Die Elektrifizierung der Schweizerischen Bahnen

mit besonderer Berücksichtigung der

ehemaligen Gotthardbahn.

Sonderbericht

der

Schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb

erstattet an die

Generaldirektion der Schweizerischen Bundesbahnen.

Mai 1912.

Inhaltsverzeichnis.

Der Kraftbedarf für die Elektrifikation aller Schweizerbahnen und seine Befriedigung. Allgemeines Die für die Berechnung des Kraftbedarfs angenommenen Grundlagen Der Bedarf an Energie an den Schienen 1904 13 Die Steigerung des Bedarfs für Gegenwart und Zukunft 14 Der Energiebedarf ab Kraftwerken 16 Die maximale Leistung und die Gestaltung der Kraftwerke Übersicht des Kraftbedarfs durch die Wasserkräfte Übersicht von Wasserkräften 23 Die Befriedigung des Kraftbedarfs durch die Wasserkräfte Übersicht von Wasserkräften 24 Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung 27 Vergleich mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs Leistungen der Triebmittel 28 Möglichkeit der Einhaltung des Fahrplans 29 Anfahrverhältnisse 32 Möglichkeit der Mehrfachtraktion 33 Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit 35 Totgewicht der Triebmittel 35 Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad 37 Ausgleich der Leistungsschwankungen 42 Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad 37 Ausgleich der Leistungsschwankungen 48 Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften 53 Betriebssicherheit der Kontaktleitungen 53 Betriebssicherheit der Kontaktleitungen 54 Betriebssicherheit der Kontaktleitungen 55 Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom 58 Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Vergleichsprojekte 65 Die aufgestellten Vergleichsprojekte 65 Die aufgestellten Vergleichsprojekte 66 Die aufgestellten Vergleichsprojekte 67 Übersichtstafel 67 Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes 70 Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienst	Vorwort	Seite
Allgemeines Die für die Berechnung des Kraftbedarfs angenommenen Grundlagen Der Bedarf an Energie an den Schienen 1904 Die Steigerung des Bedarfs für Gegenwart und Zukunft Der Energiebedarf ab Kraftwerken Die maximale Leistung und die Gestaltung der Kraftwerke Übersicht des Kraftbedarfs Die Befriedigung des Kraftbedarfs durch die Wasserkräfte Übersicht von Wasserkräften II. Die Systemfrage. Die in Betracht kommenden Systeme Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung Vergleich mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs Leistungen der Triebmittel Möglichkeit der Einhaltung des Fahrplans Anfahrverhältnisse Möglichkeit der Mehrfachtraktion Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit Totgewicht der Triebmittel Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage Die verkehrstechnischen Grundlagen Ausgeschwindigkeiten Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten	I. Der Kraftbedarf für die Elektrifikation aller Schweizerbahnen und	
Die für die Berechnung des Kraftbedarfs angenommenen Grundlagen Der Bedarf an Energie an den Schienen 1904. 13 Die Steigerung des Bedarfs für Gegenwart und Zukunft 16 Der Energiebedarf ab Kraftwerken 16 Die maximale Leistung und die Gestaltung der Kraftwerke 17 Die maximale Leistung und die Gestaltung der Kraftwerke 18 Übersicht des Kraftbedarfs durch die Wasserkräfte 22 Die Befriedigung des Kraftbedarfs durch die Wasserkräfte 23 II. Die Systemfrage. Die in Betracht kommenden Systeme 24 Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung 27 Vergleich mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs 16 Leistungen der Triebmittel 28 Möglichkeit der Einhaltung des Fahrplans 29 Anfahrverhältnisse 32 Möglichkeit der Mehrfachtraktion 33 Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit 35 Totgewicht der Triebmittel 35 Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad 37 Ausgleich der Leistungsschwankungen 42 Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) 48 Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften 53 Betriebssicherheit der Kontaktleitungen 56 Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom 58 Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus 61 Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten 62 Grundlagen der Vergleichsprojekte 63 Die aufgestellten Vergleichsprojekte 63 Die aufgestellten Vergleichsprojekte 63 Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte 64 Die sufgestellten Vergleichsprojekte 65 Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte 67 Übersichtstafel 70 Schluss über die Systemfrage 71 III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn 18 und deren finanzielle Ergebnisse 72 Die verkehrstechnischen Grundlagen 73 Zugsgeschwindigkeiten 73 Reise-Geschwindigkeiten 74 Reise-Geschwindigkeiten 74 Reise-Geschwindigkeiten 74		
Der Bedarf an Energie an den Schienen 1904 Die Steigerung des Bedarfs für Gegenwart und Zukunft Der Energiebedarf ab Kraftwerken Die maximale Leistung und die Gestaltung der Kraftwerke Übersicht des Kraftbedarfs Die Befriedigung des Kraftbedarfs Die Befriedigung des Kraftbedarfs durch die Wasserkräfte Übersicht von Wasserkräften 21 II. Die Systemfrage. Die in Betracht kommenden Systeme Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung Vergleich mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs Leistungen der Triebmittel Möglichkeit der Einhaltung des Fahrplans Anfahrverhältnisse Möglichkeit der Mehrfachtraktion Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit Totgewicht der Triebmittel Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Gerundlagen der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten	Allgemeines	II
Der Bedarf an Energie an den Schienen 1904 Die Steigerung des Bedarfs für Gegenwart und Zukunft Der Energiebedarf ab Kraftwerken Die maximale Leistung und die Gestaltung der Kraftwerke Übersicht des Kraftbedarfs Die Befriedigung des Kraftbedarfs Die Befriedigung des Kraftbedarfs durch die Wasserkräfte Übersicht von Wasserkräften 21 II. Die Systemfrage. Die in Betracht kommenden Systeme Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung Vergleich mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs Leistungen der Triebmittel Möglichkeit der Einhaltung des Fahrplans Anfahrverhältnisse Möglichkeit der Mehrfachtraktion Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit Totgewicht der Triebmittel Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Gerundlagen der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten	Die für die Berechnung des Kraftbedarfs angenommenen Grundlagen	12
Die Steigerung des Bedarfs für Gegenwart und Zukunft Der Energiebedarf ab Kraftwerken Die maximale Leistung und die Gestaltung der Kraftwerke Übersicht des Kraftbedarfs Die Befriedigung des Kraftbedarfs durch die Wasserkräfte Übersicht von Wasserkräften 23 II. Die Systemfrage. Die in Betracht kommenden Systeme Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung Vergleich mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs Leistungen der Triebmittel Möglichkeit der Einhaltung des Fahrplans Anfahrverhältnisse Möglichkeit der Mehrfachtraktion Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit Totgewicht der Triebmittel Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen San Beeinflussung der Schwachstromleitungen Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom Schlussäfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Grundlagen der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte die Energiekosten Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten	Der Bedarf an Energie an den Schienen 1904	13
Der Energiebedarf ab Kraftwerken Die maximale Leistung und die Gestaltung der Kraftwerke Übersicht des Kraftbedarfs Die Befriedigung des Kraftbedarfs durch die Wasserkräfte Übersicht von Wasserkräften 23 II. Die Systemfrage. Die in Betracht kommenden Systeme Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung Vergleich mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs Abglichkeit der Einhaltung des Fahrplans Leistungen der Triebmittel Möglichkeit der Mehrfachtraktion Antahrverhältnisse Möglichkeit der Mehrfachtraktion Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit Totgewicht der Triebmittel Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Beeinflussung der Schwachstromleitungen Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Grundlagen der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten	Die Steigerung des Bedarfs für Gegenwart und Zukunft	
Die maximale Leistung und die Gestaltung der Kraftwerke Übersicht des Kraftbedarfs Die Befriedigung des Kraftbedarfs durch die Wasserkräfte Übersicht von Wasserkräften 11. Die Systemfrage. Die in Betracht kommenden Systeme Die in Betracht kommenden Systeme Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung Vergleich mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs Leistungen der Triebmittel Möglichkeit der Einhaltung des Fahrplans Anfahrverhältnisse Möglichkeit der Mehrfachtraktion Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit Totgewicht der Triebmittel Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Beeinflussung der Schwachstromleitungen Beeinflussung der Schwachstromleitungen Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Grundlagen der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten Übersichtstafel Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage 111. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten	Der Energiebedarf ab Kraftwerken	
Ubersicht des Kraftbedarfs Die Befriedigung des Kraftbedarfs durch die Wasserkräfte Übersicht von Wasserkräften 11. Die Systemfrage. Die in Betracht kommenden Systeme Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung Vergleich mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs Leistungen der Triebmittel Möglichkeit der Einhaltung des Fahrplans Anfahrverhältnisse Möglichkeit der Mehrfachtraktion Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit Totgewicht der Triebmittel Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Beeinflussung der Schwachstromleitungen Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Grundlagen der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage 11. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Reise-Geschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten	Die maximale Leistung und die Gestaltung der Kraftwerke	18
