Hundert Jahre elektrische Eisenbahn : Rückblick aus schweizerischer Sicht auf die Entwicklung der elektrischen Eisenbahn

Autor(en): **Ernst, A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **70 (1979)**

Heft 9

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905371

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

BULLETIN

des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
de l'Association Suisse des Electriciens

des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke
de l'Union des Centrales Suisses d'Electricité

Elektrotechnik – Electrotechnique

Hundert Jahre elektrische Eisenbahn: Rückblick aus schweizerischer Sicht auf die Entwicklung der elektrischen Eisenbahn [1])

Von A. Ernst

Die elektrische Bahn begann als gleichstromgespeiste Strassenbahn. Kurz vor der Jahrhundertwende kam die erste Vollbahn (Burgdorf–Thun) mit Drehstrom in Betrieb. Grossversuche zeigten die Überlegenheit des Einphasen-Wechselstromes niedriger Frequenz und hoher Spannung. Die Entwicklung der Halbleitertechnik nach dem Zweiten Weltkrieg verhalf dem Einphasensystem von Industriefrequenz (50...60 Hz) weltweit zum Durchbruch.

La traction électrique a débuté avec des tramways à courant continu. Peu avant la fin du 19e siècle est venu le premier train à voie normale (Burgdorf–Thun) alimenté en triphasé. Des essais à grande échelle ont ensuite démontré la supériorité du courant monophasé à basse fréquence et à haute tension. Après la seconde guerre mondiale, le développement de la technique des semi-conducteurs a permis d'introduire le système monophasé à fréquence industrielle (50...60 Hz) dans le monde entier.

1. Die Erfindung von Werner Siemens

In diesen Tagen wird der 100. Geburtstag der elektrischen Eisenbahn gefeiert.

Werner Siemens [1] führte am 31. Mai 1879 anlässlich einer Gewerbeausstellung in Berlin einem breiten Publikum seine «Eisenbahn ohne Dampf und ohne Pferd» vor (Fig. 1). Als Grubenbahn konzipiert, diente diese Eisenbahn ohne Transportaufgabe scheinbar nur der Volksbelustigung. *Siemens* ging es aber darum, den Stromübergang von einem feststehenden Leiter auf einen beweglichen Kontakt zu erproben. Dieses unscheinbare Element, der «Kupferbesen», wie *Siemens* es nannte, der auf einer Schiene schleift, war die Erfindung von Siemens. Er machte damit den Elektromotor grosser Leistung mobil. Gleichzeitig hatte er den Weg gefunden, einem Fahrzeug während der Fahrt Energie zuzuführen. Damit setzte er aber auch die noch heute wichtige Alternative *fahrdrahtabhängig – fahrdrahtunabhängig* in die Welt.

[1]) Siehe auch Lit. [9].

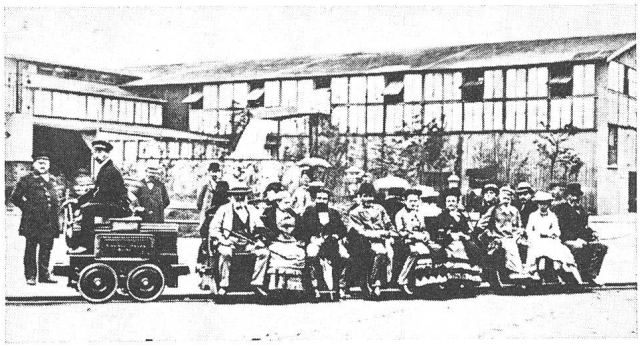

Fig. 1 Die erste elektrische Eisenbahn anlässlich der Berliner Gewerbeausstellung 1879

Die Ausstellungsbahn in Berlin lockte viele Besucher an. Gegen 90000 Personen wurden auf der etwa 300 m langen Rundbahn herumgeführt. Aber das Echo blieb aus.

Die Dampflokomotive befand sich damals in einem Stadium lebhafter Entwicklung. Man war zufrieden mit der Dampftraktion und sah keinen Grund zu deren Ersatz. Der Markt für die elektrische Eisenbahn fehlte.

2. Erfinder und Bastler am Werk

Diesseits und jenseits des Atlantiks nahmen sich Erfinder und Bastler des Problems der Stromzuführung an. Die Aufsichtsbehörden der meisten Länder beobachteten die Entwicklung misstrauisch und erliessen einengende Vorschriften. Die Telegraphenleute waren beunruhigt über die Rückleitung des Stromes durch die Erde.

Auch der grosse amerikanische Erfinder *Thomas Alva Edison* beschäftigte sich mit dem Problem des Stromüberganges zum Fahrzeug. Wie viele vor ihm jedoch ohne Erfolg. Mit einem Mitarbeiter, *Francis Julian Sprague* [2], hatte er sich zerstritten. *Sprague* löste sich von *Edison* und gründete eine eigene Firma. Diese erhielt 1888 den Auftrag zur Einrichtung einer elektrischen Strassenbahn in Richmond (Virginia, USA). *Sprague* hatte Erfolg. Er hatte nämlich den Stangenstromabnehmer mit der Rolle, die den Draht von unten her berührt, sowie den Tatzlagerantrieb (Nose suspended motor) und darüber hinaus auch noch die Starkstrom-Vielfachsteuerung erfunden, die gestattet, mehrere Wagen von einem Führerstand aus bedienen zu lassen.

Die Strassenbahn Richmond wurde ein durchschlagender Erfolg. Wie ein Lauffeuer verbreitete sich die Kunde von der elektrischen Strassenbahn in den USA und dann auch in Europa. Sie ist der Feinverteiler der dem Fernverkehr dienenden «Hauptbahn».

3. Die Frühzeit der elektrischen Bahnen in der Schweiz

Die erste elektrische Bahn in der Schweiz war die Verbindung Vevey–Montreux–Territet, halb Strassenbahn, halb Überlandbahn. Sie hatte eine zweipolige Fahrleitung, wobei in einem Schlitzrohr ein Schiffchen als beweglicher Kontakt von einem Kabel nachgezogen wurde. Sie kam 1888, also fast gleichzeitig mit der Strassenbahn Richmond in Betrieb und diente der Verbindung der Zentren der aufblühenden Touristikgegend Montreux.

Die 1891 in Betrieb genommene Bahn Sissach–Gelterkinden verband die aufstrebende Region Gelterkinden mit der Hauensteinlinie der Schweizerischen Centralbahn (SCB). Eine ähnliche Funktion hatte die Grütschalp–Mürren-Bahn, ebenfalls 1891 erbaut, mit welcher über die Standseilbahn Grütschalp–Lauterbrunnen das Touristengebiet von Mürren mit der Berner Oberlandbahn (BOB) erreicht werden kann.

Die 1894 in Betrieb genommenen Strassenbahnen in Zürich dienten dem Nahverkehr innerhalb der Agglomeration Zürich. Damals wurde jede Linie noch von einer eigenen Gesellschaft betrieben.

Die genannten Überlandbahnen wurden von gesellschaftseigenen Wasserkräften mit Gleichstromgeneratoren gespeist. Die Strassenbahnen in Zürich hatten thermische Kraftwerke mit Dampfmaschinen und Gasmotoren.

4. Fortschritte in der elektrischen Kraftübertragung

In dieser Frühzeit der elektrischen Bahnen machte die Wechselstromtechnik von sich hören. 1891 bauten die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft (AEG) und die Maschinenfabrik Oerlikon (MFO) die Kraftübertragung Lauffen a. N. – Frankfurt a. M. mit einer Drehstrom-Übertragungsleitung von 15 kV. Grossen Eindruck machten damals die Übertragungsdistanz von 170 km und auch die einfache Konstruktion des Motors, der in Frankfurt die Pumpe für einen Springbrunnen antrieb.

Wäre eine derart hohe Spannung auch für Bahnen zulässig gewesen, wäre deren Aktionsradius bedeutend grösser geworden. Die für Fahrleitungen maximal erlaubte Spannung war aber vom Eisenbahndepartement auf 750 V festgelegt worden. Es bestand allerdings die Möglichkeit, längs der Bahn Transformatorenstationen zu errichten und diese durch eine Hochspannungsleitung zu speisen.

