Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 48 (1957)

Heft: 12

Artikel: Die elektrische Zugförderung auf der Gotthardstrecke

Autor: Meyer, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060610

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: 05.12.2025

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

Leitungsbaubureaux waren der Sektion für Leitungsbau unterstellt, die einen Teil der Abteilung für Elektrifizierung in der Generaldirektion der SBB bildete. Die Aufgabe dieser zentralen Stelle bestand in der Koordination der Arbeiten, der Vereinheitlichung und Vereinfachung der Bauteile der Leitungen, der Beschaffung der Drähte, Seile und Isolatoren, dem Sammeln und Sichten und zweckmässigen Verwerten der im allgemeinen und mit den einzelnen Konstruktionsteilen im Betrieb gemachten Erfahrungen.

Neben dem Fahrleitungsbau hatte sich diese Bauorganisation auch mit dem Bau der Fernleitungen zu befassen, die der Übertragung der Bahnenergie aus den bahneigenen Kraftwerken zu den Unterwerken dienten. Die Übertragungsspannung wurde als Vielfaches der Fahrleitungsspannung und zwar nicht der Nennspannung, sondern der Betriebsspannung, gewählt. Diese betrug an den Klemmen der Unterwerkstransformatoren 16,5 kV. Somit wurde sie für die Nahübertragung auf 66 kV und für die Fernübertragung auf 132 kV festgelegt. Am Gotthard stellte sich nun als ganz wesentliches Problem die Bauart als Freileitung oder Kabelleitung. Da die beiden ersten Bahnkraftwerke Amsteg und Ritom unbedingt durch eine Übertragungsleitung verbunden werden mussten, kam mit Rücksicht auf den Gotthardtunnel nur die Bauart mit Kabeln in Betracht. So wurden im Bahnkörper neben den Gleisen Papierbleikabel für eine Spannung von 30 kV gegen Erde verlegt und zwar auf der ganzen Strecke zwischen Amsteg und dem Kraftwerk Ritom bei Piotta. Das Sorgenkind dieser Verkabelung bildeten die Muffen, die nach verhältnismässig kurzer Betriebszeit gegen solche zweckmässigerer und zuverlässigerer Bauart ausgewechselt werden mussten.

Um sicher zu gehen, d. h. um Unterbrüche in der Versorgung der Unterwerke durch Zugsentgleisungen möglichst zu vermeiden, wurden die Übertragungsleitungen, soweit sie als Freileitungen gebaut wurden, nicht auf Bahngebiet längs der Fahrleitungen geführt, sondern über das freie Land, wie die Übertragungsleitungen, die der Allgemeinversorgung dienen. Später wurden dann, als genügend Erfahrungen in der Behebung von Störungen vorlagen, die Übertragungsleitungen mit den Fahrleitungstragwerken kombiniert, soweit deren Führung längs der Bahn keine wesentlichen Mehrlängen bedingte.

Das sog. beschleunigte Elektrifizierungsprogramm hatte z. T. eine nicht unwesentliche Vermehrung des Personals der Generaldirektion und der Leitungsbaubureaux der Kreise zur Folge gehabt, waren doch während dreier Jahre durchschnittlich pro 24 Stunden 1,5 km Gleis mit Fahrleitungen auszurüsten. Da diese Periode im Jahre 1927 zu Ende ging, versetzte die SBB das gesamte Personal, das mit Bauarbeiten für die Elektrifizierung im Zusammenhang stand, soweit es definitiv angestellt war, ins Provisorium. Dies brachte meinen noch leicht schlummernden Wunsch nach noch mehr Freiheit und selbständiger Arbeit zur Reife. Ich begann nun vor beinahe 30 Jahren, zusammen mit dem Sektionschef für den Bau der SBB-Unterwerke in Zürich mit dem Beruf des selbständigen und unabhängigen beratenden Elektroingenieurs.

Adresse des Autors:
H. W. Schuler, Dipl. Ing., Genferstrasse 8, Zürich 2.

Die elektrische Zugförderung auf der Gotthardstrecke

Von *E. Meyer*, Zürich

621.335.2 : 625.1(494)(234.311.53)

Ausgehend von der Lage, die sich während des Weltkrieges 1914...1918 und nach dessen Abschluss in der Versorgung mit Kohle ergab, beschreibt der Autor die Erwägungen, welche für die Beschaffung der ersten elektrischen Triebfahrzeuge auf der Gotthardbahn wegleitend waren. Die Zunahme des Verkehrs einerseits und die Fortschritte der Elektrotechnik anderseits führten im Lauf der Jahre zu immer grösseren und schnelleren Traktionseinheiten; die Entwicklung erreichte ihren vorläufigen Abschluss mit dem Bau der Mehrzwecklokomotive Ae 6/6, die sich in mehrjährigem Betrieb bewährt hat.

Partant de l'approvisionnement en charbon pendant et après la guerre mondiale de 1914 à 1918, l'auteur montre les raisons qui déterminèrent l'acquisition des premiers véhicules moteurs électriques pour la ligne du St-Gothard. L'accroissement du trafic et les progrès de l'électrotechnique firent construire, au cours des années, des unités de traction toujours plus grandes et plus rapides; cette évolution a abouti, pour le moment, à la fabrication de la locomotive à usages multiples Ae 6/6, dont le fonctionnement s'est révélé excellent pendant ces dernières années.

