

N: 4027

□ Schweizerischer Elektrotechnischer Verein □

BERICHT

über die gemeinsame

öffentliche Diskussions-Versammlung

Dienstag den 14. Dezember 1915, im Grossratssaal in Bern

veranstaltet vom

Schweizer. Elektrotechnischen Verein

und

Schweizer. Wasserwirtschaftsverband

über

Die Elektrifizierung der Schweizerischen Bundesbahnen.



Sonder-Abdruck

aus dem Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Jahrgang 1916, Heft No. 1.

ZÜRICH

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.

1916

Sonder-Abdruck aus dem Bulletin des S. E. V.
Jahrgang 1916, Heft No. 1.

BERICHT

über die gemeinsame

öffentliche Diskussionsversammlung

Dienstag den 14. Dezember 1915, im Grossratssaal in Bern

veranstaltet vom

Schweizer. Elektrotechnischen Verein und Schweizer. Wasserwirtschaftsverband

über

Die Elektrifizierung der Schweizerischen Bundesbahnen.



An der Versammlung nehmen za. 250 Personen teil, darunter über 60 offizielle Vertreter eingeladener Behörden, so des Schweizerischen Bundesrates, des Schweizerischen Eisenbahndepartements, des Schweiz. Departements des Innern, der Generaldirektion der Schweiz. Bundesbahnen, der Schweiz. Obertelegraphendirektion, des Verbandes Schweiz. Sekundärbahnen, der Berner Alpenbahngesellschaft, des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins, des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbands, des Schweiz. Ingenieur- und Architektenvereins, der Gesellschaft ehemaliger Studierender der Eidgen. Technischen Hochschule, des Schweiz. Techniker-Verbands, des Verbandes Schweiz. Verkehrsvereine, des Schweiz. Bauernverbands, des Schweiz. Kaufmännischen Vereins, des Schweiz. Gewerbevereins, des Schweiz. Baumeisterverbands, der Neuen Helvetischen Gesellschaft, der Neuen Gotthardvereinigung, der Association „Pro Sempione“, des Vereins für Schifffahrt auf dem Oberrhein, des Nordostschweiz. Verbandes für Schifffahrt Rhein-Bodensee, des Bernischen Ingenieur- und Architektenvereins, der Kantonalen Bernischen Handels- und Gewerbekammer.

Vorsitzender: Professor J. Landry, Lausanne, Präsident des S. E. V.

Protokollführer: Ing. A. Härry, Zürich, Sekretär des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbands.

Professor *J. Landry* eröffnet punkt 2¹/₂ Uhr die Versammlung mit folgender Ansprache:

Messieurs,

J'ai l'honneur, au nom des deux Sociétés qui ont organisé la réunion d'aujourd'hui, de remercier toutes les personnes qui ont bien voulu répondre à notre appel.

Je tiens à remercier d'une façon toute particulière les membres des pouvoirs législatifs et exécutifs de la Confédération et des cantons, qui ont bien voulu nous honorer de leur présence et nous prouver de cette façon l'intérêt qu'ils portent à nos travaux et leur désir d'entendre, dans une question aussi importante et aussi actuelle que celle qui figure à notre ordre du jour, ce que pensent les représentants les plus autorisés des cercles techniques du pays.

Je remercie aussi, et d'un cœur non moins reconnaissant, MM. *Thormann* et *Wyssling* d'avoir bien voulu accepter la mission d'être les interprètes de cette pensée. Ces Messieurs — cela ne peut faire de doute pour tous ceux qui connaissent la part importante qu'ils ont prise aux travaux de la „*Commission Suisse d'études pour la traction électrique des chemins de fer*“ — sauront traiter le sujet qui nous occupe avec l'objectivité et la hauteur de vue dont on ne saurait se départir quand on se propose, comme cela est le cas pour la réunion de ce jour, de servir, en y apportant les clartés nécessaires, et dans une mesure qui ne saurait jamais être trop grande, les intérêts supérieurs du pays.

C'est dans ces sentiments et avec l'espoir que nous n'entendrons aujourd'hui que des paroles concourant à ce même but, que j'ouvre la séance.

Sekretär *Härry* verliest hierauf die Liste der angemeldeten Behörden, Gesellschaften und Verbände.

Der *Vorsitzende* erteilt dann das Wort an Herrn Ingenieur *L. Thormann* zum nachstehenden Vortrage.

* * *

Vortrag von Ing. L. Thormann

gewesener Mitarbeiter der Schweizer. Studienkommission.

Hochgeehrte Versammlung!

Zur Erledigung der mir übertragenen Aufgabe steht mir leider nur eine kurze Zeit zur Verfügung, sodass von einer erschöpfenden Behandlung selbstverständlich nicht die Rede sein kann. Ich muss mich daher darauf beschränken, Ihnen über die technische Seite der elektrischen Vollbahntraktion einen ganz kurzgefassten Ueberblick zu geben, so weit derselbe zur Beurteilung der Einführung derselben bei den Schweizerischen Bundesbahnen von Nutzen sein kann.

Aus dem Baubudget derselben ist Ihnen bekannt, dass im nächsten Jahr auf der Gotthardlinie mit den Bauten ernsthaft begonnen werden soll. Es ist dies eine erfreuliche Tatsache und jedenfalls der Kernpunkt der Angelegenheit infolge ihrer weitgehenden volkswirtschaftlichen Bedeutung.

Merkwürdigerweise ist es aber nicht dieser Umstand, der weite Kreise hauptsächlich zu beschäftigen scheint, sondern die erst in zweiter Linie stehende Frage nach dem anzuwendenden System, welche zu einer Menge von Erörterungen Anlass gegeben hat, wohl dadurch veranlasst, dass bis anhin von den diesbezüglichen Absichten so gut wie nichts in die Öffentlichkeit gedrungen ist. Davon, dass die leitenden Persönlichkeiten ihren Entschluss wohl schon längst gefasst haben, bin ich meinerseits überzeugt.

Ich möchte Sie daher ersuchen, mein heutiges Referat nicht als eine beabsichtigte einseitige Stimmungsmacherei ansehen zu wollen, wiewohl ich zu den Systemen auch Stellung werde nehmen müssen. Mein Bestreben geht dahin, so objektiv wie es überhaupt einem noch möglich ist, der selbst im Feuer gestanden hat, Ihnen ein Bild der technischen Seite der Frage der elektrischen Traktion unserer Hauptbahnen zu entwerfen und die sich aufdrängenden Folgerungen zu ziehen, denen, wie ich hoffe, auch Sie sich umso eher werden anschliessen können, als sie meist ganz naheliegend sein werden.

Ich werde nun in erster Linie, ohne in viel Zahlen und Details einzutreten, den **heutigen Stand der elektrischen Traktion** skizzieren, wie er sich in der Schweiz und den wichtigsten europäischen Ländern entwickelt hat, sowie auch in Nordamerika und zwar nur für sog. Hauptbahnen. Da nun einmal verschiedene elektrische Betriebssysteme existieren, so bin ich auch genötigt, denselben gemäss den Stoff zu gruppieren.

Für die Hauptbahntraktion kommen noch in Frage folgende *Systeme*, benannt nach der im Fahrdrabt geführten Stromart:

1. Drehstrom von 3—5000 Volt Spannung und niedriger Periodenzahl von ca. 16 pro Sekunde, während unsere Elektrizitätswerke meist mit 40—50 Perioden arbeiten.
2. Gleichstrom von 2—3000 Volt Spannung.
3. Einphasenstrom von 15000 Volt Spannung und 15—16 Perioden.

Alle andern Systeme, wie der niedriggespannte Gleichstrom unserer Sekundärbahnen und Strassenbahnen, die niedere Drehstromspannung der B. T. B. kommen ihrer Unwirtschaftlichkeit wegen für Hauptbahnen von vornherein nicht in Betracht.

1. Nach dem ersterwähnten *Drehstromsystem* arbeiten in der Schweiz der Simplontunnel mit zirka 22 km Betriebslänge, 3000 Volt 16 Perioden. Die Veranlassung, die seinerzeit, vor 10 Jahren, zur Annahme dieses Systems geführt hat, ist hier zu wiederholen nicht notwendig. Eine andere Lösung war damals wohl ausgeschlossen, wenn man überhaupt die Elektrifikation dieses Tunnels ausführen wollte.

An Lokomotiven stehen den S. B. B. zur Zeit 5 Stück zur Verfügung, mit denen allen Anforderungen der Zugsführung auf der erwähnten Strecke entsprochen werden kann; in *Italien* sind von den italienischen Staatsbahnen bereits gegen 280 km Bahnlinien mit 3000 Volt und 16 Perioden in Betrieb und zwar:

die Veltlinerlinie Lecco-Colico-Chiavenna und Tirano	106 km
die sog. Giovi-Linien bei Genua	53 „
der Mont Cenis Bardonechia-Modane	49 „
Savona-Ceva	41 „
Monza-Lecco	38 „

Der Verkehr ist besonders auf den Giovi- und Mont Cenis-Linien ein ganz schwerer und wird auf den erwähnten Bahnen mit zusammen ca. 150 Lokomotiven von 2000 bis 3000 PS Leistungsfähigkeit bewältigt, wobei Steigungen bis zu 30⁰/₀₀ vorkommen.

Anderweitige Drehstrombetriebe von Bedeutung in Europa sind mir nicht bekannt. Auch in Nordamerika scheint man sich nicht dafür begeistert zu haben, trotz der Vorteile, die der Lokomotivbau bietet.

Beim Drehstrom sind nämlich die geringsten Lokomotivgewichte pro PS Leistung zu erzielen, ca. 30—40 kg PS Stundenleistung, hauptsächlich davon herrührend, dass die relativ niedrige Fahrdrabtspannung von 3000 Volt Transformatoren auf der Lokomotive entbehrlich macht. Nicht gerade ideal sind die Regulierungsverhältnisse; doch können sie immerhin den Anforderungen des Bahnbetriebes annähernd genügen.

Der grosse Nachteil des Drehstrombetriebes ist indessen die Doppelpoligkeit der Fahrdrabtleitung. Nicht nur dass der Bau der Weichen und Kreuzungen in grösseren Bahnhöfenanlagen ein äusserst komplizierter wird, sondern es gibt sogar Fälle, wo ein rationeller Leitungsbau überhaupt ausgeschlossen ist. Die Uebertragung der Simplonleitung auf die Lötschberglinie war zum Beispiel direkt ausgeschlossen, indem das Profil der doppelspurigen Tunnels den Stromabnehmer des Simplon nicht durchlässt. Eine Verschmälerung desselben

hätte aber in den Kurven die Zahl der Abspannpunkte bedeutend vermehrt und die Weichenkonstruktion wieder erschwert, eventuell sogar verunmöglicht. Die Doppelpoligkeit der Leitung hat auch bisher der Anwendung höherer Spannung beim Drehstrom-System im Wege gestanden.

2. Wir kommen nun zum *Gleichstrom-System*.

Europäische Beispiele anzuführen, bin ich in Verlegenheit. Es existiert keine einzige Vollbahntraktion dieser Art in Europa, wenn man von sog. Stadt- und Vorortbetrieben in den grösseren Städten wie Paris, Berlin, London und andere absieht, die indessen alle mit niederer Spannung von ca. 6—800 Volt arbeiten, desgleichen auch die italienischen Linien Mailand-Varese, Porto-Ceresio, und somit deren System für Netze mit grösserer Ausdehnung nicht in Betracht kommt.

In *Nordamerika* dagegen ist Gleichstrom von höherer Spannung, d. h. von 2—3000 Volt verschiedentlich auf den Plan getreten. Zunächst für Aussenlinien, sog. Ueberlandbahnen, die mit städtischen Strassenbahnen in direkter Verbindung stehen und meist mit Motorwagen von relativ geringer motorischer Leistungsfähigkeit betrieben werden, teils indessen auch bei Hauptbahnen, die mit ganz schweren Lokomotiven befahren werden. Unter letzteren sind zu nennen:

Chicago, Milwaukee-St. Paul Railway mit 3000 Volt Fahrdrachtspannung, einer Betriebslänge von über 182 km, die auf 760 km ausgedehnt werden soll, 4 Unterwerke à ca. 4000 kW zur Umformung von Drehstrom 100000 in Gleichstrom 3000 Volt. Lokomotiven von ca. 3400 PS Stundenleistung bei 26 km/St. und mit einem Gewicht von ca. 235 Tonnen für Züge von 1800 bis 2000 Tonnen Belastung.

Butte, Anaconda und Pacific 2400 Volt, Erztransportbahn von ca. 51 km Länge, 15 Lokomotiven von ca. 1050 PS Stundenleistung bei 24 km/St. und ca. 73 Tonnen. Versuchsstrecke für erstgenannte

Northern-Canadian Tunnelstrecke zwischen Mount-Royal und Montreal von 16 km Betriebslänge, 2400 Volt, mit 17 Lokomotiven von ca. 1200 PS, 75 Tonnen.

Michigan-Chicago Ry. 148 km, 2400 Volt mit dritter Schiene.

Welche Erwägungen für die Wahl des Gleichstroms bei diesen Bahnen ausschlaggebend waren, ist mir nicht bekannt. Sicher ist indessen, dass dort ganz andere Betriebsverhältnisse als bei uns herrschen. Die Linie in Montreal ist eine städtische Vorortlinie, welche zwei benachbarte grössere Städte miteinander verbindet. Bei der Chicago, Milwaukee-St. Paul Bahn und der Versuchsstrecke Butte, Anaconda und Pacific handelt es sich allerdings um eine lange Ueberlandlinie, die offenbar durch unwirtliche Gegenden führt und über eine Meereshöhe von 2800 m. Die Entfernung der Unterstationen mit ca. 50 km lässt darauf schliessen, dass zwischen je zwei derselben jeweilen nur ein Zug sich befinden kann, der ausserdem bei einer Fahrgeschwindigkeit von 26 km/St. ca. 2 Stunden unterwegs ist. Also Verhältnisse, die sich mit den unsrigen in keiner Weise vergleichen lassen.

Was die Ausführung in technischer Hinsicht anbetrifft, so scheint sie immerhin von Erfolg begleitet zu sein. Die Lokomotiven weisen Gewichte von ca. 60—70 kg pro PS Stundenleistung auf gegen ca. 45—60 für Ausführungen mit Spannungen von 600—1500 Volt. Da auf denselben eine Spannungsumformung nicht stattzufinden hat, ist die Einrichtung relativ einfach. Die Geschwindigkeitsregulierung passt sich den Anforderungen des Eisenbahnbetriebes an.