Ubersicht von Wasserkräften 11. Die Systemfrage. Die in Betracht kommenden Systeme	Übersicht des Kraftbedarfs	21
Ubersicht von Wasserkräften 11. Die Systemfrage. Die in Betracht kommenden Systeme	Die Befriedigung des Kraftbedarfs durch die Wasserkräfte	22
Die Systemfrage. Die in Betracht kommenden Systeme 24	Übersicht von Wasserkräften	
Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung Vergleich mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs Leistungen der Triebmittel	II. Die Systemfrage.	
Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung Vergleich mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs Leistungen der Triebmittel	Die in Betracht kommenden Systeme	24
Vergleich mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriehs Leistungen der Triebmittel	Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung	
Leistungen der Triebmittel	Vergleich mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs	
Möglichkeit der Einhaltung des Fahrplans. Anfahrverhältnisse Möglichkeit der Mehrfachtraktion Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit Totgewicht der Triebmittel Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Beeinflussung der Schwachstromleitungen Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Grundlagen der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten Übersichtstafel Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten 73 Reisezeiten Reise-Geschwindigkeiten	Leistungen der Triebmittel.	
Anfahrverhältnisse Möglichkeit der Mehrfachtraktion Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit Totgewicht der Triebmittel Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Grundlagen der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte 65 Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten Übersichtstafel Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel 70 Schluss über die Systemfrage 71 III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten	Möglichkeit der Einhaltung des Fahrplans.	29
Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit Totgewicht der Triebmittel Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad 35 Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) 48 Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Beeinflussung der Schwachstromleitungen Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Grundlagen der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten Übersichtstafel Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten 73 Reisezeiten Reise-Geschwindigkeiten	Anfahrverhältnisse	32
Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit Totgewicht der Triebmittel Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad 35 Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) 48 Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Beeinflussung der Schwachstromleitungen Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Grundlagen der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten Übersichtstafel Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten 73 Reisezeiten Reise-Geschwindigkeiten	Möglichkeit der Mehrfachtraktion	
Totgewicht der Triebmittel Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) 42 Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) 43 Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen 53 Beeinflussung der Schwachstromleitungen Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom 54 Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus 55 Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten 66 Grundlagen der Vergleichsprojekte 67 Die aufgestellten Vergleichsprojekte 68 Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten 68 Übersichtstafel 69 Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel 70 Schluss über die Systemfrage 71 III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines 72 Die verkehrstechnischen Grundlagen 73 Reisezeiten 74 Reise-Geschwindigkeiten	Vergleich mit Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit	
Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) 42 Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) 43 Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften 35 Betriebssicherheit der Kontaktleitungen 55 Betriebssicherheit der Kontaktleitungen 56 Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom 57 Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus 57 Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten 67 Grundlagen der Vergleichsprojekte 67 Die aufgestellten Vergleichsprojekte 67 Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten 67 Übersichtstafel 67 Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes 67 Übersichtstafel 70 Schluss über die Systemfrage 71 111. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn 10 112 113 114 115 115 116 117 117 118 118 119 119 119 119 110 119 110 110 110 110	Totgewicht der Triebmittel	
Ausgleich der Leistungsschwankungen Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Beeinflussung der Schwachstromleitungen Beeinflussung der Schwachstromleitungen Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Grundlagen der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte 666 Ergänzung der Vergleichsprojekte für die Energiekosten Übersichtstafel Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten	Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad	
Energie-Rückgewinnung (Rekuperation) Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Beeinflussung der Schwachstromleitungen Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Grundlagen der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten Übersichtstafel Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten	Ausgleich der Leistungsschwankungen	
Vergleich mit Bezug auf weitere technische Eigenschaften Betriebssicherheit der Kontaktleitungen Beeinflussung der Schwachstromleitungen Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Grundlagen der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten Übersichtstafel Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten	Energie-Rückgewinnung (Rekuperation)	
Betriebssicherheit der Kontaktleitungen	Vergleich mit Bezug auf weitere technische Figenschaften	
Beeinflussung der Schwachstromleitungen	Betriebssicherheit der Kontaktleitungen	53
Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Grundlagen der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten Übersichtstafel Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten Reisezeiten Reise-Geschwindigkeiten	Beeinflussung der Schwachstromleitungen .	56
Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus. 61 Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten 62 Grundlagen der Vergleichsprojekte 63 Die aufgestellten Vergleichsprojekte 65 Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten 66 Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes 67 Übersichtstafel 70 Schluss über die Systemfrage 71 III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. 72 Allgemeines 72 Die verkehrstechnischen Grundlagen 73 Reisezeiten 74 Reise-Geschwindigkeiten 75	Periodenzahl für Wechsel- und Drehstrom	58
Punkte aus Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten Grundlagen der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten Übersichtstafel Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten 74 Reisezeiten Reise-Geschwindigkeiten	Schlussfolgerungen in der Systemfrage vom technischen Stand-	,
Grundlagen der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten Übersichtstafel Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten Reisezeiten Reise-Geschwindigkeiten	punkte aus	61
Grundlagen der Vergleichsprojekte Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten Übersichtstafel Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten Reisezeiten Reise-Geschwindigkeiten	Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten	62
Die aufgestellten Vergleichsprojekte Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten Übersichtstafel Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines Die verkehrstechnischen Grundlagen Zugsgeschwindigkeiten Reise-Geschwindigkeiten	Grundlagen der Vergleichsprojekte	63
Ubersichtstafel	Die aufgestellten Vergleichsprojekte	
Ubersichtstafel	Die Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten .	
Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des gesamten Fahrdienstes 67 Übersichtstafel 70 Schluss über die Systemfrage 71 III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines 72 Die verkehrstechnischen Grundlagen 73 Zugsgeschwindigkeiten 73 Reisezeiten 74 Reise-Geschwindigkeiten 75	Übersichtstafel	66
samten Fahrdienstes Übersichtstafel Schluss über die Systemfrage 70 Schluss über die Systemfrage 71 III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines 72 Die verkehrstechnischen Grundlagen 73 Zugsgeschwindigkeiten 74 Reisezeiten 75	Ergänzung der Vergleichsprojekte durch die Kosten des ge-	
Schluss über die Systemfrage	samten Fahrdienstes	67
Schluss über die Systemfrage	Übersichtstafel	
III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines	Schluss über die Systemfrage	25/2009
und deren finanzielle Ergebnisse. Allgemeines		
Allgemeines 72 Die verkehrstechnischen Grundlagen 73 Zugsgeschwindigkeiten 73 Reisezeiten 74 Reise-Geschwindigkeiten 75	und deren finanzielle Ergebnisse.	
Zugsgeschwindigkeiten 73 Reisezeiten 74 Reise-Geschwindigkeiten 75	Allgemeines	72
Zugsgeschwindigkeiten 73 Reisezeiten 74 Reise-Geschwindigkeiten 75	Die verkehrstechnischen Grundlagen	
Reise-Geschwindigkeiten	Zugsgeschwindigkeiten	
Reise-Geschwindigkeiten	Reisezeiten .	
Varkahretatistische Grundlegen	Reise-Geschwindigkeiten	
V CIRCUISTATISTISCHE UITHIUMPEH	Verkehrstatistische Grundlagen	75
Zugszahlen und -Gewichte	Zugszahlen und -Gewichte	
Verkehrsarbeit	Verkehrsarbeit	78