I. Die Entwicklung im ersten Jahrzehnt des elektrischen Zugsbetriebes

Als im Jahre 1917 die Entwürfe für die ersten elektrischen Triebfahrzeuge für die Gotthardstrecke ausgearbeitet werden mussten, lagen über die elektrische Vollbahntraktion mit Einphasenwechselstrom erst die während knapper 4 Jahre gemachten Erfahrungen der Bern—Lötschberg—Simplon-Bahn (BLS) vor. Man fand es daher für richtig, vorerst 4 verschiedene Probelokomotiven durch die dafür in Frage kommenden Unternehmen bauen zu lassen, die man alsdann auf der Lötschbergbahn und auf der als Versuchsstrecke auf elektrischen Betrieb umgestellten Linie Bern—Thun erproben wollte. Allein die Auswirkungen des ersten Weltkrieges vereitelten dieses Vorhaben. Wegen Beschaffungsschwierigkeiten der Rohstoffe konnten die Probelokomotiven nicht auf die vorgesehene Zeit fertiggestellt werden; anderseits zwang die immer bedrohlicher werdende Kohlennot zur Beschleunigung der schon im Jahre 1912 beschlossenen Elektrifikationsarbeiten. So kam es, dass im Frühjahr 1918, also zu einer Zeit, als die Probelokomotiven erst im Werden begriffen waren, der

Entscheid über den sofortigen Bau einer ersten Serie von 20 Lokomotiven getroffen werden musste.

Dabei wurde davon ausgegangen, dass diese Lokomotiven imstande sein sollten, 300 t schwere Schnell- und Personenzüge mit 50 km/h und 430 t schwere Güterzüge mit 35 km/h bergwärts zu befördern. Die Höchstgeschwindigkeit sollte 75 km/h für die Reisezüge und 65 km/h für die Güterzüge betragen. Mit heutigen Maßstäben gemessen nimmt sich dieses Programm äusserst bescheiden aus. Um es verstehen zu können, muss man sich aber daran erinnern, dass damals auch unter Einsatz modernster Dampflokomotiven die Schnellzüge mit kaum mehr als 30 und die Güterzüge mit 20 km/h bergwärts fuhren, so dass die Einführung der elektrischen Zugförderung auch so schon einen gewaltigen Fortschritt bedeutete. Dem damaligen Stand der Technik entsprechend konnten die beiden Forderungen nicht vom gleichen Lokomotivtyp erfüllt werden, so dass man sich für den Bau einer Personen- und Schnellzuglokomotive und einer Güterzuglokomotive entschliessen musste. Die erste entstand in der Form der in Fig. 1 dargestellten Bauart Be 4/6 mit der Achsfolge (1'B) (B 1'), die zweite als Bauart Ce 6/8 II mit der Achsfolge (1'C) (C 1') (Fig. 2). Die Lokomotive Be 4/6 hat eine Stundenleistung von 1500 kW (2040 PS) bei 52 km/h und die Ce 6/8 II eine solche von 1650 kW (2240 PS) bei 36 km/h, während ihre Höchstgeschwindigkeit auf 75 bzw. 65 km/h begrenzt war. Durch Nachbeschaffungen wurde ihre Stückzahl bis zum Jahre 1923 auf 41 bzw. 33 gebracht. Bemerkenswert ist, dass sie mehrheitlich bereits mit einer elektrischen Bremse versehen waren. Die Serie Be 4/6 erhielt eine fremderregte Wechselstrom-Widerstandbremse und die Serie Ce 6/8 II eine Nutzstrombremse in der Schaltung nach *Behn-Eschenburg*.

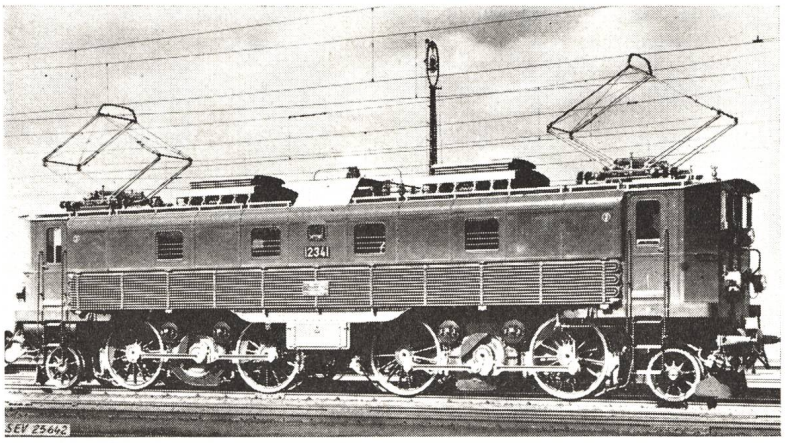

Fig. 1
Schnell- und Personenzuglokomotive Be 4/6
Inbetriebnahme 1919...1923. 110 t, 1500 kW (2040 PS), v_{max} = 75 km/h

Mit diesen Lokomotiven begann im Jahre 1920 die elektrische Zugförderung auf der Gotthardstrecke. Weil viele Schnellzüge damals schon schwerer waren als 300 t, wurde bergwärts jeweils mit Vorspann gefahren. Die Güterzüge führte man auf der Bergstrecke meistens in zwei Teilen, die dann am Ende der Steilrampen für die Weiterfahrt wieder vereinigt wurden. Schon diese Lokomotiven führten die neue Zugförderungsart zu einem vollen Erfolg, und jedermann gewöhnte sich rasch an die höhere Geschwindigkeit und die grössere Leistungsfähigkeit der Strecke. Nach nicht allzu langer Zeit fand man, dass die Geschwindigkeit bei Bergfahrt eigentlich ganz gut noch höher sein könnte, zumal es bei elektrischer Zugförderung möglich schien, die Geschwindigkeit auch bergwärts bis gegen 70 km/h zu steigern, d. h. bis zu der Grenze, die durch die Kurvenradien und die übrigen Gegebenheiten der Fahrbahn gezogen war. Bald erwies sich auch eine Schnellzugsgeschwindigkeit von nur 75 km/h auf den Talstrecken als mit den neueren Anschauungen nicht mehr vereinbar. Der Wunsch nach höheren Geschwindigkeiten wurde rasch zur Notwendigkeit, weil der wachsenden Konkurrenz der Strasse nur mit einer Steigerung der Reisegeschwindigkeit begegnet werden konnte. Zudem entwickelte sich in erfreulichem Masse der Agrumenverkehr aus Italien nach dem Norden, der kommerziell interessant, aber hinsichtlich der Transportzeiten fast noch anspruchsvoller war als der Reiseverkehr.

