterzüge liefen, betrugen die grössten abgelesenen Leistungen um:

8 Uhr 00	51 000 kW	10 Uhr 47	51 000 kW	13 Uhr 25	49 500 kW
18 Uhr 42	57 400 kW	21 Uhr 03	50 300 kW		

Aus Gründen, deren Ausführung hier zu weit führen würde, ist das auf das ganze Jahr bezogene Schwankungsverhältnis nicht oder nur wenig grösser als das oben nachgewiesene. Das Schwankungsverhältnis ist übrigens allgemein von der Grösse des Bahnbetriebes abhängig. Als das Kraftwerk Amsteg allein etwa 350 km Linie speiste, betrug das Schwankungsverhältnis 2,1 bis 2,2. Je grösser der Betrieb ist, desto weniger verkleinert eine Vergrösserung desselben das Schwankungsverhältnis.

Die Arbeit, welche die Fortbewegung einer Tonne, der Einheit des Gewichtes eines Zuges [2]), erfordert, wird ausgedrückt im Wattstunden pro Tonnenkilometer (Wh pro tkm), bezogen auf den Speisepunkt der Fahrleitung, d. h. auf die Sammelschienen des Unterwerkes, oder auf die Sammelschienen des Kraftwerkes. Bei der ersten Beziehung sind die Verluste in der Lokomotive und in der Fahrleitung, bei der zweiten Beziehung auch die Verluste und der Eigenverbrauch des Unterwerkes und die Verluste in den Transformatoren und Übertragungsleitungen eingerechnet. Dieser spezifische Energieverbrauch, bezogen auf das ganze Jahr und auf die Gesamtheit der Züge, der Unterwerke und der Kraftwerke beträgt bei den S. B. B. 31,7 Wh pro tkm „ab Unterwerk", 35,2 Wh pro tkm „ab Kraftwerk". Dieser Verbrauch ist im Hinblick auf den Reichtum des Netzes der S.B.B. an Steigungen und die elektrische Zugsheizung klein.

Die Förderung der Züge erfordert im Sommer und im Winter ungefähr gleich viel Energie z. B. pro Woche. Die elektrische Zugsheizung erfordert ungefähr 10 % dazu, etwa von Anfang Oktober bis Ende April. Die Energieversorgung der S. B. B. hat den Energieverbrauch im Winter zum Ausgangspunkt aller den Energiehaushalt betreffenden Massnahmen.

Die Energie, über welche zu Zwecken des Bahnbetriebes noch nicht verfügt werden muss oder, wie im Sommer, überhaupt nicht verfügt werden kann, ist anderweitig zu verwerten.

Die Bahnenergie, welche erzeugt und nach der Regel „10 % pro Heizmonat mehr" verbraucht werden kann, ist die verbrauchsfähige verfügbare Bahnenergie im betreffenden Jahre, auf der Tabelle VIII (Zeile 16) kurz als verfügbare Bahnenergie bezeichnet.

Verfügbare „Überschussenergie" ist im Falle der S. B. B. in der Industrie verwendbare Dreiphasenenergie, erzeugbar mit der zur Erzeugung von Bahnenergie nicht verbrauchten oder der nur im Sommer vorhandenen hydraulischen Energie („Wasserkraft").

Auf der Tabelle VIII ist der Bedarf der S. B. B. an Energie und Leistung zur Zugförderung und zu anderen Zwecken im Jahre 1929 auf Grund der Erhebungen in den Jahren 1927 und 1928 nachgewiesen. Dabei ist angenommen, der Verkehr sei gleich stark wie im Jahre 1928, während eine Zunahme um einige Prozent sicher zu erwarten ist, und der Bedarf an Energie und Leistung

[1]) 43 700 = (949 000 + 99 500) : 24.

[2]) Lokomotiven inbegriffen.

Tabelle VIII.

		1927	1928	1929
1. Länge der elektrisch betriebenen Linien der S.B.B. am Anfang und am Ende des Jahres	in km	1002 1490	1490 1666	1666
2. Fahrleistung in Zugskilometer		19081000	25100000	26200000
3. Fahrleistung in Lokomotivkilometer		21883604	26700000	29700000
4. Förderleistung in Bruttotonnenkilometer		6621240000	8200000000	8549000000
5. Förderleistung in Tonnenkilometer (inkl. Lokomotiven)		8806000000	10850000000	11470000000
6. Gesamt-Bahnenergieabgabe an den Zugförderungsdienst in den Speisepunkten des Fahrleitungsnetzes	in kWh	278900000	343740000	363250000
7. 6 : 5 = Wh pro tkm inkl. Zugsheizung und Verluste in der Fahrleitung		31,7	31,7	31,7
8. Bahnenergieabgabe an andere Dienste und andere Bahnen, Eigenverbrauch der Unterwerke und Transformations- und Übertragungs-Verluste	in kWh	35113000	52000000	56000000
9. Gesamt-Bahnenergieabgabe der Kraftwerke der S.B.B. an die S.B.B.	in kWh	296544000	376500000	395000000
10. Gesamt-Bahnenergielieferung bahnfremder Kraftwerke an die S.B.B.	in kWh	17469000	19240000	24250000
11. 9 + 10 = 6 + 8 = Gesamt-Bahnenergieverbrauch der S.B.B.	in kWh	314013000	395740000	419250000
12. Entsprechende durchschn. (konstante) Leistung zu 11	in kW	35846	45176	47860
13. Grösste Leistung (Spitzenleistung) zu 11 in % von 12		185	178	170
14. Grösste elektrische Gesamtleistung, rund	in kW	66300	80400	81400
15. Grösste Gesamt-Turbinenleistung, rund	in PS	95000	115000	116000
16. Verfügbare Bahnenergie aus den Kraftwerken der S.B.B.	in kWh	380000000	382000000	420000000
17. Verfügbare Bahnenergie aus bahnfremden Kraftwerken (Verträge)	in kWh	20000000	24000000	25000000
18. 16 + 17 = Verfügbare Bahnenergie im Ganzen . .	in kWh	400000000	406000000	445000000
19. Verfügbare Überschussenergie	in kWh	160000000	120000000	105000000
20. Gesamtabgabe von Überschussenergie an die Industrie	in kWh	115788240	115500000	100000000

sei grösser nur, weil die Gesamtlänge der elektrisch betriebenen Linien während des Jahres 1928 um 176 km zunahm.

Im Jahre 1929 erreicht der Verbrauch von Bahnenergie bereits das Abgabevermögen der Kraftwerke der S. B. B. Unter Voraussetzungen, die erst nach diesem Jahr gegeben sein können, kann die aus bahnfremden Kraftwerken beziehbare Bahnenergie ungefähr verdoppelt werden. Die Überschussenergie dieses Jahres ist fast ausschliesslich Sommerenergie.

7. Gesamtanordnung der Anlage des elektrischen Betriebes der Schweizerischen Bundesbahnen.

Bei den S.B.B. wird die Gesamtheit der Kraftwerke, Übertragungsleitungen und Unterwerke als Bahnenergieversorgungsanlage bezeichnet. Sie ist einem Elektrizitätswerk gleichzuachten, das nur Grosskonsumenten oder Zwischenabnehmer bedient, nämlich die voneinander elektrisch getrennten Teile der Fahrleitungsanlage oder des Fahrleitungsnetzes. Die innerbalb dieser Teile verkehrenden elektrischen Züge, welche sozusagen alle Bahnenergie verbrauchen, spielen die Rolle der Kleinkon-

sumenten, deren Gesamtheit der Zugförderungsdienst ist. Die an Kraftwerke, Unterwerke und Fahrleitungen angeschlossenen elektrischen Beleuchtungen, Küchen und Heizungen in Dienstwohnhäusern und kleinen Stationsgebäuden, sowie Signal- und Weichen-Lichter und andere kleine Verbrauchseinrichtungen dürfen übersehen werden. Die elektrische Energie, in der Regel dreiphasige mit der normalen Periodenzahl 50, zur Beleuchtung der Bahnhöfe und Stationen, zum Antrieb der Werkstätten und zu anderen Zwecken beziehen die S.B.B., wie vor der Elektrifizierung, fast ausschliesslich von bahnfremden Elektrizitäts-Unternehmungen je am Orte des Bedarfes.

Hauptsächlich aus entwicklungsgeschichtlichen Gründen ist die Energieversorgung der S.B.B. nicht ganz einheitlich, wenn die Gesamtheit der elektrisch betriebenen Linien ins Auge gefasst wird.

Die Linie Brig–Simplon Tunnel–Iselle (22 km) wird von der Linie Brig–Lausanne elektrisch getrennt mit Dreiphasenenergie (Spannung 3300 V, Periodenzahl $16^2/_3$) aus dem Kraftwerk Massaboden betrieben. Die 1922 zurückgekaufte Seetalbahn (Wildegg-Emmenbrücke und Beinwil-Münster, 55 km) wird vom Aargauischen Elektrizitätswerk mit Dreiphasenenergie (Periodenzahl 50) versorgt, welche die S.B.B. im Unterwerk Beinwil in nicht normale Einphasenenergie (Spannung 5500 V, Periodenzahl 25) umformen.

Auch die einheitlich mit Einphasenenergie von der Normalspannung 15 000 V und der Normalperiodenzahl $16^2/_3$ betriebenen Linien der S.B.B. von 1589[1]) km Gesamtlänge haben nicht restlos eine gemeinsame Energieversorgung.

Die Linie Bern–Thun (33 km), welche Gegenstand einer der beiden im 4. Kapitel erwähnten Notelektrifizierungen war, wird mit Energie aus dem Kraftwerk Spiez der B.K.W., der Rangierbahnhof Wylerfeld und der Bahnhof Bern auch mit Energie aus dem Kraftwerk Mühleberg der B.K.W. versorgt. Bis Ende 1927 versorgte das Kraftwerk Mühleberg die Linie Wylerfeld–Herzogenbuchsee; es wird dies später wenigstens zeitweise wieder tun, weil die S.B.B. vertraglich verpflichtet sind, von den B.K.W. später mehr Energie zu beziehen als gegenwärtig.

Die Linien Sargans–Chur, Sargans–Buchs und Sargans–Wallenstadt oder[2]) –Ziegelbrücke (zusammen 55 km, bezw. 75 km), erhalten die Energie aus dem Kraftwerk Küblis der B. K., welches durch eine Übertragungsleitung ebenfalls der B. K. an das Unterwerk Sargans der S. B. B. angeschlossen ist.

Die einheitliche und zusammengeschlossene Bahnenergieversorgung der S.B.B. erstreckt sich auf ein zusammenhängendes Netz elektrifizierter Linien von 1534 bis 1481 km, inkl. Lengnau–Münster und Sihltalbahn von 1566 bis 1513 km Gesamtlänge. Es ist dieses Netz, welches, wie im 6. Kapitel mitgeteilt, am 16. Mai 1928 die Generatoren der Kraftwerke[3]) der S.B.B. mit 77 000 kW, die Turbinen mit rund 110 000 PS beanspruchte und ca. 1 100 000 kWh verbrauchte. Der jährliche Bahnenergieverbrauch dieses Netzes ist 90 % des Gesamtverbrauches und die von demselben zu erwartenden Spitzenbelastungen sind 96 % derjenigen, die zu erwarten wären, wenn alle elektrisch betriebenen Linien elektrisch zusammenhingen. Die folgenden Betrachtungen beschränken sich auf die Bahnenergieversorgungsanlage, mit welcher die Linien mit, wie eben nachgewiesen, wenigstens 1513 km Gesamtlänge elektrisch betrieben werden. Diese Anlage bedarf, abgesehen von neuen Energiequellen, im wesentlichen nur der Ergänzung durch etwa drei Unterwerke und der zum Anschluss derselben erforderlichen Übertragungsleitungen, um dem elektrischen Betrieb des ganzen Netzes der S. B. B. zu genügen.

Der Plan, welcher der bestehenden Anlage zugrunde liegt, ist zugleich das Ergebnis einer Entwicklung unter dem Einfluss von Notwendigkeiten und Gegebenheiten und das Ergebnis einer vorsorglichen Anpassung an die verschiedenen Möglichkeiten der Verstärkung und Erweiterung der Bahnenergieversorgung der S. B. B. entsprechend dem Wachstum des Bahnenergiebedarfes, welches durch die Zunahme des Verkehrs oder durch die Ausdehnung des elektrischen Betriebes oder durch beides bedingt wird.

[1]) Inkl. Lengnau–Münster, von den S. B. B. betrieben, und Sihltalbahn, von den S. B. B. versorgt, 1621 km.

[2]) Wahlweise, zum Zwecke einer gewissen Kontingentierung des Kraftwerkes Küblis.

[3]) Im Betrieb standen nur die Kraftwerke Amsteg, Vernayaz und Barberine.

Im 4. Kapitel wurde ausgeführt, warum das Programm zur „beschleunigten" Elektrifizierung die Verbindung der Kraftwerkgruppe im Wallis mit der Kraftwerkgruppe am Gotthard verlangte. Die Lage der Dinge zur Zeit der Aufstellung dieses Programmes bestimmte endgültig das Hauptschema der Bahnenergieversorgungsanlage der S. B. B. Es war nötig, vom Kraftwerk Vernayaz eine leistungsfähige Übertragungsleitung bis in die Nordschweiz zu ziehen. Als deren Betriebsspannung wurde mit Rücksicht auf die Entfernung und die Grösse der Leistung 132 000 V gewählt, also das Doppelte der Übertragungsspannung von 66 000 V, welche für die andern Übertragungsleitungen als Regelspannung bereits angenommen war. Da, wo die von der Kraftwerkgruppe im Wallis her übertragene Energie in die Übertragungsleitungen, die an die Kraftwerke am Gotthard angeschlossen waren, übergehen sollte, war ein zentrales Unterwerk nötig. Dieses wurde in Rupperswil an die Stelle gesetzt, an der es einmal die Transformations- und Schalt-Abteilung des projektierten Kraftwerkes Rupperswil fast ohne weiteres sein kann. Die Übertragungsleitung Vernayaz–Rupperswil verbindet daher das heute bestehende Kraftwerk Vernayaz und damit die Kraftwerkgruppe im Wallis mit einem bezüglich der Konzession möglichen, des Projektes vorbereiteten, günstig gelegenen zukünftigen Kraftwerk. Wie der Landkarte am Schlusse zu entnehmen ist, verläuft diese Leitung, als blaue Doppellinie gezeichnet, teils längs, teils zwischen Hauptlinien der S. B. B., ist also geeignet, von dem in ihren Zug gesetzten zentralen Unterwerk Kerzers aus Energie an eine Gruppe von Unterwerken zur Speisung von Linien abzugeben. Das in dieser Leitung liegende Unterwerk Puidoux hat als zentrales eine kleinere Bedeutung als die Unterwerke Kerzers und Rupperswil; dafür hat es eine erhebliche andere technische Bedeutung, deren Darlegung jedoch hier zu weit führen würde.

Alle Übertragungsleitungen ausser der eben betrachteten Vernayaz–Rupperswil haben eine Betriebsspannung von 66 000 V mit Ausnahme der von Amsteg nach Süden gehenden Kabelleitung bis Giornico und der Freileitung Giornico–Melide, bei denen die Betriebsspannung 60 000 V beträgt.

Die Übertragungsleitung Steinen–Rapperswil geht hart am Standort[1]) der Zentrale des möglichen zukünftigen, eine Voraussetzung zum Kraftwerk Rupperswil bildenden Etzelwerkes vorbei. Diese Leitung ist von Steinen bis zu diesem Standort so gebaut, dass ihre Umstellung auf 132 000 V leicht ist. Ebenso ist die Übertragungsleitung Rupperswil–Rothkreuz auf die Umstellung vorbereitet. Längs der Übertragungsleitung Amsteg–Steinen–Rothkreuz ist bis Immensee das Trasse für eine neue Leitung festgelegt und freigelassen. Es ist also eine mit 132 000 V zu betreibende „Sammelschiene" teils ausgeführt, teils zur Ausführung zu gegebener Zeit vorbereitet, welche die bestehenden Kraftwerkgruppen und die, eine wasserwirtschaftlich ähnliche Gruppe bildenden, erst projektierten Kraftwerke Etzel und Rupperswil verbindet. Die Übertragungsleitungen Vernayaz–Rupperswil mit 132 000 V und Rupperswil–Rothkreuz–Steinen–Amsteg mit 66 000 V Betriebsspannung sind eine vorläufige, noch längere Zeit genügende Sammelschiene in der Bahnenergieversorgungsanlage der S. B. B.

Die auf der Landkarte als einfache blaue Linien gezeichneten Übertragungsleitungen verbinden die Unterwerke, welche die Speisestellen des Fahrleitungsnetzes sind, mit den Kraftwerken oder zentralen Unterwerken. Die Unterwerke Brugg, Seebach, Grüze, Wattwil, Emmenbrücke, Sihlbrugg liegen teils an, teils nahe an einem durch die Unterwerke Steinen und Rupperswil gehenden Übertragungsleitungsring. Die Energieversorgung der an diese Unterwerke angeschlossenen Teile des Fahrleitungsnetzes ist dadurch in erhöhtem Masse sichergestellt.

Alle Übertragungsleitungen haben 4 Leiter, ausgenommen die Übertragungsleitung Amsteg-Rothkreuz, welche 8 hat. Je zwei Leiter bilden eine zur Energieübertragung taugliche Leitung. Es ist daher wenigstens ausserhalb der Kraftwerke eine durchgehende Zweiteilung des mit Übertragungsspannung arbeitenden Teiles der Anlage möglich, welche bedeutende technische Vorteile bietet und die Betriebssicherheit fördert.

In den Kraftwerken und Unterwerken, sowie in den Schaltposten Rothkreuz und Rapperswil können die Leiterpaare der Übertragungsleitungen geschaltet werden; für die häufiger vorkommenden

[1]) Altendorf bei Pfäffikon, Schwyz.

Schaltungen sind aus der Ferne zu bedienende Schalter vorhanden. In den Kraftwerken und Unterwerken können auch bezüglich der Generatoren und Transformatoren alle erforderlichen Schaltungen ausgeführt werden. Eine streng systematische Numerierung der Leiter der Übertragungsleitungen und aller Schalter und anderen Mittel zur Öffnung oder Schliessung von Stromkreisen schützt vor Missverständnissen bei Aufträgen oder Verständigungen betreffend auszuführende Schaltungen.

Die Übertragungsleitungen sind so an die Transformatoren angeschlossen, dass bei normalem Zustand der Anlage die Spannung eines Leiters gegen Erde die Hälfte der Spannung der zusammengehörenden Leiter gegeneinander ist. Die Mitten der betreffenden Transformatorwicklungen sind dauernd an Erde gelegt, bei 132 000 V unmittelbar, bei 66 000 V durch einen Widerstand von hoher Ohmzahl.

Es kann allgemein gesagt werden, dass in den Kraftwerken, Unterwerken und Schaltposten der Energieversorgungsanlage alle im Betrieb vernünftigerweise wünschbaren Schaltungen sicher ausgeführt werden können, d. h. alle Kombinationen von Generatoren, Transformatoren und Übertragungsleitern, welche bei einer Störung in der Anlage die Ausscheidung des kranken Teiles und die Aufrechterhaltung oder Wiederaufnahme des Betriebes ermöglichen. Die Darstellung der Schaltmöglichkeiten in der ganzen Anlage ist nur durch ein Schema möglich, das nicht mehr deutlich wäre, wenn es auf eine Tafel zusammengedrängt würde, welche diesen Ausführungen beigelegt werden könnte. Es muss auf die Tafeln III und IV verwiesen werden, welche als typische Teile des umfassenden Schemas betrachtet werden können.

Zur Anordnung der Energieversorgungsanlage gehören die Schutzstrecken im Fahrleitungsnetz. Wie im 11. Kapitel ausgeführt wird, müssen die Fahrleitungen in Strecken geteilt werden, die zwar am Ort der Teilung ohne Unterbrechung der Energiezufuhr von den Triebfahrzeugen befahren, aber durch Öffnung von Streckenschaltern voneinander isoliert werden können. Eine Schutzstrecke ist nun ein kurzes Stück Fahrleitung mit einem Fahrdraht, der in der Regel nicht unter Spannung steht und auf eine Länge von etwa 50 m von beiden Stromabnehmern eines Triebfahrzeuges beschliffen wird, ohne dass der Fahrdraht einer der an die Schutzstrecke anstossenden Fahrleitungen berührt werden kann. Die Schutzstrecken sind in horizontale Strecken der Bahn gelegt, welche die Züge ohne bemerkbare Verlangsamung „im Schwung" durchfahren.

In dem Falle, in dem die beiden durch die Schutzstrecke getrennten Fahrleitungen ihre Spannung von nicht parallel arbeitenden Kraftwerken haben, kann ein die Schutzstrecke durchfahrendes Triebfahrzeug auch nicht für einen Augenblick die eine schwere Betriebsstörung verursachende Verbindung zwischen den nicht synchronisierten Kraftwerken herstellen, kann also eine durch Schaltungen in den Übertragungsstromkreisen bewirkte Trennung der Kraftwerke nicht aufheben. Die Trennstrecken sind mit Hilfe von Schaltern überbrückbar; die Überbrückung darf aber nur auf Befehl des oder im Einverständnis mit dem Kraftwerk oder Unterwerk vorgenommen werden, von dessen Schaltzustand die Überbrückbarkeit abhängt.

Schutzstrecken sind eingebaut:

bei Scherzligen, Lerchenfeld und Ostermundigen zur Abtrennung der Fahrleitung Bern-Wylerfeld-Thun von den Fahrleitungen aller anstossenden Linien;

bei Bern-Ausserholligen und bei der Worblaufenbrücke zur Abtrennung des Bahnhofes Bern mit dem Rangierbahnhof Wylerfeld;

bei Romont, Gorgier, Oensingen und Herzogenbuchsee zur Abtrennung des Versorgungsgebietes des Unterwerkes Kerzers;

bei Weesen und Wallenstadt (wahlweise), sowie bei Buchs (gegen Arlberg) zur Abtrennung des Versorgungsgebietes des Kraftwerkes Küblis;

bei Zofingen, Wohlen und Altstetten (Zch.) zur Abtrennung des Versorgungsgebietes der Unterwerke Olten und Brugg.

Von diesen Abtrennungen bietet die letzte ein besonderes Interesse. Das zentrale Unterwerk Rupperswil, an welches die Unterwerke Olten und Brugg angeschlossen sind und das Unterwerk Seebach wegen seiner Verbindung mit dem Unterwerk Steinen via Rapperswil nicht durchaus an-

geschlossen zu sein braucht, ist die Stelle, an welcher die Energie aus der Kraftwerkgruppe im Wallis vom Übertragungsleitungsnetz des Versorgungsgebietes der Kraftwerkgruppe am Gotthard aufgenommen wird. Nur im Unterwerk Rupperswil kann die Fernparallelschaltung der Kraftwerkgruppen vorgenommen werden, jedoch aus vorher gekannten Gründen in Tagesstunden starker Belastung nicht mit der wünschbaren Sicherheit und Raschheit. Fallen die Kraftwerkgruppen z. B. wegen eines heftigen Kurzschlusses an einer geeigneten Stelle der Anlage ausser Synchronismus, so kann der Betrieb selbst bei starker Belastung rasch wieder in Ordnung gebracht werden, ohne dass erst das Manöver der Parallelschaltung ausgeführt wird. Das Unterwerk Rupperswil braucht nur dem Unterwerk Brugg die Ausschaltung der Übertragungsleitung nach Seebach zu befehlen, die Übertragungsleitung nach Rothkreuz selbst auszuschalten und die allenfalls automatisch ausgeschaltete Übertragungsleitung nach Kerzers einzuschalten. Dann ist das Versorgungsgebiet der Unterwerke Olten und Brugg an die Kraftwerkgruppe im Wallis angeschlossen; wegen der Schutzstrecken kann kein Zug die nun getrennten und nicht synchron arbeitenden Kraftwerkgruppen vorübergehend miteinander verbinden; die Parallelschaltung kann auf die Nachtstunden mit geringer Belastung verschoben werden. Wenn nämlich die Unterwerke Olten und Brugg durch das zentrale Unterwerk Rupperswil und dieses selbst nur an die Kraftwerkgruppe im Wallis angeschlossen sind, so ist die Energieversorgung in zwei Teile geteilt, in denen sich die in den Kraftwerkgruppen verfügbaren Leistungen und Energien zu den erforderlichen angenähert gleich verhalten. Diese Teilung des Betriebes kann daher jederzeit und auf längere Dauer praktiziert werden, was aus verschiedenen, hier nicht darzulegenden Gründen unter gewissen Umständen bedeutende betriebstechnische Vorteile bietet. In der Regel ist jedoch der Betrieb nicht geteilt, sodass er die Vorteile des Zusammenschlusses der Kraftwerkgruppen ausgiebig geniesst, nämlich möglichst guten und fortwährenden

Tabelle IX.

No.	Name des Werkes	Fluss	Ausgenutzte Wassermenge m³/sek.		Gefälle m		Akkumulierte Wassermenge Mill. m²	Leistung netto PS Turbinen	Ausbau netto PS Turbinen	Mittlere jährlich erzeugbare Energie für den Bahnbetrieb Mill. kWh ab Werk
			Min.	Max.	Brutto	Netto				
			1	2	3	4	5	6	7	8
	Gruppe Gotthard									
1	Amsteg	Reuss, Fellibach, Kärstelenbach und Fellibach	4,0	30,0	282	270	0,2	11000 (Minimum)	90000	150
2	Ritom	Fossbach	1,0 (Mittel)	7,0	828	808	26,9	8000 (Mittel)	60000	42
3	Göschenen	Gotthard-Reuss	1,6	2,1	99	85–77	0,001	1400 (Konstant)	1900	8
	Gruppe Wallis									
4	Barberine	Barberine und Nant de Drance	1,5 (Mittel)	7,0	760	735	39	11000 (Mittel)	65600	60
5	Vernayaz	Eau noire, Trient und Triège	0,80	14,0	660	630	0,045	5000[2]) (Minimum)	115800	170[1])
6	Trient	Trient	0,20	3,2	123	120–107	—	240 (Minimum)	3800	5
7	Etzel[3])	Sihl	4,8 (Mittel)	24,0	483	470	96,5	22500 (Mittel)	120000	125
8	Rupperswil[3])	Aare	75	350	12,5	11,9–0,0	1,5	9000	60000	140

[1]) Inkl. Abwasser Barberine; [2]) exkl. Abwasser Barberine; [3]) Projekt.

Tabelle X.

Kraftwerke.

	Ritom	Amsteg	Barberine	Vernayaz	
Allgemeines					
Jahr der Inbetriebsetzung	1920	1922	1923	1927	
Zahl der Maschinengruppen:					
bei gegenwärtigem Ausbau	4	6 [1])	4	5 [2])	
bei Vollausbau	4	6	4	6	
Installierte Leistung der Zentrale in PS an der Turbinenwelle: gegenwärtiger Ausbau	60 000	90 000	65 600	96 500	
Installierte Leistung der Zentrale in PS an der Turbinenwelle: Vollausbau	60 000	90 000	65 600	115 800	
Turbinen					
Leistung in PS an der Turbinenwelle	15 000	15 000	16 400	19 300	
Mittleres Nettogefälle m	808	270	735	630	
Wassermenge l/sek.	1 650	5 120	2 020	2 700	
Zahl der Laufräder	1	2	1	1	
Strahl pro Laufrad	1	1	1	1	
				Masch.-Gruppe 1 & 2	4–6
Strahlkreisdurchmesser des Laufrades mm	3 250	1 830	2 850	2 950	2 900
Gewicht der ganzen Turbine t	57,2	92,4	56,2	59,3	70,1
Schwungmoment des Laufrades tm^2	49	40	36	46	75
Bahngeneratoren					
Dauerleistung bei $\cos\varphi = 0{,}75$ kVA	9 000	10 000	10 000	11 000	
$1^1/_2$ Stunden Überlast bei $\cos\varphi = 0{,}75$ kVA	11 500	12 700	12 700	14 000	
10 Minuten-Spitze bei $\cos\varphi = 0{,}75$ kVA	—	—	—	17 000	
				Masch.-Gruppe 1 & 2	4 & 5
Äusserer Statordurchmesser mm	6 000	6 100	6 000	6 000	6 160
Rotordurchmesser mm	3 456	3 350	3 456	3 450	3 558
Gewicht des ganzen Generators t	222	244,6	224	253	230
Gewicht des Rotors t	78	100	80	92,8	82.5
Schwungmoment des Rotors	407	494	408	490	445
Transformatoren					
Dauerleistung bei $\cos\varphi = 0{,}75$ kVA	8 500	10 000	10 000	2 × 9 000	
$1^1/_2$ Stunden Überlast bei $\cos\varphi = 0{,}75$ kVA	11 000	12 000	12 000	2 × 11 500	
10 Minuten-Spitze kVA	—	—	—	2 × 13 000	
Übersetzungsverhältnis kV	15/60	15/60 & 66	15/66	15/66 & 132	
Gewicht ohne Oel t	37,8	39,2	62,1	104	
Oelgewicht t	13,2	9,8	15,3	23	
Angeschlossene Leitungen					
Speiseleitungen 15 kV	4	4	—	—	
Übertragungsleitungen					
Freileitungen 60 und 66 kV	—	5	3	6 [3])	
Kabelleitungen 60 kV	4	2	—	—	
Freileitungen 132 kV	—	—	—	2	

[1]) 1 Turbine ist mit einem Dreiphasengenerator gekuppelt.

[2]) 1 Turbine ist mit einem Einphasen- und einem Dreiphasengenerator starr gekuppelt.

[3]) Mit Ausschluss des dem Kraftwerk angegliederten Freiluft-Unterwerkes.

Anmerkung: In der obigen Aufstellung sind die beiden Nebenkraftwerke Göschenen und Trient mit 1900, bezw. 3800 PS Turbinenleistung und Fernsteuerung vom Unterwerk Göschenen, bezw. Kraftwerk Barberine aus nicht inbegriffen.

Ausgleich der Belastungen der Kraftwerkgruppen (Niederhaltung des Schwankungsverhältnisses und der Zahl der gleichzeitig laufenden Kraftwerksmaschinen) und fortwährende Möglichkeit, die Gesamtbelastung in den nach den Umständen vorteilhaftesten Verhältnissen unter die Kraftwerkgruppen und Kraftwerke zu verteilen.

Die Betrachtung selbst nur der wichtigsten Kombinationen der Kraftwerksgruppen, Kraftwerke, auch der bahnfremden, und der Versorgungsteilgebiete, zu welchen auch die, an besondere Generatoren der Kraftwerke Amsteg und Vernayaz angeschlossenen, Überschussenergie beziehenden industriellen Elektrizitätswerke zu zählen wären, würde hier zu weit führen. Dieses Kapitel darf mit der Bemerkung geschlossen werden, dass die Bahnenergieversorgungsanlage bei bemerkenswerter Einfachheit die Fähigkeit zur Anpassung an verschiedene Umstände hat und bei ihrer Verstärkung und Erweiterung ihr übersichtliches Schema bewahren wird.

8. Kraftwerke.

a) Allgemeines.

Der Betrachtung der Kraftwerke in diesem Kapitel und der anderen Hauptteile der Energieversorgungsanlage der S.B.B. in den folgenden Kapiteln ist die Bemerkung vorauszuschicken, dass eine eigentliche Beschreibung ausserhalb des Rahmens dieser Veröffentlichung liegt. Es muss auf die Fachliteraturhinweise und auf die photographischen Abbildungen am Schlusse verwiesen werden. Es sollen hier nur die wichtigsten Mengen, Grössen und anderen Charakteristika tabellenmässig mitgeteilt und technische Einzelheiten erwähnt werden, welche Eigentümlichkeiten sind oder allgemeineres Interesse beanspruchen können.

Der Bedarf an Leistung und Energie im Jahre 1929 und die in bahneigenen und bahnfremden Kraftwerken verfügbare Energie ist auf der Tabelle VIII angegeben. Die Tabelle IX ist eine Zusammenstellung der grundlegenden Grössen der vier Kraftwerke und zwei Nebenkraftwerke, welche bereits im Betrieb sind, und der zwei erst projektierten, zur Erweiterung der Energieversorgung besonders geeigneten Kraftwerke. Die Betrachtung soll auf die im Betrieb stehenden Kraftwerke Nr. 1 bis 6 beschränkt werden. Das Kraftwerk Massaboden, welches mit den auf der Tabelle erscheinenden Kraftwerken nicht zusammenarbeitet, ist weggelassen. Auf der Tabelle X erscheinen nur die vier grossen im Betrieb stehenden Kraftwerke. Zur Verknüpfung der beiden Tabellen sei bemerkt, dass die Zahlen der Zeilen 1, 2, 4 und 5 der Kolonne 7 von Tabelle IX die gleichen sind, wie die der Zeile 6 von Tabelle X. Die Summe der sechs ersten Zahlen der Kolonne 8 von Tafel IX beträgt 435 Millionen, 15 Millionen mehr als die Zahl der dritten Kolonne der Tabelle VIII, d.h. so viel mehr, als mehr verbraucht werden könnte, wenn die im 6. Kapitel erwähnte Verschiedenheit des Energieverbrauchs eines Sommermonates von dem eines Wintermonats (Zugsheizung) nicht bestünde.

Die nach Tabelle IX, Kolonne 8 verfügbare Energie in kWh pro Jahr ab Kraftwerk oder die Turbinenarbeit in PSh pro Jahr dividiert durch die Zahl der Stunden im Jahr ist die (fiktive) konstante oder mittlere Leistung während des Jahres in kW, bezw. PS. Die vom betreffenden Kraftwerk im Bahnbetrieb zu verlangende grösste Leistung ist die mittlere Leistung multipliziert mit einem Schwankungsverhältnis, welches unter Berücksichtigung der dem Kraftwerk im Gesamtbetrieb zugedachten Rolle zu bestimmen ist und aus hier nicht auszuführenden Gründen im allgemeinen 2,0 bis 2,5 beträgt.

Die Kraftwerke Amsteg, Göschenen und Ritom leisten vermöge der Wasserakkumulierung im Ritomsee zusammen im Mittel (fiktiv konstant) 32000 PS, die Kraftwerke Vernayaz, Trient und Barberine vermöge der Akkumulierung im Stausee Barberine und der Verwendung des akkumulierten Wassers in den Kraftwerken Barberine und Vernayaz hintereinander 42000 PS. Die energiewirtschaftliche Kombination der drei letztgenannten Werke ist in der Abbildung 1 veranschaulicht.

b) Wasserbaulicher Teil der Kraftwerke.

Der Stauraum des Ritomsees wurde grösstenteils durch die geologisch begünstigte Durchbohrung des Abschlusses des Sees gegen das Tal des Fossbaches in einer Tiefe von 30 m unter dem natürlichen Seespiegel gewonnen. Die eigentliche Stauung des Sees beträgt 7,0 m und wird mit einer „Gewichtsmauer" von 170 m Kronenlänge bewerkstelligt.

Der Stauweier des Kraftwerkes Amsteg beim Pfaffensprung wurde durch eine 32 m hohe gemauerte „Gewölbemauer" in der engen Schlucht der Reuss geschaffen.

Die Staumauer Barberine ist eine gegossene Gewichtsmauer aus Beton mit 206,000 m³ Inhalt; sie ist 78 m hoch, hat eine Breite (Dicke) von 58,6 m an der Basis und eine Kronenlänge von 285 m.

Das Ausgleichbecken Les Marécottes im Zuge des Stollens des Kraftwerkes Vernayaz ist zum Teil eine von Pfeilern getragene Schale aus armiertem Beton, ähnlich dem Ausgleichbecken des Kraftwerkes Massaboden.

Wie im 4. Kapitel erwähnt, wurde der als Druckstollen projektierte Stollen des Kraftwerkes Ritom bis zum Frühling 1928 als Freilaufstollen betrieben. Der unter maximal 45 m Wasserdruck stehende Stollen (Länge 868 m, Querschnitt 2,66 m²) zeigte nach seiner ersten Inbetriebsetzung zahlreiche feine Risse und einen Wasserverlust von 300 Liter pro Sekunde. Das Wasser trat in der Nähe des Wasserschlosses zutage, weichte eine Moräne auf und verursachte deren Abgleiten auf der steilen Felsunterlage. Durch Drosselung des Einlaufes am Ritomsee und Öffnung eines Überlaufes aus dem Stollen in einen vorhandenen Zugangsstollen wurde der maximale Wasserdruck auf ca. 7 m herabgesetzt und das Werk dem Betrieb übergeben. In der Folge wurde festgestellt, dass der Stollen ca. 700 m vom Ritomsee an praktisch dicht war. Die Verbesserung auf dem Wege der Armierung und Betonspritzung konnte sich daher auf das Wasserschloss und den an dieses anschliessenden kürzeren Teil des Stollens beschränken. Sie wurde ohne Beeinträchtigung des Gesamtbetriebes der S. B. B. in zwei Malen durchgeführt. Endgültiger Zustand seit Anfang November 1928.