		Seite
Die	Berechnung des Kraftbedarfs	78
	Der Arbeitsbedarf an den Schienen	78
	Übersichtstafel	79
	Die Maximalleistung an den Schienen	80
	Das Verhältnis der maximalen zur mittleren Leistung	81
	Die Verluste in den Zwischenmitteln von den Kraftwerken bis	
	an die Schienen	81
	Übersicht der Wirkungsgrade	82
	Der Kraftbedarf ab Kraftwerken	83
Die	Kraftwerke	84
	Allgamainag	84
	Beschreibung der Kraftwerke	87
Die	Beschreibung der Kraftwerke Energieverteilungs- und Fahrdrahtanlagen	89
Die	Allgemeines	89
	Allgemeines	0
	Verbindungsleitungen	
	Verbindungsleitungen	90
	Unterwerke	
D	Fahrdraht- und Speiseleitungen	90
Das	Rollmaterial	
	Die elektrischen Triebfahrzeuge	
	Übersichtstabelle	
	Die Vermehrung des Wagenparks	94
	Verschiedene Anschaffungen	94
Vers	schiedene Neuanlagen und Änderungen	95
	Depotanlagen und Werkstätten	95
	Umbau der Schwachstromanlagen	95
Die	Kosten der Anlagen und Anschaffungen für die Elektrifizierung.	97
	Allgemeines	97
	Voranschlag der Anlagekosten	. 99
	Vergleich mit Anlagekosten anderer Projekte	. 103
Die	Betriebskosten für die elektrische Traktion	104
	Allgemeines	104
	Die Jahreskosten der elektrischen Energie	105
	Übersichtstafel	107
	Die (direkten) Jahreskosten des «Fahrdienstes» Die indirekten Jahreskosten des «Fahrdienstes»	108
	Die indirekten Jahreskosten des «Fahrdienstes»	III
	Voranschlag der Betriebskosten für den zukünftigen elektrischen	
	Betrieb	. 113
	Die Ergebnisse der Betriebsrechnung	. 116
	Übersichtstafel	117
	Das Vergleichsprojekt für einen Verkehr wie 1904 mit Dampf	. 119
	Allgemeines	. 119
	Die verkehrstechnischen Grundlagen	119
	Der Kraftbedarf	121
	Die Kraftwerke	123
	Die Energieverteilungsanlagen	124
	Die elektrischen Triebfahrzeuge	125
		127
	Voranschlag der Anlagekosten	128
	Die Betriebskosten	131
	Voranschlag der Betriebskosten	133
	Ergebnis	135
Schl	Ergebnis	. 136

+000+

Vorwort.

Durch eine Anregung der Generaldirektion der Schweizerischen Bundesbahnen wird der schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb hiermit die Ehre zuteil, einen für die Geschäftsleitung der ersteren bestimmten Sonderbericht über die Elektrifizierung der Schweiz. Bundesbahnen, mit spezieller Berücksichtigung der ehemaligen Gotthardbahn zu erstatten. Die Studienkommission begrüsst die Gelegenheit, sich mit einer Zusammenfassung von Ergebnissen ihrer Studien speziell an die Schweiz. Bundesbahnen wenden zu dürfen, mit hoher Befriedigung. Es sei gestattet, dem Bericht einige Worte über die Organisation und Arbeitsweise der Studienkommission im allgemeinen vorauszuschicken. In der Generalversammlung des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins im Oktober 1901 beantragte eines seiner Mitglieder, Dr. Ed. Tissot, die Frage der Elektrifizierung unserer Normalbahnen zu studieren; er wurde zu diesem Vorschlag durch die in unsern Nachbarländern in dieser Hinsicht gemachten Vorarbeiten angeregt und liess sich hauptsächlich von der Notwendigkeit leiten, unser Land von den kohlenproduzierenden Ländern unabhängiger zu machen und der schweizerischen elektrotechnischen Industrie ein neues Arbeitsfeld zu eröffnen. Auch Prof. Dr. Wyssling hatte im Jury-Bericht der Pariser Ausstellung von 1900 1) diese

Bericht an das Schweiz. Handelsdepartement über Klasse 23, Weltausstellung Paris 1900.

Frage aufgeworfen. Zum Studium derselben wurden die interessierten Kreise gesammelt und zunächst ein provisorisches Komitee gebildet ¹), dem namentlich die schweizerischen Konstruktionsfirmen angehörten und dem es gelang, nach längeren Verhandlungen mit den Schweiz. Bundesbahnen im Mai 1904 unter Beteiligung der letztern und des Schweiz. Eisenbahndepartements die "Schweiz. Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb" zu gründen. Die finanzielle Grundlage bildeten jährliche Beiträge der Mitglieder, hauptsächlich des Eisenbahndepartements, der Bundesbahnen und der Konstruktionsfirmen, sowie von Berufsverbänden, Privatbahnen, grösseren Kraftwerken

und Bankunternehmungen.