Mit dieser Lösung gewann die AG Brown, Boveri & Co (BBC) an einer internationalen Ausschreibung gegenüber vier Konkurrenten, die durchwegs Gleichstrom für die Elektrifikation der im Bau befindlichen Gornergrat-Bahn (GGB) vorgeschlagen hatten. *C. E. L. Brown* [3], bis 1891 Konstruktionschef der Elektrischen Abteilung der MFO war am Erfolg der Kraftübertragung Lauffen-Frankfurt massgebend beteiligt und gründete 1891 mit *Walter Boveri* [4] die Firma BBC. Mit den Problemen des Drehstromes war er bestens vertraut. Er sah darin die grosse Möglichkeit für die elektrische Traktion. So wurde die GGB von Anfang an (1898) mit gutem Erfolg elektrisch betrieben. Als grosse Vorteile wurden empfunden:

- Transformierbarkeit des Wechselstromes
- bedienungslose Transformatorenstationen
- konstante Geschwindigkeit des Fahrmotors, auch bei der Talfahrt, wobei sogar Strom in die Zentrale zurückgegeben wurde [5].

Die Jungfraubahn, welche zur gleichen Zeit das erste Teilstück Kleine Scheidegg–Eigergletscher in Betrieb nahm, wandte das gleiche Traktionssystem an. Vorgesehen waren Transformatorstationen in Abständen von 1...1,5 km.

Für die neu erbaute Burgdorf–Thun-Bahn, die 1899 in Betrieb kam, galten die Vorzüge des Drehstromes in noch grösserem Masse, denn die ca. 40 km lange Strecke benötigte bei 750 V Fahrdrahtspannung 14 Transformatorenstationen. Gleichstrombetrieb mit 750 V hätte etwa 8 bediente Umformeranlagen benötigt. Interessant ist, dass *Brown* für Drehstrom kleinere Speisepunktabstände vorsah als für Gleichstrom, «weil der Gleichstrommotor weniger empfindlich ist auf Unterspannung als der Wechselstrommotor» [6].

5. Elektrische Traktion in Konkurrenz mit der Dampftraktion

Die Elektrifikation der Burgdorf–Thun-Bahn (BTB) war sowohl für die elektrische Bahn wie auch für die Dampftraktion ein Fanal. Kostenrechnungen hatten ergeben, dass die Verzinsung und Amortisation der Mehrinvestitionen für den elektrischen Betrieb durch die kleineren Betriebskosten gedeckt wurden. Die BTB zog dabei die richtigen Schlüsse und verdichtete den Fahrplan. Ihre Direktion sah sogar eine dem Trambetrieb ähnliche Betriebsweise voraus, bei welcher in kurzen Intervallen kleine Züge geführt würden.

Der Triebfahrzeugpark der BTB bestand aus

- 2 Güterzugslokomotiven für 18/36 km/h (mit mechanischem Schaltgetriebe im Stillstand wählbar), Leistung 300 PS (220 kW) und einer zulässigen Anhängemasse bei Steigung von 25‰ und 18 km/h von 100 t.
- 6 «Automobile» (Triebwagen) BC^4 mit 4 Tatzlagermotoren zu je 60 PS (total 175 kW). Die normale Anhängemasse des Automobils bestand aus einem Anhängewagen von 10...15 t Tara (Fig. 2).

Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die Bahn den Güterverkehr und den Personenverkehr vollständig entflocht.

Anlässlich der Generalversammlung des SEV 1901 in Montreux schlug *Ed. Tissot* vor, eine schweizerische Studienkommission für den elektrischen Bahnbetrieb zu gründen, welche die Probleme des elektrischen Bahnbetriebes klären sollte. 1903 konstituierte sich diese Kommission. Sie bestand aus Vertretern der Bahnen, der Industrie, des SEV, des VSE, der Behörden und der ETH. Sie stellte sich zur Aufgabe, den Aufsichtsbehörden des Bundes beim Erlass von Vorschriften mit

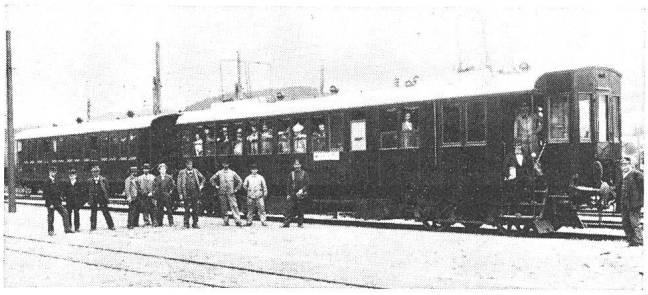

Fig. 2 Personenzug mit «Automobilwagen» der Burgdorf–Thun-Bahn (1899)

Empfehlungen beizustehen und am Beispiel der Elektrifikation der Gotthardlinie Luzern–Chiasso die verschiedenen in Frage kommenden Systeme zu evaluieren.

6. Der «Systemkrieg» in der Schweiz

Mit der Forderung, die Hauptbahnen der Schweiz mit dem leistungsfähigen Einphasenstrom von 15 kV und niedriger Frequenz zu elektrifizieren, entfachte *Emil Huber-Stockar* der MFO [7] einen wahren Systemkrieg. Vor- und Nachteile der verschiedenen, damals zur Diskussion stehenden Systeme sind in Tabelle I zusammengestellt. *Huber* betrachtete die zweipolige Fahrleitung des Drehstromsystems als sehr schwerwiegenden Nachteil; BBC warf *Huber* vor, über gar keinen brauchbaren Motor zu verfügen.

MFO elektrifizierte die Strecke Seebach–Wettingen, um in einem Grossversuch die Brauchbarkeit des Systems nachzuweisen (Fig. 3). Als Gegenstück elektrifizierte BBC den Simplontunnel mit Drehstrom 3,6 kV, $16^2/_3$ Hz (Fig. 4).

Siemens Schuckert beteiligte sich am Versuchsbetrieb Seebach–Wettingen und stellte eine Lokomotive zur Verfügung. Darüber hinaus erstellte Siemens die Fahrleitung Regensdorf–Wettingen.

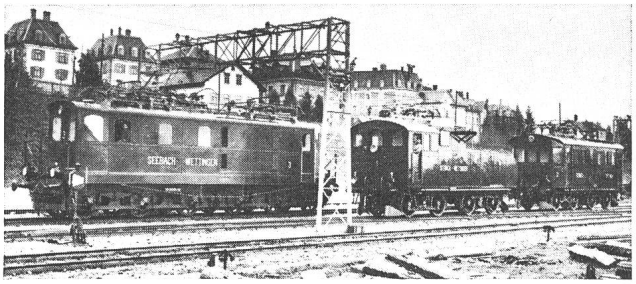

Fig. 3 Triebfahrzeugpark des Versuchsbetriebes Seebach–Wettingen
Von links nach rechts:
Lokomotive Nr. 3 von Siemens (1907)
Lokomotive Nr. 1; 1904 bis 1905 Umformerlokomotive 50 Hz/Gleichstrom, dann mit Wechselstrommotoren ausgerüstet,
Lokomotive Nr. 2; von Anfang an als Einphasenlokomotive mit Direktmotoren konzipiert (1905)

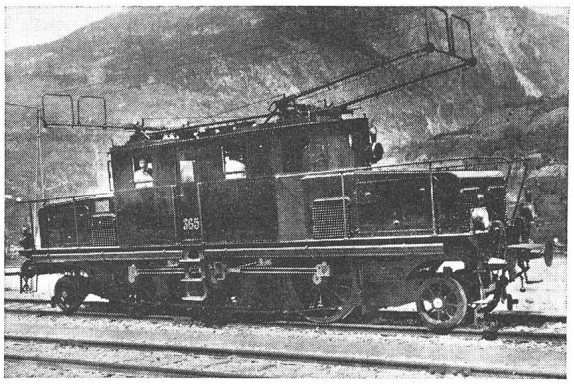

Fig. 4 Drehstromlokomotive für den Simplontunnel (1906)

Der Drehstrombetrieb im Simplon, dem längsten Tunnel der Welt, funktionierte einwandfrei. Aber auch die befürchteten Sorgen mit der hohen Fahrleitungsspannung zwischen Seebach und Wettingen blieben aus. Auch der 1904 von *Hans Behn-Eschenburg* [8] erfundene Einphasen-Fahrmotor lief gut und erwies sich als durchaus brauchbar. Dass er eine niedrige Frequenz brauchte, störte niemanden. Die italienischen Drehstromlokomotiven, so auch die von der Valtellina-Bahn übernommenen Lokomotiven für den Simplontunnel, funktionierten mit $16^2/_3$ Hz. Damit konnte man ein Reduktionsgetriebe zwischen Motor und Triebachse einsparen.

