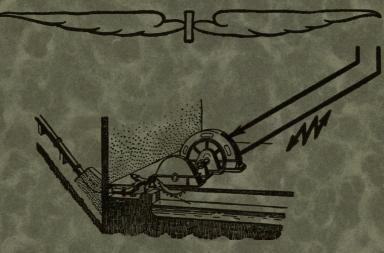


ELEKTRIFIZIERTEN HAUPTLINIEN DER SCHWEIZER. BUNDESBAHNEN



DIE ELEKTRIFIZIERTEN HAUPTLINIEN

DER

SCHWEIZERISCHEN BUNDESBAHNEN

von J. GÖTTLER, TECHNIKER



MIT 46 ABBILDUNGEN

PREIS FR. 2. —

DRUCK UND VERLAG
BUCHDRUCKEREI BOLLIGER & EICHER, BERN
1 9 2 7

INHALTS = VERZEICHNIS

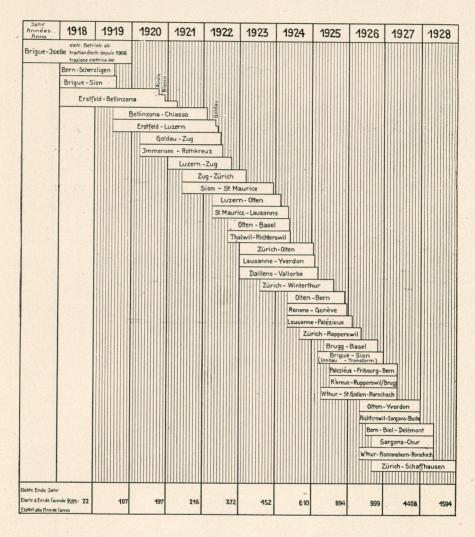
		Seite
1.	Entwicklungsgeschichte	5
2.	Kraftwerke	8
	A. Grundsätzliches, Kraftbedarf und Kraftbeschaffung	8
	B. Kraftwerk Ritom	9
	C. Kraftwerk Amsteg	12
	D. Kraftwerk Barberine	15
	E. Kraftwerk Vernayaz	18
3.	Uebertragungsleitungen	23
4.	Unterwerke	25
5.	Ausrüstung der Bahnlinie	32
	A. Fahrleitung	32
	B. Schalteinrichtungen der Fahrleitungsanlagen	34
6.	Triebfahrzeuge	41
7.	Betrieb	47
8.	Wirtschaftlichkeit	55



VORWORT

Ein grosses Werk geht der Vollendung entgegen; im Laufe des Jahres 1928 werden die Hauptlinien der S.B.B. elektrisch betrieben. In Würdigung dieses Ereignisses sei hier versucht, die neue Betriebsart mit ihren Anlagen in Wort und Bild festzuhalten, um den Zusammenhang des Ganzen zu vermitteln.

Der Verfasser.



Die Entwicklung der Elektrifizierung auf dem Netze der Schweizerischen Bundesbahnen bis Ende 1928.



1. ENTWICKLUNGSGESCHICHTE.

Bald nach der Verstaatlichung der Hauptbahnen im Jahre 1902 beschäftigte man sich mit der Frage der Elektrifizierung und war sich schon damals klar, dass dieser Betriebsart eine grosse volkswirtschaftliche Bedeutung zukomme. So wurde im Jahre 1904 eine Studienkommission gebildet, welche die Aufgabe hatte, die technischen und finanziellen Grundlagen für die Einführung des elektrischen Betriebes auf den schweizerischen Bundesbahnen zu studieren und abzuklären. Sie setzte sich zusammen aus Vertretern des Eisenbahndepartements, der Bundesbahnen, des Elektrotechnischen Vereins, der Elektrizitätswerke und Elektrizitätsunternehmungen.

Von den zeitraubenden Arbeiten seien insbesondere erwähnt die Ermittlung des mutmasslichen Kraftbedarfes eines Verkehrsjahres, sowie der in Frage kommenden Wasserkräfte, für deren Konzession die S. B. B. besorgt war. Eine weitere wichtige Untersuchung bedingte die Systemfrage.

Die Kommission hatte ihre Aufgabe im Jahre 1911 beendigt und erstattete im Jahre 1912 der Generaldirektion der S. B. B. einen umfassenden Bericht, in welchem die Studienergebnisse niedergelegt sind und aus welchen hervorgeht, dass der elektrische Vollbahnbetrieb technisch möglich und wirtschaftlich sei. Als Betriebssystem wurde Einphasen-Wechselstrom von zirka 15 Perioden und als Fahrdrahtspannung 15 000 Volt empfohlen. Im gleichen Jahre wurde die Abteilung für die Einführung der elektrischen Zugförderung geschaffen, die sich künftig mit der Projektierung und Durchführung der Arbeiten für die Elektrifizierung des Bundesbahnnetzes zu befassen hatte.

In Bezug auf das Vorgehen bestand damals allgemein die Ansicht, dass die Gotthardbahn, in Anbetracht ihres Längenprofils und der Zugsdichtigkeit, sowie im Hinblick auf die grosse Rauchbelästigung in den vielen Tunnels, zuerst den elektrischen Betrieb erhalten solle, und dass dann nach den gemachten Erfahrungen und den finanziellen Verhältnissen die Elektrifikation fortzusetzen sei.

Auf Grund des Studienberichtes unterbreitete die Generaldirektion dem Verwaltungsrat im Jahre 1913 eine Vorlage mit Kreditbegehren für die Einführung des elektrischen Betriebes auf der Strecke Erstfeld—Bellinzona, die noch im gleichen Jahre genehmigt wurde. Als Stromart wurde definitiv Einphasen-Wechselstrom 16²/₃ Perioden und als Fahrleitungsspannung 15 000 Volt gewählt.

Nachdem die Vorarbeiten für die Bauarbeiten getroffen waren, brach der Weltkrieg aus, der zur Folge hatte, dass die Inangriffnahme der Bauten um zwei Jahre hinausgeschoben werden musste. Der Krieg wurde indessen auch in diejenigen Gebiete getragen, die unser Land grösstenteils mit Kohle versorgten. Die Lieferungen wurden immer spärlicher und unsicherer, der Preis immer höher und nur mit grossen Anstrengungen und harten Kompensationen konnte die Lieferung der Kohle für den notwendigsten Betrieb unserer Bahnen ermöglicht werden. Man muss die Zeit der Kohlennot erlebt haben, mit ihren einschneidenden Folgen, sowohl im Privatleben, insbesondere aber beim Bahnbetrieb, um voll begreifen zu können, was es heisst, in einer lebenswichtigen Sache vom Auslande abhängig zu sein. Auch mancher Lokomotivheizer könnte aus den Tagen der Kohlennot erzählen, von der aufreibenden Arbeit, den gefrässigen Schlund des eisernen Pferdes mit Holzspälten zu füllen. Es wäre von unserer Generation unverantwortlich gewesen, an all dem Erlebten spurlos vorüberzugehen und nicht Hand anzulegen, ähnliches in Zukunft von unserem Lande abzuwenden.

Unter dem Drucke der Kohlennot nahm das Verständnis für den elektrischen Bahnbetrieb in den weitesten Kreisen stark zu, und man erkannte in der Verwirklichung desselben eine nationale Notwendigkeit. In öffentlichen Versammlungen und in der Presse aller politischen Parteien wurde von den zuständigen Behörden die Aufstellung und Bekanntgabe eines detaillierten Programms für die Einführung des elektrischen Betriebes auf dem Netze der Bundesbahnen verlangt. Diesem Begehren wurde entsprochen, indem die Generaldirektion der S. B. B. im Bericht vom Juli 1918 an den Verwaltungsrat, ein eingehendes Programm aufstellte. In diesem Berichte wurde ausgeführt, dass die Elektrifikation einen Betrag von mindestens ³/₄ Milliarden Franken erfordern werde. Dabei war angenommen, die Arbeit in einem Zeitraum von 30 Jahren durchzuführen.

Trotz zahlreicher Schwierigkeiten wurden die Arbeiten so gefördert, dass im September 1920 das Kraftwerk Ritom in Betrieb gesetzt und im Spätherbst die Strecke Erstfeld-Biasca elektrisch befahren werden konnte. Im Mai 1921 folgte Biasca-Bellinzona und am 28. Mai 1922, 40 Jahre nach der Eröffnung der Gotthardbahn, wurde der durchgehende elektrische Betrieb auf der Linie Luzern-Chiasso (225 km) eröffnet. Fast um die gleiche Zeit waren auch die Strecken Goldau-Zug und Immensee-Rothkreuz betriebsbereit.

Es ist zu erwähnen, dass bereits im Jahre 1918 die Strecke Bern-Thun im Anschlusse an die elektrifizierte B. L. S. auf elektrische Traktion umgestellt wurde. Ferner wurde aus Gründen des Kohlenmangels und weil das S. B. B.-Kraftwerk Massaboden, welches den Simplontunnel speist, nicht voll ausgenützt werden konnte, die Linie Brig-Sitten provisorisch für den elektrischen Betrieb mit Dreiphasen-Wechselstrom ausgerüstet.

Die Elektrifizierung verlief nun immer regelmässiger. Die Einführung des neuen Betriebes wickelte sich glatt und ohne grosse Störungen ab, so dass die Sympathie im Volke immer mehr zunahm. Nachdem sich dann die wirtschaftliche Krisis unseres Landes vergrösserte und man dieselbe durch umfassende Notstandsarbeiten einzudämmen suchte, legte die Generaldirektion dem Verwaltungsrat im Jahre 1923 ein Programm vor, das die Beschleunigung der Elektrifizierung der 1611 km umfassenden Hauptlinien statt auf das Jahr 1933 auf 1928 vorsah. Das beschleunigte Programm wurde angenommen und die von den S. B. B. verlangten 60 Millionen Franken à fonds perdu vom Parlamente bewilligt.

Auf Grund eines, alles umfassenden Arbeitsprogramms war es möglich, die Abteilung für Elektrifizierung bei der Generaldirektion und die Bureaux für die Fahrleitungen bei den Kreisen, stets rechtzeitig vorzubereiten, so dass die Inbetriebsetzung der einzelnen Strecken programmgemäss eingehalten werden konnte. Bald wird der Moment da sein, wo statt der Dampflokomotive die elektrische Maschine nicht nur von Nord nach Süd, von Basel bis Chiasso, sondern auch von West nach Ost, von Genf nach Rorschach und Romanshorn fahren und somit die erste Etappe der Elektrifizierung beendigt sein wird.

2. KRAFTWERKE.

A. Grundsätzliches, Kraftbedarf und Kraftbeschaffung.

Die Frage, ob der Staat die erforderliche Energie in eigenen Kraftwerken erzeugen oder aus fremden Werken beziehen solle, beschäftigte vor dem Beginn der Elektrifizierung verschiedene Interessengruppen. Einflussreiche Vertreter der Finanz und der Industrie und vor allem die Vertreter privater Kraftwerke, vertraten die Ansicht, dass die S. B. B. ihre Versorgung mit Energie, der Privatindustrie überlassen solle. Dagegen äusserte sich die Mehrzahl der Redner im Nationalrat für den Bau und Betrieb der Bahnkraftwerke durch den Staat. In ihrem ausführlichen Bericht vom Jahre 1913 in dieser Frage kam die Generaldirektion zum Schlusse, dass es für die S. B. B. als geboten erscheine, die Kraftwerke für die Erzeugung der elektrischen Energie selbst zu bauen und zu betreiben, weil nur auf diese Weise die Sicherheit der Deckung des Energiebedarfs in der Zukunft erlangt werde und weil weder ein finanzieller Vorteil für die S. B. B. noch auch für die Allgemeinheit durch die Uebertragung der Krafterzeugung an die Privatindustrie zu erreichen wäre. Im Bericht wurde allerdings nicht starr an bahneigenen Kraftwerken festgehalten, sondern gesagt, dass eine allgemein gültige Regel nicht gegeben werden solle und dass in gewissen Fällen der Anschluss an private Werke vorteilhaft sei. Dieser Bericht wurde genehmigt.