Die Studienkommission stellte sich zur Aufgabe, "die technischen und finanziellen Grundlagen für Einführung des elektrischen Betriebs auf den Schweiz. Eisenbahnen zu studieren und abzuklären"²). Die Aufgabe war eine sehr komplexe. Denn die Elektrifizierung bezweckt bei uns nicht, wie in den meisten Fällen anderer Länder, in der Hauptsache rein technische Verbesserungen, etwa die Möglichkeit eines gesteigerten Verkehrs, grössere Geschwindigkeiten, Vermeidung des Rauchs u. dgl. mehr, sondern die Verwertung der nationalen Wasserkräfte an Stelle der ausländischen Kohle, und wenn möglich eine Verbilligung des Betriebs. Deshalb handelte es sich neben der Untersuchung des technischen Genügens und der Systemfrage um die Aufstellung genauer Betriebsprojekte zur Beantwortung der Frage nach den Kosten und der Kraftbeschaffung. Demgemäss wurde das reichhaltige Arbeitsprogramm der Kommission aufgestellt 3).

Die Arbeiten der Kommission haben länger gedauert, als von ihr selber angenommen war. Der Grund liegt darin, dass jede einzelne der vorzunehmenden Studien eine bis in alle Einzelheiten gehende Ingenieurarbeit bedeutet, die nur

2) Siehe die "Statuten der Schweiz. Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb" vom 2. Mai 1904.

¹) Siehe: Memorial betr. die Gründung eines Studienkomitees an das eidg. Eisenbahndepartement etc. Juli 1902.

³⁾ Siehe das "Arbeitsprogramm der Schweiz. Studienkommission" vom 2. Mai 1904.

ein mit der Spezialität eng vertrauter Fachmann in langer, zusammenhängender Arbeit leisten kann, und dass einzelne der Untersuchungen (z. B. die Ermittlung der verkehrsstatistischen Grundlagen, die Studien über mögliche Fahrplangestaltung etc.) ebenfalls nur in dieser Weise und nur durch Beamte der betreffenden Bahnen selbst ausgeführt werden konnten. Es gelang nicht, unter der, überhaupt sehr geringen Zahl der in Betracht kommenden Mitarbeiter solche zu finden, welche sich ganz ausschliesslich der Studienkommission widmen konnten. Nur einige wenige Herren konnten gewonnen werden, die sich jeweilen wenigstens längere Zeit mit den Arbeiten befassten; auch bei den Bundesbahnen konnten erst in den letzten zwei Tahren einige Angestellte von Kreisdirektionen zur tatsächlichen Bearbeitung von Teilen unserer Aufgaben für einige Zeit von ihren Beamtenpflichten beurlaubt werden. Es lag ausser der Macht der Kommission, diese Verhältnisse zu ändern, die aber der Sache nicht geschadet haben dürften.

Seit dem Frühling 1905 gelangten die Originalarbeiten unserer Kommission, welche alle Einzelfragen eingehend behandelten, mit ungefähr anderthalbtausend Folioseiten sukzessive in die Hände der Mitglieder. Insbesondere wurde der für die Vorbereitung der Elektrifizierung wichtigste Bericht über den mutmasslichen Kraftbedarf im März 1905 erstattet, so dass von diesem Augenblicke an zu übersehen war, in welcher Stärke und von welcher Art Wasserkräfte für den Betrieb der Schweiz. Bahnen zu reservieren seien 1). Mit den im Jahre 1909 abgelieferten Berichten ward die Systemtrage in technischer und wirtschaftlicher Beziehung entscheidend erörtert. Gerade in diesen Studienjahren hat sich übrigens die Systemfrage durch die erfolgte Entwicklung der Technik derart abgeklärt, dass heute mit viel grösserer Sicherheit geurteilt werden kann, als dies anfänglich hätte geschehen können. Die Darlegung und Entwicklung der Anschauungen über die Systemfragen und über die betriebsorganisatorischen Massnahmen für die Elektrifizierung, wie sie in den zahlreichen Verhandlungen der Subkommis-

¹) Siehe auch die hierüber veröffentlichte und der Presse mitgeteilte Broschüre: "Mitteilungen der Schweiz. Studienkommission, Nr. 1: Der Kraftbedarf etc.". Zürich, Rascher & Co., 1906.

sionen während der Studienjahre vorkamen, hat auch ohne Zweifel den daran teilnehmenden, ausübenden technischen Beamten der Bundesbahnen wertvolle, gründliche Einblicke in die Einzelheiten der neuen Traktionsart gebracht.

An dieser Stelle sei nicht unterlassen, die Mitarbeiter der Studienkommission zu nennen, die sich mit besondern Arbeiten für dieselbe befassten: Die hauptsächlichsten anfänglichen Studien und die ersten Ausführungsprojekte besorgte Ingenieur L. Thormann in Bern, der seither durch Ingenieur Dr. W. Kummer in Zürich abgelöst wurde. Eine Anzahl Arbeiten führte Ingenieur Weber-Sahli in Biel aus. wasserwirtschaftliche und hydraulische Arbeiten lieferte Ingenieur Affeltranger (vom Hause Locher & Co., Zürich) unter Mitwirkung der Firmen Gebr. Sulzer und Rieter & Co. in Winterthur; einige Angaben über Wasserkräfte Dr. Ebper (Bern); den elektrischen Teil der neueren Projekte (exklusive Rollmaterial und Schwachstromanlagen) bearbeitete das Ingenieurbureau Strelin (Zürich). Zusammenstellungen bahntechnischer Grundlagen verdanken wir Obermaschineningenieur Keller (Bern), Direktor Baldinger (Basel) und den Obermaschineningenieuren Meyer (Luzern) und v. Waldkirch (Basel); für die Hauptberichte verwendete Sonderstudien lieferten ausser den Genannten die Ingegenieure H. Egg, E. Huber-Stockar und E. Thomann, sowie die Firmen Brown Boveri & Co., Maschinentabrik Oerlikon und Elektrizitätsgesellschaft Alioth: einzelne Untersuchungen besorgten auch die Ingenieure Eckinger (Dornach), Reverdin (Genf) und Prof. Dr. Blattner (Burgdorf); vom Kreispersonal der Bundesbahnen (V und II) bearbeiteten Statistisches und Fahrplantechnisches Adjunkt Müller und Ingenieur Hunziker (Basel) und Techniker Brügger (Luzern). Die Grundlagen der Projekte für den Umbau der Schwachstromanlagen besorgte die Eidg. Obertelegraphendirektion und die Obertelegrapheninspektion der S. B. B.

Die generelle Leitung aller Arbeiten lag in den Händen von Prof. Dr. Wyssling (Wädenswil und Zürich), dem auch das Generalsekretariat, zuletzt unter Mitwirkung von Dr. Kummer, oblag; seiner Feder entstammt der vorliegende Bericht und ist die Zusammenstellung der ausführlichen Berichte übertragen.

Berechnungsresultate und die Anschauungen. welche die Studienkommission in den an die Mitglieder gelangten Einzelberichten niedergelegt hat, sind jedoch trotz der Entstehung aus Arbeiten einzelner Mitarbeiter nicht einfach der Ausdruck von persönlichen Meinungen dieser letztern, sondern durch die Mitwirkung aller Sachverständigen der Subkommissionen und der Vertreter der Konstruktionsfirmen der verschiedenen Systeme abgeklärte Ergebnisse, und, namentlich was die rein eisenbahntechnischen Dinge anbelangt, besonders in den letzten Projekten, durch die erfreuliche Mitwirkung von Fachmännern der Bundesbahnverwaltung auf eine sichere, bahnseitig anerkannte Basis gestellt. Die Studienkommission hofft daher, dass die Ergebnisse ihrer Studien den Bundesbahnen von Wert seien und besonders diejenigen betreffend die Gotthardbahn bald ihre unmittelbare Verwertung finden werden. Diese Projekte lassen auch über die finanziellen und allgemeinen Folgen der Elektrifizierung der Bundesbahnen überhaupt genügende Uebersicht gewinnen.