3. Das *Einphasenstromsystem* mit hoher Fahrdrachtspannung von 10 bis 15000 Volt weist in Europa folgende Ausführungen auf:

in der Schweiz: die *Bern-Lötschberg-Simplon (B. L. S.)* Scherzligen-Brig mit ca. 84 km Betriebslänge, 15000 Volt, 15 Perioden, Lokomotiven von 2500 PS Leistung. Hauptbahnbetrieb. 14 Lokomotiven.

die *Rhätischen Bahnen*: Engadinerlinien ca. 105 km, 10000 Volt, 15 Perioden, allerdings schmalspurig, Lokomotiven von 6—800 PS.

in Deutschland: mit 15000 Volt, 16 Perioden:

Magdeburg-Leipzig-Halle: 154 km zweigeleisig, inbegriffen die Versuchsstrecke Dessau-Bitterfeld

Schlesische Linien: Lauban-Königszell mit

ca. 135 km	zweigeleisige	Hauptlinien
„ 46 „	eingeleisige	„
„ 93 „	„	Nebenlinien.

Jede dieser Betriebsgruppen der preussischen Staatsbahnen wird von einem Dampfkraftwerk mit Energie bei 60000, resp. 80000 Volt versorgt, die in 3, resp. 4 Unterstationen auf 15000 Volt heruntertransformiert werden. Bei Kriegsausbruch waren an beiden Orten Teilstrecken bereits im Betrieb und über 100 Lokomotiven aus verschiedenen deutschen Fabriken teils im Bau, teils abgeliefert.

Die *Wiesentalbahn* der Badischen Staatsbahnen 49 km Betriebslänge, 12 Lokomotiven von ca. 1000 PS, verschiedener Provenienz.

in Oesterreich-Ungarn mit 15000 Volt, 16 Perioden:

die *Mittenwaldbahn*, Innsbruck-Garmisch, Partenkirchen-Reutte und Murnau in Bayern ca. 110 km Betriebslänge, Lokomotiven von ca. 800 PS.

Wien-Pressburg mit ca. 50,5 km, Lokomotiven von 750 PS, Dauerbetrieb.

Budapest-Gödöllöh 54 km mit 10000 Volt, 15 Perioden. Lokomotiven von 500 PS Stundenleistung.

in Frankreich mit 12000 Volt, 16 Perioden, mehrere Strecken der *Cie. du Midi*, bei Lourdes-Tartes-Perpignan ca. 60 km, Lokomotiven von 1200—1500 PS.

in Norwegen die *Rjukanbahn* 10000 Volt, 25 Perioden, 46 km mit 27‰ max. Steigung, hauptsächlich für Materialtransport. Lokomotiven von 500 PS.

in Schweden die *Kiruna-Ricksgränzbahn* 15000 Volt, 15 Perioden, 130 km 10‰, hauptsächlich für Erztransport. Züge von 1800 Tonnen. 11 Lokomotiven von 1700 PS, 2 von 1000 PS.

in Europa zusammen über 1100 Betriebskm.

in Nordamerika in erster Linie das Netz der New York-New Haven und Hardfordbahn mit 11000 Volt, 25 Perioden, Betriebslänge 800 km, 4—6-spurig mit über 100 Lokomotiven von 12—1500 PS. Ferner die Pennsylvania Bahn, Northern Norfolk and Western, letztere mit Converter-Lokomotiven betrieben.

Die Lokomotiven des Einphasensystems unterscheiden sich dadurch von denjenigen der beiden andern Systeme, dass auf denselben ein Transformator für Spannungsumformung untergebracht werden muss. Ihre Ausrüstung enthält daher ein Glied mehr. Dessenungeachtet sind die Ausführungsgewichte der Maschinen, wenigstens solcher europäischer Provenienz, bezogen auf die Leistungsfähigkeit nicht höher als diejenigen der amerikanischen Gleichstrom-Hochspannungsmaschinen. Es müssen pro PS Stundenleistung auch nur etwa 50—70 kg Konstruktionsgewicht je nach Lokomotiv-Type aufgewendet werden; die Lötsherglokomotive 1 E 1 hat sogar nur 41 kg pro PS.

Hinsichtlich der Regulierbarkeit entsprechen die Lokomotiven allen Anforderungen des Bahnbetriebes und zwar unter den denkbar günstigsten wirtschaftlichen Verhältnissen.

Speziell der der Maschinenfabrik Oerlikon patentierte Motor, bei der B. L. S. adoptiert, zeichnet sich durch sehr günstige Wirkungsgradverhältnisse aus. Eingehende Messungen, deren Einzelheiten mitzuteilen zu weit führen würde, haben Werte von 80—83% ergeben für Belastungsfahrten B. L. S. auf den Steilrampen und von ca. 79% über die ganze Bahn hin und her. Eine Anfahrt auf 27‰ mit 300 Touren ergab 75%. Dabei ist das Verhältnis verstanden zwischen der theoretisch am Radumfang zu leistenden Arbeit und der zugeführten elektrischen.

Bei der B. L. S. entsprechen nunmehr, nachdem die anfänglich aufgetretenen Störungsursachen behoben worden sind, die technischen Einrichtungen der Traktion voll und ganz

den Anforderungen des Vollbahnbetriebes. Da seinerzeit diese Störungen mit der Grund dafür waren, dass die Systemsfrage für die Gotthardlinie offen gelassen wurde, seien die hauptsächlichsten ganz kurz erwähnt:

1. *Ueberschläge an den Fahrdradleitungen*, hauptsächlich in den Tunnels, behoben durch Verbesserung der Isolation der Aufhängepunkte. Die Defekte im Monatsdurchschnitt sind z. B. zurückgegangen im Verhältnis pro 1915 gegen 1913

bei der Fahrleitung im Freien auf den 5. Teil

„ „ „ in den Tunnels „ 10. „

Der grösste Teil der Ueberschläge in den Tunnels tritt zur Zeit der Schneeschmelze im Frühjahr auf. Dann sind es auch oft Vögel, die Störungen hervorrufen, im Jahr 1915 sind allein noch 16 Fälle bekannt.

2. *Ueberschläge an den Lokomotiv-Transformatoren und Motoren*, behoben bei ersteren durch Verstärkung der Isolation, speziell an der Einführungsstelle der Hochspannung, bei letztern durch Unschädlichmachung des Kollektorstaubes.

Die Defekte an den Lokomotivtransformatoren sind gegenüber 1913 monatlich auf den 7. Teil zurückgegangen, an den Lokomotivmotoren auf den 9. Teil, an den sonstigen Hochspannungsapparaten auf den 5. Teil.

3. *Defektwerden der Triebwerke der Lokomotiven*, behoben durch Verstärkung einzelner Konstruktionsteile, wie Kurbelzapfennabe und Triebdreieck und Einführung eines federnden Zwischengliedes zwischen Motor und Triebtrieb. Erstere sind an allen Maschinen angebracht, letztere erst an 6 Stück, und doch sind bereits Störungen am Getriebe zur Seltenheit geworden.

Defekte am Triebwerk, Zahngetriebe und Blindwelle eingerechnet, werden pro 1915 monatlich im Durchschnitt nur noch 0,8 gemeldet gegen 2,4 in 1913. Dabei beschränken sich dieselben meist auf Warmlaufen von Lagern. Zerstörungen von Kurbelzapfen sind seit der Verstärkung dieser Teile keine vorgekommen.

Wenn man die in einem bestimmten Zeitraum vorgekommenen *Zugsverspätungen* als Masstab für die Betriebssicherheit einer Bahn annimmt, so ist aus der diesbezüglichen Statistik des Eisenbahndepartementes ersichtlich, dass bei der B. L. S. die Verhältnisse keinesfalls ungünstiger sind als bei den S. B. B. Es verzeichnet in Prozenten der durch Stations- und Fahrdienst verspäteten Züge im Verhältnis zur Gesamtzahl derselben im Durchschnitt für die Monate Januar bis Juli 1915 die B. L. S. 2,17% gegen 2,2% der S. B. B., also so ziemlich dasselbe.

Der *Unterhalt der Lokomotivmotoren*, für den anfänglich Befürchtungen gehegt wurden, gestaltet sich nunmehr ganz zufriedenstellend. Nach den bisherigen Erfahrungen berechnet man die Dauer, bis zu welcher ein *Kollektor um ca. 0,6 mm abgedreht* werden muss, auf etwa 150000 km, die *Dauer einer Kohlenbürste auf ca. 250000 km*, sodass die bezüglichen Kosten im Unterhalt von keiner Bedeutung mehr sind und keinesfalls grösser als bei Gleichstrommotoren.

Meine Herren, wenn es gelungen ist, nach den anfänglichen Schwierigkeiten nunmehr bei der B. L. S. zu Verhältnissen des Traktionsdienstes zu gelangen, die sich unbedingt zeigen lassen dürfen, so ist dies das ungeschmälerte Verdienst der Energie der betreffenden Betriebsorgane, die auch in den schwierigsten Momenten nicht erlahmt ist, unterstützt durch die Ingenieure, in erster Linie der Maschinenfabrik Oerlikon als der verantwortlichen Lokomotivlieferantin, sowie auch ihrer Mitarbeiter der Schweizerischen Lokomotivfabrik Winterthur und der A.-G. Brown, Boveri & Cie.

Wir können nun nach dieser kurzen Uebersicht der bisherigen Ausführungen aus denselben folgende *Resultate* ableiten:

1. Die elektrische Hauptbahntraktion wurde in grösserem Masstab zur Zeit, d. h. bei Kriegsbeginn 1914, betrieben von den italienischen und den preussischen Staatsbahnen, erstere nach dem Drehstrom-, letztere nach dem Einphasensystem. Beide haben auf ihrem Gebiet in technischer Hinsicht Erfolge erzielt.

2. In den übrigen europäischen Ländern scheint nirgends Lust vorhanden zu sein, den Italienern zu folgen, dagegen bewegen sich alle Bestrebungen nach Richtung Einphasenstrom ganz hoher Spannung und Normen der Berner Alpenbahn.

3. In Amerika ist das Drehstromsystem sozusagen unbekannt, das Einphasensystem mit Erfolg auf Strecken mit grösserer Ausdehnung eingeführt und neuerdings auch das sog. Hochspannungs-Gleichstromsystem. Die Anwendungen des letzteren sind aber noch wenig zahlreich und betreffen bisher Bahnanlagen, die von unsern sog. Hauptbahnen derart verschiedene Betriebsanforderungen aufweisen, dass wir uns durch die dort getroffenen Massnahmen kaum beeinflussen zu lassen brauchen.

In rein technischer Hinsicht kann gesagt werden, dass daher alle 3 Systeme mit Erfolg ausführbar sind, dass indessen immerhin beim Drehstrom die Doppelpoligkeit der Leitung ein derart erschwerender Umstand ist, dass man dieses System erst dann anwenden würde, wenn die beiden andern nicht existierten. Letzteres entsprach auch den Verhältnissen, als Italien seine Elektrifikationsprojekte zu verwirklichen begann.

Für uns kann es sich zur Zeit daher nur um Einphasen- oder Gleichstrom handeln, und zwar werden hierbei hauptsächlich die wirtschaftlichen Verhältnisse den Ausschlag geben. Letztere zu behandeln, liegt nicht mir ob. Da indessen hierfür die Einrichtungen für die Stromerzeugung und die Verteilung an die Fahrdrathleitung von Bedeutung sind, werde ich auf dieselben noch in kurzer Beschreibung eingehen.

Einrichtungen für Energieverteilung.

Von der eigentlichen *Fahrdrath-Kontaktleitung* braucht hier nicht die Rede zu sein. Die Nachteile der Drehstromleitung habe ich bereits erwähnt, für die beiden andern Systeme sind grosse Differenzen nicht vorhanden in der Ausführung; denn die sog. dritte Schiene kann bei unseren Bevölkerungs- und Bahnverhältnissen nicht in Frage kommen.

Verschiedenheit ergibt sich sofort jedoch für die Einrichtungen, die erforderlich sind zur Uebertragung der Energie von den eigentlichen Kraftwerken zu den Bahnspiseepunkten. Dieselben ergeben sich infolge der Höhe der im Fahrdrath angewendeten Spannung einerseits, andererseits aus der Stromart.

Was die Spannung anbetrifft, so muss darauf hingewiesen werden, dass je höher dieselbe gewählt wird, umso länger eine von einem Punkt aus versorgte Linie werden kann, und zwar wächst diese Ausdehnungsmöglichkeit, theoretisch betrachtet, im Quadrat der Spannung. Für 3000 Volt Gleichstrom und 15000 Volt Einphasenstrom würde somit, ein einziger Zug auf der Strecke vorausgesetzt, die Ausdehnungsmöglichkeit sich theoretisch verhalten wie 9 : 225. Die örtlichen- und Belastungsverhältnisse setzen natürlich andere Grenzen. Nun ist ferner in Betracht zu ziehen, dass je grösser die Versorgungsgebiete gemacht werden können, umso günstiger das Verhältnis wird zwischen der momentan zu deckenden maximalen Belastungsspitze, verursacht durch irgend eine ungünstige Zugkonstellation und der mittleren Durchschnittsbelastung. Je kleiner dieser Wert, umso billiger gestalten sich die Anlagekosten für Kraftwerke, Uebertragungsleitungen und Speisepunkte oder Unterwerke.

Wenn die Kraftzentrale nicht so günstig liegt, dass von derselben aus direkt der Fahrdrath gespiesen werden kann, werden sog. *Unterwerke* erforderlich sein und zwar eines für jeden Speisepunkt, in denen erst die im Fahrdrath benötigte Energieform erzeugt wird. Dies geschieht entweder durch Spannungsänderung in ruhenden Transformatoren, oder durch Aenderung der Stromart, z. B. Drehstrom in Gleichstrom. Diese Unterwerke, speziell diejenigen mit Umformung der Stromart, verursachen im Bau und Betrieb ganz bedeutende Auslagen, welche den Preis der zugeführten Energie belasten, gleichgültig ob sie der Bahn oder dem Kraftwerk gehören. Ausserdem sind sie mit Energieverlusten verbunden.