Der Kraftbedarf für das 2940 km umfassende Bundesbahnnetz erfordert bei einem Verkehr, wie er im Jahre 1913 vorhanden war, 450 bis 500 Millionen Kilowattstunden (kWh) ab Werk, was einer konstanten 24stündigen Leistung von 80 bis 90 000 PS an den Turbinenwellen entspricht. Der Betrieb der bis 1928 elektrifizierten Hauptlinien von 1611 km, wird bei einem Verkehr wie 1913 rund 350 Millionen Kilowattstunden benötigen.

Wegen den grossen Schwankungen des Kraftbedarfes beim Bahnbetrieb und weil die Kraftwerke, vermöge ihrer Beschaffenheit als Fluss- und Akkumulierwerke nicht gleichzeitig arbeiten, mussten sie für grössere Leistungen als vorher genannt vorgesehen werden.

Zur Erzeugung der Energie haben die S. B. B. folgende Konzessionen erworben:

Reuss, von Andermatt bis Amsteg und Kerstelenbach. Fossbach, Ausnützung des Ritomsees, mit Stauung.

Rhone, von Fiesch bis Mörel und Binna, Barberine mit Stausee, Fau noir und Trient.

Sihl. mit Stausee (Etzelwerk).

Aare, unterhalb Aarau bis Wildegg.

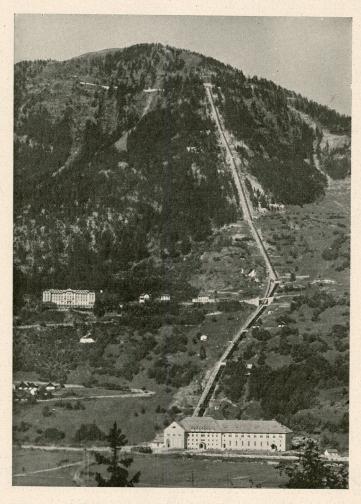
Für den Betrieb der 1611 km langen Hauptlinien liefern die Kraftwerkgruppen Amsteg—Ritom mit dem Nebenkraftwerk Göschenen, sowie die Kraftwerkgruppe Vernayaz—Barberine mit dem Nebenkraftwerk Trient und unterstützt durch kleinere Lieferungen der Bernischen und Bündner Kraftwerke A.-G. die nötige Energie.

B. Das Kraftwerk Ritom

nützt das Gefälle des Fossbaches vom Ritomsee (rund 1800 Meter über Meer) bis zur Einmündung in den Tessin aus. Um den See als Wasserspeicher verwenden zu können, wurde er in einer Tiefe von 30 m unter dem ursprünglichen Wasserspiegel angezapft und zudem noch 7 m aufgestaut, so dass ein nutzbarer Inhalt von 26 Millionen Kubikmeter vorhanden ist. Die Wasserfassung wird durch einen Zulaufstollen von 868 m Länge mit dem Wasserschloss verbunden, das eine bestimmte Wassermenge für die Wasserentnahme besitzt und in dem die Stösse ausgeglichen werden, die das beim plötzlichen Abschliessen oder bei verminderter Wasserentnahme im Stollen nachfliessende Wasserquantum verursacht. Das Wasserschloss reguliert mittels seiner Apparate den Zu- und Abfluss und bildet den Uebergang zur Druckleitung. Diese stellt die Verbindung zwischen Wasserschloss und Maschinenhaus her.

Das mittlere Nettogefälle ist 808 m.

Das Maschinenhaus befindet sich am linken Tessinufer bei Piotta und ist mit 4 Maschinengruppen ausgerüstet. Jede Gruppe besteht aus einer 15 000 PS-Peltonturbine und einem direkt gekuppelten Einphasen-Bahngenerator zu 9000 kVA Dauerleistung, 15 000 Volt Spannung, 162/3 Perioden, bei einer Umdrehungszahl von 3331/3 in der Minute. Die erzeugte Energie wird durch Kabel in das Schalthaus geleitet, durchfliesst daselbst Apparate, wie automatische Schalter, Trennmesser, Messwandler, und wird den Sammelschienen zugeführt. Von hier aus geht ein Teil über die Fahrleitungsapparate direkt zur Fahrleitung bei der Station AmbriPiotta, ein Teil wird in die *Transformatoren* geleitet, welche die Generatorspannung 15 000 Volt auf 60 000 Volt für die Fernübertragung nach Süden und Norden umwandeln. Die Anlage



Kraftwerk Ritom, Zentrale und Druckleitung.

ist mit 5 Transformatoren zu je 8500 kVA Dauerleistung ausgerüstet. Die automatische Auslösung der Schalter erfolgt durch Betätigung von *Relais*, die beispielsweise auf eine bestimmte Stromstärke, Spannung und Zeit eingestellt sind (Höchststromund Höchstspannungszeitrelais) und bei Ueberschreitung dieser



Ritomsee mit Staumauer.



Staumauer des Kraftwerkes Barberine und Baubarraken in Emosson.

Einstellung ansprechen. Sie bilden gewissermassen die Sicherheitsventile, um die Anlageteile vor Schaden zu schützen.

Die Trennmesser dienen dazu, die Leitungen vor und nach dem Schalter oder andern Apparaten spannungslos zu machen, falls diese z. B. ausgewechselt oder revidiert werden müssen.

Die Messwandler transformieren den Strom und die Spannung in einem bestimmten Uebersetzungsverhältnis herunter, um die Messinstrumente, wie Voltmeter, Ampèremeter, Wattmeter, Zähler, ebenso Relais usw. anschliessen zu können.

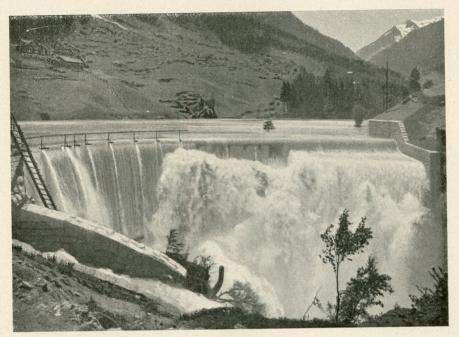
Das Anlassen und Abstellen einer Maschinengruppe, das Ein- und Ausschalten der Leitungen geschieht mittels elektrischer Fernbetätigung im *Schaltstand* (Kommandoraum), wo sich gewissermassen die Seele des Werkes befindet. Hier laufen alle Fäden wie bei einem Nervensystem zusammen.

Das Kraftwerk ist, wie übrigens alle S. B. B.-Kraftwerke, mit einer Eigenverbrauchsanlage und einer kleinen Reparaturwerkstätte versehen. Für das Bedienungspersonal wurden Dienstwohnungen erstellt. Erwähnenswert ist ferner die Drahtseilbahn, längs der Druckleitung, die den Bautransport besorgte und heute dem Personenverkehr geöffnet ist. Das Ritomwerk konnte als erstes Bundesbahnkraftwerk im September 1920 dem Betrieb übergeben werden.

C. Das Kraftwerk Amsteg

nützt das Gefälle der Reuss vom Pfaffensprung unterhalb Wassen bis Amsteg aus; das Wasser wird in der engen Pfaffensprungschlucht gefasst. Durch eine Staumauer mit Ueberfall wurde ein Tagesausgleich- und Klärbecken von 200 000 m³ Inhalt geschaffen. Zwecks Abführung des Hochwassers und Verminderung der Geschiebeablagerung im Staubecken, wird die Reuss in einem Tunnel von 280 m Länge oberhalb des Bassins umgeleitet. Vom Staubecken durchfliesst das Betriebswasser den auf der rechten Talseite liegenden, 7,5 km langen Druckstollen, der oberhalb Amsteg in das in Felsen ausgesprengte Wasserschloss mündet. Hier beginnt die Druckleitung, die beim Austritt aus dem Berg die Apparatenkammer durchläuft. Das mittlere Nettogefälle beträgt 275 m.

Die Zentrale liegt südlich, unmittelbar ausserhalb Amsteg am rechten Reussufer. Das Maschinenhaus ist mit 6 Maschinen-

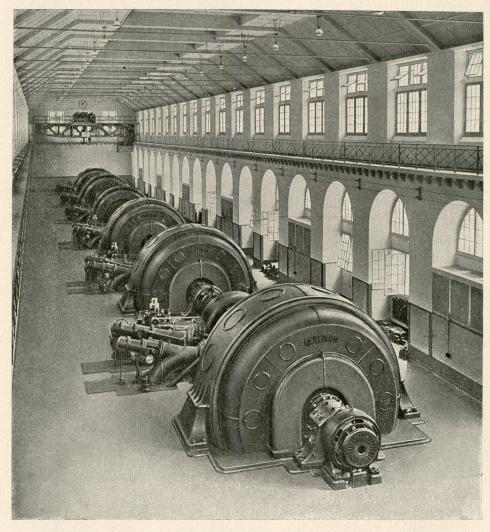


Kraftwerk Amsteg, Ausgleichbecken am Pfaffensprung von Norden gesehen.



Kraftwerk Amsteg, Zentrale mit Druckleitung.

gruppen ausgerüstet, wovon 5 Peltonturbinen zu 15 000 PS mit Einphasen-Bahngeneratoren zu 10 000 kVA Dauerleistung bei $\cos\varphi=0.75$, 15 000 Volt, $16^2/_3$ Perioden bei $333^1/_3$ Umdrehungen in der Minute, und 1 Turbine mit einem Dreiphasengenerator zu 13 000 kVA Dauerleistung bei $\cos\varphi=0.7$, 8600 Volt, 50 Perioden, 300 Umdrehungen in der Minute, gekuppelt sind. Der Dreiphasenstrom wird an die Aktiengesellschaft der schweizerischen Kraftüber-



Kraftwerk Amsteg, Maschinensaal.

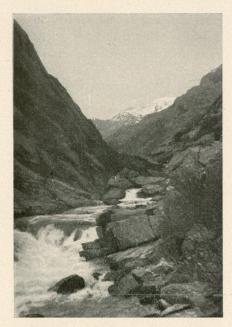
tragung abgegeben, von dieser in einer eigenen Transformatorenstation in der Nähe der Zentrale auf 80 000 Volt auftransformiert und in das Leitungsnetz verschiedener schweizerischer Elektrizitätswerke weitergeleitet. Das Kraftwerk Amsteg wird diesen Dreiphasenstrom für Industriezwecke nur so lange abgeben, als es der Energiebedarf für die elektrische Zugförderung gestattet.

Die Verbindung zwischen den Bahngeneratoren und dem 15 000 Volt-Schalthaus, das nicht direkt an das Maschinenhaus angebaut ist, erfolgt durch Kabel. Die elektrische Einrichtung ist ähnlich wie im Kraftwerk Ritom. Ein Teil der in den Bahngeneratoren erzeugten Energie wird der Fahrleitung über der Zentrale zugeführt, ein Teil wird durch die 6 installierten Transformatoren zu 10 000 kVA auf 60 000 bezw. 66 000 Volt auftransformiert, um mittels der Uebertragungsleitungen in die südlichen und nördlichen Speisepunkte geleitet zu werden.