Die Studienkommission stellt sich den Bundesbahnen auf Wunsch auch weiterhin behufs Beratung bei der Ausführung der Elektrifikation gerne zur Verfügung, sei es als Körperschaft, sei es durch Bezeichnung geeigneter Mitarbeiter. Sie gestattet sich dabei, darauf hinzuweisen, dass namentlich die zu erstellenden Kraftwerke Anlagen sind, die besonders in hydraulischer, aber auch in elektrischer Beziehung wegen der speziellen Verhältnisse des Grossbahnbetriebs, zum Teil auch wegen ihrer Grösse, der Technik ungewöhnliche Aufgaben bieten, deren Bedeutung gross genug ist, um die Heranziehung der gewiegtesten, im Bau und Betrieb solcher Anlagen die grösstmögliche Erfahrung besitzenden Spezialfachleute für die Mitwirkung bei der Einzelprojektierung zu rechtfertigen und durch

gutes Gelingen zu lohnen.

In dem vorliegenden, zusammenfassenden Sonderbericht müssen auch Verhältnisse besprochen werden, die schon in früheren Veröffentlichungen der Studienkommission behandelt wurden, ebenso Dinge, die in einer letzten, zur Publikation bestimmten "Mitteilung" der Studienkommission zu besprechen sind und zum Teil dem vorletztjährigen Eisenbahnkongress im Berichte des, von der

Schweiz für diese Frage bestellten Berichterstatters ¹) vorgebracht werden mussten. Dadurch, dass in einigen Partien dieser Darlegungen derselbe Wortlaut verwendet wird, wie in den genannten Veröffentlichungen, glauben wir der vorliegenden Berichterstattung keinen Eintrag getan zu haben.

_ IO _

¹) Internationaler Eisenbahnkongressverband, Sitzung Bern 1910, Frage VIII, Elektrische Zugförderung: Prof. Dr. Wyssling, Bericht Nr. 4.

I. Der Kraftbedarf für die Elektrifikation aller Schweizerbahnen und seine Befriedigung 1).

Allgemeines.

Wie schon im Vorwort erwähnt, liegt die Bedeutung der Elektrifikation der Bahnen für die Schweiz nicht allein in rein technischen Vorzügen, sondern ebensosehr in der Verwertung der eigenen Wasserkräfte an Stelle der Kohleneinfuhr aus dem Ausland.

Die erste zu stellende Frage ist daher naturgemäss die: Wieviel Kraft wird erforderlich sein, und ist dieselbe im

Lande als Wasserkraft vorhanden?

Angesichts von in frühern Jahren ausgeführten, etwas pessimistischen Aufstellungen über unsern Wasserkraftvorrat musste diese Frage zur Zeit des Beginns der Studien (1904) sich nicht nur den mit der Sache weniger Vertrauten aufdrängen, sondern es konnte auch der Techniker ihr die Berechtigung nicht von vornherein absprechen im Hinblick darauf, dass nicht jede Wasserkraft sich für den Bahnbetrieb eignet.

Bei der Lösung dieser Frage kommt in Betracht, dass der Kraftbedarf in gewissem Masse vom gewählten elektromechanischen Betriebssystem, besonders aber von den rein bahnbetriebstechnischen Anordnungen abhängt. Ein durchaus genügender Ueberblick liess sich indessen gewinnen, wenn man zunächst das Energieerfordernis an den Triebrädern der Fahrzeuge, das vom gewählten elektro-mechanischen System nur unwesentlich beeinflusst wird, bestimmte, und für die fahrdienstlichen Anordnungen die

¹⁾ Für die Einzelheiten und Zahlenangaben sei (ausser auf die Originalberichte der Studienkommission) noch verwiesen auf: Mitteilungen der Schweiz. Studienkommission, Nr. 1: Der Kraftbedarf etc. Zürich, Rascher & Co. 1906.

bisherigen Gewohnheiten des Dampfbetriebs, d. h. relativ schwere Züge in relativ geringer Zahl beibehielt. Legt man so mit andern Worten den Kraftbedarf des bisherigen Dampfbetriebs zugrunde, so erhält man jedenfalls die höchstmöglichen Zahlen für den Kraftbedarf, welcher beim elektrischen Betrieb für gleichen Verkehr eintreten könnte, da sich bei letzterem durch günstigere Fahrplananlage und Zugskomposition, sowie durch Verminderung des toten Gewichts der Kraftbedarf vermindern lässt.

Unter dem, was gewöhnlich "Kraftbedarf" genannt wird, sind dabei zwei Dinge zu unterscheiden und zahlen-

mässig festzustellen, nämlich der Bedarf

a) an Arbeit oder Energie für den Betrieb über eine gewisse Zeitdauer (gelegentlich "totale" oder "effektive Arbeit", auch unrichtigerweise "Totalleistung" oder "Jahresleistung" u. dgl. genannt), gemessen in Pferdekraftstunden oder in Kilowattstunden, und

b) an Leistung oder Effekt für den Betrieb in einem gewissen Zeitmoment (oft "momentane Leistung" oder "momentaner Kraftbedarf" genannt), gemessen in Pferde-

kräften oder in Kilowatt.

Die Kenntnis der Arbeit oder Energie ist notwendig für die Feststellung des Bedarfs an totalem jährlichem oder an mittlerem Wasserzufluss der Kraftwerke; von der Leistung ist die Kenntnis der maximalen Werte erforderlich für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit und damit der Anlagegrösse der gesamten Stromproduktions- und Zuführungs-Einrichtungen (vom Wasserstollen bis zur Fahrdrahtleitung), sowie auch für die Feststellung der notwendigen Kapazität allfälliger Aufspeicherungsmittel.

Die für die Berechnung des Kraftbedarfs angenommenen Grundlagen.

Der Bestimmung des Kraftbedarfs wurde der Fahrplan und der Verkehr der Schweizer Bahnen von 1903/04 zugrundegelegt, speziell der Sommer 1904 mit allen periodischen Zügen und den herbstlichen Fakultativ-Güterzügen, als zur Zeit der Untersuchung stärkstbelastete unter den Perioden, für welche genügende Angaben zur Verfügung standen. Die vorauszusehende Vermehrung des Verkehrs ist nachher berücksichtigt. Die Berechnungen wurden für einen Sommer- und einen Wintertag durchgeführt, unter Benützung der statistischen Angaben der Bundesbahnverwaltung. Für die übrigen, normalen und schmalspurigen schweizerischen Dampfbahnen, deren Verkehr nur etwa 8% desjenigen aller Kreise der jetzigen S. B. B. ausmachte, mussten zum Teil andere Ermittlungen Platz greifen.

