

## Die Elektrifizierung der Eisenbahnen in Westeuropa

Am 14. 3. 1951 veranstaltete die Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Verkehrswissenschaften an der Universität Köln anlässlich ihrer Jahresversammlung in Verbindung mit der Industrie- und Handelskammer Köln im großen Sendesaal des NWDR Köln eine Vortragsveranstaltung über das Thema „Die Elektrifizierung der Eisenbahnen in Westeuropa“. Die Vorträge von Ing. F. Steiner, Bern, Direktor des Eidgenössischen Amtes für Verkehr, Obering. Paul de Giacomoni, z. Zt. Karlsruhe, Leiter der technischen Verbindungsstelle der SNCF in Deutschland, H. H. Swift, BE, London, Mechanical and Electrical Engineer of the Southern Region of British Railways, Dr.-Ing. H. Chr. Seebohm, Bonn, Bundesminister für Verkehr, werden nachstehend entsprechend der Programfolge der Veranstaltung wiedergegeben.

### Die Elektrifikation der Schweizer Bahnen

Von Ing. F. Steiner,  
Direktor des Eidg. Amtes für Verkehr, Bern.

Von allen bekannteren Daten der neueren Geschichte unseres Landes sind zwei besonders bedeutend: Es sind dies das Jahr 1848 mit der Schöpfung des Schweizerischen Bundesstaates einerseits und das Jahr 1847 mit der Eröffnung der ersten schweizerischen Eisenbahn andererseits. Unser kleines, mitten im Kontinent gelegenes Land ist der Vorteile des Schienenverkehrsmittels eigentlich recht spät teilhaftig geworden. Während in Deutschland schon 1835 die erste Eisenbahnlinie dem Betriebe übergeben werden konnte, kam die Schweiz erst zwölf Jahre später in den Besitz der ersten von Zürich nach Baden führenden Eisenbahnstrecke.

Bis zum Jahre 1853 verfügte unser Land erst über zwei Eisenbahnlinien. Dann setzte die Baulust mächtig ein. Schon 1870 wiesen über 20 Eisenbahngesellschaften ein Netz von 1420 km auf. Einige der bedeutendsten Leistungen auf diesem Gebiete sind in den Jahren 1870 bis 1885 vollbracht worden. Ich erinnere nur an die Anlage der Gotthardbahn, ein ebenso kühnes, wie glänzendes Bauwerk, das als technisches Meisterwerk Weltruf erlangt hat.

Der Bau einer großen Zahl von Bergbahnen — die Rigibahn war die erste unter ihnen — lenkte die Aufmerksamkeit aller technisch Interessierten auf unser Land. Besonders hervorgehoben zu werden verdienen ferner die in den Jahren 1901 bis 1914 erstellten interessanten Anlagen der Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon und der Rhätischen Bahn.

Das Netz der Schweizer Bahnen weist heute eine Länge von rund 5800 km auf. Die größten Steigungen erreichen bei den Hauptbahnstrecken 27‰. Die normalspurige Südostbahn weist Rampen von 50‰, die der Utiübergbahn sogar solche von 70‰ auf. Größere Steigungen werden von den Zahnradbahnen überwunden, so von der Stansstad-Engelberg-Bahn mit Neigungen von 250‰ und der Pilatusbahn mit solchen von 480‰.

Die Schweizer Bahnen sind nun mit der Dienstbarmachung der landeseigenen

Wasserkraft besonders erfolgreich geworden. Erste Anwendung zu Traktionszwecken fand die elektrische Energie in der Schweiz bei der von Vevey nach Montreux und zum Schloß Chillon am Genfer See führenden Straßenbahn. Dies war im Jahre 1886! 1891 folgte die erste elektrische Oberlandbahn Sissach—Gelterkinden, eine heute abgebrochene Anlage, und 1899 die erste elektrische Vollbahn Europas, die mit Drehstrom betriebene Burgdorf-Thun-Bahn. Dieser Betrieb ermutigte zu weiteren Arbeiten auf diesem Gebiete. Es sind also Privatbahnen, die in der technischen Vervollkommnung die Initiative ergriffen und die Fackel des Fortschritts vorangetragen haben. Es dauerte aber immer noch zwei Jahrzehnte, bis die hier eingehender darzustellende Elektrifikation der Schweizerischen Bundesbahnen verwirklicht werden konnte. Wegbereiter für die große Elektrifikation der Schweizer Bahnen, d. h. vorab der verkehrsdichteren Strecken der Bundesbahnen, war der allgemeine Wunsch, durch die Verwertung der eigenen Wasserkräfte die Abhängigkeit vom kohleliefernden Ausland einzuschränken und der einheimischen Maschinen- und Elektroindustrie ein ausgedehntes Tätigkeitsfeld zu erschließen.

Die Elektrifikation der Schweizerischen Bundesbahnen ist in drei zeitlich ineinandergreifenden Stufen vorbereitet worden. Als solche Stufen sind anzusprechen die Arbeiten der Schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb, die Versuchsstrecke Seebach—Wettingen der Maschinenfabrik Orlikon und die Elektrifikation der Lötschbergbahn. Alle diese Arbeiten waren vom Leitgedanken der Qualität getragen.

Es war der Direktor der Schweizerischen Eisenbahnbank in Basel, Dr. Tisot, der am 6. Oktober 1901 der in Montreux tagenden Generalversammlung des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins den Antrag unterbreitete, es sei zusammen mit allen interessierten Kreisen das Studium des elektrischen Betriebes der schweizerischen Normalbahnen in die Hand zu nehmen. Gestützt auf diesen Vorschlag wurde im März 1904 die Schweizerische Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb gebildet. Die von ihr zu lösende Aufgabe war vielseitig und umfangreich, aber auch bedeutsam und dankbar. Dabei lagen die Dinge sowohl auf Seite der technisch möglichen Betriebssysteme als auch auf der des Bedürfnisses nach einem leistungs- und anpassungsfähigen System elektrischer Traktion nicht eben einfach. Besonders bedeutsame Arbeiten leisteten in diesem Gremium die Ing. Emil Huber-Stockar, damals Direktor der Maschinenfabrik Orlikon, und Prof. Dr. W. Wyßling, Sekretär der Studienkommission. Ihre Arbeiten wurden in verschiedenen Teilberichten und schließlich in einem zusammenfassenden, heute noch lesenswerten Bericht von 1912 veröffentlicht. Für die Elektrifikation stand von Anfang an die mit ihren starken Steigungen, langen Rampen, zahlreichen Tunnels, klimatisch harten Bedingungen und einem Großverkehr von internationaler Bedeutung höchste Anforderungen stellende Gotthardlinie im Vordergrund.