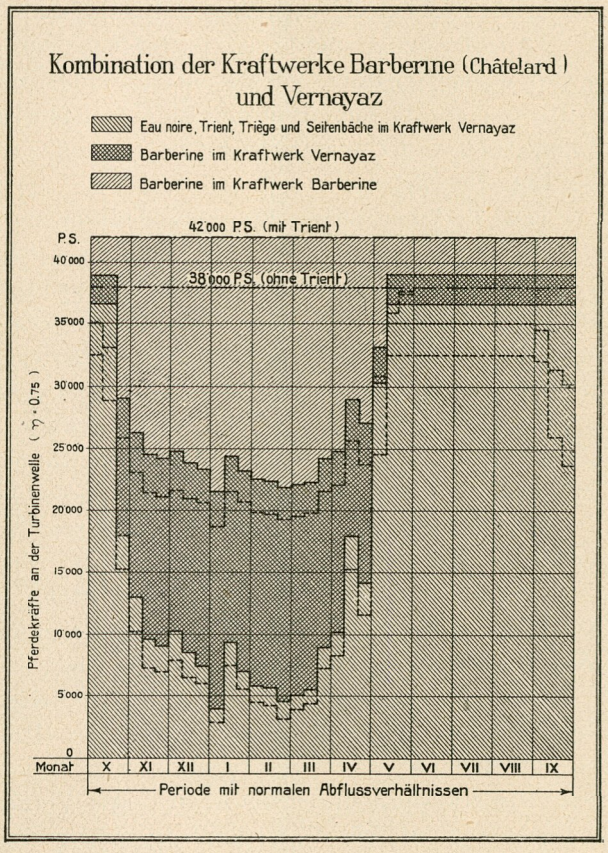


Abb. 1

Der 7,5 km lange Stollen des Kraftwerkes Amsteg (Querschnitt 6,5 m²) wurde auf Grund der Ergebnisse eingehender Versuche streckenweise, je nach der Beschaffenheit des Gesteines verschieden, armiert oder sonst ausgekleidet.

Der unter einem maximalen Wasserdruck von 70 m stehende Druckstollen des Kraftwerkes Barberine durchfährt so gutes Gestein, dass er fast auf seine ganze Länge von 2200 m unausgekleidet gelassen werden konnte.

Als das Kraftwerk Ritom gebaut wurde, konnten Druckleitungsrohre mit mehr als 35 mm Wandstärke noch nicht sicher geschweisst werden. Die Rohrdurchmesser waren daher beschränkt und die Rohrstränge mussten von einem gewissen Druck an je in zwei aufgelöst werden.

Die Rohre der Druckleitung des Kraftwerkes Amsteg sind teils (im oberen Teil der Leitung) genietet, teils (im untern Teil der Leitung) geschweisst.

Beim Kraftwerk Vernayaz konnten bereits Druckleitungsrohre mit 49 mm Wandstärke, mit Wassergas „überlappt" geschweisst, verwendet werden.

Die Druckleitungsrohrstränge haben am obern Ende eine von Hand zu bedienende und eine automatische, auch von der Zentrale des Kraftwerkes aus in Tätigkeit zu setzende Drosselklappe. Bei einem Rohrbruch wirkt die erhöhte Wassergeschwindigkeit auf einen löffelförmigen Hebel, der bei einem gewissen Ausschlag einen die Drosselklappe schliessenden Servomotor auslöst.

Die Druckrohre wurden bei der Abnahme von der Fabrik alle wenigstens ein Mal mit dem 1,6 bis 2,0 fachen Betriebsdruck geprüft. Nach der Montierung wurden die vollständigen Rohrstränge zonenweise einer Probe mit dem 1,5 fachen Betriebsdruck unterworfen.

c) Ausrüstung der Kraftwerke.

Der Bestand an Maschinen und Transformatoren der Kraftwerke Amsteg, Ritom, Vernayaz und Barberine ist aus der Tabelle X ersichtlich. Die folgenden Ausführungen beziehen sich nur auf diese Kraftwerke.

Alle Turbinen sind Freistrahlturbinen (Pelton-Turbinen) mit horizontaler Achse, starr gekuppelt je mit einem Generator, so Maschinengruppen mit je drei Lagern bildend. Die Umdrehungszahl ist $333^1/_3$, sodass die angetriebenen Einphasengeneratoren mit 6 Polen die Normalperiodenzahl $16^2/_3$ des Bahnbetriebes, die angetriebenen Dreiphasengeneratoren [1]) mit 18 Polen die Normalperiodenzahl 50 der Industrie haben.

Die Turbinen haben Einrichtungen zur Beeinflussung und zur Sicherstellung der Regulierung, zur Verhütung des „Durchgehens" und zur raschen Stillsetzung.

Die Absperrorgane zwischen Turbine und Druckleitung sind hydraulisch gesteuerte Kugelschieber oder Ringschieber. Die Schliessgeschwindigkeit ist so eingestellt, dass die Schieber von drei voll belasteten Turbinen gleichzeitig schliessen dürfen, ohne dass in der Druckleitung Stossdrücke entstehen, die mehr als $10\,\%$ des Betriebsdruckes betragen.

Alle Generatoren sind vollständig gekapselt. Sie saugen die Kühlluft durch Kanäle im Boden des Maschinenhauses an und drücken die warme Luft ebenfalls durch Kanäle im Sommer ins Freie, im Winter auf gewissen Umwegen in den Maschinensaal und andere Diensträume.

Die Maschinen machen so wenig Lärm, dass Unterhaltung in ihrer nächsten Nähe vollkommen leicht ist.

Die Generatoren haben eine Einrichtung zur Überwachung ihrer Erwärmung vom zentralen Schaltstand aus. Ein Pol der Einphasengeneratoren liegt an Erde und ist, ausgenommen im Kraftwerk Barberine, mit dem Bahngeleise verbunden.

Die Erregung der Generatoren ist durchweg „separat"; die Spannungsregulierung erfolgt durchweg im Nebenschluss automatisch und von Hand. Die Normalspannung aller Einphasengeneratoren beträgt 15000 V.

Die Transformatoren des Kraftwerkes Vernayaz zeichnen sich von denen der anderen Kraftwerke dadurch aus, dass sie die Generatorspannung sowohl auf 66000 V, als auch auf 132000 V hinauftransformieren. Sie sind daher gleichzeitig an die Übertragungsleitung mit 132000 V und an die Übertragungsleitungen mit 66000 V angeschlossen. Sie haben drei Wicklungen. Mit dieser Anordnung wurden Vereinfachung der Schaltanlage, Herabsetzung der Transformationsverluste und Verminderung der Spannungsabfälle erzielt.

In allen Kraftwerken ist der „Mittelpunkt" der 66000 V-, bezw. 60000 V-Wicklung jedes Transformators über einen Widerstand mit grosser Ohmzahl geerdet. Bei den 132000 V-Wicklungen der Transformatoren in Vernayaz ist die Erdung unmittelbar.

Die Transformatoren haben wie die Generatoren eine Einrichtung zur Überwachung ihrer Erwärmung.

In den Kraftwerken Amsteg, Ritom und Barberine wurden die Räume für die Transformatoren und Schaltapparate im Interesse der Sicherheit in verschiedenen Hinsichten zellenartig geteilt, immerhin nicht in dem Masse, welches in vielen Zentralen aus der gleichen Zeit anzutreffen ist. Im Kraftwerk Vernayaz wurden die Transformatoren, Schalter und anderen Apparate in einer zweiteiligen Halle untergebracht und dadurch eine bemerkenswerte Übersichtlichkeit erreicht.

[1]) In Amsteg und Ritom je ein Dreiphasengenerator für Überschussenergie.

Die im Betrieb erforderlichen, nicht nur ausnahmsweise vorkommenden Schaltungen und Regulierungen werden in jedem Kraftwerk von einem Schaltstand aus ausgeführt. In diesem befinden sich die Instrumente, mit denen die massgebenden Vorgänge im Kraftwerk und in den angeschlossenen Leitungen überwacht werden können. Alle wichtigeren Schalter im Kraftwerk werden vom Schaltstand aus ferngesteuert. Verriegelungen und automatische optische und akustische Meldevorrichtungen erhöhen die Zuverlässigkeit des Dienstes im Schaltstand.

Vom Schaltstand des Kraftwerkes Vernayaz aus wird das Unterwerk Vernayaz, vom Schaltstand des Kraftwerkes Barberine aus das Nebenkraftwerk Trient ferngesteuert.

Die Kraftwerke Amsteg und Ritom haben Anschlüsse an die Fahrleitungen der nahe an ihnen vorbeiführenden Bahnlinien. Sie sind daher zum Teil zugleich Unterwerke.

Die Tafel III zeigt das Schaltungsschema der Hauptstromkreise des Kraftwerkes Barberine, des schaltungstechnisch einfachsten.

In jedem Kraftwerk hat es ausser den Hauptstromkreisen noch die viele Kilometer dünne isolierte Leiter umfassenden Stromkreise der Steuer- und Melde-Leitungen und die Stromkreise der Beleuchtungsanlage und der nicht wenig zahlreichen Motoren zu verschiedenen Zwecken. Diese Stromkreise sind über kleinere besondere Transformatoren und umformende Maschinen an geeigneter Stelle von einem Hauptstromkreis abgezweigt.

Jedes Kraftwerk hat eine Werkstätte, in welcher der grösste Teil des Bedienungspersonals im Turnus die laufenden Arbeiten des Unterhaltes und der periodischen Schalteruntersuchung, sowie Reparaturen ausführt und dadurch die bedienten Anlageteile auch von innen kennen lernt.

9. Unterwerke.

Die Unterwerke, ausgenommen die zentralen Rupperswil und Kerzers, liegen an elektrisch betriebenen Bahnlinien. In den Unterwerken ist das Fahrleitungsnetz an die Energieversorgungsanlage angeschlossen. Sie liegen in den Speisepunkten des Fahrleitungsnetzes. Ihre Transformatoren spannen die durch die betreffenden Übertragungsleitungen zugeführte Energie von 66000 V oder 60000 V auf 15000 V um. Von ihnen gehen die angeschlossenen Fahrdrähte wie die Übertragungsleitungen von einem Kraftwerk oder zentralen Unterwerk aus und können geschaltet werden.

Die Standorte der Unterwerke werden durch mancherlei bestimmt. Aus Gründen, die der Darlegung kaum bedürfen, sind Knotenpunkte des Bahnliniennetzes günstige Standorte von Unterwerken. Viele Unterwerke der S. B. B. liegen bei Bahnlinienknotenpunkten. Im allgemeinen ist die Lage der Unterwerke günstig sowohl bezüglich der Speisung des Fahrleitungsnetzes, als auch bezüglich der Gestaltung der Energieversorgungsanlage. In mehreren Fällen liegt ein Kompromiss vor.

Die Unterwerke können mit kleineren Kraftwerken verglichen werden, welche die Energie nicht erzeugen, sondern zugeführt erhalten; sie haben keine Turbinen und keine Generatoren. Auf der 60000 V- oder 66000 V-Seite sind sie in der Tat elektrisch die Umkehrung der entsprechenden Seite eines Kraftwerkes. Ihre 15000 V-Seite ist freilich ganz durch die Erfordernisse des Betriebes des Fahrleitungsnetzes bestimmt, insbesondere durch die Gliederung der Fahrleitungsanlage in voneinander elektrisch trennbare Fahrdrähte.

Die Hilfs- und Neben-Einrichtungen der Unterwerke sind nur Verkleinerungen derjenigen der Kraftwerke. Einige neuere Unterwerke haben jedoch Einrichtungen zur teilweise automatischen Bedienung der Schalter und zur Alarmierung. Dadurch wird die beständige Anwesenheit eines Wärters im Schaltstand unnötig. Auch auf andere Weise wurde die Bedienung von Unterwerken vereinfacht, sodass die Besatzung zum Fahrleitungsdienst auf den zugeteilten Bahnstrecken herangezogen werden kann.

Die Tafel IV zeigt das Schema des Unterwerkes Biel, welches eine stattliche Zahl von Fahrleitungsanschlüssen hat. Die Unterwerke Thun, Nyon und Wattwil [1]) ausgenommen, sind die Unterwerke der S. B. B. schematisch im wesentlichen gleich. Ihr baulicher Teil zeigt jedoch eine allgemein interessante Entwicklung. Die 6 ersten Unterwerke auf der Tabelle XI haben ihre ganze Ausrüstung in einem

[1]) Nur ein Transformator, von der Station aus ferngesteuert.

Tabelle XI.

Unterwerke.

Ort	Bauart	Transformatoren			Angeschlossene Leitungen			Jahr der Inbetriebsetzung
		Anzahl	Einzelleitung kVA	Übersetzungsverhältnis kV	Übertragungleitungen 132 kV	Übertragungleitungen 60 und 66 kV	Fahrleitungen 15 kV	
1. Thun	Gebäudeanlage	2	2 000	30/15	—	2 [1])	3	1919
2. Göschenen	„	2 (3)	5 000	60/15	—	1 Freileitung 4 Kabelleitungen	5	1920
3. Giornico	„	2 (3)	5 000	60/15	—	2 Freileitungen 2 Kabelleitungen	4	1921
4. Giubiasco	„	2 (3)	5 000	60/15	—	4	5	1921
5. Melide	„	2 (3)	5 000	60/15	—	2	5	1922
6. Steinen	„	3	5 000	60/15	—	10	9	1922
7. Sihlbrugg	Freiluft-Anlage, Hochbau	4	3 000	60/15	—	2	9	1923
8. Vernayaz [4])	„ „ „	3	3 000	66/15	—	6	5	1923
9. Emmenbrücke	„ „ „	3	3 000	60/15	—	2	7	1924
10. Olten	„ „ „	5	3 000	60/15	—	2	11	1924
11. Puidoux I [5])	„ „ „	2 (3)	5 000	60/15	—	4	10	1924
12. Bussigny	„ „ „	3 1	3 000 3 000	60/15 60/36	—	2 [2]) 1 [2])	9	1925
13. Brugg	„ „ „	4 (5)	3 000	60/15	—	4	9	1925
14. Seebach	„ „ „	4 (5)	3 000	60/15	—	4	9	1925
15. Burgdorf	„ „ „	3 (4)	3 000	60/15	—	2	5	1925
16. Puidoux II [6])	„ „ „	2	9 000	132/66	4	—	—	1927
17. Kerzers	„ „ „	2 (3) 3	3 000 9 000	66/15 132/66	4	6	1 [3])	1927
18. Rupperswil	„ „ „	3 (4)	9 000	132/66	2	6	—	1927
19. Massaboden	„ „ „	2	3 000	66/15	—	1	3	1927
20. Freiburg	„ „ „	3	3 000	66/15	—	2	5	1927
21. Gossau	„ „ „	3	3 000	66/15	—	2	6	1927
22. Wattwil	„ „ „	1	3 000	60/15	—	2	2	1927
23. Biel	„ „ Flachbau	4 (5)	3 000	66/15	—	2	9	1928
24. Sargans	„ „ „	3	3 000	66/15	—	2 [7])	7	1927
25. Grüze	„ „ „	3 (4)	3 000	66/15	—	2	7	1928
26. Nyon	„ „ „	1	3 000	34/15	—	1 [2])	1	in Ausführung

Die Zahlen in Klammern beziehen sich auf den Vollausbau.

[1]) Speisung mit 15 kV durch Kraftwerk Spiez der B.K.W.
[2]) Verbindungsleitung Bussigny-Nyon 36 kV.
[3]) Verbindung mit Kraftwerk Mühleberg der B.K.W.
[4]) Bedienung von Kraftwerk Vernayaz aus.
[5]) [6]) Bedienung gemeinschaftlich.
[7]) Verbindung mit dem Kraftwerk Küblis der B.K.

Gebäude, die Transformatoren und Schalter in Zellen wie die Kraftwerke aus der gleichen Zeit. Die grossen Kosten der Hochbauten veranlassten, den ganzen Hochspannungsteil ausserhalb eines Gebäudes zu installieren, in welchem der Schaltstand, die kleinen Maschinen und die Akkumulatorenbatterie zur Speisung der Neben- und Hilfsstromkreise, die Werkstätte und andere unentbehrliche Diensträume untergebracht sind. Das Unterwerk Sihlbrugg der S. B. B. war eine der allerersten Anlagen dieser Art in der Schweiz.

Die Erfahrungen der S. B. B. und von Elektrizitätswerken mit den Freiluftanlagen waren von Anfang an gut. Die S. B. B. bauten keine anderen mehr. Von 26 Unterwerken sind 20 Freiluftanlagen. Bei den vier letzten wurden jedoch die hohen Eisengerüste vermieden dadurch, dass noch mehr Apparate auf niedrige Betonsockel gesetzt wurden als früher. Diese Unterwerke haben fast nur noch Tragwerke für Leitungen, die in der Höhe sein müssen. Sie beanspruchen noch mehr Bodenfläche und haben mehr Schutzgitter, sind aber etwas billiger als Unterwerke gleicher Leistung mit hohen Gerüsten.

10. Übertragungsleitungen.

In der Bahnenergieversorgungsanlage der S. B. B. können drei Hauptarten von Übertragungsleitungen unterschieden werden, nämlich die Kabelleitungen mit 60000 V, die Freileitungen mit 66000 V und die Freileitungen mit 132000 V Betriebsspannung. Die Übertragungskabelleitungen erstrecken sich nur von Amsteg bis Giornico. Die Übertragungsfreileitung Giornico-Melide hat die Betriebsspannung der Kabelleitung, ist aber sonst einer Leitung mit 66000 V Betriebsspannung gleich zu achten.

Die Übertragungsleitungen der Gotthard-Elektrifizierung, also die ersten, sind Kabelleitungen. Die Wahl der Betriebsspannung von 60000 V war bestimmt durch die Erfahrungen der schweizerischen Kabelindustrie. Zur Verbindung der Kraftwerke Amsteg und Ritom miteinander war eine Kabelleitung im Gotthard-Tunnel (15 km) unvermeidlich. Die Ausdehnung derselben bis Amsteg und Giornico lag nahe als Massnahme zum Schutz von Lawinengefahr und zur Schonung des Landschaftsbildes.

Die Kabel sind einadrige, nicht armierte Bleimantelkabel mit geteerter Jutehülle (Bleimantelwandstärke 3 mm, Isolationsdicke 12 mm, imprägniertes Papier).

Die Kabel, überall vier an Zahl, also zwei Schleifen bildend, liegen im Bahnkörper ausserhalb des Geleises, geschützt dadurch, dass sie paarweise in Doppelkanälen aus Zement untergebracht sind, ein Kanal unten, einer, diesen deckend, oben und selbst mit Kunststeinplatten gedeckt. Der Deckel liegt ca. 40 cm unter der Oberfläche des Schotters. Die Verbindungsmuffen der Kabel befinden sich ungefähr alle 450 m in, mit Kunststeinplatten gedeckten, zugänglichen Schächten. Im Gotthard-Tunnel liegen die Kabel einzeln in Zementkanälen, welche auf Konsolen am Tunnelwiderlager ruhen. Diese Hochspannungskabel bereiteten im Anfang Schwierigkeiten. Seit langer Zeit arbeiten sie befriedigend.

Die Tabelle XII gibt Kenntnis vom Bestand der Übertragungsleitungen der Bahnenergieversorgung der S. B. B. und zeigt eine bemerkenswert kleine Zahl von verschieden dicken Leitern je eines Materials. Die photographischen Abbildungen am Schlusse zeigen sozusagen alle Bauarten der verwendeten Tragwerke und Leiteranordnungen.

Übertragungsfreileitungen sind eine so gewohnte Erscheinung, dass sich die folgenden Ausführungen auf einige Eigentümlichkeiten beschränken können.

Bei der Leitung Giornico-Melide beträgt die Spannweite in der Regel 80 m. Die Maste in der Geraden sind in der Richtung der Leitung biegsam pendelnde Masten. Die Leitungen in der schweizerischen Hochebene haben in der Regel Spannweiten von 125 m. Bei den Übertragungsleitungen der S. B. B. sind die Maste aus elektrischen und mechanischen Gründen durch ein „Erdseil" durchgehend miteinander verbunden und einzeln nach Möglichkeit gut geerdet zur Vermeidung gefährlicher Schrittspannungen bei Isolatorüberschlägen.

Die Übertragungsleitung Amsteg-Steinen-Rothkreuz ist bis Immensee eine Gemeinschaftsleitung der S. B. B. und der A.-G. Schweizerische Kraftübertragung, S. K. Der letzteren gehören die drei obern Leiter aus Aluminium mit je 191 mm² Querschnitt, eine Dreiphasenleitung zur Übertragung der Überschussenergie des Kraftwerkes Amsteg mit 85 000 V Betriebsspannung bildend. Die Regelspannweite beträgt 200 m, die grösste 450 m bei 180 m Höhenunterschied.

Tabelle XII.

Übertragungsleitungen der S. B. B.

Bestand des Netzes Ende 1928.

	Strecken-länge km	Leiter			Länge aller Leiter km
		An-zahl	Material	Querschnitt mm²	
60 und 66 kV-Netz					
Kabelleitungen . . .	59,4	4	Cu	120 [1]) & 135 [2])	237,6
Freileitungen	60,7	2	Cu	50 & 63	121,4
	396,9 [3])	4	Cu	95 & 100	1587,6
	53,0	8	Cu	95 & 100	424,0
	42,0	4 (2 Cu, 2 Aldrey [4])	Cu / Aldrey [4])	150 / 240	168,0
	23,5	4	Aldrey	240	94,0
	55,6	4	Fe/Al	60/191 & 60/160	222,4
	24,9	6	Fe/Al	60/191 & 60/160	149,4
	656,6				2766,8
132 kV-Netz					
Freileitungen	103,7	2	Fe/Al	60/191 & 50/212	207,4
	6,0	2	Aldrey [4])	240	12,0
	126,4	4	Aldrey	240	505,6
	31,7	4	Al	191	126,8
	267,8				851,8
Total	983,8				3851,8

Die Übertragungsleitung Barberine-Vernayaz-Puidoux zeichnet sich durch einzelne, Quertäler überschreitende Spannweiten aus, von denen die grösste 670 m beträgt und einen Durchhang von ca. 200 m hat. Die Leiter sind Reinaluminiumseile mit einem Stahlseil als Seele. Von Vernayaz bis Puidoux umfasst diese Leitung zwei Leiterpaare mit 66000 V und ein Leiterpaar mit 132000 V Betriebsspannung. Die parallele, über Les Thioleyres gehende Übertragungsleitung Vernayaz-Puidoux umfasst ein Leiterpaar der S. B. B. mit 132000 V und drei Leiter S. A. Electricité Ouest Suisse, E. O. S., mit 60000 V Betriebsspannung.

Die Strecke Deitingen-Gösgen der Übertragungsleitung Kerzers-Rupperswil bestand bereits als Leitung der S. K. und wurde von den S. B. B. käuflich erworben und umgebaut. Die übrigen Strecken dieser Übertragungsleitung sind bemerkenswert wegen des Materials der Leiter. Dieses ist eine Aluminiumlegierung, mit einer Reissfestigkeit von ca. 30 kg pro mm², einer Dehnung von ca. 5 % und einem galvanischen Widerstand von ca. 0,033 Ohm pro m und pro mm². Die Spannweiten dieser Leitung betragen in der Regel 235 m, entsprechend dem wirtschaftlich-technischen Optimum. Da, wie im 8. Kapitel mitgeteilt, die Mittelpunkte der 132000 V-Wicklungen der Transformatoren unmittelbar geerdet sind, also starke Kurzschlussströme entstehen können, wenn Isolatoren überschlagen werden, ist als Erdseil ein Kupferpanzerstahlseil mit 95 mm² Querschnitt verwendet.

Weniger um die Kosten zu vermindern, mehr um die Erwerbung von Durchleitungsrechten zu vermeiden, wurden einige Übertragungsleitungen streckenweise mit Fahrleitungen zusammengebaut.

Bei der Trassierung der Übertragungsleitungen wurde soviel als möglich, oft mit etwelchen Mehrkosten, die Nähe von Siedelungen und die Querung von Wäldern, besonders in der vorherrschenden Richtung starker Winde, vermieden.

[1]) Ritom-Giornico.
[2]) Ritom-Amsteg.
[3]) Einschliesslich Sargans-Landquart der B. K., durch die S. B. B. unterhalten.
[4]) Aluminiumlegierung.

11. Fahrleitungen.

Die Fahrleitungen sind ihrer Funktion nach Übertragungsleitungen, nämlich Leitungen zur Übertragung der Energie von den Speisepunkten des Fahrleitungsnetzes (den Unterwerken) nach den verkehrenden Triebfahrzeugen. Sie sind einpolig, d. h. an die gleichnamigen Pole der Spannungsquellen (15 000 V-Wicklungen der Unterwerkstransformatoren) angeschlossen. Die entgegengesetzten Pole sind an das Geleisenetz angeschlossen und damit wirksam geerdet. Das Geleise, genauer die miteinander leitend verbundenen Schienen und die Erde, gehören daher elektrisch zur Fahrleitung; sie bilden mit dem Fahrdraht, den ein Triebfahrzeug mit seinem Stromabnehmer beschleift, die zur Energieübertragung nach diesem Fahrzeug unentbehrliche Leitungsschleife für den Stromkreis. Die isolierten Teile der Fahrleitungen haben überall die volle Spannung von 15 000 V[1]) gegen Erde und jeden von der Erde nicht auch isolierten Teil der Fahrleitung (z. B. Tragwerksteile). Der Überschlag eines Isolators der Fahrleitung bewirkt daher in der Regel Kurzschluss.

Die Fahrleitung darf nicht in das vorgeschriebene „Lichtraumprofil" hineinragen. Der Stromabnehmer, ein Teil des Fahrzeuges, muss ganz in das vorgeschriebene Profil der Fahrzeuge eingezogen werden können. Um die Fahrleitung, die höchstens bis an das Lichtraumprofil herankommen darf, beschleifen zu können, muss der Stromabnehmer aus dem Profil des Fahrzeuges heraustreten. Wie alle unter Spannung stehenden Teile der Fahrleitung, müssen die Teile des Stromabnehmers einen gewissen Mindestabstand von der Erde, z. B. von den tiefsten Teilen einer über dem Geleise befindlichen Brücke, bewahren. Bei den S. B. B. wird mit einem Mindestabstand von 150 mm gerechnet, bezogen auf ruhigen Gang des Triebfahrzeuges und ungestörte Lage des Geleises.

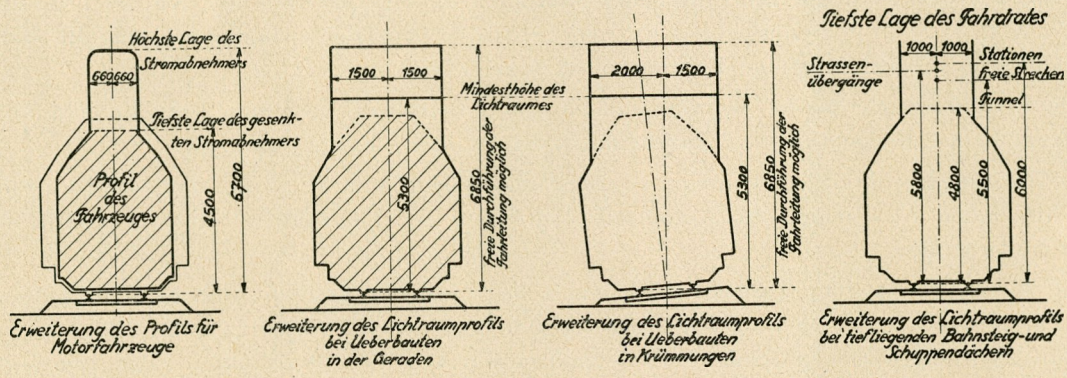


Abb. 2—5.

Die Abb. 2—5 zeigen für einfachste Fälle, wie das bei Bauten neben und über dem Geleise zu bewahrende Lichtraumprofil von elektrisch betriebenen Geleisen bemessen ist.

Die Fahrleitungen sind im Vergleich zu Übertragungsleitungen sehr zusammengesetzte Konstruktionen und zugleich den Störungsgefahren sehr ausgesetzte Anlageteile. Das Fahrleitungsnetz ist systematisch geteilt (sektioniert) nicht nur auf die im 7. Kapitel betrachtete Art, auch nicht nur unterwerksweise, sondern in „Strecken" (Fahrdrahtstrecken) als kleinste Glieder. Glieder sind die Fahrleitungen (Fahrdraht mit Zubehör bis und mit Isolation) je über einem Geleise von Station zu Station (von Signal zu Signal), bei eingeleisigen Strecken der (nicht beschleifbare) Hilfsdraht ebenfalls von Station zu Station (von Schaltposten zu Schaltposten), die Fahrleitungen über den Haupt- und Überholungsgeleisen einer Station und die Fahrleitungen über geeigneten Gruppen von Stations-Nebengeleisen.

[1]) Im Betrieb in der Regel 16 000 V in den Speisepunkten.

Die Tafel V zeigt die Gliederung der Fahrleitungsanlage von Brugg bis Olten, also von einer Bahnlinie zwischen zwei Unterwerken. Jedes Glied der Anlage kann (aus- und ein-) geschaltet werden. Die Schalteinrichtungen werden zusammen als „Streckenschaltung" bezeichnet. Das kleine Schema rechts unten auf der Tafel V zeigt die nach dem Eintritt einer Störung, z. B. infolge des vollständigen Versagens eines Isolators mit einem dauernden Kurzschluss, und vor der Ermittelung des gestörten Gliedes automatisch bewirkte Aufteilung oder „Spaltung" der Anlage in Gliedergruppen, bewirkt dadurch, dass die Spaltschalter unter dem Einfluss des mit dem Kurzschluss verknüpften starken Spannungssturzes durch Relais geöffnet werden. Bei zweigeleisigen Strecken tritt eine Querspaltung in Linienstrecken und eine Längsspaltung in rechtes und linkes Geleise ein. Die Geleise der Stationen mit Spaltschaltern werden für sich abgespaltet, die Geleise der andern Stationen bleiben an das rechte oder linke Geleise angeschlossen (bei eingeleisigen Linien an die Hilfsleitung).

In allen Fällen einer Störung öffnet der „Speiseschalter" in jedem der beiden Unterwerke augenblicklich und alarmiert, lässt aber die Verbindung der Spannungsquelle (15 000 V-Sammelschienen mit Transformatoren) mit der Fahrleitungsanlage durch einen Widerstand von 2000 Ohm und ein Ampèremeter bestehen. Zeigt dieses höchstens ca. 7,5 Ampère, so ist in der Regel kein dauernder Kurzschluss vorhanden, der Speiseschalter wird sofort wieder eingeschaltet, die Spaltschalter mit Zeitstaffelung hatten keine Zeit um auszuschalten, die Störung äusserte sich in einem vorübergehenden Verschwinden der Spannung ohne merklichen Einfluss auf den Gang der Züge zwischen den beiden Unterwerken. Zeigt jenes Ampèremeter mehr als 7,5 Ampère, so ist in der Regel ein dauernder Kurzschluss vorhanden, der Speiseschalter wird nicht wieder geschlossen, die Spaltschalter haben Zeit zum Ausschalten und die Aufsuchung erst der gestörten Gliedergruppe, nach Auffindung dieser des gestörten Gliedes auf dem Wege telephonischer Schaltbefehle an die Bahnstationen von jedem Unterwerk aus bezüglich des ihm durch die Spaltung zugefallenen Teils der Anlage beginnt. Dies ist das, nur in sehr groben Zügen beschriebene, in der Regel rasch zum Ziel führende Verfahren „von Hand" zur Ermittelung der Fahrleitungsstrecke, welche gestört ist.

Die Linie Luzern-Chiasso ist mit einer halbautomatischen, die Linie Bern-Romont mit einer ganzautomatischen Einrichtung zur Ermittlung gestörter Strecken ausgerüstet.

Die Störungen, deren Ort von Unterwerken aus gesucht werden muss, sind zu wenig zahlreich, um die allgemeine Anwendung der Automatik über die Zweifel bezüglich der Wirtschaftlichkeit im Betriebe zu erheben.

Die bauliche Seite der Fahrleitungen kann hier nur mit einigen allgemeinen Bemerkungen berücksichtigt werden. Die photographischen Abbildungen am Schluss zeigen, dass es sich um sehr mannigfaltige Konstruktionen handelt. Die zahlreichen kleineren Bestandteile der Fahrleitungen, die bei Reparaturen und beim Unterhalt öfters ersetzt werden müssen, sind jedoch weitgehend normalisiert. Der Fahrleitungsbau der S. B. B. wurde überhaupt frühzeitig normalisiert, aber nicht mit der Wirkung, dass Verbesserung, Vereinfachung, Verbilligung und Anpassung an besondere Verhältnisse erschwert wurden. Viele Normen wurden einer Änderung nie bedürftig.

Alle Fahrdrähte der Hauptgeleise haben kreisrunden Querschnitt von 107 mm² mit zwei Kerben zur Klemmung (Gewicht fast genau 1 kg pro m). Die Fahrdrähte der Nebengeleise haben die gleiche Querschnittform, aber einen kleineren Querschnitt, 75 mm² fast nur bei der Gotthardlinie, 57 mm² bei fast allen andern Linien. Die Fahrdrahtklemmen sind alle gleich.

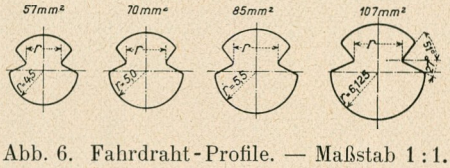


Abb. 6. Fahrdraht-Profile. — Maßstab 1 : 1.

Das Material der Fahrdrähte ist elektrolytisches Kupfer mit einer Reissfestigkeit von wenigstens 35 kg pro mm². Die Materialien der anderen nur auf Zug beanspruchten Fahrleitungsteile sind, ausser Kupfer, Eisen und Stahl, galvanisiert oder mit Kupfer gepanzert.

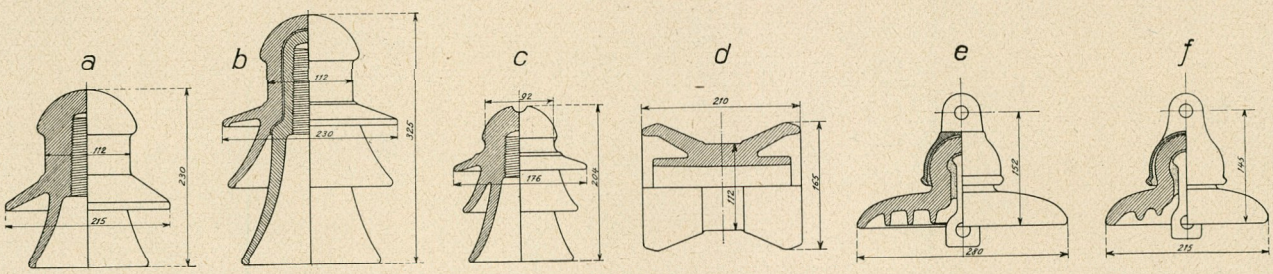


Abb. 7. Isolator-Typen der 15 kV Einphasenstrom-Fahrleitungen der S. B. B. — Maßstab 1:10.
a Trag-Isolator, *b* Tunnel-Isolator für Stationen mit Dampfbetrieb, *c* Delta-Isolator für Speiseleitungen u. dergl.
d Diabolo-Isolator für Tragwerke, *e* Abspann-Isolator (zwei in Serie) für Stellen mit Dampfverkehr
f Abspann-Isolator (zwei in Serie)

Die Isolatoren zur Montierung auf Stützen (Abb. 7a und b) zur Tragung und seitlichen Haltung von Tragseil und Fahrdraht wurden, einige spezielle Strecken ausgenommen, durch die ganze Elektrifizierung hindurch unverändert beibehalten. Die Abbildung zeigt die ganze Sammlung verschiedener Modelle.

Die konstruktive Verwendung der Isolatoren machte eine gewisse Entwicklung durch, dargestellt durch die Abb. 8, 9, 10, 11. Die Linie Luzern-Chiasso hat ausserhalb der Tunnel „doppelte"

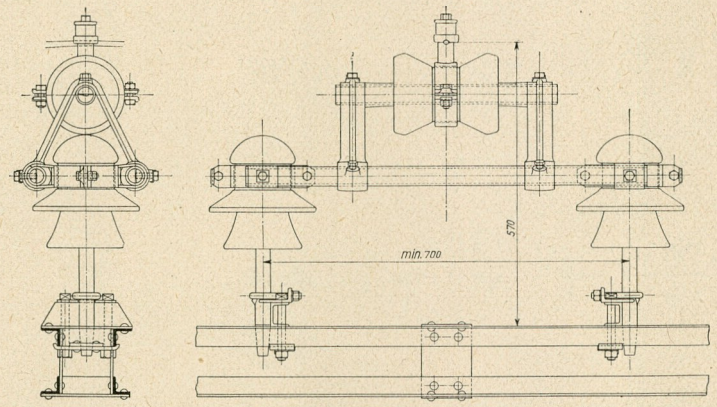


Abb. 8. Doppelte Trag-Isolation Bauart Gotthard. — Maßstab 1:15.

Trag-Isolation (Abb. 8). Dieselbe bewährte sich vorzüglich, liess aber Raum für Ersparnisse. In der Tat ist die „einfache" Trag-Isolation nach Abb. 10f praktisch gleichwertig, während die Trag-Isolationen nach Abb. 10a, b und c in vogelreichen Gegenden zu unzulässig vielen Überschlägen Anlass gaben; sie mussten mit höheren Stützen versehen werden. Die Massnahmen zum Schutz vor Störungen durch Vögel sind noch nicht überall getroffen.

Die Isolatoren der seitlichen Festlegung des Fahrdrahtes sind den Trag-Isolatoren gleich. Die Seiten-Isolation nach Abb. 11b erwies sich als durch Vögel so stark gefährdet, dass sie in vogelreichen Gegenden durch Porzellankappen ergänzt oder nach Abb. 11c geändert oder sogar durch die „doppelte" Seiten-Isolation nach Abb. 11a ersetzt wurde, welche sich bei der Gotthardlinie bestens bewährte.

Die Fahrleitungen von Bahnhöfen mit Dampf-Rangierbetrieb und von Linien mit stärkerem, regelmässigem Dampfbetrieb neben dem elektrischen Betrieb erhielten eine Trag-Isolation entweder nach Abb. 9 oder mit Tunnel-Isolatoren nach Abb. 7b.