Um Ihnen ein Bild zu geben, von welchem Einfluss solche Unterwerke auf die Energieversorgung eines grössern Bahnobjektes sein können, sei nur kurz angedeutet, wie sich die Verhältnisse gestaltet hätten, wenn am *Lötschberg* statt 15000 Volt Einphasen deren 3000 Gleichstrom angewendet worden wären. Jetzt speist die Zentrale Kandergrund

die ganze Linie ohne Unterwerk direkt mit 15000 Volt. Wäre Gleichstrom gewählt worden, so hätten 4 Unterwerke à za. 5000 kW. max. Leistungsfähigkeit jedes erbaut werden müssen mit einem Aufwand von ca. Fr. 3,000,000.— also bedeutend mehr als die sämtlichen Oberleitungskosten, die etwas über Fr. 2,000,000.— betragen haben. Betrieb, Unterhalt, Verzinsung und Amortisation dieser Unterstationen mit 10⁰/₀ gerechnet, dazu der Energieverlust in denselben mit ca. 30⁰/₀, hätten zusammen die Kosten für die Energie um ca. Fr. 400,000.— pro Jahr erhöht, also auf mehr als das Doppelte der gegenwärtigen Auslagen. An Minderkosten beim Gleichstrombetrieb hätte vielleicht eine kleine Differenz auf den Lokomotivbeschaffungskosten in Abzug gebracht werden können, die jedoch in der Vergleichsrechnung verschwindend wäre, nachdem *der Anschaffungswert der sämtlichen Einphasenlokomotiven die Fr. 3,000,000.— nicht einmal erreicht hat*, welche die Umformerwerke gekostet hätten und auch Gleichstromlokomotiven nicht verschenkt zu werden pflegen.

Für das Gleichstromsystem *muss* eben mit einer Umformung der Stromart gerechnet werden, da eine direkte Uebertragung mit genügend hoher Spannung, die noch wirtschaftlich wäre, nicht möglich ist und auch nicht jeder Speisepunkt gerade ein Elektrizitätswerk sein kann, welches die Energie an Ort und Stelle erzeugt. Aehnliche Vergleichszahlen werden sich daher wie bei der B. L. S. auch bei der Untersuchung anderer Strecken ergeben, wenn auch vielleicht nicht überall so ausgeprägt wie in erwähntem Beispiel.

Unterstationen mit Umformung der Stromart können übrigens auch beim Einphasensystem vorkommen, wenn letztere aus irgend einem Grund nicht direkt im Werk erzeugt wird. Dies ist z. B. der Fall bei den Engadinerlinien und bei der Wiesentalbahn, die ihren Strom von Brusio resp. von Augst-Wyhlen, beide als Drehstrom beziehen.

Die Umformung der Stromart erfolgt jeweilen in sog. *rotierenden Umformern*, bestehend aus Motor der zugeführten Stromart und Erzeugerdynamo der abgeführten. Für Umformung in Gleichstrom kommen neuerdings sog. *Quecksilbergleichrichter* in Vorschlag, eine Art Laboratoriums-Apparat im grossen, in dem infolge der Wirkung eines Lichtbogens im Quecksilberdampf von einem zugeführten Wechselstrom letzterer nur in der einen Richtung durchgelassen wird. Man erhält dadurch eigentlich eine neue, dem Gleichstrom ähnliche Stromart, die in der Fachliteratur meist als zerhackter Gleichstrom bezeichnet wird. Inwiefern die Anschaffungskosten solcher Gleichrichter die Anlagekosten der Umformerwerke beeinflussen werden, ist noch unbekannt, da solche für die beim Bahnbetrieb erforderlichen Leistungen gar nicht erstellt, geschweige denn erprobt worden sind. Gross kann die diesbezügliche Differenz nicht sein, da Gebäude, Transformatoren und hauptsächlich die kostspieligen Apparatenanlagen davon nicht berührt werden. Ausserdem scheint dessen Behandlung sehr delikate zu sein, den vielen Hilfsapparaten nach zu schliessen, deren es bedarf, wie Zünder, Vakuumpumpe, Wasserkühlung etc. Dagegen darf bei den Gleichrichtern mit einer Besserstellung des Wirkungsgrades in elektrischer Hinsicht gerechnet werden und daheriger Verminderung der Kosten für die Umformungsenergie, die aber doch immer noch höher sein werden als bei einem System, das überhaupt einer Umformung nicht bedarf, wie das Einphasensystem.

Je weniger Umformerstationen in einem grossen Bahnnetz erstellt werden müssen, umso weniger werden daher die Energieverteilungskosten damit belastet werden. Die Zahl derselben reduziert sich, wie bereits erwähnt, einerseits mit der Höhe der Fahrdrachtspannung, andererseits dadurch, dass die Stromart derselben nicht bedarf.

Es ist nunmehr noch eine kurze Untersuchung darüber am Platz, wie sich die *technischen Einrichtungen* für die verschiedenen Systeme in den *erzeugenden Werken* selbst gestalten.

Der Bahnbetrieb wird für letztere im allgemeinen kein angenehmer Abnehmer sein, hauptsächlich wegen der starken Schwankungen im Bedarf. Man muss auch für grössere Netze mit einer Schwankungszahl von etwa 1:4 rechnen zwischen der durchschnittlichen Belastung und der momentan maximalen. Diese Schwankungen werden bis auf das die Energie erzeugende Werk übertragen werden müssen, weil in den meisten Fällen an dieser Stelle der Ausgleich, d. h. die sog. Pufferung sich am wirtschaftlichsten wird bewerkstel-

ligen lassen, wie verschiedene in den Arbeiten der Schweiz. Studienkommission durchgerechnete Beispiele erwiesen haben.

Des weitern wird es sich gewöhnlich um bedeutende Energiemengen handeln, 10, 15, 20,000 PS und mehr mittlere Belastung und das 3—4-fache in Momenten des Maximalbedarfs.

Dass für solche Leistungen die Kraftwerke, seien es Dampf- oder Wasserwerke, besonders werden organisiert werden müssen, ist wohl selbstverständlich. Die bestehenden, mit vorwiegendem Licht- und Kraftabsatz, sind dazu nicht eingerichtet, haben auch im allgemeinen die erforderlichen Energiebeträge gar nicht mehr zur Verfügung, sondern nur noch zu Zeiten günstiger Wasserstände grössere oder geringere Mengen, sog. Abfallkräfte. Es wird sich daher für die Versorgung der Schweizerischen Hauptbahnen meist nur um neue Werke handeln können, für deren Einrichtung man noch freie Hand hat.

Auch wird der Anschluss der Bahnspisepunkte — seien es solche mit oder ohne Umformung — an die erzeugenden Werke unbedingt durch *separate Leitungen* erfolgen müssen, um grösstmögliche Betriebssicherheit zu erhalten und auch schon aus dem Grunde, weil aus Erstellungsrücksichten eine Unterteilung der erforderlichen Kupferquerschnitte nicht vermieden werden kann.

Das Gleiche gilt für die den Strom *erzeugenden Dynamos* im Werk. Sogar wenn der Fahrdrahtstrom der gleiche ist, wie die für die übrigen Licht- und Absatzgebiete verwendete Art, wird dessen Erzeugung mit Rücksicht auf Menge und Schwankungen in der Belastung in besondern Einheiten vorgenommen werden, die mit den andern kaum zusammgehängt werden können. Es ist dies schon durch die Stromversorgung der Drehstrombahn Burgdorf-Thun durch das Wasserwerk Spiez der B. K. W. erwiesen.

Auch die eventuelle Verwendung der erwähnten Quecksilbergeleichrichter wird in dieser Hinsicht keine Vereinfachung bringen. Im Gegenteil, es dürfte die Verzerrung der Strom- und Spannungskurve erst recht besondere Dynamos erfordern.

Wenn daher ein Elektrizitätswerk damit rechnet, für Bahnbetrieb Energie im Grossen abzugeben, so wird es unbedingt hierfür besondere Maschinengruppen zur Verfügung stellen müssen, wobei dann wohl die Stromart so gewählt werden wird, dass die Erzeugungskosten für die Bahn ein Minimum werden, selbst wenn dadurch eine Abweichung der Stromart gegenüber derjenigen der andern Betriebe resultiert.

Dass der Hauptbahnbetrieb seinen Bedarf aus allen möglichen Stromquellen im ganzen Land zerstreut wird decken können, die gedacht wären, gleichsam in ein allgemeines Netz ihren Strom zu pumpen, halte ich für ganz ausgeschlossen. Für die Sicherheit des Bahnbetriebes wird eine sorgfältige Organisation und Unterteilung von Leitungen und Maschinengruppen durchgeführt werden müssen, die am zweckmässigsten in einzelnen grossen Kraftwerken vorzunehmen ist.

Es führt uns dies zur weitern Ueberlegung, dass die Energieversorgung für Bahnbetrieb, wenn irgend möglich, unabhängig von der übrigen Licht- und Kraftversorgung wird durchgeführt werden müssen, und dass es ganz falsch wäre, deshalb einem Stromsystem den Vorzug geben zu wollen, weil dasselbe zufällig etwas vorteilhafter aus einem andern umgeformt werden könnte, nachdem letzteres für den Zweck überhaupt nicht in Betracht kommt.

Das wäre also der Fall, wenn man Gleichstrom aus Drehstrom allgemein für den Bahnbetrieb zu erzeugen genötigt wäre.

Auch in *militärischer Hinsicht* wird es von Vorteil sein, mit möglichst wenig Unterwerken auszukommen. Dass der elektrische Bahnbetrieb an und für sich gegen Störungen durch gewalttätigen Eingriff empfindlicher ist als die Dampftraktion, ist eine nicht zu leugnende Tatsache, die im Kriegsfall von grosser Bedeutung ist. Ich habe dabei nicht so sehr die Unterbrechung von Leitungen im Auge, da solche ja in relativ sehr kurzer Zeit von einigen Stunden oder höchstens Tagen wieder herzustellen sind, als vielmehr Zerstörungen durch Fliegerbomben, bei denen man es in erster Linie auf die Kraftwerke und Unterwerke absehen wird. Solche Störungen dürften zu ihrer Behebung Wochen und Monate

benötigen. Auch in dieser Hinsicht wird daher das Einphasensystem sich günstiger stellen als die beiden andern, da es am wenigsten Unterwerke aufweist. Man wird indessen in Zukunft bei Neubauten von bahndienstlichen Elektrizitätswerken wohl nicht umgehen können, auf Schutz derselben gegen Fliegertätigkeit Rücksicht zu nehmen, was allerdings meines Wissens noch in keinem Projekt vorgesehen worden ist.

Meine Herren! Ueber die **technischen Vorteile der elektrischen Traktion gegenüber der heutigen Dampftraktion** habe ich bisher nichts vorgebracht. Es gibt deren indessen mehrere, deren Wert aber eigentlich erst durch ihren Einfluss auf die wirtschaftliche Seite erkenntlich wird und auf die einzeln einzugehen hier zu weit führen würde. Meiner Ansicht nach ist es das gesamte wirtschaftliche Resultat, welches zum Ersatz der Dampftraktion führen wird und nicht einzelne technische Vorzüge. Denn niemand wird bestreiten wollen, dass auch der heutige Dampftrieb in technischer Hinsicht auf sehr hoher Stufe steht.

Ein Gegenstand dürfte indessen doch für die heutige Behandlung von Interesse sein, nämlich die sogenannte *Geschwindigkeitsfrage*. Ich meine damit nicht den Umstand, dass es möglich ist, mit Elektrizität exorbitante Geschwindigkeiten von 200 und mehr km/St. zu erzielen, wie seinerzeit auf den Versuchsfahrten in Berlin-Zossen, sondern die Möglichkeit der Steigerung der Geschwindigkeit, da wo die Dampflokomotive mit Rücksicht auf den Kessel heute noch auf geringe Werte sich beschränken muss, nämlich auf Steigungen bei grossen Zugkräften. Es ist wohl am deutlichsten, diese Verhältnisse an Hand eines praktischen Beispiels zu erläutern, und zwar wähle ich dazu den Lötschberg, wiewohl auch irgend eine andere Linie mit Steigungen von 25—27⁰/₁₀₀ hierfür dienen und ähnliche Resultate aufweisen würde.

Wie Ihnen wohl bekannt, befördert die Lötschberglokomotive auf 27⁰/₁₀₀ eine angehängte Zuglast von 300 Tonnen mit 50 km/St. Geschwindigkeit. Ihr Eigengewicht beträgt ca. 104 Tonnen. Wollte man die gleiche angehängte Zuglast von 300 Tonnen mit den neuesten Dampf-Maschinen mit gleicher Geschwindigkeit auf gleicher Steigung etwa eine Stunde lang befördern, so müssten dazu verwendet werden: drei Maschinen der Serien A³/₅ oder C⁵/₆ mit einem Lokomotiv-Eigengewicht von etwa 350 Tonnen.

So würde nun allerdings niemand, auch auf der Lötschberglinie nicht, einen Dampftrieb eingerichtet haben, sondern man hätte voraussichtlich den Fahrdienst für ähnliche Geschwindigkeiten berechnet, wie dies zur Zeit bei der G. B.-Linie der Fall ist, also mit ca. 40 km/St. für Schnellzüge auf 27⁰/₁₀₀ und 20 km für Güterzüge. In diesem Fall hätten die 300 Tonnen der Schnellzüge mit 2 × A³/₅ und die Güterzüge mit 1 × C⁵/₆ geführt werden können. Solange die Strecke mit Zügen nicht vollbesetzt ist, wäre dies von weiter keinem Nachteil gewesen, indem die Förderung der vorhandenen Transportmenge auch möglich war, wenn auch etwas langsamer. Sobald aber die Einlage weiterer Züge nicht mehr tunlich ist, so würde die geringe Leistungsfähigkeit der Lokomotiven sehr bald den Ausbau zur Doppelspur fordern. Es ist somit ersichtlich, dass die elektrischen Lokomotiven der Bedingung grosser Zugkräfte unter noch rationellen Konstruktionsverhältnissen bei *höhern* Geschwindigkeiten genügen als die Dampfmaschinen.

Wenn von einem Vergleich mit den letztern die Rede war, so wird auch eine *Gegenüberstellung der Betriebskosten der B. L. S.* pro 1914 von Interesse sein mit denjenigen, die voraussichtlich ein Dampftrieb, ähnlich demjenigen der G. B.-Linie, mit sich gebracht hätte. Einen solchen einwandfrei zu konstruieren, ist allerdings eine schwierige Sache. Das Resultat soll daher auch kein Faktum vorstellen, sondern nur ungefähr die Grössenverhältnisse der Zahlen zeigen, innerhalb deren man sich bewegt. Ich gehe dabei von der Voraussetzung aus, dass die Dampftraktion infolge der kleineren Lokomotiv-Leistungsfähigkeit rund 50% mehr Lokomotivfahrleistungen erfordert hätte als beim jetzigen elektrischen Betrieb. Aus diesem Grunde ist auch die Zahl der erforderlichen Dampf-Lokomotiven eine grössere, sodass deren Anschaffungskosten sich in beiden Betrieben sehr nahe kommen. Wir hätten dann an Jahresausgaben, wobei die Zahlen des elektrischen Betriebes dem Jahresbericht 1914 entnommen sind:

	Elektrisch Fr.	Dampf Fr.
Kraft, resp. Kohle	350,000.—	875,000.—
Fahrpersonal der Lokomotiven	180,000.—	270,000.—
Unterhalt Lokomotiven	110,000.—	160,000.—
Unterhalt Leitungsanlage	68,000.—	—.—
Zins und Amortisation 6% Leitungsanlage	126,000.—	—.—
Total	834,000.—	1,305,000.—

Differenz zu Gunsten der elektrischen Traktion 471,000.—,

also ein ganz bedeutender Betrag.