Um die Jahrhundertwende haben sich die elektrischen Straßen- und Kleinbahnen, vor allem unter Führung amerikanischer Konstrukteure, wie Frank Sprague und Thomson Houston sehr rasch entwickelt. Die Zahl der elektrisch betriebenen Vollbahnstrecken nahm dagegen nur sehr langsam zu. Die damals übliche Stromart der Straßenbahnen war der Gleichstrom von 500—600 Volt Spannung. Höhere Spannungen kamen damals nicht in Frage. Das Gleichstromsystem konnte damals bei Vollbahnen nicht verwertet werden, weil ihm wegen der beschränkten Spannung — die der Fahrdrabt von nur normalem Querschnitt erlaubte — die Möglichkeit großer Einzelzugsleistungen fehlte.

Auf der anderen Seite stand der Drehstrom (Dreiphasenwechselstrom), der eine zweipolige Kontaktleitung bedingt, sowie erhöhte Anlagekosten und nicht unerhebliche Schwierigkeiten bei der Anlage von Kreuzungen und Weichen in Bahnhöfen zur Folge hatte. Außerdem kann sich der Drehstrommotor wegen

seiner sehr starken Drehzahlcharakteristik den Steigungen nur unvollkommen anpassen.

Die Systemfrage bildete denn auch eines der Kernprobleme der Studienkommission. Unter dem Einfluß des bereits erwähnten Ing. Emil Huber-Stockar kam die Kommission nach sorgfältigen technischen und wirtschaftlichen Überlegungen zum Schluß, daß dem Einphasensystem technisch das größte Übergewicht zukommt.

Wertvoll waren sodann, und damit kommen wir zur zweiten Stufe der Vorbereitung der Bundesbahnelektrifikation, die Pionierarbeiten der Maschinenfabrik Orlikon, die auf eigene Kosten vorerst eine kurze, dann längere Versuchsstrecke zwischen Seebach und Wettingen für den elektrischen Zugsbetrieb einrichtete. Da es noch keinen befriedigenden Einphasenmotor größerer Leistung gab, wurde zu Beginn des Versuchsbetriebes eine Umformerlokomotive eingesetzt, die den vom Fahrdrat bezogenen Einphasenwechselstrom von 15 000 Volt Spannung und 50 Hz durch zwei Transformatoren auf 700 Volt ermäßigte und ihn in einer rotierenden Umformergruppe als Gleichstrom den Motoren zuführte. Damit war bereits der Nachweis der betriebstechnischen Möglichkeit zur Verwendung von hochgespanntem Einphasenwechselstrom ab Fahrdrat geleistet.

Nun fehlte aber noch der brauchbare Einphasenstrommotor. Die Maschinenfabrik Orlikon hatte das Glück, in Ing. Dr. Hans Behn-Eschenburg über eine Persönlichkeit zu verfügen, welche der Schwierigkeiten Herr zu werden und den gesuchten Motor zu konstruieren vermochte. Durch die geniale Einführung des phasenverschobenen Hilfsfeldes gelangte er 1904 zum vollkommenen, noch heute in gleicher Art konstruierten Einphasen-Bahnmotor für niedrige Frequenz. Eine zweite Lokomotive der Maschinenfabrik Orlikon, die erste Einphasenwechselstrom-Lokomotive der Welt, wurde am 2. November 1905 auf der Versuchsstrecke in Dienst gestellt. Damit war die ideale Lösung für die Elektrifikation der Vollbahnen mit Einphasenwechselstrom hoher Spannung und niedriger Frequenz gefunden.

Die deutsche Elektroindustrie — dies sei hier dankbar anerkannt — hat an den Pionierarbeiten von Seebach-Wettingen ebenfalls Anteil genommen, denn eine dritte Versuchslokomotive mit sechs Triebachsen wurde von den Siemens-Schuckert-Werken geliefert, die auch einen Teil der Fahrleitung auf dieser Strecke als Kettenfahrleitung erstellt hatte.

Mit der Versuchsstrecke Seebach-Wettingen war ein Wendepunkt in der Geschichte der Elektrifikation erreicht. Sie hat die Arbeiten der Studienkommission in glücklicher Weise ergänzt. Eine große Zahl maßgebender Persönlichkeiten des Eisenbahnwesens, der Elektrotechnik, der Regierungen und technischen Körperschaften wurde bei den zahlreichen Besichtigungen von der Verwendbarkeit dieses Systems überzeugt.

Nun entschloß sich die Berner Alpenbahngesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon im Jahre 1907/1908 vorerst die Strecke Spiez—Frutigen dem elektrischen Betrieb zu erschließen, mit der Absicht, die Ergebnisse dieser Probestrecke zum Ausgangspunkt der Umstellung des Betriebes auf der ganzen, bis Brig führenden Strecke zu nehmen. Der Verwaltungsrat der Rhätischen Bahn beschloß am 18. Mai 1910 seinerseits, auf den Linien Bevers—St. Moritz, Samaden—Pontresina und Bevers—Schuls den elektrischen Betrieb einzuführen. Beide Bahnverwaltungen wählten das Einphasenwechselstromsystem hoher Spannung und niedriger Frequenz.

Dasselbe Stromsystem fand damals auch bei der 55 km langen Seetal-Bahn und der 20 km langen Martigny-Orsières-Bahn Anwendung. Die größte Bedeutung unter all diesen Bahnen kam allerdings der Lötschbergstrecke zu, da sie genau das von der Studienkommission empfohlene System anwandte und in

ihrer Anlage und ihren klimatischen Bedingungen sowie den topographischen Verhältnissen der Gotthardbahn am nächsten steht.