Aus Deutschland kamen aufsehenerregende Neuigkeiten: Drehstrom-Triebwagen von AEG und Siemens hatten bei Versuchsfahrten zwischen Zossen und Marienfelde mehrmals eine Geschwindigkeit von 210 km/h erreicht. Die Fahrmotoren waren mit Drehstrom variabler Frequenz gespeist worden. Die Drehstromleute hatten die Weltrekorde auf ihrer Seite: den längsten Tunnel und die schnellste Eisenbahn.

Die Schweizerische Studienkommission für den elektrischen Bahnbetrieb liess sich jedoch durch Weltrekorde nicht stark beeindrucken. Noch vor dem Abschluss der Versuche Seebach–Wettingen kam ein Zwischenbericht heraus, in welchem ein Einphasensystem mit 15 kV Fahrleitungsspannung und ca. 15 Hz empfohlen wurde.

Bewertung der um die Jahrhundertwende zur Diskussion stehenden Stromsysteme für die Elektrifikation von Hauptbahnen Tabelle I

	Gleichstrom	Drehstrom	Einphasen-Wechselstrom hoher Spannung, $16^2/_3$ Hz
Fahrleitung	einpolig, bekannt	zweipolig, kompliziert in Bahnhöfen mit Weichenanlagen	einpolig, Isolation für hohe Spannungen noch unbekannt
Fahrmotor	Gleichstrom, bekannt, für Nahverkehr bewährt	Asynchronmotor, leicht, einfach, robust, kein Kommutator	Noch nicht bekannt
Leistungsfähigkeit des Systems	Durch maximale Spannung der Fahrmotoren beschränkt. Erfordert viele Speisestationen	Spannung begrenzt zufolge Isolation bei Weichen in Bahnhofanlagen	Sehr gross
Einstellung von Zugkraft bzw. Geschwindigkeit	Bekannt. Umgruppierung von Fahrmotoren; Anfahrwiderstände; Feldschwächung; 3–6 wirtschaftliche Fahrstufen	Nur diskrete Geschwindigkeiten, zum Beispiel 25–37,5–50–75 km/h	In Stufen verstellbar. Kleine Zugkraftsprünge erwünscht, erfordern grossen Aufwand am Stufentransformator und Stufenschalter
Speisung	Gleichstromgenerator oder über Umformer ab Landesversorgungsnetz	Separates Netz geeigneter Frequenz oder über Transformatoren ab Landesversorgungsnetz	Speisung ab eigenem Netz oder über Netzkupplungsumformer ab Landesversorgungsnetz

7. BLS und Rh. B. voran

Aufgrund der Versuchsergebnisse des Betriebes Seebach–Wettingen beschloss der Verwaltungsrat der Berner Alpenbahngesellschaft Bern–Lötschberg–Simplon (BLS) vorerst die Strecke Spiez–Frutigen von Dampfbetrieb auf Einphasenstrom 15 kV, 15 Hz umzustellen. Die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur (SLM) und MFO bauten eine Versuchslokomotive mit der Achsfolge C′C′, einer Stundenleistung von 2000 PS (1470 kW) und einer Maximalgeschwindigkeit von 65 km/h. Die Lokomotive bewährte sich gut im Probebetrieb, und die BLS bestellte bei SLM und MFO weitere 13 Lokomotiven, jedoch mit 2500 PS (1840 kW), 75 km/h Maximalgeschwindigkeit und der Achsfolge 1E1 (Fig. 5).

Am 1. Juli 1913 kam die Strecke Bever–Scuol–Tarasp mit Einphasenstrom 11 kV, $16^2/_3$ Hz in Betrieb mit BBC-Lokomotiven mit Repulsionsmotoren. Zwei Wochen später fuhr der erste elektrische Zug von Spiez nach Brig.

Alle drei Lieferfirmen hatten Sorgen. An den BLS-Lokomotiven traten Rüttelschwingungen auf, die zu Defekten am Dreieckrahmen für die Kupplung der Triebachsen führten. Dann traten an den Transformatoren Überschläge auf. Bei der Rhätischen Bahn machten die Repulsionsmotoren Schwierigkeiten.

Im Simplontunnel ging dagegen alles gut. Die Drehstromverehrer freuten sich.

8. Die Elektrifikation der Bundesbahnen

Der Erste Weltkrieg traf die schweizerischen Bahnen hart. Die Kohlenpreise stiegen im Laufe der Jahre auf den 6fachen Wert. 1918 war Kohle überhaupt kaum mehr zu bekommen. Deshalb fuhren die Züge langsamer und seltener. Nur die elektrischen Bahnen konnten ihren Betrieb aufrechterhalten, aber die Züge waren oft fast leer, weil die Anschlusszüge der mit Dampf betriebenen Linien nicht fuhren. Mit aller Deutlichkeit wurde dem Volk und den Behörden vor Augen geführt, in welchem Ausmasse die Schweiz vom Ausland abhängig war.

Die elektrischen Bahnen waren damals ausschliesslich Privatbahnen, die Bundesbahnen kamen mit der Elektrifikation zu spät! So einfach war es nun allerdings auch wieder nicht: Die elektrifizierten Strecken waren Neubaustrecken; einzig Spiez–Frutigen war von Dampfbetrieb auf elektrischen Betrieb umgestellt worden. Umstellen ist weit schwieriger als neu zu bauen. Dass die Bundesbahnen rasch elektrifizieren wollten, bewiesen sie, als sie schon 1912 *E. Huber-Stockar* zum Leiter der neuen Abteilung für die Einführung der elektrischen Zugförderung beriefen.

Ende 1915 wurde die Systemfrage nochmals aufgeworfen. *Boveri* gab an einer Diskussionstagung bekannt, BBC könne innert kurzer Zeit Quecksilberdampfgleichrichter liefern, welche es gestatten würden, Wechselstrom mit gutem Wirkungsgrad ohne rotierende Maschinen in Gleichstrom umzuformen. Diese könnten an die Netze für die normale Versorgung angeschlossen werden. Die SBB brauchten deshalb keine eigenen Kraftwerke zu bauen, weshalb die Elektrifikationsarbeiten rascher vorangetrieben werden könnten. *Boveri* drang mit seinen Argumenten nicht durch. Anfang 1916 beschloss der Verwaltungsrat der SBB den Bau der Kraftwerke Amsteg und Ritom und die Elektrifikation der Strecke Erstfeld–Bellinzona.

Am 1. Juli 1920 fuhr der erste elektrische Zug durch den Gotthardtunnel, am 18. Oktober wurde die Strecke Erstfeld–Airolo elektrisch befahren, am 12. Dezember 1920 reichte der elektrische Betrieb bis Biasca und am 4. April 1921 fuhren die elektrischen Lokomotiven bis Bellinzona. Am 28. Mai 1922 war die Strecke Luzern–Chiasso auf elektrischen Betrieb umgestellt. Die elektrische Lokomotive drang in den nächsten Jahren auch in das Flachland vor: Am 18. Mai 1924 konnten die Gotthardzüge elektrisch bis nach Basel fahren. Seit dem 15. Januar 1927 wird die Simplonstrecke Vallorbe–Lausanne–Brig mit Einphasenstrom betrieben. Am 15. Mai 1927 wurde der erste elektrische Zug Genf–Rorschach gefeiert, am 11. Mai 1928 erreichte die elektrische Lokomotive Chur. Am 15. Mai 1928 war die Strecke Oerlikon–Schaffhausen umgestellt und damit, mit einem Jahr Vorsprung auf die Planung, die erste Etappe der Elektrifikation der SBB abgeschlossen. Sie umfasste 55,3 % der SBB-Strecken, auf welchen sich 80,6 % des Verkehrsvolumens abwickelte.