Ich möchte nun zum Schluss meine heutigen Auseinandersetzungen nochmals kurz rekapitulieren mit den Behauptungen:

1. dass die Technik heute bereit ist, nicht nur nach einem, sondern sogar nach drei elektrischen Systemen den Vollbahnbetrieb mit vollkommener Sicherheit durchzuführen.
2. dass das Drehstromsystem sich dazu am wenigsten eignet, während wir im Einphasenwechselstrom mit 15,000 Volt ein System besitzen, das sowohl technisch allen Anforderungen entspricht, als auch in unserem Land erprobt ist und wirtschaftlich die besten Resultate erwarten lässt, was sich beides vom Gleichstromsystem nicht behaupten lässt.
3. dass, wenn nicht etwa die Absicht besteht, noch auf mehrere Jahre hinaus überhaupt von ernsthafter Elektrifikation der S. B. B. abzusehen, die Entscheidung jetzt schon mit aller Sicherheit und Berechtigung für Einphasenstrom erfolgen kann, weil man auch vom Gleichstrom nie etwas Besseres wird erwarten können, sondern höchstens dann Gleichwertiges, wenn es gelungen sein würde, auch bei letzterem mit annähernd den gleichen Spannungen von 12—15,000 Volt zu arbeiten. Davon ist man noch weit entfernt.

* * *

(Lebhafter Beifall der Versammlung.)

Der *Vorsitzende*: Je suis certain d'être le fidèle interprète de l'assemblée en remerciant chaleureusement M. Thormann du très intéressant rapport qu'il vient de nous lire. Le tableau qu'il nous a brossé de main de maître et dans lequel il nous a énuméré et dépeint les principaux chemins de fer électriques des deux hémisphères, l'exposé si clair qu'il nous a fait des caractères propres aux divers systèmes de traction électrique qui se disputent un peu partout les faveurs des Électriciens et, enfin, le résumé qu'il nous a présenté, avec tout de sincérité, des résultats obtenus et des expériences faites au Lötschberg, ne peuvent que nous donner l'impression et même la persuasion que la question de la traction électrique des chemins de fer a atteint un degré de maturité technique dont on ne peut que se réjouir.

La parole est au second conférencier, *M. le professeur Dr. Wyssling*.

* * *

Vortrag von Prof. Dr. Wyssling

Generalsekretär der Schweiz. Studienkommission für elektr. Bahnbetrieb.

Hochgeehrte Herren!

Es braucht heute nicht mehr besonders hervorgehoben zu werden, welche Verbesserung es für unsere wirtschaftliche Lage wäre, wenn die Abwanderung der grossen Summen ins Ausland, die der Kohlenbedarf unserer Bahnen verbraucht, vermieden werden und diese Millionen im Lande bleiben könnten, wenn statt der fremden Kohle bisher unbenützte einheimische Wasserkräfte die Triebkraft unserer Bahnen liefern würden. Diese Anschauung ist heute schon bis tief ins Volk gedrungen. Dazu kommt die ideelle Bedeutung dieser Sache, unseren Bahnbetrieb von seiner Abhängigkeit vom Auslande zu befreien. Dafür haben gerade die Kriegsjahre das Gefühl bei jedermann geweckt und die Elektrifizierung unserer Bahnen als ein grosses nationales Ziel erkennen lassen.

Ist die Aufgabe gegenwärtig von ganz besonderer Bedeutung, so setzt die schlimme allgemeine Lage der Schweiz ihrer Ausführung heute andererseits auch ganz besondere Hindernisse entgegen. Das darf da, wo sich Ungeduld regen will, nicht vergessen werden.

In der Tat ist es nicht verwunderlich, wenn Verhältnisse, wie sie uns der Krieg brachte, bei den für eine derartige Sache *verantwortlichen* Personen zunächst wieder zu Bedenken Anlass gaben. Vor allem wohl wegen der Beschaffung der Mittel, da Geld gegenwärtig und wahrscheinlich noch auf längere Zeit nur zu teuren Zinsen erhältlich ist; es ist wohl begreiflich, wenn man sich die Frage stellte, ob nicht „bessere Zeiten“ abgewartet werden sollten. In derartigen Lagen denkt der Verantwortliche auch allgemein besorgter als sonst und so wäre selbst das Bedürfnis verständlich, sich die Antwort auf die Fragen: „Wird mit der Elektrifikation wirklich eine Verbilligung erzielt“ und „Kann uns nicht vielleicht die fortschreitende Technik in der nächsten Zeit noch besseres, wirtschaftlicheres auf diesem Gebiete bringen“ nochmals ernstlich zu überlegen angesichts der grossen Verantwortlichkeit, die eine solche Entscheidung in sich birgt.

Meine Herren! Ich halte es persönlich im allgemeinen nicht für richtig, wenn bei derartigen Aufgaben, nachdem sie einmal von verantwortlichen Leitern in die Hand genommen, an diese allzuviel durch Aussenstehende mit guten Räten herangetreten wird. Ich weiss auch speziell die Oberleitung des Elektrifikationsbureau der Bundesbahnen in besten Händen. Ich betrachte auch die Tagespresse und grössere Versammlungen im allgemeinen nicht für den geeigneten Ort, an dem Fragen, deren Beurteilung eingehende Fachkenntnisse erfordert, entschieden werden sollen und können. Allein, nachdem Einzelheiten der uns heute beschäftigenden Frage bereits in Tagesblättern behandelt und auch aus den Kreisen der Oberbehörden der Bundesbahnen dorthin getragen wurden, nachdem mir von massgebenden Persönlichkeiten, welche die erste Idee zu dieser Versammlung hatten, versichert wurde, dass aus den Umständen der heutigen Zeit entstandene Stimmungen es notwendig machen, Aufklärung über die technische und wirtschaftliche Seite der Frage heute erneuert auf mündlichem Wege auch an weitere Kreise erfolgen zu lassen, — obwohl diese Aufklärung schon vor einigen Jahren in umfangreichen Aktenstücken an die Bundesversammlung erfolgt war — und nachdem auch einzelne jüngst laut gewordene Stimmen vielleicht geeignet waren, über die Eintretensfrage entscheidende Kreise schwankend zu machen, entschloss ich mich nach anfänglicher Ablehnung, mich *in diesem Sinne* in den Dienst der heutigen Versammlung zu stellen. Der Entschluss wurde mir erleichtert durch die Aussicht, eine der seltenen Gelegenheiten benützen zu können, in denen der Ingenieur zu einem Auditorium von der Bedeutsamkeit des heutigen, zu parlamentarischen Kreisen sprechen kann.

Nachdem der Herr Vorredner den Vorzug hatte, seine Voten mit Tatsachen und eigenen Erfahrungen zu belegen, ist das zweite Referat für mich nicht leicht. Ich komme hier zum Worte als Generalsekretär der gegenwärtig in Auflösung begriffenen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb. Ihre vor zwei Jahren vollendeten Arbeiten sind in den Hauptresultaten den Mitgliedern der Bundesversammlung schon vor drei Jahren durch den an die Bundesbahnen erstatteten Bericht bekannt gegeben und in Auszügen und ausführlicheren Berichten auch publiziert worden. Ich kann daher auf diese Veröffentlichungen*) verweisen und enthalte mich, deren Ergebnisse hier ausführlich zu wiederholen. Dagegen lege ich Wert darauf, Entstehung und Arbeitsweise dieser Studienkommission in Erinnerung zu rufen. Sie wurde seinerzeit gegründet, um die Fragen der Elektrifizierung vorurteilslos abzuklären, dadurch der Ausnützung unserer Wasserkräfte und gleichzeitig unserer elektrotechnischen Industrie ein neues Gebiet zu eröffnen. Sie hat von Anfang an alle beteiligten Kreise, sowohl die Eisenbahnfachleute als die sich konkurrenzierenden Fabrikanten, nicht selten mit grossen Schwierigkeiten, zu gemeinsamer Arbeit vereinigt und diese neutrale, allseitige Behandlung der Angelegenheit bis zum Ende, bis und mit der schwierigen Systemsfrage, durchgeführt. Die von ihr festgestellten und bekanntgegebenen Resultate sind daher keine

*) „Mitteilungen“ (No. 1 bis 4) der Schweiz. Studienkommission f. elektr. Bahnbetrieb, „Berichte“ (Heft 1 bis 5) der Schweiz. Studienkommission f. elektr. Bahnbetrieb; beide im Kommissionsverlage Rascher & Co., Zürich.

Französische Uebersetzungen der „Mitteilungen“ im Kommissionsverlage Rouge, Lausanne.

einseitigen persönlichen Anschauungen, sondern sie sind das Ergebnis übereinstimmender Urteile aller Teilnehmer an den Arbeiten, d. h. sozusagen aller namhaften Fachleute der Schweiz mit Einschluss der Vertreter der bedeutenden Fabrikationsfirmen. Die Studienkommission darf sich wohl auch das Verdienst zumessen, für das sie auch Anerkennung fand, die Anhandnahme der Elektrifikation wesentlich gefördert und deren Fragen bedeutend geklärt zu haben.

Die Art und Weise ihrer Arbeiten gestattet mir denn auch heute noch, in den fraglichen Punkten in der Hauptsache auf ihre Untersuchungen abzustellen. Es sind seit der Abgabe dieser Berichte keine Tatsachen eingetreten, welche die Schlüsse der Studienkommission umzustellen vermöchten; was praktische Erfahrungen seither gezeigt haben, bestätigt im Gegenteil ihre Urteile und zeigt teilweise sogar eine weitergehende Entwicklung im vorausgesagten Sinne, als erhofft werden konnte.

Dennoch läge es mir ferne, Schlüsse der Studienkommission unter allen Umständen verteidigen und festhalten zu wollen, neue Gesichtspunkte, die aufgetreten, nicht zu berücksichtigen. Es läge gar nicht im Sinn und Geist der Studienkommission, bessere Ueberlegungen nicht an Stelle früherer treten zu lassen.

Nach der Absicht der Veranstalter sollte ich besonders die *wirtschaftlichen Seiten* unserer Frage behandeln. Sie sind aber mit den technischen derart verknüpft, dass die völlige Trennung nicht gelingen kann.

Die **erste Frage**, die man sich wird stellen müssen, ist die: *Kommt der elektrische Betrieb aus Wasserkraften bei uns billiger oder mindestens so billig als der bisherige Dampfbetrieb?* Die Studienkommission ist seinerzeit zur Bejahung dieser Frage gekommen. Der zukünftige elektrische Betrieb der Gotthardbahn ergab wesentlich geringere Totalkosten des gesamten sogen. „Fahrdienstes“ pro Transporteinheit (Tonnenkilometer) als der bisherige Dampfbetrieb. Die errechnete *Verbilligung* betrug gegenüber dem Dampfbetrieb von 1908 für die Gotthardbahn *25 und mehr Prozent*. Für den Kreis II stellten sich diese Kosten wenigstens gleich wie für den Dampfbetrieb, ebenso für einen reduzierten Betrieb der Gotthardbahn, der dem Dampfbetrieb von 1904 entsprach, wobei jedoch die Kraftwerke in manchen Teilen mit Rücksicht auf die zukünftige Erweiterung viel grösser angenommen waren, als für jenen damaligen Betrieb nötig gewesen wäre. Bei diesen Resultaten muss aber noch in Betracht gezogen werden, dass für den elektrischen Betrieb ganz wesentlich grössere Geschwindigkeiten angenommen worden, derart, dass dadurch allein mindestens 10 % mehr Energie erforderlich sind, als bei den bisherigen Geschwindigkeiten nötig gewesen wäre. Um diese 10 % hätten daher auch ungefähr die Ausgaben für Kohlen beim Dampfbetrieb höher gerechnet werden müssen. Beim Kreise II musste ferner eine relativ unrationelle Kraftversorgung zu Grunde gelegt werden, der gegenüber sich der Betrieb in Wirklichkeit, d. h. im Zusammenhang des ganzen Bundesbahnnetzes, billiger gestalten würde. Diese Berechnungen bezogen sich auf dasjenige Stromsystem, das die Studienkommission bevorzugte, und das sich heute an der Lötschbergbahn und anderswo vollauf bewährt hat.

Was haben nun die *Erfahrungen* seit der Ausrechnung dieser Resultate im Jahre 1911 ergeben? Nach den von Herrn Thormann angeführten Ergebnissen der *Lötschbergbahn* wurde für die Energie mit allem was dazu gehört ungefähr Zweidrittel von dem bezahlt, was für die entsprechenden Aufwendungen, insbesondere die Kohlen, beim Dampfbetrieb hätte bezahlt werden müssen. In der Rechnung der Studienkommission für den Gotthardbahnbetrieb von 1904 hatte sich für dieselben Dinge ein Verhältnis zwischen elektr. Betrieb und Dampfbetrieb von ca. 80 : 100 ergeben. Die Ergebnisse der Lötschbergbahn sind also wesentlich günstiger als die Rechnung der Studienkommission annahm, und die Anwendung der erstern auf jenen Vergleich an der Gotthardbahn würde die errechneten Kosten des gesamten Fahrdienstes für den elektr. Betrieb noch um ungefähr 6 % *erniedrigen*. Jüngst publizierte Resultate der nach demselben System betriebenen *Engadinerstrecken der Rh. B.* ergeben für den Energiebedarf pro Tonnenkilometer ebenfalls Zahlen, die sich in die von der Studienkommission angenommenen durchaus einreihen. Die Zahlen, welche am *Lötschberg* für den *Wirkungsgrad von Lokomotiven* für ganze Fahrten ermittelt

worden, sind wesentlich höher als diejenigen, welche in den Rechnungen der Studienkommission für ähnliche Lokomotiven zu Grunde gelegt wurden. Die *New York-New Haven-Bahn* fährt nach ihren Resultaten wesentlich billiger mit dem elektr. Betrieb als mit Dampflokomotiven, obwohl sie als Primärkraft auch Dampfkraft benützt; diese ist dort allerdings viel billiger als bei uns, aber doch nicht billiger als unsere Wasserkraft.