Das Kraftwerk Ritom ist ein Akkumulierwerk, das Kraftwerk Amsteg ein Flusskraftwerk. Beide bilden eine Gruppe und arbeiten in der Weise zusammen, dass Amsteg in der Zeit, wenn die Reuss viel Wasser führt, den ganzen Betrieb übernimmt, während Ritom dann das Wasser im See aufspeichert, um zur Zeit des Reussniederwassers, hauptsächlich im Winter, die beim Kraftwerk Amsteg fehlende Energie zu decken. Auf diese Weise können beide Werke zusammen, mit Einschluss des rund 1400 kVA leistenden Nebenkraftwerkes Göschenen, das früher für den Betrieb des Ventilators für die Tunnellüftung diente, eine konstante 24 stündige Leistung von 34 000 PS während des ganzen Jahres abgeben, was einer Energiemenge von rund 190 Millionen Kilowattstunden entspricht.

D. Das Kraftmerk Barberine

nützt das Gefälle der Baberine und des Nant de Drance von der Alp Barberine bis nach Châtelard-Village aus. Im Gegensatz zum Kraftwerk Ritom, wo im Ritomsee ein natürlicher Wasserspeicher vorhanden ist, musste hier ein Stausee geschaffen werden. Zu diesem Zwecke wurde in rund 1800 Meter über Meer eine Talsperre, bestehend aus einer Schwergewichtsmauer von 78 m Höhe, 264 m Länge und einer Fundamentdicke von 58,6 m erstellt. Zu ihrem Bau mussten 206 000 m3 Beton hergestellt werden, mit einem Verbrauch von rund 50 000 Tonnen Zement.



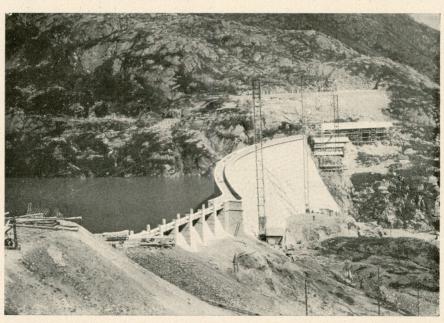
Standort der Barberine-Staumauer in seinem Zustand vor 1920.

Der Stausee hat rund 2700 m Länge, 800 m Breite, maximal 70 m Tiefe und einen nutzbaren Inhalt von rund 37 500 000 m³.

Vom See durchfliesst das Wasser den 2330 m langen Druckstollen, passiert das Wasserschloss und wird hierauf durch die Druckleitung den Turbinen des Maschinenhauses bei Châtelard-Village zugeführt.

Das mittlere Nettogefälle beträgt 720 m.

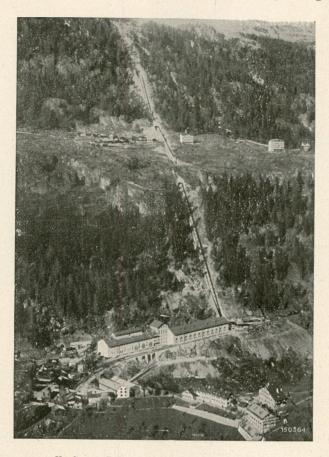
Das Maschinenhaus ist zur Aufnahme von 5 Maschinensätzen vorgesehen, wovon vorläufig 4 Peltonturbinen zu 15600 PS mit direkt gekuppelten Bahngeneratoren zu 10000 kVA Dauerleistung bei



Barberine-Staumauer, von Westen gesehen.

15 000 Volt Spannung, 16²/₃ Perioden und 333¹/₃ Umdrehungen in der Minute installiert sind.

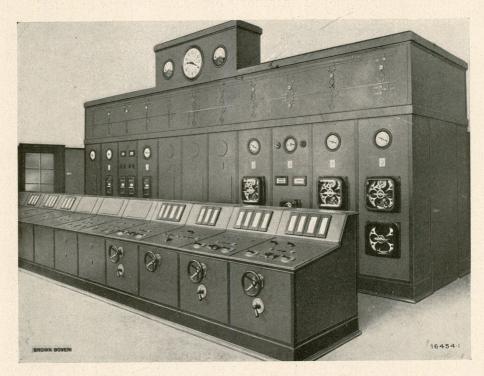
Weil die Anlage rund 15 km von der nächsten Bahnstation entfernt ist, wurde die Anordnung der Schaltanlage so getroffen,



Kraftwerk Barberine, Zentrale mit Druckleitung.

dass die gesamte erzeugte Energie mit 66 000 Volt in 3 Uebertragungsleitungen, teilweise über das Unterwerk Vernayaz nach dem Unterwerk Puidoux und zum Teil in die 66 000 Volt-Sammelschienen des Kraftwerkes Vernayaz geleitet wird. Jeder Generator bildet mit dem zugehörigen Transformator eine Einheit, die ohne Vermittlung von unterspannungsseitigen Sammelschienen (15000 Volt) auf die 66 000 Volt-Sammelschienensysteme arbeitet. Die

15 000 Volt-Sammelschienen dienen nur für den Anschluss der Eigenverbrauchsanlage und des Wasserwiderstandes (Bremswiderstand) für Versuchszwecke.



Schaltstand (Kommandoraum) des Kraftwerkes Barberine.

E. Das Kraftwerk Vernayaz

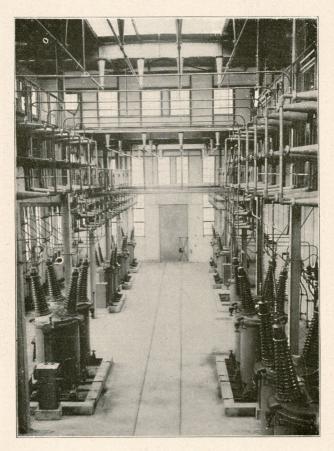
nützt das Gefälle der Eau noire, des Trient und des Triège von Châtelard bis nach Vernayaz im Rhonetal aus. Das Wasser der Eau noire wird bei Châtelard-Trient gefasst und teils in einem gedeckten Kanal, teils in einem Freispiegelstollen von 7890 m Länge dem Ausgleichbecken (rund 50000 m³ Inhalt) bei Les Marécottes zugeführt. Unterwegs nimmt dieser Kanal das abfliessende Wasser des Kraftwerkes Barberine und den Triège auf. Vom Ausgleichbecken wird das Wasser in einem 2300 m langen Druckstollen zum Wasserschloss bei Les Granges oberhalb Salvan geführt, von hier aus durch die Druckleitungen den Turbinen



Kraftwerk Vernayaz, Zentrale mit Druckleitung.

des Maschinenhauses bei Vernayaz zugeleitet und hierauf im Unterwasserkanal in die Rhone abgeführt.

Das mittlere Nettogefälle beträgt 630 m, die maximale ausnutzbare Wassermenge ist 14 m³ in der Sekunde.

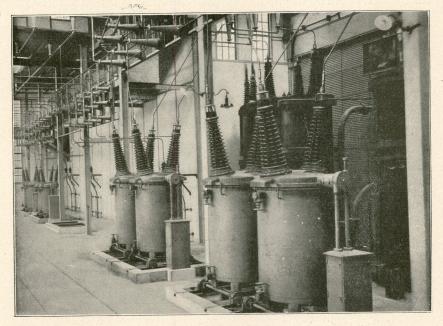


Kraftwerk Vernayaz.

Südliche Schalthalle vom Mittelbau aus. Im Vordergrund 13200 Volt-Schaltanlage mit Oelschaltern, darüberliegenden Trennmessern und Sammelschienen an der Decke; im Hintergrund gleiche Anordnung für die 6600 Volt-Schaltanlage.

Das Maschinen- und Rohrleitungshaus ist mit einer Längsseite an die steil abfallende Felswand angebaut. Der Vollausbau des Kraftwerkes umfasst 6 Maschinengruppen mit Peltonturbinen zu 19 300 PS, wovon die sechste Turbine auf einer Seite mit einem Bahngenerator oder auf der andern Seite mit einem Drei-

phasen-Generator gekuppelt werden kann, um je nach Bedarf Bahnstrom oder Industriestrom erzeugen zu können. Der Industriegenerator ist für eine Dauerleistung von 14 000 kVA bei 10 000 Volt Spannung, 50 Perioden bei 3331/3 Umdrehungen in der Minute gebaut. Die Energie wird durch die Transformatoren in einem Freiluft-Unterwerk auf 64 000 Volt auftransformiert und in die



Kraftwerk Vernayaz. Schalterhalle gegen die Transformatoren gesehen; im Vordergrund 132000 Volt-Oelschalter Kesseldurchmesser 1,5 m, totale Höhe 4,6 m.

Sammelschiene der S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse (E. O. S.) geleitet.

Die Bahngeneratoren erzeugen wie in allen Bundesbahnkraftwerken Einphasen-Wechselstrom, 15000 Volt Spannung, 162/3 Perioden bei 3331/3 Umdrehungen in der Minute und sind für eine Dauerleistung von 11 000 kVA gebaut.

Für die Auftransformierung kommen 6 Dreispannungstransformatoren zu je 2 × 9000 kVA zur Aufstellung. Sie stellen eine neuartige Ausführung dar und transformieren die Leistung von der Generatorspannung 15 000 Volt gleichzeitig auf 66 000 und 132 000 Volt. Die Anwendung dieser Transformatoren brachte eine wesentliche Vereinfachung der Schaltanlage.

Vorläufig sind 4 Maschinengruppen und 4 Transformatoren mit zugehöriger Schaltanlage installiert. Die Transformatoren, sowie die gesamte Hochspannungsschaltanlage, sind im Gegensatz zu den andern Bundesbahnkraftwerken wie auch privaten Elektrizitätswerken in einem zweiteiligen Hallenbau untergebracht. Diese Anordnung hat u.a. für das Bedienungspersonal den grossen Vorteil der Uebersichtlichkeit. In jeder der beiden Hallen sind, ohne Zwischenwände, in symetrischer Anordnung 3 Transformatoren mit zugehörigen Apparaten, die 15 000 Volt-Umleit- und Bremsschienen, die 66 000 und 132 000 Volt-Sammelschienen, wie auch die Apparate für die Leitungen vom Kraftwerk Barberine, sowie nach den Unterwerken Vernayaz und Massaboden und für eine 132 000 Volt-Freileitung (2 Schleifen) nach Puidoux-Kerzers-Rupperswil untergebracht. Jeder Generator bildet mit dem zugehörigen Transformator eine Einheit, ohne Zwischenschaltung von Oelschaltern. Die Transformatoren speisen normalerweise gleichzeitig je ein 66 000 und ein 132 000 Volt-Sammelschienensystem.

Bei der Kraftwerkgruppe Vernayaz-Barberine ist das Kraftwerk Vernayaz das Flusskraftwerk und Barberine das Speicherwerk, ähnlich wie bei der Gruppe Amsteg-Ritom, aber mit dem Vorteil, dass bei der Wallisergruppe das aufgespeicherte Wasser in beiden Werken ausgenützt wird.

Während die Kraftwerkgruppe Amsteg-Ritom eine konstante 24 stündige Turbinenleistung von 34 000 PS während des ganzen Jahres abgeben kann, wird die Kraftwerkgruppe Vernayaz-Barberine beim Vollausbau, mit Einschluss des Nebenkraftwerkes Trient (2800 kVA), das vom Kraftwerk Barberine aus ferngesteuert wird, konstant 24 stündig 42 000 PS zu leisten vermögen und somit imstande sein, rund 230 Millionen Kilowattstunden jährlich an das Netz abzuliefern. Die erzeugte Energie wird teilweise in die Unterwerke der Westschweiz geleitet und von dort aus den Fahrleitungen zugeführt. Ferner sind mittels der Uebertragungsleitung 132 000 Volt nach Rupperswil, die Kraftwerkgruppen am Gotthard und im Wallis miteinander elektrisch verbunden, wodurch die Betriebssicherheit des ganzen Netzes wesentlich erhöht wurde.

