Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 36 (1945)

Heft: 24

Artikel: Die Elektrifizierung des Verkehrs

Autor: Eggenberger, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060279

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bern, bekannt, wenn er zum Schlusse gelangt, dass die Hinterrheinkonzession erteilt werden müsse, wenn das Landesinteresse die Ausführung eines Werkes gebieterisch verlangt. Offenbar hat sich auch der Bundesrat dieser Auffassung angeschlossen, denn sonst hätte er im anhängigen Rekursverfahren nicht Erhebungen darüber angeordnet, ob dem bestehenden Energiemangel durch Erstellung anderer Werke abgeholfen werden könne. Das kann doch nur so ausgelegt werden, dass, falls diese Möglichkeit nicht bestehen sollte, die Verleihungsgemeinden des Hinterrheinwerkes ihre Interessen gegenüber denjenigen der Allgemeinheit zurückzustellen haben.

Auch von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, erweist sich also die heutige Gesetzgebung als ausreichend, um die Konzessionierung des Hinterrheinwerkes durch den Bundesrat zu ermöglichen.

Adresse des Autors:
Dr. iur. *B. Wettstein*, Talstrasse 11, Zürich.

Die Elektrifizierung des Verkehrs

Vortrag, gehalten an der Volkshochschule des Kantons Zürich [1]), am 11. Dezember 1944,

von *H. Eggenberger*, Bern

621.331 : 625(494)

Die Entwicklung des elektrischen Bahnbetriebes von seinen Anfängen bis zum heutigen Stand wird dargestellt und begründet. Ende 1944 waren 85% der SBB-Strecken elektrifiziert und 97 % des bruttotonnenkilometrischen Verkehrs wurden elektrisch bewältigt. Die charakteristischen Eigenschaften des elektrischen Bahnbetriebes, die Energieversorgung, der Energiebedarf und dessen Deckung, die Uebertragungsanlagen, die Unterwerke, die Fahrleitungen und das Rollmaterial werden kurz beschrieben. Ein Abschnitt ist der Wirtschaftlichkeit des elektrischen Bahnbetriebes gewidmet, aus dem hervorgeht, dass heute der elektrische Betrieb gegenüber einem aequivalenten Dampfbetrieb jährliche Einsparungen von über 100 Millionen Franken bringt. Am Schluss folgen einige Bemerkungen über Schmalspurbahnen, Tram und Trolleybus.

L'auteur fait l'historique de la traction électrique et indique les motifs qui ont contribué au remarquable développement de celle-ci. A la fin de 1944, le 85 % du réseau des CFF était électrifié et assurait le 97 % du trafic total en tonnes-kilomètres brutes. L'auteur décrit ensuite succinctement les caractéristiques essentielles de l'exploitation électrique, la fourniture de l'énergie destinée aux besoins des chemins de fer, les installations de transport de cette énergie, les sous-stations, les lignes de contact et le matériel roulant. Un chapitre est consacré au rendement économique de l'exploitation électrique; celle-ci permet d'économiser plus de 100 millions de francs par an, par rapport à une exploitation à la vapeur équivalente. M. Eggenberger termine son exposé en parlant des chemins de fer à voie étroite, des tramways et des trolleybus.

Der elektrische Betrieb der Burgdorf—Thun-Bahn eröffnete bereits zu Beginn unseres Jahrhunderts die Aussicht darauf, dass es in absehbarer Zeit technisch und wirtschaftlich möglich sein werde, in der Schweiz vom Dampf zur Elektrizität, von der schwarzen Kohle zur «weissen Kohle» beim Betrieb der Eisenbahnen überzugehen. Schon im Jahre 1909 waren die schweizerischen Schmalspurbahnen zu 50 %, die Zahnradbahnen zu 49 % ihrer Linienlänge elektrisch betrieben. Die Hauptaufgabe der Technik lag nun darin, die verkehrsreichen Normalspurbahnen, vor allem die SBB, zu einem grossen Verbraucher elektrischer Energie zu machen, um die Einfuhr ausländischer Kohle zu vermindern und um der schweizerischen Maschinen- und Elektro-Industrie ein fruchtbares Tätigkeitsfeld zu eröffnen. Die Verfolgung dieser Aufgabe musste zur Stellung der bestimmten Frage führen, wie auf dem Normalspurbahnnetz ein einheitlicher elektrischer Betrieb eingerichtet werden könne, der der Struktur des Netzes und dem Charakter des Verkehrs entspricht. Zum Studium dieser Frage wurde im Jahre 1904 auf Initiative des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins unter Beteiligung des eidgenössischen Post- und Eisenbahndepartementes und der SBB die Schweiz. Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb gebildet. Diese Kommission befasste sich nicht bloss mit der Ausbildung der elektrischen Zugförderung im Vollbahnbetrieb und mit der Systemfrage, sondern hatte auch bestimmte Vorschläge für die Energiebeschaffung und die Kraftwerkprojekte, ferner Kostenvoranschläge für die Elektrifizierung typischer Linien und Angaben über die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Betriebes gegenüber dem Dampfbetrieb zu machen. Sie kam in einem Bericht vom Jahre 1912 zum Schlusse, dass der elektrische Vollbahnbetrieb technisch zuverlässig und vollkommen befriedigend möglich sei, dass sich für die Verhältnisse der SBB das Betriebssystem mit Einphasenwechselstrom von ungefähr 15 Perioden in der Sekunde und einer Fahrdrahtspannung von etwa 15 000 Volt, wobei diese Stromart zweckmässig direkt als solche in Wasserkraftwerken erzeugt werde, am besten eigne. Sie stellte im weitern fest, dass der elektrische Betrieb der Gotthardbahn, der speziell untersucht wurde, bei den damaligen Kohlenpreisen erheblich billiger sein werde als der Dampfbetrieb, wozu die Vorteile der Rauchlosigkeit und eine bessere Ausnützung der Bahnanlage kommen. Schon im Jahre 1911 eröffnete die Berner Alpenbahngesellschaft auf der Strecke Spiez—Frutigen nach dem erwähnten System den elektrischen Betrieb und dehnte ihn 1913 auf die inzwischen gebaute eigentliche Lötschberglinie Frutigen—Brig aus. Im gleichen Jahr wurde auch der elektrische Betrieb der Linie der Rhätischen Bahn im Engadin nach dem gleichen System, aber mit einer den Verhältnissen einer Schmalspurbahn angepassten Spannung von 11 000 Volt eingeführt.