Die Rechnungen der Studienkommission beruhen auf *Kohlenpreisen* wie sie zu jener Zeit (z. B. 1904) vorkamen. Der Preis ist aber seither gestiegen, und es wird kaum jemand annehmen, dass diese Steigerung nicht weiter fort dauere, eher wird vielleicht in Zukunft mit wesentlich höheren Kohlenpreisen zu rechnen sein. Eine Verteuerung des Kohlenpreises um 20 % gegenüber demjenigen von 1904 erhöht aber die *Ersparnis* der gesamten Fahrdienstkosten für jenen angenommenen zukünftigen elektr. Betrieb gegenüber Dampf von 25 auf 30 %.

In Bezug auf Energieverbrauch und Ersparnisse durch Benützung der Wasserkräfte gegenüber von Kohlen zeigt also die Erfahrung, dass die Studienkommission mit den errechneten Ersparnissen keineswegs zu hoch gegriffen hat.

Anders verhält es sich freilich heute mit dem *Zinsfuss*. Dieser ist in den Berechnungen zu 4 % angenommen. Nehmen wir dafür heute 5 %, so hat dies zwar, besonders an Verzinsung der Kraftwerkskosten, einen gewissen Einfluss auf die Gesamtkosten des Fahrdienstes, aber doch nicht so viel wie man vielleicht annehmen hönnte: Diese Zinsfusserhöhung verteuert die Fahrdienstkosten um etwa 6 %. Diese Mehrkosten werden gerade aufgehoben durch eine Verteuerung der Kohle von 20 % gegenüber 1904, mit der man wohl ungefähr rechnen darf.

Mit Recht sagt aber die Schlussbetrachtung der Studienkommission, dass für die *weitere Zukunft* die Jahresausgaben für den elektrischen Betrieb noch beträchtlich weiter unter diejenigen des entsprechenden Dampfbetriebs sinken werden, weil die Betriebsenergie mit der fortschreitenden Abschreibung und der besseren Ausnützung der Wasserkräfte immer billiger werden wird, im Gegensatz zur Kohle.

Die *zahlenmässige Bedeutung* des Ersatzes der Kohle durch Wasserkraft für den *gesamten Bahnbetrieb der Schweiz* mit Inbegriff der Privatbahnen ist sehr schwierig festzustellen. Da aber von höchster Bedeutung ist, wenigstens einen ungefähren Begriff davon zu haben, will ich Schätzungen versuchen.

Die Summe, die für Kohlen für alle schweizerischen Bahnen jährlich ins Ausland geht, dürfte für die nächste absehbare Zeit zu den Preisen vor dem Kriege über 20, vielleicht bis 25 Millionen Franken betragen. Verkehrssteigerungen und Preisüberraschungen können sie wesentlich höher treiben.

Das gesamte *Kapital*, das für die Einrichtung aller Anlagen zur Elektrifikation sämtlicher Schweizerbahnen, mit Inbegriff der notwendigen, gänzlich auf Kosten der Bahnen und ihnen eigen erstellt gedachten Kraftwerke, aller Nebeneinrichtungen und erforderlichen Aenderungen nötig sein wird, hängt sehr von der Wahl der Wasserkräfte ab, und es kann daher höchstens die Grössenordnung dieser Summe einigermaßen abgeschätzt werden. Sie mag etwa bei 350 bis 500 Millionen Franken liegen. Man braucht vor dieser Zahl nicht zu erschrecken, da die Beschaffung sich auf viele Jahre erstrecken wird. Wir sprechen heute vorläufig erst von der Elektrifikation eines *Teils der Gotthardbahn*, wo für das ganze jene Summe um 70 Millionen Franken herum liegt, und die heute in Aussicht genommene Verteilung der Bauten auf die nächsten Jahre sieht, so weit mir bekannt, auch für die schwerstbelasteten derselben Teilbeträge von nur etwa 14 Millionen Franken per Jahr vor.

Ich bin in Finanzsachen Laie. Allein selbst einem solchen haben die Krieganleihen auch für das Schweizervolk gezeigt, dass es finanzkräftig genug ist, die Kapitalbedürfnisse für öffentliche Unternehmungen zu decken, und wenn die Schweizer Kapitalisten sich durch den Krieg dahin führen liessen, ihre Gelder in Zukunft mehr inländischen staatlichen Zwecken von solider Fundierung als exotischen Unternehmungen zur Verfügung zu halten, so wäre das wohl nur vom guten und wir werden dann nicht erleben müssen, dass auch die Zinsen jenes Kapitals wieder ins Ausland gehen, die unserer Kapitalschätzung nach also von der Grössenordnung 15 bis 25 Millionen Franken im Jahre sein werden.

Vielleicht liegt es nahe, bei oberflächlicher Aufnahme dieser Ziffern den Schluss zu ziehen: „Wenn wir zwar 20 bis 25 Millionen Franken an Kohlenkosten ersparen, aber ebensoviel für Verzinsung neuer Anlagekapitalien aufwenden müssen, so resultiert doch keine Ersparnis“. Das wäre natürlich ein grober Trugschluss. Denn es werden mit dem elektrischen Betriebe noch in vielen anderen Positionen des sogen. „Fahrdienstes“ namhafte Ersparnisse gemacht. Die Einzelheiten sind aus den Veröffentlichungen der Studienkommission zu ersehen.

Die *Gesamtersparnisse*, die bei Elektrifikation aller Staats- und Privatbahnen der Schweiz gegenüber dem Dampfbetrieb erzielbar wären, auch nur zu schätzen, ist ein recht kühnes Unterfangen. Das Resultat hängt von einer Unzahl veränderlicher Umstände ab. Man könnte höchstens aus den Berechnungen für einige grössere Gebiete etwa nach Umfang des Verkehrs und der Anlagen sehr ungenau schliessen, und darnach etwa sagen, dass diese jährliche Ersparnis von der Grössenordnung ein bis einige Dekaden Millionen Franken sein dürfte.

Die **zweite Hauptfrage** wird die sein, ob die *Wasserkräfte in passender Form und Grösse für den gesamten Bahnbetrieb der Schweiz noch disponibel* sein werden. Eine ganze Reihe von Aufstellungen und Schätzungen über die gesamten Wasserkräfte der Schweiz sind mit der Zeit entstanden und der Sprechende selbst hat gelegentlich solche Zahlen eigener Schätzung angegeben. Ich trete nicht näher auf sie ein, sie sind genügend bekannt und zeigen alle, dass mit fortschreitender Technik die Summe der praktisch ausnützbaren Kräfte fortwährend höher angegeben werden konnte und dass letztere jedenfalls ein mehrfaches dessen beträgt, was in absehbarer Zeit sowohl Gross- und Kleinindustrie und Beleuchtung als aller Bahnbetrieb zusammen erfordern werden.

Unter der Annahme, dass in absehbarer Zeit die Verkehrsleistungen aller Schweizer Bahnen ungefähr 100 % grösser sein werden als im zugrundegelegten Jahre 1904, d. h. mindestens ein Drittel grösser als etwa in den Jahren unmittelbar vor dem Kriege, fand die Studienkommission für alle Bundes- und Privatbahnen der Schweiz zusammen ein Erfordernis von rund 500 000 PS (Pferdestärken) Maximalleistung (sogen. Spitzenleistung) ab Turbinen bei rund 150 000 PS mittlerer Leistung, d. h. einer Jahresarbeit mit sämtlichen Turbinen von rund 1300 Millionen Pferdekraftstunden. Die letzte Studie der Kommission nahm zur Bewältigung dieses Bedarfs ungefähr ein Dutzend bisher unbenützte grössere schweizerische Wasserkräfte in Aussicht, die je nach ihrem Ausbau 500 000 bis 700 000 PS Spitzenleistung und 1300 bis 1800 Millionen Pferdekraftstunden Energie im Jahre liefern konnten. Es ist hier nicht der Ort, diese Kräfte einzeln zu nennen; allgemein bekannt sind die am Gotthard erworbenen Kräfte und ist das Bestreben, ein zukünftiges Etselwerk mit 100 000 bis 120 000 PS Maximalleistung für diesen Zweck zu gewinnen. Es sind also bis jetzt genügend passende Wasserkräfte für den gesamten Bahnbetrieb zur Verfügung, wenn auch richtig ist, dass einzelne wichtige Kräfte in andern Besitz gelangten und ausgebaut wurden. Befürchtungen, die geäussert wurden, dass die Bundesbahnen nicht in der Lage sein werden, alle nötigen Kräfte und besonders solche in der Hochebene für eigene Kraftwerke zu erwerben, sind daher kaum begründet, sofern, wie ja zu erwarten, seitens der Bundesbehörden rechtzeitig darauf gegriffen wird und das neue Wasserrechtsgesetz die Verhältnisse so ordnet, dass derartige Kräfte unter allen Umständen rationell ausgebaut und zunächst durch die *Bundesbahnen* erworben werden können. Hierzu müsste allerdings der Ständerat die jüngst vom Nationalrat aufgestellte Fassung des Wasserrechtsgesetzes kräftig abändern, da bei dieser Fassung z. B. ein *rationelles* Etselwerk kaum zu Stande kommen dürfte und dieser Nationalreichtum vermutlich verkümmern müsste. Der Bundesgedanke und die Unterstützung der Unternehmungen des Bundes müsste im Wasserrechtsgesetz überhaupt viel kräftiger zum Ausdruck gelangen.

Bei diesem Punkte kommt man natürlicherweise auf die **weitere Frage**: *Ist die Ausnützung der Wasserkräfte durch die Bundes- und anderen Bahnen eine gute, tritt hier keine Verschleuderung nationaler Güter ein?* Die Güte der Ausnützung einer Wasserkraft ist ein sehr relativer Begriff. Dass die Ausnützung zum mindesten keine sehr schlechte ist, beweist das Ergebnis der Rechnung, dass der Bahnbetrieb aus diesen Wasser-

kräften uns billiger zu stehen kommt als aus der eingeführten Kohle. Nachdem indessen in einer Darlegung in einem viel gelesenen Tagesblatte*) mit Bestimmtheit gesagt wird, die Ausnützung einer Wasserkraft durch Bahnbetrieb allein sei eine sehr unwirtschaftliche, derart, dass eine anderweitige Art der Ausnützung neben dem Bahnbetrieb absolut geboten sei, bin ich gezwungen auf diesen Punkt genauer einzutreten.

Absolut genommen erscheint allerdings die Ausnützung einer Wasserkraft durch Bahnbetrieb bei erster Betrachtung als nicht sehr gut, weil die Höchstleistungen (sog. „Spitzenleistungen“) die mittlere Leistung weit übersteigen. Die Rechnungen der Kommission wie die Erfahrungen zeigen, dass selbst für grössere Werke und Gebiete und grössere Verkehrsdichte (z. B. die gesamten Gotthardbahnwerke) die Spitzenleistung ungefähr das *Dreifache* der „mittleren“ Leistung (bezogen auf die ganze Dauer des Jahres) ausmacht. Bei geringerer Verkehrsdichte mag diese Zahl auch auf vier steigen. Eine sog. „konstante“ *Wasserkraft*, bei der keine Akkumulierung durch Weiherung möglich ist (*Niederdruckkraft*) würde daher nur zu etwa ein Viertel bis ein Drittel der Arbeitsfähigkeit des Wassers ausgenützt. Die unbeschränkt akkumulierbare *Hochdruckkraft*, die als anderer extremer Fall auftritt, kann dagegen selbstverständlich *voll* ausgenützt werden; es braucht nur die Maschinenleistung (nebst Druckleitung) dreimal so gross als die mittlere Leistung der Wasserkraft ausgebaut zu werden. *Eine wesentlich bessere Ausnützung erreicht man nun aber auch für die allgemeine Energieabgabe für Kraft und Licht selbst bei gut wirtschaftenden grossen Elektrizitätswerken nicht*, denn auch bei diesen erweist sich die erforderliche maximale Leistung als rund drei- bis viermal grösser als die mittlere! Die Ausnützung durch Bahnbetrieb ist also *vergleichsweise* nicht schlechter als die bei andern Elektrizitätswerken.

Eine *absolute* Verbesserung würde selbstverständlich besonders da, wo es sich nicht um akkumulierbare Niederdruckkräfte handelt, sehr erwünscht sein. Aber eine Ausnützung der bei einem Bahnbetrieb noch vorhandenen „Abfallkräfte“ für bahnfremde Zwecke ist im allgemeinen nicht zu empfehlen, vor allem aus nicht etwa in der Weise, dass das Bahnkraftwerk täglich zu Zeiten seiner Minderbelastung noch anderswohin Strom liefern würde. Die Ausnützung der Abfallkraft ist sicherlich für ein Kraftwerk, das einer Hauptbahn dienen soll, noch viel schwieriger zu erreichen als für ein Werk mit öffentlicher Stromabgabe für Licht und Kraft im allgemeinen. Denn wenn auch der Bahnbetrieb im grossen und ganzen in einer gewissen Gesetzmässigkeit mit der Tages- und Jahreszeit wechselt, so sind doch Abweichungen hiervon viel häufiger als bei der Lichtabgabe und dem Fabrikbetrieb, und deshalb wird das Vorhandensein und die Abgabemöglichkeit „überschüssiger Kraft“ eine zeitlich sehr unsichere Sache, der Verkauf dieser Kraft daher sehr schwierig sein.

In der erwähnten Publikation wurde auch davon gesprochen, dass die Werke, die für Bahnbetrieb Verwendung finden sollen, namentlich dadurch eine ungünstige Ausnützung hätten, dass sie einerseits ihrer Natur nach wenigstens in ihren Hauptteilen von Anfang an für sehr grosse Leistungen gebaut werden müssen, während sie andererseits anfänglich nur für wesentlich kleinere Leistung Verwendung finden können. Es wurde dort besonders auf das bekannte Faktum hingewiesen, dass der Energiemarkt bei uns in der Weise sprunghaft schwanke, dass ein beständiger Wechsel zwischen zuviel und zuwenig Angebot herrsche. Dieser Wechsel kommt in der Tat vor und rührt davon her, dass heute nur noch sehr grosse Werke rationell sein können, weshalb ihre Leistungsfähigkeit für allgemeine Licht- und Kraftabgabe zu Anfang gewöhnlich schlecht ausgenützt und das wirtschaftliche Resultat ungünstig wäre, wenn nicht vorübergehend an andere Unternehmungen Energie abgegeben werden könnte, die ihrerseits die Erweiterungsbauten zur Beschaffung grösserer Kräfte noch aufgeschoben haben. Es wurde daraus der Schluss gezogen, es sollten alle Werke für diejenige Stromform gebaut werden, die heute für die allgemeine öffentliche Licht- und Kraftabgabe die gegebene ist, nämlich für 50periodigen Drehstrom. Diese Werke sollten dann ausser Licht- und Industriestrom auch Bahnstrom liefern, wobei sukzessive mit Anwachsen des letztern Bedarfs nach und nach weniger Energie für die erstern Zwecke ab-

*) Neue Zürcher Zeitung No. 1545 und No. 1551 vom November 1915, W. Boveri: Die Elektrifizierung der Bundesbahnen und die Systemsfrage.

gegeben würde. Daraus war weiterhin geschlossen, dass man nicht Bahnwerke für 15-periodigen Einphasenstrom bauen und überhaupt von diesem System für den Bahnbetrieb abgehen sollte.