3. DIE ÜBERTRAGUNGSLEITUNGEN

verbinden die Kraftwerke unter sich und dienen zur Speisung der Unterwerke. Sie sind zum grössten Teil als *Freileitungen* erstellt und an eisernen Masten auf Trag- oder Hänge-Isolatoren befestigt. Im Tessin bestehen sie aus 2 Leitungen in Kupferseil von je 2 × 100 mm² Querschnitt, bei einer Spannweite von durchschnittlich 80 m. Mit Rücksicht auf die engen Täler, die bereits von elektrischen Kraftübertragungsleitungen, Telephon- und Telegraphenleitungen durchzogen werden und auch wegen der Lawinengefahr, wurden als Uebertragungsleitungen von Amsteg nach Giornico *Einleiterkabel* zu 135 mm² Kupferquerschnitt gewählt. Sie liegen in Zement-Doppelkanälen im Bahnkörper (zirka 50 cm tief) ausserhalb der Geleise.

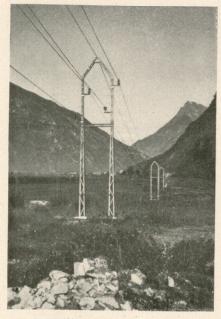
Vom Kraftwerk Amsteg weg, gegen Norden, befinden sich auf gemeinsamem Gestänge 4 Leitungen 66 000 Volt, zu je $2\times95~\text{mm}^2$ Kupferquerschnitt, der S. B. B., wie auch die Dreiphasenleitung

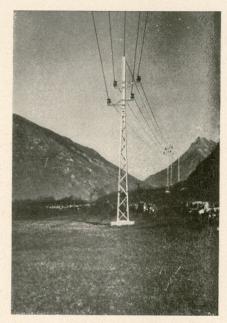
80 000 Volt mit 3 Aluminiumseilen von je 191 mm² Querschnitt, der Schweizerischen Kraftübertragung A.-G.

In der schweizerischen Hochebene entsprechen die Uebertragungsleitungen bezüglich Bauart ungefähr denjenigen im Tessin. Es sind durchwegs 2 Leitungen von je 2 × 95 mm² Kupfer auf gemeinsamem Tragwerk. Die gewöhnliche Spannweite ist 125 m. Erwähnenswert ist auch die Leitung vom Kraftwerk Barberine durch das Rhonetal nach Lausanne, wo der örtlichen Verhältnisse halber Spannweiten bis 670 m bei 200 m Höhenunterschied vorkommen.



Abspannmast der Uebertragungsleitung

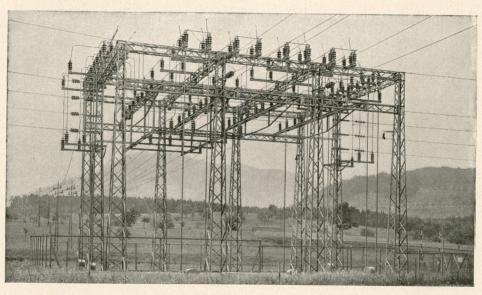




160 m Spannweite

80 m Spannweite

Uebertragungsleitung Giornico-Giubiasco. 2 Einphasenleitungen 60000 Volt, 100 mm² Kupfer.



60 000 Volt-Schaltposten Rothkreuz.

Ferner wurde, wie bereits früher bemerkt, eine 132 000 Volt-Leitung vom Kraftwerk Vernayaz über die Unterwerke Puidoux und Kerzers bis zum Unterwerk Rupperswil erstellt. Sie umfasst 2 Einphasenleitungen aus Aluminiumseil von je 2 × 240 mm² Querschnitt. Die Spannweite beträgt in der Regel 225 m. Durch diese Leitung ist es möglich, die beiden Kraftwerkgruppen Amsteg-Ritom und Vernayaz-Barberine elektrisch zu kuppeln.

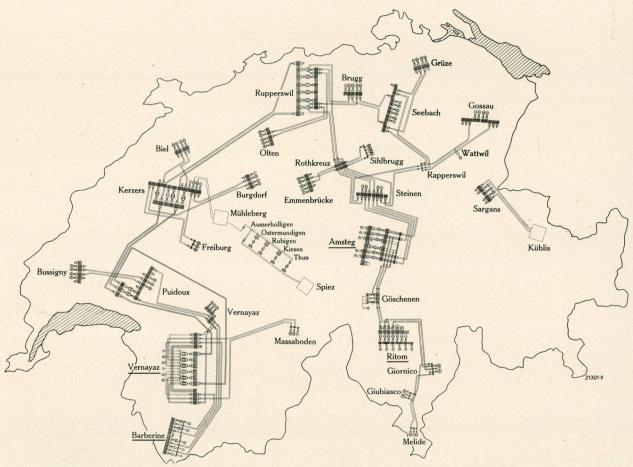
Es ist noch zu erwähnen, dass bei Rothkreuz und Rapperswil, wo 60 000 Volt-Uebertragungsleitungen aus verschiedenen Richtungen zusammenkommen, diese zwecks Verteilung in einem Freiluft-Schaltposten vereinigt sind. Um in Störungsfällen eine schadhafte Leitung rasch ausser Betrieb setzen zu können, sind Schalter eingebaut, die vom nächsten Stationsgebäude aus elektrisch fernbetätigt werden. Auf diese Weise ist es beispielsweise möglich. 4 vom Kraftwerk Amsteg über das Unterwerk Steinen im Schaltposten Rothkreuz ankommende 60 000 Volt-Leitungen, auf 6 abgehende Leitungen nach den Unterwerken Emmenbrücke, Sihlbrugg und Rupperswil zu schalten.

4. UNTERWERKE.

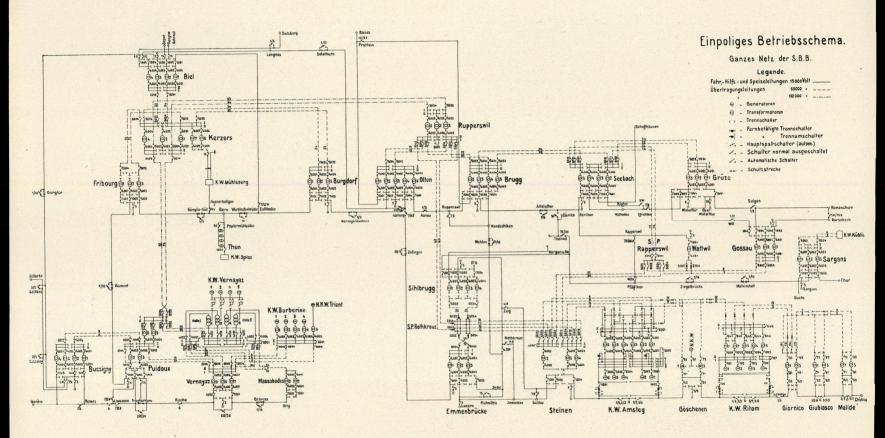
Die Speisung einer langen Bahnstrecke darf nicht nur an einer Stelle geschehen, weil die Spannung am Ende der Leitung, infolge des Spannungsverlustes zu niedrig würde. Es sind daher, über das ganze Bundesbahnnetz verteilt, Speisepunkte vorgesehen worden, wobei für die Entfernungen und Anzahl, vor allem die Dichte des Zugsverkehrs und der Stromverbrauch mitbestimmend war. (Siehe Abbildungen auf Seite 26 und 27.)

In den Unterwerken wird die in den Uebertragungsleitungen ankommende Energie durch die Transformatoren von 60 000 Volt auf die Fahrleitungsspannung 15 000 Volt herabtransformiert und wird ferner die Schaltung der Uebertragungsleitungen sowie die elektrische Kupplung mit den Kraftwerken ermöglicht.

Die Einrichtung auf der 60 000 Volt-Seite besteht, wie in den Kraftwerken, aus automatischen Schaltern, Trennmessern, Messwandlern, Blitz- und Ueberspannungsschutz, Sammelschienen usw. An die Sammelschienen sind die Transformatoren angeschlossen,

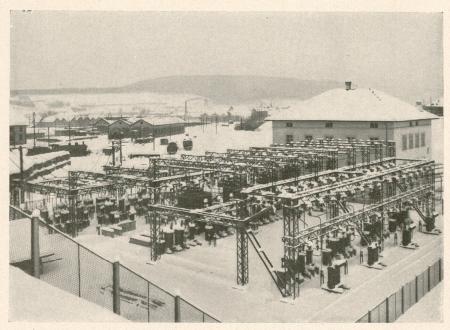


Uebersichtsschema der Erzeugungs- und Verteilungsanlagen mit Uebertragungsleitungen der Schweizerischen Bundesbahnen.

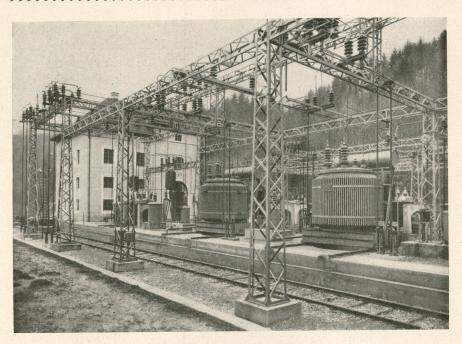




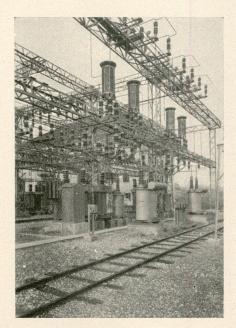
Gebäude-Unterwerk Melide.



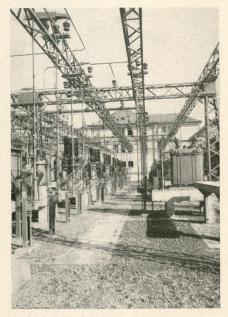
Freiluft-Unterwerk Brugg im Winter



Freiluft-Unterwerk Sihlbrugg, Teilansicht.



Freiluft-Unterwerk Emmenbrücke. Ansicht der 60 000 VoltaApparate.



Freiluft-Unterwerk Olten. Teilansicht der 15000 Volt - Schaltanlage.

welche, wie oben bemerkt, die Umwandlung der Spannung besorgen. Ein Pol ist mit der Erde und Bahngeleise verbunden, der Spannungspol ist an die Speise-Sammelschiene angeschlossen. Von hier wird die Energie über die Speisepunktschalter zu der



Teilansicht vom Freiluft-Unterwerk Puidoux. Im Vordergrund Transformator 5000 kVA mit natürlicher Kühlung.

Fahrleitungs-Sammelschiene geleitet. *Der Speisepunktschalter* bezweckt die Speisung der einzelnen Strecken. Er schaltet bei Ueberlastung oder bei einem Kurzschluss (Erdschluss) auf der Fahrleitung automatisch aus. Durch einen eingebauten, parallel zu ihm geschalteten Prüfwiderstand mit Strommessvorrichtung kann vom Bedienungspersonal festgestellt werden, ob der Kurzschluss anhält oder verschwunden ist.