Die Elektrifikation des übrigen SBB-Netzes wurde durch Krisen- und Kriegszeit hindurch stetig weitergeführt. Zwischen 1930 und 1936 wurden 463 km elektrifiziert, womit sich der elektrische Betrieb auf 71 % des Netzes ausdehnte. 1943 betrug der Anteil an elektrifizierten Strecken 80 %. Nach dem Krieg wurde, hauptsächlich aus betrieblichen Gründen, auch der Rest des Netzes auf elektrischen Betrieb umgestellt. Mit dem Sommerfahrplan 1960 konnte «die Rauchfahne eingezogen» und das ganze Netz elektrisch betrieben werden.

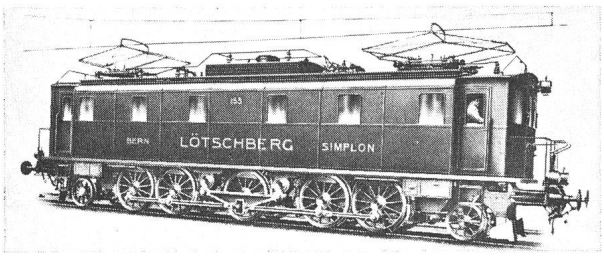

Fig. 5 Streckenlokomotive Be 5/7 mit Achsfolge 1E1 der BLS (1913)

9. Die Elektrifikation der Privatbahnen

Parallel zur Elektrifikation der SBB wurden auch die Privatbahnen elektrifiziert. Dabei verwendeten jene Bahnen, die mit den SBB gemeinsame Strecken oder Bahnhöfe haben, das System der SBB: Sihltalbahn, Südostbahn (SOB), Bodensee–Toggenburgbahn (BT). Die 1903 mit Gleichstrom elektrifizierte Strecke Fribourg–Murten–Ins (FMA) wurde bei der Elektrifikation der SBB-Strecke Lausanne–Payerne–Lyss auf 15 kV umgebaut, weil sich die beiden Linien in Murten kreuzen. In ähnlicher Weise musste auch die BTB von ihrem Drehstrombetrieb abgehen, als die SBB die Strecke Bern–Luzern elektrifizierten, weil sich die Linien in Konolfingen kreuzen.

Die Rhätische Bahn stellte 1921/22 ihr ganzes Netz auf 11 kV, $16^2/_3$ Hz um. Die Visp–Zermatt-Bahn (BVZ) übernahm 1927 das System der Rh.B. Als am Anfang des Zweiten Weltkrieges das Militärdepartement die Furka–Oberalpbahn (FO) elektrifizierte, kam natürlich nur 11 kV, $16^2/_3$ Hz in Frage. Seither existiert ein zusammenhängendes elektrifiziertes Netz von Scuol und St. Moritz bis Zermatt.

Die meisten Bergbahnen gingen vom Dampfbetrieb auf 1500 V Gleichstrom über.

Entwicklung des Triebfahrzeugparks der SBB Tabelle II

Lieferjahre	Anzahl	Serie	Achsanordnung	Adhäs. Masse	Zugkraft		Geschwindigkeit		Leistung		Verwendung
					1/h	max.	1/h	max.	1/h	Total Serie	
				t	kN	kN	km/h	km/h	kW	MW	
A 1920–23	40	Be 4/6	(1′B) (B1′)	80	105	175	52	75	1500	60	Schnellzug Gotthard
1920–22	31	Ce 6/8	(1′C) (C1′)	104	165	255	36	65	1650	51	Güterzug Gotthard
B 1922–25	60	Ae 3/6 II	2′C1′	56	85	145	65	100	1500	90	Regional- und Schnellzug Flachland
1922–25	26	Ae 3/5	1′Co1′	56	80	135	63	90	1350	35	
1921–29	114	Ae 3/6	2′Co1′	56	90	140	65	110	1600	182	
1926–27	18	Ce 6/8	(1′C) (C1′)	108	190	290	35	65	1800	32	Güterzug Gotthard/ Flachland
C 1927–34	127	Ae 4/7	2′Do1′	77	130	195	65	100	2300	292	Schnellzug Flachland/ Gotthard
D 1941–45	12	Ae 4/6	(1A) Bo (A1)	81	175	215	85	100	4100	49	Schnellzug Gotthard
1946–51	50	Re 4/4 I	Bo′Bo′	57	80	135	83	125	1875	94	Schnellzug Flachland
E 1952–55	31	BDe 4/4 *)	Bo′Bo′	57	60	95	70	110	1200	37	Regionalzug Flachland
1953–66	120	Ae 6/6	Co′Co′	120	225	390	70	125	4300	516	Schnell- und Güterzug Gotthard
F 1960–66	82	RBe 4/4 *)	Bo′Bo′	68	90	185	80	125	2000	164	Regional- und Schnellzug Flachland
1965–67	20	RABDe 12/12 *)	Bo′Bo′+Bo′Bo′+ Bo′Bo′	170	110	240	80	125	2440	49	Vorortsbetrieb Zürich
1964–75	204	Re 4/4 II	Bo′Bo′	80	170	255	100	140	4700	959	Universell verwendbar
G 1971	20	Re 4/4 III	Bo′Bo′	80	200	280	85	125	4700	94	Schnell- und Güterzug Gotthard
1972–81	89	Re 6/6	Bo′Bo′Bo′	120	270	400	106	140	7900	703	Schwere Traktion Gotthard und Flachland

*) Triebwagen und Triebzüge

10. Die wichtigsten Triebfahrzeugserien der Schweizerischen Bundesbahnen

Die wichtigsten von den SBB beschafften Triebfahrzeugserien sind in Tabelle II chronologisch aufgeführt. Der heutige Triebfahrzeugpark wurde in sieben Phasen aufgebaut, wobei jede Phase ungefähr einem Jahrzehnt zugeordnet werden kann.

In der *Phase A* (1920–23) wurden für die zuerst elektrifizierte Gotthardstrecke Schnell- und Güterzugslokomotiven benötigt (Fig. 6, 7). Die *Phase B*, die noch im gleichen Jahrzehnt aufgebaut wurde, ist gekennzeichnet durch den grossen Bedarf an Lokomotiven für die Flachlandstrecken. Hier begann auch der Übergang vom Stangenantrieb zum Einzelachsantrieb.

Trotz Wirtschaftskrise beschafften die SBB in *Phase C* die bisher grösste Serie von leistungsfähigen Lokomotiven (Ae 4/7) (Fig. 8). 30 Stück davon sind mit Rekuperationsbremse ausgerüstet; diese ersetzten die 40 Be 4/6 am Gotthard.

Phase D: Während des Krieges erarbeiteten die Instanzen der SBB zusammen mit der Industrie Konzepte neuer Lokomotiven, einerseits zur Erhöhung der spezifischen Leistung (Stundenleistung/Gesamtmasse) für die Bedienung der Gotthardstrecke, anderseits als Lokomotiven kleinerer Zugkraft,

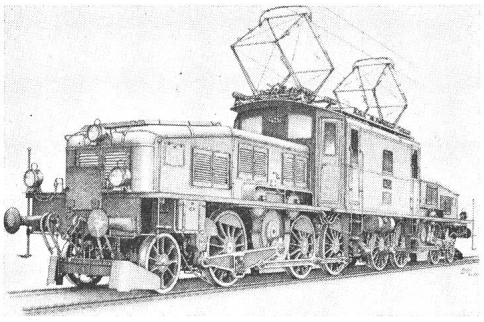

Fig. 7 Güterzuglokomotive (1′C) (C1′), Ce 6/8 für die Gotthardstrecke (1920)