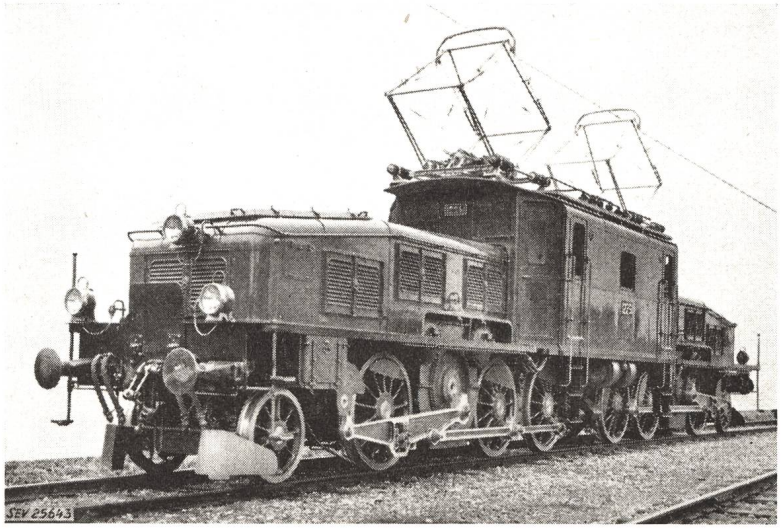

Fig. 2
Güterzuglokomotive Ce 6/8 II
Inbetriebnahme 1920...1922. 128 t, 1650 kW (2240 PS), v_{max} = 65 km/h

Leider gestatteten aber die vorhandenen Bauarten von elektrischen Triebfahrzeugen eine solche Erhöhung der Fahrgeschwindigkeiten nicht. Der Lokomotivpark am Gotthard war inzwischen aller-

dings noch durch 6 Schnellzuglokomotiven der Serie Be 4/7, erstmals mit Einzelachsantrieb Bauart Westinghouse (Fig. 3), und 18 Güterzuglokomotiven der Gattung Ce 6/8 III (Fig. 4) ergänzt worden. Die erste Bauart entsprach in ihrer Leistungsfähigkeit etwa der Gattung Be 4/6 und die zweite der Serie Ce 6/8 II, immerhin mit einer von 430 auf 520 t erhöhten Anhängelast auf der Bergstrecke. In bezug auf die Geschwindigkeit war aber damit nichts gewonnen; lediglich bei der Bergfahrt hätte sie sich bestenfalls unter massiver Herabsetzung der Anhängelasten (z. B. für die Lokomotive Be 4/6 von 300 t bei 50 km/h auf 230 t bei 60 km/h) noch etwas steigern lassen. Eine befriedigende Lösung des Problems konnte aber nur der Einsatz anderer, leistungsfähigerer Triebfahrzeuge bringen.

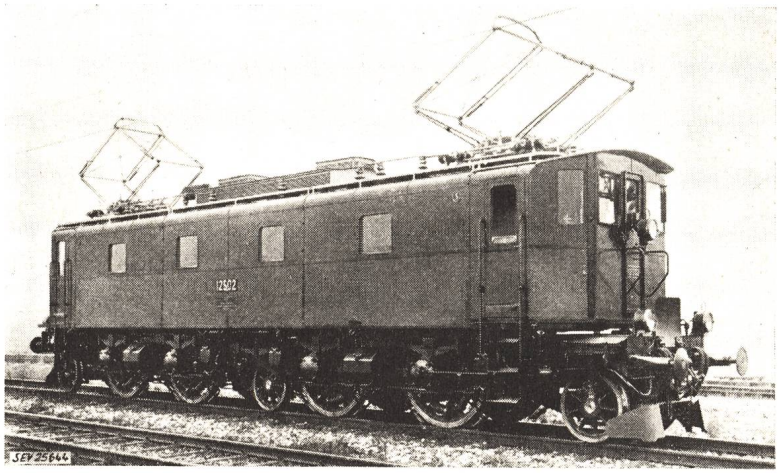

Fig. 3
Schnellzuglokomotive Be 4/7
Inbetriebnahme 1922. 110 t, 1750 kW (2400 PS), v_{max} = 75 (später 80) km/h

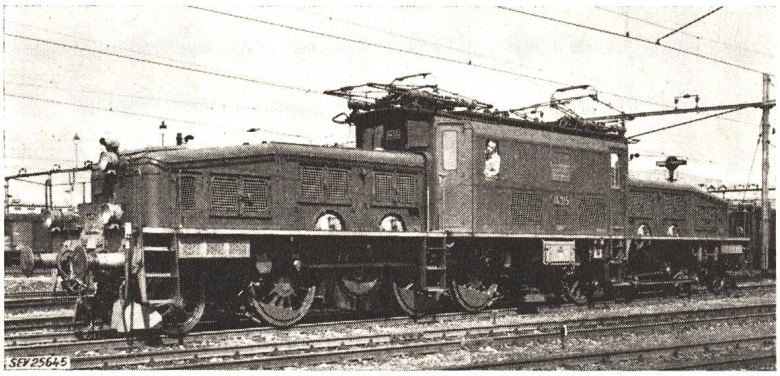

Fig. 4
Güterzuglokomotive Ce 6/8 III
Baujahre 1926...1927. 131 t, 1800 kW (2460 PS) v_{max} = 65 (später 75) km/h