Die Schweizerischen Bundesbahnen, die in der Studienkommission maßgebend vertreten waren, mußten naturgemäß der Frage der Elektrifikation ihrer verschiedenen Strecken schon sehr bald größtes Interesse entgegenbringen. Am 1. Mai 1907 wurde daher bei der Generaldirektion ein besonderes „Bureau für elektrischen Bahnbetrieb“ eingerichtet, das in erster Linie die Energiebeschaffung zu studieren und Vorprojekte für die Ausnützung der Wasserkräfte auszuarbeiten, aber auch die nötigen Konzessionen vorzubereiten hatte. Die Arbeiten der Schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb wurden, wie bereits erwähnt, im Jahre 1912 mit einem „Sonderbericht“ über „Die Elektrifizierung der Schweizer Bahnen mit besonderer Berücksichtigung der ehemaligen Gotthardbahn“ abgeschlossen, in dem sie der Bundesbahn-Generaldirektion nicht nur das Betriebssystem mit Einphasenwechselstrom von ungefähr 15 Hz und einer Fahrdratspannung von etwa 15 000 Volt empfahl, sondern auch ein im wesentlichen ausgearbeitetes Projekt für die Elektrifikation der Gotthardlinie vorlegte. Für die Wahl dieser, als erste Bundesbahnstrecke zu elektrifizierenden Linie sprach auch der Umstand, daß die starke Zunahme des Verkehrs auf der Gotthardstrecke ohnehin bald die Anschaffung stärkerer Dampflokomotiven bedingt hätte.

Noch war für die Bundesbahnen der Entscheid über zwei technische Fragen von besonderer Tragweite zu treffen. Es waren dies folgende Probleme:

1. Soll der Energiebezug aus eigenen oder aus fremden Kraftwerken erfolgen?
2. Welchem Stromsystem ist der Vorzug zu geben?

Generaldirektion und Verwaltungsrat entschieden sich im Jahre 1913 in der grundsätzlichen Frage der Stromversorgung, aus eigenen oder fremden Kraftwerken für den Bau und Betrieb von bahneigenen Kraftwerken, „da nur auf diese Weise die Sicherheit für die Aufrechterhaltung des Betriebes unter allen Verhältnissen und die Sicherheit für die Deckung des Energiebedarfes in der Zukunft erlangt wird“. Der Verwaltungsrat der Bundesbahnen genehmigte im November 1913 einen Kredit von 39 Mio Fr. für die Elektrifikation der Strecke Erstfeld—Bellinzona und die dazu gehörenden Arbeiten, womit er einen der bedeutendsten Bauaufträge in der Geschichte unserer Staatsbahn erteilt hatte.

Im Februar 1916 — der Entscheid über die Systemfrage war bis zuletzt hinausgeschoben worden — beschlossen Generaldirektion und Verwaltungsrat, auf Grund der Empfehlungen der Studienkommission und der guten Erfahrungen am Lötschberg, als Stromsystem den Einphasenwechselstrom hoher Spannung und niedriger Frequenz zu wählen. Dieser Entscheid gab das Signal „frei“ für die Aufnahme der Bauarbeiten am Gotthard. Die ersten Kraftwerkbauten von Amsteg und Ritom konnten nun in Angriff genommen werden!

Die Elektrifikationsarbeiten waren inzwischen um so dringender geworden, als sich 1917 bereits die ersten Schwierigkeiten der Brennmaterialbeschaffung bemerkbar machten.

Im September 1920 konnte im Gotthardtunnel der elektrische Betrieb und Biasca, Dezember des gleichen Jahres auch derjenige zwischen Erstfeld und Biasca, also auf der bekanntesten Eisenbahnstrecke, die als tunnelreichste auch die schwierigste sein sollte, aufgenommen werden. Die Kohlennot und die außerordentliche Verteuerung der Brennstoffe hatten damals dem Schweizer Volke sehr ausdrücklich die Abhängigkeit eines namhaften Teiles der volkswirtschaftlich und verkehrswirtschaftlich bedeutsamen Eisenbahnen des Landes vom Auslande vor Augen geführt. Diese und die guten Erfolge, die der Betrieb auf der elektrifizierten Gotthardlinie erfreulicherweise zu verzeichnen hatte, führten zur Ausdehnung der Elektrifikationsarbeiten auf das übrige Bundesbahnnetz nach einem ganz bestimmten Programm. So wurden die Fahrleitungen



sukzessive auf immer neue Strecken des SBB-Netzes ausgedehnt, so daß heute — nach drei Jahrzehnten — nur noch einige wenige verkehrsschwache Strecken dem Fahrdrat noch nicht erschlossen sind. Von der Gesamtbetriebslänge der Bundesbahnen von 2975,6 km im Jahre 1949 waren nicht weniger als 2807,6 km elektrifiziert, das sind 94,4%. Das Bundesbahnnetz ist also heute praktisch durchelektrifiziert.

Der Energieversorgung auf diesem ausgedehnten Netz dienen 7 bahneigene und 2 Gemeinschaftskraftwerke, mit einer Leistung von 410 000 PS. Diese liefern über 26 Unterwerke im wesentlichen die für den Betrieb der Bundesbahnen, aber auch noch für denjenigen von 12 angeschlossenen Privatbahnen notwendige Energie.

Die im wesentlichen im Laufe der drei letzten Jahrzehnte durchgeführte Elektrifikation der Schweizerischen Bundesbahnen ergab einen Gesamtkostenaufwand von 741 Mio Fr. Davon entfallen auf die Einrichtungen für die elektrische Zugförderung 148,4 Mio Fr., auf die elektrischen Triebfahrzeuge 348 Mio Fr. und auf die Kraftwerke 245 Mio Fr.

Die Elektrifikation der Privatbahnen hat 175 Mio Fr. gekostet. Der Gesamtaufwand für die Elektrifikation der Schweizer Bahnen kann daher auf rund 1 Milliarde Franken geschätzt werden. In diesem Betrag sind gewisse Kosten für die Verbesserung der Fernmelde- und Sicherungsanlagen einbegriffen.

Die Jahreskosten für die elektrische Energie betragen bei den Bundesbahnen rund 34 Mio Fr., bei einem Energieverbrauch von 510 Mio kWh. Eine für die Bundesbahnen letztmals im Jahre 1937 durchgeführte Vergleichsrechnung der beiden Betriebsarten (Dampfbetrieb und elektrischer Betrieb) ergab für den elektrischen und den damals noch bestehenden Dampfbetrieb Jahreskosten von 91,3 Mio Fr. Ein hypothetischer Gesamt-Dampfbetrieb hätte im gleichen Jahre aber 103,4 Mio Fr. gekostet, so daß für das Jahr 1937 mit Minderkosten des elektrischen Betriebes gegenüber einem hypothetischen Dampfbetrieb von 12 Mio Fr. gerechnet werden kann. Die starke Steigerung der Kohlenpreise in den Jahren 1939—1945 erhöhte die Minderkosten des elektrischen Betriebes sogar auf 142,5 Mio Fr. im Jahre 1945.