Die ersten Schritte zur tatsächlichen Vorbereitung der Elektrifizierung der SBB tat der schweizerische Bundesrat, indem er die damalige Gotthardbahngesellschaft veranlasste, bedeutende Wasserrechte in den Kantonen Uri und Tessin zu er-

[1]) Vgl. Einführung zu diesen Vorträgen im Bull. SEV 1945, Nr. 18, S. 615.

werben, die 1907 bzw. 1909 in Konzessionsverträgen niedergelegt wurden und bei Anlass der Verstaatlichung der Gotthardbahn auf die SBB übergingen. 1919 erwarben die SBB Wasserrechte an der Rhone und der Binna im Oberwallis sowie das von der Maschinenfabrik Oerlikon ausgearbeitete Projekt zur Ausnützung der Wasserkräfte der Sihl (Etzelwerk) mit der Absicht, die erforderlichen Konzessionen zu erwerben.

Als erste zu elektrifizierende Linie wurde die Gotthardbahn gewählt, die mit ihren Steigungen und langen Tunnel bei dem starken Verkehr die grössten technischen Erleichterungen und die bedeutendsten wirtschaftlichen Vorteile erwarten liess. Das erste Ausführungsprojekt umfasste die Strecke Erstfeld—Bellinzona mit den zwei Kraftwerken Amsteg und Ritom. Damit sollte eine genügende Erfahrungsgrundlage für das weitere Vorgehen erzielt werden.

Dem Ausführungsprojekt für die Gotthardlinie wurde, wie bei der Lötschbergbahn, das Einphasensystem vom 15 000 Volt Spannung und $16^2/_3$ Perioden in der Sekunde zugrunde gelegt. Die Frequenz von $16^2/_3$/s für Einphasenstrom wurde gewählt, um sie in Zusammenhang mit der auf dem europäischen Kontinent geltenden Normalfrequenz des industriellen Dreiphasenstromes zu bringen $\left(\frac{50}{3} = 16^2/_3\right)$.

Als der erste Weltkrieg ausbrach, waren die Bauarbeiten der Gotthardelektrifizierung zur Ausschreibung bereit. Wie alle übrigen Bauten, die nicht unbedingt dringend oder schon weit fortgeschritten waren, wurde die Elektrifizierung zurückgestellt. Erst im Jahre 1916 wurden die Arbeiten am Gotthard wieder aufgenommen und gleichzeitig in den Jahren 1917 und 1918 die sogenannten Notelektrifizierungen Bern—Scherzligen als Fortsetzung des elektrischen Betriebes am Lötschberg und Brig—Sitten im Anschluss an den mit Dreiphasenstrom betriebenen Simplontunnel ausgeführt, um etwas an Kohlen einzusparen. Trotz grosser Schwierigkeiten in der Materialbeschaffung konnte der elektrische Betrieb auf der Strecke Erstfeld—Airolo am 18. September 1920 und auf der ganzen Strecke Erstfeld—Bellinzona am 29. Mai 1921 aufgenommen werden mit Energielieferung aus dem gleichzeitig erstellten Kraftwerk Ritom. Das auf der Nordseite des Gotthard gelegene Kraftwerk Amsteg kam erst im Jahre 1922 in Betrieb, zu welcher Zeit es wegen der Ausdehnung der Elektrifizierung über Luzern und Zug hinaus nötig wurde. Die Elektrifizierung der Strecke Erstfeld—Bellinzona war die schwierigste, nicht nur weil sie die erste und tunnelreichste war und bezüglich der Fahrgeschwindigkeit maximale elektrotechnische und maschinentechnische Aufgaben stellte, sondern auch, weil sie mit zahlreichen kleineren und grösseren baulichen Arbeiten (Erweiterung der Bahnhofanlagen in Göschenen, Airolo und Bellinzona, Verstärkung oder Umbau fast aller Brücken) verknüpft war.

Die im letzten Weltkrieg eingetretene Kohlennot war es, welche die Stimmung für die umfassende rasche Elektrifizierung der SBB in weiten Volkskreisen sehr stark werden liess. Die Wirtschaft litt unter den ausserordentlichen Fahrplaneinschränkungen (am Sonntag wurde der Bahnbetrieb sogar vollständig eingestellt).

Zur Bekämpfung der Arbeitslosigkeit in der Krisenzeit nach dem ersten Weltkrieg wurde dann von den SBB die beschleunigte Durchführung der Elektrifizierung der Hauptlinien beschlossen. Dadurch konnte ganz besonders der Industrie und dem Gewerbe die Beschäftigung ihrer hochqualifizierten Arbeiter ermöglicht und zudem den schweizerischen Maschinenfabriken Gelegenheit gegeben werden, Erfahrungen auf dem Gebiet der elektrischen Zugförderung zu sammeln, die sich später im Konkurrenzkampf mit dem Ausland nutzbringend verwerten liessen. Das Programm für die beschleunigte Elektrifizierung sollte sich bis Ende 1928 auf 1509 km erstrecken und mit Einschluss der am Gotthard angefangenen Arbeiten, inbegriffen das elektrische Rollmaterial, die Baukostensumme von 760 Millionen Franken erreichen, an welche der Bund einen Beitrag von 60 Millionen Franken aus Arbeitsbeschaffungskrediten bewilligte. Die Reihenfolge der zu elektrifizierenden Linien und die Jahre der Durchführung wurden genau festgelegt. Die ausführenden Organe waren somit in der Lage, ihre Vorbereitungen und die Durchführung der Arbeiten nach einem bestimmten Programm zum voraus genau festzulegen, das in der Folge dann auch sozusagen restlos eingehalten werden konnte. Bei der Bemessung des Umfanges des Programms war zu berücksichtigen, dass der Bau des Kraftwerkes Vernayaz die notwendige Folge des eben vollendeten Kraftwerkes Barberine war, weil der mit einem Kostenbetrage von rund 20 Millionen Franken erstellte Stausee restlos nutzbar gemacht werden musste. In der Folge kamen die im Programm nicht vorgesehenen Elektrifizierungen Rapperswil—Wattwil (Rickentunnel) und Sargans—Buchs hinzu; auch entwickelte sich der Verkehr stärker als vorausgesehen war. Die Energieversorgung musste daher in der Ostschweiz schon während der Durchführung der beschleunigten Elektrifizierung durch den Abschluss eines Energielieferungsvertrages mit den Bündner Kraftwerken verstärkt werden. Die Kraftwerkgruppe Vernayaz-Barberine mit dem kleinen Nebenkraftwerk am Trient war in der Lage, mehr Energie zu erzeugen, als in der Westschweiz benötigt wurde. Die Kraftwerkgruppe Amsteg-Ritom reichte dagegen zur Versorgung der Zentral- und Nordschweiz nicht aus. Es musste daher eine besondere Uebertragungsleitung von 132 000 Volt Betriebsspannung zur Verbindung der beiden Kraftwerkgruppen bis nach Rupperswil erstellt werden.