Ich kann mich auch nach sorgfältigster Ueberlegung dieses Einwurfs dieser Beweisführung nicht anschliessen, ich halte sie nicht für stichhaltig. Dabei urteile ich nicht aus theoretischen Erwägungen, sondern nachdem ich ungefähr ein Vierteljahrhundert Elektrizitätswerke leitete und aktiv mit dem Markt elektrischer Energie zu tun hatte.

Selbst angenommen, dass man Werke bauen wollte, die gleichzeitig für Grossbahnbetrieb und für allgemeinen Licht- und Kraftbetrieb dienen sollen, so ist doch *technisch* eine Trennung der beiden Betriebe erforderlich. Schon mein Herr Vorredner hat auf den Fall des Betriebs der Burgdorf-Thun-Bahn hingewiesen, mit dem ich s. Zt. namens der Stadt Bern für die Stromlieferung vom Spiezer Werk an sie direkt zu tun hatte. Die Rückwirkung der Schwankungen selbst dieses nicht sehr bedeutenden Bahnbetriebes auf den Licht- und Kraftbetrieb waren bei gemeinsamem Betriebe unerträglich. Heute würde im allgemeinen kein Betriebsmann den Grossbahnbetrieb an dieselben Turbinen*) legen wollen wie Lichtbetrieb, er würde wohl in manchen Fällen auch die Druckleitungen der Betriebe trennen.

Derartige kombinierte Werke zunächst einmal als notwendig *angenommen* (nicht zugegeben), wird sich also eine Unterteilung in zwei Betriebe für die ganze Maschinerie ergeben. Die Hauptkosten der Wasserkraftwerke liegen nun nicht in der Maschinerie; es würde daher für die Gesamtkosten gar keinen wesentlichen Unterschied ausmachen, wenn man in einem solchen kombinierten Werke auch gleich noch *zweierlei Generatoren* für 50periodigen Drehstrom für den allgemeinen Betrieb und für 15periodigen Einphasenstrom für den Bahnbetrieb aufstellen würde. Die Mehrkosten beschränken sich in der Hauptsache auf die Aufstellung eines weiteren Reserve-Generators nebst Turbine und Zubehör. Ich habe einige solche Fälle durchgerechnet. Aus der Erhöhung der Anlagekosten ergäbe sich für die jährlichen Gesamtfahrdienstkosten der betreffenden Bahnkreise eine Erhöhung um nur 1 bis 2 %.

Nähme man in ungünstigster Weise *weiter an*, dass der Bedarf an Bahnstrom in einem solchen gemischt gebauten Werke zunächst klein sei und alsdann überraschend schnell anwachse, sodass man in rascher Folge, ohne amortisieren zu können, mit dem Fortschreiten des Bedarfs an Bahnstrom sukzessive statt Drehstromgeneratoren mehr Einphasengeneratoren haben sollte, so ist diese Auswechslung bei den möglichen Toleranzen in der Tourenzahl der Turbinen technisch durchaus ausführbar und würde finanziell noch keine sehr bedeutenden Folgen haben. In den erwähnten Beispielen käme man dadurch auf eine Steigerung der Gesamtfahrkosten pro Jahr von höchstens 2 1/2 % bis 3 %. Das wäre wohl eine Verteuerung, aber keine solche, die ein Abgehen von einer sonst gut befundenen Anordnung rechtfertigte. Man brauchte vom Einphasensystem also selbst dann nicht abzugehen, wenn man annähme, dass eine solche Art der Erstellung der Kraftwerke für die S. B. B. aus den präntendierten Gründen nötig wäre.

Alle diese Komplikationen kommen aber meines Erachtens für die S. B. B. *gar nicht in Betracht*. Die Bundesbahnen sind im Tempo des Ausbaues ihrer Kraftwerke viel günstiger gestellt als Werke für Licht- und Kraftabgabe an die Allgemeinheit. Da sie ihr *eigener* Abnehmer sein werden, haben sie es vollständig in der Hand, Kraftwerke nur zu bauen unter gleichzeitigem entsprechendem Ausbau der Elektrifikation ihrer Strecken, also einem neu erstandenen Werk von Anfang an die volle Ausnützung, soweit diese überhaupt möglich ist, zuzuführen.

Sollte dies irgendwo doch nicht genau so möglich sein, was ja durch besondere Um-

*) Man könnte hier einwenden, dass man heute im allgemeinen mit Turbinen grösserer Leistung arbeite, auf welche die Rückwirkung bestimmter, angeschlossener Elektromotoren viel kleiner sei. Allein einerseits hat die Vergrösserung der Turbinenleistung bestimmte, relativ enge Grenzen in den Verhältnissen der Wasserkraft, und andererseits ist die Leistung der angeschlossenen Stromverbraucher (man denke nur an die 2000—3000pferdigen Lokomotiven) in viel höherem Masse gewachsen.

stände vielleicht ausnahmsweise einmal eintreten könnte, so wäre dann jedenfalls *das* Verfahren richtiger, das Werk in den für den Bahnbetrieb passenden und für den grösseren Teil der Kraft nötigen Form zu bauen und die zunächst vielleicht noch disponible kleinere und *vorübergehend* abzugebende Kraft entweder durch *Umformung* aus dem für den Bahnbetrieb gewählten System in das für allgemeine Stromabgabe überzuführen, oder dann für jene Kraftquote nach dem, vorhin als keineswegs ruinös nachgewiesenen Vorschlage zuerst Drehstromgeneratoren aufzustellen und nachher gegen einphasige auszuwechseln.

Im übrigen wird die *rationellere Ausnützung der Wasserkräfte*, welche die Bundesbahnen für ihren Betrieb verwenden wollen, wohl eher in *demselben Verfahren* zu suchen sein, von dem unsere grossen Elektrizitätsunternehmungen den ausgiebigsten Gebrauch machen und das weitesten Kreisen bekannt ist: im *Zusammenarbeiten nicht akkumulierbarer*, mehr oder weniger konstanter *Niederdruckkräfte* mit in ausgiebigem Masse *aufspeicherbaren Hochdruckkräften des Gebirgs*, ein Verfahren, das ermöglicht, die Niederdruckkraft als konstanten Grundstock fast stets nahezu voll arbeiten zu lassen, die Spitzenleistungen aber durch die auf diese Weise ebenfalls in beinahe vollkommener Weise ausnützbaren Hochdruck-Akkumulierwerke zu liefern.

Die Studienkommission liess sich in ihren letzten Studien über die Wahl und Ausnützung der Wasserkräfte von diesen Gedanken leiten. Für die Lieferung der Energie für den gesamten Bahnbetrieb der Schweiz wurden 5 event. 6 Werke vorgesehen, bei denen Hochdruck verwendet und Akkumulation in grösserem Masse möglich ist, und mit diesen parallel arbeitend waren 5 bis 8 andere Werke, teils ebenfalls mit Hochdruck, teils mit Niederdruck in Aussicht genommen, bei denen keine Akkumulation vorkommt. Es sind Untersuchungen über die Deckung und den Verlauf des Bedarfs durch diese Werke angestellt worden, welche zeigen, dass ein verhältnismässig sehr guter Ausgleich durch die Werke erreicht werden kann, derart, dass die Akkumulierungswerke sozusagen vollständig, die Niederdruckwerke wohl besser ausgenützt werden, als dies bisher bei Werken für allgemeinen Licht- und Kraftbedarf zumeist der Fall war.

Es steht für mich fest, dass eine gute Ausnützung unserer Wasserkräfte für Bahnbetrieb erfolgen kann, und zwar bei richtiger zeitlicher Zuordnung der Werkbauten zur Elektrifikation der einzelnen Strecken im allgemeinen gleich von der Fertigstellung der Werke an, ohne dass es nötig wäre, diese Werke allgemein für 50periodigen Drehstrom zu allgemeiner oder privater Verwendung einzurichten.

Sollte dennoch ausnahmsweise zur Stromentnahme für Bahnbetrieb ein Werk benützt werden wollen, das aus irgendwelchen Gründen für 50periodigen Drehstrom eingerichtet ist, so ist dies daher als ein Ausnahmefall zu betrachten, der keinen Grund liefern kann zur Wahl eines bestimmten Bahnstromsystems. Letzteres nicht nur deswegen, weil dieser Fall eine Ausnahme bilden wird, sondern auch aus folgenden Gründen:

Drehstrom für Bahnbetrieb könnte aus einem solchen Werke unmittelbar verwendet werden; dass dies aus technischen Gründen (und aus welchen) für Grossbahnbetrieb kaum geschehen wird, sei hier nicht weiter ausgeführt, sondern auf die Berichte der Studienkommission und den Vortrag des Herrn Vorredners verwiesen.

Einphasenwechselstrom und *Gleichstrom* könnten aus dem 50periodigen Drehstrom *in ganz gleicher Weise und mit ganz analogen Verlusten* erzeugt werden. Diese beiden stellen sich also hier gleich, da die Aussicht auf eine gewisse Verbesserung für den Gleichstrom durch Gleichrichter doch wohl ein Wechsel auf etwas zu lange Sicht ist.)*

Dass nötigenfalls 15periodiger Einphasenwechselstrom aus Drehstrom von 50 Perioden erhältlich gemacht werden kann mit der von der Studienkommission vorgesehenen und praktisch durchgeführten Toleranz der Periodenzahl auf $16\frac{2}{3}$, ist *wichtig* für *kleinere Bahnen*. Für *diese* kam auch die Studienkommission zum Resultate, dass es gelegentlich

*) Man braucht sich dazu blos vor Augen zu halten, dass die bisherige Höchstleistung eines Gleichrichters von der Ordnung etwa $\frac{1}{100}$ der Leistung eines Umformerwerks für Grossbahnbetrieb ist.

wichtig sei, dass sie aus einem vorhandenen Werke für allgemeine Elektrizitätsversorgung ihre Energie beziehen können.

Für die wichtige Stromlieferung der *Bundesbahnen* aber allzuvielen, unter verschiedenen Betriebsleitungen stehende Werke heranzuziehen, dürfte sich, wie gerade solche Leute, die lange Jahre im Werkbetrieb gestanden, mir bestätigen werden, kaum empfehlen. Doch werden auch hier die Schweizer Bahnen selbst die Grenzen finden.

Die *Wirtschaftlichkeit* erfordert es also *nicht*, dass die Werke der Schweiz alle für 50periodigen Drehstrom gebaut werden.*) Nach den bisherigen Ergebnissen und dem Stand der Sache für absehbare Zeit müsste ich diese Lösung gegenteils als unwirtschaftlich bezeichnen.

Dies zeigen auch folgende Resultate der Studienkommission bezüglich des Gleichstroms: (Wenn gesagt worden ist, die Studienkommission hätte den Gleichstrom nicht genügend verfolgt, so ist dies nicht richtig.) Schon aus den im Drucke erschienenen Schriften der Kommission ist ersichtlich, dass die für den Gleichstrom erforderliche *Umformung* die *Kosten der Energie am Fahrdraht mehr als verdoppelt* gegenüber dem Einphasenstrom. Es ist daraus von vornherein ersichtlich, dass damit auch die *gesamten Kosten* des Fahrdienstes bei Gleichstrom *ganz wesentlich höher* werden. Die Weiterführung der Untersuchungen bis zu diesem Punkt ist allerdings in den Publikationen der Studienkommission nicht enthalten. Es ergab sich dabei und ist auch aus den publizierten Zahlen leicht zu übersehen, dass die gesamten Ausgaben für den Fahrdienst mit *Gleichstrom 30 % teurer* kämen als mit dem *Einphasenstrom*, der keine Umformung erfordert. Einen derartigen Unterschied vermag auch die Ersetzung der Umformer durch Gleichrichter, selbst wenn diese nach Spannung und Leistung einmal das erforderliche würden leisten können, nicht einfach zu verwischen. Diese Betriebskostenerhöhungen wären, wie man sieht, auch noch ganz wesentlich grösser als diejenigen, die gegenüber dem von der Studienkommission vorgeschlagenen Systeme dann auftreten würden, wenn man für den Fahrdrahtstrom beim 15periodigen Einphasenstrom bliebe, aber dazu ungünstiger- und unwahrscheinlicher Weise annähme, dass die Kraftwerke, um schon anfangs gute Ausnützung zu haben, zunächst teilweise für 50periodigen Drehstrom eingerichtet werden müssten- und alsdann, sogar unter Auswechslung von Maschinen gegen einphasige, zum 15periodigen Einphasenstrom übergeführt werden müssten.

Den im erwähnten Zeitungsartikel ausgesprochenen Satz, dass der rationelle elektrische Bahnbetrieb der Schweiz damit stehe oder falle, ob man die Kraftwerke auch für den Bahnbetrieb für 50periodigen Drehstrom einrichte, bin ich daher eher versucht umzukehren in den, dass der Erfolg des elektrischen Bahnbetriebs aus Wasserkraft in der Schweiz davon abhängt, ob man die Stromart für den Bahnbetrieb direkt erzeuge oder umforme. Denn in der *Umformung* liegen die grossen Verteuerungen, wie mehrfach von der Studienkommission dargetan und wie ja auch das Beispiel meines Herrn Vorredners von der Löttschbergbahn deutlich gezeigt hat.

Nach dem *allgemeinen technischen Stand der Sache* erscheint aber auch die *Umformung* der für die Fernübertragung einzig möglichen Stromarten „ein- oder mehrphasiger Wechselstrom“ auf *Gleichstrom am Fahrdraht gar nicht nötig*. *Der einphasige Wechselstrom mit 10 000 bis 15 000 Volt Fahrdrahtspannung und 15 Perioden hat sich heute als für Vollbahnbetrieb technisch durchaus genügeleistend erwiesen*.