Aus leicht erklärlichen Gründen erzeugen aber die Bundesbahnen nicht alle von ihr benötigte Energie. Im Jahre 1945/46 wurden beispielsweise 90,2% bahneigene Energie verwendet, während 9,8% als Ergänzungs- und Aushilfsenergie von privaten Kraftwerken bezogen wurde. Der gesamte Energiebezug des Jahres 1945/46 z. B. belief sich auf 912,9 Mio kWh. Für den Betrieb der Bundesbahnstrecken wurden hiervon 688,8 Mio kWh verwendet, wobei 22,3 Mio kWh als Überschuss auf die Speisung von Elektrokesseln im Bahnbetrieb und die Abgabe von Drehstrom an Elektrizitätswerke entfallen. 113 Mio kWh betreffen den Eigenverbrauch der Kraftwerke sowie die Umformer-, Leitungs- und Transformatorenverluste.

Die Bundesbahnen sind eine der größten Energieproduzenten des Landes, gleichzeitig sind sie aber auch der größte Energiekonsument der Schweiz. Maßgebend für die Entwicklung des Energiebedarfs war neben der Ausdehnung des elektrisch betriebenen Rangierdienstes in den größeren Bahnhöfen und Stationen und andere Faktoren mehr.

Nach dieser kurzen und notwendigerweise nur sehr summarischen Darstellung der Energieversorgung und Energiewirtschaft der Schweizerischen Bundesbahnen möchte ich mir erlauben, sie in Kürze auch noch über die einzelnen Energiebezügler, genauer über die bei den Bundesbahnen verwendeten elektrischen Triebfahrzeuge zu orientieren.

Die erste noch heute nach über 30 Jahren in einer größeren Anzahl im Betriebe stehende Lokomotivtype, die der Eröffnung des elektrischen Betriebes der Bundesbahnen das erste Gepräge gab, betrifft eine Gotthard-Schnellzugloko-

omotive mit einer Stundenleistung von 2040 PS und einer Höchstgeschwindigkeit von 75 km/h, eine Lokomotive, die bei einer Steigung von 26‰ eine höchste Anhängelast von 300 t mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h zu schleppen vermag. Für den Güterzugdienst wurde eine sehr leistungsfähige Drehgestell-Lokomotive vom Typ Ge 6/8 gebaut. Bedingung: 2 Hin- und Rückfahrten Arth—Goldau—Chiasso innerhalb 28 Stunden mit einem Anhängelastgewicht von 430 t auf den Steiltrampen von 27‰ und 860 t auf den anschließenden Talstrecken mit maximal 10‰.

Die in den bahneigenen Werkstätten abgeänderten Lokomotiven sind in der Lage, auf der Gotthardstrecke Güterzüge von 520 statt bisher 430 t zu befördern.

Diese ersten Maschinen zeigten, wie kaum anders zu erwarten war, noch gewisse Kinderkrankheiten; verschiedenes mußte noch erprobt, näher untersucht und genauer abgeklärt werden, bis für alle die mechanischen und elektrischen Teile die zweckmäßigste Form gefunden war. So wurde schon bald der Antrieb mit Kuppelstangen verlassen, da der Einzelachsantrieb wesentliche maschinenbauliche und betriebstechnische Vorteile aufweist. Im Vordergrund standen dabei die von O. Tschanz (SBB), J. Buchli (BBC), der A. E. G. und der Firma Westinghouse entwickelten Antriebe. Schließlich wurde dem Buchli-Antrieb der Vorrang gegeben.

Die Bestellungen bei den verschiedenen bekannten Maschinenfabriken des Landes führten während Jahren zu einer gewissen Mannigfaltigkeit der Lokomotivtypen. Dieser Zustand war, wenn auch an sich nicht erwünscht, so doch nicht zu beklagen. Die Steuer- und Kontrollapparate, aber auch verschiedene Teile der Lokomotiv-Nebenbetriebe wurden bald normalisiert, so daß die Bedienung dem Personal keine besondere Schwierigkeiten bereitet.

In der zweiten Hälfte der dreißiger Jahre mußten aus betrieblichen Gründen möglichst leichte und schnelle Triebfahrzeuge gebaut werden. Die Entwicklung führte so im Laufe der Jahre zur Bo-Bo-Schnellzugmaschine Re 4/4 mit einer Maximalgeschwindigkeit von 125 km/h. Diese Triebfahrzeuge sind nun ohne Laufachsen gebaut, nachdem sich gezeigt hatte — daß laufachslose und damit bedeutend leichtere Maschinen ebenso gute Kurvenlaufeigenschaften aufweisen, wie die bisherigen Fahrzeuge mit Laufachsen. Es war Geheimrat Dr. Reichel, von den Siemens-Schuckert-Werken, der schon in den 20er Jahren erkannt hatte, daß der Bau von Schnellzugs-Maschinen mit zwei Drehgestellen möglich sein sollte. Die damals in Deutschland nach dieser Richtung unternommenen Versuche konnten noch nicht zum Erfolg führen, da die Lokomotiven aus jener Zeit noch mit Tram-Motoren ausgerüstet waren und nicht wie später dann mit in Rahmen eingebauten Motoren, welche die Triebachsen weniger belasten. Diese Re 4/4 Lokomotiven sind für die Führung von Leichtschnellzügen auf Flachlandstrecken bestimmt. Sie vermögen bei einem Dienstgewicht von 56 t im Flachland 320 t (theoretisch 480 t) mit einer Maximalgeschwindigkeit von 125 km/h und bei einer Steigung von 10‰ mit 90 km/h zu befördern.

Die Entwicklung im Lokomotivbau suchte bei immer größerer Leistungsfähigkeit (Kraft am Zughaken und Geschwindigkeit) mit immer geringerem Gewicht pro Leistungseinheit auszukommen. Die ersten Gotthardlokomotiven hatten pro PS noch ein Gewicht von 60,5 kg. Die neuesten Re 4/4 Maschinen der Bundesbahnen weisen demgegenüber nur noch ein Gewicht von 22,9 kg pro PS auf. In der gleichen Zeit konnte die Höchstgeschwindigkeit dieser Triebfahrzeuge von 75 auf 125 km/h gesteigert werden.