Hier musste nun zunächst die Gattung Ae 4/7 (Fig. 5) einspringen. Sie war zwar nicht für den Gotthard geschaffen worden, sondern für die Führung schwerer Schnellzüge auf den Strecken des Flachlandes. Ihre zulässige Anhängelast war daher auf den Gotthardrampen mit 305 t nicht merklich höher als diejenige der Be-4/6-Lokomotive. Dagegen war sie imstande, diese Last mit 60 km/h zu befördern und überdies war sie für eine Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h gebaut. So wurde die Serie Be 4/6 im Dienst der Gotthardschnellzüge bald verdrängt durch die Ae 4/7, die sich auch hier überraschend gut bewährte. Dies führte in der Folge auch dazu, dass 30 Lokomotiven dieser Gattung speziell für den Gotthard und den Simplon gebaut und mit der Nutzstrombremse versehen wurden.

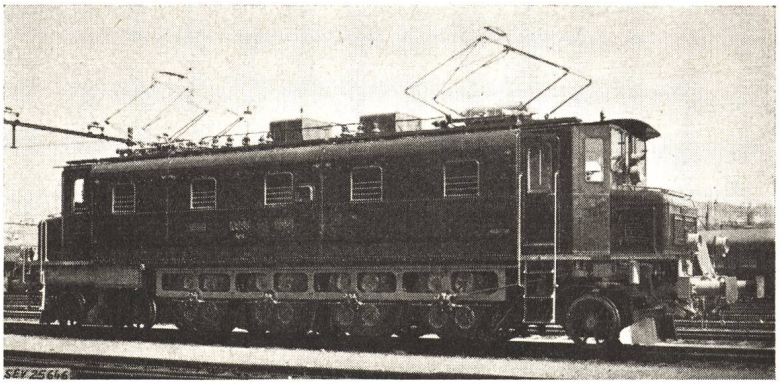

Fig. 5
Schnellzuglokomotive Ae 4/7
Baujahre 1927...1934. 123 t, 2300 kW (3120 PS), v_{max} = 100 km/h

II. Die Fortschritte von 1931 bis zum Ende des zweiten Weltkrieges

Die verhältnismässig geringe zulässige Anhängelast der Ae-4/7-Lokomotive hatte zur Folge, dass nach wie vor ein grosser Teil der Schnell- und der Eilgüterzüge in Doppeltraktion zu verkehren hatte. Es erschien daher an der Zeit, an die Schaffung eines den gesteigerten Bedürfnissen der Gotthardstrecke besonders angepassten und bedeutend leistungsfähigeren Triebfahrzeuges zu denken. Dabei durften auch die Änderungen nicht übersehen werden, die in der Zwischenzeit bei der zulässigen Zughakenlast eingetreten waren. Noch zu Beginn der elektrischen Zugförderung entsprach die zulässige Zughakenkraft auf den Gotthardrampen einer höchsten Anhängelast von 510 t. Im Jahre 1928 konnte dank der Indienstnahme von stärker und

besser gebautem Rollmaterial dieser Wert auf 630 t, im Jahre 1936 weiter auf 770 t und in allerjüngster Zeit nochmals auf 900 t erhöht werden.

Diese Entwicklung ermöglichte und erleichterte es, den betrieblich zwar vorteilhaften, bei so starken Triebfahrzeugen aber nicht ungefährlichen Schiebedienst abzuschaffen und die Verstärkungslokomotiven fortan entweder an die Spitze oder, bei Überschreitung der zulässigen Zughakenbelastung, als sog. Zwischenlokomotiven an geeigneter Stelle im Zuge einzureihen. Diese Betriebsweise führte auch auf den Gedanken, die neuen Gotthardlokomotiven für diejenige Anhängelast zu bauen, die der höchstzulässigen Zughakenbelastung entspricht. Bei einer Zughakenlast von 770 t und einem zugelassenen Achsdruck von 20 Tonnen musste eine solche Lokomotive mindestens 8 Triebachsen und ein Reibungsgewicht von 160 t erhalten.

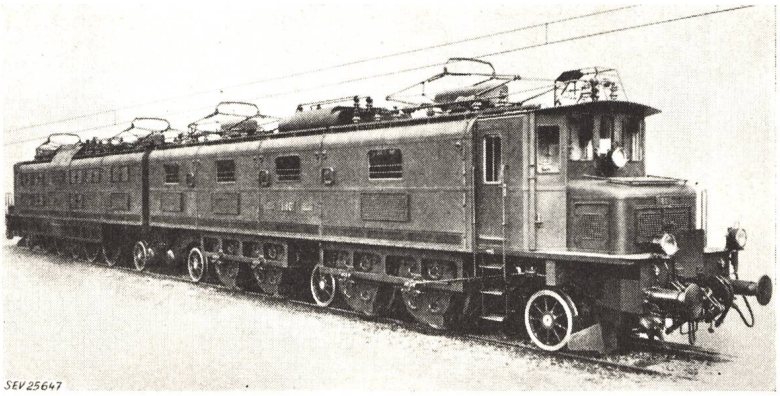

Fig. 6
Doppellokomotive Ae 8/14
Baujahr 1931. 246 t, 4600 kW (6240 PS), v_{max} = 100 km/h