Alle in der Elektrifizierung der SBB steckenden Aufgaben mussten im Wesentlichen schon im Zusammenhang mit der Gotthard-Elektrifizierung gelöst werden. Bei den folgenden Arbeiten handelte es sich nur um die Anwendung von schon vorhan-

denen Konstruktionen, die aber fortwährend verbessert, verbilligt und soweit als möglich vereinfacht wurden. Dies gilt sowohl für die ortsfesten Anlagen, als auch für die elektrischen Triebfahrzeuge, deren Leistung sich schrittweise erhöhte.

Während der Bau der Kraftwerke, der Unterwerke und der Fahrleitungen Gelegenheit zur Ausbildung des Bedienungspersonals bot, musste das Personal auf den elektrischen Triebfahrzeugen durch kursmässige Unterrichtung und Einübung aus dem vorhandenen Personal der Dampflokomotiven gebildet werden. Die sich nach und nach mehrenden technischen und wirtschaftlichen Erfahrungen mussten planmässig gesammelt, verarbeitet und verwertet werden. Der Hauptzweck, der mit der Elektrifizierung verfolgt wurde, die Umstellung des Betriebes der SBB von der ausländischen Kohle auf die inländische Wasserkraft, wurde mit dem beschleunigten Programm in 10 Jahren, d. h. bis Ende 1928, fast ganz erfüllt, indem bereits 85 % des Verkehrs auf elektrischen Betrieb umgestellt waren. Gleichzeitig wurde ein anderer Zweck, die Beschäftigung von Industrie und Gewerbe in kritischer Zeit, auf eine für die Beteiligten und die Allgemeinheit fruchtbare Art erfüllt. Im weitern stellte sich nachweisbar eine Verbilligung des elektrischen Betriebes gegenüber dem Dampfbetrieb ein, verbunden mit einer Reihe in Geld nicht ausdrückbarer betriebstechnischer und -wirtschaftlicher Vorteile. So ist die rauchfreie und raschere Fahrt verbunden mit vermehrter Zugfolge verwirklicht worden.

In den Krisenjahren 1931...1936 wurden auf Grund eines zweiten Programms weitere Linien in allen 3 Kreisen elektrifiziert und zu Beginn des gegenwärtigen Weltkrieges setzte neuerdings eine Beschleunigung der Elektrifizierung der noch mit Dampf betriebenen Strecken ein, trotz zunehmendem Mangel an den erforderlichen Rohstoffen, wie Eisen und Kupfer und trotz der einsetzenden Teuerung. Den SBB wurden so geringe Kohlenmengen für die wenigen noch mit Dampf betriebenen Linien zugeteilt, dass für die Feuerung der Lokomotiven wieder, wie im letzten Kriege, auf Holz gegriffen werden musste und Einschränkungen im Fahrplan unvermeidlich waren. Nicht mit Unrecht wehrten sich die betroffenen Landesgegenden und forderten die rasche Umstellung der Bahn auf elektrischen Betrieb.

In Fig. 1 ist die Entwicklung des elektrischen Betriebes auf dem Netz der SBB sowohl nach Streckenlängen, als auch nach Verkehrsleistungen graphisch dargestellt.

Infolge der neuen Elektrifizierungen und der von Jahr zu Jahr gesteigerten Zugsleistungen musste auch die Energieversorgung verbessert werden. So wurde nach Bereinigung der Konzession im Jahre 1929 von 1932 bis 1937 das Etzelwerk erstellt, an welchem die SBB mit 55 % und die Nordostschweizerische Kraftwerke A.-G. mit 45 % der Energieproduktion beteiligt sind, und im Jahre 1942 unternahmen die SBB wiederum gemeinsam mit der gleichen Gesellschaft den Bau des Kraftwerkes Rupperswil-Auenstein, dessen Energieproduktion hälftig geteilt werden soll.

Hand in Hand mit den neuen Elektrifizierungen mussten auch weitere elektrische Triebfahrzeuge in Auftrag gegeben werden.

Zur Kennzeichnung des elektrischen Bahnbetriebes sei beigefügt: Beim elektrischen Bahnbetrieb sind die auf dem elektrifizierten Bahnnetz verkehrenden Züge die Hauptkonsumenten der in