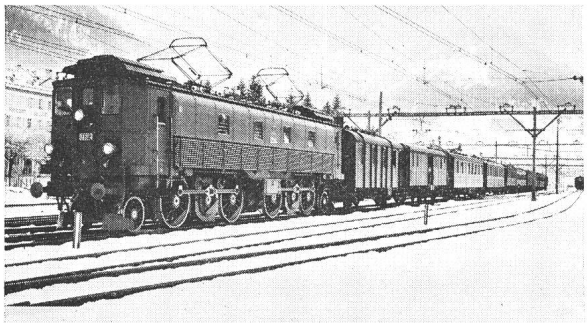

Fig. 6 Schnellzug mit Lokomotive Be 4/6 1921 in Airolo

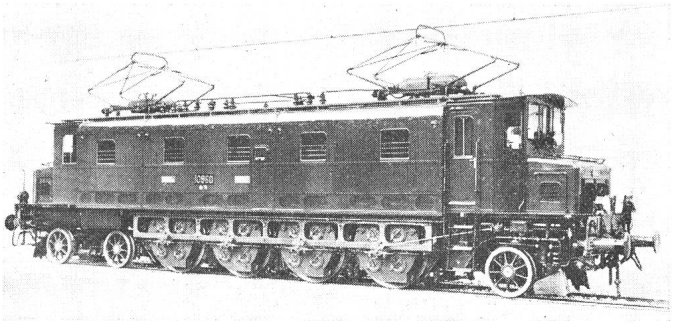

Fig. 8 Schnellzuglokomotive Ae 4/7 der SBB (1927)

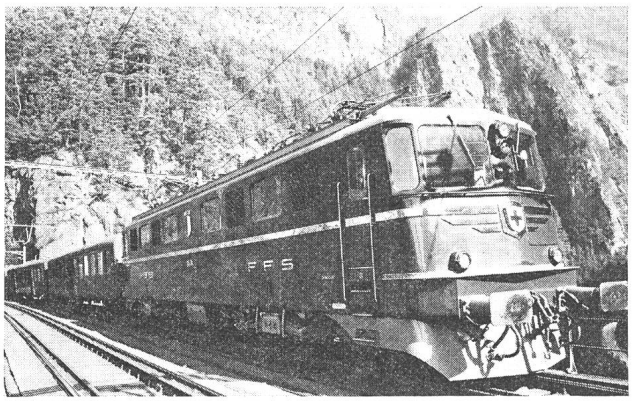

Fig. 9 Gotthardlokomotive Co′Co′ Ae 6/6 der SBB (1953...1966)

aber hoher Geschwindigkeit für die attraktiven Leichtschnellzüge zwischen den Städten. Die Ae 4/6 wurde zur typischen Lokomotive der Gotthard-Schnellzüge; der Re 4/4 wurden während eines Jahrzehnts die Leichtschnellzüge (Zürich–Genf, Basel–Chur und Zürich–Biel–Brig) anvertraut.

Phase E: Im Hinblick auf die Elektrifikation der Nebenlinien, mit welcher die Elektrifikation des gesamten Netzes in den fünfziger Jahren abgeschlossen wurde, bestand Bedarf an einem anspruchslosen Triebwagen, der mit ein bis zwei Zwischenwagen und Steuerwagen die Nebenlinien im Pendelverkehr bedienen konnte (BDe 4/4). Anderseits nahm der Güterverkehr auf der Gotthardstrecke derart zu, dass die SBB ein neues Konzept für die Förderung von Güterzügen auf der Gotthardstrecke schufen. Es verlangte, dass die Güterzüge mit derselben Geschwindigkeit über die Rampen fahren wie die Schnellzüge, damit der Schnellzugsverkehr durch langsamer fahrende Güterzüge nicht mehr behindert würde. Dazu benötigten sie eine Lokomotive mit 225 kN Stundenzugkraft bei 70 km/h Stundengeschwindigkeit. Aus diesem Pflichtenheft entstand die Ae 6/6, von der zunächst zwei Prototypen gebaut wurden. In leicht geänderter Bauart folgten 24 Stück als erste Serie (Fig. 9). Der Verkehr auf der Gotthardstrecke nahm weiter stetig zu und damit auch der Bedarf an bewährten Lokomotiven. Die Ae 6/6-Serie wurde deshalb laufend weitergebaut und erreichte 1966 den Umfang von 120 Stück.

Phase F: Der immer härter werdende Konkurrenzdruck der Strasse zwang die SBB in den sechziger Jahren zu einer Rationalisierung des Betriebes durch Modernisierung des Rollmaterials. Hochleistungstriebwagen sollten die Ae 3/6-Lokomotiven im Regionalverkehr ablösen; für den Vorortsverkehr von Zürich wurden dreiteilige Triebzüge beschafft, die – mit Allradantrieb ausgerüstet – sehr grosse Anfahrbeschleunigungen erreichen. Für die Schnellzüge im Flachland bestellten die SBB im Laufe von 10 Jahren die bisher grösste Serie von 204 Hochleistungslokomotiven. Die Bo′Bo′-Lokomotive Re 4/4 II wurde zur eigentlichen Universallokomotive. Dank der Vielfachsteuerung kann sie in Vielfachtraktion auch auf der Gotthardstrecke eingesetzt werden, wo sie sich sehr gut bewährt (Fig. 10).

Phase G: Der Verkehr auf der Gotthardstrecke wuchs weiter. Der massive Einsatz von Co′Co′-Lokomotiven hatte eine starke Abnützung der Schienen zur Folge. Aufgrund guter Erfahrungen mit der Bo′Bo′-Lokomotive Re 4/4 II beschlossen die SBB die Anschaffung einer Serie von Bo′Bo′Bo′ Re 6/6 für die schwere Traktion. Die Lokomotive wurde leistungsmässig so konzipiert, dass sie Anhängemassen bis 800 t mit 80 km/h über die Rampen der Gotthardstrecke fördern kann. Auch einen eventuell einmal gebauten Gotthard-Basistunnel kann sie mit 800 t Anhängemasse mit 140 km/h durchfahren. Diese Re 6/6 ist nach dem heutigen Stande der Technik der Höhepunkt der Einphasen-Traktion mit Einphasen-Fahrmotoren (Fig. 11).

11. Grosse Entwicklungsschritte

Der Zweite Weltkrieg zwang die Konstruktionsfirmen mit dem Material und der Energie sparsam umzugehen. Der Begriff der «toten Masse» wurde geläufig. So bemühte sich besonders BBC um ganz massive Reduktion der Massen der elektrischen Ausrüstung von Triebfahrzeugen. SLM konnte mit Leichtbaukonstruktionen zu einer erheblichen Verringerung der Masse des mechanischen Teiles beitragen. Die BLS wagte als erste den Sprung nach vorn und bestellte zwei Lokomotiven der Achsfolge Bo′Bo′ (mit zwei zweiachsigen Drehgestellen) mit 80 t Gesamtmasse und einer Stundenleistung von 4000 PS (2910 kW) bei 76 km/h und 125 km/h Maximalgeschwindigkeit. Ende 1944 kam die erste dieser laufachslosen Lokomotiven in Betrieb (Fig. 12). Trotz der anfänglichen Kinderkrankheiten bekam die Ae 4/4 ein sehr gutes Zeugnis. Sie war bahnbrechend in ihrer Konzeption und Vorbild der weltweiten Entwicklung im Lokomotivbau. Die Fachleute der alten Schule hatten eine grosse Abnützung der Spurkränze der vorlaufenden Achsen vorausgesagt. Die systematischen Kontrollen ergaben aber im Gegenteil eine sehr kleine Abnützung. Auch die erreichbare Adhäsionsausnützung war überraschend gut.