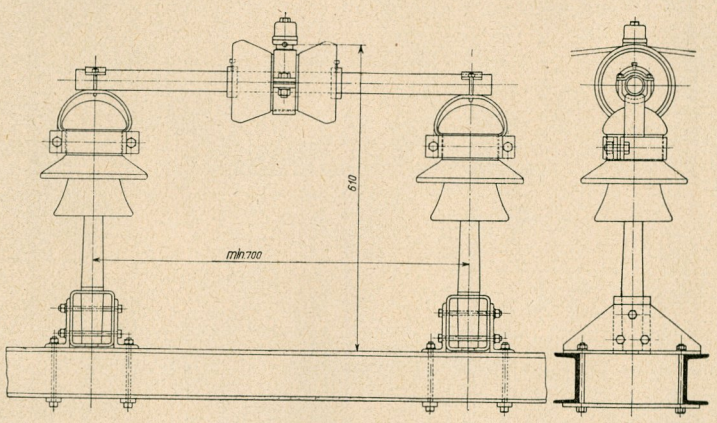
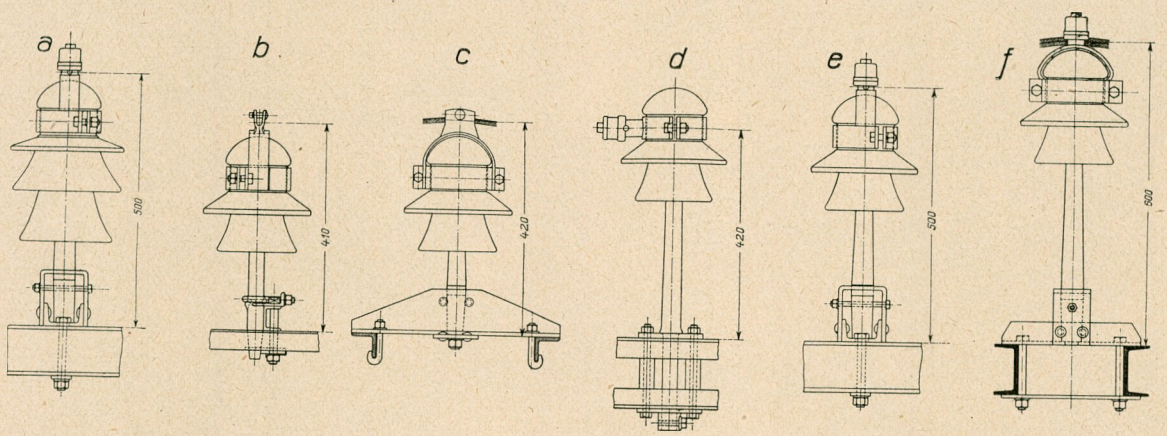


Abb. 9. Doppelte Trag-Isolation Bauart Zürich-Winterthur. — Maßstab 1:15.

Die Fahrleitungen ausserhalb der Tunnel sind, einige Geleisegruppen von Rangierbahnhöfen und spezielle Strecken ausgenommen, „vielfach aufgehängte" (wenigpunktige Unterstützung des „Tragseiles" auf Tragwerken, vielpunktige Aufhängung des Fahrdrahtes am Tragseil). Andere Fahrleitungen sind für den elektrischen Vollbahnbetrieb ungeeignet. Die Regelspannweite des Tragseiles beträgt in den Kreisen II[1]) und III 60 m (Abb. 12 und 13), im Kreise I 100 m (Abb. 14).



Verstärkter Typus Goldau-Zug-Zürich Sitten-Lausanne Luzern-Basel Zürich-Olten-Bern Bauart 1925

Abb. 10. Einfache Trag-Isolationen für die Tragseite, chronologisch geordnet. — Maßstab 1:15.

Trotz seiner vielpunktigen Aufhängung muss der Fahrdraht in einer gewissen, bei allen Temperaturen möglichst gleichen (mechanischen) Spannung erhalten werden. Bei der Leitung nach Abb. 12 bewirkt das zwischen dem Fahrdraht und dem Tragseil eingehängte „Zwischenseil" unter Veränderung seiner Durchhänge die Erhaltung eines Zuges im Fahrdraht, der zwischen den Grenzen 400 kg (kalt) und 250 kg (warm) in Abhängigkeit von der Temperatur schwankt. Bei den Leitungen nach Abb. 13 und 14 wird ein annähernd unveränderlicher Zug von 600 kg im Fahrdraht durch Spanngewichte in Intervallen, in der Regel von 1200 m, erhalten. Fahrdrähte von Nebengeleisen (57 mm²) erhalten eine Spannung von ca. 300 kg.

[1]) am Gotthard 56 m.

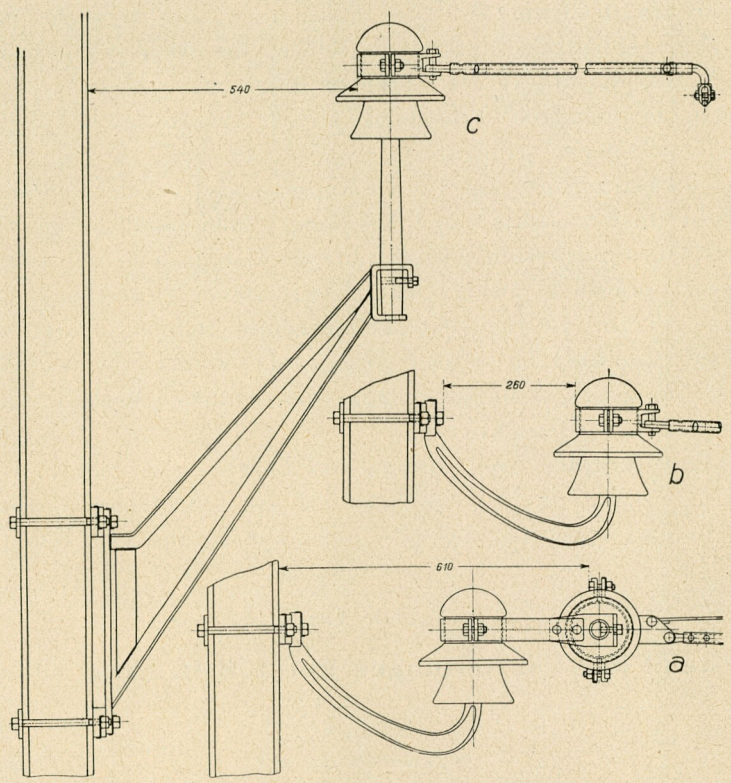


Abb. 11. Isolation zur seitlichen Festlegung des Fahrdrahts. — Maßstab 1:15.
a Bauart Gotthard, *b* Bauart Station, *c* Bauart freie Strecke

Der Fahrdraht liegt in der Regel 5,5 m hoch über Schienenoberkante; in Tunneln und unter Unterbauten liegt er 4,8 m, bei Wegübergängen von mehr als 3 m Breite 5,8 m, in Stationen 6,0 m hoch, alle Masse minimal und bezogen auf höchste Temperatur. Die Stromabnehmer reichen bis zu einer Höhe von 6,7 m.

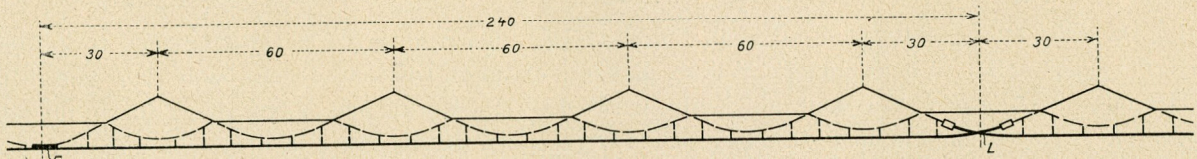


Abb. 12. Fixpunkt (F) und Lagewechsel (L) zwischen Fahrdraht und Zwischenseil bei der Gotthard-Fahrleitung.
Maßstab 1:2000.

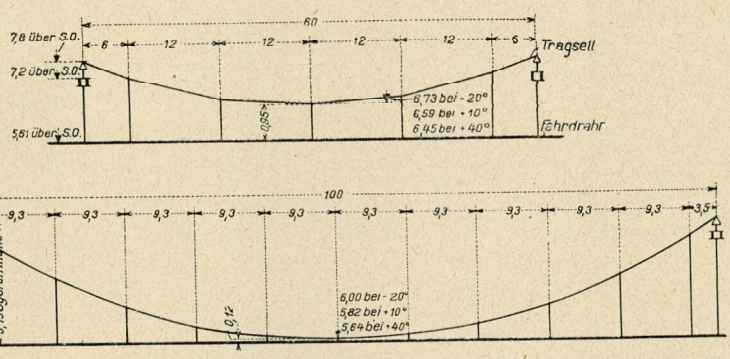


Abb. 13 und 14. Aufhängung der Fahrleitung ohne Zwischenseil auf freier Strecke, bei 60 bezw. 100 m Spannweite. — Maßstab 1:1000.

Die Konstruktion des Drahtwerkes [1]) der Fahrleitung, das Gewicht und die mechanische Spannung des Fahrdrahtes, sowie das Material desselben, der Anpressungsdruck und das Material des Stromabnehmers, sowie die Stärke des abzunehmenden Stromes und die Fahrgeschwindigkeit müssen als Gesamtheit die Bedingungen zu möglichst kleiner Abnützung des Fahrdrahtes auf möglichst geringe Kosten der Stromabnehmer erfüllen.

Spezielle Umstände ausgenommen, beträgt der Anpressungsdruck der Stormabnehmer 3,5—4,6 kg. Die Schleifstücke, leicht auswechselbar, sind aus einer Aluminiumlegierung. Zur Verteilung der Abnützung des Schleifstückes auf dessen normal nutzbare Länge quer zur Geleiseaxe von 400 mm ist der Fahrdraht in der Geraden in einem Zickzack mit 20 cm Abweichung nach rechts und nach links von der Geleiseaxe geführt. Die Schleifstücke machen im Durchschnitt etwa 2500 km, im Maximum 13,000 km, bis sie ausgewechselt werden müssen. Die Abnützung des Fahrdrahtes ist ausser in besonderen Punkten, in denen jene Bedingungen der örtlichen Verhältnisse wegen nicht ganz erfüllt werden können, verschwindend klein.

Die Tabelle XIII gibt Kenntnis vom Bestand der Fahrleitungen der S. B. B. anders eingeteilt als auf der Tabelle II. Die Länge der Tunnelfahrleitung ist beachtenswert. Die Gotthardlinie hat zwischen Erstfeld und Biasca 30,448 km oder 27,5 % der Fahrleitung über Hauptgeleisen in Tunneln.

Tabelle XIII.

Bestand der Fahrleitungen der S. B. B. Ende 1928.

Strecken	Elektrifizierte Geleisekilometer	Bemerkungen
a. Freie Strecken, eingeleisig .	542,578	a + b + c = 1869, 827 km = Gesamtlänge der elektrifizierten Liniengeleise ausserhalb der Stationen (von Signal zu Signal)
b. Freie Strecken, zweigeleisig .	1 148,571	
c. Tunnel	178,678	
d. Stationen	1 893,524	c in % von a + b + c = ca. 9,6
e. Im ganzen (siehe Tab. II) . .	3 763,351	d in % von e = ca. 50,0

Die Fahrleitungsanlage ist reich an Einrichtungen zum Schutz der auf Bahngebiet verkehrenden Personen. Hier sollen nur die Schutzerdungen erwähnt werden, denen beim Bau und beim Unterhalt grosse Aufmerksamkeit geschenkt wird. Die Tragwerke und Maste der Fahrleitung und Eisenteile von Geländern und Brücken, an welchen sich Stützpunkte der Fahrleitung befinden, können z. B. bei Isolatorüberschlägen Spannung erhalten; ihre Berührung durch Personen kann gefährlich sein. Die Gefahr wird beseitigt durch die Erdung, d. h. die gut leitende Verbindung der Tragwerke u. s. f. mit dem Geleise, in der Regel durch angeschweisste Kupferdrähte von 6 mm Durchmesser. Brücken und Gebäudeteile, welche wegen der Nähe der Fahrleitung überhaupt zufällig Spannung erhalten könnten, werden geerdet. Die elektrischen Schienenverbinder, welche die bloss mechanischen, elektrisch schlecht leitenden Schienenstossverbindungen überbrücken, erhöhen die Wirkung der Geleise als Erdungen.

Die Metallteile der Dächer und Seitenwände der Eisenbahnwagen, welche mit infolge Bruchs herunterhängenden Teilen der Fahrleitung in Berührung kommen könnten, sind durch gut leitende Verbindung mit dem Wagenrahmen und damit auf dem Wege durch die Achsen und Räder am Geleise geerdet.

[1]) Der vorwiegend aus Drähten und Seilen zusammengesetzte, unstarre Teil der Fahrleitung, von den starren Tragwerken isoliert.

12. Elektrische Fahrzeuge.

Die elektrischen Lokomotiven und die elektrischen Motorwagen werden hier gemeinsam als elektrische Fahrzeuge oder kurz als Triebfahrzeuge bezeichnet. Die Motorwagen sind nach Art der gedeckten Eisenbahnwagen gebaute Triebfahrzeuge, deren elektrische Ausrüstung nur einen sehr kleinen Teil des gedeckten Raumes über dem Wagenrahmen und unter dem Wagendach einnimmt, diesen also zur Aufnahme von Nutzlasten (Fahrgäste, Transportgüter) freilässt.

Alle Einphasentriebfahrzeuge der S. B. B. haben das gleiche elektrische Grundschema. Der durch den Stromabnehmer vom Fahrdraht abgenommene Strom von normal 15000 V geht durch die Primärwicklung eines Transformators in das Fahrgestell der Lokomotive und durch deren Achsen und Räder in das Geleise, d. h. zur Erde. Das eine Ende der Sekundärwicklung ist auf die gleiche Art geerdet, ebenso die gleichnamigen Pole der Motoren. Das Übersetzungsverhältnis des Transformators ist normal 15000 : 500 [1]). Mit Hilfe von Schleifkontakten, von gegenseitig abhängigen Einzelschaltern oder von einer Kombination dieser Mittel können bis 21 verschiedene Spannungen des Sekundärstromes erzielt werden, der die Triebmotoren, die Statorwicklung und die Rotorwicklung jedes einzelnen in Reihenschaltung, durchfliesst und zur Erde geht.

Die Regulierung der Zugkraft [2]) und damit der Fahrgeschwindigkeit ist auf die Regelung der vom Transformator sekundär abgenommenen Spannung zurückgeführt und weder mit einer Umschaltung der Triebmotoren, noch mit einem Verlust von Energie in Reglerwiderständen verknüpft.

Die Zugsheizung ist von der Sekundärwicklung des Transformators abgezweigt; sie hat die auf der Lokomotive einstellbaren Spannungen von 600, 800 und 1000 V und darf ca. 400 kW aufnehmen.

Die Nebenbetriebe des Triebfahrzeuges (Beleuchtungs- und Steuer-Stromkreise mit Akkumulatorbatterie, Triebmotorventilatoren, Luftkompressoren) sind ebenfalls an die Sekundärwicklung des Transformators angeschlossen.

Auf die sinnreichen Anordnungen der elektrischen Ausrüstung der Triebfahrzeuge einzutreten, würde über den Rahmen dieser Veröffentlichung hinausführen.

Die Tabelle XIV gibt Kenntnis vom Bestand der elektrischen Triebfahrzeuge der S. B. B.

Die photographischen Abbildungen am Schlusse erschöpfen die Gattungen der Triebfahrzeuge der S. B. B. ganz, die Hauptserien grösstenteils. Die augenfälligste Verschiedenheit dürfte darin erblickt werden, dass es Lokomotiven mit Stangenantrieb und Lokomotiven ohne solchen hat. Die Erfahrungen bestätigen die Vorteilhaftigkeit des Stangenantriebes bei Lokomotiven, von denen vorwiegend grosse Zugkraft bei kleiner Geschwindigkeit verlangt wird, also bei Güterzug- und Rangier-Lokomotiven. Die Stangenantriebe der schnell laufenden Lokomotiven, insbesondere mit der Achsenanordnung 2 C 1, befriedigen zwar auch. Der Antrieb jeder Triebachse für sich bietet jedoch so bedeutende maschinenbauliche und betriebstechnische Vorteile, dass im Oktober 1925 der Einzelachsantrieb, und zwar mit innen liegendem Rahmen (zwischen den Triebrädern) als Norm der Schnellzugs- und Personenzugs-Lokomotiven festgelegt wurde. Als Einzelachsantrieb wurde der federlose nach Buchli als Norm angenommen, obwohl mit dem gefederten nach Westinghouse an sich auch gute Erfahrungen gemacht worden waren. Die Normalisierung wurde in der Folge auf die Triebmotoren ausgedehnt.

Der Umstand, dass die elektrischen Lokomotiven erst von zwei, dann von drei schweizerischen Fabriken zu beziehen waren und dass diese nicht alle das gleiche Beste anboten, führte notwendigerweise zu einer gewissen Mannigfaltigkeit des Lokomotivparkes, die an sich nicht erwünscht war. Dieselbe verbreiterte jedoch die Basis der Erfahrungen und ist nicht zu beklagen. Die in keine Serie einreihbaren Lokomotiven verschwinden an Zahl gegenüber den in Serien eingereihten.

Die Steuerapparate und die Teile der Nebenbetriebe auf den Lokomotiven wurden frühzeitig normalisiert, sodass die Führung und der Unterhalt verschiedener Lokomotiven durch die gleichen Mannschaften keine Schwierigkeiten bereitet.

---

[1]) eine ältere Hauptserie hat 15000 : 1260.

[2]) nämlich des auf den Triebradumfang bezogenen Drehmoments der Motoren.

Tabelle XIV.

Bestand der elektrischen Triebfahrzeuge der S. B. B.

Ende 1928.

Lokomotivgattung	Im Betrieb am 31. Dez. 1928	Im Betrieb und in Bestellung 31. Dez. 1928	Vorhandene Hauptserien
Schnellzugslokomotiven	233	254	4
Personenzugslokomotiven	50	50	2
Güterzugslokomotiven	55	55	2
Rangierlokomotiven	26	26	2
Motorwagen	46	46	2
Einphasen-Lokomotiven und Motorwagen 15000 V, $16^2/_3$ Per.	410	431	
Einphasen-Motorwagen (Seetalbahn) 5500 V, 25 Per.	10	10	
Dreiphasen-Schnellzugs-Lokomotiven (Simplon) 3300 V, $16^2/_3$ Per. . . .	7	7	
Gesamtbestand	427	448	
Akkumulator-Rangierfahrzeuge . . .	16	16	

Die Lokomotiven werden einzeln und von ihren Führerständen aus bedient. Die Motorwagen können einzeln oder zu zweit, bei den Pendelzügen auch vom Führungswagen aus durch andere Wagen hindurch „vielfach-gesteuert" werden.

In den Erklärungen zu den photographischen Abbildungen ist die „Stundenleistung" bei einer bestimmten Geschwindigkeit angegeben. Die Division jener durch diese gibt die „Stundenzugkraft". Die Stundenleistung ist lediglich eine charakterisierende nominelle konstante Leistung, definiert mit Hilfe der normalisierten zulässigen Erwärmung der Triebmotoren binnen einer Stunde. Im Betrieb kommen während kürzerer Zeit wesentlich grössere Leistungen und Zugkräfte als die auf eine Stunde bezogenen vor. Beim Anfahren erreicht die Zugkraft das 1,75-fache bis Doppelte der Stundenzugkraft, ohne dass die Leistung das 1,25-fache der Stundenleistung zu erreichen braucht. Der Führer hält sich an die für die betreffende Serie festgesetzten Motorstromstärken und Applikationszeiten; seine Kunst ist, richtige Bemessung des Zugsgewichtes und der Fahrzeiten immerhin vorausgesetzt, den Kurs ohne Überwärmung der Triebmotoren zu absolvieren. Im Gegensatz zur Dampflokomotive gibt das elektrische Triebfahrzeug willig Leistungen her, die ihm sofort oder doch bei Wiederholung schaden.[1])

Von den Arbeitsprogrammen, welche in die Ausschreibungen und Bestellungen der Triebfahrzeuge aufgenommen wurden, seien die folgenden als Beispiele angeführt:

a) Ce 6/8-Güterzugslokomotive, erste Lieferung: zwei Hin- und Rück-Fahrten Arth-Goldau-Chiasso innert 28 Stunden, Anhängelast auf den Steilrampen (10 bis 27 ‰) 430 t, auf den anderen Strecken (0 bis 10 ‰) 860 t, Geschwindigkeit max. 65 km/h.

b) Ce 6/8-Güterzugslokomotive, spätere Lieferung: vier Hin- und Rück-Fahrten Basel-Olten-Bern (bis 10,5 ‰ Steigung) innert 22 Stunden, Anhängelast bei der Fahrt Basel-Bern (Bergfahrt) 1400 t, bei der entgegengesetzten Fahrt (Talfahrt) aus (nicht elektrischen) Betriebsgründen 700 t, Geschwindigkeit max. 65 km/h.

[1]) Die elektrische Energiezufuhr ist unerschöpflich im Vergleich zur Dampferzeugung der Dampflokomotive.

c) Be 4/6- und Be 4/7-Lokomotive: drei Hin- und Rück-Fahrten Luzern-Chiasso innert 24 Stunden, Anhängelast durchwegs 300 t (bis 27 ‰ Steigung), Geschwindigkeit max. 75 km/h.

d) Ae 3/6- und Ae 3/5-Lokomotive: drei Hin- und Rück-Fahrten Zürich-St. Gallen, Anhängelast durchwegs 480 t (bis 12 ‰ Steigung) Geschwindigkeit max. 90 km/h.

Auf Grund der Erfahrungen kann die Leistungsfähigkeit einer Lokomotive für einen bestimmten Dienst durch die Dauerleistung, die Stundenleistung und die Spitzenleistung bestimmt werden.

Die Stundenleistung der vier Motoren der Ae 4/7-Lokomotive ist 2840 PS, die Dauerleistung 2480 PS bei einer Fahrgeschwindigkeit von 65 km/h. Wenn ein Zug von 450 t auf 3 ‰ mit 100 km/h gezogen wird, leisten die Motoren zusammen ca. 1800 PS.

Die grössten, einigermassen dauernden Leistungen kommen nicht bei grössten Geschwindigkeiten (90 bis 100 km/h) auf horizontalen Strecken, sondern bei den (im Vergleich zum Dampfbetrieb) grossen Geschwindigkeiten (65 bis 75 km/h) auf Steigungen von 10 bis 12 ‰ vor.

Für jede Linie, Zugsgattung und Lokomotivserie ist die Belastungsnorm (regelmässig zuzulassende Anhängelast) festgesetzt, z. B. für Lokomotiven Ae 4/7 und Ae 3/6 bei Schnellzügen:

Lausanne-Vallorbe	Ae 4/7	410 t	Ae 3/6	300 t
Lausanne-Bern		435 t		335 t
Basel-Olten		650 t		480 t
Basel-Zürich		560 t		420 t
Zürich-Winterthur		600 t		450 t

Der gegenwärtige Lokomotivpark der S. B. B. birgt eine grosse Menge nach und nach von den Maschinendienststellen der S. B. B. und den Fabriken vorgenommenen Verbesserungen. Der praktische Erfolg ist gross, wenn auch nicht bei allen Serien gleich; er findet den objektiven Ausdruck in den Zahlen der Betriebsstatistik. Die Tabelle XV zeigt die Fortschritte nach Durchschnittszahlen der Serien Ae, Be und Ce je zusammen. Das Jahr 1928 zeigte wiederum einen Fortschritt, war aber statistisch noch nicht abgeschlossen.

Tabelle XV.

Einphasenlokomotiven der S. B. B.

1. Jahr	1923	1924	1925	1926	1927
2. Lokomotiven (Durchschnitt)	96	127	178	236	283
3. Lokomotivtage	35 139	46 626	64 959	86 336	103 272
4. Im Dienst[1]) in % von 3	74,6	78,0	78,4	81,0	84,7
5. Ausser Dienst in % von 3	25,4	22,0	21,6	19,0	15,3
6. Fahrleistung in km pro Lokomotive	49 300	65 300	67 570	70 130	74 142
7. Beste Seriengruppe[2])	56 900	71 900	72 630	77 658	78 931
8. Beste Serie	58 682	95 996	98 713	111 895	123 329
9. Unterhaltskosten der Lokomotiven in Rp. pro Lok.-km	47,8	33,8	33,2	28,0	21,7
10. Beste Seriengruppe[2])	28,0	25,2	24,3	21,5	17,8
11. Unterhaltskosten der Motorwagen in Rp. pro Wagen-km	0,0	38,7	35,1	21,2	37,5
12. Unterhaltskosten aller Triebfahrzeuge in Rp. pro Fahrzeug-km	47,1	34,0	33,3	27,6	22,4

[1]) und als Reserve [2]) z. B. alle Ae

Bemerkenswert sind die Fortschritte in der konstruktiven und betrieblichen Behandlung der Kommutatoren der Triebmotoren. Diese Teile sind nicht etwa, wie früher auf verschiedenen Seiten angenommen wurde, Schwächepunkte des Einphasensystems; denn es machten schon Kommutatoren der älteren Lieferungen 150 000 bis 227 000 Lokomotiv-km, bevor sie „behandelt" werden mussten. Im Jahr 1927 erreichten die Kommutatoren der Ae Lokomotiven im Durchschnitt 49100, die der Ce Lokomotiven gar 96460 Lokomotiv-km, bevor sie einer Behandlung bedurften.

Die von Anfang an bei den Motorwagen gehandhabte „einmännige" Bedienung wurde bis Ende 1928 auf 60 Lokomotiven ausgedehnt. Die bei ihr für nötig erachteten Sicherheitsvorkehrungen wurden den praktischen Bedürfnissen der Führung besonders angepasst; sie sind so vollkommen, dass auch die Einwendungen grundsätzlicher Art gegen das „Einmannsystem" verstummten.

Die elektrische Zugsheizung vom Transformator der Lokomotive aus wurde bereits erwähnt. Die Passmasse der von den S. B. B. eingeführten Heizkupplung (Verbindung der Kabel der elektrischen Heizung von Wagen zu Wagen) wurde von den Eisenbahnverwaltungen der umliegenden Länder angenommen. Dampfheizwagen werden in elektrischen Zügen nur noch ausnahmsweise mitgeführt.

In den grossen Endbahnhöfen werden die Züge von ambulanten, an die Fahrleitung angeschlossenen Transformatorstationen aus vorgeheizt, sodass die Lokomotiven nicht wegen des Heizens lange vor der Abfahrt an den Zug gebracht werden müssen.

Der Bestand an elektrisch heizbaren Wagen der S. B. B. war Ende 1928 folgender:

Personenwagen	2362	(+ 27 Seetalbahn)
Andere Wagen	808	(+ 5 „)

Die Remisen und Werkstätten der Depots zur Unterbringung und laufenden Unterhaltung der Triebfahrzeuge erfuhren manigfaltige Anpassungen an den elektrischen Betrieb. Die Werkstätten für grössere Reparaturen und periodische „Revisionen" wurden durch Neubauten erweitert oder teilweise umgebaut, und ihre Ausrüstung weitgehend von der Dampflokomotive auf die elektrische Lokomotive umgestellt.

13. Andere Anlagen.

Die Kapitel 7—12 erschöpfen, soweit es dem Zwecke dieser Veröffentlichung entspricht, die Anlagen und Einrichtungen, welche zum elektrischen Bahnbetrieb unmittelbar erforderlich sind und ganz auf Rechnung der Elektrifizierung gemacht wurden. Nur zum Teil auf diese Rechnung ging die Umgestaltung der Schwachstromanlagen sowohl der S. B. B., als auch der eidgenössischen Telegraphenverwaltung. Jede dieser Anlagen umfasste ein ausgedehntes Netz von teils auf dem Bahnkörper, teils in der Nähe desselben oder sonst im Störungsbereich der Fahrleitungen befindlichen vieldrahtigen Freileitungen für Telegraphie und Telephonie, die S. B. B. auch für Bahnsignalisierung.

Beide Verwaltungen legten ihre längeren Leitungen in Kabel, die S. B. B. im Bahnkörper, die eidg. Telegraphenwaltung in der Regel in die Staatsstrassen.

Die Schwachstromleitungen werden durch ihre Verkabelung gegen die Störung durch das elektrische Feld der Fahrleitungen vollkommen geschützt. Durch ihre Verlegung in die Staatsstrassen gelangten die staatlichen Schwachstromkabel im Durchschnitt so weit von den Bahnlinien weg, dass sie auch durch das magnetische Feld der Fahrleitungen nicht gestört werden. Die Schwachstromkabel der S. B. B. mussten in den Bahnkörper gelegt und damit im Bereiche des bei Kurzschlüssen störfähigen Magnetfeldes der Fahrleitung belassen werden. Die Störungen werden indessen durch geeignete Anordnung der Speisung der Fahrleitungen weitgehend unterdrückt.

Die Telephonleitungen der S. B. B. sind Kabel System Krarup. Sie und die Telegraphenleitungen der S. B. B. sind mit Spannungssicherungen für 600 V und Stromsicherungen für 5 A ver-

sehen. Die Hauptkabel dieser Leitungen haben etwa jeden Kilometer einen Kabel-(Verbindungs)-Kasten mit einem Anschluss für tragbare Telephone.

Die Kraftwerke und Unterwerke, sowie gewisse andere wichtige Punkte in der Energieversorgungsanlage der S. B. B. erhielten die erforderlichen telephonischen bahnamtlichen Verbindungen miteinander. Alle Betriebsstellen der Energieversorgung sind ausserdem an das öffentliche Telephonnetz angeschlossen.

14. Energiehaushalt.

Unter Energiehaushalt sei hier der technische Teil der Energiewirtschaft verstanden.

Die Kraftwerke der S.B.B. sind nach ihrer Ausrüstung befähigt, die Energie von 435 000 000 kWh[1]) ganz als Einphasenbahnenergie zu erzeugen. Im Jahre 1929 können aus bahnfremden Kraftwerken ca. 30 000 000 kWh bezogen werden, von denen ungefähr die Hälfte pflichtmässig im Minimum. Später können aus denselben weitere ca. 30 000 000 kWh bezogen werden. Der Bahnenergiehaushalt der S. B. B. kann sich also bis auf weiteres auf eine „Disponibilität" von ca. 495 000 000 kWh stützen. Diese Energie ist „ausgeglichen", d. h. sie darf das ganze Jahr hindurch in gleichen monatlichen, wöchentlichen, täglichen und stündlichen Quantitäten verbraucht werden. Der Bahnbetrieb kann aber nicht so verbrauchen, wie bereits im 6. Kapitel bezüglich der Zugsheizung und der Verschiedenheit des Tagesstundenverbrauches vom Nachtstundenverbrauch (18,5 Stunden, bezw. 5,5 Stunden) angedeutet wurde[2]). Von der im Jahre 1929 zur Verfügung stehenden Bahnenergie von 465 000 000 kWh kann der Bahnbetrieb ca. 20 000 000 kWh nicht verbrauchen[3]) und zwar hauptsächlich im Sommer, wann die nicht akkumulierenden Flusskraftwerke die Energie erzeugen. Diese 20 000 000 kWh sind als Teil der verfügbaren Überschussenergie zu betrachten.

Für den Bahnenergiehaushalter ist der Bahnbetrieb das Mittel zur Ausnützung der „Disponibilität". Im Jahre 1929 wird er aus den bahnfremden Kraftwerken nicht mehr als die vertragsmässigen Minima zu beziehen suchen. Überschussenergie wird er so viel als möglich je am Orte der Nachfrage (Amsteg oder Vernayaz) bereithalten. Das erstere erreicht er durch Anschliessung der durch Schutzstrecken abtrennbaren Fahrleitungsnetzteile an die bahnfremden Kraftwerke, letzteres durch Schiebung von Teilen der Bahnbelastung von einer Kraftwerkgruppe in die andere.

Die parallel arbeitenden Kraftwerkgruppen teilen sich nicht von selbst im Sinne eines zweckmässigen Haushaltes in die Belastungen und Energien. Damit die Gesamtbelastung in den unter den Umständen vorteilhaftesten Verhältnissen auf parallel arbeitende Kraftwerke verteilt werde, muss in jedem dieser nicht nur die geeignete Zahl von Maschinengruppen laufen, sondern müssen die Turbinendrehzahlregler, die Turbinenreglerungleichförmigkeitsgrade und die Generatorspannungsregler eine geeignete Einstellung haben. Mit den zur Verfügung stehenden Regelungsmitteln, die, eingestellt, dauernd automatisch wirken und erst bei Eintritt einer wesentlich veränderten Lage (z. B. am Anfang der Nachtstunden mit schwacher Belastung) neu eingestellt werden, können sowohl Wirkbelastung (kW) und Blindbelastung (kVA-Komponente der scheinbaren Belastung), als auch Grundbelastung (Gesamtheit der Belastungen z. B. bis 60 % der Maximalbelastung) und Spitzenbelastung (Gesamtheit der Belastungsteile zwischen 60 und 100 % der Maximalbelastung) innerhalb der durch die Zahl der in den einzelnen Kraftwerken verfügbaren Maschinengruppen gesetzten Grenzen beliebig unter die Kraftwerke verteilt werden. So ist es möglich, den etwa zu stark angebrauchten Inhalt des einen Stausees auf Kosten des Inhaltes des anderen zu schonen, bis der erwünschte Zustand wieder hergestellt ist. Im Winter wird der stark schwankende Teil der Belastung auf die Akkumulierwerke gelegt, damit die Flusswerke das spärliche Winterwasser vollständig ausnützen können, wozu dasjenige in Amsteg durch den Stauweiher am Pfaffensprung besonders befähigt ist; denn eine wirklich unveränderliche Belastung ist nicht erreichbar.

---

[1]) Summe der Pos. 1 bis 6 der Kolonne 7 der Tabelle VIII.

[2]) Siehe auch Erläuterung zu den Tabellen IX und X im Text des 8. Kapitels.

[3]) Daher Pos. 18 der Tabelle VIII 445 000 000 kWh.

Die Tafel VI zeigt die Verteilung der Gesamtbelastung auf die Kraftwerke Amsteg, Ritom, Vernayaz und Barberine am 10. Januar 1928.

Die Leitung des Energiehaushaltes erfolgt von der Betriebssektion I der Abteilung für Elektrifizierung und elektrische Anlagen bei der Generaldirektion aus durch die Ausgabe von Wasserverbrauchsprogrammen, im allgemeinen mit Gültigkeit bis auf weiteres, und telephonische Weisungen von Fall zu Fall. (Siehe Tabelle VII). Im übrigen gelten feste allgemeine Regeln, nach welchen die Betriebsleitungen der Kraftwerkgruppen im Rahmen jener Programme nach eigenem Ermessen handeln. Die Leitung des Energiehaushaltes ist dadurch sehr erleichtert, dass jede Kraftwerkgruppe für sich ausgeglichene Energie hat.

Die Abb. 15 veranschaulicht den Grundcharakter des Energiehaushaltes der S. B. B. in seiner schematisierten wahrscheinlichen Gesamtäusserung während der Stunden starker Belastung in der Zeit vom 1. Mai 1929 bis 30. April 1930. Während der Stunden schwacher Belastung sind die Verhältnisse ähnlich, die Leistungen und daher auch die Flächen sind nur kleiner. Die Flächen stellen Energien „ab Kraftwerk" dar. So stellt die Fläche $OANX$ die zu beziehende bahnfremde Energie dar, welche wegen ihrer geringen Menge bei den folgenden Ausführungen der Einfachheit halber von der bahneigenen Energie nicht unterschieden wird; ihre Ausgleichung ist Sache der bahnfremden Kraftwerke.

Die Abb. 15 kann an Hand der folgenden Erklärung der Bedeutung der verschiedenen Flächen leicht verstanden werden.

1. $OBHGMXO$ ist der Energiebedarf der S. B. B.; wegen der Zugsheizung ist der Leistungsbedarf vom Oktober bis April um HG grösser als in den anderen Monaten.
2. $OCDEFLXO$ ist die gesamte erzeugbare Energie; von dieser ist
3. $FKLF$ die aus akkumuliertem Wasser,
4. $OCDEFKLO$ die aus nicht akkumuliertem Wasser erzeugbare Energie.
5. $BCDEFLMJGHB$ ist Überschussenergie; von dieser ist
6. $FLMJF$ Überschussenergie aus akkumuliertem Wasser.
7. $OCFLXO$ ist die erzeugbare ausgeglichene Energie; der Bahnbetrieb kann dieselbe nur vom Oktober bis April ganz ausnützen, Bedarf vorausgesetzt; die elektrische Zugsheizung bewirkt durch ihr Fehlen von Mai bis September, dass der Überschuss im Sommer nicht nur unausgleichbare Energie ist, sondern zum Teil auch ausgeglichene.