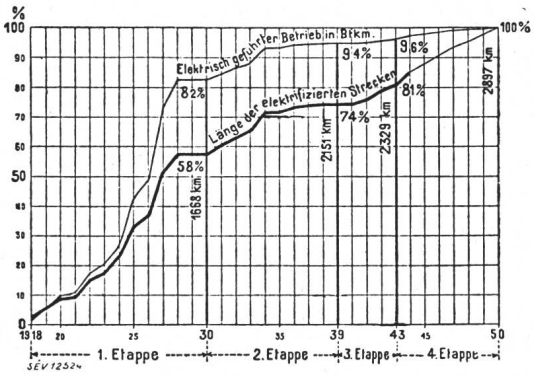

Fig. 1.
Entwicklung des elektrischen Betriebes auf dem Netz der SBB

den Kraftwerken erzeugten elektrischen Energie. Die Lokomotive nimmt die zur Bewegung des Zuges erforderliche elektrische Leistung vom Fahrdraht ab und verursacht dadurch eine um die Energieverluste in der Fahrleitung, im Unterwerk und in der Uebertragungsleitung erhöhte Teilbelastung des Kraftwerkes. Die Belastung der Kraftwerke durch einen Zug wird ausgedrückt im Leistungsmass Kilowatt (kW). Sie ist veränderlich. Das Anfahren, der Uebergang von einer horizontalen Strecke in eine Steigung oder von einer Steigung auf ein Gefälle ergeben starke Aenderungen der durch den Zug verursachten Belastung. Das Verhältnis der grössten Belastung zur durchschnittlichen (Schwankungsverhältnis), die ein Zug bei der Fahrt auf einer längern Strecke hervorruft, ist stark verschieden. Bei einem Schnellzug, der beispielsweise die Strecke Biasca—Airolo ohne Halt durchläuft, ist das Schwankungsverhältnis nahezu 1 : 1. Bei einem schweren Personenzug im Flachland kann es dagegen 10 : 1 sein. Je mehr Züge gleichzeitig verkehren, desto günstiger wird das Verhältnis von grösster zu mittlerer Belastung. Die Bewegung eines Zuges über eine ganze Strecke, d. h. während längerer Zeit, stellt eine Arbeit dar, die in Kilowattstunden (kWh) ausgedrückt wird. Aus einem am 2. Dezember 1932 für das ganze damals elektrifizierte SBB-Netz aufgestellten Belastungsdiagramm geht beispielsweise hervor, dass sich um 18.30 Uhr die grösste Leistung von 112 000 kW einstellte, wogegen im Mittel während des ganzen Tages nur 61 000 kW benötigt wurden [2]). Das Verhältnis zwischen höchster und mittlerer Belastung betrug somit 1,8 : 1. Die Arbeit an diesem Tage stellte sich auf 61 000 × 24 = rund 1,46 Millionen kWh. Heute schwankt die Tagesarbeit (werktags) zwischen 1,8 und 2,2 Millionen kWh.

[2]) Bull. SEV 1934, Nr. 10, S. 246, Fig. 1.

Ueber den *Energiebedarf* und die *Eindeckung mit elektrischer Energie* für den Bahnbetrieb der SBB ist kurz folgendes zu sagen.

Die Aufstellung einer Prognose für den Energiebedarf der SBB auf längere Sicht ist mit den grössten Schwierigkeiten verbunden. Die Aufgabe wäre leichter zu lösen, wenn die SBB ein Monopol im Transportwesen hätten. Die Prognose musste daher wiederholt den jeweiligen Bedürfnissen angepasst werden.

Die Eindeckung mit elektrischer Energie richtet sich nach der Prognose. Sie muss diese aus Gründen der Betriebssicherheit etwas übersteigen und so beschaffen sein, dass die Energie auch in trockenen, wasserarmen Jahren vorhanden ist. Als Energiequellen stehen den SBB in erster Linie die eigenen Kraftwerke zur Verfügung, nämlich Ritom, Amsteg und Göschenen in der Zentralschweiz, und Barberine, Vernayaz, Trient sowie das kleine Kraftwerk an der Rhone bei Brig (Massaboden) in der Westschweiz. In den 7 Bahnkraftwerken stehen bei kleinster Wasserführung 502 Millionen kWh, über das ganze Jahr ausgeglichen, zur Verfügung. Dank günstiger Wasserführung der Flüsse konnten beispielsweise im Jahre 1942 573 Millionen kWh Einphasen-Energie in den bahneigenen Kraftwerken erzeugt werden; überdies wurden aus den Kraftwerken Amsteg, Vernayaz und Massaboden zusammen noch 53,8 Millionen kWh Dreiphasenenergie in Zeiten von Wasserüberschüssen, hauptsächlich im Sommer, an die Privatindustrie abgegeben.

Zur Deckung der für den elektrischen Bahnbetrieb fehlenden Einphasenenergie wurden mit den Bernischen Kraftwerken und den Bündner Kraftwerken Energielieferungsverträge abgeschlossen, wonach Stützpunkte der Energieversorgung in Spiez, Mühleberg und Küblis erschlossen wurden. Während in Spiez und Mühleberg die von den SBB benötigte Einphasenenergie zusammen mit derjenigen für die Lötschbergbahn und die bernischen Dekretsbahnen erzeugt wird, stehen den SBB im Kraftwerk Küblis zwei Einphasen-Maschinengruppen zu alleiniger Verfügung. Von den Nordostschweizerischen Kraftwerken kann auch noch Dreiphasenenergie über eine im Unterwerk Seebach von den SBB aufgestellte Umformeranlage bezogen werden. Ferner verfügen die SBB, die den Betrieb der Südrampe des Simplontunnels übernommen haben, über eine kleine Energiequelle in der Zentrale Varzo der S. A. Dinamo, Mailand. Im Jahre 1937 wurde noch das Etzelwerk, das die SBB gemeinsam mit den Nordostschweizerischen Kraftwerken erstellten, in Betrieb genommen. Endlich ist noch darauf hinzuweisen, dass auf den Herbst 1945 das gegenwärtig im Bau sich befindliche Kraftwerk Rupperswil-Auenstein fertiggestellt werden soll. Von der Energieproduktion dieses Werkes, die sich in einem trockenen Jahr auf 168 und in einem Jahr mittlerer Wasserführung auf 200 Millionen kWh belaufen wird, erhalten die SBB die Hälfte. Da gegenwärtig in unserem Lande grosse Energieknappheit besteht, gelangt dieses Kraftwerk als Bau von nationalem Interesse zur Ausführung, der vom Kriegs-Industrie- und -Arbeits-Amt mit allen Mitteln gefördert wird. Durch die Schaffung dieser voraussichtlich letzten grossen Energiequelle der SBB wird das Versorgungsnetz der SBB in vorzüglicher Weise aufgerundet.