Sowohl bei den Bahnen wie auch bei den Konstruktionsfirmen begann man umzudenken. Die Dampflokomotive blieb nicht mehr Vorbild. Fast 25 Jahre später setzte die BLS die

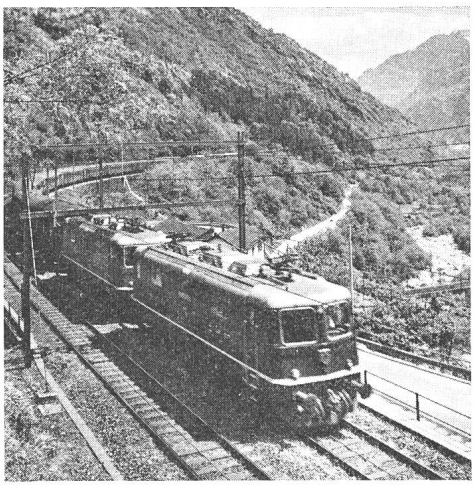

Fig. 10 Schnellzug mit zwei Lokomotiven Re 4/4 II auf der Gotthardstrecke (1970)

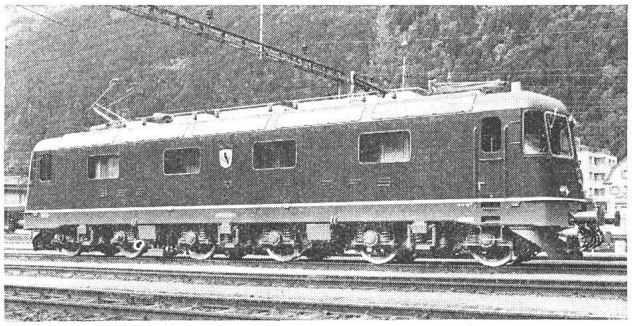

Fig. 11 Hochleistungslokomotive Bo′Bo′Bo′ Re 6/6 der SBB (1975)

erste Gleichrichterlokomotive Re 4/4 in Betrieb. Mit ihrer Stundenleistung von 4000 kW bei 79 km/h und einer Maximalgeschwindigkeit von 140 km/h zeigte sie ein ausgezeichnetes Adhäsionsverhalten. Der Gleichrichter, bei der 50-Hz-Traktion eine Notwendigkeit, bewies, dass er auch bei $16^2/_3$ Hz bestimmte Vorzüge aufweist. Der Mischstrommotor ist leichter als der Einphasenmotor gleicher Leistung, sein Drehmoment pulsiert nicht und durch die Wirkung der Glättungsdrosselspule erfolgen die Zugkraftsprünge weicher (Fig. 13).

Eine versuchsweise mit Thyristor-Anschnittsteuerung ausgerüstete Lokomotive dieser Serie zeigte, dass die Signal- und Meldekreise durch Oberharmonische des Primärstromes gestört werden können. Diese Erkenntnis gab Anlass zu eingehenden Untersuchungen auch im SBB-Netz. Es zeigte sich, dass die schweizerischen Bahnen, die mit der elektrischen Traktion als Pioniere vorausgegangen waren, ein Kommunikationsnetz besitzen, das vor Inbetriebnahme von Triebfahrzeugen, die Oberharmonische erzeugen können, saniert werden muss.

12. Die Elektrifikation im Ausland

Italien begann als erstes Land mit der Umstellung tunnelreicher Strecken von Dampf auf elektrischen Betrieb. Der Grund zu dieser frühen Umstellung auf elektrischen Betrieb war ein Unglück, das sich 1898 auf der Giovi-Linie zwischen Genua und Tortona ereignet hatte: Ein Personenzug blieb damals in der Steigung in einem Tunnel stecken, worauf 10 Personen an Rauchvergiftung starben. Die italienischen Bahnen wählten zuerst Drehstrom $16^2/_3$ Hz; 3,6 kV. In den dreissiger Jahren wurden die Hauptlinien mit Gleichstrom 3 kV elektrifiziert. Italien hatte zu jener Zeit schon ein leistungsfähiges, weit verzweigtes Landesversorgungsnetz, von dem aus das Bahnnetz über Gleichrichter gespeist wird. Die letzten noch mit Drehstrom elektrifizierten Linien wurden 1976 auf 3 kV Gleichstrom umgestellt.

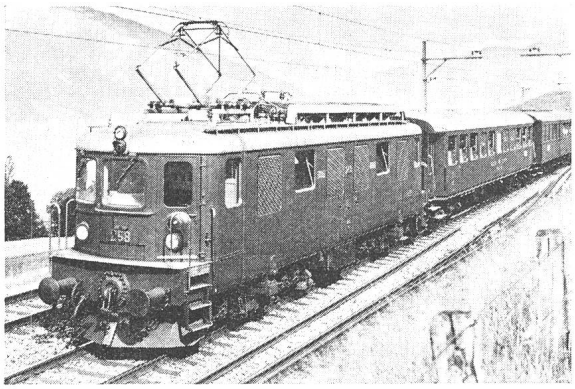

Fig. 12 **Bo′Bo′-Lokomotive Ae 4/4 der BLS, die erste laufachslose Lokomotive hoher Leistung (1944)**

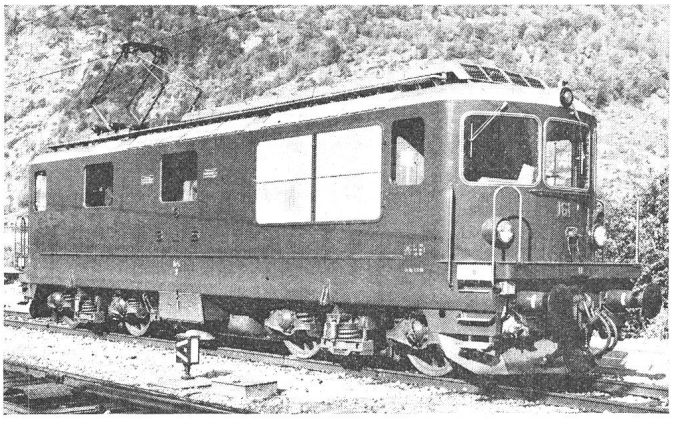

Fig. 13 **Gleichrichterlokomotive Re 4/4 der BLS (1965)**

Deutschland, Österreich, Schweden und Norwegen elektrifizierten ihre Hauptlinien mit 15 kV, $16^2/_3$ Hz. Besonders nach dem Zweiten Weltkrieg wurde die Elektrifikation stark vorangetrieben. Die Entwicklung der Triebfahrzeuge verlief ähnlich wie in der Schweiz.

In *Frankreich* elektrifizierten die Paris–Lyon-Méditerranée (PLM) und die Paris–Orléans (PO) die wichtigsten Linien mit 1500 V Gleichstrom. Beim Wiederaufbau des Bahnnetzes nach dem Krieg erwies sich das 1500-V-Netz als zu wenig leistungsfähig. Der Verwaltungsrat der Société Nationale des Chemins de Fer (SNCF) beschloss deshalb, auf Einphasen-Wechselstrom überzugehen, aber angesichts des leistungsfähigen 50-Hz-Landesversorgungsnetzes als Fahrleitungsspannung 25 kV, 50 Hz anzuwenden. Die Industrie war in der Lage, das Fahrmotorproblem den Bedürfnissen entsprechend auf drei verschiedene Arten zu lösen:

- für leichte Ansprüche: Einphasenfahrmotoren 50 Hz
- für schwere Traktion: Quecksilberdampfstromrichter und Mischstrom-Fahrmotoren
- für schwerste Traktion: rotierende Umformer auf der Lokomotive. Asynchron-Fahrmotoren, gespeist mit variabler Frequenz und Spannung.

Die sechziger Jahre brachten dann den starken Aufschwung der Silizium-Gleichrichter (Dioden und Thyristoren). Damit war das Problem der 50-Hz-Traktion einwandfrei gelöst. Die neuesten Lokomotiven (BB 15000) sind mit Thyristor-Stromrichtern für Phasen-Anschnittsteuerung ausgerüstet.

13. Die jüngste weltweite Entwicklung

Das französische Experiment mit 25 kV, 50 Hz wurde ein voller Erfolg für die elektrische Eisenbahn. Ein grosses Hindernis für eine leistungsfähige Elektrifikation war während Jahrzehnten der Kapitalbedarf zur Errichtung eines separaten Bahnstromnetzes von ca. $16^2/_3$ Hz gewesen. Mit der Möglichkeit der Speisung der Triebfahrzeuge mit 50 Hz ist es gefallen. Gleichzeitig besteht weltweit eine Beunruhigung im Hinblick auf die Energieversorgung. Das Verkehrsmittel mit dem weitaus kleinsten Energieverbrauch für eine bestimmte Transportarbeit (z.B. t/km), die elektrische Bahn, erfreut sich zunehmender Bedeutung.