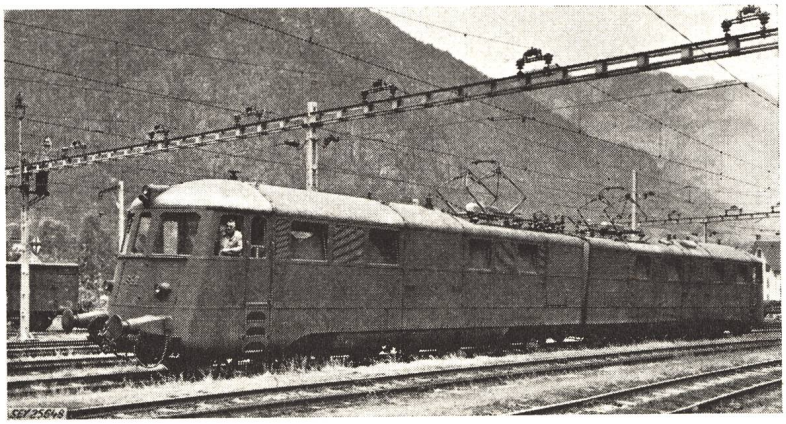

Fig. 7
Doppellokomotive Ae 8/14 Nr. 11852
Inbetriebnahme 1939. 236 t, 8800 kW (12 000 PS) (an den Motorwellen), v_{max} = 110 km/h

Da gleichzeitig die Geschwindigkeit bergwärts auf den mit Rücksicht auf die Streckenführung zulässigen Wert von 70 km/h gesteigert werden sollte, ergab sich eine erforderliche Antriebsleistung von rund 6200 kW (8400 PS). Der Sprung von den 1500 kW (2040 PS) der Be-4/6-Lokomotive war immerhin bemerkenswert. Lokomotiven mit 8 Triebachsen konnten damals wie heute nach der europäischen Praxis nur als Doppellokomotiven gebaut werden, umsomehr als nach damaliger Auffassung schnellfahrende Lokomotiven ausser den Triebachsen noch eine Anzahl Laufachsen besitzen mussten. Auf diese Weise entstanden im Jahre 1931, als Prototypen gedacht, zwei Doppellokomotiven Ae 8/14 (Fig. 6). Diese Lokomotiven sind in ihrem elektrischen Teil insofern bemerkenswert, als bei ihnen zum ersten Mal die heute sehr verbreitete Hochspannungssteuerung, d. h. die Spannungsregulierung auf der Hochspannungsseite des Stufentransformators, zur Anwendung kam. Ihnen folgte dann allerdings keine Serie, sondern nur noch eine dritte (Fig. 7), die im Jahre 1939 an der Landesausstellung zu sehen war und mit ihren 8800 kW (12 000 PS) Stundenleistung auch heute noch als die leistungsfähigste elektrische Lokomotive der Welt gilt.

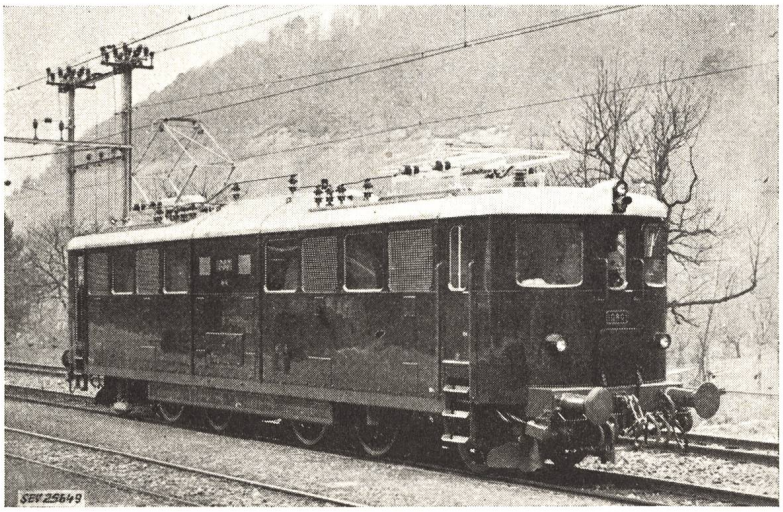

Fig. 8
Lokomotive Ae 4/6
Inbetriebnahme 1941...1945. 80 t, 4100 kW (5540 PS), v_{max} = 125 km/h

Die Gründe, die eine Nachbeschaffung solcher Lokomotiven nicht für ratsam erscheinen liessen, waren weniger traktionstechnischer als betrieblicher und wirtschaftlicher Natur. So wirkt sich

z. B. die durch das 34 m lange Triebfahrzeug entsprechend vergrösserte Zugslänge auf vielen ohnehin schon zu knapp bemessenen Kreuzungs- und Überholungsgeleisen und in gewissen Bahnhöfen mit beschränkten Perronlängen sehr nachteilig aus. Sie kann sogar dazu führen, dass deswegen die Zahl der mitgeführten Wagen vermindert werden muss. Auch in den Depots und Werkstätten versperren solche Lokomotiven bei Reparatur- und Unterhaltsarbeiten sehr viel Platz. Zudem wächst naturgemäss die Störungsanfälligkeit mit der Grösse und der Vielteiligkeit eines Triebfahrzeugs. Es kam daher nicht ungelegen, dass die inzwischen erzielten Fortschritte im Lokomotivbau es ermöglichten, auf eine in jeder Hinsicht günstigere Bauart überzugehen.

Fig. 9
Lokomotive Ae 6/6
Inbetriebnahme 1952 und später. 120 t, 4400 kW (6000 PS), v_{max} = 125 km/h

Es war dies die Baureihe Ae 4/6 (Fig. 8). Sie stellt im Grunde genommen die Hälfte der zuletzt gebauten Ae-8/14-Lokomotive dar, besitzt aber ausser den 4 Triebachsen nur noch 2 Laufachsen und daher ein günstigeres Verhältnis zwischen Reibungsgewicht und Gesamtgewicht. Dank der eingebauten Vielfachsteuerung lassen sich zwei derartige Lokomotiven zusammengekuppelt genau gleich verwenden wie eine Ae-8/14-Lokomotive und sind einer solchen traktionstechnisch sogar noch etwas überlegen. Einzeln eingesetzt haben sie die angeführten Nachteile der Doppellokomotiven nicht, und bei Defekten ist der Ausfall an Traktionsleistung geringer und weniger verhängnisvoll. In den Jahren 1940...1945 sind im ganzen 12 Ae-4/6-Lokomotiven gebaut und auf der Gotthardstrecke in Betrieb genommen worden. Eine Fortsetzung fand auch diese Serie nicht, weil sich inzwischen im Bau elektrischer Lokomotiven eine ganz neue Entwicklung angebahnt hatte.