Es versteht sich von selbst, daß neben den bedeutenden grundsätzlichen Änderungen im Triebfahrzeugbau auch eine Reihe kleinerer Änderungen einhergingen. So erwähne ich u. a. den Übergang von Transformatoren mit isolierten

zu nichtisolierten Niederspannungswicklungen, sie sind z. Z. zwar wieder isoliert, der Wechsel vom Hauptschalter mit Öl zu solchen in Luft, die Anwendung der Hochspannungssteuerung statt der Niederspannungssteuerung usw. Interessant ist der Einbau der sog. Schleuderbremse. Sie verhindert bei schweren Anfahrten am Berg und bei ungünstigen Adhäsionsverhältnissen durch das Einblasen von Druckluft von ca. 0,8—1 Atü in die Bremszylinder das Schleudern der Triebäder, eine Maßnahme, die dem bisher üblichen Sanden überlegen ist.

Nachdem sich nun nach jahrzehntelanger technischer Entwicklung und betrieblicher Erfahrung eine Reihe von Erkenntnissen durchgesetzt und gefestigt haben, kann auch dem lange gehegten Wunsche nach einer ausgedehnten Normalisierung und Einschränkung der Zahl der Triebfahrzeugtypen Geltung verschafft werden. Entscheidend für den Bau und die Einzelheiten der Konstruktion der Triebfahrzeuge sind neben den Anforderungen des Verkehrs (Anhängergewicht, Höchstgeschwindigkeit) vor allem die Streckenverhältnisse (Achsdruk, Steigungen und Kurvenverhältnisse).

Während bei den Gebirgsstrecken mit 27‰ Steigung und starkem Oberbau Maschinen mit einem Achsdruk von 20 t ohne weiteres zulässig sind, müssen überall dort, wo nur ein leichter Oberbau vorhanden ist, Lokomotiven mit kleinem Achsdruk eingesetzt werden, welche günstige Bedingungen für das Einlaufen in die Kurven aufweisen. Die vorerwähnten Re 4/4 Leichtlokomotiven mit einem Achsdruk von nur 14 t erfüllen diese Forderung. Sie können daher die Kurven mit einer um 10 km/h höheren Geschwindigkeit als entsprechend der behördlichen Vorschrift zulässig durchfahren.

Gegenwärtig ist eine sechsachsige Lokomotive mit zwei dreiachsigen Drehgestellen für die Gotthardstrecke im Bau, die eine Leistung von 5000 PS<sup>1</sup> entwickeln wird. Die stärkste, an der Schweizerischen Landesausstellung von 1939 in Zürich ausgestellte Doppellokomotive der Schweizerischen Bundesbahnen weist eine Leistung von 12 000 PS auf. Im Betriebe sind aber höchstens 9500 PS beansprucht. Die große Leistung wurde deshalb gewählt, um eine überdimensionierte, mit großer Leistungsreserve versehene Maschine zu erhalten, die im Betriebe, da sie nicht voll belastet ist, bedeutend billiger zu stehen kommt, als andere Maschinen. Diese Annahme hat die Betriebserfahrung als richtig erwiesen. Zu den Triebfahrzeugen gehören neben den Lokomotiven auch die Triebwagen, Schnelltriebwagen und Traktoren. Sie haben ähnlich wie die Lokomotiven, im Wandel der letzten Jahrzehnte eine erfreuliche technische Entwicklung erfahren, auf die aber an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden kann.

Es sei hier nur darauf hingewiesen, daß im wesentlichen 3 Typen von Rangierfahrzeugen bestehen, die in den verschiedenen Bahnhöfen und Stationen große Dienste leisten. Es sind einmal zu erwähnen die eigentlichen Rangierlokomotiven mit 3 gekuppelten Rädern, einem Dienstgewicht von 45 Tonnen und einer max. Anfahrzugkraft von 9000 kg. Daneben besitzen die Bundesbahnen einen leichteren Traktor mit einem Dienstgewicht von 30 t und einer max. Anfahrzugkraft von 7300 kg, sowie einen ganz leichten Traktor mit einem Dienstgewicht von 11,5 t und einer max. Anfahrzugkraft von 3700 t.

Bisher war sozusagen einzig von den Schweizerischen Bundesbahnen als dem Staatsbahnnetz und bedeutendsten Geflecht der schweizerischen Schienenwege die Rede. Es sei im Anschluß an meine Mitteilungen über die Verhältnisse bei den Bundesbahnen auch noch ein kurzer Hinweis auf die Verhältnisse bei den Privatbahnen unseres Landes gestattet.

Vom gesamten Netz der schweizerischen Eisenbahnen sind 3622 km Normalspurbahnen und 1582 km Schmalspurbahnen. Die Vielgestaltigkeit der topographischen Verhältnisse bedingte den Bau von 4943 Brücken (Gesamtlänge 77 km) und die Anlage von 673 Tunnels (Gesamtlänge 305 km).

Die Betriebslänge der privaten Normalspurbahnen beträgt 754 km, davon sind 88,5% elektrifiziert. Zu den bedeutendsten privaten Normalspurbahnen gehören diejenige der Lötschbergbahn, der Bodensee-Toggenburgbahn, der Schweizerischen Südostbahn, der Emmental-Burgdorf-Thun- und der Vereinigten Huttwil-Bahnen. Das private Schmalspurnetz umfaßt 1507 km; nicht weniger als 96% dieser Strecke sind dem elektrischen Betrieb erschlossen. Das größte Schmalspurnetz ist dasjenige der Rhätischen Bahn, von besonderer touristischer Bedeutung, auch dasjenige der Visp-Zermatt- und Furka-Oberalp-Bahn. Die Zahnradbahnen erreichen eine Gesamtlänge von 93,5 km, 82% davon sind elektrisch betrieben. Die Straßenbahnen weisen eine Länge von 453,5 km auf, sie sind zu 100% elektrifiziert.

Diesen Angaben ist zu entnehmen, daß sozusagen das ganze Netz der Schweizer Bahnen durchelektrifiziert ist. Nur noch ganz wenige Linien sind dem Dampftrieb treu geblieben.