Die Berechnung der Fortbewegungsarbeit wurde unter genauer Berücksichtigung von Bahntrace und Längenprofil analog vorgenommen wie später bei den Projekten für G. B. (Seite 78) angegeben und das erhaltene Resultat für die Rollarbeit um 20 % (auf im Mittel 6 kg/t Rollwiderstand) aufgerundet. Für die Schmalspurbahnen sind im Mittel 10 kg/t als Rollwiderstand angenommen.

Von der theoretisch denkbaren und in gewissen Fällen möglichen Energie-Ersparnis durch Verwendung der lebendigen Kraft des Zuges zum "Auslaufenlassen" ist in der Rechnung kein Gebrauch gemacht, und für die Beschleunigungen, auch für aussergewöhnliche auf der Strecke, sind reichliche Zuschläge gerechnet.

Die Rangierdienst-Arbeit wurde aus den Diensttabellen

der Rangierlokomotiven ermittelt.

Ausser für die *Beleuchtung* ist auch der ganze für die *Heizung* erforderliche Energiebedarf unter Voraussetzung rein elektrischer Heizung zugeschlagen worden, obwohl sich letztere erst in einem spätern Stadium, wenn alle Fahrzeuge dafür eingerichtet sein würden, durchführen liesse.

Der Bedarf an Energie, gemessen am Triebradumfang, zunächst für den Dampfbetrieb der Schweizer Bahnen 1904.

Das Resultat der Berechnungen auf vorstehenden Grundlagen ist: Für alle schweizerischen Dampfbahnen (mit Inbegriff der elektrisch betriebenen Normalspurbahnen Burgdorf-Thun und Freiburg-Ins) wird am Umfang der Triebräder gebraucht beim Verkehre 1904, in runden Zahlen:

An einem mittleren Sommer-Wochentage:

THE CHICAL MONOTON SOMMEN TO CONTINUE.						
	Arbeit	in Pfero	dekraftstu	ınden für		
	stand und		Heizung und Beleuchtun	Total		
S. B. B. inklus. G. B.	780 000	260 000	_			
Rangierdienst		_	_	45 000 }		
Normalspurige Neben- bahnen samt Ran-						
gierdienst	50 000	15 000	_	65 000		
Schmalspurige Dampf-						
bahnen samt Ran-						
gierdienst	45 000	5 000		50 000		
Total_	875 000	280 000		I 200 000		
An einem mittleren Winter-Wochentage:						
Total_	620 000	200 000	110 000	930 000		
An einem Tag des Jahresdurchschnitts:						
Total_	695 000	235 000	35 000	965 000		
Für das ganze Jahr s	omit ins	gesamt	rund 35	53 000 000		

Bei dieser Berechnung ist davon abgesehen, dass die elektrische Traktion eine Rückgewinnung von Arbeit auf Gefällen durch Arbeitenlassen der Elektromotoren als Generatoren, angetrieben durch das Zugsgewicht, gestattet. (Siehe über diese Rekuperation die Ausführungen auf Seiten 48 ff.). Diese Zahlen geben daher für einen Verkehr gleich dem Dampfbetrieb von 1904 unter allen Umständen den höchstmöglichen Betrag des Energiebedarfs am Triebradumfang an.

Die Steigerung des Bedarfs für den gegenwärtigen und den zukünftigen Verkehr

kann, was die am Radumfang zu leistende Arbeit anbelangt, unmittelbar der Steigerung der Verkehrsmengen proportional gesetzt werden. Wird damit im allgemeinen eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeiten verbunden, so ist noch ein gewisser Zuschlag für die entsprechende Vermehrung des Rollwiderstandes nötig.

Anhaltspunkte über die Vermehrung des Kraftbedarfs und des Verkehrs geben die besonderen Untersuchungen

der Studienkommission für die Gotthardbahn:

Die Verkehrsmengen (Förderarbeiten) betrugen in runden Zahlen in Brutto-Tonnen-Kilometern für das

gesamte Zugsgewicht

a) In dem, obiger Arbeitsberechnung zu Grunde gelegten Jahre 1904 mit

Dampfbetrieb 1 105 000 000 776 000 000

b) Im Jahre des stärksten Verkehrs, dessen Statistik zurVerfügung stand: 1907¹) 1 623 000 000 1 102 000 000 und wurden angenommen

c) für einen, den späteren Projekten zugrundegelegten gesteigerten elektrischen

Zukunftsverkehr zu . . 1 824 000 000 I 437 000 000

Gegenüber der Förderarbeit an angehängtem Zugsgewicht von 1904 wäre also 1907 ¹) bereits eine über 40% grössere vorgekommen, eine etwa 85% grössere beim vorläufig projektierten elektrischen Betrieb angenommen. Da dieses Zukunftsprojekt mit allen wünschbaren, sehr bedeutenden Geschwindigkeitserhöhungen gegenüber dem Dampfbetriebe rechnet, und die Leistungsfähigkeit der bestehenden Bahnanlage schon sehr vollkommen ausnützt, so ist seine Verkehrsarbeit nicht weit von der maximalen, die bei der Gotthardbahn eintreten kann. Immerhin wird, um sicher zu gehen, anstatt mit 85% Vermehrung (des angehängten Gewichts), für die fernere Zukunft besser mit 100% zu rechnen sein. Für die übrigen Kreise der Bundesbahnen und die Privatbahnen wird diese prozentuale Vermehrung, entsprechend einer Verdoppelung des Nettover-

¹⁾ Die seither bekannt gewordene Statistik für 1910 weist beinahe dieselben Zahlen auf.

kehrs gegenüber 1904, in absehbarer Zeit auch nicht überschritten werden. Einer angenommenen mittleren Zunahme der angehängten Brutto-Tonnenkilometer um 85% entspricht nun beim Uebergang auf elektrischen Betrieb wegen Verminderung des Triebfahrzeuggewichts nur eine solche der Gesamtzugsgewichts-Tonnenkilometer um etwa 50%, dieser aber wieder bei wesentlicher Steigerung der Geschwindigkeiten eine stärkere Zunahme der aufzuwendenden Energie, nämlich von den 51 Millionen Pferdekraftstunden, mit welchen in unserer Tabelle auf Seite 14 der Jahresbedarf der G. B. pro 1904 inbegriffen ist, auf 83 Millionen PSh, das sind 63% mehr Energiebedarf. Nimmt man noch statt der 85% Steigerung des angehängten Zugsgewichts eine solche von rund 100% an, so muss der entsprechend gesteigerte Gesamtzugsgewichtstransport, analog gerechnet, etwa 70 bis 75% Steigerung des Energiebedarfs gegenüber dem des Dampfverkehrs 1904 ergeben.

Mit diesen Verhältniszahlen kann auch für den ungefähren Ueberschlag des gesamten Energieerfordernisses aller schweizerischen (bisher mit Dampf betriebenen) Bahnen gerechnet werden, das demnach anstatt der für den Dampfverkehr 1904 berechneten 353 Millionen PSh in absehbarer Zukunft (nämlich mit gegen 1904 rund verdoppelter Verkehrsarbeit an angehängtem Zugsgewicht) rund ca. 600 Millionen Pferdekraftstunden per Jahr, gemessen an den

Triebrädern, betragen dürfte 1).