Von der Fahrleitungs-Sammelschiene aus wird endlich die Energie über die Streckenschalter den Fahrleitungen der zu speisenden Linien und der in der Nähe des Unterwerks sich befindlichen Bahnhofanlage zugeführt.

Im Gegensatz zu den Unterwerken, wo die Schaltungen durch das Personal erfolgen, sind die Unterwerke Freiburg, Biel, Grüze und Sargans als automatisch wirkende Werke erstellt worden, d. h. die Abschaltung bei Störungen und Wiedereinschaltung erfolgt selbsttätig. Der Fehlerort wird durch eine selbsttätige Prüfvorrichtung eingegrenzt.

Die Transformatoren sind grösstenteils für eine Dauerleistung von 3000 kVA und teilweise für eine solche von 5000 kVA gebaut. In den Unterwerken Puidoux, Kerzers und Rupperswil, wo die Uebertragungsleitungen 132 000 Volt vom Kraftwerk Vernayaz ner einmünden, sind Transformatoren von 9000 kVA eingebaut, welche die Spannung 132 000 Volt auf 66 000 Volt umwandeln, um die mit ihnen in Verbindung stehenden Unterwerke zu speisen.

Wie in den Kraftwerken sind sämtliche Unterwerke mit einer Eigenverbrauchsanlage und kleiner Reparaturwerkstätte versehen. Für das Bedienungspersonal sind Dienstwohnungen erstellt worden.

In den Unterwerken von Melide bis Steinen und im Unterwerk Thun sind die elektrischen Ausrüstungen in Gebäuden untergebracht. Die übrigen Unterwerke sind als «Freiluftanlagen» ausgeführt, d. h. die Transformatoren und alle Hochspannungsapparate befinden sich im Freien, ohne Ueberdachung, wo sie nebeneinander auf Betonsockeln aufgestellt, gut zugänglich und leicht abtransportierbar angeordnet sind. Die Schaltungen geschehen mittels Fernsteuerung vom Schaltstand im angebauten Diensthaus aus.

Diese Art Ausführung galt lange Zeit in Europa als ein Wagnis. Die Vorteile gegenüber den Gebäude-Unterwerken liegen in den niedrigeren Erstellungskosten, wie auch in der besseren Uebersicht der Anlage, da der Grundriss das Bild des Schaltungsplanes zeigt. Die verschiedenerseits gehegten Befürchtungen, dass die Betriebssicherheit durch diese neue Anordnung leiden werde, haben sich nicht erfüllt.

5. AUSRÜSTUNG DER BAHNLINIE.

A. Fahrleitung.

Von den Speisepunkten wird die 'elektrische Energie mit einer Spannung von 15 000 Volt durch die Speiseleitung der Fahrleitung zugeführt. Letztere ist über den Geleisen in 4,8 bis 6 m Höhe aufgehängt und durch Isolatoren von den Tragwerken elektrisch getrennt. Um eine zuverlässige Stromabnahme durch die Stromabnehmer der elektrischen Lokomotive, bei Geschwindigkeiten von über 40 km zu ermöglichen, kam die Vielfachaufhängung in zwei verschiedenen Arten in Frage, von denen diejenige ohne Zwischenseil, bei welcher der Fahrdraht an einem Tragseil an vielen Punkten aufhängt und nur das Tragseil an den Tragwerken befestigt ist, am meisten zur Anwendung gelangte.

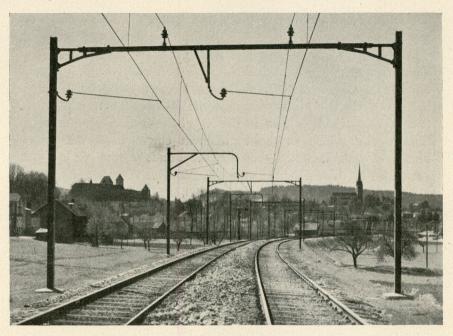
Die Vielfachaufhängung, bei welcher der Fahrdraht an einem Zwischenseil an vielen Punkten, das Zwischenseil am Tragseil an 2 oder 4 Punkten aufgehängt ist, finden wir auf der Linie Luzern-Chiasso. Nur das Tragseil ist an den Tragwerken befestigt.

Die Vielfachaufhängung gestattete Tragwerkabstände von 60 bis 100 m auf der geraden Strecke. In den Kurven sind Zwischentragwerke eingebaut. Mitbestimmend bei der Wahl der Spannweite war vor allem der Einfluss des Windes.

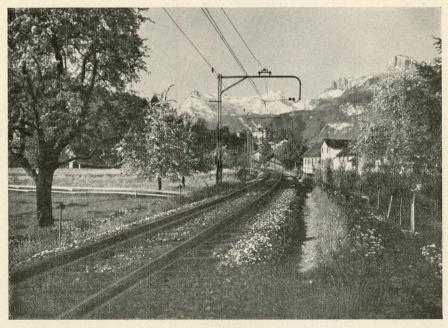
Der Fahrdraht besteht aus hartgezogenem Kupfer von 107 mm² über den Hauptgeleisen und 57 mm² Querschnitt über den Nebengeleisen. Er ist über den geraden Strecken im Zickzack geführt, um dadurch eine gleichmässige Abnützung der Stromabnehmer zu ermöglichen und Rillenbildungen zu vermeiden.

Die Tragpunkte der Fahrleitung und die seitlichen Haltepunkte des Fahrdrahtes sind mit Stehisolatoren gegen Erde isoliert. Damit der Fahrdraht stets gut gespannt ist, sind Nachspanngewichte bis zu 600 kg eingebaut. Der grösse Abstand zweier Gewichte beträgt 1500 m.

Das *Tragseil* besteht aus einem verzinkten Stahlseil von 50 mm² Querschnitt. An Stellen, wo infolge Rauch beim Dampfbetrieb rasche Verrostung zu befürchten ist, kam Kupferpanzerstahldraht zur Anwendung. Die Hängedrähte bestehen aus 4 mm Kupferpanzerstahldraht. Sie sind mindestens 80 cm lang, um dem



Fahrleitung auf freier Strecke ohne Zwischenseil.



Fahrleitung, Bauart Gotthard mit Zwischenseil und Doppelisolation. Hilfsleitung (Speiseleitung) am gleichen Gestänge.

Wandern des Fahrdrahtes möglichst geringen Widerstand entgegenzusetzen.

Als *Tragmaste* kamen, mit Ausnahme der Strecken Bern—Thun und Brig—Sitten, wo Holzmaste verwendet wurden, Breitflanschträger (I) und Gittermaste zur Verwendung; letztere deshalb, um unsere Industrie möglichst beschäftigen zu können. Alle Breitflanschträger und in der Regel die Gittermaste der freien Strecke sind direkt in das Fundament eingegossen, die Gittermaste auf den Stationen dagegen mit Fundamentbolzen auf den Fundamenten befestigt. Bei eingeleisigen Strecken sind die Maste mit Tragkonsolen (Ausleger) ausgerüstet, auf mehrgeleisigen, freien Strecken und Stationen besitzen die Fahrdrahtaufhängungen der verschiedenen Geleise gemeinsame Ständer, die durch ein alle Geleise überbrückendes Joch verbunden sind. Die Querträger über mehr als zwei Geleisen in Stationen wurden als Hängewerke ausgebildet, weil Fachwerkträger das Gesichtsfeld zu stark einschränken.

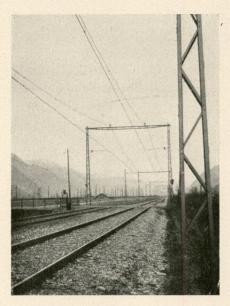
In den Tunnels ist die Fahrdrahtaufhängung an Eisenrahmen befestigt, die in der Tunnelwölbung verankert sind.

Jedes eiserne Tragwerk ist zwecks Erdung mit 6 mm Kupferdraht an den nächstgelegenen Schienenstrang angeschlossen. Besondere Sorgfalt wurde auch auf die Erdung von eisernen Brücken, Passerellen, Stellwerken, Signale, Drehscheiben usw. angewendet.

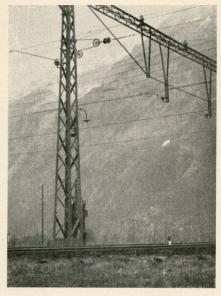
Zur Rückleitung des Stromes sind die Schienen herangezogen worden. Um eine möglichst gute Leitfähigkeit zu erhalten, wurden die Schienenstösse durch Kupferseilchen überbrückt.

B. Schalteinrichtungen der Fahrleitungsanlagen.

In den Speisepunkten (Unterwerke und Kraftwerke Ritom, Amsteg und Vernayaz) ist für jede zugeteilte Bahnlinie ein Speisepunktschalter eingebaut, der bei Störungen auf der Linie automatisch ausschaltet. Ein Fahrleitungsabschnitt, der zwischen zwei Speisepunkten liegt, wird somit von beiden Punkten aus gemeinsam gespeist. In der Mitte befindet sich ein *Hauptspaltschalter*, der bei dauernden Störungen den Abschnitt in zwei Teile spaltet, so dass jeder für sich allein von einem Speisepunkt aus mit Energie versorgt wird.



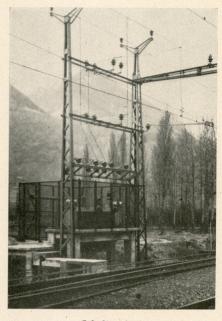
Fahrleitung Sitten-Lausanne auf freier Strecke.



Nachspannung des Fahrdrahtes durch Gewichte.



Fahrleitung auf freier Strecke. 100 m Spannweite mit Zwischenmast für Seitenzug.



Schaltposten einer Nebenstation mit 2 Oelschaltern und 2 Spannungswandlern.

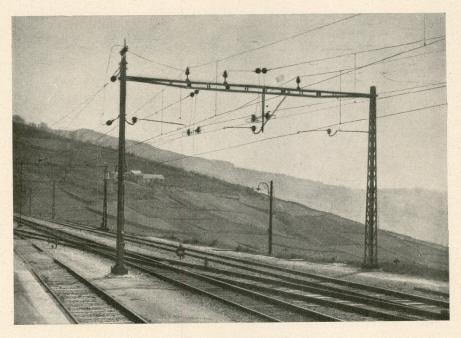
Bei zweigeleisigen Strecken sind die Fahrleitungen der beiden Geleise elektrisch voneinander getrennt. Eingeleisige Strecken sind mit einer Fahrleitung und mit einer von ihr elektrisch getrennten *Hilfsleitung* ausgerüstet. Diese ersetzt in Bezug auf die Uebertragung der elektrischen Energie die nicht vorhandene Fahrleitung.

Bei den Einfahrsignalen der grösseren Stationen sind die Fahrleitungen elektrisch unterbrochen und durch Umgehungsleitungen dem *Schaltposten* zugeführt. (Siehe Abbildungen auf Seiten 38 und 39). Hier vereinigen sich ferner, durch eine gemeinsame Sammelschiene, die Speise- und Hilfsleitungen der freien Strecke und sind die Fahrleitungen der Stationshauptgeleise angeschlossen. Gewöhnlich befindet sich der Schaltposten in der Nähe des Aufnahmegebäudes. Er besteht aus Streckenschaltern für die Einund Ausschaltung der im Sinne der Kilometrierung ankommenden und abgehenden Fahrleitung des rechten und linken Geleises und der Stationshauptgeleise. Es sind in der Regel *Oelschalter* und werden vom *Kommandoapparat* beim Aufnahmegebäude durch den diensttuenden Stationsbeamten oder vom Personal des Leitungsunterhaltes, aber nur mit Einverständnis des diensttuenden Stationsbeamten, elektrisch fernbetätigt.