An dieser Entwicklung hat nicht zuletzt die Eidgenossenschaft entscheidenden Anteil genommen. Schon im Jahre 1919 ist der Bund durch ein Gesetz vom 2. Oktober ermächtigt worden, in Verbindung mit den Kantonen und Gemeinden, diejenigen bestehenden privaten Eisenbahnen, die für den Verkehr des Landes oder eines Gebietes desselben von erheblicher Bedeutung sind, zum Zwecke der Einführung des elektrischen Betriebes zu unterstützen, sofern dadurch die Wirtschaftlichkeit der Unternehmung nachweisbar gehoben werden kann. Diese Hilfe bezweckte die Einschränkung der wirtschaftlichen Abhängigkeit vom Auslande und die Ermöglichung eines rationelleren Betriebes der betreffenden Bahnen.

Die Umstellung verschiedener Privatbahnstrecken auf die landeseigene Kraft wurde ferner in hohem Maße erleichtert durch das Privatbahnhilfegesetz von 1939, das zur Wiederaufrichtung notleidender privater Eisenbahnen und Schiffahrtsunternehmen, die wegen ihrer volkswirtschaftlichen oder militärischen Bedeutung den Interessen der Eidgenossenschaft oder eines größeren Teiles derselben, dienen, einen Kredit von 140 Mio Fr. bewilligt hat. Dieser Kredit ist durch eine Gesetzesnovelle von 1949 um 15 Mio Fr. erhöht worden.

Die bisherigen Hilfsaktionen des Bundes an die Privatbahnen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

a) Beiträge an inzwischen verstaatlichte Bahnen (Gotthard, Monte Generi und Simplon)	11 Mio Fr.
b) Beiträge an die heutigen Privatbahnen:	
1. Einzelaktionen	36 Mio Fr.
2. Gesamtaktionen	
aa) Bundesbeschluß über Hilfeleistung zur Defizitdeckung von 1918	1 Mio Fr.
bb) Bundesgesetz über die Elektrifikation von 1919	32 Mio Fr.
cc) Bundesbeschluß über Krisenhilfe (Defizitdeckung) von 1933/37	0,7 Mio Fr.
dd) Bundesgesetz über die Privatbahnhilfe 1939/49	155 Mio Fr.
ee) Bundesgesetz über Kriegshilfe (Defizitdeckung)	0,6 Mio Fr.

Das sind insgesamt 237 Mio Fr. Davon sind aber rund 16 Mio Fr. als Rückzahlungen auf gewährte Darlehen wieder zurückgeflossen.

Ganz besonders wertvoll erwies sich die Elektrifikation für die zahlreichen Berg-, d. h. Touristenbahnen, denn der rauchlose Betrieb mußte in erster Linie bei diesen Bahnen als besonders geschätzte Neuerung attraktiv wirken.

Die bei den Privatbahnen verwendeten Stromsysteme sind allerdings, wie sich dies aus der zeitlich gestaffelten Entwicklung der verschiedenen Betriebsumstellungen erklärt, recht verschiedenartig. Im Jubiläumsjahr der schweizerischen Eisenbahnen, also 1947, lagen die Dinge wie folgt. Es wurden betrieben:



a) mit Gleichstrom von 500—600 Volt . . . . .	68,5 km
b) mit Gleichstrom von 750—1000 Volt . . . . .	596,4 km
c) mit Gleichstrom von 1200—1600 Volt . . . . .	341,7 km
d) mit Gleichstrom von 2000—2200 Volt . . . . .	55,3 km
e) mit Drehstrom 33/40 Hz, 500—750 Volt . . . . .	37,8 km
f) mit Einphasenwechselstrom 16 2/3 Hz, 8000 Volt . . . . .	19,3 km
g) mit Einphasenwechselstrom 16 2/3 Hz, 11 000 Volt . . . . .	418,1 km
h) mit Einphasenwechselstrom 16 2/3 Hz, 15 000 Volt . . . . .	706,1 km

Über eigene Kraftwerke verfügen 51 Privatbahnen.

Die bei den Privatbahnen verwendeten Triebfahrzeuge, insbesondere die von den Zahnradbahnen eingesetzten Fahrzeuge, gehören zu den technisch interessantesten und modernsten Fahrzeugen dieser Art. Eine Reihe von diesen stellen wahre Spitzenleistungen der schweizerischen Maschinen- und Elektroindustrie dar. Erwähnt sei nur die 1400 PS-Zahnrad- und Adhäsionslokomotive der Furka-Oberalp-Bahn aus dem Jahre 1941, welche die leistungsfähigste einteilige Zahnradlokomotive der Welt darstellt.

Nach diesem aus zeitlichen Gründen gedrängten Überblick über die Elektrifikation und den derzeitigen Stand des elektrischen Betriebes der schweizerischen Eisenbahnen bleibt mir noch die Aufgabe, Ihnen einige Erfahrungen in technischer und finanzieller Hinsicht mitzuteilen.

Die Elektrifikation der Schweizerischen Eisenbahnen als Gesamtwerk betrachtet ist nach dem Urteil ihres Schöpfers, Ing. E. Huber-Stockar, „das Produkt vieler verschiedenartiger Faktoren. Sie ist ein nach Ursprung und Zweck, nach Plan und Durchführung schweizerisches Werk. Sie ist aber auch ein Denkmal der geordneten, vom Verständnis für das Ganze getragenen Zusammenarbeit der Industrie und des Gewerbes mit der Verwaltung, sowie aller technischen und mancher anderer Dienststellen der Verwaltung. Sie ist ein glänzendes Beispiel angewandter Wissenschaft und Technik“.

Die Elektrifikation der Schweizer Bahnen, die so lange im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses stand, gehört heute bereits zu den eingelebten und selbstverständlichen Requisiten des schweizerischen Transportapparates. Während sie zuweilen, so besonders in den ersten Jahren noch von einzelnen als unwirtschaftlich bezeichnet worden ist, fand sie in den Jahren 1939—1945 — als die elektrifizierten Eisenbahnen die Schweiz vor einer Transportkrise bewahrten — ungeteilte Anerkennung.

Eine ganze Reihe von Vorteilen sind Zierden dieses Werkes. Technisch, d. h. vor allem fahr- und betriebstechnisch, hat sich die Elektrifikation vorzüglich bewährt. Die Leistungsfähigkeit der einzelnen Bahnen wurde namhaft erhöht und in der Auflockerungsmöglichkeit des Verkehrs (Einsatz von Schnelltriebwagen) ist ein neues Mittel gegen die Konkurrenz der Straße geschaffen worden. Die materialsparende und für ein Reiseland wie die Schweiz attraktiv wirkende Rauchlosigkeit des Betriebes erhöhte die Reiselust. Neben der Steigerung der Betriebssicherheit konnten auch gesundheitliche Vorteile für das Personal erzielt werden.