Diese Arbeit verteilt sich aber sehr unregelmässig auf die 8760 Stunden des Jahres; die maximale Leistung ist daher viel grösser als die mittlere, die 600 000 000 PSh: 8760h=rund 70 000 PS an den Triebrädern betragen würde. Ausserdem sind die Verluste von den Kraftwerken bis zum Radumfang zu ersetzen.

Der Energiebedarf ab Kraftwerken.

Zum Energiebedarf am Umfang der Triebräder kommen hinzu die Verluste in: den Uebertragungsmechanismen der Triebfahrzeuge, den Motoren und den Reguliervorrich-

¹⁾ Siehe auch die Tabelle Seite 21.

tungen derselben, den Kontaktleitungen, den Uebertragungsleitungen vom Kraftwerk aus, den elektrischen Generatoren und für die meisten Fälle auch von Haupttransformatoren zur Erhöhung der Spannung in den Kraftwerken und zur Erniedrigung in den Speisepunkten am Bahnnetz. Diese Verluste weichen bei den verschiedenen anwendbaren Systemen etwas von einander ab, doch nicht derart, dass nicht für den Ueberschlag des gesamten Kraftbedarfs ein einheitlicher Prozentsatz dafür angenommen werden könnte. Bei Verwendung von Wechselstromsystemen kommen zumeist Verluste in Fahrzeug-Transformatoren hinzu, bei Gleichstrom solche in den Umformern. Unter Umständen ist bei allen Systemen mit Kraftausgleichsanlagen (Pufferanlagen) und deren Verlusten zu rechnen. Genauere Ermittlungen ergaben, dass von der, ab Turbinen abzugebenden Jahresenergie 50 bis allerhöchstens 60% verloren gehen bis an den Umfang der Triebräder, je nach dem System. (Der sich so ergebende Jahres-Wirkungsgrad von 50 bis 40% ist nicht zu verwechseln mit dem viel grössern Wirkungsgrad dieser Einrichtungen bei maximaler oder überhaupt bei erheblicher Leistung.) Es wird daher für den absehbaren (gegen 1904 netto verdoppelten) Zukunftsverkehr aller Schweizer Dampfbahnen zusammen bei elektrischem Betriebe eine Jahresenergie von rund 1200 Millionen Pferdekraftstunden ab Turbinenwellen der Kraftwerke voraussichtlich genügend, eine solche von 1500 Millionen Pferdekraftstunden auch bei Wahl eines im Gesamtwirkungsgrad ungünstigsten Systemes reichlich gerechnet sein. (Für den Verkehr wie 1904 wären es, analog gerechnet, ca. 700 Millionen PSh ab Turbinen.)

Bei permanent gleichmässiger Benützung der Kraft würde diese Arbeit für den Zukunftsverkehr einer mittleren Gesamtleistung von rund 140 000 bezw. 170 000 Pferdestärken ab Turbinen während der 8760 Stunden des Jahres

entsprechen.

Demgegenüber ist nun zu bestimmen:

Die erforderliche maximale Kraftwerksleistung und die Gestaltung der Kraftwerke.

Ausgehend von den Normen für Rollwiderstand, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Zugsgewicht ist anhand des Längenprofils und Fahrplans der zeitliche Verlauf der dafür erforderlichen Leistung in Pferdestärken zu ermitteln. Die (theoretisch für jeden Zeitmoment auszuführende) Summierung dieser Leistungen für alle Züge einer Strecke oder eines grössern Gebiets liefert den Verlauf der Gesamtleistung hiefür. Es ist einleuchtend, dass, je mehr Züge zusammengefasst werden, je grösser also das gespeiste Gebiet ist, desto weniger die Gesamtleistung schwankt. Im Kapitel über Systemvergleichung ist auf Seite 44 gezeigt, dass für so grosse Bahnnetze, wie sie tatsächlich bei unsern Bundesbahnen für Speisung von einem einzigen der in Betracht kommenden Kraftwerke oder mehreren miteinander verbundenen solchen zusammengezogen werden können, das Verhältnis der grössten jemals vom Gebiete beanspruchten Gesamtleistung, der Maximalleistung, zur mittleren Leistung bezogen auf das ganze Jahr, alles gemessen am Triebradumfang, etwa 3,1 bis 4,4, für die ganze Gotthardbahn 3,3 beträgt (während es für kleinere Netze viel höhere Werte erreicht). An den Turbinenwellen der Kraftwerke wird das Verhältnis noch etwas kleiner wegen der in den Zwischenmitteln vorhandenen konstanten, ausgleichenden Verluste. Das drückt sich auch dadurch aus, dass der Wirkungsgrad der Uebertragung von den Turbinen bis an die Triebräder bei Maximalleistung wesentlich grösser ist als im Jahresmittel. Durften wir den letztern zu rund 50% annehmen (Seite 17), so ergibt sich der erstere bei den besseren Systemen zu 55 bis 57% 1).

Die Annahme eines Verhältnisses der Maximalleistung zur mittleren gleich 3,5 am Radumfang, eines Wirkungsgrads zwischen Turbinenwellen und Radumfang zu 50% für das Mittel, d. h. die Jahresarbeit, und von 55% bei den Maximalleistungen (was dann ein Verhältnis der maximalen zur mittleren *Turbinen*-Leistung = 3,5 × 50:55 = rund 3,2 ergibt), dürfte demnach reichlich bemessen sein.

¹⁾ Siehe Seite 82.

Zusammenfassend ergibt sich, dass für die Elektrifikation aller Schweizer Dampfbahnen für den absehbaren gesteigerten (gegen 1904 in den angehängten Transportmengen verdoppelten) Zukunftsverkehr Wasserkräfte nötig sind, welche jährlich ca. 1200, allerhöchstens 1500 Millionen Pferdekraftstunden ab Turbinenwellen zu liefern haben, jedoch anstatt für eine dementsprechende mittlere Leistung von rund 140 000 bis 170 000, für eine maximale Turbinenleistung von rund 450 000 PS, höchstens 550 000 PS ausgebaut sein müssen, sofern nicht durch Ausgleichsanlagen im Energieverteilungsnetz (Akkumulation an Punkten am Bahnnetz) die Schwankungen der Leistung ausgeglichen werden. Obwohl solche "Pufferungsanlagen" in einzelnen günstigen Fällen vorteilhaft sein und erhebliche Reduktionen der Maximalleistung der Kraftwerke gestatten können. erweisen sie sich (wie im Kapitel "Systemfrage" erörtert wird 1), im allgemeinen doch nicht als wirtschaftlich, und es soll daher hier für die Kraftbeschaffung die dadurch gelegentlich vielleicht mögliche Erleichterung nicht in Betracht gezogen werden.

Die Kraftwerke für Bahnbetrieb müssen also grossen Leistungsschwankungen genügen. Es ist unvorteilhaft, für einzelne kleine Bahnnetze besondere Kraftwerke zu betreiben, da diese schlecht ausgenützt werden. Für kleine Bahnen bringt daher der Zusammenschluss für

Kraftbeschaffung grosse Vorteile.