Die Gestehungskosten der elektrischen Energie beliefen sich im Jahre 1942 ab SBB-Kraftwerk auf 1,9 Rp./kWh. Ab Unterwerk, d. h. an den Fahrdraht geliefert, betrugen sie im gleichen Jahr bei Einrechnung der Jahreskosten der Uebertragungsleitungen und der Unterwerke und unter Berücksichtigung der Verluste der Energieübertragung 3,5 Rp./kWh.

Bei dem über die ganze Schweiz sich ausbreitenden *Hochspannungsnetz* zur Uebertragung der in den Kraftwerken erzeugten elektrischen Energie an die verschiedenen an der Bahn gelegenen Unterwerke wurden grundsätzlich 2 Systeme erstellt, die zusammen, aber auch unabhängig voneinander arbeiten können. Tritt in einem System eine Störung auf, beispielsweise durch Isolatordefekt, so wird es teilweise abgeschaltet. Die Energieübertragung kann aber über das andere, noch gesunde System aufrecht erhalten werden. In der doppelten Anordnung der Uebertragungsleitungen liegt somit eine bemerkenswerte Sicherheit. Zwecks Verminderung der Energieübertragungsverluste wird in den Kraftwerken die elektrische Energie in Maschinenspannung (10 000 bis 15 000 Volt) durch Transformatoren auf die Uebertragungsspannung von 66 000 bzw. 132 000 Volt hinauftransformiert, um dann in den Unterwerken, ebenfalls mit Transformatoren, in die Fahrdrahtspannung von 15 000 Volt herabgesetzt zu werden.

Die Hauptfreileitung von Vernayaz über Puidoux, Kerzers nach Rupperswil mit einer Betriebsspannung von 132 000 Volt besteht teilweise aus Reinaluminium mit Stahlseele und teilweise aus einer Aluminiumlegierung («Aldrey»). Die Spannweiten dieser Leitung betragen 235...670 m.

Die 66 000-Volt-Uebertragungsleitungen, die von Kraftwerken oder Hauptunterwerken wie Puidoux, Kerzers und Rupperswil abgehen, bestehen aus Kupferseilen. Sie haben in der Regel Spannweiten von 125 m. Die Maste sind aus elektrischen und mechanischen Gründen durch ein «Erdseil» miteinander verbunden und einzeln nach Möglichkeit gut geerdet.

Die *Unterwerke*, ausgenommen das Hauptunterwerk Rupperswil mit Energieverteilung, liegen an elektrisch betriebenen Bahnlinien und dienen als Speisepunkt des Fahrleitungsnetzes. Die Standorte der Unterwerke werden durch mancherlei bestimmt. Günstig sind besonders Knotenpunkte des Bahnnetzes. Dank der hohen Fahrleitungsspannung von 15 000 Volt konnten die Unterwerke ziemlich weit auseinander aufgestellt werden. Für das ganze SBB-Netz wurden nur 25 solcher Transformatorenstationen benötigt. Sie können mit kleineren Kraftwerken verglichen werden, die die Energie aber nicht erzeugen, sondern in Hochspannung zugeführt erhalten; sie haben weder Turbinen noch Generatoren, sondern nur Transformatoren zur Herab-

setzung der Spannung von 66 000 auf 15 000 Volt und sind somit elektrisch die Umkehrung der entsprechenden Seite eines Kraftwerkes. Gegen die Fahrleitungsseite hin sind aber die Einrichtungen durch die Erfordernisse des elektrischen Bahnbetriebes bestimmt, insbesondere durch die Gliederung der Fahrleitungsanlage in voneinander elektrisch trennbare Fahrdrähte. Die Hilfs- und Nebeneinrichtungen der Unterwerke sind nur Verkleinerungen derjenigen der Kraftwerke. In neuerer Zeit wurden Einrichtungen zur automatischen Bedienung der Schalter und zur Alarmierung geschaffen, die die ständige Anwesenheit eines Wärters entbehrlich machen, so dass dieser in der dem Unterwerk in der Regel angegliederten kleinen Werkstätte nützliche Arbeit leisten kann. Bei den neueren Unterwerken wird das Personal abwechslungsweise auch für den Unterhalt der Fahrleitung der anschliessenden Bahnstrecken herangezogen, um die Beschäftigung möglichst abwechslungsreich zu gestalten.

Der bauliche Teil der Unterwerke zeigt eine interessante Entwicklung. Die 6 zuerst erstellten haben ihre ganze Ausrüstung in einem Gebäude, die Transformatoren und Schalter in Zellen wie die Kraftwerke aus der gleichen Zeit. Die hohen Kosten der Hochbauten veranlassten in der Folge, den ganzen Hochspannungsteil wettersicher zu gestalten, damit er ausserhalb des Gebäudes als sog. Freiluftschaltanlage aufgestellt werden konnte. Im Gebäude selber befinden sich nur noch der Schaltstand, die kleinen Maschinen, die Akkumulatorenbatterie zur Speisung der Neben- und Hilfsstromkreise, die Werkstätte und Montagehalle und einige andere unentbehrliche Diensträume. Von den 25 Unterwerken der SBB wurden 19 als Freiluftschaltanlagen ausgebildet.

Die *Fahrleitungen* über den Geleisen dienen zur Uebertragung der elektrischen Energie von den Unterwerken nach den verkehrenden Triebfahrzeugen. Die Rückleitung erfolgt durch die Schienen und die Erde. Die miteinander leitend verbundenen Schienen und die Erde gehören daher elektrisch zur Fahrleitung; sie bilden mit dem Fahrdraht, den ein Triebfahrzeug mit dem Stromabnehmer beschleift, die zur Energieübertragung nach dem Fahrzeug unentbehrliche Leitungsschleife für den Stromkreis.

Die Fahrleitung besteht aus Kupferdraht von kreisrundem Querschnitt (107 mm^2) mit zwei seitlichen Kerben zur Klemmung. Diejenige der Nebengeleise hat die gleiche Querschnittform, aber einen kleineren Querschnitt (75 mm^2). Um Kupfer zu sparen, wurde in neuerer Zeit für die Fahrleitung des Hauptgeleises Kupferpanzer-Stahldraht und für Nebengeleise sogar nur verzinkter Eisendraht verwendet. Die Isolatoren, auf Stützen montiert zur Tragung und seitlichen Haltung des Tragseiles und des Fahrdrahtes, sind in der Regel doppelt angebracht.