Als wichtigste ökonomische Folge der umfassenden Elektrifizierung hat sich eine namhafte Zunahme des Anlagekapitals und eine nicht unwesentliche Verstärkung des Fixkostenanteils, d. h. eine Zunahme der festen und nicht proportional veränderlichen Kosten ergeben. Bei den Bundesbahnen sind folgende Werte von Interesse: Im Jahre 1913 betragen die festen und nicht proportional veränderlichen Kosten 90%; sie sind bis 1937 (die letzte verfügbare Zahl stammt

aus diesem Jahre) auf 98,5% angestiegen<sup>1)</sup>. Diese Erhöhung macht eine Steigerung des Verkehrs und eine Erhöhung der Verkehrsdichte wünschbar.

In all diesen Berechnungen sind zahlenmäßig nur sehr schwer erfassbare aber nichtdestoweniger sehr bedeutsame positive Folgen der Elektrifikation, wie die starke Entlastung der Handelsbilanz, die verkehrsfördernde Wirkung des „sauberen Betriebes“, die durch die Zunahme der Zuggeschwindigkeiten geschaffene stärkere Stellung in der Konkurrenz gegenüber anderen Verkehrsträgern, wie auch die Unabhängigkeit von ausländischen Energiequellen nicht enthalten.

Wesentlich ist dabei, daß die Anforderungen des modernen Verkehrs die verschiedenen Unternehmungen ohnehin im Verlaufe der letzten Jahre zu einer Modernisierung ihrer Traktionsmittel gezwungen hätten.

Sie werden mir nun vielleicht die Frage vorlegen, weshalb die Schweiz nicht den Einphasenwechselstrom zu 50 Hz für die Elektrifikation der Bahnen verwendet hat, was den Anschluß an das gerade in unserem Lande vorzüglich ausgebaut und verbundene Landesnetz ermöglicht hätte. Zur Beantwortung dieser Frage muß ich darauf hinweisen, daß zu jener Zeit, als sich die maßgebenden Kreise für die Elektrifikation der Bahnen einsetzten, der Bau der Triebmotoren noch derartige Schwierigkeiten bot, daß man es nicht für möglich hielt, einen Motor für 50 Hz zu konstruieren.

Der auf Grund der Erfahrungen mit dem Einphasenmotor von 16 2/3 Hz konstruierte 50-Hz-Motor ist nun zu einem durchaus brauchbaren Instrument der Eisenbahnelektrifikation geworden.

Ich möchte mich nicht darüber äußern, welchem System unser Land den Vorzug gegeben hätte, wenn es erst jetzt an die Umstellung des Eisenbahnbetriebes auf die landeseigene Kraft herangetreten wäre. Eines steht jedenfalls fest: Eine sorgfältige Prüfung des 50-Hz-Systems, das durch den Anschluß an das Landesnetz unbestreitbare und große Vorteile gegenüber einer Energieversorgung aus bahneigenen Werken aufweist, hätte sicher erfolgen müssen.

Meine Herren, ich fasse meine Ausführungen wie folgt zusammen: Die Schweiz, eines der bevölkerungs- und industriereichsten Länder der Erde, verfügt weder über eigene namhafte Kohlen- noch über Eisenvorkommen, beides Rohstoffe, welche als Grundpfeiler jeder neuzeitlichen Industrie anzusprechen sind. An „schwarzer“ Kohle bar, ist sie um so reicher mit den Schätzen der „weißen“ Kohle ausgestattet. Was lag nun näher, als die Nutzung der von der Natur so freigebig und in einem unversiegbaren, sich immer wieder erneuernden Strom zur Verfügung stehenden Wasserkräfte, welche eine der stärksten Stützen unserer Industrie und des Gewerbes sind, auch dem Verkehr, insbesondere dem Eisenbahnverkehr dienstbar zu machen.

Die Voraussetzungen hierzu waren aber nicht etwa nur mit Bezug auf die Fülle der verfügbaren Wasserkräfte besonders günstig. Die Schweiz hatte auch das Glück, über eine qualitativ hochstehende Maschinen- und Elektroindustrie zu verfügen, die, zusammen mit einer Reihe initiativer Persönlichkeiten, die Umstellung des Betriebes der Schweizer Bahnen auf die landeseigene Kraft ermöglichten. Unter diesen beiden günstigen Voraussetzungen ist die „Drehscheibe Europas“ zum „Land der elektrischen Bahnen“ geworden.

Die Elektrifikation ist so durchgreifend erfolgt, daß in der Schweiz von allen Ländern der Erde prozentual am meisten Schienenverkehrswege dem elektrischen Betrieb erschlossen sind. Die außerordentlich verschiedenartigen topographischen, wirtschaftlichen und verkehrstechnischen Verhältnisse unseres Lan-

<sup>1)</sup> Vgl. dazu Fischer W.: „Die Personalfahrpreise der Schweizerischen Bundesbahnen 1914 bis 1920“, Band 3 der von Prof. Dr. Sätzler herausgegebenen „Zürcher Volkswirtschaftlichen Forschungen“, Zürich 1924 und Staffeibach Hs.: „Normalgütertarif und Kostenstruktur der Schweizerischen Bundesbahnen 1914—1930—1937“, Band 29 der Zürcher Volkswirtschaftlichen Forschungen“, Zürich 1939.

des und seiner einzelnen Gebiete haben dazu geführt, daß der elektrische Betrieb der Schweizer Bahnen von großer Mannigfaltigkeit ist, wie kaum in einem anderen Lande. Neben schweren ausgelasteten Güterzügen von bis zu 2000 Tonnen und internationalen Schnellzügen bis zu 750 Tonnen, die über unsere Gebirgsbahnstrecken am St. Gotthard und Lötschberg mit einer Steigerung von 26%<sup>00</sup> und einer Geschwindigkeit von 65 km/h geschleppt werden, gibt es Leichtschnellzüge auf ausgedehnten Flachlandstrecken, die aus der kleinen Berührungsfäche von Bügel und Fahrdrat die Kraft zur Entwicklung einer Höchstgeschwindigkeit von 125 km/h ziehen. Eine Reihe von bekannten Bergen werden durch elegante Triebwagen mit Geschwindigkeiten von 12,5, 15 ja 30 und mehr km/h erklommen.