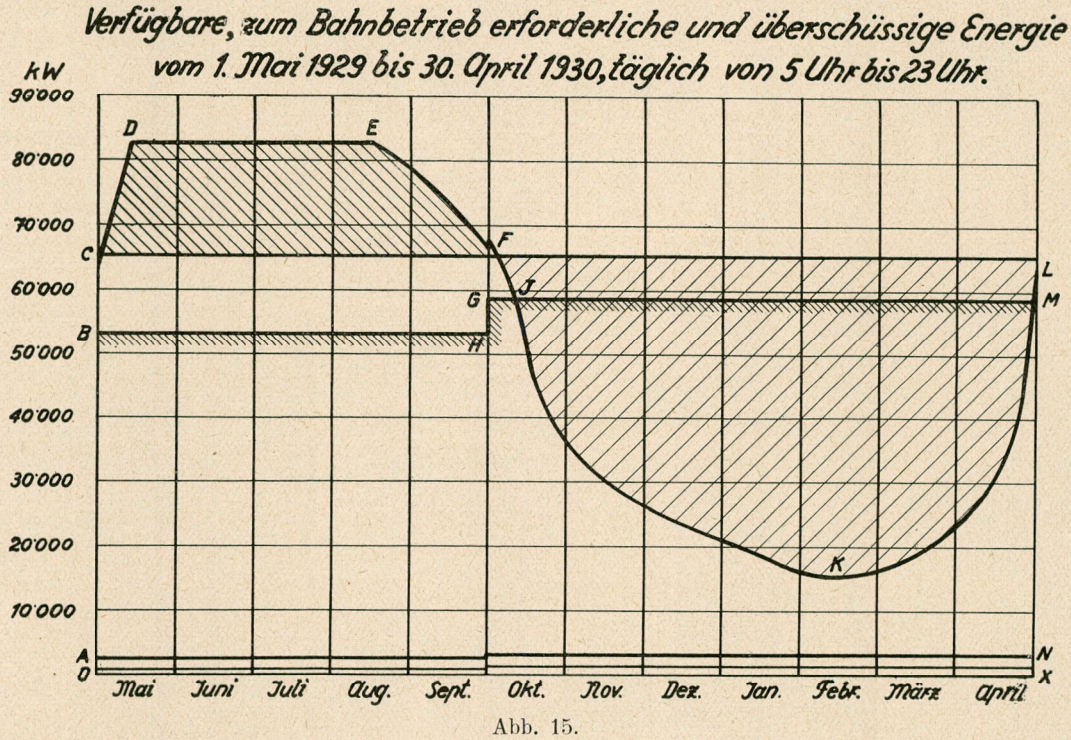


Abb. 15.

Die Fläche 1 stellt den unausgeglichenen Energiebedarf, die Fläche 2 die entgegengesetzt unausgeglichene erzeugbare Energie dar.

Die Fläche $ACFLNA$ entspricht ungefähr dem zweittrockensten, statistisch näher bekannten Jahre [1]). Die grossen Akkumulierungen Ritom und Barberine verwischen für den Energiehaushalt mit ihrem Zyklus Mai bis Mai den hydrologischen Zyklus der Kalenderjahre, auf welche sich die amtliche eidgenössische Statistik bezieht.

Bei der Aufstellung des Energiehaushaltsjahresprogrammes wird auf die Haltung einer angemessenen Reserve in den Stauseen Ritom und Barberine Bedacht genommen.

Die vom Oktober bis April verfügbare Energie ist schon im Kalenderjahr 1929 so gut ausgenützt, dass die Erweiterung der Energieversorgung bereits vorbereitet werden muss.

15. Betriebserfahrungen.

Bei den Ausführungen in den vorangehenden Kapiteln wurden bereits mehrere Erfahrungen erwähnt oder angedeutet, welche sich auf einzelne Teile der Anlage oder der Einrichtungen beziehen. Mit solchen Erfahrungen könnte eine Veröffentlichung vom Umfange der vorliegenden gefüllt werden. Hier können nur einige Erfahrungen von allgemeinem Interesse betrachtet werden.

Es darf darauf hingewiesen werden, dass der elektrische Betrieb der S. B. B. sowohl beim reisenden Publikum, als auch beim Personal in gutem Ansehen steht. Dieses beruht nicht darauf, dass mit der Elektrifizierung die mit ihr verfolgten Zwecke, die Umstellung des Betriebes vom ausländischen auf das inländische Triebmittel und die Arbeitsbeschaffung in kritischer Zeit erreicht wurden, sondern darauf, dass der elektrische Betrieb sauber ist und gut geht. In der Tat geht dieser Betrieb auch befriedigend in den Augen des Fachmannes, der von den Betriebsstörungen Kenntnis hat.

Es gibt im elektrischen Betrieb sozusagen keine Störung, auf die nicht mindestens ein automatischer Schalter reagiert. Jeder Vorgang, der einen oder mehrere automatische Schalter zum Ansprechen veranlasst, wird bei den S. B. B. als Störung angesehen und klassiert; denn jede automatische Ausschaltung, wenigstens im Fahrleitungsnetz, wird auf verkehrenden Triebfahrzeugen als Spannungsausfall, also als eine Unterbrechung der Energiezufuhr bemerkt. Beschädigungen der Anlage, die rechtzeitig beobachtet und behoben werden, ohne den Fahrdienst zu stören, werden nicht zu den Störungen gezählt.

Wie im 11. Kapitel bemerkt, ist das Fahrleitungsnetz der Störungsgefahr sehr ausgesetzt. Dies gilt für die Fahrleitungen der Stationen und gar der Bahnhöfe ganz besonders. Ca. 85 % aller Störungen kommen im Fahrleitungsnetz vor und äussern sich alle als Kurzschlüsse. Sie greifen in der Regel nicht weit herum oder werden durch die im 11. Kapitel in ganz groben Zügen beschriebene Art rasch eingegrenzt. Von diesen Störungen sind jedoch etwa drei Viertel nur vorübergehende. Bei richtiger Bedienung oder Funktion der Automatik der betreffenden Unterwerke haben die vorübergehenden Störungen keine Folge für den Verkehr. Etwa ein Viertel der Störungen im Fahrleitungsnetz sind mit der Beschädigung der Anlage, in der Regel eines Isolators, und einer Stillegung des Betriebes von Geleisen, schliesslich desjenigen, bei welchem der Störungsherd liegt, verknüpft. Bei der Klassierung nach Ursachen fallen die Störungen im Fahrleitungsnetz mit etwa 18 % auf fehlerhafte Manöver, mit etwa 28 % auf Vögel und einige andere Tiere, mit dem Rest auf Anderes.

In den Kraftwerken und Unterwerken kommen 5 bis 7 %, im Übertragungsleitungsnetz 6 bis 8 % aller Störungen vor. In den ersteren sind fehlerhafte Manöver ungefähr gleich beteiligt wie im Fahrleitungsnetz; im letzteren sind fehlerhafte Manöver sehr selten.

---

[1]) Das heisst: wenn zu dieser Fläche die den 6 schwach belasteten Nachtstunden entsprechende Fläche hinzugenommen wird, ergibt sich bei Anwendung der passenden Maßstäbe die nach der Tabelle IX des 8. Kapitels zu ermittelnde Jahresenergie von 435 Mill. kWh der 6 Kraftwerke der S. B. B.

Von allen Störungen sind nur 5 bis 8% mit einer 5 Minuten überschreitenden Unterbrechung der Speisung von Fahrleitungen überhaupt verknüpft. Man berechne für jede solche Unterbrechung das Produkt der Zeit in Minuten mit der Länge der betroffenen Geleise im km und die Summe aller dieser Produkte im Jahr und dividiere diese Summe durch die Zahl der Minuten im Jahre. Das Ergebnis ist eine Länge von ca. 0,5 km, d. h. aus allen im Jahr länger als 5 Minuten pro Fall nicht „mit Kraft" elektrisch befahrbahren Geleisestrecken kann man eine einzige von ca. 0,5 km Länge machen, deren Fahrleitung das ganze Jahr ohne Spannung ist.

Die Dauer der zwar seltenen, aber weitergreifenden Störungen, die ihren Herd in wichtigen Übertragungsleitungen haben, wird abnehmen in dem Masse, in welchem die Mannschaften der betreffenden Kraftwerke und Unterwerke mit den in der Anlage gebotenen Schaltmöglichkeiten vertrauter werden. Die Störungen sind viel zu selten, um eine einübende Wirkung zu haben.

In Bahnhöfen und Stationen wurden einige Male Fahrleitungstragwerke bei Entgleisungen so stark beschädigt, dass die Wiederherstellung der Fahrleitung nur knapp oder nicht in der Zeit möglich war, in der das Geleise wieder befahrbar gemacht werden konnte. In einigen Fällen von Entgleisung erwies sich die Fahrleitung als überraschend widerstandsfähig oder vom Glück begünstigt.

Die Grösse der Belastung der Anlagen durch den Verkehr hat keinen Einfluss auf die Betriebssicherheit. Die Zahl der Störungen, die Ursachen ohne Zufallscharakter haben, sind verhältnismässig selten. Sie können mit mehr Schulung des Personals vermieden werden. Die Zahl der Störungen, deren Ursachen Zufallscharakter haben, kann durch Massnahmen auf Grund richtiger Beobachtung vermindert werden.

Diese Betrachtungen könnten Missverständnisse veranlassen, wenn nicht bemerkt würde, dass die Gesamtwirkung der Störungen, selbst der augenfälligen, im Verkehr keinen nachhaltigen Eindruck macht und die betriebstechnischen Vorzüge des elektrischen Betriebes nicht erheblich zu beeinträchtigen vermag.

Den sonst in jeder, wie im 17. Kapitel zu zeigen ist, auch in wirtschaftlicher Beziehung, erfreulichen Erfahrungen steht die betrübende Erfahrung gegenüber, dass der elektrische Betrieb besonders für Personen, die in ihm nicht als Angehörige des Personals tätig sind und ihn als Fahrgäste nicht benützen, lebensgefährlich sein kann. Zunächst ist immerhin festzustellen, das bis jetzt noch kein Fahrgast weder auf der Fahrt, noch auf einer Station erheblich verletzt oder gar getötet wurde. Ein einziger wurde bei der durch einen Fahrleitungsteil verursachten Beschädigung des Personenwagens, in dem er fuhr, unerheblich mechanisch verletzt. Ferner ist festzustellen, dass bis jetzt ein einziger Bahnbeamter, nämlich der Beimann einer elektrischen Lokomotive, ganz ohne eigenes Zutun getötet wurde und zwar durch Sturz von der Lokomotive in mittelbarer Folge einer elektrischen Störung innerhalb der Lokomotive.

Es fällt auf, dass das Leitungsunterhaltspersonal der S. B. B., das den Gefahren der Hochspannung berufsmässig und oft unter den ungünstigsten Verhältnissen ausgesetzt ist, verhältnismässig wenig Opfer zu beklagen hat. Die meisten Opfer forderten Arbeiten, besonders von Unternehmern, in der Nähe von Fahrleitungen, die unter Spannung stehen. In allen Fällen waren die Leute gewarnt, meistens schriftlich. In den Jahren 1926, 1927 und 1928 (9 Monate) war die Zahl der Opfer 8, 14 und 12[1]). Von diesen waren beziehungsweise 5, 2 und 8 Angehörige des Personals der S. B. B. Seit 1924 kamen 6 nachgewiesene Selbstmorde vor. Die Gefahr besteht ganz vorwiegend bei den Fahrleitungen, die ihrer Zwecksbestimmung entsprechend nahe an Wagendächer, Schuppendächer, Brückengeländer usf. heranreichen. Eine im Betrieb sogar nicht mehr brauchbare niedrigere Spannung würde nicht wesentlich weniger gefährlich sein. Das Versagen einer Sicherheitsvorrichtung war noch nie bei einer erheblichen Verletzung oder gar Tötung beteiligt.

[1]) 1 bezw. pro 280, 200, 325 elektrifizierte Geleisekilometer.

16. Wirtschaftliches.

Die Elektrifizierung und der elektrische Betrieb der S. B. B. hatten und haben wirtschaftliche Folgen

1. für die Schweiz, das Land
2. für die S. B. B. als Unternehmen mit eigenem Finanzhaushalt und zwar
   a. solche, welche sich der Berechnung, der Wertung in Geld entziehen,
   b. solche, welche der mehr oder weniger genauen Berechnung, der einigermassen zutreffenden Wertung in Geld zugänglich sind.

1. Die Unterdrückung des Importes von rund 600000 t Kohle jährlich im heutigen Wert von rund 22 Millionen Franken [1]) loco Grenze und die fruchtbare Beschäftigung von Industrie und Gewerbe, zumal in kritischen Jahren, sind die beiden, alle anderen weit überragenden, unmittelbar und mittelbar vorteilhaften Folgen, welche die Elektrifizierung für das Land hat, beziehungsweise hatte. Der Kredit des Landes litt wegen der Beanspruchung des Geldmarktes durch die Elektrifizierungsanleihen nicht. Vom Elektrifizierungskapital [2]) im Betrage von rund 674 Millionen Franken musste höchstens ein Fünftel zu Käufen von Material aus dem Ausland verwendet werden, rund 540 Millionen Franken blieben in belebendem Umlauf im Lande. Ausser den geschweissten Röhren dreier der vier grossen Kraftwerke und des grösseren Teiles der Isolatoren wurden sozusagen nur schweizerische fertige Fabrikate verwendet. Von all dem Gewinn, welcher der schweizerischen Volkswirtschaft aus der Elektrifizierung erwuchs, kann in den Rechnungen der S. B. B. unmöglich eine bestimmte Spur gefunden werden, wohl aber von den finanziellen Lasten, welche die S. B. B. auf sich zu nehmen hatten. Für diese Rechnung ist es bei Gleichheit der Preise belanglos, ob Lokomotiven und Kilowattstunden aus dem Ausland oder aus dem Inland kommen.

2a. Eine nicht der Berechnung, nur der hypothetischen Betrachtung zugängliche, also unter Umständen ungünstige Folge der Elektrifizierung für die S. B. B., mittelbar auch für die Eidgenossenschaft als finanzielle Garantin, ist die Vergrösserung der Zinsenlast, d. h. einer Betriebskostenkomponente, die von der Stärke des Verkehrs unabhängig ist.[3]) Eine elektrisch betriebene Bahn kann wegen einer Verkehrskrise, die nicht mit einer Kohlenteuerung verbunden ist, stärker leiden als eine mit Dampf betriebene Bahn. Diese Wahrheit macht die Zurückhaltung von Eisenbahnverwaltungen, besonders zu der Zeit, zu welcher über die Systeme noch gestritten wurde und der Erfolg umfangreicher Elektrifizierung erst vorausgesagt werden konnte, leicht verständlich. Nur auf eine Kohlenteuerung zu spekulieren, kann einer Eisenbahnverwaltung nicht zugemutet werden.

Nicht gerade erwünscht ist vielleicht auch, dass der elektrische Betrieb mancher kostspieligen Verbesserung der Bahnanlage ruft, von der hehauptet werden könnte, sie wäre beim Dampfbetrieb nicht oder noch nicht nötig. Es ist aber zu bedenken, dass die S. B. B. durch das Verharren beim Dampfbetrieb die weitgreifende Ersetzung von Dampflokomotiven durch leistungsfähigere neue, die Verstärkung oder den Umbau von Brücken und die Erweiterung von Stationen nicht, wenigstens nicht lange hätten umgehen können und dass alle Hindernisse, auf welche bei der Ausbeutung der Möglichkeiten des elektrischen Betriebes gestossen wird, auch Hindernisse sind, auf die bei der Entwicklung des Dampfbetriebes gestossen würde. Übrigens ist auf die im 4. Kapitel erwähnte Verbesserung der Monte Ceneri-Linie hinzuweisen, welche auf dem Wege der Elektrifizierung weit billiger und rascher durchgeführt wurde, als ohne Elektrifizierung möglich gewesen wäre.

Wie sich die vom reisenden Volk so sehr gepriesene Rauchlosigkeit des elektrischen Betriebes in der Entwicklung des Verkehres auswirkt, ist leider nicht einmal roh zu schätzen. Dass die Rauchlosigkeit verschiedene Betriebsgefahren nicht aufkommen lässt, ist nicht bestreitbar, regelmässig

---

[1]) gleich dem Jahreszins zu 5 % eines Kapitals von 440 Millionen Franken; Anlagekapital der Energieversorgung und des Fahrleitungsnetzes zusammen rund 437 Millionen Franken (Tabelle XVI).

[2]) Anlagekapital des gesamten elektrischen Bahnbetriebes der S. B. B. Ende 1928 (Tabelle XVI)

[3]) Die Jahresgeldbeträge, welche den Lieferanten bahnfremder Energie garantiert werden müssten, wären den von der Ausnützung unabhängigen Jahreskosten bahneigener Kraftwerke mit gleicher Energie ungefähr gleich.

ersparte Geldwerte können jedoch nicht ermittelt werden. Die Rauchlosigkeit von Tunneln von grösserer Länge oder mit stärkerer Steigung erhöht selbstverständlich die Sicherheit des Bahnpersonals und des Betriebes überhaupt, aber es kann nicht geschätzt werden, wie viel Franken im Jahr dies wert ist. Es kann nur ermittelt werden, wie viel der Unterhalt der Tunnelgeleise wegen der Rauchlosigkeit weniger kostet. Keine Eisenbahnverwaltung, die Kredit hat, dürfte heute beim Dampfbetrieb einer Linie wie die Gotthardlinie oder eines Tunnels wie der Simplon-Tunnel verharren.

Der elektrische Betrieb der S. B. B. ist noch zu jung, besonders noch zu wenig lang vorherrschend, als dass der zweifellos vorteilhafte Einfluss der Rauchlosigkeit auf die Kosten des Unterhaltes der Fahrzeuge und der an der Bahn stehenden Gebäude in Geld gewertet werden könnte. Aus dem gleichen Grunde kann der notwendigerweise günstige Einfluss des elektrischen Betriebes auf den Gesundheitszustand und das erreichbare Dienstalter eines Teiles des Personals nicht bestimmt bewertet werden.

Beim elektrischen Betrieb werden zahlreiche, dem Dampfbetrieb eigentümliche Einrichtungen wie Drehscheiben, Bekohlungsanlagen, Kohlenlagerplätze, Wasserkrähne überflüssig, sodass der von ihnen besetzte Platz, jedenfalls die Kosten ihres Unterhaltes erspart werden. Je nach der Örtlichkeit sind die Gewinne an Platz sehr hoch einzuschätzen, eine zutreffende Bewertung in Geld ist jedoch nur in Ausnahmefällen möglich.

Dass der elektrische Betrieb die Konkurrenzfähigkeit einer Eisenbahnroute heben oder doch erhalten kann, besonders gegenüber einer solchen mit Dampfbetrieb, ist anzunehmen. Im Personenverkehr entscheiden jedoch fahrplantechnische Reisevorteile, im Güterverkehr die Transportpreise vor der Betriebsart. Sicher ist, dass beim elektrischen Betrieb jede auch nur vorübergehende bessere Ausnützung vorhandener Betriebsmittel und vorhandenen Personales durch Transporte mit kleineren Kosten verknüpft ist als beim Dampfbetrieb. Aber es kann nicht ermittelt werden, welcher Geldwert dieser Eigenschaft des elektrischen Betriebes beizulegen ist, weil deren Auswirkung von Gelegenheiten abhängig ist. Zweifellos sind Personenextrazüge und Güterfakultativzüge, ceteris paribus, beim elektrischen Betrieb bessere Geschäfte als bei Dampfbetrieb.

2b. Vor dem Weltkrieg war die Verbilligung des Bahnbetriebes einer der Zwecke, welche durch die Elektrifizierung erreicht werden sollten[1]). Für die S. B. B. war die Verbilligung oder doch die Nichtverteuerung des Bahnbetriebes durch die Elektrifizierung eigentlich die Bedingung, unter der die anderen Zwecke der Elektrifizierung, Unabhängigkeit von der ausländischen Kohle, Verwertung einheimischer Wasserkräfte, Förderung der Industrie, verfolgt werden durften. Ohne Zweifel hätte die bis Luzern und Chiasso ausgedehnte Elektrifizierung am Gotthard, durchgeführt in den Verhältnissen, die vor dem Weltkrieg vorlagen, eine bedeutende Betriebsverbilligung bewirkt.

Durch die im 4. Kapitel geschilderte starke Elektrifizierungstätigkeit während der Jahre der Teuerung wurde die Erreichung des Zweckes Betriebsverbilligung, bezogen auf die gegenwärtigen Verhältnisse, sehr erschwert. Die Bauten und Anschaffungen behielten ihre Überteuerung, die Kohle kehrte zu einem Preise zurück, der dem vor dem Kriege nahe kommt, wenn die gesunkene Kaufkraft des Geldes berücksichtigt wird. Die weitgehend erreichte Unabhängigkeit von der ausländischen Kohle und andere erreichte, aber nicht im unmittelbaren Interessenkreis der S. B. B. gelegene Zwecke, die mit der Elektrifizierung verfolgt wurden, besonders von den Befürwortern ausserhalb der verantwortlichen Leitung der S. B. B., haben in der besser gewordenen Zeit und durch ihr Erreichtsein die Zugkraft verloren. Es wird in erster Linie gefragt, ob der elektrische Betrieb billiger oder teurer sei als der Dampfbetrieb, ob die „Elektrifizierung rentiere".

Aus den Berichten, welche die Generaldirektion dem Verwaltungsrat der S. B. B. von Zeit zu Zeit erstattete, zuletzt im Zusammenhang mit dem Voranschlag für das Jahr 1927, ist der Schluss zu ziehen, dass der elektrische Betrieb im Jahre 1929 erheblich billiger sein müsse, als der Dampfbetrieb wäre. Bezogen auf die durchschnittliche Gesamtlänge der elektrisch betriebenen Linien von 1149 km im Jahre 1927 war der elektrische Betrieb um Fr. 1715000.— billiger als der Dampfbetrieb

[1]) Siehe 2. Kapitel, Zitat aus dem Bericht der Schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb.

bei gleich starkem Verkehr gewesen wäre. Dabei war in verschiedenen Punkten dem elektrischen Betrieb ungünstig gerechnet. In der Folge ergab die Betriebsstatistik für 1927 eine wesentlich grössere durchschnittliche kilometrische Leistung pro elektrisches Triebfahrzeug und wesentlich geringere Unterhaltskosten pro Triebfahrzeugkilometer. Ausserdem steht der fällig gewordene Bundesbeitrag im Jahre 1929 in einem vorteilhafteren Verhältnis zu den Gesamtausgaben für die Elektrifizierung als im Jahre 1927.

Die Vergleichung des elektrischen Betriebes mit dem Dampfbetrieb, bezogen auf das Jahr 1929, dem ersten nach dem vorläufigen Abschlusse der Elektrifizierung, dem ersten mit 1666 km elektrisch betriebenen Linien während 12 Monate, wird Gegenstand eines amtlichen Berichtes der Generaldirektion sein, dem hier schon deshalb nicht vorgegriffen werden durfte, weil die Statistik des Jahres 1928 noch nicht abgeschlossen war. Die rechnungsmässige Vergleichung ist hier auch deshalb nicht darzubieten, weil die zahlenreichen Belege und kritischen Begründungen gewisser unentbehrlicher Annahmen, ohne welche mehrere schwere Posten als mit Willkürlichkeit behaftet erscheinen könnten, zu viel Raum beanspruchen würden. Es soll hier nur die Zusammensetzung des Elektrifizierungskapitals mitgeteilt und ausgeführt werden, wie die Vergleichung der beiden Betriebsarten nach den Kosten anzustellen und wie bedingt dieselbe ist.

Tabelle XVI.

Elektrifizierungskapital der S.B.B. Ende 1928.[1])

Länge der elektrisch betriebenen Linien 1666 km.

	Fr. rund	Fr. rund
1. Allgemeine Kosten auf I, II und III verteilt .	5 569 000	
I. Energieversorgung	**233 633 000**	
2. Erwerbung der Konzessionen und ähnliches	5 009 000	
3. Kraftwerke	147 292 000	47 734 000 (3,0)
4. Übertragungsleitungen	38 914 000	34 806 000 (1,0)
5. Unterwerke	40 465 000	25 370 000 (3,0)
Anteil an 1	1 953 000	
II. Fahrleitungsnetz	**203 753 000**	
6. Fahrleitungen	115 242 000	105 000 000 (1,5)
7. Herstellung des Lichtraumes	14 930 000	
8. Schwachstromanlagen der S. B. B. und der Telegraphenverwaltung	71 898 000	
Anteil an 1	1 683 000	
III. Rollmaterial	**236 524 000**	
9. Depots und Werkstätten	10 212 000	
10. Triebfahrzeuge, Heizwagen, elektrische Wagenheizung	224 379 000	
Anteil an 1	1 933 000	224 379 000 (2.3)
Elektrifizierungskapital	**673 910 000**	437 289 000
Bundesbeitrag	**60 000 000**	
Schuldkapital der Elektrifizierung	**613 910 000**	
Summe der Einlagen in den Erneuerungsfonds Ende 1928, nach Abzug der Entnahmen von im ganzen Fr. 987 000.— . . . . . ca.	**40 000 000**	
Einlage Ende 1929 . . . . . ca.	**9 000 000**	

[1]) Nachträge in 1929 ca. 4 Millionen Franken.

Die Beträge 1 bis 10 schliessen alle Ausgaben ein, welche die S. B. B. für Elektrifizierungen machten, Simplon-Tunnel und Seetal-Bahn (zurückgekauft) eingeschlossen. Die Beträge sind die Ende 1927 gebuchten, vergrössert um diejenigen, die nach dem Bauvoranschlag für 1928 voraussichtlich Ende 1928 hinzu zu buchen sein werden. Sie enthalten die ganze Überteuerung im Betrage von 75 bis 80 Millionen Franken.

Die Beträge in der Kolonne rechts sind die Teile der Beträge je auf der gleichen Zeile der Kolonne links, von denen die rechts stehenden, eingeklammerten Prozent nach gesetzlicher Vorschrift und Reglement „in den Erneuerungsfonds eingelegt" werden müssen.

Der Fuss, zu dem das Schuldkapital der Elektrifizierung zu verzinsen ist, ist als Durchschnitt der Zinsfüsse der Anleihen, deren Erlös zur Elektrifizierung verwendet wurde, unter Berücksichtigung der Tilgung der Emissionskosten zu berechnen. Die den S. B. B. bewilligte Schuldkapital-Tilgungsfrist ist 100 Jahre; dieselben rechnen mit einer zusammengesetzten Verzinsung der angesammelten Tilgungsbeträge zu 3,5 %. Es frägt sich, ob die Einlagen in den Erneuerungfonds auf die überteuerten Anschaffungskosten oder auf die, den seit einigen Jahren ziemlich stabilen Preisen entsprechenden mutmasslichen Erneuerungskosten bezogen werden sollen, und wie der angesammelte Erneuerungsfonds zu berücksichtigen ist.

Bei der Vergleichung der Kosten der zwei Arten von Betrieben miteinander müssen Benachteiligung und Begünstigung auf beiden Seiten gleich sorgfältig vermieden werden.

Die Verbilligung, schlimmen Falles die Verteuerung des Bahnbetriebes durch die elektrische Zugförderung ist gleich der Differenz: Mehrkosten des Bahnbetriebes infolge der Elektrifizierung minus Ersparnisse infolge der Beseitigung der Zugförderung mit Dampf. Dabei sind, entgegen der gebräuchlichen Komptabilitäts-Terminologie, Verzinsung und Tilgung des Schuldkapitals und Einlagen in den Erneuerungsfonds zu den Betriebskosten zu rechnen. Ist die Differenz negativ, so liegt Verbilligung vor, ist sie positiv, Verteuerung.

Bei den folgenden Ausführungen soll auf das Jahr 1929, also auf den elektrischen Betrieb im Umfang von 1666 km Linienlänge Bezug genommen werden, dessen Fahrleistung, Förderleistung und Energieverbrauch in der Kolonne rechts der Tabelle VIII angegeben sind und für einen Verkehr gelten, der dem des Jahres 1928 gleich ist.

Mehrkosten des Bahnbetriebes infolge der Elektrifizierung sind offenbar die Betriebskosten der Anlagen I und II der Tabelle XVI; denn beim Dampfbetrieb wäre keine elektrische Energie zu erzeugen und nach jedem Punkte eines Geleisenetzes von 3763 km Gesamtlänge zu übertragen. Diese Betriebskosten sind einfach die Kosten der durch die elektrischen Triebfahrzeuge vom Fahrdraht abgenommene Energie. Entsprechend dem Betriebsbudget der S. B. B. pro 1929, ohne Berücksichtigung des Bundesbeitrages und berechnet nach der dem elektrischen Betrieb ungünstigen Schablone, betragen die Kosten der Energie, bezogen auf die Stromabnehmer der Triebfahrzeuge, ca. Fr. 32 140 000.— oder 9,12 Rp/kWh. Die Betriebskosten nur der Anlage I der Tabelle XVI, d. h. der Energieversorgung der Speisepunkte des Fahrleitungsnetzes, sind die Kosten der Energie „ab Unterwerk". Sie betragen ca. Fr. 17 950 000 [1]) oder 4,94 Rp/kWh [2]). Dieser Kostenpreis der Bahnenergie mit Verbraucherspannung ist als ein niedriger zu bezeichnen, zumal wenn die technischen Bedingungen der Energieabgabe und der Umstand berücksichtigt werden, dass die ausgeglichene Energie der bahneigenen Kraftwerke erst im Verhältnis von ca. 91 % ausgenützt wird. Die Kraftwerke könnten mit genau den gleichen Kosten 10 % mehr ausgeglichene Energie abgeben.

Zu den Mehrkosten des Bahnbetriebes infolge der Elektrifizierung können auch Verzinsung, Tilgung und Speisung des Erneuerungfonds für III der Tabelle XVI im Betrage von ca. Fr. 18 170 000.— gezählt werden. Die gleichnamigen Ausgaben, welche die Folge der Anschaffung von Dampflokomotiven während der Elektrifizierung gewesen wären, sind dafür als Ersparnisse zu rechnen.

[1]) Fr. 1 460 000.— für bahnfremde Energie eingeschlossen.

[2]) Bahneigene Energie 4,86, bahnfremde 6,58 Rp/kWh.

Die Mehrkosten des Bahnbetriebes infolge der Elektrifizierung betragen nach den bisherigen im ganzen rund Fr. 50 300 000.—. Wegen des Bundesbeitrages sind jedenfalls Fr. 3 300 000.— für gleich berechnete Verzinsung und Tilgung abzuziehen. Weitere ca. Fr. 2 200 000.— könnten wegen des Bestandes des Erneuerungsfonds als abziehbar erscheinen. Schliesslich käme ein Abzug von rund Fr. 1 000 000.— in Betracht, wenn, dem Sinne eines Erneuerungsfonds entsprechend, die Einlagen nicht auf die überteuerten, sondern auf die nach heutigen Begriffen normalen Anschaffungswerte bezogen würden.

Den Mehrkosten von höchstens rund Fr. 50 300 000.—, wenigstens rund Fr. 44 000 000.— sind die Ersparnisse infolge der Beseitigung des Dampfbetriebes der Linien von 1666 km Gesamtlänge gegenüberzustellen.

Die Ermittlung der Ersparnisse ist aus verschiedenen Gründen teils schwierig, teils von Annahmen nicht freizuhalten. Der Dampfbetrieb, mit dem der elektrische Betrieb verglichen werden soll, besteht nicht gleichzeitig. Am leichtesten und rechnerisch einwandfreisten wäre die Bezugnahme auf den Dampfbetrieb des Jahres 1913, des letzten normalen und totalen Dampfbetriebsjahres. Die Statistik böte die erforderlichen Anhaltspunkte technischer Art. Bezüglich der Verbrauchsmaterialien wären die Verteuerungen seit 1913, bezüglich des Personals das neue Arbeitsgesetz und das neue Besoldungsgesetz, sowie die Reorganisation der Verwaltung und die Rationalisierungsmassnahmen zu berücksichtigen, welche von der Änderung der Betriebsart unabhängig sind. Es würde dann der elektrische Betrieb des Jahres 1929 mit einem Dampfbetrieb im gleichen Jahre verglichen, welcher auf den elektrifizierten Linien von 1666 km Gesamtlänge mit den Lokomotiven des Jahres 1913 8 549 000 000 Brutto-Tonnenkilometer nach den Fahrplänen des Jahres 1929 zu leisten hätte.

Obwohl der Verkehr von 1929 nicht viel grösser angenommen wurde (Tabelle VIII), als der Verkehr von 1913 war, so wären doch die Lokomotiven von 1913 nicht imstande, dem Fahrplan 1929 ohne massenhaften Vorspann-Dienst und daher ohne Vergrösserung ihrer Zahl zu genügen. Es wäre einzuwenden, dass es nicht billig sei, einen 15 Jahre zurückliegenden Dampfbetrieb mit dem elektrischen Betrieb zu vergleichen. Es wurde daher immer angenommen, die ausrangierten Dampflokomotiven, früher jährlich ca. 30 an Zahl, wären ohne Elektrifizierung durch leistungsfähigere und kohlensparsamere ersetzt worden. Es wird also dem Dampfbetrieb zur Verbesserung des Lokomotivparkes etwa 12 Jahre Zeit gegeben. Bei der Vergleichung der beiden Betriebsarten im Jahre 1927 wurde vorsichtig angenommen, es wären nur ca. 200 neue Dampflokomotiven für rund Fr. 50 000 000.— angeschafft worden an Stelle von 322 elektrischen Lokomotiven. Mitte 1929 wird der Bestand an elektrischen Triebfahrzeugen etwa 440 sein, sodass anzunehmen ist, es wären ohne Elektrifizierung für rund Fr. 70,000,000.— neue Dampflokomotiven angeschafft worden. Die Nichtanschaffung dieser Dampflokomotiven bewirkt eine Ersparnis an Zins, Tilgung und Speisung des Erneuerungsfonds von rund Fr. 5 500 000.—.

Nach der Statistik verbrauchte der Dampfbetrieb durchschnittlich 72 kg Kohle pro 1000 Brutto-Tonnenkilometer. Die Erhöhung der Geschwindigkeiten hätte den Kohlenverbrauch vergrössert; die Verbesserung der durchschnittlichen Qualität der Lokomotiven hätte denselben verkleinert. Nach der oben gemachten Annahme betreffend die Neuanschaffung von Dampflokomotiven wären jedoch im Jahre 1929 noch etwa 300, schon im Jahre 1913 vorhanden gewesene Lokomotiven im Gebrauch gewesen. Es ist daher mit ca. 70 kg pro 1000 Brutto-Tonnenkilometer zu rechnen. Damit ergibt sich als Ersparnis an Kohle infolge der Elektrifizierung rund 600 000 t oder, zu Fr. 37.— die Tonne loco Grenze. Fr. 22 200 000.—. Die Verteilung dieser Kohlenmenge auf die Lagerplätze hätte rund 11 000 000 Brutto-Tonnenkilometer[1]) Förderleistung erfordert, im Verhältnis zur Gesamtförderleistung des Jahres immerhin so wenig, dass nicht wesentlich gespart wird; dagegen ist die Ersparnis an Kohlenvorrat-Zinsen auf etwa Fr. 150 000.— zu schätzen.

[1]) Einschliesslich Rückbringung der leeren Wagen an die Grenze.

Die Einsparung an Personalkosten durch den elektrischen Betrieb ist bedeutend. Wegen der durchschnittlich grösseren Fahrgeschwindigkeit besonders der Güterzüge, aber auch der Personenzüge, macht das Zugsbegleitungspersonal beim elektrischen Betrieb pro Mann mehr Kilometer, als beim Dampfbetrieb. Besonders stark ist die Einsparung beim Lokomotivpersonal, einmal aus dem eben angegebenen Grunde, dann weil die elektrischen Triebfahrzeuge keine Zeit verlieren mit Kohlenfassen, Wasserfassen, Anfeuern, Putzen der Feuerung u. dgl. Die Motorwagenzüge haben nur je einen Führer, keinen Beimann. Bedeutend ist auch die Einsparung an Depot-Personal wegen des Wegfallens der Bekohlung, der Bedienung von Drehscheiben und mancher Wegräumungs- und Reinigungs-Arbeit. Für 1927 wurde berechnet, dass die Ersparnis an Personal rund Fr. 13 100 000.— betrage. Umgerechnet auf die Verhältnisse von 1929 ist die Ersparnis rund Fr. 17 500 000.—. Hinzu kommt infolge der einmännigen Bedienung von wenigstens 60 Lokomotiven die Einsparung von ca. 100 Lokomotiv-Beimännern oder von etwa Fr. 600 000.—. An Wasser, Schmiermaterialien, Miete von Kohlenwagen[1]) und Bahnunterhalt, besonders in den längeren Tunneln, werden im Jahre 1929 durch den elektrischen Betrieb ca. Fr. 1 600 000.— gespart.

Die 29 700 000 elektrischen Lokomotiv-km in der Kolonne rechts (1929) der Tabelle VIII setzen sich zusammen aus rund 700 000 km der vorhandenen 26 elektrischen Rangierlokomotiven und rund 29 000 000 km der übrigen elektrischen Triebfahrzeuge, die sich aus den 8 549 000 000 Brutto-tkm bei 298 t[2]) durchschnittliches Anhängegewicht pro Lokomotiv-km im Liniendienst einschliesslich 1,1 %[3]) im Rangierdienst ergeben. Für die gleiche Förderleistung wären bei 242 t[4]) durchschnittliches Anhängegewicht und gleichviel Rangierdienst rund 36 460 000 Dampflokomotiv-km erforderlich. Die Unterhaltskosten der elektrischen Triebfahrzeuge betrugen 1927 aufgerundet 23 Rp. pro Lokomotiv-km, die bei der Vergleichung der zwei Betriebsarten in 1927 ermittelten der Dampflokomotiven abgerundet 35 Rp. pro Lokomotiv-km. Im Jahre 1929 ist also eine Ersparnis an Triebfahrzeugunterhaltskosten durch den elektrischen Betrieb von rund Fr. 5 900 000.— zu erwarten.

Die verschiedenen betrachteten Ersparnisposten sollen hier nicht addiert und die Ersparnisrechnung überhaupt nicht abgeschlossen werden. Bevor dies geschehen dürfte, müssten die Posten auf Grund der erst noch abzuschliessenden Statistik des Jahres 1928 genauer berechnet werden. Der Zweck der Ausführungen ist mehr, nur über die Grösse der Beträge zu orientieren, um die es sich handelt. Vor allem sollen die Ausführungen, die übrigens nur das Wichtigste streifen, verständlich machen, dass die Vergleichung der zwei Betriebsarten miteinander nicht eine exakte Rechnung sein kann, dass aber die dem Fernerstehenden entgehenden, sich nicht direkt auf die Kohle beziehenden Ersparnisse durch den elektrischen Betrieb gross sind.