Zur Verteilung der Abnützung des Schleifstückes der Lokomotiven auf dessen normal nutzbare Länge quer zur Geleiseachse ist der Fahrdraht in der Geraden in einem Zickzack mit 20 cm Abweichung nach rechts und nach links von der Geleiseachse geführt. Die Abnützung des Fahrdrahtes ist klein. Ausser im Gotthardtunnel wurde er noch nirgends ausgewechselt.

Zum Schutze der auf Bahngebiet verkehrenden Personen mussten an der Fahrleitungsanlage zahlreiche Einrichtungen geschaffen werden. Es seien speziell die Erdungen erwähnt, denen beim Bau und Unterhalt grosse Aufmerksamkeit geschenkt wird. Die Tragwerke und Masten der Fahrleitung sowie Eisenteile von Gebäuden und Brücken, an denen sich Stützpunkte der Fahrleitung befinden, können bei Ueberschlägen von Isolatoren Spannung erhalten; ihre Berührung durch Personen kann den Tod zur Folge haben. Durch die Erdung, die aus einer gut leitenden Kupferdrahtverbindung mit dem Geleise besteht, wird die Gefahr beseitigt. Die elektrischen Schienenverbinder aus kurzen, am Schienenkopf angeschweissten Kupferseilen, die die schlecht leitenden Schienenstösse überbrücken, erhöhen die Wirkung der Geleise als Erdungen.

Was das *Rollmaterial* betrifft, so sind eine Reihe von Lokomotivtypen im Laufe der Jahre entstanden mit Leistungen von 1300 bis 9000 kW (Doppellokomotive für den Gotthard). Die elektrische Energie gelangt vom Fahrdraht über den Stromabnehmer in einen Transformator und wird dort von 15 000 Volt Spannung auf 500 Volt für den Antrieb der Motoren transformiert. In den letzten Jahren wurden nur noch Lokomotiven mit Einzelachsantrieb gebaut. Sie haben auch Laufachsen. Die jüngst bestellten Triebfahrzeuge weisen aber nur noch Triebachsen auf, um das tote Gewicht auf ein Minimum herabzusetzen.

Einige Angaben über die *Wirtschaftlichkeit des elektrischen Bahnbetriebes* mögen die Bedeutung zeigen, die das grosse Werk der Bahnelektrifizierung für das Land hat.

Die wirtschaftlichen Folgen des elektrischen Betriebes der SBB können eingeteilt werden in solche für die schweizerische Volkswirtschaft und in solche für die SBB selbst als grösstes schweizerisches Unternehmen mit eigenem Finanzhaushalt.

Für die Volkswirtschaft sind ganz besonders die Unterdrückung der Einfuhr von Kohlen und die fruchtbare Beschäftigung von Industrie und Gewerbe von Bedeutung. In den letzten Kriegsjahren wären bei einem dem elektrischen Betrieb gleichwertigen Dampfbetrieb rund 1 150 000 t Kohlen jährlich erforderlich gewesen, was bei einem mittleren Preis von 120 Fr. pro Tonne einen Betrag von rund 140 000 000 Fr. ausmacht, der ins Ausland hätte abgeführt werden müssen. Von dem auf Ende 1942 ausgewiesenen Elektrifizierungskapital von 825 000 000 Fr. musste nur etwa $^1/_5$ zu Käufen von Material aus dem Ausland verwendet werden, rund 650 000 000 Fr. blieben im Umlauf im Lande.

In der Rechnung der SBB kommt der elektrische Betrieb in der Vergrösserung der Zinsenlast zum Ausdruck, die von der Stärke des Verkehrs unabhängig ist. Verteuernd wirken auch die Energiebeschaffungskosten und die zusätzlichen Abschrei-

bungskosten der elektrischen Anlagen. Demgegenüber ergeben sich Verbilligungen in der Brennstoffbeschaffung, durch Personaleinsparungen (Lokomotiv-, Zugsbegleitungs- und Depotpersonal) und in den geringeren Unterhaltskosten der Triebfahrzeuge sowie des übrigen Rollmaterials.

Die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Betriebes wurde von den SBB zu wiederholten Malen eingehend untersucht.

So wurde festgestellt:

Tabelle 1

Jahr	Kohlenersparnis t	Minderkosten des elektrischen Betriebes gegenüber dem Dampfbetrieb Fr.
1929	705 000	5 058 700
1936	766 000	10 648 000
1937	929 500	13 776 000
1941	1 158 000	84 300 000
1942	1 120 000	105 584 000

Ein Vergleich dieser Zahlen ergibt, dass die durchgeführten Wirtschaftlichkeits-Berechnungen mit steigendem Verkehr und steigenden Kohlenpreisen immer mehr zugunsten des elektrischen Betriebes ausfielen. Den Untersuchungen 1929—1937 wurde ein hypothetischer Dampfbetrieb zugrunde gelegt, der sich normalerweise entwickelt hätte, wenn nicht elektrifiziert worden wäre. Schon 1937 zeigte sich aber, dass die von der elektrischen Zugförderung in natürlicher Weise mitgebrachte Verbesserung der Betriebsverhältnisse den an die Bahn gestellten grösseren Anforderungen nicht mehr genügend entsprach. Zur Bekämpfung der Automobilkonkurrenz wurde die Fahrgeschwindigkeit allgemein erhöht. Im weiteren wurden die Zugsverbindungen durch Auflockerung des Fahrplanes und durch Einführung der Leichtzüge verbessert. Diese Massnahmen wären auch beim Dampfbetrieb unerlässlich gewesen, weshalb für den wirtschaftlichen Vergleich der beiden Betriebsarten ihre Aequivalenz nun unbedingte Voraussetzung geworden ist. Diese Aequivalenz hat für den hypothetischen Dampfbetrieb zur Folge, dass er eine viel grössere Zahl von neuen leistungsfähigen Dampflokomotiven bedingt und dass der spezifische Brennstoffverbrauch (Verbrauch pro beförderte Bruttotonne auf 1 km Bahnstrecke) im gleichen Verhältnis wie der spezifische Energieverbrauch erhöht wird.