So hat sich insgesamt die Elektrifikation der schweizerischen Eisenbahnen als betriebs- und volkswirtschaftlich gleich vorteilhafte Lösung erwiesen.

Wir haben damit nur einige der nächsten und unmittelbaren Folgen zusammenfassend festgehalten. Daß diese technische Großleistung eine Reihe von beachtenswerten Ausstrahlungen und Fernwirkungen hatte und noch heute hat, sei nur nebenbei bemerkt. So erwies sich die unter ausschließlicher Mitarbeit der schweizerischen Industrie durchgeführte Betriebsumstellung als wertvolles Versuchsfeld der Maschinen- und Elektroindustrie, die sie auf dem Wege zu technischen Höchstleistungen maßgeblich unterstützte und sie im Kampfe gegen die internationale Konkurrenz stärkte.

Die Arbeit ganzer Generationen hat Europa in einer langen Entwicklung zu einem vielgestaltigen Gebilde geformt, in welchem die verschiedenen Agrar- und Industriestaaten den Völkern des zwanzigsten Jahrhunderts alle Voraussetzungen und Grundlagen für ein glückliches Leben im Wohlstand boten. Als besonders bedeutsam erwies sich dabei das in allen Staaten im Laufe der letzten Jahrzehnte ausgebaute Geflecht der Schienen-, Land-, Wasser- und Luftverkehrswege.

Ein mächtiges Eisenbahnnetz von rund 415 000 km Länge, durchpulst vom ununterbrochenen Strom des Personen- und Güterverkehrs, bildet eine der Hauptvoraussetzungen der modernen Wirtschaft und Kultur. Die Pflege aller inner- und zwischenstaatlichen Beziehungen ist durch die Eisenbahnen, das Rückgrat des Verkehrs, wenn nicht erst ermöglicht, so doch wesentlich erleichtert worden.

Unter dem Einfluß der voranstrebenden Technik hat die Sicherheit, Schnelligkeit, aber auch die Bequemlichkeit und die Leistungsfähigkeit der Eisenbahnen im Wandel der Jahrzehnte mächtige Fortschritte erzielt.

Besonders wichtig im Zuge dieser technischen Entwicklung war die Elektrifikation der Eisenbahnen. Die Umstellung des Bahnbetriebes auf die Zugkraft der elektrischen Energie hat, wie ich Ihnen darstellte, unserem Lande mannigfache technische und wirtschaftliche Vorteile gebracht. Mögen diese Vorzüge auch Deutschland mehr und mehr zustatten kommen.

## Die Elektrifizierung der französischen Eisenbahnen

Oberingenieur Paul de Giacconi:

Leiter der Verbindungsstelle der SNCF in Deutschland

Meine Damen und Herren! Ich habe heute die Absicht, Sie in kurzen Zügen mit den letzten Entwicklungen der französischen Elektrifizierung bekanntzumachen, einschließlich der letzten Neuheiten, deren Verwirklichung von Tatsachen abhängt, die Ihnen manchmal von geringer Tragweite erscheinen, die indessen die Grundlagen bilden für alle allgemeinen wirtschaftlichen Untersuchungen, die im Zusammenhang damit anzustellen sind.

Wir, Ingenieure und Konstrukteure der Eisenbahntechnik, sind gewohnt, wie man so schön sagt, mit den Füßen auf den Schienen zu bleiben. Und von hier nimmt ja auch die ganze Elektrifizierung ihren Ausgang. Zwischen Schiene und Fahrdrat liegen zumindest 50% des Problems. Die anderen 50% liegen außerhalb und sind leichter zu lösen. Ich werde zu Ihnen von Lokomotiven und ortsfesten Anlagen sprechen, und ich hoffe, daß Sie am Ende dieser Plauderei einen kleinen Einblick in die Probleme des elektrischen Bahnsystems gewonnen haben und sehen, was man von ihm für die Zukunft erwarten kann.

Es ist in einer kurzen Rede selbstverständlich unmöglich, alle technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte, die mit der Anwendung des neuen 50 Hz Einphasenstrom-Systems in Frankreich gegenüber dem 1500 V Gleichstrom-System zusammenhängen, eingehend zu behandeln. So möchte ich lediglich versuchen, klare und grundlegende Gedanken und die augenblicklich erreichten technischen Ergebnisse herauszustellen.

Ein Hinweis auf die allgemeine Lage in Frankreich ist notwendig.

Die Landkarte Frankreichs zeigt Ihnen die Hauptadern, die augenblicklich mit 1500 V Gleichstrom elektrifiziert sind: Paris—Hendaye, 816 km; Paris—Toulouse—Narbonne—Nîmes, 1010 km; Paris—Le Mans, 211 km; Paris—Dijon, 315 km; Culze—Modane, 135 km; Beziere—Neussaregeus, 200 km; Toulouse—Bayonne, 323 km.

Hinzu kommt die erste 50-Hz-Strecke Aix-les-Bains—Annecy—La Roche—sur-Foron mit 78 km.

Fast alle diese Strecken haben eine große Verkehrsdichte. Besonders der Streckenabschnitt Paris—Dijon ist augenblicklich die am meisten belastete Verkehrsstrecke Europas. Ein kleines Beispiel soll es Ihnen erklären: Am Weihnachtsabend zwischen 8 und 10 Uhr befahren diese Strecke Schnellzüge in einem Abstand von 5 Minuten, mit einer Geschwindigkeit von 130 km/h und einer Anhängelast von 750 t pro Zug.

Die Leistung dieses elektrifizierten Netzes zeigt, daß die französischen Eisenbahnen mit seinem Ergebnis sehr zufrieden sind. Denn sowohl die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit wie auch die technische Sicherheit sind augenblicklich vollkommen gewährleistet. Die Ersparnisse gegenüber dem Dampftrieb sind beträchtlich. Um nur ein Beispiel anzugeben: die Betriebskosten des Streckenabschnittes La Roche—Dijon sind augenblicklich ein Zehntel vom früheren Dampftrieb.

Warum haben sich nun die französischen Eisenbahnen trotz dieser Ergebnisse nach einer anderen Richtung hin orientiert?