Wenn diese Ausführungen verlängert werden dürften, so wäre zu zeigen, dass die Vergleichung der zwei Betriebsarten miteinander dem elektrischen Betrieb zunehmend günstiger ausfällt, wenn die Förderleistung oder die Zugszahl oder beide wachsen, oder wenn gewisse, beim elektrischen Betrieb gegebene Möglichkeiten mehr ausgeschöpft werden, als bis jetzt tunlich war. Die Ausführungen dürften aber gezeigt haben, dass sich der elektrische Betrieb der S. B. B. bei der gegenwärtigen Verkehrsdichte wirtschaftlich bereits bewährt und auch ohne Bundesbeitrag kein Verlustgeschäft wäre, ganz abgesehen von dem, was er an Dingen bietet, die sich mit Zahlen nicht fassen lassen. Es darf freilich nicht unbeachtet bleiben, dass der wirtschaftliche Erfolg der Elektrifizierung der S. B. B. wesentlich davon herrührt, dass die Ausdehnung des elektrischen Betriebes und die Stärke der Energiequellen vorteilhaft aufeinander abgestimmt wurden. Dass der Erfolg schon jetzt befriedigend ist, rührt wesentlich davon her, dass der Verkehr in den letzten Jahren rascher wuchs, als seinerzeit vorausgesehen werden durfte.

---

[1]) Die Kohle wird ganz überwiegend in ausländischen Wagen befördert.

[2]) Statistik 1926 293 t, 1927 303 t.

[3]) Statistik 1926 1,02 %, 1927 1,14 %.

[4]) Statistik 1913 213 t, 1926 215 t, 1927 212 t; 242 t angenommen wegen der Hebung der durchschnittlichen Leistung der Dampflokomotiven durch Neuanschaffungen und wegen der bessern Auslastungsgelegenheiten im elektrifizierten Netze.

Tabelle XVII.

Fahrzeit ohne Aufenthalt									Linie	Länge	Fahrzeit einschliesslich Aufenthalt								
Schnellzüge			Personenzüge			Güterzüge					Schnellzüge			Personenzüge			Güterzüge		
D	E	Zeitgewinn	D	E	Zeitgewinn	D	E	Zeitgewinn			D	E	Zeitgewinn	D	E	Zeitgewinn	D	E	Zeitgewinn
Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.		km	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.
125	110	15	157	136	21	221	191	30	Erstfeld-Bellinzona	109,3	133	113	20	180	160	20	282	210	72
139	113	26	168	142	26	233	186	47	Bellinzona-Erstfeld	109,3	149	115	34	198	164	34	288	204	84
121	92	29	151	115	36	238	183	55	Lausanne-Bern	97	125	97	28	185	152	33	347	256	91
70	63	7	100	80	20	129	126	3	Bern-Olten	67	75	67	8	134	114	20	159	137	22
60	54	6	84	72	12	104	102	2	Olten-Zürich	62,7	66	58	8	135	112	23	137	126	11
94	84	10	129	109	20	181	149	32	Zürich-Basel	88,5	95	85	10	167	154	13	212	156	66
41	38	3	51	46	5	70	69	1	Basel-Olten	39,2	42	39	3	63	59	4	70	69	1
58	54	4	88	74	14	133	91	42	Winterthur-St. Gallen	57,5	63	56	7	115	101	14	196	135	61

D = Fahrzeiten nach Fahrplan unmittelbar vor dem elektrischen Betrieb.

E = Fahrzeiten nach gegenwärtigem Fahrplan.

Schluss.

Die Elektrifizierung der S. B. B. ist das Produkt vieler verschiedenartiger Faktoren. Sie ist ein nach Ursprung und Zweck, nach Plan und Durchführung schweizerisches Werk. Sie ist ein Denkmal der geordneten, vom Verständnis für das Ganze getragenen Zusammenarbeit der Industrie und des Gewerbes mit der Verwaltung, sowie aller technischen und mancher anderer Dienststellen der Verwaltung. Sie ist ein grossartiges Beispiel angewandter Wissenschaft und Technik.

Der elektrische Betrieb der S. B. B. ist eingelebt. Das Dienstpersonal brachte ihm von Anfang an Verständnis und guten Willen entgegen. Das Neue blieb nicht fremd. Zunehmende Erfahrung und Vertrautheit der Funktionäre werden den Betrieb weiter vervollkommnen.

Was Viele wünschten und Viele für unmöglich hielten, ist in verhältnismässig kurzer Zeit in zuträglichem Masse wirklich geworden.

Technische Literatur
betreffend die Elektrifizierung der Schweizerischen Bundesbahnen.

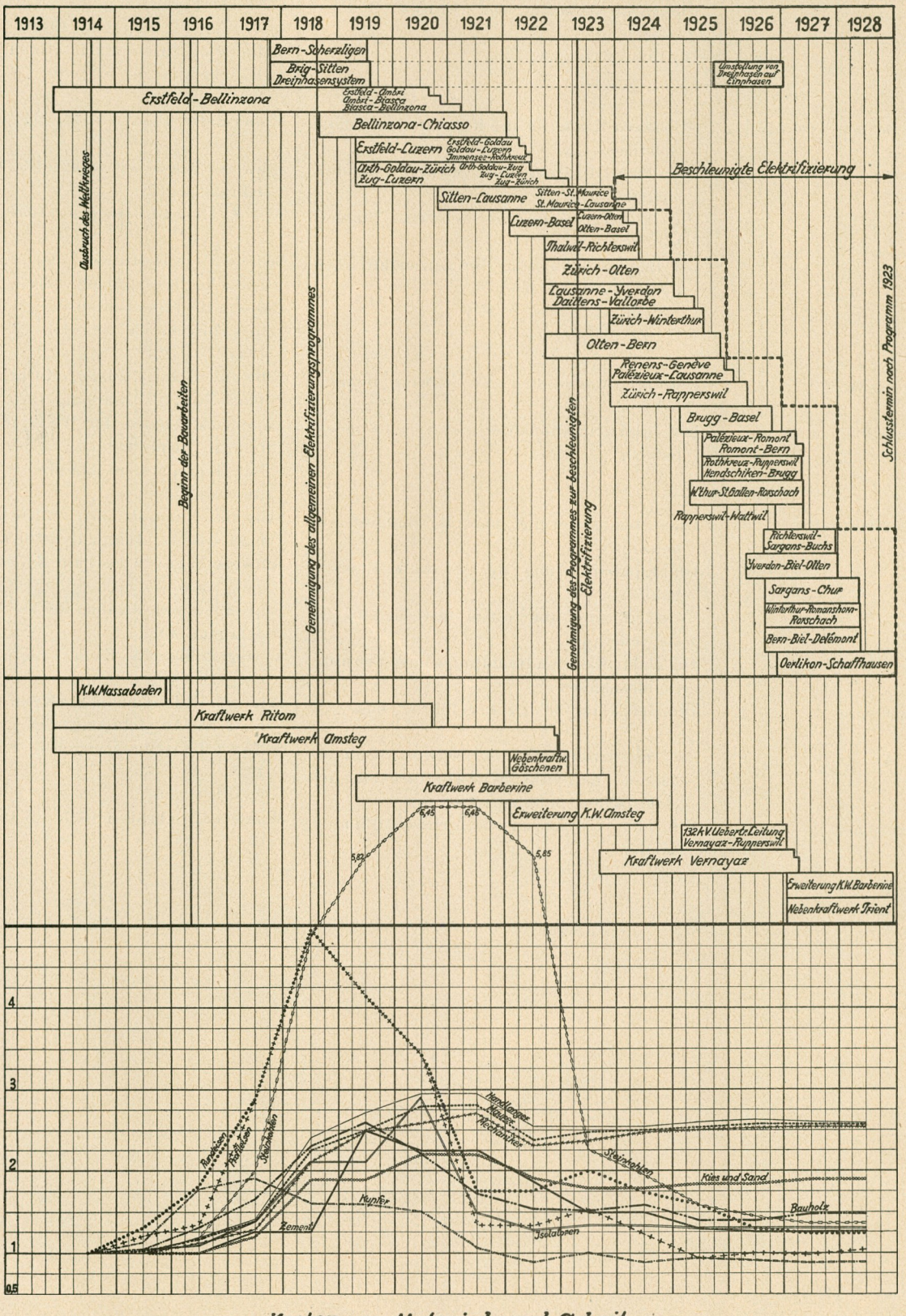
Kraftwerke		
Eggenberger, H. und Dänzer, A.	Das Elektrizitätswerk Massaboden bei Brig der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bauzeitung, Band 73, No. 24, Jahrgang 1919
Brown, Boveri & Co.	Die Generatoren des S. B. B.-Kraftwerkes Ritom	B. B. C. - Mitteilungen, September 1921
Maschinenfabrik Oerlikon	Die Generatoren des Kraftwerkes Amsteg	Bulletin Oerlikon, No. 6, 1921
Brown, Boveri & Co.	Das Kraftwerk Barberine der Schweiz. Bundesbahnen	B. B. C. - Mitteilungen, März 1923
Eggenberger, H., Nager, Th. und Habich, H.	Das Kraftwerk Ritom der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 81, No. 20 bis 26 und Bd. 82, No. 1, 5, 6, 7, Jahrgang 1923
Göttler, J.	Das Kraftwerk Amsteg	Schweiz. Techniker - Zeitung, No. 27 bis 28, Jahrgang 1923
Weber, R.	Nebenkraftwerk der Schweiz. Bundesbahnen in Göschenen	Schweiz. Techniker - Zeitung, No. 39 bis 40, Jahrgang 1923
Choisy, E. G.	Les travaux de construction du barrage de Barberine	Schweiz. Technikerzeitung, No. 44 1923
Studer, H.	Das Kraftwerk Amsteg der Schweiz. Bundesbahnen I. Allgemeiner und wasserbaulicher Teil	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 86, No. 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, Jahrgang 1925
Nager, Th.	Das Kraftwerk Amsteg der Schweiz. Bundesbahnen II. Hochbaulicher Teil	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 87, No. 13, Jahrgang 1926
Croce, G.	Das Kraftwerk Amsteg der Schweiz. Bundesbahnen III. Mechanisch-elektrischer Teil	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 87, No. 15 bis 18, Jahrgang 1926
Dudler, A.	Die elektromechanischen Einrichtungen des neuen Kraftwerkes Vernayaz	Schweiz. Bundesbahnen. Nachrichtenblatt No. 1, 1927
Maschinenfabrik Oerlikon	Generatoren des Kraftwerkes Vernayaz	Bulletin Oerlikon, No. 78, 1927
Brown, Boveri & Co.	Das Kraftwerk Vernayaz der Schweiz. Bundesbahnen	B. B. C. - Mitteilungen, Okt./Nov. 1927
Unterwerke		
Brown, Boveri & Co.	Die Transformatorenanlage Giornico der Schweiz. Bundesbahnen	B. B. C. - Mitteilungen, September 1921
Choisy, E. G.	La sous-station de Giubiasco des C. F. F.	Schweiz. Technikerzeitung, No. 44, 1923
Maschinenfabrik Oerlikon	Die Freiluftstation Sihlbrugg	Bulletin Oerlikon, No. 22, 1923
Bachmann, G.	Das Unterwerk Steinen der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Technikerzeitung, No. 39/40, 1923

Heusser, E.	Das Unterwerk Olten der Schweiz. Bundesbahnen	Bulletin S. E. V., No. 7, 1924
Brown, Boveri & Co.	Das Unterwerk Puidoux der Schweiz. Bundesbahnen	B. B. C. - Mitteilungen, April 1925
—	Das Unterwerk Brugg der Schweiz. Bundesbahnen	B. B. C. - Mitteilungen, November 1925
Schild, S.	Das Freiluft-Unterwerk Seebach der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 88, No. 24, Jahrgang 1926
Brown, Boveri & Co.	Der zweite Ausbau des Unterwerkes Puidoux der Schweiz. Bundesbahnen	B. B. C. - Mitteilungen, Dezember 1927
—	Das bedienungslose Unterwerk Freiburg der Schweiz. Bundesbahnen	B. B. C. - Mitteilungen, Mai 1928
Winiger, A.	Die Einphasen-Transformatoren 132/66 kV des Unterwerkes Kerzers der Schweiz. Bundesbahnen	Bulletin des S. E. V., No. 8, 1928
Fahrleitungen		
Schuler, H. W.	Schaltanordnung in den Fahrleitungsanlagen der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 80, No. 16, Jahrgang 1922
Choisy, E. G.	La ligne de contact de la ligne du Gothard des C. F. F.	Schweiz. Technikerzeitung, No. 27/28, 1923
Maschinenfabrik Oerlikon	Schaltposten Rothkreuz	Bulletin Oerlikon, No. 41, 1924
Schuler, H. W.	Ueber die Streckenschaltsysteme in den Fahrleitungsanlagen der Schweiz. Bundesbahnen	Elektrische Bahnen, No. 12, Jahrgang 1925
—	Die bei elektrischen Bahnen angewandten Mittel zur Verhütung der Schwachstromstörungen durch Hochspannungsfahrleitungen	E. T. Z., No. 36, Jahrgang 1925
—	Die Organisation des Fahrleitungsunterhaltes bei den Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bundesbahnen, Nachrichtenblatt No. 9, Jahrgang 1925
—	Signale des elektrischen Zugbetriebes bei den Schweiz. Bundesbahnen	Elektrische Bahnen, No. 3, Jahrgang 1926
—	Die 15 kV-Einphasenstrom-Fahrleitungen der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 90, No. 15 bis 17, 1927
Schild, S.	Einrichtung zum selbsttätigen Abtrennen fehlerhafter Leitungsteile in Fahrleitungsanlagen	Zentralblatt für den elektrischen Zugbetrieb, No. 3, Jahrgang 1928
Schwachstromanlagen		
Schlosser, G.	Einflüsse der elektrischen Zugförderung auf die bahndienstlichen Schwachstromeinrichtungen	Schweiz. Bundesbahnen, Nachrichtenblatt No. 5—6, Jahrgang 1925
Elektr. Triebfahrzeuge		
Maschinenfabrik Oerlikon	Schweiz. Bundesbahnen. Elektrische Probelokomotive M F O	Schweiz. Bauzeitung, I., 1918, S. 72, 121, 130, 144, 213
—	Probelokomotiven für die Gotthardlinie	Periodische Mitteilungen No. 97 der M. F. O., April 1919
—	Güterzuglokomotiven für die Gotthardlinie	Periodische Mitteilungen No. 102, 1920
Brown, Boveri & Co.	Elektrische Einphasen-Lokomotiven für die Schweizerischen Bundesbahnen	B. B. C. - Mitteilungen, September 1921
—	Einphasen-Schnellzuglokomotiven mit Einzelachsantrieb der Bauart Brown, Boveri & Co.	B. B. C. - Mitteilungen, Mai 1922
Meyfarth, G. L.	Einphasen-Lokomotiven 1 B 1 - B 1 für die Schweizerischen Bundesbahnen	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 80, 1922
Brown, Boveri & Co.	Abnahmefahrten der 1 B - B 1 - Lokomotiven der Schweiz. Bundesbahnen auf der Strecke Luzern-Chiasso	B. B. C. - Mitteilungen, Dezember 1922

Müller, A. E.	1 B 1 - B 1 Schnellzuglokomotiven der Schweiz. Bundesbahnen, mit Einzelachsantrieb	Schweiz. Technikerzeitung No. 48—51, 1922
—	1 C 1 - Schnellzugslokomotive der Schweiz. Bundesbahnen mit Einzelachsantrieb	Schweiz. Technikerzeitung No. 48—51, 1922
—	Motorwagen der Schweiz. Bundesbahnen, Ce $^4/_6$ und $^4/_4$	Schweiz. Technikerzeitung No. 48—51, 1922
Brown, Boveri & Co.	Die neue Lokomotive mit Einzelachsantrieb für die Schweiz. Bundesbahnen	B. B. C. - Mitteilungen, Januar 1923
Werz, J.	Einphasen-Lokomotiven m. Einzelachsantrieb, 1 C 1, des Ateliers de Sécheron Genf für die Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 81, No. 22, Jahrgang 1923
Müller, A. E.	Einphasen-Motorwagen Ce $^4/_6$ für die Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 82, No. 1, 2, 7—7—23, S. 13, 21, 14
Maschinenfabrik Oerlikon	Ae $^3/_6$ Schnellzuglokomotive der Schweiz. Bundesbahnen	Bulletin Oerlikon, No. 24—25, Juni-Juli 1923
Weiss, M.	Die elektrischen Lokomotiven der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 84, No. 2, Jahrgang 1924
Steiner, F.	Normalisierung der Apparate beim Bau der elektrischen Lokomotiven der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 85, No. 6, Jahrgang 1925
Müller, W.	Die einmännige Bedienung elektrischer Lokomotiven	Schweiz. Bundesbahnen, Nachrichtenblatt No. 9, Jahrgang 1925
Maschinenfabrik Oerlikon	Schweiz. Bundesbahnen. 1 C - C 1 - Lokomotive	Bulletin Oerlikon, No. 43, Januar 1925, S. 184
Brown, Boveri & Co.	Schweiz. Bundesbahnen. 1 - C - Rangierlokomotive	B. B. C.-Mitteilungen, XII, No. 11, November 1925, S. 223
Müller, A. E.	Schweiz. Bundesbahnen. Verschiebelokomotive Ee $^2/_2$	Bulletin techn. d. la, S. Rom., No. 25, 17—12—27, S. 298
S. B. B., Abteilung des O. M. J. (G. D.)	Die Lokomotiven De $^6/_6$, No. 15301—15303, für die ehemalige Seetalbahn	Schweiz. Bundesbahnen, Nachrichtenblatt No. 4, Jahrgang 1926
S. B. B., Abteilung der O. M. J. (G. D.)	Schwere Schnellzugslokomotiven der Schweiz. Bundesbahnen, Ae $^4/_7$, No. 10 901 bis 10 912	Schweiz. Bundesbahnen, Nachrichtenblatt No. 11, Jahrg. 1926
Lüthi, W.	Schweiz. Bundesbahnen. C - C - Güterzuglokomotive	B B. C.-Mitteilungen, XIV, No. 3, März 1927, S. 79
Brown, Boveri & Co.	Schmierung des Lokomotiv-Einzelachantrieb, Bauart Brown-Boveri	B. B. C. - Mitteilungen, März 1927
Maschinenfabrik Oerlikon	Der neue Triebmotor der Schnellzuglokomotive mit Einzelachsantrieb der Schweiz. Bundesbahnen	Bulletin Oerlikon, November 1927
Maschinenfabrik Oerlikon	Schweiz. Bundesbahnen. Die neuen 1 C - C 1-Güterzuglokomotiven	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 90, No. 20, 12—11—27, Seite 255
Steiner, F.	Die neuen Ae $^4/_7$-Lokomotiven der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 89, No. 26, Jahrgang 1927
Lüthi, W.	Schweiz. Bundesbahnen. Einphasen-Schnellzuglokomotive, 2 Do 1 mit Einzelachsantrieb B. B. C.	B. B. C. - Mitteilungen, XV. Jahrgang, No. 2, Februar 1928, S. 63
Weiss, M.	Schweiz. Bundesbahnen. Einmännige Bedienung elektrischer Lokomotiven	Zentralblatt für den elektrischen Zugsbetrieb, 1. Jahrgang 1928, No. 3, März, S. 89
Brown, Boveri & Co.	Die Bahnstufenschalter Bauart Brown-Boveri, unter Berücksichtigung ihrer neuesten Ausführung	B. B. C. - Mitteilungen, März/April 1928
Schweiz. Wagonsfabrik Schlieren	Versuchs-Vorortzüge der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bauzeitung. Bd. 91, No. 24. Juni 1928
Brown, Boveri & Co.	Das Vorheizen elektrischer Züge	B. B. C. - Mitteilungen, September 1928

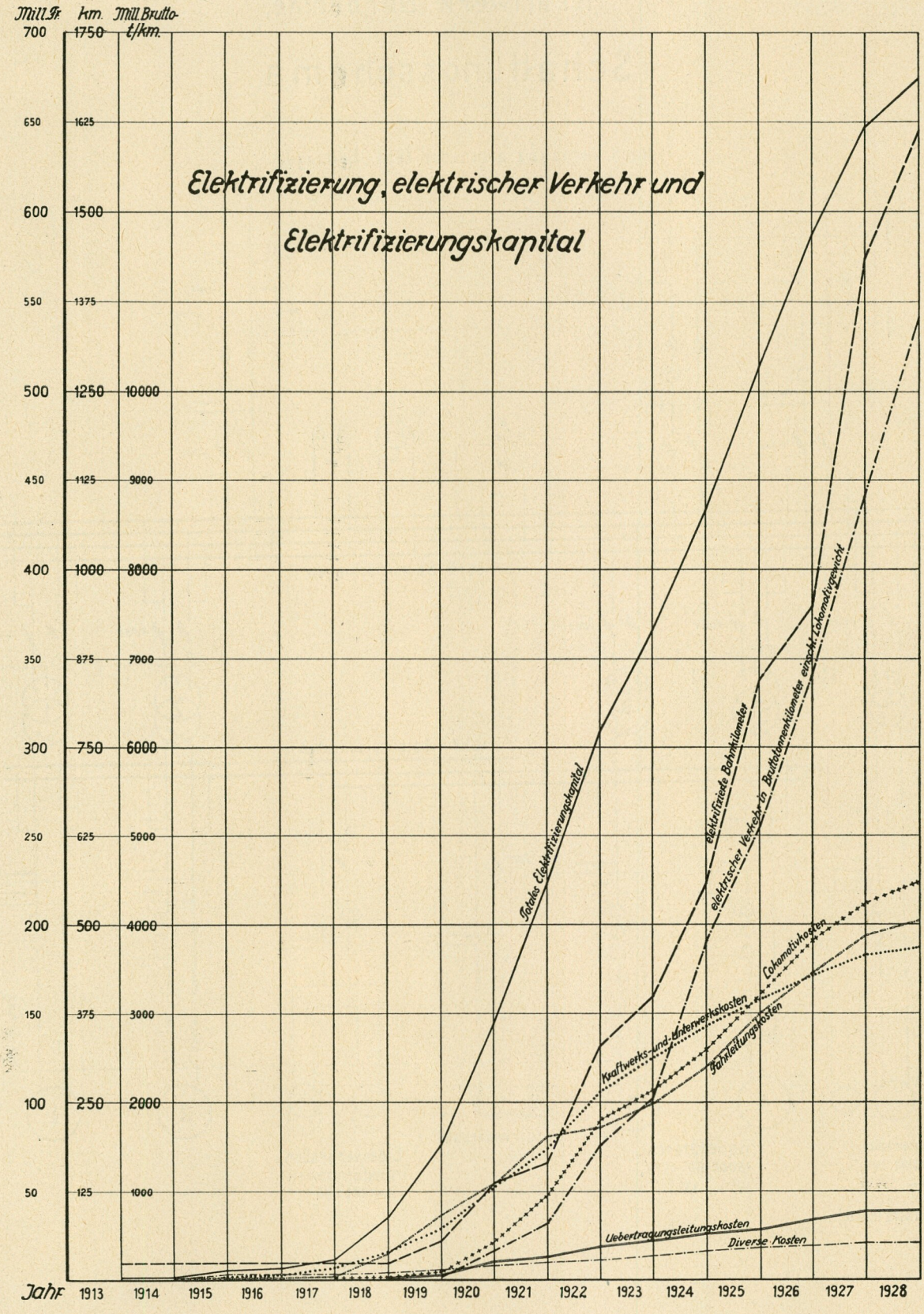
Allgemeines		
Huber, E.	Die Elektrifizierung der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bauzeitung, Bd. 73, No. 13, 15 und 16, Jahrgang 1919
—	Traction électrique	Bulletin de l'association internationale des chemins de fer, No. 7, année 1921
Maschinenfabrik Oerlikon	80 Tonnen-Kräne für die Reparaturwerkstätte Bellinzona	Bulletin Oerlikon No. 11, 1922
Schrafl, A.	Die Elektrifikation der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Wasserwirtschaft, No. 11, Jahrgang 1923
Burlet, K.	Die Elektrisierung der Schweiz. Bundesbahnen	E. T. Z., No. 44, Jahrgang 1924
Eggenberger, H.	Die Energiebeschaffung für den elektrischen Bahnbetrieb	Schweiz. Bundesbahnen, Nachrichtenblatt No. 2, Jahrgang 1924
Generaldirektion der S. B. B.	L'éléctrification des C. F. F.	Bulletin de l'Association internationale des chemins de fer, 621, 33 (494), 1924
Christen, Dr. F.	Die Hauptwerkstätten der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Bundesbahnen, Nachrichtenblatt No. 2—3, Jahrgang 1925
Huber, E. und Mitarbeiter	Die Elektrifikation der Schweiz. Bundesbahnen	Bericht zu Handen der Weltkraft-Konferenz, Sondertagung Basel, 1926, Bd. II (Separatausgabe der Schweiz. Bundesbahnen)
Eggenberger, H.	Die Elektrifizierung unseres Bundesbahnnetzes	Schweiz. Bundesbahnen, Nachrichtenblatt No. 12, Jahrgang 1926
—	Die Elektrifizierung der Schweiz. Bundesbahnen	Schweiz. Wasserwirtschaft, No. 8, Jahrgang 1926
Jobin, A.	L'électrification du réseau des chemins de fer fédéraux	Schweiz. Bundesbahnen-Revue No. 5, Jahrgang 1927
Göttler, J.	Die elektrifizierten Hauptlinien der Schweiz. Bundesbahnen	Verlag Bolliger & Eicher, Bern, Jahrgang 1927
Kilchenmann, B.	Die Belastung elektrisch geführter Züge	Schweiz. Bundesbahnen, Nachrichtenblatt No. 12, Jahrgang 1927
Jobin, A.	Die Elektrifikation der Schweiz. Bundesbahnen und die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Bahnbetriebes	Schweiz. Bauzeitung, Band 91, Februar 1928
Eggenberger, H.	Die Energieversorgung der Schweiz. Bundesbahnen	Wasserkraftjahrbuch 1927—28 (S. 148)

Tafel I *Elektrifizierung der schweizerischen Bundesbahnen von 1913 bis 1928*



Kosten von Material und Arbeit

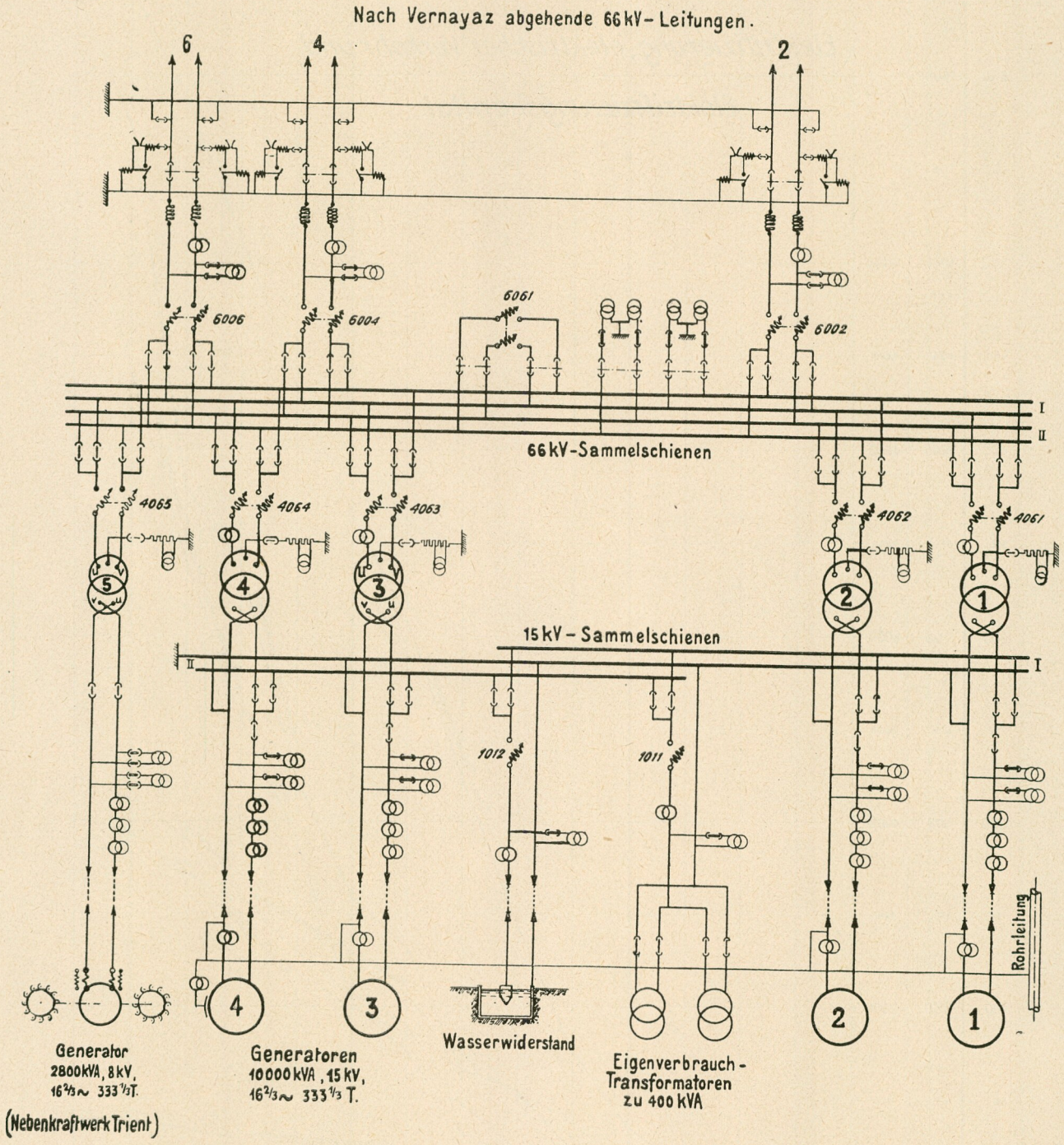
Tafel II


Elektrifizierung, elektrischer Verkehr und
Elektrifizierungskapital
Mill. Fr.
km.
Mill. Brutto-t/km.
Totales Elektrifizierungskapital
elektrifizierte Bahnkilometer
elektrischer Verkehr in Bruttotonnenkilometer einschl. Lokomotivgewicht
Kraftwerks- und Unterwerkskosten
Lokomotivkosten
Fahrleitungskosten
Uebertragungsleitungskosten
Diverse Kosten
Jahr
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928

Tafel III.

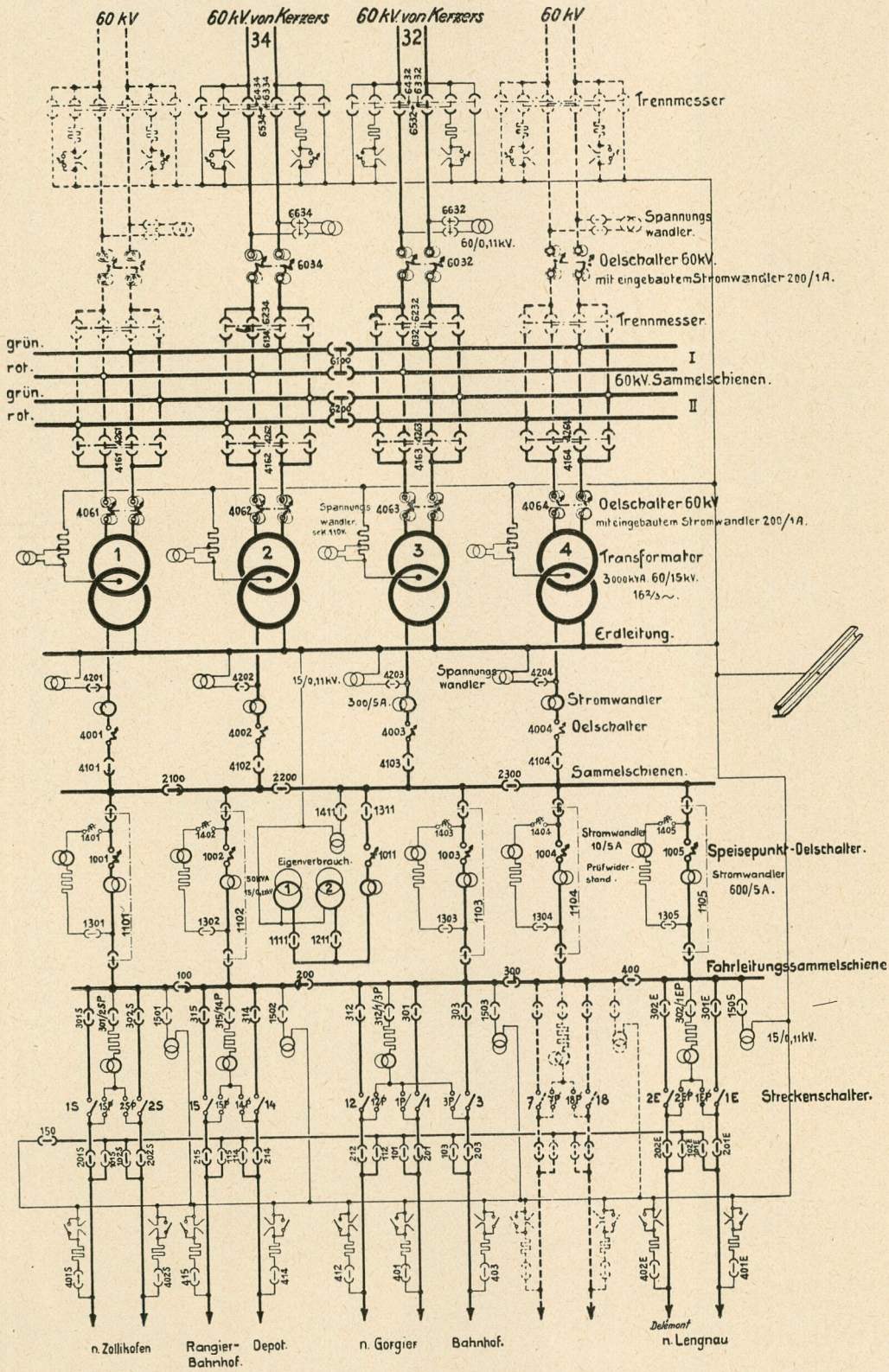
Kraftwerk Barberine.

Schaltungsschema

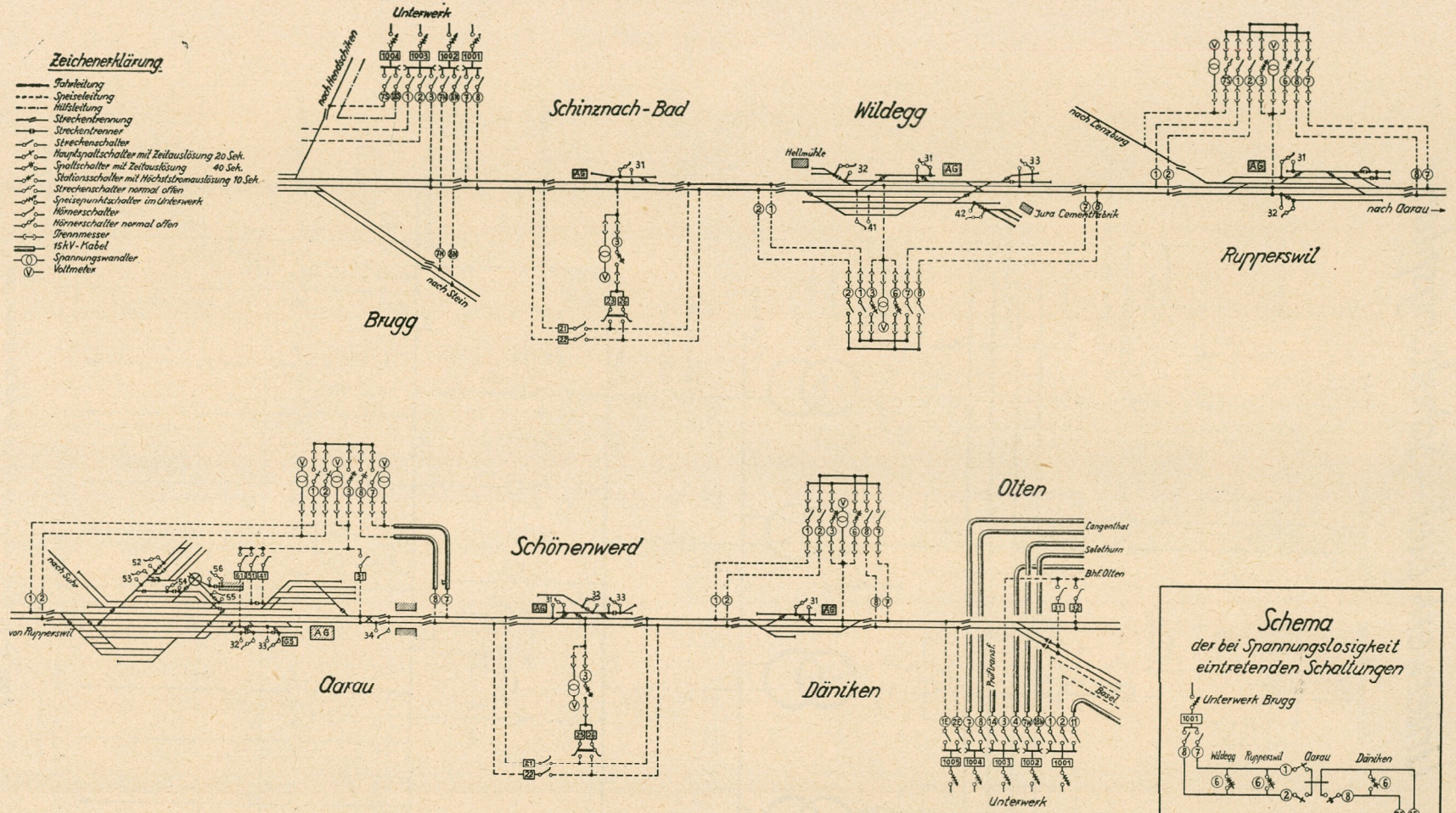


Tafel IV.