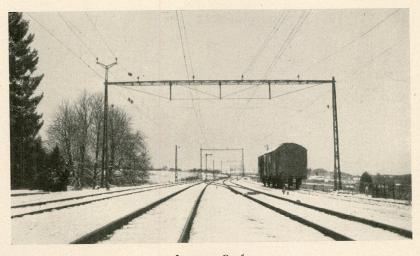
Auf kleinen Stationen und hauptsächlich bei Nebenlinien sind es Hörnerschalter, die von Hand betätigt werden.

Zwecks Auswechslung der Schalter und für Revisionen sind *Trennmesser* mit Schaltstangenbetätigung eingebaut, die nur vom Personal des Leitungsunterhaltes bedient werden dürfen. Ferner enthält der Schaltposten *Spannungswandler*, welche die Fahrleitungsspannung auf Niederspannung für die Voltmeter, Spannungsanzeigelampen und Signalbeleuchtung umwandeln. Das Betreten des Schaltpostens ist nur dem Personal des Leitungsunterhaltes gestattet. Einzig in dringenden Fällen darf das Stationspersonal, beim Versagen der elektrischen Fernbetätigung der Schalter, den Schaltposten betreten, um die Handschaltung mittels Steckschlüssels oder einer Kurbel vorzunehmen.

Durch die vorstehend beschriebenen Anordnungen wird erreicht, dass bei Störungen, Reparaturen oder bei Revisionen die Fahr-, Hilfs- und Speiseleitungen zwischen zwei Stationen und die Stationsfahrleitungen für sich abgeschaltet werden können, ohne dass dadurch der elektrische Betrieb auf der übrigen Strecke gestört wird.



Stationsfahrleitung mit Hörnerschalter für Nebengeleise.



Lausanne-Genf.
Fahrleitungen in Stationen. Links: Umgehungsleitung auf Mastaufsatz.

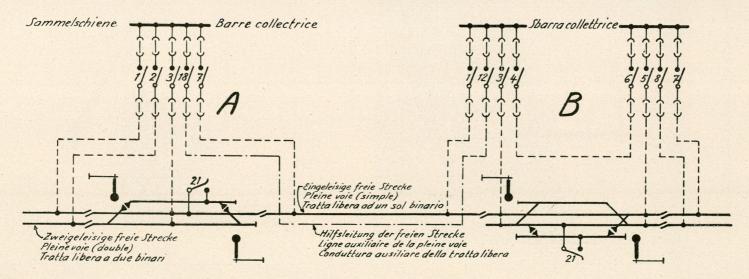
Normalschema der Schéma normal des lignes Schema normale delle condutture Leitungen u. Schaltposten et des postes de distribution e dei posti d'interruzione

Richtung der Kilometrierung Sens du kilométrage Senso del chilometraggio -

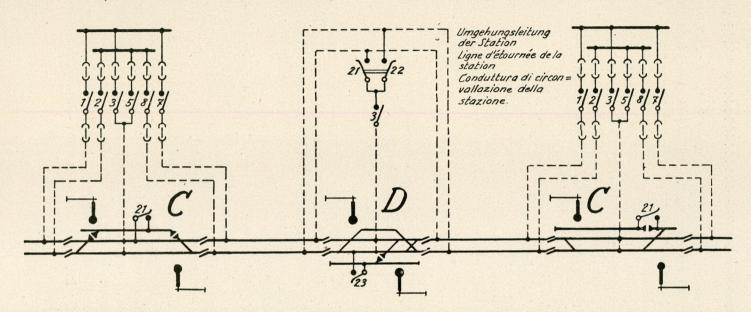
A

Station mit einem Schaltposten und einer Sammelschiene Station avec un poste de distribution et une barre collectrice Stazione con un posto d'interruzione e una sbarra collettrice B

Station mit zwei Schaltposten und einer Sammelschiene Station avec deux postes de distribution et une barre collectrice Stazione condue posti d'interruzione e una sbarra collettrice



Nebenstation mit nur einem Streckenschalter Station intermédiaire avec un seul interrupteur de section Stazione intermedia con un interruttore solo di sezionamento



Legende Légende Leggenda

Trennmesser Séparateur Coltello separatore

Streckenschalter Interrupteur de section Interrupteur à cornes

Hörnerschalter Interruttore di sezionamento Interruttore a corna Streckentrennung Sectionnement Sezionamento

Streckentrenner Sectionneur Sezionatore

Einfahrsignal Sémaphore de protection Segnale d'entrata

Eine weitere wichtige Einrichtung in der Fahrleitungsanlage sind die Streckentrennungen. Als solche bezeichnet man das stationsseitige Fahrleitungsgebiet beim Einfahrsignal, in welchem die Fahrleitungen der Station und der freien Strecke so nebeneinander geführt sind, dass sie sich nicht berühren können, dass aber der Stromabnehmer eines elektrischen Fahrzeuges, beide auf eine Länge von einigen Metern gleichzeitig beschleifen kann. Die von der Station herkommende Fahrleitung endigt beim Einfahrsignal, die von der freien Strecke herkommende am zweiten, dritten oder vierten Tragwerk nach dem Einfahrsignal gegen die Station. Wenn die eine der beiden, die Streckentrennung bildende Fahrleitung geerdet ist und von einem elektrischen Fahrzeug befahren würde, entstände durch die gleichzeitige Berührung der geerdeten und der unter Spannung befindlichen Fahrleitung ein Kurzschluss und somit eine Störung. Aus diesem Grunde sind die Streckentrennungen hinter den Signalen angeordnet, um die ausgeschaltete und geerdete Stationsfahrleitung durch die geschlossenen Einfahrsignale zu schützen. Durch diese Streckentrennungen ist es möglich, die Fahrleitungen der Station von denen der freien Strecke mittels der Streckenschalter im Schaltposten abzutrennen.

Damit die Verladegeleise bei Rampen und Freiverladeplätzen von den übrigen Stations-Fahrleitungen und die auf Bahnhöfen sowie grösseren Stationen in Gruppen zusammengefassten Fahrleitungen von den Hauptgeleisen getrennt werden können, sind *Streckentrenner* (Isolationen) eingebaut.

Die Verbindung der einzelnen Geleise und der Fahrleitungsgruppen mit den übrigen Stations-Fahrleitungen geschieht durch Hörnerschalter. Sie sind an den Tragwerken der Fahrleitung montiert und werden von Hand betätigt.

Wo die Speisebezirke verschiedener Kraftwerke zusammentreffen, sind *Schutzstrecken* angeordnet. Sie bestehen aus einem kurzen Fahrleitungsstück, das spannungslos ist. Durch diese Einrichtung wird verhindert, dass beim Ueberfahren der Fahrleitungsgrenze, bezw. des Endes des Speisebezirkes durch elektrische Fahrzeuge, die Spannung des einen Bezirkes auf den andern übertragen wird, da in gewissen Fällen eine solche Uebertragung Kurzschlüsse zur Folge haben könnte.

Die Schutzstrecken sind durch besondere Signale gekennzeichnet und müssen von den elektrischen Fahrzeugen mit ausgeschaltetem Hauptschalter im Schwung durchfahren werden. Um einem elektrischen Fahrzeug, das aus irgend einem Grunde unter der spannungslosen Schutzstrecke stehen bleiben würde, zu ermöglichen weiterzufahren, sind Hörnerschalter vorhanden, mit denen die Schutzstrecke unter Spannung gesetzt werden kann.

Die Vorbereitung für den neuen Betrieb erforderte das Legen von Schwachstromkabeln im Bahntrace, an Stelle der ursprünglich als Freileitungen längs der Bahn geführten Telephon-, Telegraphenund Signalleitungen, um die schädliche Beeinflussung durch das « elektrische Feld » zu unterdrücken. Ebenso wurden die vorhandenen Beleuchtungsmaste auf den Stationen entfernt und die Lampen auf die Tragwerke der Fahrleitung angebracht. Ferner bedingten die schweren elektrischen Lokomotiven die Verstärkung und den Umbau etlicher Brücken.

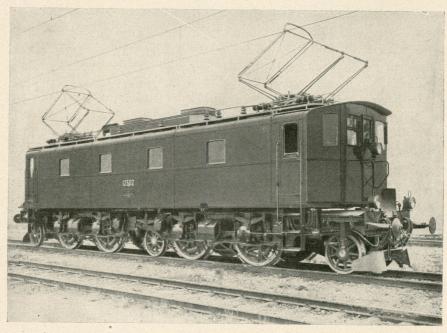
6. TRIEBFAHRZEUGE.

Von der Fahrleitung wird die elektrische Energie endlich den Triebfahrzeugen zugeführt. Dies geschieht durch die Stromabnehmer (Schleifbügel), die mittels Druckluft von den Führerständen aus betätigt werden. Von den Stromabnehmern fliesst der elektrische Strom (Hauptstrom) durch Trennmesser, Hauptschalter, Oberspannungswicklungen des Stufentransformators, wandler (für Mess- und Auslösestrom), Erdungsschiene, Lokomotivrahmen und Räder zu den Fahrschienen und nach dem Kraftwerk zurück, wodurch der Stromkreis geschlossen ist.

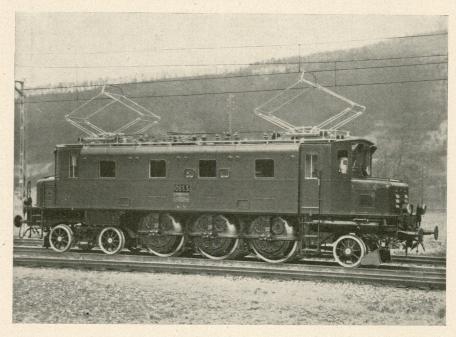
Der Hauptschalter dient zum Ein- und Ausschalten. Dies geschieht normalerweise durch Fernsteuerung vom Führerstand aus. Die Auslösung erfolgt automatisch durch Ansprechen von Relais bei Ueberlastung oder Kurzschluss, sowie beim Ausbleiben

der Spannung.

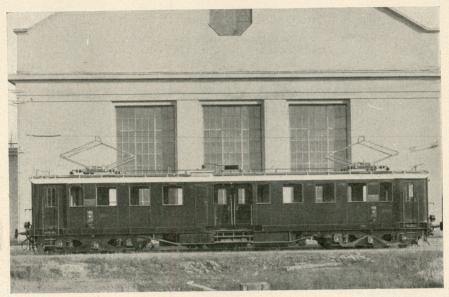
Der Stufentransformator bezweckt die Heruntertransformierung der Fahrdrahtspannung 15000 Volt auf die nötigen Spannungen für die Triebmotoren und Hilfsbetriebe. Die Unterspannungswicklung des Transformators ist mit einer Anzahl Anzapfungen zwecks Entnahme von verschiedenen Spannungen versehen. Durch Zuführung dieser verschiedenen Spannungen (zirka 90 bis 610 Volt)



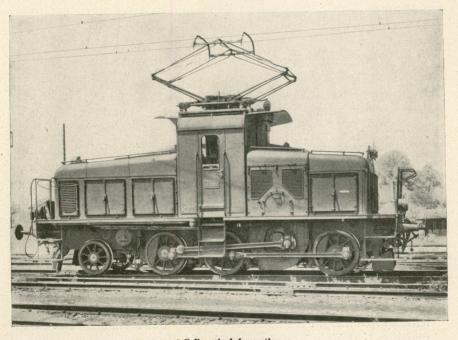
Einphasen-Wechselstrom-Lokomotive mit Einzelachsantrieb, Type 1 B 1—B 1. 2400 PS Stundenleistung bei 54 km/h Fahrgeschwindigkeit.