Die Aeusserung der Studienkommission, dass dem Einphasensystem das grösste Uebergewicht der technischen Vorzüge gehöre, hat sich durch die bisherigen Ausführungen als richtig erwiesen. Ich will aber nicht weiter von der Systemfrage an sich sprechen und nicht weiter auf die von der Studienkommission und zusammenfassend im heutigen ersten

*) Ein recht bedeutender Komplex, auch ganz neuer Werke, darunter die Bernischen Kraftwerke, arbeitet übrigens mit ca. 40 Perioden. — Es entspricht ja wohl einem Ideal und ist in einer spätern Zukunft vielleicht einmal möglich, die ganze Energieversorgung der Schweiz mit einem einheitlichen Stromsystem und einem rationell angelegten, den Bahnlinien folgenden (dann wohl staatlichen) allgemeinen Fernleitungsnetz vorzunehmen, allein in absehbarer Aussicht steht derartige heute doch wohl nicht.

Referat mehrfach genannten technischen Vorzüge des Einphasensystems hinweisen. Ich muss mir lediglich folgendes sagen:

Wir besitzen heute ein betriebssicheres, für die Verhältnisse, wie sie unsere Grossbahnen aufweisen, in einer Reihe von Ausführungen durchwegs bewährtes System, nach dem wir sofort bauen können, ohne Fehlschläge riskieren und später uns Vorwürfe machen zu müssen, wir hätten übereilt gehandelt. Das System ist auch von anderen Staaten in grossem Masstabe eingeführt. Es erlaubt eine gute Ausnützung der zu verwendenden Wasserkräfte. Kein anderes System hat sich bisher für unsere Verhältnisse bewährt oder ist auch nur ausgeführt in der erhofften verbesserten Zukunftsform, welche die Studienkommission bei ihren Vergleichen als bereits bestehend voraussetzte. Haben wir da einen Anlass auf Weiteres zu warten, das vielleicht in einer Reihe von Jahren, vielleicht aber auch nicht eintreten kann? Ich glaube, wenn wir dies täten, so wäre wieder einmal das Bessere der Feind des Guten gewesen.

Ich halte dafür, dass wir getrosten Mutes die nötigen Summen für die Elektrifikation auch jetzt in schwerer Zeit mit Nutzen anwenden können und aufwenden sollten.

* * *

(Lebhafter Beifall der Versammlung.)

Der *Vorsitzende*: Je remercie non moins chaleureusement M. Wyssling de son très intéressant rapport et surtout de la façon vraiment magistrale avec laquelle il nous a exposé le côté économique du problème dont nous nous occupons. Au moment où la discussion prévue va s'ouvrir, nous voulons retenir ses conclusions si intéressantes et importantes pour l'avenir économique de notre pays.

Messieurs,

Après les substantiels travaux dont vous venez d'entendre la lecture, nombre d'entre vous se féliciteraient sans doute de pouvoir jouir de quelques minutes de repos. Tout en partageant ce sentiment, je ne puis m'empêcher de regarder l'heure et voyant, d'une part, qu'elle est passablement avancée et, d'autre part, que les trains avec lesquels vous tiendrez vraisemblablement à rentrer quittent Berne relativement tôt, je me vois contraint de marcher de l'avant.

Avant d'ouvrir la discussion, permettez-moi quelques réflexions.

Vous venez d'entendre et vous avez pu vous persuader que, considérée au point de vue purement technique, la question de la traction électrique des chemins de fer se trouve être suffisamment avancée pour que l'on puisse songer à aborder franchement la période des grandes réalisations. Je veux dire par là que l'industrie électrique, celle des machines et appareils, est en état de produire, quel que soit le système de traction adopté et dans des limites que l'on peut, dès maintenant, entrevoir nettement pour tous ceux qui peuvent entrer en considération, un matériel capable de faire face aux besoins de la grosse traction. Dès lors, le problème apparaît — et il m'apparaît ainsi — comme étant d'ordre essentiellement économique. Et c'est pourquoi je me permets, mais bien entendu à titre de simple indication, d'exprimer le vœu que les orateurs qui voudront bien nous faire part de leurs vues veuillent bien autant que possible s'en tenir à ce côté de la question et faire abstraction de questions de détails auxquelles une assemblée comme celle-ci ne saurait s'arrêter.

Ceci dit, encore une fois à titre simplement indicatif, j'ouvre la discussion et, n'ayant pas l'honneur de connaître personnellement tous les présents, je prie ceux d'entre vous qui désireront prendre la parole de bien vouloir se nommer en en manifestant le désir.

Diskussion.

Generaldirektor Sand: Herr Präsident! Meine Herren! Ich gehe wohl nicht fehl, wenn ich annehme, dass Sie in erster Linie zu wissen wünschen, wie sich die Bundesbahnen zu der Frage stellen und welches der gegenwärtige Stand der Angelegenheit ist.

Herr Professor Wyssling hat gesagt, dass die Studienkommission ihre Schlussbetrachtungen im Jahre 1912 abgeschlossen und den Bundesbahnen eingereicht habe. Auf die Konklusionen der Studienkommission hin hat dann die Generaldirektion ihre Vorlage an den Verwaltungsrat ausgearbeitet. Wie Sie dem Referat des Herrn Professor Wyssling entnehmen konnten, lautete die Konklusion der Studienkommission dahin, dass der Einphasenwechselstrom dasjenige System sei, welches nicht einzig und allein für die Bergstrecke der Gotthardbahn sich als das beste erweise, sondern überhaupt als das rationellste für die Elektrifikation des ganzen Netzes der Bundesbahnen anzusehen sei. Dementsprechend wurde im November 1913 dem Verwaltungsrate der Bundesbahnen eine Vorlage unterbreitet, mit dem Antrage, es solle der Verwaltungsrat das Projekt für die Elektrifikation der Gotthard-Bahnstrecke von Erstfeld bis Bellinzona genehmigen und einen Kredit von 38,5 Millionen Franken bewilligen. Der Verwaltungsrat hat dies auch beschlossen.

Am Schlusse des Kapitels, das über die Wahl des Systems sich ausspricht, wurde ein Satz eingeschaltet, der folgendermassen lautet: „Gleichwohl wollen wir heute die Wahl eines bestimmten Systems noch nicht endgültig proklamieren. Wir werden bis zu dem Zeitpunkte, in dem uns der Fortschritt der Arbeiten zur definitiven Entscheidung zwingt, die von andern Verwaltungen gemachten Erfahrungen und Versuche genau verfolgen.“

Meine Herren! Im Hinblick auf die Fortschritte, welche die Technik und insbesondere die Elektrotechnik stetsfort bringt, musste die Möglichkeit ins Auge gefasst werden, dass bis zum Beginne der Bauten noch Erfindungen, Erfahrungen und Verbesserungen gemacht werden können, durch welche das Einphasenwechselstromsystem dann vielleicht nicht mehr so unerschütterter als das allein beste dasteht, und dass dann vielleicht noch ein anderes System in Betracht zu ziehen sei.

Meine Herren! Wie Sie wissen, haben wir im Baubudget pro 1916 drei Millionen Franken vorgesehen, um die Arbeiten in Angriff zu nehmen. Trotz der bösen Zeiten und trotzdem die Bundesbahnen mit Defiziten zu kämpfen haben, soll mit dem Bau begonnen werden. Sie ersehen daraus, dass es den Bundesbahnen ernst ist und dass sie die Vorteile der elektrischen Traktion in keiner Weise verkennen.

Ich habe Stimmen gehört, die sagten, man hätte sich für das System entscheiden sollen, bevor man mit den Bauarbeiten beginnt. Das ist nun aber nicht notwendig, denn wir beginnen mit denjenigen Arbeiten, welche am meisten Zeit in Anspruch nehmen, nämlich mit den Wasserwerken. In erster Linie wird die Seilbahn für das Kraftwerk am Ritomsee erstellt, welche dazu dienen soll, die schweren Rohre hinauf zu befördern und all das beim Einlaufkanal und Wasserschloss nötige Material von der Talsohle des Tessin zu dem 800 Meter höher gelegenen See hinauf zu bringen.

Der Entscheid über die Systemsfrage muss nun aber ehestens getroffen werden, und wir haben unsern Organen den Auftrag gegeben, genau zu prüfen und uns zu berichten, ob seit dem Beschluss des Verwaltungsrates Tatsachen, Verbesserungen vorgekommen sind, welche Veranlassung geben könnten, ein anderes System als das Einphasenwechselstromsystem auch noch in den Kreis der Erwägungen zu ziehen. Die Systemsfrage muss gründlich behandelt werden; wir werden aber unsern Entscheid demnächst fällen. Dadurch, dass wir mit den Bauarbeiten beginnen, bevor der Entscheid über das System getroffen ist, entsteht keine Verzögerung der ganzen Angelegenheit.

Nächstes Jahr wird mit den Arbeiten begonnen werden. (Lebhafter Beifall.)

Der *Vorsitzende* verdankt die Ausführungen des Redners aufs beste.

Boveri, Baden: Nachdem ich in der letzten Zeit bei zwei verschiedenen Gelegenheiten meine Auffassung über die Verhältnisse, von denen wir heute sprechen, bekannt gegeben habe, könnte es unnötig erscheinen, dass ich dies hier zum dritten Male tue. Allein der zweite Referent, Herr Professor Wyssling, hat doch so vielfach auf meine Aeusserungen Bezug genommen, dass ich versuchen muss, darauf zu antworten.

Ich muss von vorneherein gestehen, dass es mir nicht möglich ist, auf die sehr umfangreichen Ausführungen voll zu antworten und dass ich viele Punkte unberührt lassen muss, über die ich nicht mit ihm einverstanden bin. Einerseits reicht mein Gedächtnis

nicht aus, um alles so rasch zu behalten, und dann ersuchte der Herr Vorsitzende um Kürze. Bei meinen frühern Aeusserungen habe ich von jeder Berührung der Systemsfrage im Zusammenhang mit der eigentlichen Traktion fast ganz abgesehen und tue das auch heute, obwohl ich nicht vollständig mit den Ausführungen des Herrn Ingenieur Thormann einverstanden bin.

Ich bin der Meinung, dass die Kraftwerke für den Bahnbetrieb mit dem gleichen Stromsystem ausgeführt werden sollten, wie es sich allmählich in der Entwicklung der Zeit als das normale Stromsystem eingebürgert hat, nämlich mit Drehstrom von 50 Perioden. Diese Ansicht ist nicht etwa zuerst von mir geäußert, sondern mir vor etwa zehn Jahren von massgebender Seite nahegelegt worden. Damals war ich aber noch nicht genügend von ihrer Richtigkeit durchdrungen. Die spätere Entwicklung hat mich aber zu meiner heutigen Ueberzeugung gebracht. Die angestellten Beobachtungen lassen die allgemeine Entwicklung der elektrischen Krafterzeugung und Ausnützung hauptsächlich in der Relation und dem Austausch der Energie unter den Werken erblicken. Ich kann da in erster Linie auf die Verbindungen hinweisen, die auch der Herr Referent erwähnt hat, auf die Verbindungen zwischen den Werken in der Niederung, an Flüssen mit kleinem Gefälle und ohne Akkumulierung, und denjenigen im Gebirge, mit grossem Gefälle und Akkumulation. Ich habe in dieser Beziehung nur auf die geradezu klassisch gewordene Verbindung Beznau-Löntsch zu verweisen.

Ich muss aber auch darauf hinweisen, wie in bezug auf die Hilfsstromlieferung die Werke miteinander in Verbindung getreten sind und dass diese Verhältnisse, die man früher für unmöglich hielt, sich bewährt haben. Die Werke von Wangen, Rheinfelden, Beznau, Löntsch und Albula sind oder waren alle miteinander in Verbindung gebracht, ohne dass sich irgendwelche Störungen ergaben. Man ersieht daraus, wie weit man mit der Kombination gehen kann. Aber alles, was wir heute sehen, ist nur ein kleiner Anfang. Erst in der Folgezeit werden wir dazu übergehen — und man hat ja bereits damit begonnen —, die Werke an den Flussläufen mit kleinem Gefälle nicht mehr für eine konstante Leistung, sondern für eine mittlere Leistung im weitesten Sinne des Wortes auszubauen. Ein Beispiel das sich in Ausführung befindet, ist die grosse Anlage bei Olten, die auf eine Leistung von rund 50,000 Pferden ausgebaut wird. Wir werden im Laufe der Zeit dazu kommen, die enormen Staubecken anzulegen, die wir noch vor uns haben und welche es ermöglichen werden, in den Perioden, in denen an den Gewässern mit kleinem Gefälle Kraftmangel auftritt, allein aus den Staubecken die nötige Kraft zu beziehen. Es werden Kombinationen eintreten und es werden Ausgleiche stattfinden, von denen wir uns heute vielleicht nur eine schwache Vorstellung machen und bei all dem wollen wir den grössten Kraftproduzenten, den wir haben werden, und zugleich den grössten Kraftkonsumenten vollständig auf die Seite stellen, auf eine einsame Insel, auf der er sich mit den andern nicht verbinden kann?

Meine Beobachtungen haben mir gezeigt, dass die Verbindung unter den Werken mit Perioden-Umformern nicht geht. Herr Professor Wyssling wird es mir nicht übelnehmen, wenn ich eine gewisse Erfahrung auch für mich in Anspruch nehme und zum Schlusse gekommen bin, dass sich unter den heutigen Verhältnissen derartige Verbindungen nicht durchführen lassen. Werke, von denen ich sagen darf, dass sie unter meinem unmittelbaren persönlichen Einfluss gestanden haben und bei denen das Bedürfnis vorhanden gewesen wäre, Kraft von Werk zu Werk zu liefern, konnten nicht zusammengeschlossen werden, weil die Umformung die Kraft allzusehr verteuert hätte.

Nun weiss ich ja, dass sehr viele Personen auf dem Standpunkt stehen, der auch heute geäußert worden ist, nämlich, die Bundesbahnen sollen und müssen ihre Kraft ganz selbständig erzeugen. Sie wollen die Verbindung mit andern Werken gar nicht, können sie nicht brauchen, wollen völlig auf eigenen Füßen stehen. Dem kann ich nicht beistimmen.

Was zunächst die gemeinsamen Betriebe und die Kombination der Betriebe angeht, möchte ich es nicht als feststehend betrachten, dass nicht in der Zukunft der Bahnbetrieb direkt parallel geschaltet wird mit andern Betrieben.

Meine Herren! Die ganze Entwicklung der letzten 25 Jahre ergibt, dass wir in der Parallelschaltung, in der Zusammenschaltung, immer weiter gegangen sind. Im Anfang waren

alle möglichen Trennungen vorgesehen und man hat nicht daran gedacht, Licht und Kraft an eine und dieselbe Leitung zu hängen. Heute spricht jedoch von einer solchen Trennung niemand mehr, und mit dem elektrischen Betriebe der Bahnen wird sich auch da der Ausgleich so machen, dass wir sehr wahrscheinlich zu einem vollen Zusammenschlusse kommen werden. Uebrigens kann sehr leicht dadurch eine gewisse Trennung Platz greifen, dass einige Gruppen unter sich parallel geschaltet werden, ohne dass jedoch die Gesamtheit parallel geschaltet wird. Aber man kann auch annehmen und es als gerechtfertigt betrachten, dass vielleicht die Bundesbahnen sagen: wir wollen selbständig sein. Dennoch aber werden vielleicht die Dinge eine wesentlich andere Entwicklung nehmen.