Unterwerk Biel — Schaltungsplan



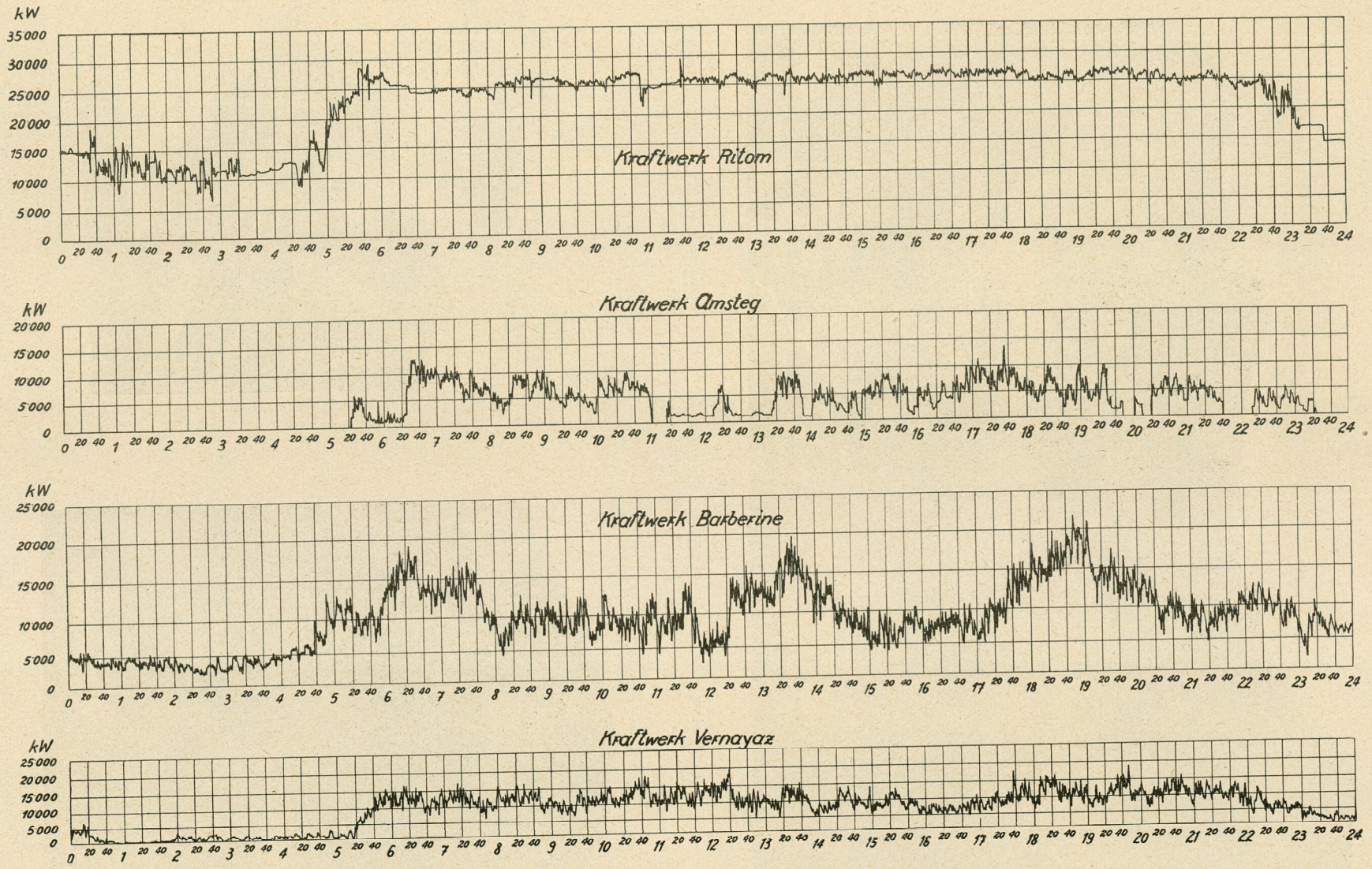
Abgehende 15 kV Leitungen für die Fahrdrahtspeisungen.



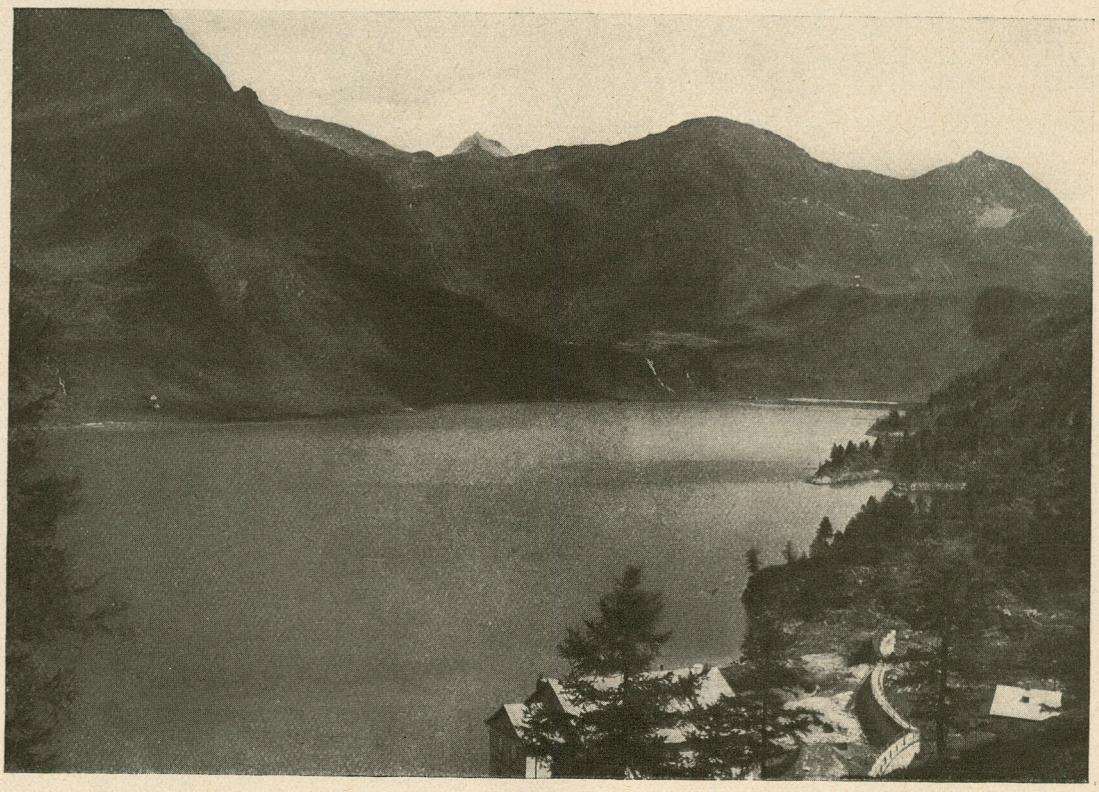
Schaltschema der Fahrleitungen Brugg—Olten

Tafel V.

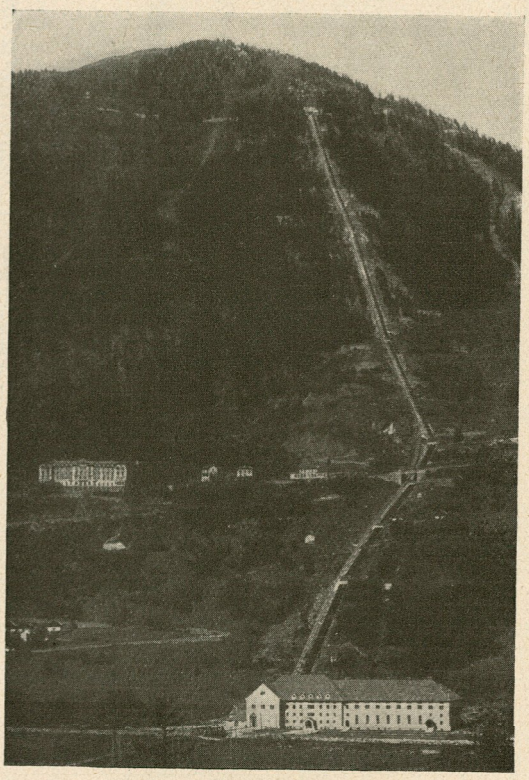
Tafel VI.



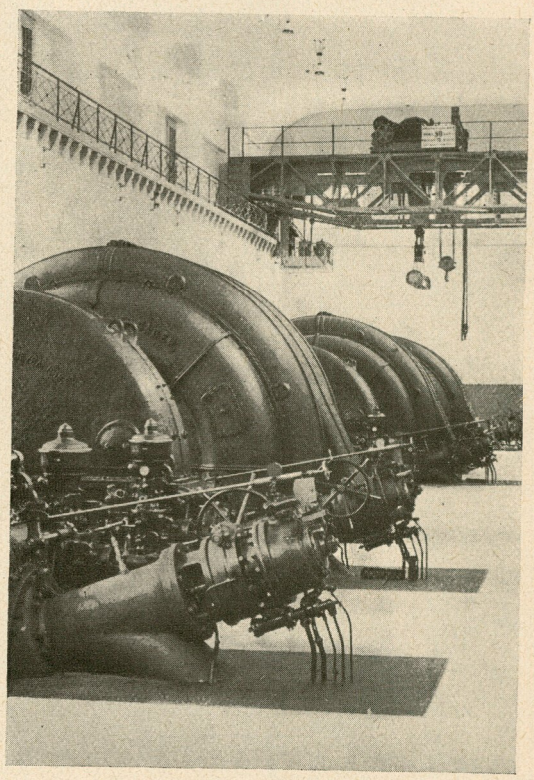
Bahn-Belastungsdiagramme der SBB vom 10. Januar 1928



1. Ritomsee
mit Staumauer vor vollständiger Füllung. Nutzbarer Stauinhalt 27 Mill. m³.
Höhe der Mauerkrone 1839,50 m über Meer.



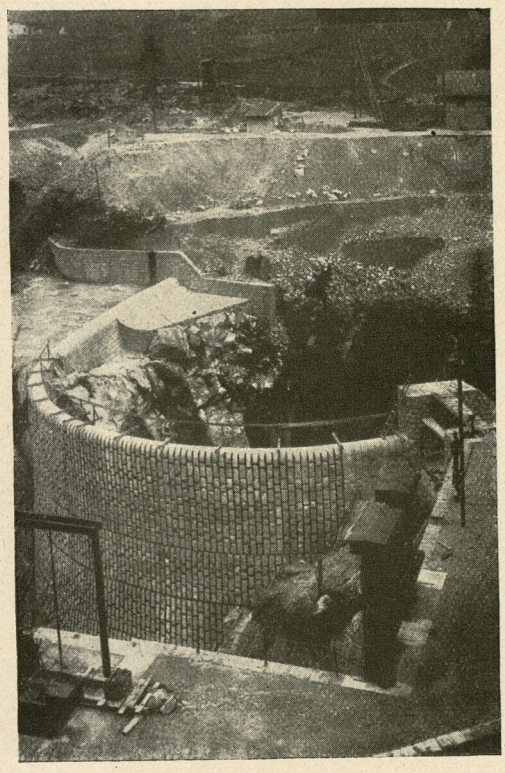
2. Kraftwerk Ritom.
Zentrale bei Piotta mit Druckleitung.
Brutto-Gefälle 828 m.



3. Maschinensaal des Kraftwerkes Ritom.
4 Maschinengruppen von je 15 000 PS Turbinenleistung.

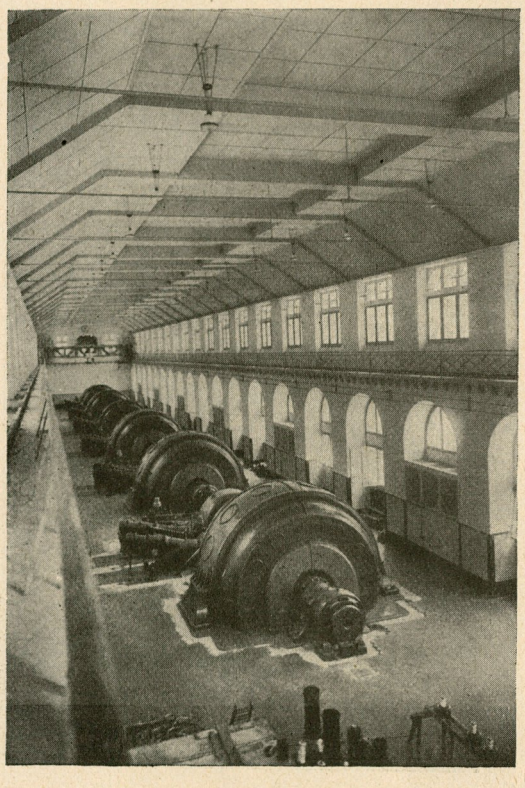
4. Kraftwerk Amsteg.
Ausgleichbecken am Pfaffensprung.
Ueberlauf über die Staumauer von 36 m Kronenlänge und 32 m Höhe. Inhalt 200 000 m³.

5. Kraftwerk Amsteg.
Pfaffensprung-Schlucht vor dem Bau der Staumauer.

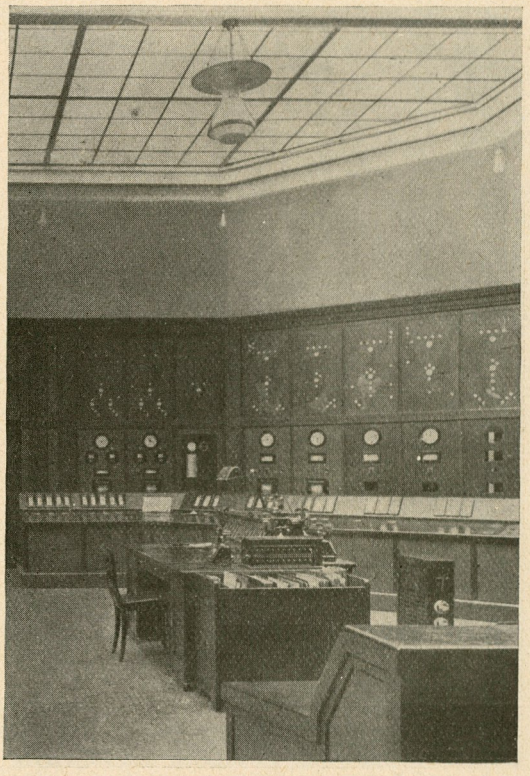


6. Kraftwerk Amsteg.
Staumauer des Ausgleichbeckens am Pfaffensprung,
von 36 m Kronenlänge und 32 m Höhe.
Mauerkrone 810 m über Meer.

7. Kraftwerk Amsteg.
Zentrale und unterster Teil der Druckleitung. Brutto-Gefälle 282 m.
Im Hintergrund die Eisenbahnbrücke über den Kärstelenbach.

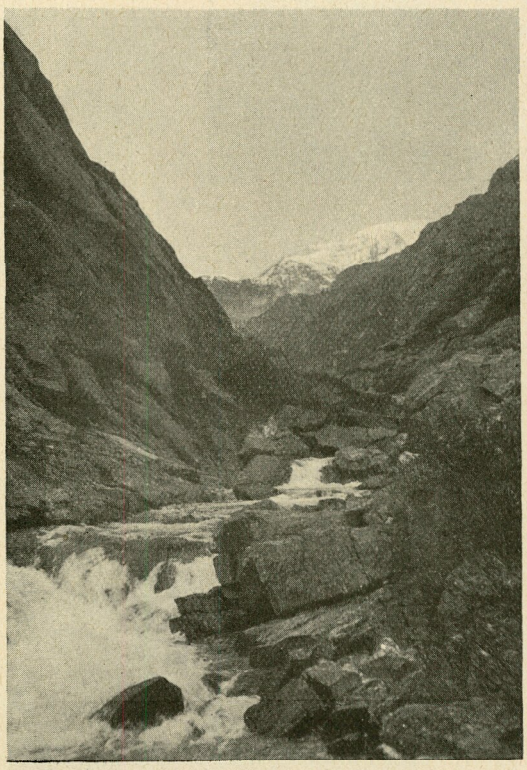


8. Maschinensaal des Kraftwerkes Amsteg.
6 Maschinengruppen von je 15 000 PS Turbinenleistung.

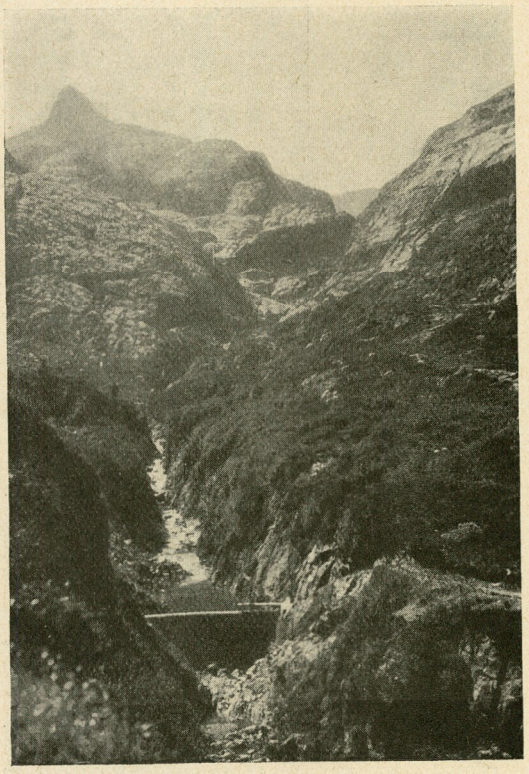


9. Kraftwerk Amsteg.
Schaltstand.

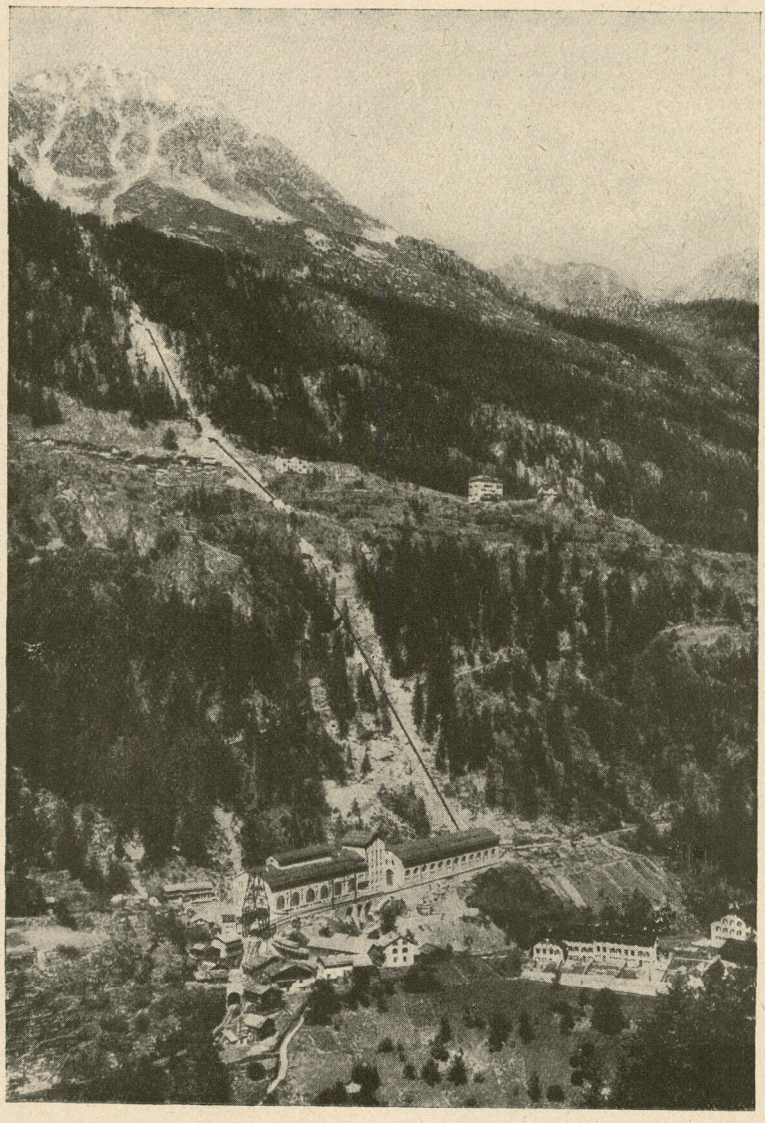
10. Barberine-Stausee.
Nutzbarer Inhalt 39 Mill. m³. Mauerkrone 1889 m über Meer



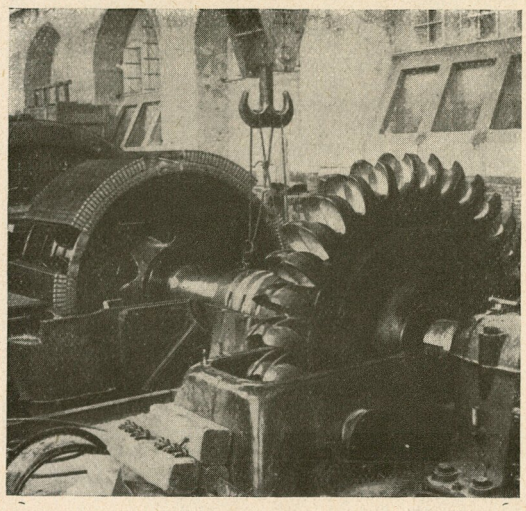
11. Schlucht der Barberine.
Vor dem Bau der Staumauer.



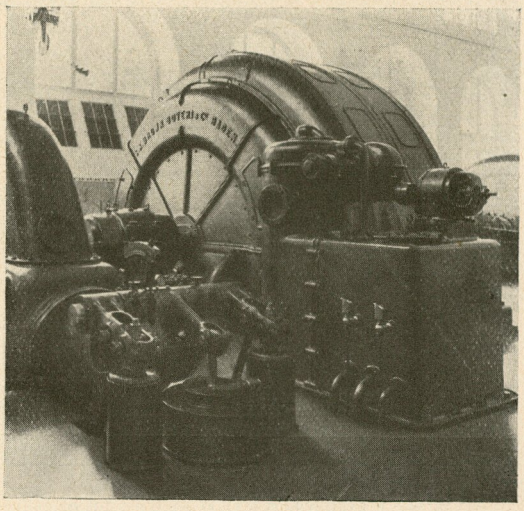
12. Kraftwerk Barberine
Staumauer zur Fassung des Nant de Drance.
Mauerkrone 1901,50 m über Meer.



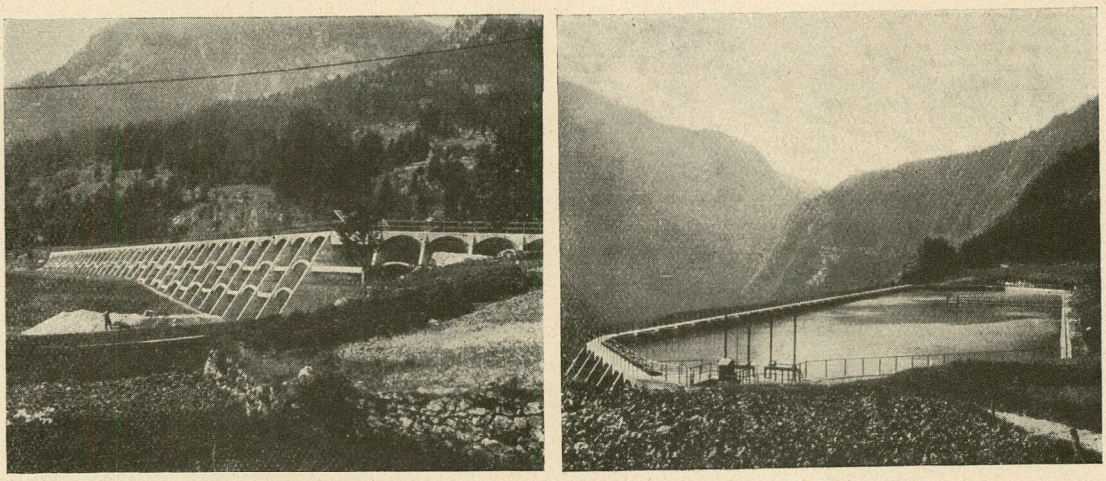
13. Kraftwerk Barberine.
Zentrale im Châtelard und Druckleitung. Brutto-Gefälle 760 m.



14. Kraftwerk Barberine.
Turbine und Generator in Montage.



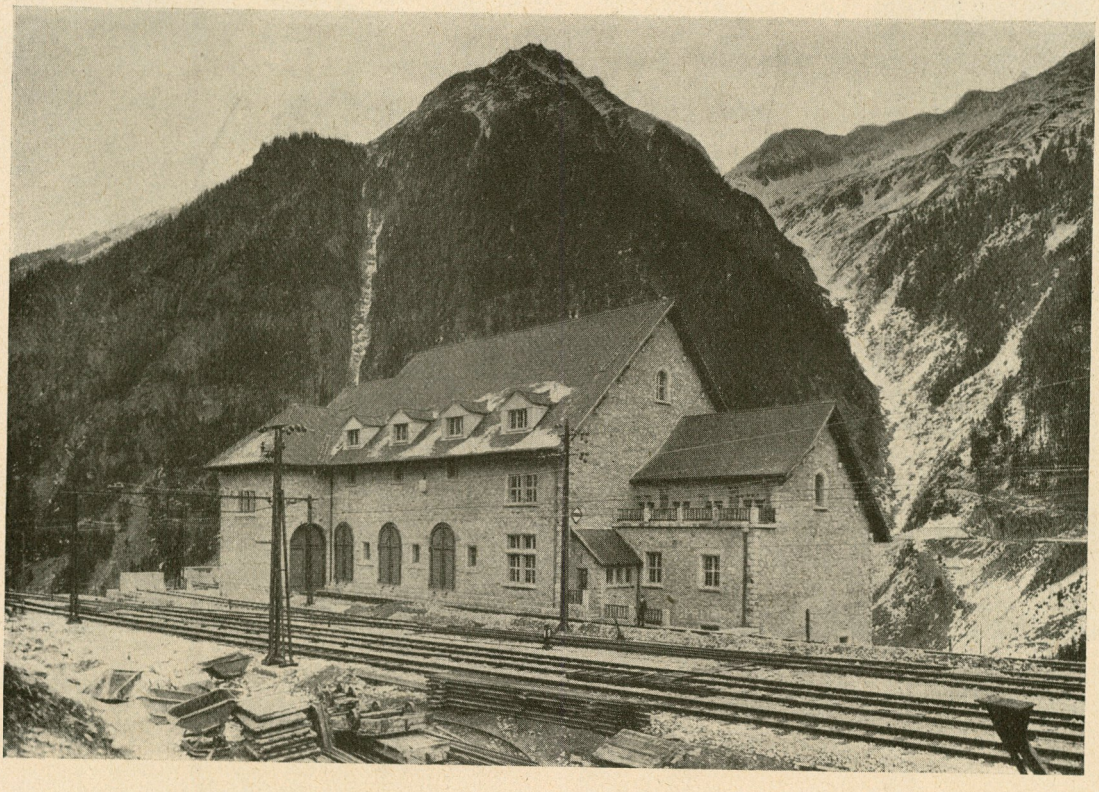
15. Kraftwerk Barberine.
Maschinengruppe von 16 300 PS Turbinenleistung.



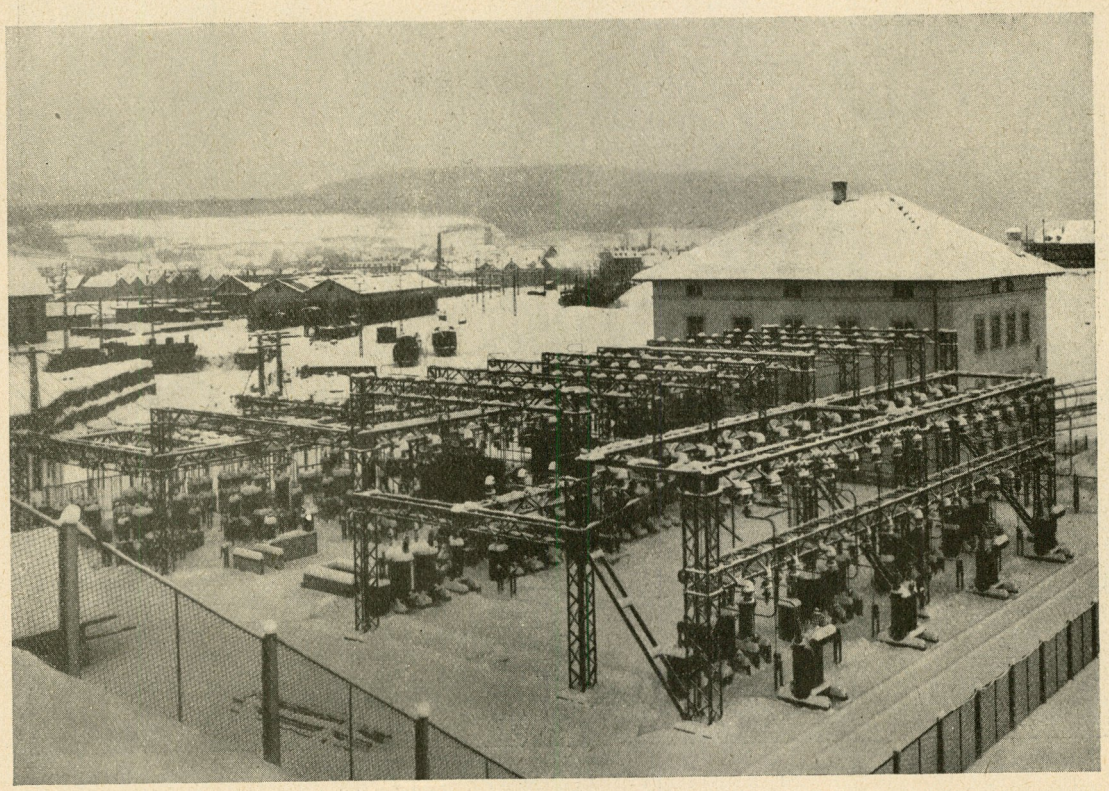
16. Kraftwerk Vernayaz.
Ausgleichbecken von Marécottes. Inhalt 49 000 m³, Höhe 1103,25 m über Meer.

17. Kraftwerk Vernayaz.
Zentrale und Druckleitung. Brutto-Gefälle 660 m. Links die Schlucht des Trient.

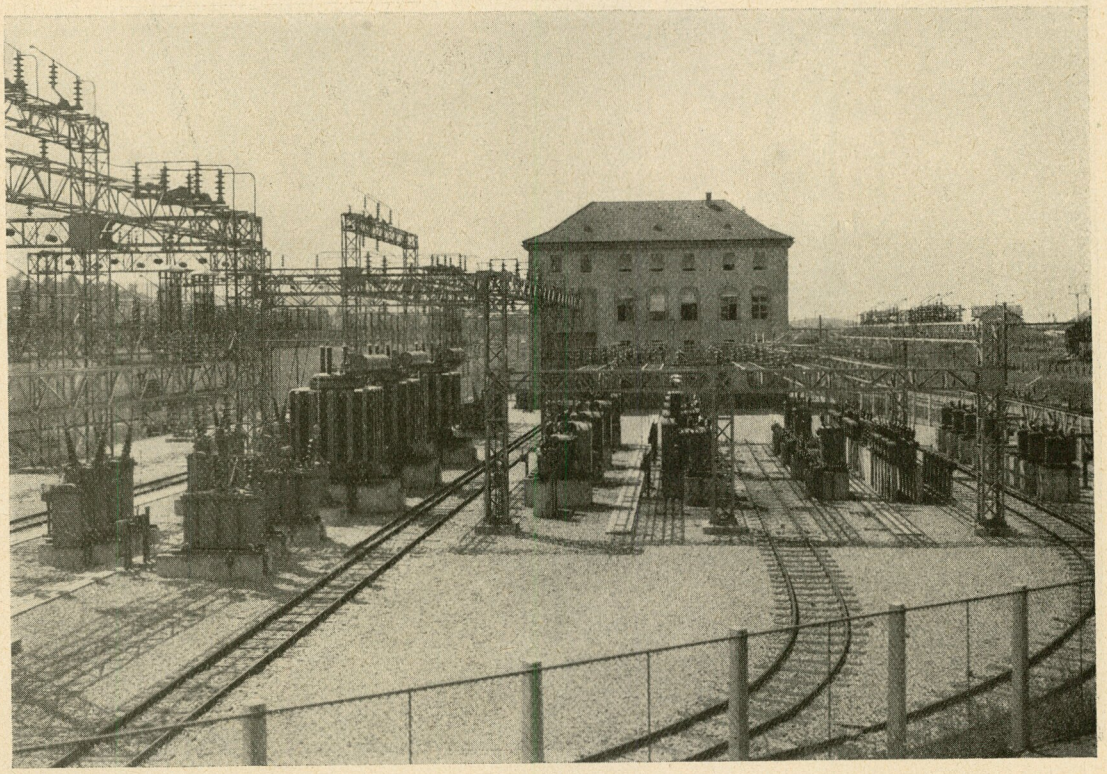
18. Unterwerk Melide.
2 × 5000 kVA, 60/15 kV. Schwellenhöhe 273,7 m über Meer.



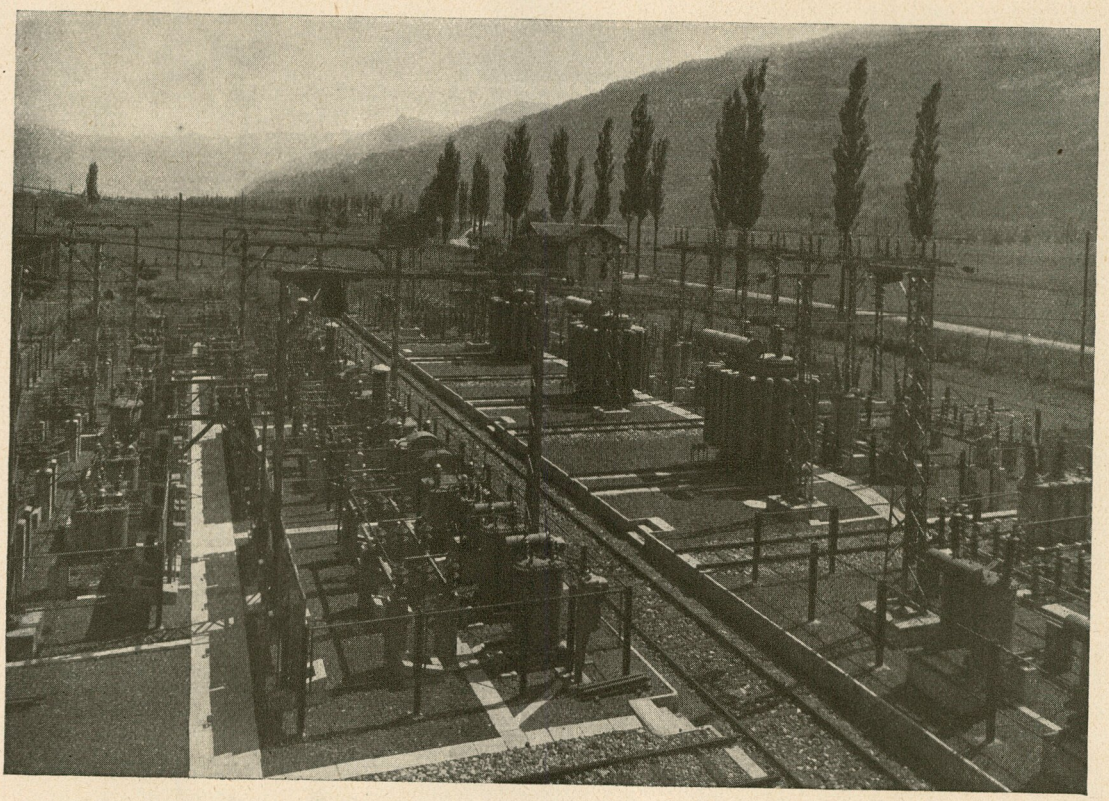
19. Unterwerk Göschenen.
2 × 5000 kVA, 60/15 kV. Schwellenhöhe 1105,9 m über Meer.



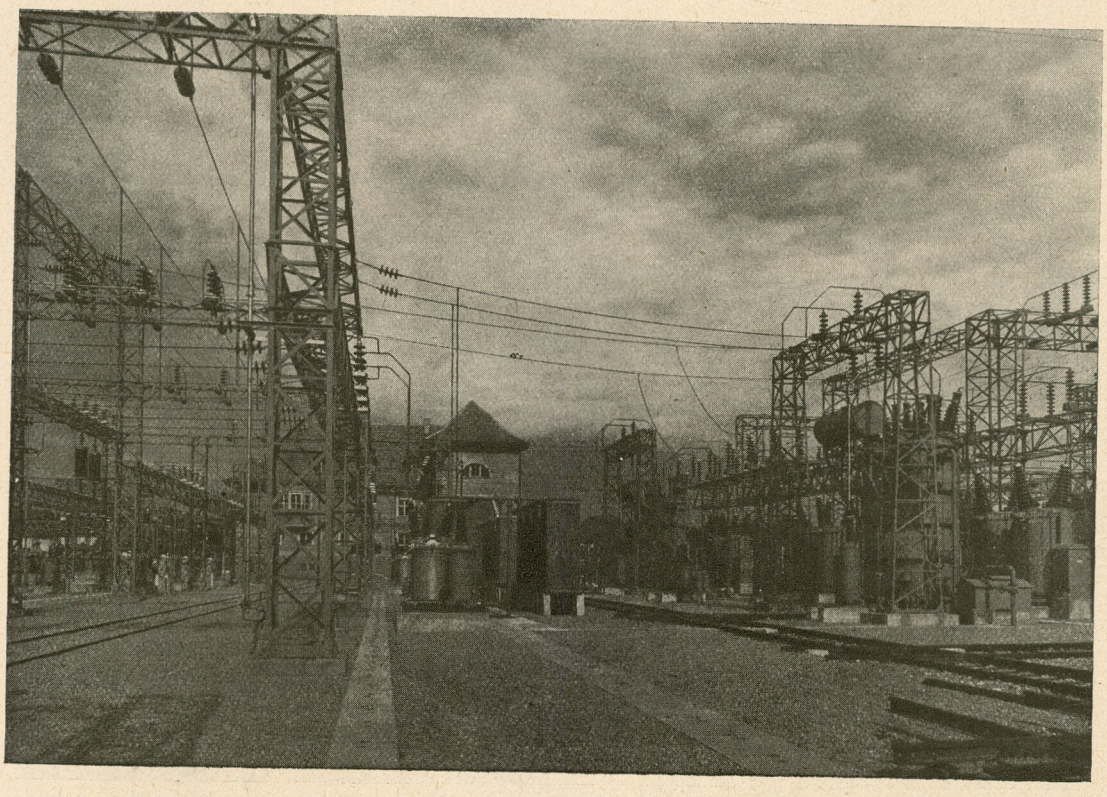
20. Freiluft-Unterwerk Brugg.
4 × 3000 kVA, 60/15 kV. Bauart hohe Gerüste.