Ein Dampfbetrieb im Umfange des in den letzten Kriegsjahren auf den elektrifizierten Linien eingetretenen Verkehrs wäre aber wegen Kohlenmangels undurchführbar gewesen; er hätte stark eingeschränkt werden müssen, wodurch den SBB grosse Einnahmen ausgefallen wären, die zweifellos noch schwerere finanzielle Folgen für die SBB und die schweizerische Volkswirtschaft gehabt hätten als die gewaltig überteuerten Brennstoffpreise, wenn genügend Kohle und Holz hätten beschafft werden können.

Die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Betriebes im Ausmass von jährlich rund 100 000 000 Fr. gegenüber dem Dampfbetrieb beruht heute hauptsächlich darauf, dass die elektrische Energie im Gegensatz zur Kohle nicht teurer geworden ist als vor dem Krieg, weil die Kraftwerke und die Anlagen für die Energieverteilung vorhanden sind. Auch das gegenwärtig im Bau sich befindliche Kraftwerk Rupperswil-Auenstein wird trotz der seit Kriegsbeginn stark gesteigerten Baukosten nicht verteuernd auf die Gestehungskosten der Energie wirken, weil diese ab Kraftwerk direkt in das vorhandene Verteilungsnetz abgegeben werden kann. Es ist zu begrüssen, wenn die SBB alles daran setzen, die restlichen noch mit Dampf betriebenen Linien, trotz Materialmangel und Teuerung, zu elektrifizieren, um in bezug auf die Triebkraft ganz vom Ausland unabhängig zu werden und um den wenigen noch vorhandenen Talschaften die Vorzüge des elektrischen Betriebes zu verschaffen, wodurch die notwendige Sympathie der Bevölkerung zur Bahn am besten zu gewinnen ist.

Zum Schlusse noch kurz einige Bemerkungen über *Schmalspurbahnen, Tram und Trolleybus.*

Wie die Normalspurbahnen werden auch die bedeutendsten Schmalspurbahnen, z. B. die Rhätische Bahn und die Furka-Oberalpbahn mit Einphasenwechselstrom, aber von niedrigerer Spannung, 11 000 statt 15 000 V, betrieben. Die meisten übrigen Schmalspurbahnen, z. B. die Langenthal—Jura-Bahn, die Montreux—Oberland-Bahnen, die Wetzikon—Meilen-Bahn usw., weisen Gleichstrom von 650 bis 1650 Volt Spannung auf. Nur wenige, die Jungfraubahn, die Gornergratbahn und Brunnen—Morschach werden mit Dreiphasenstrom betrieben. Die Trambahnen, wie auch die Trolleybus-Linien, haben Gleichstrom (500 bis 1200 V). Eine Ausnahme macht die Rheinecker Verbindungsbahn, die noch Dreiphasenstrom von 500 Volt aufweist. Tram und Trolleybus werden ausschliesslich von kantonalen oder kommunalen Elektrizitätswerken mit elektrischer Energie versorgt, während bei den Schmalspurbahnen einige vorhanden sind, wie die Jungfraubahn, Villars—Chesières—Bretaye und die Gornergratbahn, die eigene Kraftwerke für die Energieerzeugung besitzen.

Es wird noch interessieren, dass in jüngster Zeit die dem Verband schweizerischer Transportanstalten angeschlossenen städtischen Verkehrsunternehmen (Tram-, Trolleybus- und Autobusbetriebe) bekanntgegeben haben, dass sie in der Nachkriegszeit rund 250 Trolleybusfahrzeuge neu in Verkehr zu setzen gedenken. Diese Bekanntmachung hat vielerorts in der Oeffentlichkeit zu der irrigen Auffassung geführt, man beabsichtige allgemein einen Ersatz der Trambetriebe durch Trolleybusbetriebe. Demgegenüber ist folgendes festzustellen:

Ueberall da, wo der Verkehr einen regelmässigen Stossverkehr aufweist, vermag diesen Verkehr nur der Trambetrieb wirtschaftlich zu bewältigen. Es würde deshalb auch keiner Betriebsverwaltung einfallen, derartige Strecken durch Trolleybusse oder Autobusse zu ersetzen. In einer Reihe von Schweizer Städten, wie beispielsweise Lausanne und Genf, hatte man in der Vorkriegszeit einige schwach frequentierte Tramverbindungen durch Trolleybusse

ersetzt, aber wohlweislich die Tramschienen weiter im Strassenbett belassen. Das hat nun ermöglicht, während der Kriegszeit zur Abwicklung des stark vermehrten Verkehrsumfanges auch auf diesen Strecken wieder die Trams einzusetzen. Die Zurückhaltung im Entfernen der Schienen hat sich auch im Hinblick auf den Pneumangel als kluge Massnahme erwiesen. Im übrigen setzen die städtischen Verkehrsunternehmen in der Regel den Trolleybus da ein, wo neue Siedlungen einen zwar regelmässigen, aber nicht besonders starken Normal- und Stossverkehr aufweisen. Je nach der Entwicklung solcher Quartiere wird man später zum Trambetrieb übergehen. Dies wird besonders dann der Fall sein, wenn sich der Verkehrsanschluss durch Verlängerung bereits bestehender Tramstrecken vornehmen lässt.

Dem gegenüber wird der Autobus in der Regel dort eingesetzt, wo ein bestimmter, aber nicht übermässiger Arbeitsstossverkehr, in den Zwischenzeiten dagegen ein nur schwaches Verkehrsbedürfnis vorhanden ist.

Dass aber im übrigen die Tramways nicht etwa im Absterben, sondern in einer starken Weiterentwicklung begriffen sind, geht klar aus den von den Tramunternehmen zum Arbeitsbeschaffungsprogramm angemeldeten Projekten hervor. Die hierfür in Aussicht genommenen Kostensummen betragen 53 Millionen Fr. für Tiefbau, Hochbau und Leitungen und 48 Millionen Fr. für Rollmaterial, in welchem Betrage nur 50 Trolleybusse eingeschlossen sind.