Herr Professor Wyssling hat angeführt, dass bei den Bundesbahnen die Verhältnisse ausserordentlich einfach liegen, indem Produzent und Konsument ein und derselbe seien und dass sich infolgedessen der Produzent immer einfach nach dem Konsum richten könne und umgekehrt.

Ich bin der gegenteiligen Meinung. Die Bundesbahnen werden einen Bedarf haben, der sich unter Umständen recht wenig und dann wieder sehr schnell ändern kann, denn sie haben im Betriebe oft Schwankungen der Konjunktur. Von einem Jahr zum andern kann der Stromkonsum recht beträchtlich anwachsen. Jedenfalls hoffen wir wohl alle, dass nach Wiedereintritt normaler Verhältnisse der Verkehr der Bundesbahnen sich wieder in aufsteigender Linie bewegen wird. Wenn zum Beispiel auf der Gotthardbahn die Frequenz steigt, übersteigt die Belastung allmählich die Leistungsfähigkeit der Werke und dann werden die Bundesbahnen vor zwei Möglichkeiten stehen.

Entweder bauen sie ein neues Werk oder sie bauen keines. Wenn sie kein neues Werk erstellen, dann wird sich sehr wahrscheinlich das Bedürfnis geltend machen, für eine gewisse Zeit Kraft von anderer Seite zu beschaffen.

Bei der grossen Entwicklung, die ich für die Kraftwerke voraussehe, ist es nicht ausgeschlossen, dass die Bundesbahnen die nötige Kraft bekommen werden. Dieser Kraftbezug kann aber nicht in rationeller Weise vor sich gehen, wenn der Strom erst umgeformt werden muss. Es wird das um so weniger möglich sein, wenn es sich nur um eine verhältnismässig kurze Zeit handelt, während der eine Kraftzulieferung nötig sein wird. Selbst wenn die Bundesbahnen aber sehr rasch daran gehen, ein neues Werk zu erstellen, ist es möglich, dass dieses Werk eben doch nicht frühzeitig genug fertig erstellt sein wird und daher auf Monate hinaus Strom von anderer Seite bezogen werden muss. Wir wissen, dass die Konzessionierung, die Projektierung und der Bau eines grösseren Werkes drei bis sechs Jahre in Anspruch nehmen.

Wenn ich aber annehme, dass die Bundesbahnen in der Voraussicht weiterer günstiger Entwicklung des Verkehrs sehr frühzeitig ein neues Werk erstellen, werden sie wohl ein neues Werk haben, dasselbe aber nicht voll ausnützen können. Sie haben dann vielleicht ein Werk von 10,000 Kilowatt, denn sie müssen die Kraft nehmen wie sie vorhanden ist, werden aber selbst vielleicht nur 2—3000 Kilowatt gebrauchen, so dass sie in der Lage wären, vielleicht 5000 Kilowatt anderweitig abzugeben, dafür aber keine Abnehmer finden, weil die Kraft erst umgeformt werden muss.

Ich glaube, die ganze natürliche Entwicklung wird dazu führen, dass auch bei den Bundesbahnen, wie anderwärts, permanent Kraftüberschuss und Kraftmangel abwechseln werden. Die Bundesbahnen werden bei Kraftmangel zwangsweise und bei Kraftüberschuss zur Erzielung besserer Ausnützung eine Verbindung mit andern Werken herstellen müssen, und da bin ich der Ansicht, dass diese Verbindung nicht hergestellt werden kann mit Zwischenschaltung von Umformern.

Ich bin der Meinung, dass man in der Praxis niemals verschiedene Generatoren aufstellen wird, die doch nur für eine gewisse Zeit stehen, um dann weggenommen und durch andere ersetzt zu werden. Dadurch erwachsen zu bedeutende Kosten, die meist alle Rechnungen über den Haufen werfen. Die Bundesbahnen werden ein enorm grosser Kraftproduzent sein — Herr Professor Wyssling hat die Zahlen genannt, die über alles, was wir sonst gewohnt sind, hinaus gehen —, und wenn sie die Weitsicht haben, die ich voraussetze,

werden sie stets Kraft übrig haben. Wenn sie 1200—1300 Millionen Kilowattstunden für den Bahnbetrieb gebrauchen, müssen sie auf alle Fälle 200—300—500 Millionen Kilowattstunden mehr zur Verfügung haben und sie werden das Bedürfnis empfinden, diese Kraft auszunützen. Daraus können für die Bundesbahnen Nebeneinnahmen von 1—3 Millionen Franken in Betracht kommen, wenn sie die Kraft so ausnützen, wie es normal der Fall sein sollte.

Ich bin der Ansicht — den konkreten Beweis kann ich hier nicht antreten —, dass die einheitliche Krafterzeugung, die darauf ausgeht, alles in eine Norm zu vereinigen, die einzig richtige ist und einzig in der Zukunft zu einer rationellen Lösung führt. Ich weiss, dass im Zusammenhang damit gewisse technische Probleme gelöst werden müssen, bin aber auch in bezug auf diese nicht ganz der Ansicht von Herrn Professor Wyssling, sondern überzeugt, dass die Verteuerung, die dadurch entsteht, lange nicht so gross sein wird, wie er glaubt.

Ich sehe davon ab, mehr zu Ihnen zu sprechen, da dies über den Rahmen dieser Diskussion hinausgehen würde.

Professor Wyssling: Die Umstände lassen es als kaum möglich erscheinen, dass der Herr Vorredner und ich uns hier einigen. Daher möchte ich nur mit einigen kurzen Worten antworten.

Herr Boveri hat von einer kleinen Insel gesprochen, auf der ich die Bundesbahnen vereinsamen lasse. Diese „Insel“ wird jedoch etwa 500 000 Pferdekräfte umfassen, d. h. ungefähr soviel als jetzt in der Schweiz überhaupt in Elektrizitätswerken bestehen. Sie wird 10—18 Werke umfassen, die direkt parallel geschaltet, ohne Umformung an der Lieferung teilnehmen werden. Es will mir scheinen, dass nicht nur in bezug auf möglichst grosse Sicherheit, sondern auch für die technische Leitung des Betriebs in Parallelschaltung die Zahl von 18 Werken genüge und nicht nötig sein wird, noch weiter zu gehen und mit allen möglichen privaten Werken in Parallelschaltung zu arbeiten. Technisch ginge das ja, aber jeder Betriebsleiter weiss, dass mit jeder weiteren Parallelschaltung doch die Schwierigkeiten und Unzukömmlichkeiten wachsen. Die Sicherheit aber dürfte bei dieser Zahl von Werken genügend sein.

Gewiss werden die Bundesbahnen mit dem fortschreitenden Ausbau der Elektrifikation auch etwa dazu kommen, zu gewissen Zeiten überschüssige Kraft zu haben, was sie jedoch nicht hindern wird, in ihren Werken selbst Meister sein zu wollen. Uebrigens handelt es sich nicht darum, auf einmal Werke für die Lieferung jener 1200 Millionen Kilowattstunden zu bauen (bei welcher Zahl übrigens alle Privatbahnen inbegriffen sind), sondern dieser Ausbau wird stufenweise im Verlaufe vieler Jahre vor sich gehen und es wird möglich sein, das Fortschreiten der Elektrifikation der Strecken dem Stande des Baues der Werke anzupassen. Es mag vielleicht auch einmal durch anhaltende Verkehrssteigerungen ein Mehrbedarf an Kraft auftreten, so dass die Kraftversorgung etwas kritisch wird. Es muss aber selbstverständlich mit der Grösse der Werke auch auf mögliche grosse Betriebssteigerungen auf den bedienten Linien Rücksicht genommen werden. Die Verkehrssteigerungen führen aber vielmehr zu einer Erhöhung der Zahl der abgegebenen Kilowattstunden, d. h. zu einer besseren Ausnützung der Werke, als zu einer solchen der erforderlichen Maximalleistung, denn die Höhe der letztern, die für eine bestimmte Bahnstrecke im äussersten erforderlich ist, hängt hauptsächlich zusammen mit der Leistungsfähigkeit der Geleise, d. h. hängt davon ab, mit wie vielen Zügen man die Geleise belegen kann. Das kann aber nicht genau vorausgesehen werden.

Nochmals möchte ich hervorheben, dass die Verteuerungen, die ich für die Umformung angegeben habe, nicht bloss Privatansichten sind, sondern aus Berechnungen der Studienkommission resultieren, bei denen namentlich auch Herr Ingenieur Thormann als Mitarbeiter gewirkt hat, und die von sämtlichen Fabrikationsfirmen und Fachleuten der Studienkommission durchberaten und gutgeheissen wurden.

Der Unterschied in den Fahrbetriebskosten endlich, den ich für den Fall eines allfälligen nachträglichen Wechsels der Generatoren angegeben habe, ist an bestimmten Beispielen durch

ungefähre aber genügend genaue Rechnungen ermittelt worden. Er mag bei andern Werken sich vielleicht ein wenig ändern, aber nicht wesentlich.

Dr. Tissot, Président de la Commission Suisse d'Etudes pour la traction électrique des chemins de fer à voie normale:

Je tiens à remercier Mr. le Directeur général Sand de sa déclaration très catégorique au sujet de l'électrification des chemins de fer suisses et spécialement du tronçon Erstfeld-Bellinzona qui réalise les vœux exprimés à maintes reprises par la Commission d'Etudes.

L'électrification de nos chemins de fer n'est plus un problème technique, mais bien un problème financier et économique. Les progrès réalisés d'une part dans l'utilisation rationnelle de nos forces hydrauliques et d'autre part dans la construction de locomotives de grande puissance telles que celles du Simplon et du Lötschberg, ont prouvé que nos constructeurs suisses peuvent résoudre précisément la partie la plus difficile du problème. Nous leur devons de ce fait beaucoup de reconnaissance; ils ont couru de gros risques en prenant souvent à leur charge l'installation (ex. Seebach-Wettingen) ou l'exploitation (Simplon) des lignes qui leur ont été confiées.

Il est clair qu'en ma qualité de Président de la Commission d'Etudes, je maintiens ses conclusions dans leur ensemble et j'appuie les thèses développées par MM. Thormann et Professeur Wyssling. Depuis l'achèvement des études il y a eu un fait nouveau important, c'est la mise en exploitation de la ligne du Lötschberg qui est précisément équipée en monophasé et non en courant continu et dont les résultats, après une période de tâtonnements donnent toute satisfaction. Il n'y a donc aucune raison pour revenir sur les décisions de la Commission.

L'idée exprimée par Mr. Boveri d'équiper toutes les usines électriques suisses sur le même système, soit le triphasé 50 périodes peut paraître à première vue très attrayante. Mais elle présente le grand inconvénient de rendre quasi impossible l'emploi économique du courant monophasé qui ne peut être créé directement dans les usines à la périodicité et à la tension nécessaires à la traction, sans passer par des transformations multiples et onéreuses. Or le système de traction joue ici un rôle beaucoup plus important que celui de la distribution ou du secours mutuel que peuvent se porter les usines. La consommation de courant des chemins de fer sera telle qu'elle peut justifier à elle seule l'établissement d'usines spéciales suffisamment nombreuses pour se secourir mutuellement, équipées avec le système donnant les meilleurs résultats pour la traction.

Il est à certains points de vue regrettable que cette question de système ait été soulevée ici, car cela pourrait donner au représentants du Conseil Fédéral et des Chambres Fédérales l'impression que le côté technique du problème n'est pas résolu. Or ce n'est pas le cas. Les divergences soulevées ces derniers temps seront éliminées. Les Chemins de fer Fédéraux ont constitué un bureau spécial pour l'étude de l'électrification et ont placé à sa tête un ingénieur en lequel nous avons toute confiance et qui, nous l'espérons, donnera à cette question si importante l'impulsion qu'elle mérite.

La technique moderne a réalisé de progrès considérables; j'espère que les représentants des Chambres Fédérales suivront les ingénieurs dans la voie tracée en appliquant leur devise qui est „en avant et toujours en avant“.

* * *

Der *Präsident* dankt den Rednern, die sich an der Diskussion beteiligt haben und schliesst sich mit besonderem Nachdruck den anerkennenden Worten an, die Herr Dr. Tissot an die Schweizer Konstrukteure gerichtet hat, und fügt bei:

Si nos remerciements doivent aller aux constructeurs pour la contribution essentielle qui a été la leur, s'ils doivent aller également aux chemins de fer fédéraux pour l'intérêt très réel qu'ils prennent à la traction électrique et pour la création du bureau d'études à la tête duquel ils ont su placer un homme en qui tous les Electriciens suisses ont la plus entière confiance, ils doivent aussi aller à M. le Dr. Tissot lui-même, et celui-ci voudra bien

me permettre de saisir cette occasion d'exprimer la reconnaissance que nous devons au promoteur de la Commission suisse d'études pour la traction électrique des chemins de fer.

* * *

Der Sekretär, Ingenieur *A. Härry*, bringt folgende

Resolution

zur Verlesung:

Die auf Einladung des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes und des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins am 14. Dezember 1915 im Grossratssaal in Bern zusammengetretene öffentliche Versammlung hat mit hohem Interesse die Referate der Herren Ingenieur L. Thormann und Professor Wyssling über die Elektrifizierung der Bundesbahnen entgegengenommen. Sie dankt den Bundesbahnbehörden für die Schritte, die sie zur Lösung dieser volkswirtschaftlich und technisch gleich wichtigen Aufgabe bereits getan haben und spricht die Erwartung aus, dass möglichst bald der Umbau der zunächst in Betracht fallenden Linien der Gotthardbahn und ihrer Zufahrten, sowie der Zufahrtslinien zum Simplon für den elektrischen Betrieb erfolge. Sie geht dabei von der Ueberzeugung aus, dass die Elektrifizierung nicht nur dazu dienen werde, den Bahnbetrieb technisch und ökonomisch zu verbessern, sondern dass sie auch zur vorteilhaften Verwendung unserer Wasserkräfte wesentlich beitrage und damit die wirtschaftliche Unabhängigkeit unseres Landes fördere.

Die Resolution wird *einstimmig* zum *Beschluss* erhoben.

Hierauf schliesst der *Vorsitzende* um 4³/₄ Uhr die Versammlung.