Mit der Verwendung der Starkstrom-Halbleitertechnik in der Ausrüstung von Eisenbahn-Triebfahrzeugen hat auch in der Fahrzeugtechnik eine lebhafte Entwicklung begonnen. Für Bahnen, die grosse Strecken schon mit Gleichstrom elektrifiziert haben, die jedoch weitere Linien mit Wechselstrom elektrifizieren wollen, besteht die Möglichkeit der Beschaffung von Zweisystem-Triebfahrzeugen, die auf beiden Systemen mit voller Leistung arbeiten können. Die Leistungselektronik, die heute Lösungen bietet, die vor 25 Jahren als gewagt taxiert wurden (Wechselstrom-Gleichstrom-Umformung auf der Lokomotive), hat sich in der Thyristorlokomotive schon gut bewährt. Die Umformung Einphasen/Drehstrom in der Umrichterlokomotive bietet alles, was um die Jahrhundertwende auf der Wunschliste stand: einpolige Fahrleitung,

grosse verfügbare Leistung, Asynchronmotor, dazu noch stufenlose Zugkrafteinstellung. Als Gegenleistung verlangt sie aber eine umfangreiche elektronische Ausrüstung.

In welchem Masse die elektronische Ausrüstung vordringen und sich bewähren wird, wird die Zukunft zeigen. Zu berücksichtigen ist, dass in keiner Sparte der technischen Wissenschaften die Entwicklung heute so stürmisch voranschreitet wie in der Halbleitertechnik.

Die SBB boten 1970 Hand zum Bau einer Versuchslokomotive, mit welcher schwebende Fragen geklärt werden konnten. Heute sind 10 Umrichterlokomotiven Ee 6/6 II für die SBB im Bau, die für den schwersten Rangierbetrieb vorgesehen sind. Die Erfahrungen aus diesem Betrieb werden eine zuverlässige Evaluation zwischen den Systemen Einphasenmotor, Anschnittsteuerung mit Mischstrommotor und Umrichter mit Asynchronmotor gestatten. Als Parameter werden dabei berücksichtigt werden: Anschaffungskosten, Betriebssicherheit, Verfügbarkeit sowie Kosten für Pflege, Unterhalt und Revision pro durchfahrene Strecke.

Gestützt auf die bisherigen Erfahrungen mit den genannten drei Systemen kann man annehmen, dass in der nächsten Zukunft die Anschnittsteuerung dominieren und später die Umrichtertechnik die grossen Vorteile der Asynchrontraktion voll zur Geltung bringen wird.

Bei den Bahnen mit $16^2/_3$-Hz-Traktion wird die Anschnittsteuerung gegenüber jenen mit 50-Hz-Traktion nur zögernd eingeführt, weil daneben ein ausgezeichneter Einphasenmotor zur Verfügung steht. Genau gleich verhält es sich in der Konkurrenz zwischen Umrichterfahrzeug und Thyristor-Fahrzeug. Die Asynchron-Traktion wird zuerst dort Fuss fassen, wo entweder sehr grosse Dauerzugkraft gefordert werden muss, also im schweren Rangierbetrieb, oder für Triebfahrzeuge extrem hoher Geschwindigkeit (über 160 km/h).

14. Die Entwicklung bei den Gleichstrombahnen

Die *Nahverkehrsmittel* machten eine langsame Entwicklung durch. Was *Sprague* 1888 erfunden hat, blieb ein halbes Jahrhundert modern. In der Schweiz wurde die Spraguesche Stromabnehmerstange durch den Lyra-Stromabnehmer mit Schleifstück und später durch den Scherenstromabnehmer ersetzt. Die Tatzlagermotoren blieben die spezifischen Trammotoren. Kurz vor dem Zweiten Weltkrieg zog die Druckluftbremse in das Tram ein. Die Direktkontroller machten der elektropneumatischen Schützensteuerung Platz.

Vor zehn Jahren tauchte – zuerst beim Trolleybus – der elektronische Gleichstromsteller (Chopper) auf. Mit den Elementen der Starkstromelektronik sind Lösungen machbar geworden, von denen man vor 25 Jahren nicht einmal geträumt hat:

– stufen- und verlustlose Anfahrt ohne Umgruppierung der Fahrmotoren,

– dank der Steuerelektronik auch Anfahrt mit konstanter Beschleunigung und Bremsung mit konstanter Verzögerung,

– automatische Geschwindigkeitsregelung,

– automatische Zielbremsung, die besonders für Untergrundbahnen geeignet ist.

Der schienengebundene öffentliche Verkehr bewies seine Leistungsfähigkeit. In vielen Städten musste die Strassenbahn dem Dieselbus weichen, weil sie hoffnungslos veraltet war. Zürich wird oft als «Hochburg der Strassenbahn» bezeichnet

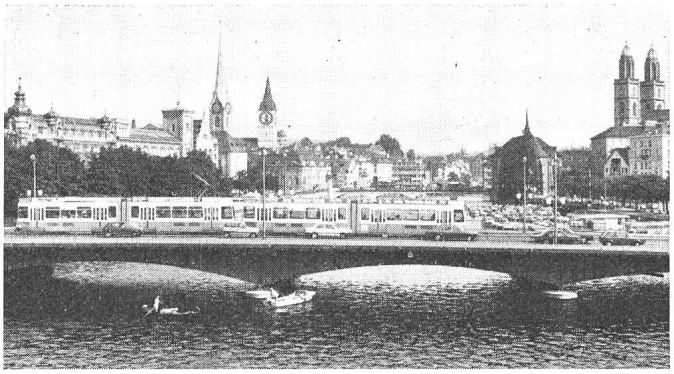

Fig. 14 «Tram 2000» der Verkehrsbetriebe Zürich auf der Quaibrücke in Zürich (1976)

(Fig. 14). Diesen Ruf hat die Stadt den Verkehrsbetrieben zu verdanken, die ihre Fahrzeuge immer rechtzeitig modernisierten.

Vor 90 Jahren reisten Verkehrsfachleute nach Richmond, um sich über das amerikanische Tram ihre Meinung machen zu können. Heute sind es amerikanische Verkehrsfachleute, die sich in Zürich über das «Tram 2000» informieren.

Die *Regionalbahnen* machten eine ähnliche Entwicklung durch. Auch hier ist die Elektronik eingezogen und macht die Bahn für den Reisenden komfortabler.

Gleichstrom-Hauptbahnen bewähren sich im Flachland. Die höchste, heute verwendete Spannung beträgt 3 kV, bedingt durch die heute von Kommutatoren beherrschbare Spannung von 1,5 bis 2 kV und die Serieschaltung von zwei Fahrmotoren. Schon die ersten grossen Gleichstromlokomotiven waren mit pneumatischen Schützen ausgerüstet. Weil die Verluste in den Anfahrwiderständen von Streckenlokomotiven relativ weit kleiner sind als bei Nahverkehrsmitteln mit vielen Anfahrten, kann der Gleichstromsteller für die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit nicht viel beitragen. Er ermöglicht jedoch die Parallelschaltung aller Fahrmotoren bei der Anfahrt und verbessert deshalb das Adhäsionsverhalten der Lokomotive. Versuche mit der vierachsigen Chopperlokomotive E 444.005 der FS (Ferrovie dello Stato) ergaben, dass die Chopperlokomotive Züge anfahren kann, für die eine sechsachsige Lokomotive konventioneller Bauart verwendet werden müsste. Bei der Evaluation der Chopperlokomotive sind deshalb die Kosten für die Anschaffung und den Unterhalt einer vierachsigen Chopperlokomotive mit denen einer sechsachsigen konventionellen Lokomotive zu vergleichen.

15. Die Zukunft der elektrischen Bahnen

Jedem Jubilar gebührt neben dem Rückblick in die Vergangenheit auch ein Blick in die Zukunft.