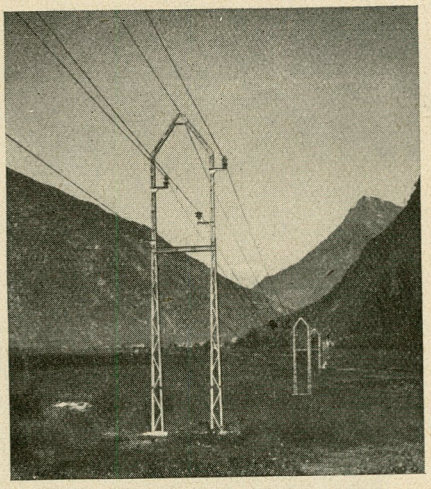
21. Freiluft-Unterwerk Gossau.
3 × 3000 kVA, 66/15 kV. Bauart hohe Gerüste.

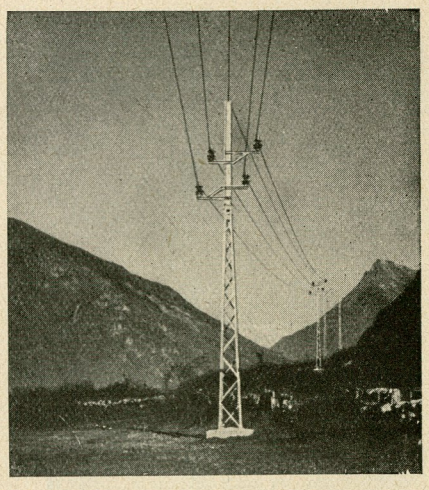


22. Freiluft-Unterwerk Sargans.
3 × 3000 kVA, 66/15 kV. Bauart niedrige Gerüste.

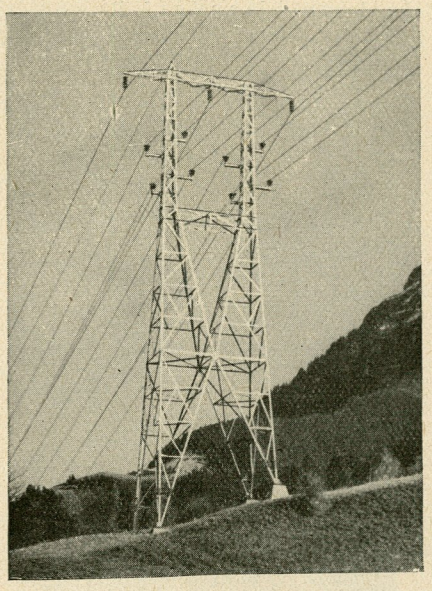


23. Freiluft-Unterwerk Kerzers.
3 × 9000 kVA, 132/66 kV. 2 × 3000 kVA, 66/15 kV.

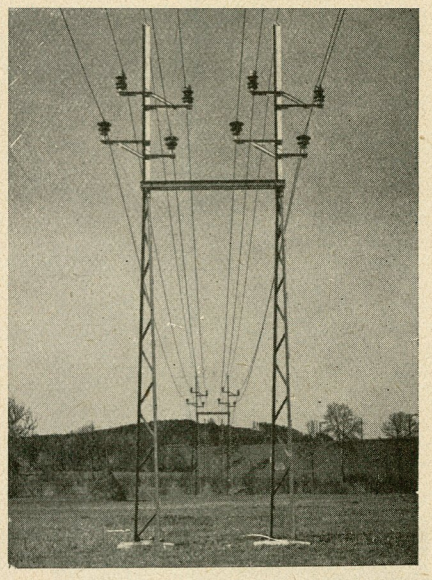




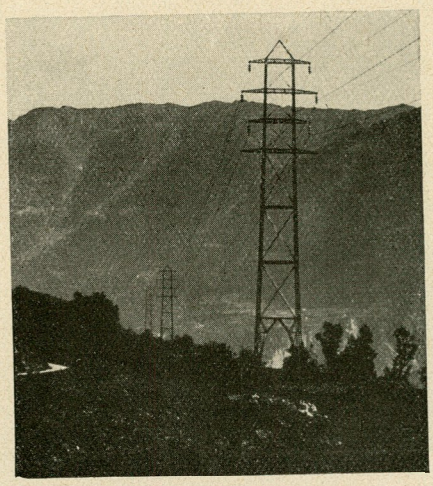
24. u. 25. Einphasen-Uebertragungsleitung Giornico-Giubiasco.
60 kV, 4 Leiter von 100 mm² Cu.
160 m Spannweite. 80 m Spannweite.



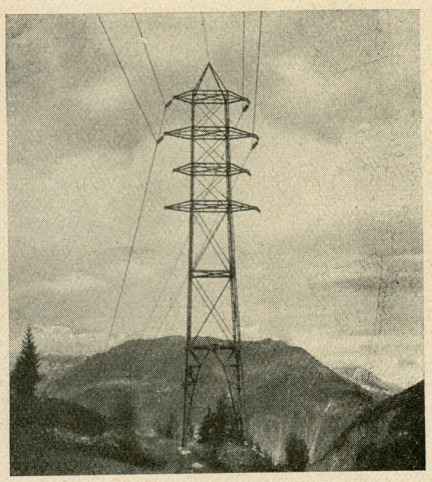
26. Uebertragungsleitung Amsteg-Immensee.
(SBB und SK gemeinschaftlich)
Dreiphasenstrom 85 kV: (oben) 3 Leiter von 191 mm² Al.
Einphasenstrom 66 kV: (unten) 8 Leiter von 95 mm² Cu.



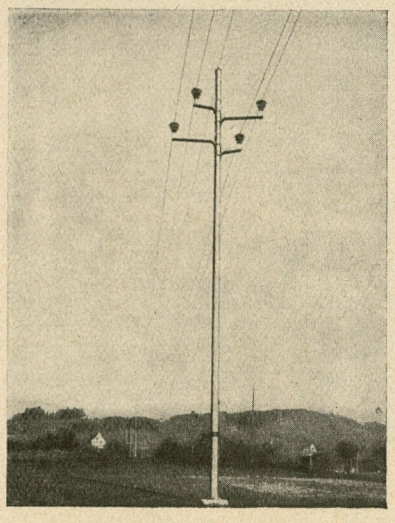
27. Einphasen-Uebertragungsleitung Immensee-Rothkreuz.
66 kV, 8 Leiter von 95 mm² Cu.



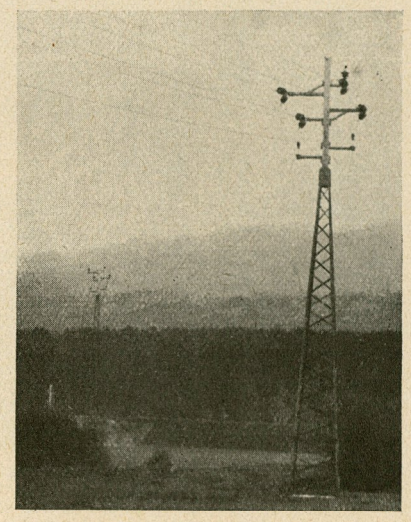
28. Einphasen-Uebertragungsleitung Châtelard-Vernayaz.
66 kV, 6 Leiter von 60/191 mm² Stahl-Aluminium
270 bis 650 m Spannweite.



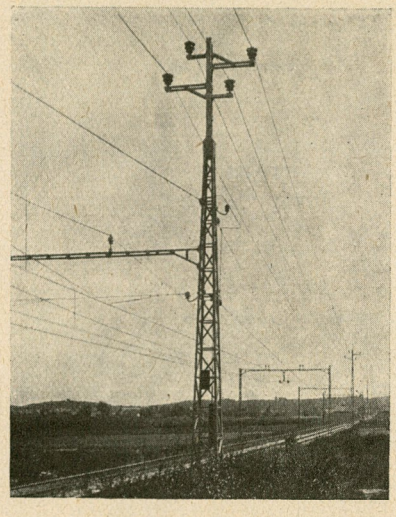
29. Einphasen-Uebertragungsleitung Châtelard-Vernayaz.
Eckmast
vor der Anbringung des fünften und sechsten Leiters.



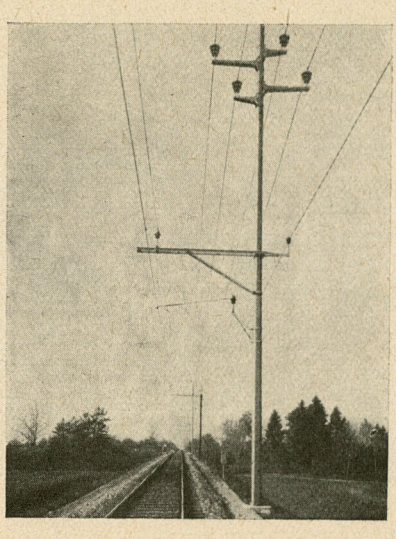
30. Einphasen-Uebertragungsleitung Rapperswil-Seebach und -Gossau.
66 kV, 4 Leiter von 95 mm² Cu.
Geschweisste Rohrmaste mit ovalem Querschnitt.



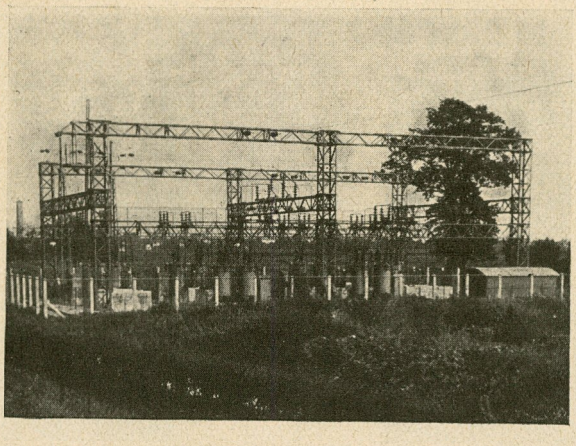
31. 60 kV-Einphasen-Uebertragungsleitung Altendorf-Rapperswil
und 15 kV-Speiseleitung auf gemeinsamen Masten.



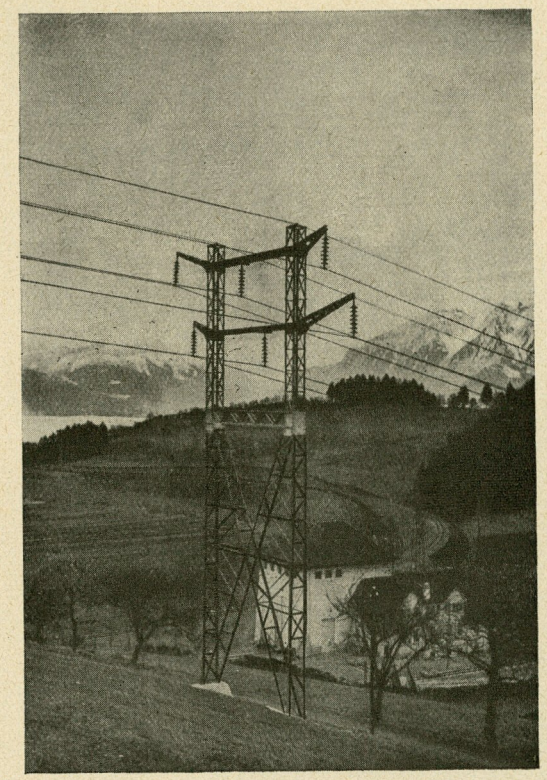
32. Uebertragungsleitung Schönbühl-Burgdorf,
66 kV, und Fahrleitung, 15 kV,
auf gemeinsamen Tragwerken (Fachwerkmaste).

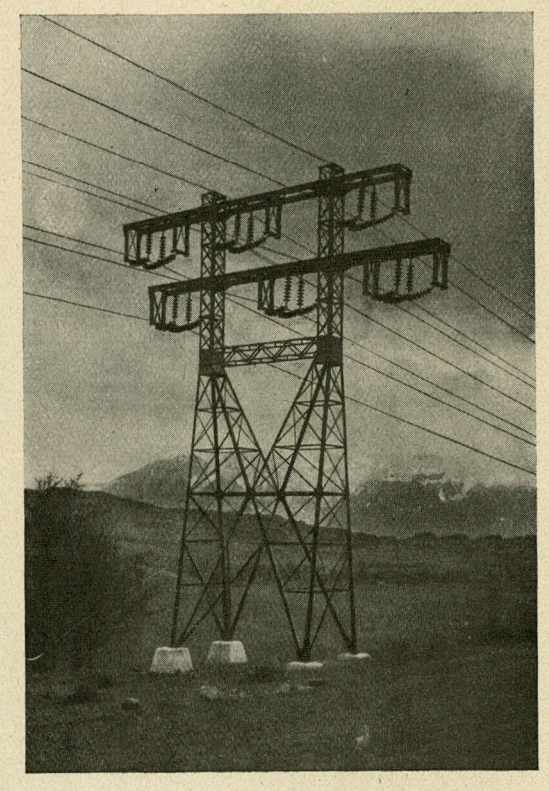


33. Uebertragungsleitung Rapperswil-Bolligen,
66 kV, und Fahrleitung, 15 kV, auf gemeinsamen
Tragwerken (geschweisste Rohrmaste).

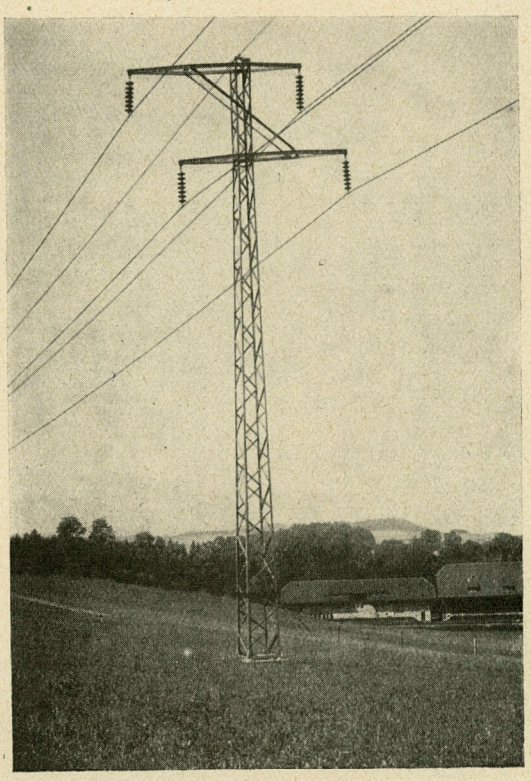


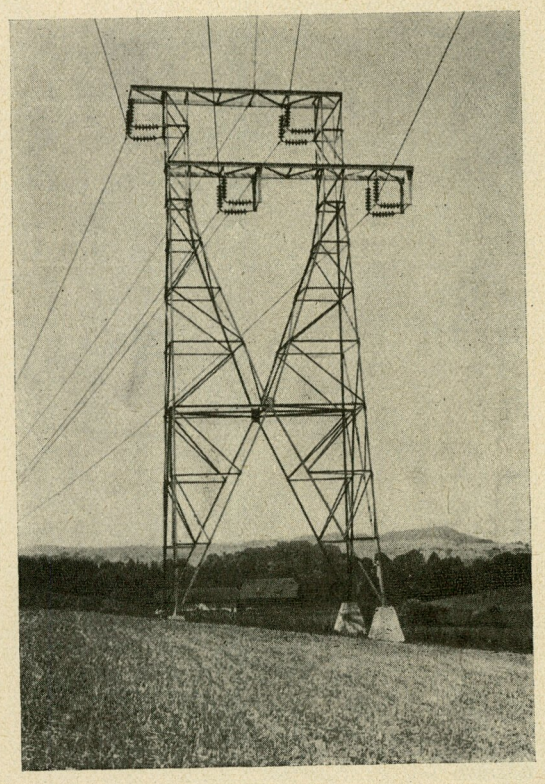
34. Schaltposten Rapperswil.
Verzweigungsstelle der Uebertragungsleitungen Rapperswil-Steinen, -Seebach und -Gossau.



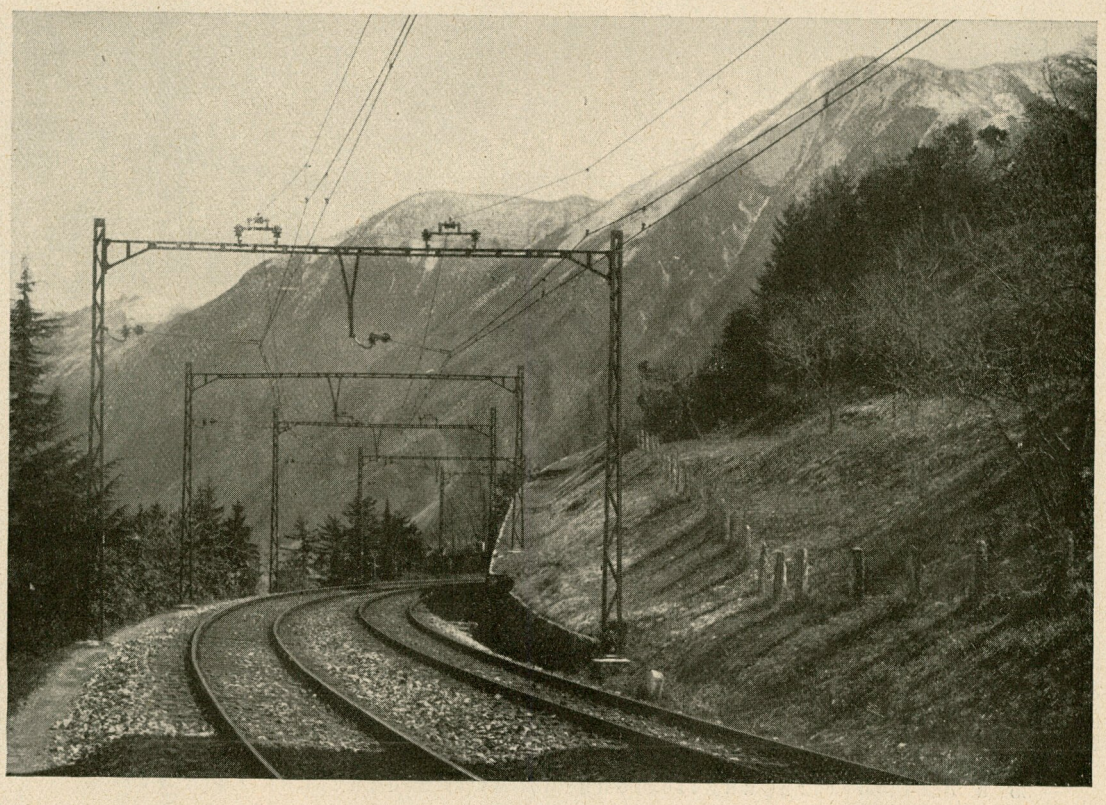


35. u. 36. Uebertragungsleitung, 132 kV, Puidoux-Les Thioleyres.
Tragmast. Abspannmast.

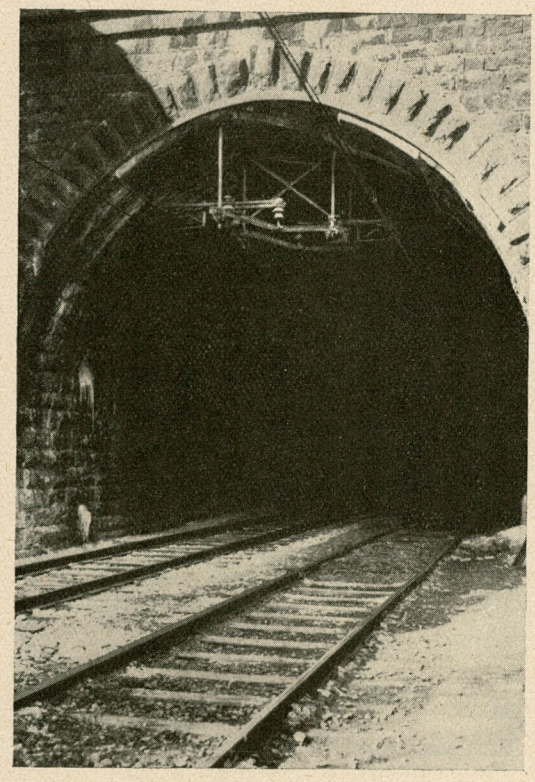




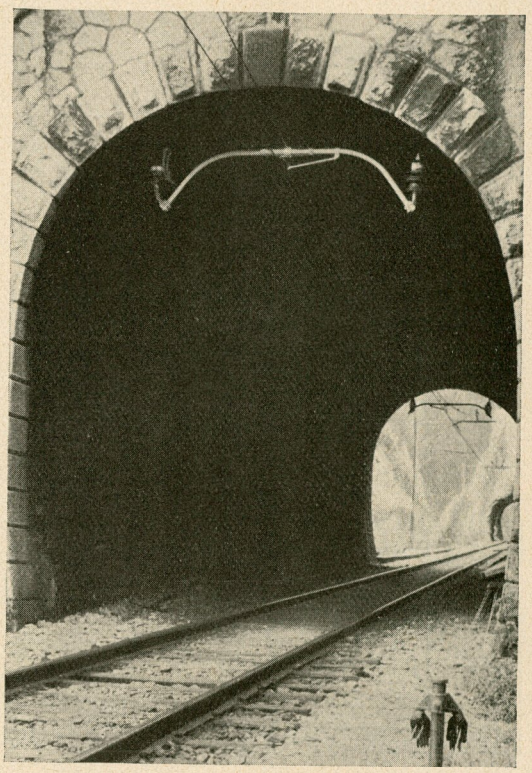
37. u. 38. Uebertragungsleitung, 132 kV, Les Thioleyres-Rupperswil.
Tragmast. Eck- und Abspannmast.



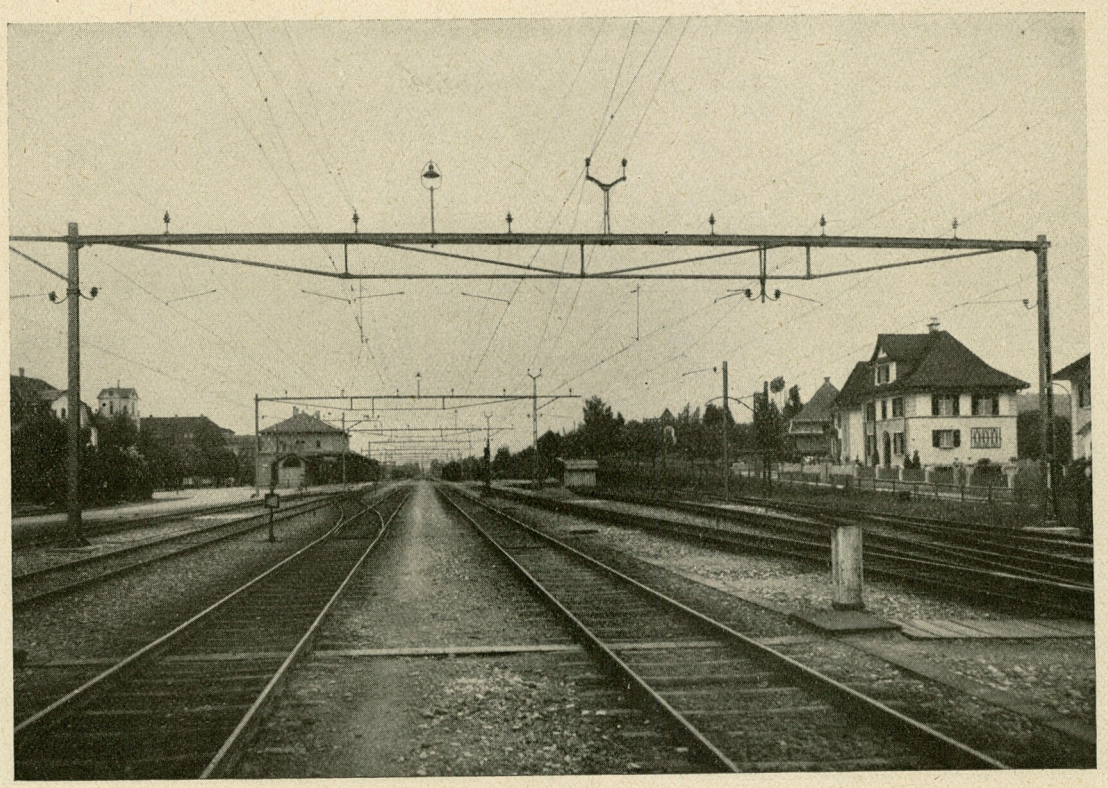
39. Fahrleitung Bauart Gotthard
auf zweigleisiger Strecke mit Zwischenseil und doppelter Isolation.



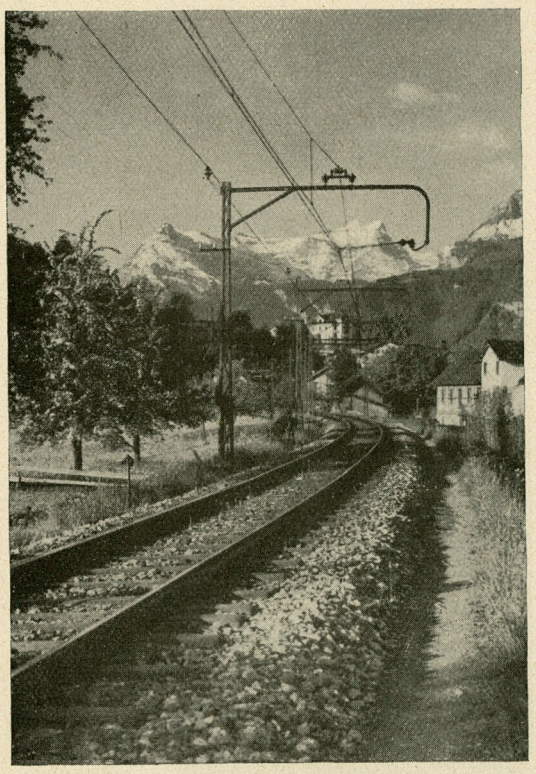
40. Fahrdrahtaufhängung
im zweispurigen Tunnel.



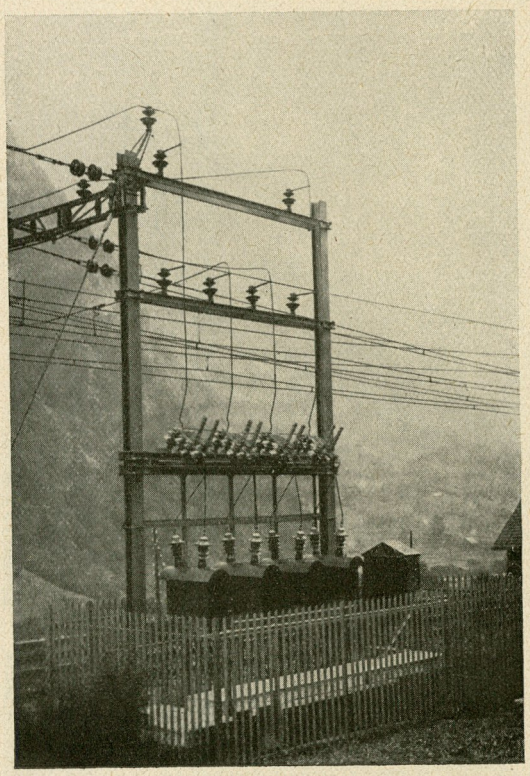
41. Fahrdrahtaufhängung
im einspurigen Tunnel.



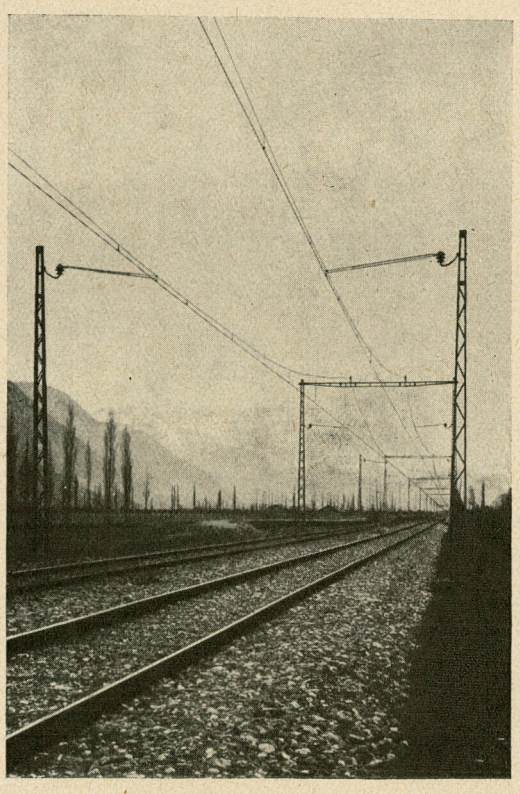
42. Fahrleitung im Bahnhof Wohlen,
60 m Spannweite.

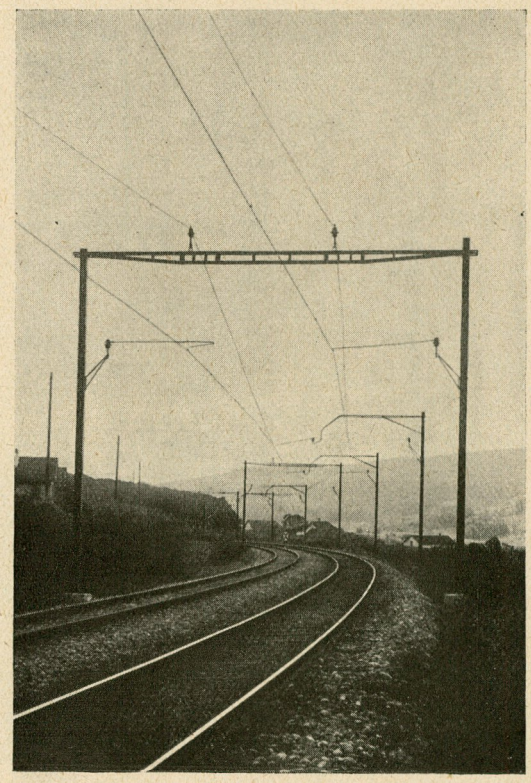


43. Fahrleitung Bauart Gotthard
auf eingleisiger Strecke (bei Brunnen).

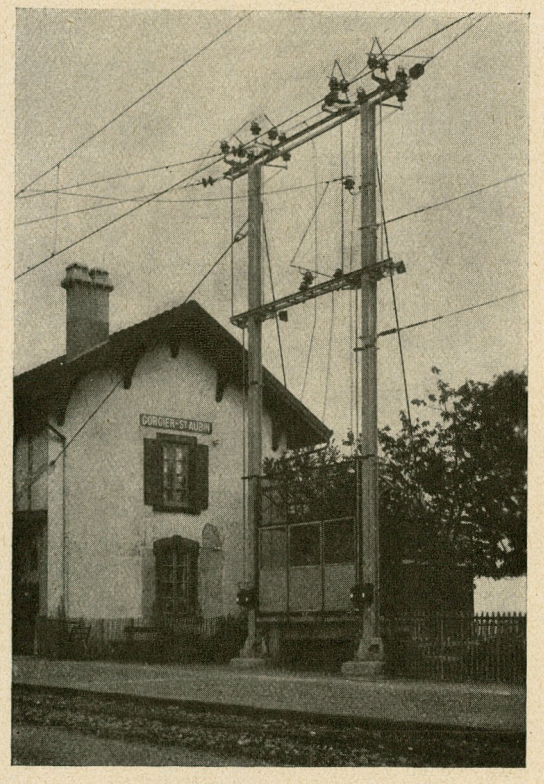


44. Schaltposten der Fahrleitung
in Amsteg
mit elektrischer Fernsteuerung der Streckenschalter.

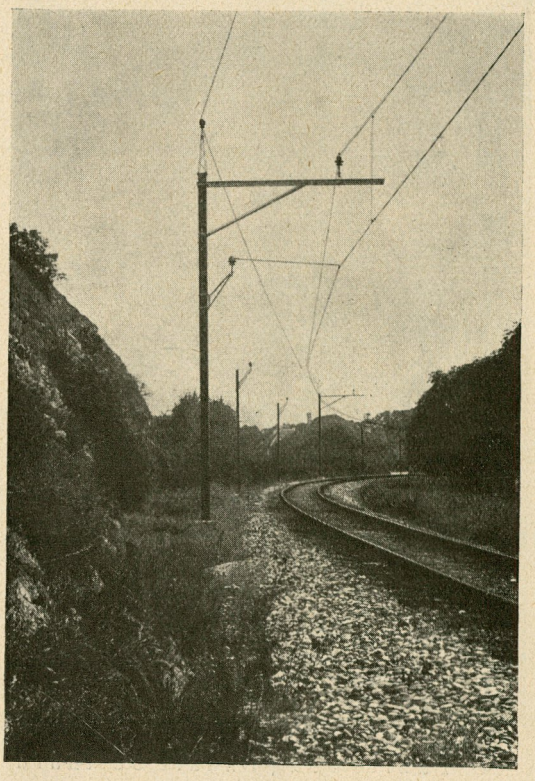




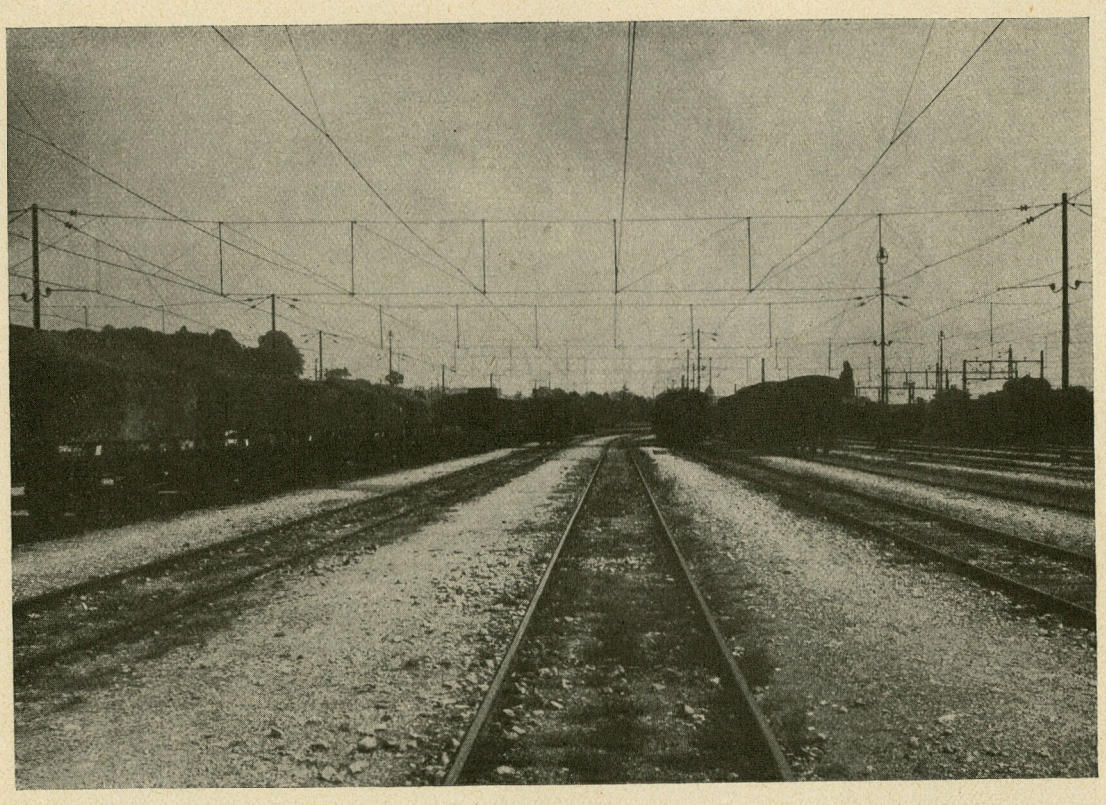
45. u. 46. Fahrleitung
mit 100 m Spannweite und Zwischenmasten für seitliche Festlegung
in der Geraden in der Kurve.