III. Neue Möglichkeiten in der Nachkriegszeit

Eingeleitet wurde diese letzte Epoche im Jahre 1944 mit dem Bau der ersten schnellfahrenden laufachsenlosen Drehgestell-Lokomotive für die BLS. Diese erbrachte den Beweis, dass es auch bei einer schnellfahrenden Lokomotive grosser Leistung zur Erzielung befriedigender Laufeigenschaften keiner vorlaufenden Laufachsen bedarf. Seither ist diese Erkenntnis Allgemeingut geworden, und heute sind laufachsenlose Drehgestell-Lokomotiven mit Leistungen bis gegen 880 kW (1200 PS) pro Achse im Betrieb. Selbstverständlich war auch die Zugförderung am Gotthard im Lichte dieser neuen Entwicklung zu überprüfen und neu zu überdenken. Dies ist im Jahre 1949 geschehen. Letzten Endes war dabei insbesondere abzuklären, ob es am Gotthard inskünftig wirtschaftlicher und zweckmässiger sei, vierachsige Lokomotiven von rund 80 t und 3000 kW (4000 PS) (nach Art der bekannten Ae-4/4-Lokomotiven der BLS) oder sechsachsige von rund 120 t und 4400 kW (6000 PS) einzusetzen. Aus dieser mit aller Gründlichkeit durchgeführten Untersuchung ging hervor, dass beide Lösungen Vor- und Nachteile haben, dass aber die Vorteile der Verwendung von sechsachsigen Lokomotiven überwiegen.

Diese Erkenntnis führte zur Entwicklung einer neuen Lokomotivreihe, der Lokomotive Ae 6/6 (Fig. 9). Nach erfolgreicher Erprobung von zwei im Jahre 1952 in Betrieb genommenen Probelokomotiven sind in den Jahren 1954 und 1956 je weitere 12 und erst kürzlich weitere 24 solcher Lokomotiven in Auftrag gegeben worden. Zur Zeit stehen 14 Stück im strengsten Dienst der Schnell- und Eilgüterzüge und haben bereits zu einer fühlbaren Verbesserung der Zugförderung am Gotthard geführt. Von allen auf der Gotthardstrecke eingesetzten Bauarten ist diese die einzige, welche nach heutigen Anschauungen als zeitgemäss angesehen werden kann. Wenn die noch im Bau befindlichen und zum allergrössten Teil ebenfalls für die Gotthardstrecke bestimmten Einheiten dort einmal eingesetzt sein werden, wird dieser Lokomotivtyp das Rückgrat der Zugförderung am Gotthard bilden. Es soll daher auch in diesem Zusammenhang noch etwas eingehender von ihm die Rede sein.

Wie alle neuzeitlichen elektrischen Triebfahrzeuge ist auch die Ae-6/6-Lokomotive als laufachsenloses Drehgestell-Fahrzeug gebaut worden. Die 6 Triebachsen sind in zwei dreiachsige Drehgestelle eingebaut. Der totale Radstand jedes Drehgestells beträgt 4,3 m, derjenige der ganzen Lokomotive 13 m und die Länge über die Puffer gemessen 18,4 m. Der Fahrzeugteil besitzt alle konstruktiven Merkmale einer modernen, schnellfahrenden Drehgestell-Lokomotive, wie etwa die doppelte Abfederung des Kastens, spielfreie zylindrische Achsbüchsführungen, kontrolliertes und begrenztes Seitenspiel der beiden äusseren Achsen der Drehgestelle mit Rückführung durch auf Schub bean-

spruchte Gummipolster, primäre Abfederung über Schraubenfedern mit Reibungsdämpfern, pendelnde Kastenaufhängung über Blattfedern mit Flüssigkeitsdämpfern zwischen Kasten und Drehgestellen, seitliche Abstützung der Lokomotivbrücke in Gleitbahnen, Querkupplung der beiden Drehgestelle, weitgehende Konzentration der Massen gegen die Mitte der Drehgestelle und des Lokomotivkastens, geringe Zahl von Bauteilen, die laufend Schmierung und Unterhalt erfordern und einem Verschleiss unterworfen sind. Diese Massnahmen verleihen der Lokomotive auch bei hohen Geschwindigkeiten die besten Laufeigenschaften, sowohl in der Geraden wie in den zahlreichen engen Kurven der Gotthardstrecke, halten die statischen und dynamischen Kräfte zwischen Rad und Schiene in mässigen Grenzen und lassen für den Unterhalt den geringsten Zeit-, Arbeits- und Kostenaufwand erwarten.

Jeder Triebachse ist ein Fahrmotor zugeordnet, dessen Drehmoment über einen Brown-Boveri-Federantrieb auf die Triebachse übertragen wird. Jeder Fahrmotor besitzt, an der Motorwelle gemessen, eine Stundenleistung von 736 kW (1000 PS) bei 71 km/h. Dies entspricht bei einem Übersetzungsverhältnis des Antriebes von 1 : 2,56 einer Stundenzugkraft am Radumfang von 22 t. Während der Anfahrt gestatten die Motoren die volle Ausnützung der Adhäsion bei einer Zugkraft von rund 33 t. Mit diesen Daten ist die Lokomotive imstande, auf Steigungen bis zu 27 ‰, wie sie auf der Gotthardstrecke vorkommen, Anhängelasten von 600 Tonnen mit 75 km/h zu befördern und mit dieser Last auch auf der grössten Steigung anzufahren. Auf den Zufahrtstrecken, die Steigungen von höchstens 11 ‰ aufweisen, kann eine solche Lokomotive 1600 t Anhängelast führen.