Einphasen-Wechselstrom-Lokomotive mit Einzelachsantrieb. 1900 PS Stundenleistung bei 60 km/h Fahrgeschwindigkeit.



Einphasen-Motorwagen Type Ce 4/6. 800 PS Stundenleistung bei 50 km/h Fahrgeschwindigkeit.



1 C Rangierlokomotive. Stundenleistung 700 PS, maximale Fahrgeschwindigkeit 40 km/h.

zu den Triebmotoren, mittels der Stufenschalter, werden ebensoviele verschiedene Leistungen und Fahrgeschwindigkeiten erzielt. Zwischen den Stufenschaltern und den Motoren sind ferner die Fahrwender eingeschaltet, die durch Umschaltung einzelner Wicklungsteile der Motoren eine Umkehr der Drehrichtung der letzteren bewirken.

Der zugeführte Strom versetzt die *Triebmotoren* in Umdrehung und diese drehende Bewegung wird entweder durch Zahnräder auf eine Vorgelegewelle und von hier mittels Trieb- und Kuppelstangen auf die Triebachsen oder beim Einzelachsantrieb durch eine einfache Zahnradübersetzung auf die Triebräder übertragen.

Die elektrische Lokomotive enthält noch weitere Apparate, z.B. *Luftkompressoren*, die von Elektromotoren angetrieben werden. Sie dienen zur Erzeugung von Druckluft für die Betätigung der Stromabnehmer, automatische Zugsbremse, Pfeife, Sandstreuer usw.

Jede Lokomotive ist mit Handbremse, Westinghousebremse und mit elektrischer Nutz- oder Widerstandsbremsung ausgerüstet. Die Nutzbremsung dient dazu, in Gefällen das Lokomotivgewicht und einen Teil des Zuges zu bremsen, wobei die Triebmotoren als Stromerzeuger (Generatoren) arbeiten, indem sie das Zugsgewicht des talabwärts fahrenden Zuges ausnützen. Die erzeugte elektrische Energie wird teilweise auf der Lokomotive verbraucht und zum Teil an die Fahrleitung abgegeben. Der Vorteil dieser Bremsung liegt weniger in der Stromrückgewinnung als in der Verminderung des Verschleisses der Bremsklötze und der Schienenabnützung.

Die Erzeugung des elektrischen Stromes für die Beleuchtung und Steuerstromkreise geschieht durch eine *Umformergruppe*, wobei ein Wechselstrommotor einen mit ihm direkt gekuppelten Generator antreibt, der maximal 45 Volt Gleichstrom erzeugt. Parallel dazu ist eine Akkumulatorenbatterie geschaltet, die in Tätigkeit tritt, sobald die Zufuhr des Hauptstromes von der Fahrleitung her unterbrochen ist.

Alle *Hilfsbetriebe*, wie Ventilatormotoren für die Kühlung des Transformators und der Triebmotoren, Kompressormotoren, Motor der Umformergruppe, Voltmeter für die Messung der Fahrleitungsspannung, Führerstandsheizkörper usw. erhalten den Strom von den 220 Volt-Anzapfungen des Stufentransformators.

Ein weiterer Bestandteil der elektrischen Lokomotive, wie auch der Personenwagen, bildet die Heizung. Während beim Dampfbetrieb ein Teil der im Lokomotivkessel erzeugten Dampfes hierfür verwendet wird, bestehen beim elektrischen Betrieb verschiedene Möglichkeiten. In der Uebergangszeit zwischen Dampfund elektrischem Betrieb wurde gewöhnlich ein Heizwagen mitgeführt, in dem Dampf zur Heizung erzeugt wurde. Gleichzeitig wurde die direkte elektrische Heizung der Wagenabteile von der Lokomotive aus ins Auge gefasst, was längere Studien und Versuche bedingte. Die Untersuchungen führten schliesslich dazu, sowohl für den Inland- als auch für den Auslandverkehr die elektrische Wagenheizung mit Regulierstufen 1, 1/2 und 0 einzurichten. Die Speisung erfolgt vom Stufentransformator aus mit einer Spannung von zirka 1000 Volt. Besondere Schwierigkeiten bereitete die elektrische Heizeinrichtung für den internationalen Verkehr, von denen die Konstruktion einer zuverlässigen Kupplung zwischen den Fahrzeugen die wichtigste, aber auch schwierigste war. Das Ergebnis der langen internationalen Verhandlungen war das, dass die S.B.B.-Kupplung, die sich bestens bewährt hat, bezüglich Abmessungen als normal erklärt wurde.

Die Art des Verkehrs auf dem Netze der S.B.B. forderte vor allem 3 Lokomotivtypen, nämlich eine Type für den Schnellund Personenzugsdienst im Flachland mit 3-4 Triebachsen, ferner eine speziell für den Personen- und Schnellzugsverkehr am Gotthard geeignete Lokomotive mit 4-6 Triebachsen, die unter Umständen auch den Dienst einer Flachland-Güterzugslokomotive übernehmen konnte, und eine Type für den Güterverkehr auf der Gotthardstrecke und für den schweren Güterzugsdienst im Flachland mit 6 Triebachsen. Es sind in der Hauptsache folgende Typen: Ae 3/5 und Ae 3/6 für Schnellzüge mit einer Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h, Be 4/6 und Be 4/7 für Personen- und Güterzüge mit einer Höchstgeschwindigkeit von 75 km/h und Ce 6/8 für Güterzüge mit einer solchen von 65 km/h, wobei A eine Lokomotive mit einer Höchstgeschwindigkeit von über 75 km/h, B von 70 und 75 km/h und C von 60 und 65 km/h bedeutet. Bei der Bezeichnung Ae 3/5 z. B. bedeutet e eine elektrische Lokomotive; die Zahl 3 gibt die Anzahl Triebachsen und die Zahl 5 die Achsenzahl der Maschine an.

Die stärksten aller bis anhin für die S.B.B. erstellten Lokomotiven sind die Schnellzugslokomotiven der Serie Ae $^4/_7$. Sie wurden hauptsächlich aus dem Grunde geschaffen, um bei besonders schweren internationalen Zügen in Steigungen bis $12\,^0/_{00}$ und Schnellzügen auf Strecken bis $20\,^0/_{00}$ die Doppeltraktion auszuschalten und unerwünschte Zugstrennungen zu vermeiden. Die Stundenleistung ist 2800-3000 PS (4 Motoren), die Dauerleistung rund 2600 PS am Radumfang bei zirka 65 km/h, die Höchstgeschwindigkeit 100 km/h, die Länge über Puffer 16,7 m und das Dienstgewicht rund 117 t.

Zwecks Verbesserung des Nah- und Vorortsverkehrs ist ferner an verschiedenen Orten der Motorwagenbetrieb eingeführt. Der Wagenkasten enthält zwei grosse Abteilungen 3. Klasse, eine Hochspannungskabine, zwei geschlossene Führerstände usw. Letztere sind mit besonderen Zugängen versehen. Bei Verwendung als Motorwagen beträgt die Höchstgeschwindigkeit 85 km/h und als Anhängewagen 90 km/h; die maximale Stundenleistung ist 800 PS.

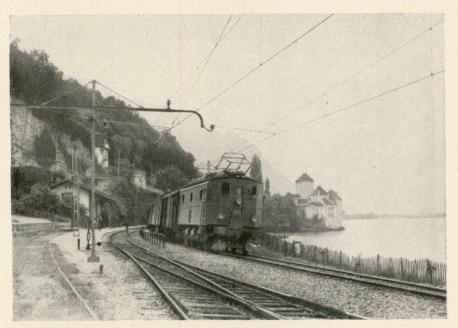
Für den schweren Rangierdienst in grossen Bahnhöfen sind Rangierlokomotiven vorhanden, die entsprechend der Arbeitsweise für unbehinderte Aussicht auf die Strecke in beiden Fahrrichtungen und für bequeme, leichte Bedienung der Apparate im Führerstand gebaut sind.

Seit dem Fahrplanwechsel im Mai 1927 haben die S.B.B. 30 Ae ³/₆-Lokomotiven mit Sicherheitssteuerung (Totmann-Einrichtung) im Betrieb, die nur einmännig bedient sind. Mit diesen Lokomotiven werden Personenzüge, ohne Rücksicht auf Belastung, Höchstgeschwindigkeit und Gefälle der Strecke und in Ausnahmefällen auch Schnellzüge, ebenso Güterzüge, geführt. Letztere jedoch nur auf Gefällen bis und mit 16 ⁹/₀₀. Die Sicherheitssteuerung hat den Zweck, im Falle von Dienstunfähigkeit des Lokomotivführers den Hauptschalter des Triebfahrzeuges auszuschalten, die automatische Bremse der an diese angeschlossenen Fahrzeuge zu betätigen und durch ein andauerndes Pfeifensignal das Zugspersonal zum Stellen des Zuges zu veranlassen, sofern Handbremsen zu bedienen sind.

Im Jahre 1928 werden etwas über 400 elektrische Lokomotiven einen Dienst besorgen, für den 490 Dampflokomotiven erforderlich sein würden.

7. BETRIEB.

Der Kraftwerkbetrieb und die Energieversorgung überhaupt wird von der Abteilung für Elektrifizierung bei der Generaldirektion geleitet. Den Unterwerksbetrieb und die Unterhaltung der Uebertragungs- und Fahrleitungen besorgen die Bureaux für elektrische Anlagen bei den Kreisdirektionen, denen bereits der Telegraph,



Elektrischer Zug bei Schloss Chillon, am Genfersee mit Schnellzugslokomotive Type 1 C 1 mit Einzelachsantrieb.

das Telephon, die Beleuchtung und verschiedene andere elektrische Einrichtungen unterstellt waren.

Alle 8 Tage rapportieren die Kraftwerkgruppen über die Energieerzeugung und Energieverbrauch an die Abteilung für Elektrifizierung. Ebenso werden die Störungsrapporte der Kraftwerke und Unterwerke in den Kraftwerkgruppen Amsteg-Ritom und Vernayaz-Barberine, die der Uebertragungs- und Fahrleitungsanlagen in den Bureaux für elektrische Anlagen bei den Kreisdirektionen alle 14 Tage zusammengestellt und der Abteilung für Elektrifizierung in Bern übermittelt, um daselbst untersucht

und statistisch verarbeitet zu werden. Je gewissenhafter dieses Material zusammengetragen ist, desto besser kann man den Störungen auf den Grund gehen und können dadurch künftig manche vermieden werden. Als *Störungen* werden in die Statistik aufgenommen:

- 1. Alle Unregelmässigkeiten im Betrieb, die ein selbsttätiges Abschalten von Oelschaltern wegen Kurzschluss, Erdschluss, Ueberlastung oder Relaisfehler zur Folge haben.
- Abschaltungen von Hand, wenn diese als Folge einer Unregelmässigkeit im Betrieb vorgenommen werden müssen, sei es, dass ein automatischer Schalter versagt oder dass eine plötzlich aufgetretene Unregelmässigkeit für den Betrieb unschädlich gemacht werden muss.
- 3. Zerstörungen von Anlageteilen, die als Folge einer Störung auftreten.
- 4. Unrichtiges Arbeiten eines Anlageteiles im Verlauf einer Störung, z. B. falsche Relais-Auslösungen usw.