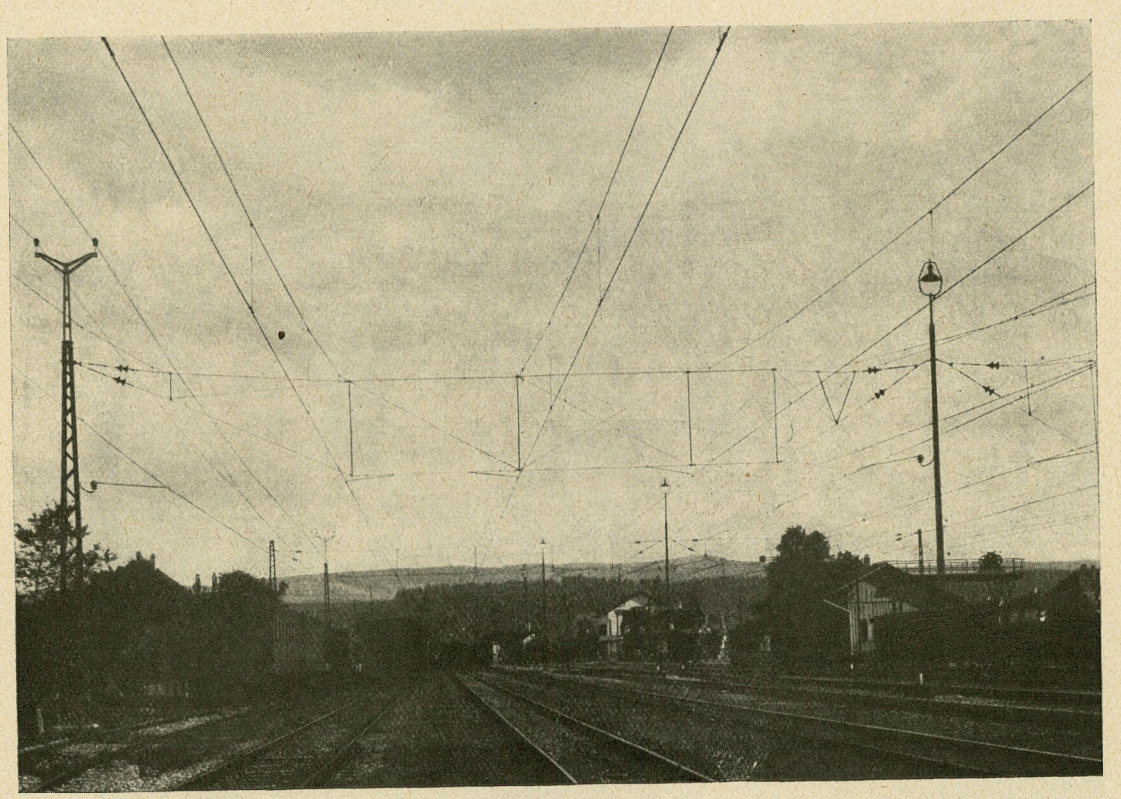
47. Schaltposten
mit Handbetätigung der Streckenschalter.



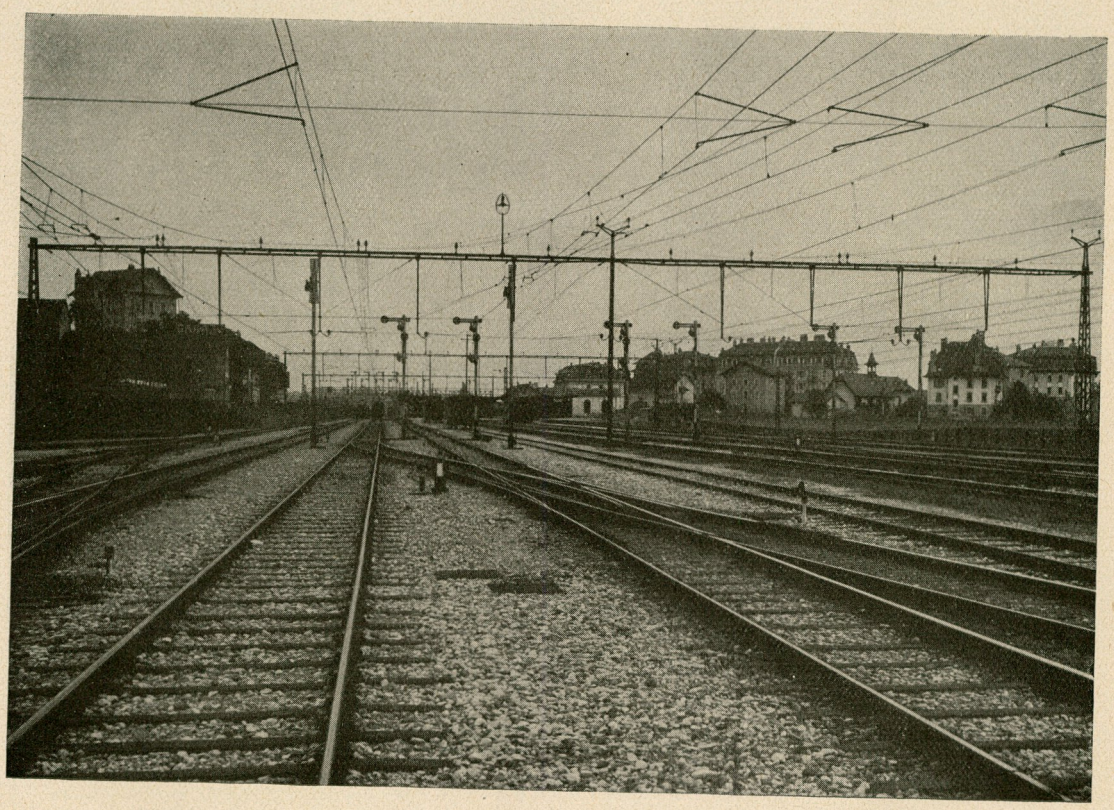
48. Fahrleitung und Hilfsleitung
mit 100 m Spannweite, auf eingleisiger Strecke.



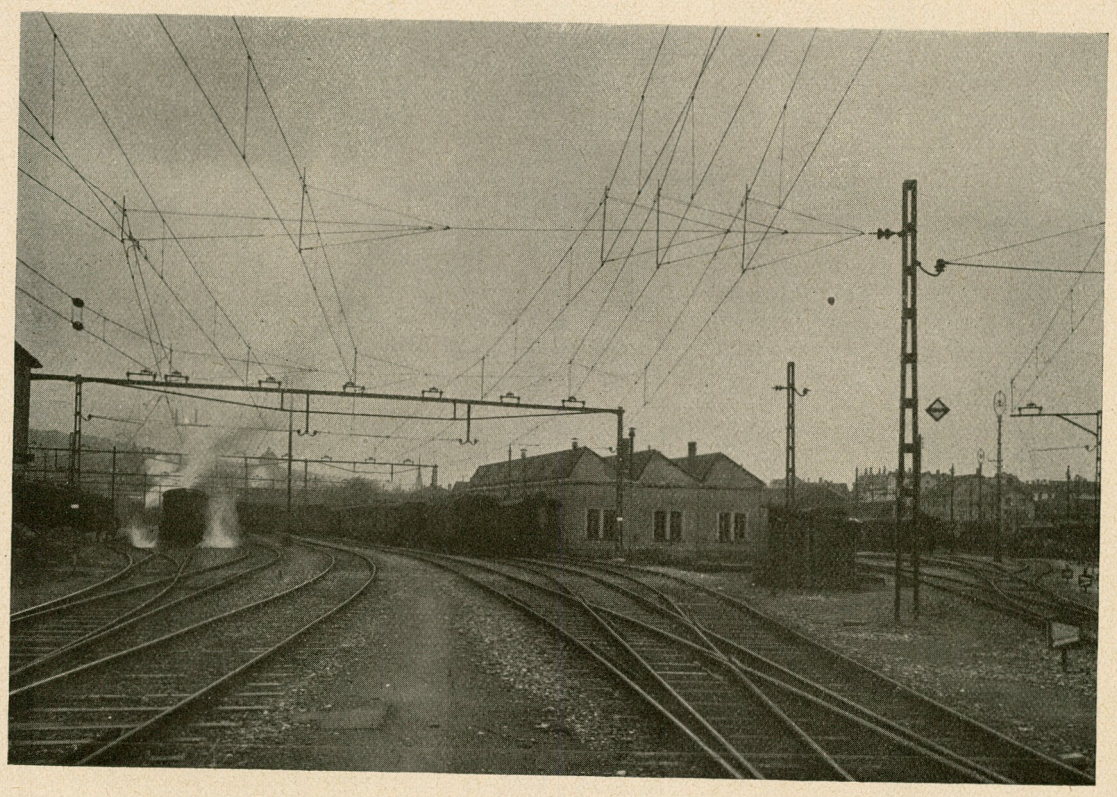
49. Rangierbahnhof Renens.
Fahrdrähte ohne Tragseile an Seiljochen aufgehängt.



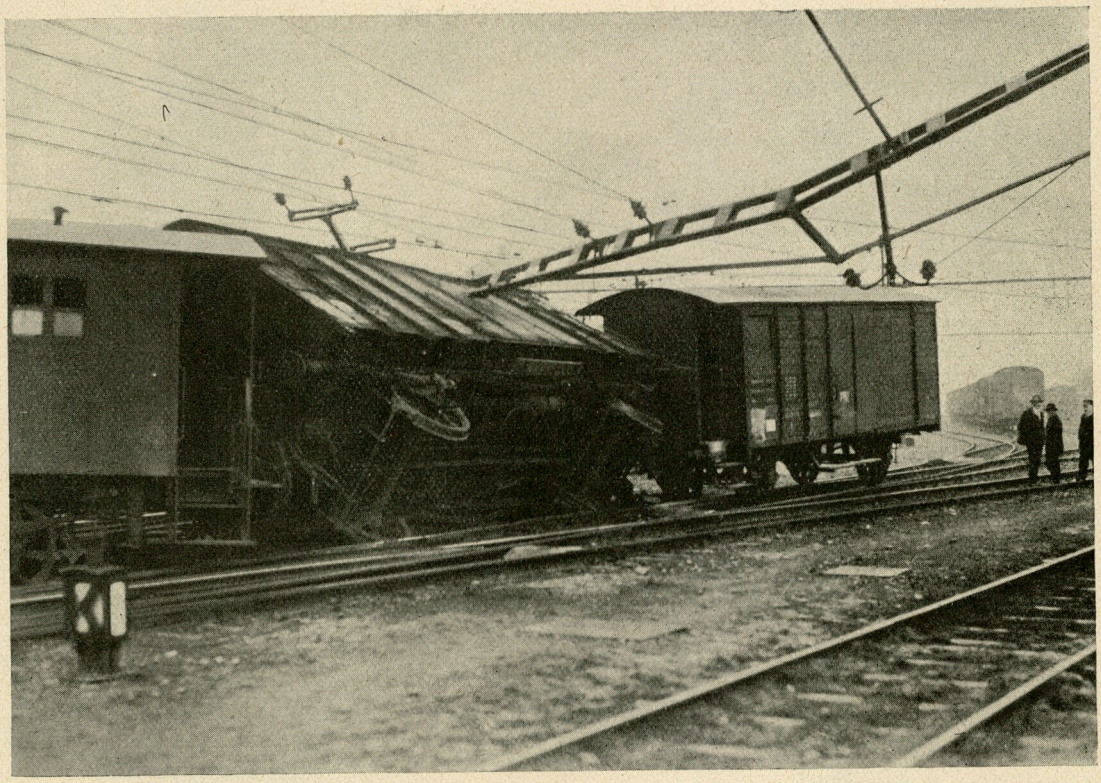
50. Bahnhof Lyss.
Fahrdrähte mit Tragseilen an Seiljochen aufgehängt.



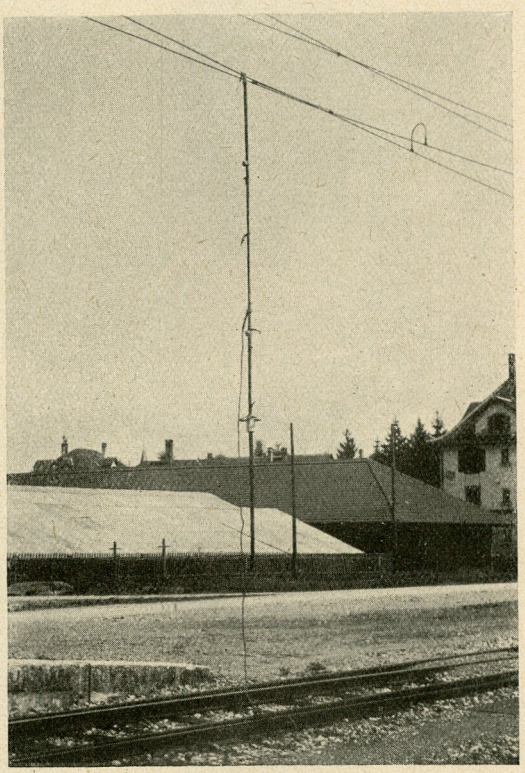
51. Personenbahnhof Renens.
Fahrleitung mit Fachwerkjochen.



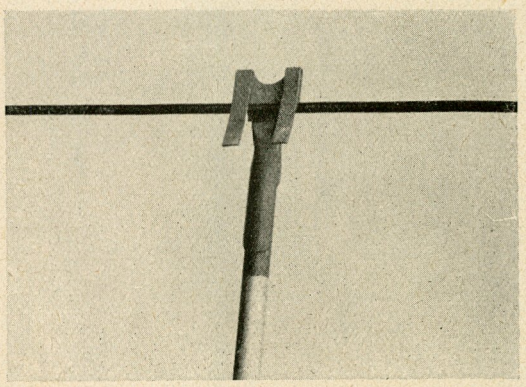
52. Fahrleitungen in Kurven im Bahnhof Zürich.

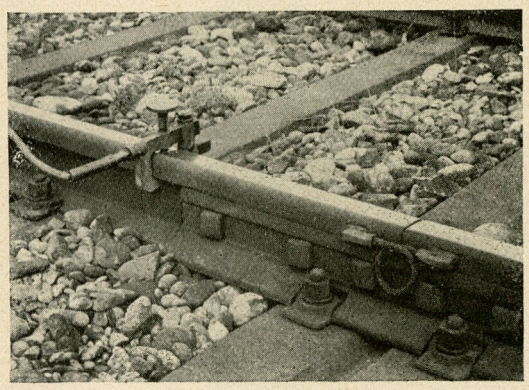


53. Infolge einer Entgleisung heruntergerissenes Tragjoch.

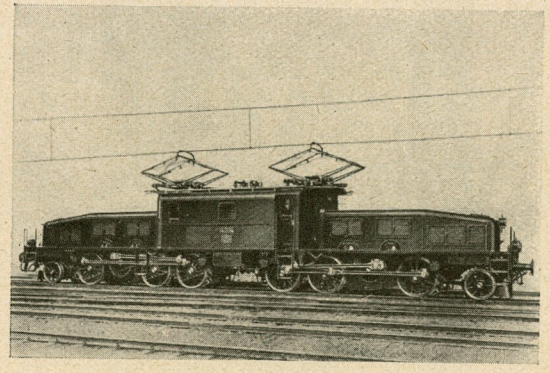


54. Erdungsstange.

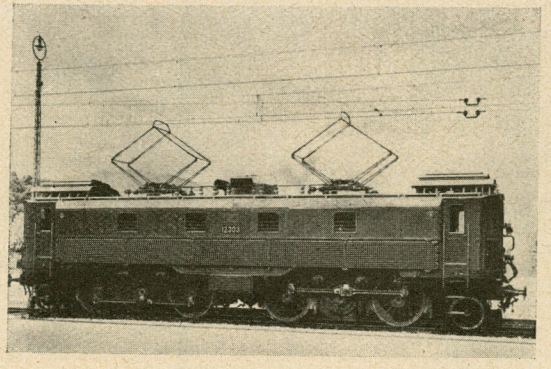




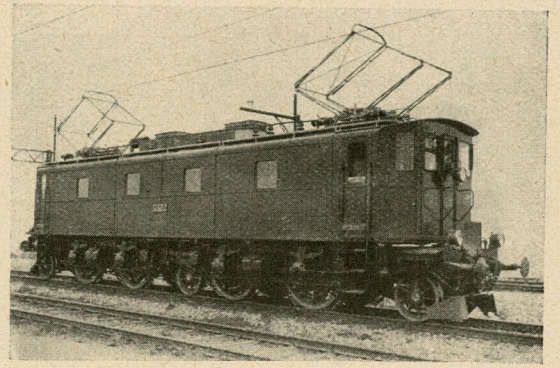
55. Fahrdrahthaken und Schienenklemme der Erdungsstange.
Schienenverbinder.



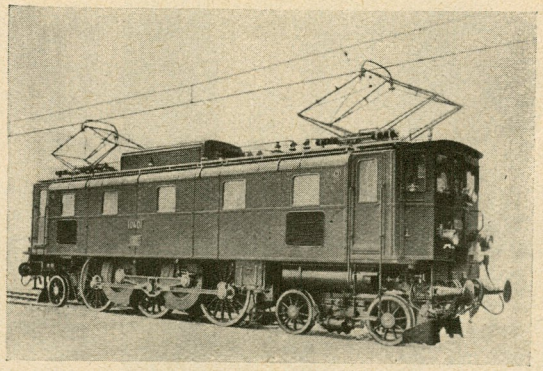
56. Güterzuglokomotive 1C-C1 ($Ce^{6}/_{8}$)
Stundenleistung 2460 PS, bei V = 35 km/h.
Max. Geschwindigkeit 65 km/h.



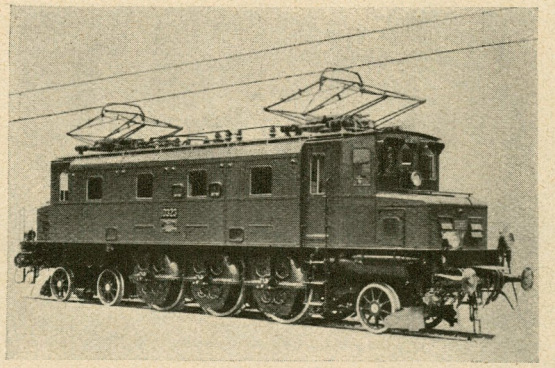
57. Schnellzuglokomotive 1B-B1
($Be\ ^{4}/_{6}$) der Gotthardlinie.
Stundenleistung 2040 PS bei V = 52 km/h.
Max. Geschwindigkeit 75 km/h.



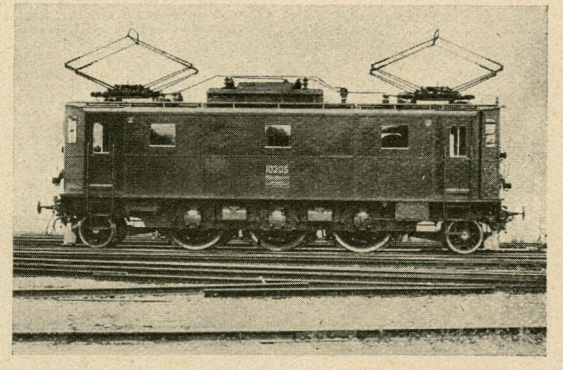
58. Schnellzuglokomotive 1B-1B1
($Be\ ^{4}/_{7}$)
Stundenleistung 2400 PS bei V = 56 km/h.
Max. Geschwindigkeit 75 km/h.



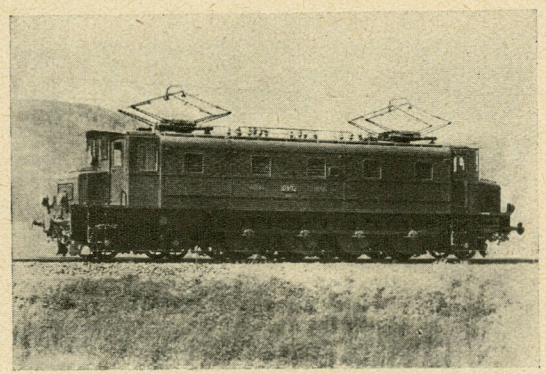
59. Schnell- und Personenzug-
lokomotive 2C1 ($Ae\ ^{3}/_{6}$).
Stundenleistung 2000 PS bei V = 65 km/h.
Max. Geschwindigkeit 90 km/h.



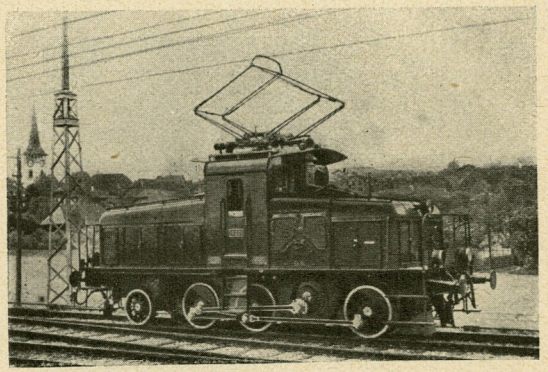
60. Schnell- und Personenzug-
lokomotive 2C1 ($Ae\ ^{3}/_{6}$).
Stundenleistung 1890 PS bei V = 61 km/h
Max. Geschwindigkeit 90 km/h.



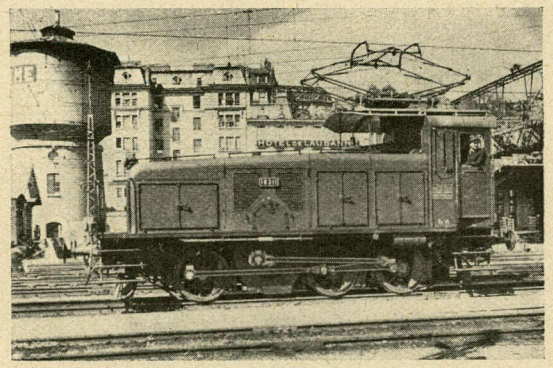
61. Schnell- und Personenzug-
lokomotive 1C1 ($Ae\ ^{3}/_{5}$).
Stundenleistung 1800 PS bei V = 63 km/h.
Max. Geschwindigkeit 90 km/h.



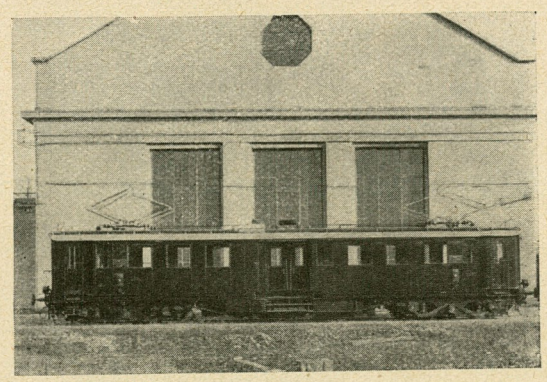
62. Schwere Schnellzuglokomotive
2 D 1 (Ae $^{4}/_{7}$).
Stundenleistung 2800 PS bei V = 65 km/h.
Max. Geschwindigkeit 100 km/h.



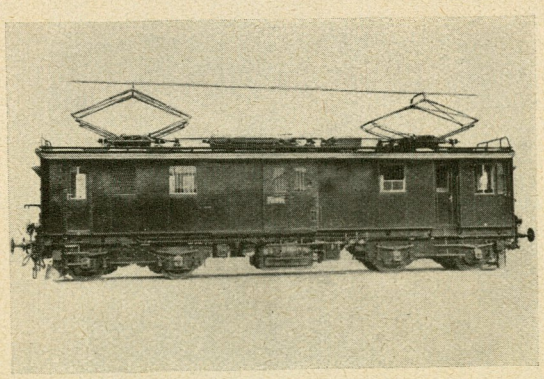
63. Rangierlokomotive 1 C Ce $^{3}/_{4}$.
Stundenleistung 620 PS bei V = 29 km/h.
Max. Geschwindigkeit 40 km/h.



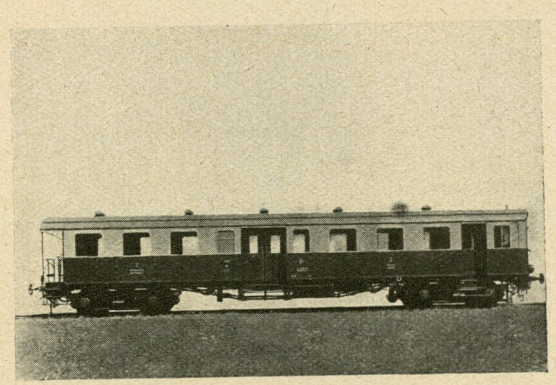
64. Rangierlokomotive C (Ce $^{3}/_{3}$)
Stundenleistung 620 PS bei 29 km/h.
Max. Geschwindigkeit 40 km/h.



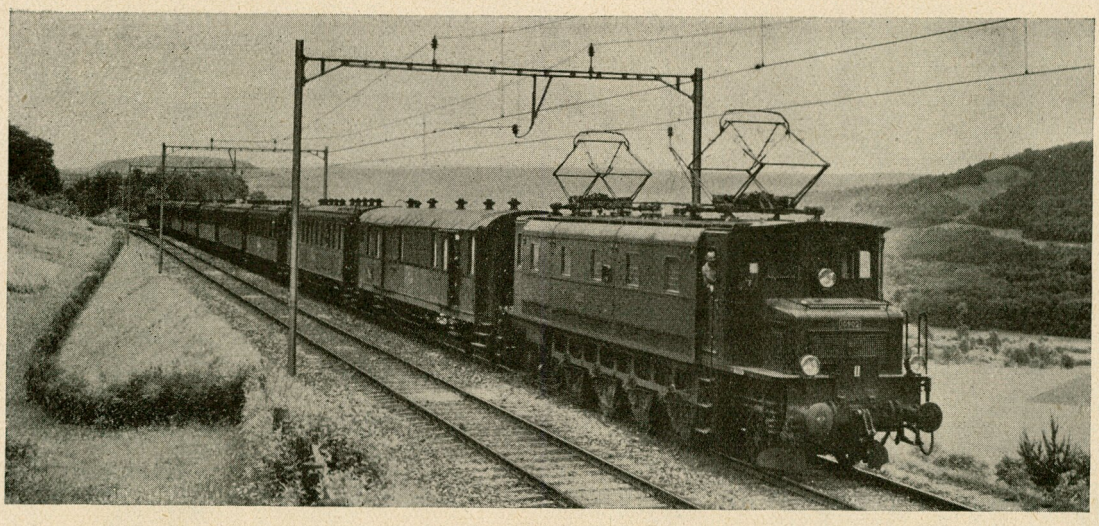
65. Motorwagen Ce $^{4}/_{6}$
Stundenleistung 800 PS bei 50 km/h.
Max. Geschwindigkeit 75 km/h.



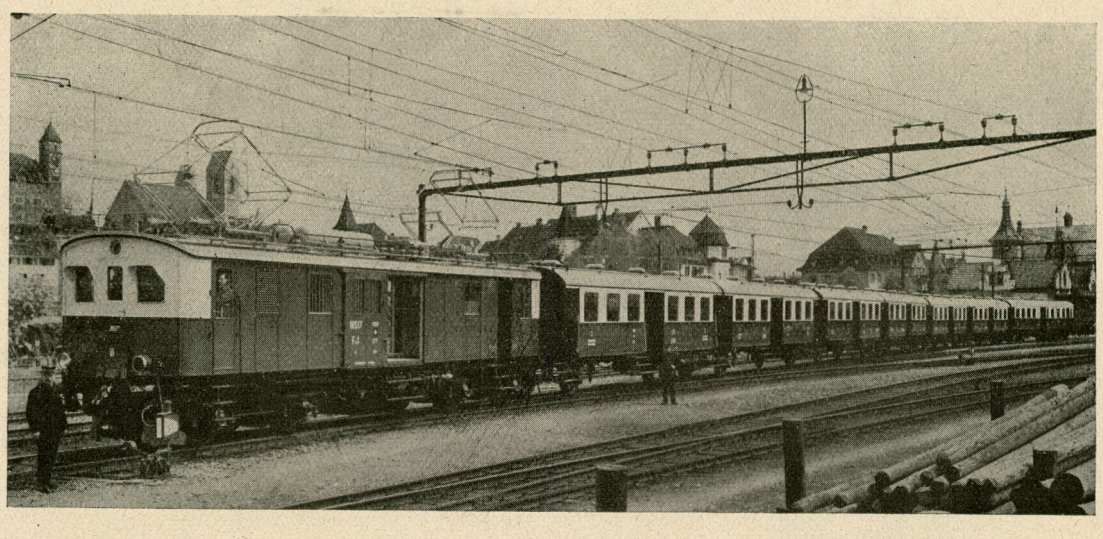
66. Motorwagen Fe $^{4}/_{4}$.
Stundenleistung 1000 PS bei 50 km/h.
Max. Geschwindigkeit 85 km/h.



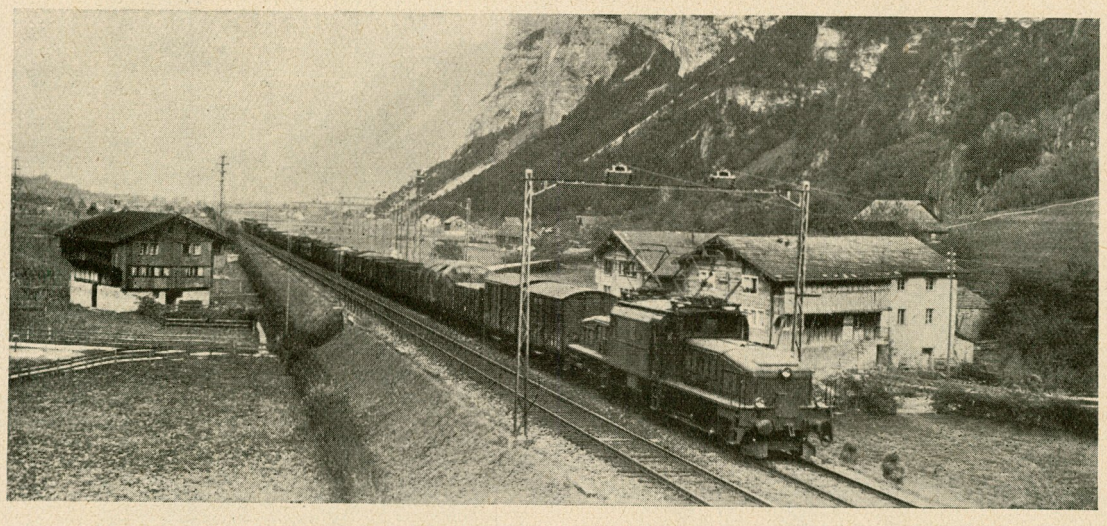
67. Führungswagen
von Motorwagenzügen (Führerstand rechts).



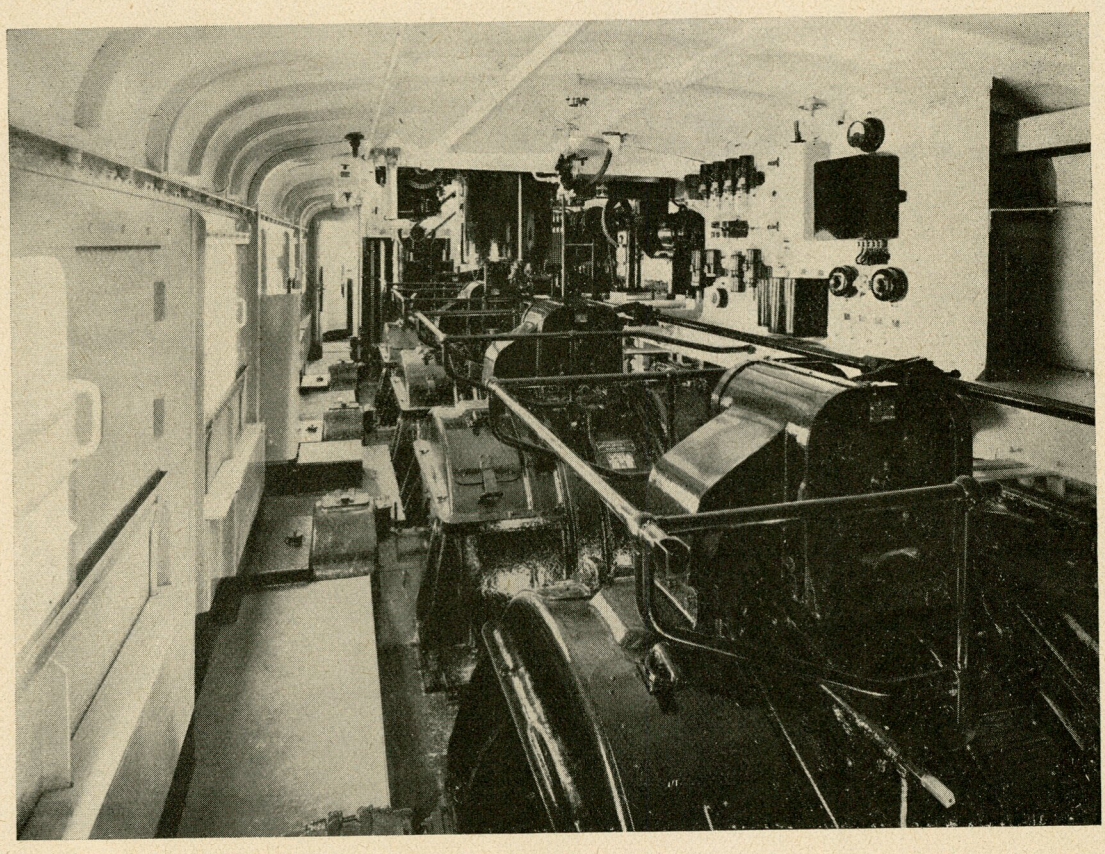
68. Schnellzug mit Lokomotive 2 D 1
auf der Steigung zwischen Brugg und Bötzbergtunnel.



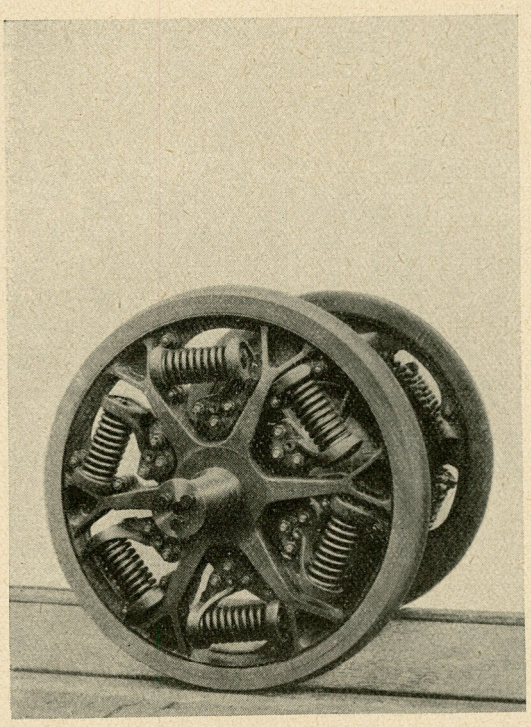
69. Pendelzug
mit Motorgepäckwagen und am andern Ende Führungswagen im Bahnhof Rapperswil.



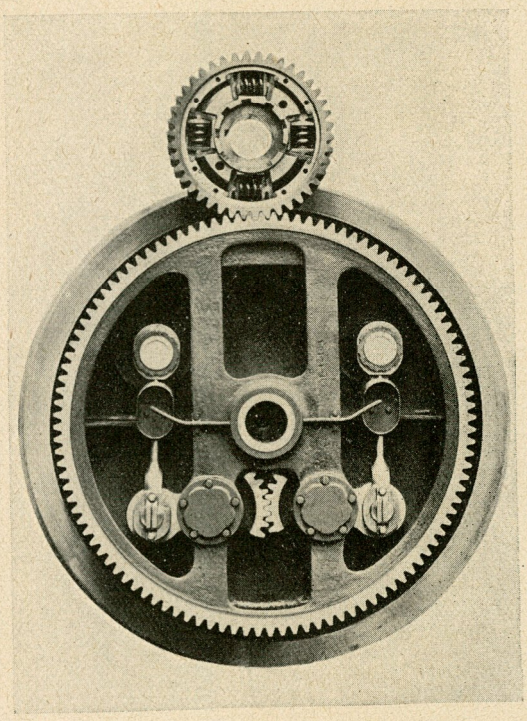
70. Güterzug mit Lokomotive 1C-C1
zwischen Altdorf und Erstfeld.



71. Innenansicht des Maschinenraumes
der schweren Schnellzugslokomotive 2 D 1.



72. Einzelachsantrieb
System Westinghouse
der Lokomotiven 1 B - 1 B 1 und 1 C 1.



73. Einzelachsantrieb System Buchli
der Lokomotiven 2 C 1 und 2 D 1.

Die Schweiz. Eisenbahnen mit elektrischem Betrieb Ende 1928 und die elektrische Energieversorgung der Schweiz. Bundesbahnen

Betriebslängen

Normalspur	Total km	Dampf	Elektrisch
SBB ohne Brünig .	2868	1202=41,9%	1666=58,1%
Andere Eisenbahnen	835	419=50,2%	416=49,8%
	3703	1621=43,8%	2082=56,2%
Schmalspur			
SBB (Brünig) . .	74	74=100%	0=0
Andere Eisenbahnen	1591	327=20,5%	1264=79,5%
	1665	401=24,1%	1264=75,9%
Zahnradbahnen	117	45=38,5%	72=61,5%
Total	5485	2067=37,7%	3418=62,3%

Zeichenerklärung

- Wasserkraft-Elektrizitätswerke, welche die SBB speisen
- SBB Eigentum der Schweiz. Bundesbahnen
- BKW Eigentum der Bernischen Kraftwerke
- BK Eigentum der Bündner Kraftwerke
- Projektierte Kraftwerke der SBB
- Transformatoren-Unterwerke von 9000 kVA und mehr
- Unterwerk mit rotierenden Maschinen
- Schaltstationen
- Transformatorenstationen 1000 bis 3000 kVA
- Übertragungsleitungen 15-30-60 und 66000 Volt
- Übertragungsleitungen 132000 Volt
- Elektrifizierte Linien der SBB
- Speiseleitungen 15000 Volt
- Andere elektrische Eisenbahnen
- Nicht elektrifizierte Linien

GEOGRAPH. ANST. KÜMMERLY & FREY, BERN.