Für die Speisung der 6 ständig parallel geschalteten Fahrmotoren mit der zur Regulierung der Zugkraft und Geschwindigkeit notwendigerweise variabeln Spannung dient ein radial geblechter Stufentransformator von 4500 kVA Nennleistung in Verbindung mit einem Stufenschalter, der die Stufenspannungen auf der Hochspannungsseite des Transformators abgreift. Auf diese Weise können den Motoren in 28 Fahrstufen Spannungen von 28 bis 500 V zugeführt werden.

Für die Gefällebremsung sind diese Lokomotiven mit einer Nutzstrombremse versehen, welche in den Gefällen der Gotthardstrecke ausser dem Lokomotivgewicht auch noch rund 300 t Anhängelast auf konstante Geschwindigkeit abbremsen kann. Es wird dabei eine von der Maschinenfabrik Oerlikon entwickelte Schaltung verwendet, die sich durch günstigen Wirkungsgrad und Leistungsfaktor, durch gute Regulierfähigkeit und einen geringen Aufwand an zusätzlicher Apparatur auszeichnet.

Selbstverständlich sind diese Fahrzeuge auch mit einer sehr leistungsfähigen mechanischen und pneumatischen Bremse ausgerüstet. Ihre Wirkung kann dem Wagenmaterial des zu führenden Zuges angepasst und wahlweise der Güterzugs-, Personenzugs- oder Rapidbremse (Hochleistungsbremse mit von der Geschwindigkeit abhängiger abgestufter Bremswirkung) entsprechend eingestellt werden.

IV. Ausblick

Die erwähnte Untersuchung, die schliesslich zur Schaffung der Baureihe Ae 6/6 führte, bezog sich in erster Linie auf die Traktion der Reisezüge. Dabei wurde die Frage offen gelassen, ob es gerechtfertigt erscheint, neben dieser Gattung noch eine weitere Serie einer vornehmlich bei Güterzügen einzusetzenden Lokomotive zu bauen. Es war aber schon damals vorauszusehen, dass die grossen Unterschiede in den Geschwindigkeiten der Reise- und der Güterzüge mehr und mehr verschwinden müssen und mit ihnen auch die Begriffe der Güterzuglokomotiven und der Schnellzuglokomotiven. Die Forderung nach einer Universallokomotive, die allen Zwecken in gleicher Weise und in gleicher Vollkommenheit dienen kann, ist zwar, gerade auch für die Zugförderung am Gotthard, schon früher immer wieder erhoben worden. Um sie zu erfüllen fehlten aber meistens die technischen Möglichkeiten oder die wirtschaftlichen Voraussetzungen. Heute ist die Technik im Bau elektrischer Triebfahrzeuge jedoch so weit, dass dieser alte Wunsch vorbehaltlos und unter Wahrung der Wirtschaftlichkeit in Erfüllung gehen kann. Die Ae-6/6-Lokomotive ist eine solche Universallokomotive, und es besteht heute kein Grund mehr, die Zahl der Typen noch durch eine neue Güterzuglokomotive zu vergrössern.

Infolge der grossen Verkehrszunahme der letzten Jahre ist die Gotthardstrecke bis an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit belastet. Als grosses Hindernis erweisen sich dabei immer wieder die langsamen Güterzüge, die besonders während der Bergfahrt die Strecke während allzu langer Zeit belegen. Die Angleichung ihrer Fahrzeit an diejenige der Reisezüge ist eines der noch nicht ausgeschöpften Mittel zur Steigerung der Leistungsfähigkeit der Strecke. Solange aber ein grosser Teil der Güterzüge immer noch mit den alten Ce-6/8-Lokomotiven bespannt werden muss, ist eine solche Angleichung nicht möglich. Eine gewisse Verbesserung konnte immerhin dadurch erreicht werden, dass schon vor 15 Jahren 13 Ce-6/8^{II}-Lokomotiven mit umgebauten Fahrmotoren höherer Leistung versehen und für eine Höchstgeschwindigkeit von 75 km/h zugelassen wurden. Ihre Anhängelast konnte dabei von 430 auf 520 t und ihre Geschwindigkeit bergwärts von 35 auf 45 km/h gesteigert werden. Schliesslich wurde vor kurzem auch noch die Höchstgeschwindigkeit der 18 Ce-6/8^{III}-Lokomotiven von bisher 65 auf 75 km/h hinaufgesetzt. Da die Lokomotiven aber unverändert geblieben sind, kann sich diese Massnahme lediglich bei der Talfahrt leerfahrender Vorspannlokomotiven und bei der Führung ganz leichter Züge auswirken.

Die endgültige Lösung wird nur in der restlosen Beseitigung der Ce-6/8-, Be-6/8- und Be-4/6-Lokomotiven von der Gotthardstrecke bestehen können. Die ersten beiden Serien werden dabei durch neue Ae-6/6-Lokomotiven zu ersetzen sein. An Stelle der Be-4/6-Lokomotiven, die heute noch im Personenzugsdienst verwendet werden, werden die im Schnellzugsdienst durch die Ae-6/6-Lokomotiven teilweise verdrängte Bauart Ae 4/6 und allenfalls

einige neu zu beschaffende Ae-4/4-Lokomotiven treten müssen. Im übrigen werden auch einige der dem lokalen Verkehr dienenden Personenzüge durch Triebwagenzüge ersetzt werden können.