Wie steht es mit den Aussichten für das zweite Jahrhundert? Sicher kann eine hoffnungsvolle Prognose gestellt werden. Noch nie war das Energiebewusstsein so ausgeprägt wie heute. Wenn auch in den letzten Jahren die Bahnen «aus der Mode» kamen und von der Strasse hart konkurrenziert sind, so wird sich doch bald einmal die *Notwendigkeit* des Verkehrsmittels mit dem kleinsten Energieverbrauch zeigen. 1898 wurden die Verkehrsfachleute zum ersten Mal ganz vehement mit der Frage des Umweltschutzes konfrontiert. Sie fanden den Ausweg in der sofortigen Elektrifikation der tunnelreichen Strecken. In England rief die Belästigung der Reisenden und der Anwohner durch die mit Dampf betriebene Metropolitan Line

der Untergrundbahn ebenfalls nach Abhilfe durch Elektrifikation der Strecke. Bei uns stand im Ersten Weltkrieg die Energiefrage im Vordergrund. Doch mehr und mehr wird das Problem des Umweltschutzes brennend. Hier werden die elektrischen Bahnen vor grossen und dankbaren Aufgaben stehen. Wichtig ist, dass sie gerüstet sind, ein ständig wachsendes Verkehrsvolumen zu übernehmen. Sie müssen alle Möglichkeiten ausschöpfen, die ihnen mit der elektrischen Traktion zur Verfügung stehen.

Vor 80 Jahren dachte die Direktion der Burgdorf–Thun-Bahn an einen Taktfahrplan. Bald wird dieser auf dem ganzen Netz realisiert werden. Die schönen Erfolge einiger Regionalbahnen haben gezeigt, dass sich die Modernisierung lohnt. Nicht nur in der Schweiz, auch im Ausland kommt immer klarer zum Ausdruck, wie enorm leistungsfähig ein elektrisches Bahnsystem sein kann.

Also, liebe elektrische Bahn: Alles Gute zum zweiten Jahrhundert, einer grossen Bedeutung entgegen!

Literatur

[1] *H. Wüger:* Werner von Siemens 1816...1892. Bull. SEV 57(1966)12, S. 537.
[2] *H. Wüger:* Frank Julian Sprague 1857...1934. Bull. SEV/VSE 70(1979)9, S. 431.
[3] *H. Wüger:* Charles Eugen Lancelot Brown 1863...1924. Bull. SEV 54(1963)9, S. 339.
[4] *H. Wüger:* Walter Boveri 1865...1924. Bull. SEV 56(1965)7, S. 245.
[5] Die elektrische Zahnradbahn auf den Gornergrat. Schweiz. Bauzeitung 29 (1897)–, S. 129.
[6] *E. Thomann:* Die elektrische Vollbahn Burgdorf-Thun. Schweiz. Bauzeitung 35(1900)–, S. 1.
[7] *H. Wüger:* Emil Huber-Stockar 1865...1939. Bull SEV 56(1965)12, S. 476.
[8] *H. Wüger:* Hans Behn-Eschenberg 1864...1938. Bull. SEV 54(1963)26, S. 1120.
[9] *K. Sachs:* Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft der elektrischen Traktion in der Schweiz. Bull. SEV 34(1943)20, S. 587...612.

Adresse des Autors

A. Ernst, dipl. Ing. ETH, BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Geschäftsbereich Verkehr, 8050 Zürich.

Frank Julian Sprague 1857–1934

Der Amerikaner Sprague war Erfinder, Ingenieur und Unternehmer. Er war vielseitig; auf den Gebieten der elektrischen Strassenbahnen, der Vielfachtraktion und in der Aufzugtechnik war er jedoch bahnbrechend. Darum nannten ihn die Amerikaner Vater der elektrischen Traktion.

Frank Julian Sprague wurde am 25. Juli 1857 in Milford (Connecticut) geboren. Da der Junge intelligent und an der Technik interessiert war, das Geld für eine Ausbildung aber fehlte, empfahl der Lehrer, ihn an die Militärschule zu schicken. 1874 kam er an die Marineschule in Annapolis. Weil Elektrizitätsanwendungen auf Schiffen vielversprechend schienen, nahm die Elektrizitätslehre einen breiten Raum ein, zur Freude Spragues, der so Gelegenheit bekam, sich in diesem, ihn brennend interessierenden Fach auszubilden. Nach Abschluss der Schule hatte er einige Jahre auf See zu dienen.

1882 bot sich ihm bei einer Europafahrt Gelegenheit, die Elektrizitätsausstellung im Cristal-Palace zu London zu besuchen. Er nahm Urlaub, wurde in die Jury gewählt, verfasste einen Bericht über die Ausstellung, quittierte den Dienst und ging zu Edison nach New York. Bald machte er sich aber selbständig.

Smithsonian Institution, Washington DC

1887 wurde in Richmond eine neue, 12 Meilen lange Tramlinie geplant. Der grossen Steigungen wegen kam Pferdebetrieb, der sonst in den USA weit verbreitet war, nicht in Frage. Bevor er Pläne und Kostenberechnungen besass, verpflichtete sich Sprague, 40 elektrische Tramwagen und die Fahrleitungen zu liefern. Unbeschreibliche Schwierigkeiten tauchten auf; schlecht verlegte Geleise, Kollektorfeuer, Blitzeinschläge, untaugliche Stromabnehmerwägelchen usw. Sprague baute nicht wie seine nicht erfolgreichen Vorgänger einen Motor auf der Plattform ein, sondern deren zwei (für Serie-/Parallelschaltung) mit Tatzlagern unter dem Wagenboden. Er rüstete die Wagen mit 2 Führerständen aus und verwendete Kontroller. Ferner führte er die auf drehbarer Achse montierte Trolleystange ein, bei der der Fahrdraht von unten bestrichen wird. Nach anderhalb Jahren funktionierten alle 40 Wagen zufriedenstellend. Sprague aber hatte aus eigener Tasche 80000 $ draufl egen müssen. Die vielen Anfragen und Aufträge, die nun bei der Sprague Electric Railway and Motor Co. einliefen, zwangen zu einer Kapitalerhöhung. Das benützte die Edison El. Light Co zur Erlangung der Mehrheit. Sprague trat zur Edison General Electric über, überwarf sich aber bald mit der Geschäftsleitung und trat wieder aus.

Darauf arbeitete er an Plänen für eine Untergrundbahn. 1891 gründete er die Sprague Electric Elevator Comp. Er baute als erster schnellaufende Aufzüge für die immer höher werdenden Gebäude. 1927 erfand er eine Steuerung, mit der es möglich wurde, im selben Liftschacht eine Express- und eine Lokalkabine laufen zu lassen.

1891 hatte er der Second Avenue Elevated Railway offeriert, zwei 6-Wagen-Züge auf eigene Kosten zu bauen, einen Lokomotivzug und einen aus lauter Motorwagen in Vielfachsteuerung. Das mehrmals erneuerte Angebot wurde stets abgelehnt. Als dann 1897 die South-Side-Elevated Railway Chicago die Elektrifizierung ihres Betriebes plante, wurden ihr von amerikanischen und europäischen Firmen Lokomotivzüge angeboten, die aber mit Rücksicht auf die Eisengerüste zu hohe Gewichte hatten. Eines Unfalles wegen hatte Sprague an der Konkurrenz nicht teilnehmen können. Nun holte man ihn. Begeistert davon, seine Ideen endlich verwirklichen zu können, liess er sich abermals dazu hinreissen, einen Vertrag abzuschliessen, bevor er genügend Unterlagen besass. Er versprach innert 3 Monaten einen 6-Wagen-Zug für Versuche bereitzustellen. Er kam in Verzug, aber einen Wagen stellte er. Um zu zeigen, wie leicht dieser zu handhaben sei, liess er ihn von seinem 10jährigen Sohn bedienen – er selber war noch nicht gehfähig. Anderthalb Jahre später liefen in Chicago 120 solcher Wagen. Der Erfolg war gross. Es kam jedoch zu Patentstreitigkeiten mit der General Electric. Diese wollte sich das in Aussicht stehende grosse Geschäft nicht entgehen lassen und entschädigte Sprague mit mehr als 1 Mio $. Dieser gründete darauf 1906 eine Unternehmung, in der er Signale und Sicherungsanlagen für Bahnen baute. Darüber hinaus besass er eine Gesellschaft, die sich mit Neuentwicklungen befasste.

Sprague kamen viele Ehrungen zu, so von der AIEE, vom Franklin Institute sowie von vielen Universitäten. Er hatte aus 2 Ehen 3 Söhne und eine Tochter. Er starb 77jährig am 25. Oktober 1934 an einer Lungenentzündung in New York. *H. Wüger*