Die angeführten Zahlen legen eindeutig dar, dass sämtliche städtischen Verkehrsunternehmen darauf ausgehen, vor allem die leistungsfähigen Trambetriebe den erhöhten Verkehrsanforderungen anzupassen und auf der Höhe des technischen Fortschrittes zu erhalten.

Adresse des Autors:
Dr. h. c. *H. Eggenberger*, a. Oberingenieur der Abt. für Bahnbau und Kraftwerke der SBB, Engeriedweg 19, Bern.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Atomkraftwerke in USA

539.17
621.499.4

Die Gewinnung der Thermo-Energie, welche aus künstlicher Atomumwandlung frei wird, ist heute ein technisch gelöstes Problem. Bereits laufen in den Vereinigten Staaten von Amerika mehrere Atomenergiemaschinen, in denen durch Umwandlung von Uranatomen Wärme in grossem Maßstabe produziert wird. Seit dem 3. Dezember 1942 läuft in Chicago Tag und Nacht ohne Unterbruch eine kleinere Atomenergieanlage. Grössere Versuchsmaschinen mit einer Wärmeleistung von über 1000 kW sind in Clinton in Betrieb. In Pasco sind Energiemaschinen aufgestellt worden, welche bedeutend über 600 000 kW Wärmeleistung aufweisen. Diese Wärme wird allerdings ungenützt dem Columbia River zugeführt, weil die Anlagen nur zur Gewinnung des in der Natur nicht vorkommenden Elementes Plutonium benützt worden sind. Interessant ist die Tatsache, dass diese Maschinen alle mit dem in der Natur vorkommenden Uranisotopengemisch arbeiten, nicht etwa mit dem in der Atombombe verwendeten abgetrennten Uranisotop^{235}. Es hat sich herausgestellt, dass die Maschinen sich ausserordentlich leicht regulieren lassen, so dass eine Explosion der Maschinen durch zu starkes Anwachsen der Uran-Kettenreaktion absolut sicher vermieden werden kann.

Aus den Anfängen der elektrischen Heizung in Davos

621.364.3

In der VSE-Jubiläumsnummer (1945, Nr. 17a), schrieben wir auf Seite 547: «Bereits 1905 wurde z. B. in Davos *in beachtenswertem Umfang* elektrisch geheizt». Man machte uns darauf aufmerksam, dass in kleinerem Masse auch schon früher Davos über elektrische Heizungen verfügte, und eine Rückfrage beim EW Davos ergab folgende Antwort, für die wir bestens danken:

«Die elektrische Vollheizung hat hier schon sehr frühzeitig Interessenten gefunden. So wurden in den Jahren 1897/98 Versuche bei vollständig beheizten Häusern vorgenommen, wobei ein kWh-Preis von 6 Rappen zur Anwendung gelangte. Dieser Preis wurde im September 1898 auf 5 Rappen ermässigt. (Nebenbei sei erwähnt, dass im Jahre 1898 auch schon ein Grossbackofen elektrisch beheizt wurde, für den für die ersten hunderttausend kWh 3,2 Rappen, für die weiteren kWh 1,6 Rappen bezahlt wurden.) Vollbeheizt wurden 6 Häuser, mit Namen Julius, Alwina, Regina, Traugott, Sana, und Blockhaus des Sanatoriums ‚Turban'.

In den drei erstgenannten Häusern wurde auch elektrisch gekocht.

Die Heizkörper wurden teilweise aus München (Bett & Wala), teilweise von Grimm & Co., Wädenswil (Vorgängerin der «Elektra»), und Wierss & Co., Liestal (Prometheus), bezogen. Die Heizung wurde in allen Fällen mit Einzelöfen bewerkstelligt und die Tarife wurden allmählich ermässigt, da man über die Paritätsverhältnisse immer bessern Aufschluss erhielt.»

Besuchstag der Maschinenfabrik Oerlikon

659.15

Zum dritten Mal innerhalb von 7 Jahren durften die Angestellten und Arbeiter der Maschinenfabrik Oerlikon mit ihren Angehörigen am 3. November, einem Samstag, ihr Unternehmen besichtigen. Mancher, der sonst nur die nächste Umgebung seines Arbeitsplatzes kennt, hatte dadurch Gelegenheit, auch die anderen Abteilungen des weltbekannten Hauses zu sehen, und er konnte zudem seinen Angehörigen die Stätte seines Wirkens zeigen.

Auf die fremden Besucher macht die Tatsache, dass die MFO Erzeugnisse kleiner und grösster Dimensionen herstellt, besonderen Eindruck. Von den grossen Stücken fesselten vor allem die in mehrjähriger Konstruktionsarbeit geschaffene *Gasturbinenanlage* und ein *Transformator von 60 000 kVA* Scheinleistung die Aufmerksamkeit; jene ist ein Werk der Abteilung Dampfturbinen, dieser eine Spitzenleistung des Transformatorenbaus. Grossem Interesse begegnete auch ein vertikalachsiger *Grossgenerator* für ein Werk in Spanien, der sich im Probelauf auf dem Prüfstand befand.

Nicht weniger spannend als die Betrachtung der fertigen Maschinen war das Verfolgen ihrer Entstehung aus den einzelnen Teilen, angefangen in der Giesserei, wo der gelernte Handarbeiter noch nichts von seiner Bedeutung eingebüsst hat, über die Dreherei (ein mächtiges Generatorgehäuse stand auf der grossen Karussel-Drehbank in Bearbeitung), Fräserei und Bohrerei bis zur Montagehalle. In der Wicklerei konnte man das Wickeln von Spulen und gleich daneben deren Einlegen in die Statornuten eines kleinen Motors beobachten. Man sah, wie Transformatorbleche gestanzt, Generatorgehäuse geschweisst werden; man konnte durch einen Lokomotivkasten hindurchgehen (es handelt sich um eine neue SBB-Lokomotive des Typs Re 4/4 ohne Laufachsen) und die mächtigen Drahtbündel betrachten, die vor dem Einbau der Motoren im Innern des Triebfahrzeugs untergebracht werden müssen. Dann trat man wieder in einen Raum, wo mit «Klei-