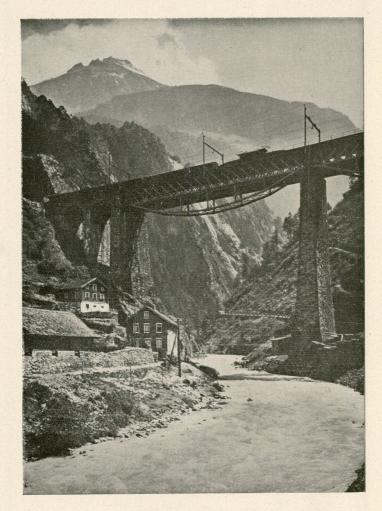
Die Statistik unterteilt ferner in Ursachen (Personalfehler und übrige Ursachen) vorübergehende und dauernde Störungen, Art der Störungen (Kurzschlüsse, Erdschlüsse), Unterbrechung der Fahrleitungsspeisung von 5 und mehr Minuten und Unfälle.

Aus den Störungsberichten ist ersichtlich, dass die Häufigkeit der Störungen in den meisten Anlageteilen prozentual zurückgeht. Diejenigen in den Kraftwerken und Unterwerken sind nicht zahlreich und selten von folgenschwerer Natur. Die Störungen treten gewöhnlich auf durch Kurzschlüsse in den Uebertragungsleitungen und vor allem in den Fahrleitungen. Sie entstehen bei Verbindung von isolierten, unter Spannung stehenden Leitungsteilen mit der Erde, d. h. mit Teilen der Anlage, die mit den Schienen oder mit dem Erdboden leitend verbunden sind. In der Regel bewirken sie die Ausschaltung der Speisepunktschalter, über welche der Fahrleitungsabschnitt, auf dem der Kurzschluss vorhanden ist. gespeist wird. Nach Abschaltung des Kurzschluss-Stromes ist die Leitungsanlage gewöhnlich wieder in Ordnung. Von den Störungen, die Beschädigungen von Anlageteilen zur Folge haben, können fast alle mittels der Strecken- und Hörnerschalter sofort eingegrenzt werden, so dass der Betrieb auf der gesunden Strecke nicht gestört wird. Im Prinzip sind zwei Streckenschaltsysteme in Anwendung. (Siehe Schaltanordnungen in den Fahrleitungs-



Bahnhof Zürich.

anlagen der S.B.B. von H.W. Schuler, Elektroingenieur; Sonderabdruck aus der «Schweizer. Bauzeitung» vom 14. Oktober 1922.)



Kerstelenbachviadukt bei Amsteg.

Kurzschlüsse in den Uebertragungs- und Fahrleitungen treten auf durch Bruch von Isolatoren oder von Drähten, durch Lichtbogenbildung um den Isolator (Ueberschlag), verursacht durch atmosphärische Entladungen oder durch Verrussung von Isolatoren infolge der auf den betreffenden Geleisen verkehrenden Dampflokomotiven, durch herabfallende Aeste, durch Eisbildungen und vor allem durch grosse Vögel, besonders Krähen.

Ferner treten Kurzschlüsse auf durch Fehler des Personals und solche, die den Fahrzeugen zur Last gelegt werden können. Es ist von grosser Wichtigkeit, dass sich das Personal bewusst ist, was für nachteilige Folgen jeder Kurzschluss nach sich ziehen kann. In dieser Sache sei der Aufsatz in den S. B. B.-Nachrichten Nr. 5 vom Mai 1926: «Wie kann das Personal beim elektrischen Betrieb Störungen vermeiden?» zum Studium und zur Nachachtung empfohlen.

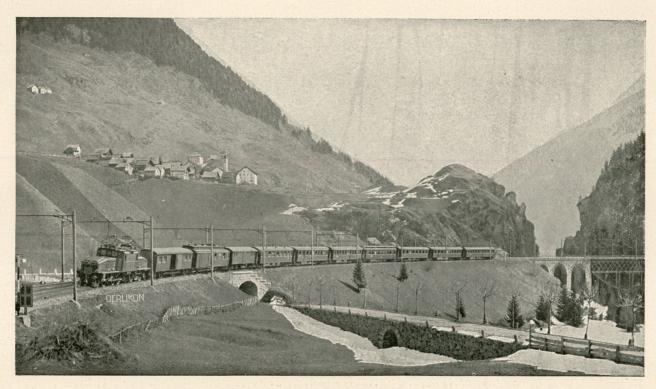
Laut Statistik sind im Jahre 1924 vierzehn, im Jahre 1925 neun und im Jahre 1926 sieben Unfälle mit tötlichem Ausgang vorgekommen. Sie entstanden teilweise durch Unverschulden, Fahrlässigkeit, Nichtbeobachtung schriftlicher Instruktionen durch das Personal, Selbstmord von fremden Personen usw. Sämtliche Unfälle erfolgten durch Berührung von unter Spannung stehenden Anlageteilen.

Für den Unterhalt der Leitungsanlagen und Behebung von Störungen ist ein Dienst wie folgt organisiert, der den Bureaux für elektrische Anlagen bei den Kreisdirektionen unterstellt ist. In den Hauptknotenpunkten des Netzes sind Leitungstechniker stationiert, denen Leitungsaufseher zugeteilt und diesen wiederum eine Anzahl Leitungsmonteure unterstellt sind. In etlichen Unterwerken ist der Unterwerksdienst mit dem Leitungsunterhalt vereinigt.

Der elektrische Betrieb stellt vermehrte Ansprüche an das Bahnpersonal, und es liegt nahe, dass vor allem die Wachsamkeit in Bezug auf die Gefahr der Berührung von unter Spannung stehenden Leitungen in stärkstem Masse vorhanden sein muss. Die Generaldirektion hat nicht versäumt, durch allgemeine Dienstvorschriften auf die mitsichbringenden Gefahren des elektrischen Betriebes hinzuweisen, um das Personal und die Anlagen vor Schaden zu schützen. So behandelt z. B. die allgemeine Dienstvorschrift Nr. 242 die Ausführung von Arbeiten an und in der Nähe von elektrischen Leitungen und Apparaten in den Kraftwerken, Unterwerken und in den 60 000 Volt-Schaltposten, die allgemeine Dienstvorschrift Nr. 251 die Fahrleitungsanlagen und die Massnahmen zur Vermeidung und Behebung von Störungen, mit einem Anhang zur Hilfeleistung bei durch elektrischen Strom ver-

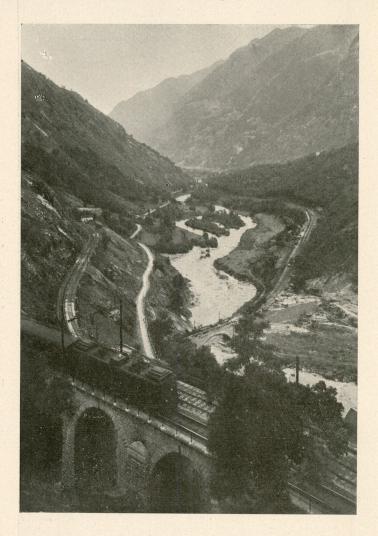


Zug unterhalb Wassen.



Personenzug bei Stalvedro, Tessin.

ursachten Unfällen, die allgemeine Dienstvorschrift Nr. 253 das Verhalten bei Brandausbrüchen auf Bahngebiet im Bereiche von elek-



Linienentwicklung bei Giornico.

trischen Starkstromanlagen, insbesondere von Fahrleitungen, die allgemeine Dienstvorschrift Nr. 182 die Signale für die Fahrleitung. Ferner sind über die einzelnen Serien der Triebfahrzeuge allgemeine Dienstanweisungen und Reglemente für die Führer herausgegeben

worden, die Beschreibung und nötige Instruktionen enthalten. Ausserdem erhält das Personal des Stations- und Zugsdienstes, der Depot- und Bahningenieurbezirke Dienstanweisungen, die über die Schaltungen der betreffenden Strecke orientieren und eine Wegleitung zum Verhalten bei Störungsfällen enthalten. Zwecks gründlicher Einführung des Personals in den neuen Betrieb werden ferner von Zeit zu Zeit Instruktionskurse abgehalten.

8. WIRTSCHAFTLICHKEIT.

Die Kosten des im Jahre 1928 elektrifizierten Netzes von 1611 km werden die Summe von 620 Millionen Franken, wobei der Bundesbeitrag von 60 Millionen bereits in Abzug gebracht ist, nicht überschreiten.

Was die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Betriebes im Vergleich zum Dampfbetrieb anbelangt, so haben die bisher gemachten Erfahrungen bewiesen, dass die früher gemachten Annahmen betreffend die beim Unterhalt der Triebfahrzeuge und betreffend der Leistungssteigerung des Zugs-, Depot- und Fahrpersonals zu erzielenden Ersparnisse allzu vorsichtig waren. Schon für das Jahr 1927 rechnen die Bundesbahnen damit, dass unter Zugrundelegung einer mittleren Verzinsung von 51/2 0/0 des gesamten in der Elektrifikation, einschliesslich Rollmaterial, angelegten Kapitals und bei Rücklagen für Amortisation und Erneuerung im Betrage von über 6,8 Millionen Franken, der elektrische Betrieb mindestens um 1,7 Millionen Franken billiger zu stehen kommen wird als der Dampfbetrieb; dies bei einer Kohlenersparnis von 450 000 Tonnen à Fr. 38 per Tonne, franko Schweizergrenze. Das beweist, dass der Kohlenpreis auf Fr. 34 per Tonne franko Grenze fallen sollte, damit der Dampfbetrieb gleich teuer wird, wie der elektrische Betrieb. In den Jahren nach 1927 wird der Vergleich naturgemäss noch zugunsten des elektrischen Betriebes ausfallen, da die vielen Anlagen noch besser ausgenützt werden.

Ferner ist zu bemerken, dass bei den an Hand der Betriebserfahrungen aufgestellten Berechnungen nicht alle Vorteile des elektrischen Betriebes erfasst wurden, weil manche, z. B. Wegfall des Rauches, die grössere Reinlichkeit und die Zeitersparnis für das fahrende Publikum, sich nicht in Zahlen ausdrücken lassen. Der elektrische Betrieb hat sich gut eingeführt und wickelt sich glatt und sozusagen ohne Störungen von Belang ab. Die neue Betriebsart gestattete eine bedeutende Erhöhung der Zugsgeschwindigkeiten bei schweren Zügen, besonders auf den Bergstrecken, wodurch die Leistungsfähigkeit der vorhandenen Bahnanlagen wesentlich gesteigert wird. Zudem wird die neue Betriebskraft durch die einheimischen Wasserkräfte erzeugt, was zur Folge hat, dass im Jahre 1929, infolge des elektrifizierten Netzes von 1611 km, jährlich 550 000 Tonnen Kohle weniger vom Auslande bezogen werden müssen.

Abgesehen von den in die Augen springenden Vorteilen des elektrischen Betriebes, wie Rauchlosigkeit und dadurch grössere Reinlichkeit, ist noch festzuhalten, dass in der Zeit der grossen Arbeitslosigkeit zeitweise 70—80 000 Arbeiter verschiedener Industrien und zahlreicher Gewerbe durch die Elektrifikationsarbeiten Beschäftigung fanden und zum Teil ihren Verdienst hatten.

Die ganze Ausrüstung der Kraft- und Unterwerke, der Uebertragungs- und Fahrleitungsanlagen, der Triebfahrzeuge, sowie die Hoch- und Tiefbauarbeiten usw., wurden nach den Projekten der Elektrifikationsabteilung von der bewährten Schweizerindustrie und vom schweizerischen Gewerbe ausgeführt, und ist durch die vereinigte Kraft aller daran Beteiligten ein nationales Werk geschaffen worden, das sich sehen lassen darf.