Damit steht im Jubiläumsjahr der Gotthardbahn eine baldige und weitgreifende Verjüngung ihres Triebfahrzeugparkes in Aussicht. Diese Verjüngung wird wesentlich dazu beitragen können, eine weitere Steigerung der Leistungsfähigkeit dieses wichtigen Schienenweges herbeizuführen.

37 Jahre elektrische Zugförderung auf der Gotthardstrecke! Dies ist eine kurze Spanne in der Entwicklungsgeschichte der Technik. Aber wie oft und wie rasch haben sich doch schon während dieser kurzen Zeit nicht nur die an die Zugförderung gestellten Anforderungen, sondern auch die zu ihrer Erfüllung gebotenen Möglichkeiten geändert! Die Ansprüche sind gewaltig gestiegen, aber auch die Technik ist fortgeschritten und hat keine Wünsche unerfüllt gelassen.

Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. *E. Meyer*, dipl. Elektroingenieur ETH, Maschineningenieur des Kreises III der Schweizerischen Bundesbahnen, Sihlpostgebäude, Zürich 4.

Le contrôle de la surcharge des lignes aériennes par image thermique

Par *M. Cuénod*, Genève, et *R. Renchon*, Bruxelles

621.315.1 : 621.3.017.7

Dans l'ensemble des installations destinées au transport de l'énergie électrique, les lignes constituent l'élément le plus couteux; il est donc essentiel d'utiliser aussi complètement que possible leur capacité et de les protéger contre tout risque. Dans ce but, le critère le plus rationnel à prendre en considération dans un grand nombre de cas est la température du câble. Cette température dépend d'une part de conditions externes au câble, température de l'air ambiant, vent, etc., d'autre part du courant transporté et de l'allure des variations de ce courant.

L'image thermique de lignes aériennes tient compte aussi fidèlement que possible de ces différents facteurs; elle est ainsi susceptible d'assurer une protection efficace de ces lignes tout en permettant d'utiliser au maximum leur capacité de surcharge, en particulier dans le cas des fluctuations des puissances d'échange qui se produisent sur les lignes d'interconnexion.

Unter den Einrichtungen, die dem Transport elektrischer Energie dienen, stellen die Hochspannungsleitungen das teuerste Element dar. Es ist deshalb zweckmässig, ihre Leistungsfähigkeit möglichst weitgehend auszunützen und sie gegen jedes Risiko zu schützen. Bei der Verwirklichung dieser Aufgabe dient in vielen Fällen die Temperatur der Leiter als geeignetstes Kriterium zur Beurteilung der Verhältnisse. Sie hängt einerseits von den äusseren Bedingungen ab, denen die Leiter ausgesetzt sind (Umgebungstemperatur, Wind usw.), anderseits von der Strombelastung und deren zeitlichem Verlauf.

Das «thermische Nachbild» von Freileitungen trägt diesen verschiedenen Faktoren möglichst getreu Rechnung. Damit ist man in der Lage, die Leitungen wirksam zu schützen, wobei sich diese bis an die Grenze ihrer Überlastbarkeit ausnützen lassen, was insbesondere bei den Belastungsschwankungen, wie sie bei der Übertragung von Ausgleichslast vorkommen, vorteilhaft ist.

I. Introduction

Dans l'ensemble des installations à haute tension que nécessite le transport de l'énergie électrique, les lignes constituent l'élément le plus coûteux. Il est donc essentiel, d'une part, d'en tirer le meilleur parti possible et, d'autre part, de les protéger contre tout risque de dégâts.

Des moyens très complets ont été développés pour protéger les lignes contre les risques «externes» (coups de foudre, courts-circuits, etc.); par contre en ce qui concerne les risques «internes» provenant de l'échauffement du conducteur à la suite des surcharges de puissance transitée par la ligne, les moyens usuels de protection, basés sur des relais à maximum de courant plus ou moins temporisés, sont relativement primitifs et ne tiennent compte que très indirectement du véritable critère à prendre en considération, à savoir la température des conducteurs.

D'une part cette température dépend de conditions extérieures au câble: température de l'air ambiant, vent, etc.; d'autre part, la capacité thermique du câble amortit les variations de sa température par rapport aux variations du courant qu'il transporte.

Une solution qui tient compte de façon systématique des différents facteurs tant externes qu'internes, dont dépend la température des conducteurs, est constituée par «*l'image thermique*» de ligne [1, 2, 3, 19][1]). Le but de cet article est de décrire succinctement ce moyen de contrôle et de montrer les principales perspectives qu'il ouvre pour l'exploitation des réseaux.

La capacité des lignes d'interconnexion en particulier est souvent faible par rapport à la puissance des complexes qu'elles raccordent. La puissance d'échange qu'elles transportent est soumise à de continuelles fluctuations, ainsi qu'à de brusques changements en cas d'incident, fourniture de secours, etc. Il en résulte que cette puissance peut parfois largement dépasser, de façon momentanée, le calibre nominal de la ligne sans toutefois provoquer nécessairement un échauffement dangereux.

L'élimination complète des fluctuations de charge sur les lignes de transport d'énergie nécessiterait la mise en œuvre de moyens locaux de réglage très importants et de coûteux efforts de variation de production; elle diminuerait ainsi le bénéfice que l'on est en droit d'attendre de l'interconnexion. Aussi la tendance actuelle est-elle de chercher à régler la valeur «moyenne» des puissances d'échange et de tolérer de fortes variations passagères, pour autant toutefois que la température du câble n'atteigne pas une valeur inadmissible.

On se propose d'étudier plus particulièrement la répercussion de l'allure de ces variations de charge sur la capacité de surcharge d'une ligne et de mettre

[1]) Voir la bibliographie à la fin de l'article.