Auch für die Grossbahnen kommen i. A. nur solche Wasserkräfte in Betracht, bei denen eine erhebliche Aufspeicherung durch Reservoire oder Seen möglich ist; Wasserwerke, bei denen der Ueberschuss zu denjenigen Zeiten, in denen nicht das Maximum beansprucht wird, unbenützt abfliessen muss, wären für sich allein unwirtschaftlich für Bahnbetrieb. Sie können aber in Verbindung mit andern Anlagen, welche Speicherung gestatten, gute Dienste leisten. Da genügend billige Aufspeicherung nur bei hohen Gefällen möglich ist, so ist vor allem die Ausnützung grosser Gefälle in Aussicht zu nehmen.

¹⁾ Siehe Seite 42.

Die örtliche Verteilung der Kraftwerke sollte sich natürlich so viel als möglich derjenigen des Kraftbedarfs anpassen. Das ist jedoch nur höchst unvollkommen erreichbar. Denn die Gebirgsgegenden weisen die meisten und die passendsten Wasserkräfte auf, im allgemeinen aber, mit Ausnahme der Linien der durchgehenden Alpenbahnen, den geringsten Bedarf. Die heute betriebssicher verwendbaren elektrischen Uebertragungssysteme sind indessen wohl imstande, die Kräfte in wirtschaftlicher Weise dahin zu bringen, wo man sie braucht.

Einen Ueberblick über die ungefähre Verteilung des Kraftbedarfs gibt die nebenstehende Tabelle. Sie macht keinen Anspruch auf Genauigkeit, vor allem deswegen nicht, weil der Umfang des zukünftigen Verkehrs geschätzt ist, und zwar, wie oben angenommen, rund entsprechend einer Verdoppelung der "angehängten Brutto-Tonnen-Kilometer" des Verkehrs von 1904. Verkehr und Kraftbedarf der im Gebiete eines Bundesbahnkreises liegenden Privatbahnen sind schätzungsweise auf die Kreisgebiete verteilt. Für die Wirkungsgrade und Verhältniszahlen sind die oben (Seite 18) angegebenen Zahlen, auch für den Arbeitsbedarf am Radumfang überall dieselben, durch die Ausführungsprojekte 1) errechneten Mittelzahlen pro tkm angenommen, und der Bedarf für Rangieren, Heizung und Beleuchtung ebenfalls inbegriffen.

¹⁾ Siehe Tabelle zu Seite 79.

Übersicht

über den ungefähren Kraftbedarf der Zukunft für den elektrischen Betrieb aller Bahnen der Schweiz und über den dafür angenommenen Verkehr.

Bundesbahnen	Zukunfts- verkehr	Ungefährer Kraftbedarf					
Privatbahnen in Millionen Brutto-Tonnen-		am Radumfange			ab Turbinenwellen der Kraftwerke		
im Gebiete des	Kilometer (Gesamtzugs- Millione	Arbeit Millionen	Leistung in PS		Arbeit Millionen	Leistung in PS	
Kreises	per Jahr	PSh per Jahr	mittlere	maximale	PSh per Jahr	mittlere	maximale
I	3 000	136	15 500	54 000	272	31 000	98 000
II	3 600	162	18 500	65 000	324	37 000	118 000
III	3 600	162	18 500	65 000	324	37 000	118 000
IV	2 000	90	10 250	36 000	180	20 500	65 000
V	2 000	90	10 250	36 000	180	20 500	65 000
Insgesamt	14 200	640	73 000	256 000	1280	146 000	464 000

Die Befriedigung des Kraftbedarfs durch disponible Wasserkräfte.

Nach einer Aufstellung durch den Vorsteher der eidgenössischen Landeshydrographie konnte die Studienkommission im Januar 1907 eine, allerdings noch sehr unvollständige, vorläufige Liste von Werken vorlegen, welche zusammen rund 150 000 PS als permanent vorhandene Minimalkraft und teilweise bedeutende Akkumulierfähigkeit besitzen (z. B. Etzelwerk, Ritomwerk etc.). Es zeigte somit schon diese beschränkte Liste die Aussicht, nicht nur die erforderliche Jahresenergie zu erhalten, sondern auch die Werke auf die nötigen rund 500 000 PS Maximalleistung ausbauen zu können.

Die "Mitteilung Nr. 1" der Studienkommission hatte

schon 1906 u. a. geäussert:

"Die starken Schwankungen der beanspruchten Leistung.... beschränken die rationell verwertbaren Wasserkräfte auf eine sorgfältig zu treffende Auswahl ... Wenn daher auch, nach Massgabe der jährlich abzugebenden Arbeit, zu übersehen ist, dass die nötige Energie in noch disponibeln Wasserkräften durchaus vorhanden sein wird, so sagen uns doch diese Resultate, dass mit solchen Wasserkräften, die ihrer Natur nach besonders für den Bahnbetrieb geeignet sind, vorsichtig hausgehalten und rechtzeitig

für deren Sicherung gesorgt werden muss."

Von den in jener Liste enthaltenen Werken sind die Konzessionen einiger in die Hände von Privatgesellschaften oder kantonaler Unternehmungen gelangt. Wenn auch deren Kraft zum grössern Teile noch erhältlich, so wird es wenigstens für die Bundesbahnen doch im allgemeinen vorzuziehen sein, zum mindesten den Betrieb dieser Kraftwerke selbst zu führen. Wo dies für einzelne derselben heute nicht mehr möglich sein sollte, wird man besser Ersatz suchen. Vollständigere Untersuchungen, welche die Studienkommission seither anstellte, führten überhaupt zu einer erweiterten Aufstellung über die in Betracht kommenden Wasserkräfte, die nachstehend auszugsweise wiedergegeben ist. Diese Zusammenstellung will nicht erschöpfend sein; es soll mit ihr auch nicht gesagt sein, dass alle diese Wasserkräfte für elektrischen Bahnbetrieb reserviert wer-

den sollen; mannigfache Verschiebungen und Kombinationen sind möglich. Die Liste soll lediglich zeigen, dass ohne besondere Schwierigkeiten die für den elektrischen Betrieb aller Schweizer Bahnen erforderlichen und passenden Wasserkräfte gefunden werden können.

Verzeichnis und Leistungsfähigkeit von disponibeln Wasserkraftwerken, die für den elektrischen Betrieb der Schweizer Bahnen in Betracht kommen können.

Name bezw. Ort Gewässer	maximale bezw. Ausbau- grösse	mittlere im Jahres- Durchschnitt	in Millonen PS h bei geeigneter
		Darchschille	Kombination
Lavorgo Tessin Foosbach	50 000 45 000 25 000 45 000 120 000 50 000 25 000 20 000 45 000 100 000	33 000 32 000 8 23 000 8 22 000 12 000 10 000 16 000 25 000	290 280 (708) 200 190 100 80 140 220
Brig und Aernen . Rhone u. Binna Sembrancher Drance	50 000 25 000	25 000	220 80 1 800

II. Die Systemfrage.

Zur Zeit des Beginns der Arbeiten der Schweizerischen Studienkommission durfte man sich noch die Frage stellen: Gibt es überhaupt Systeme elektrischen Betriebs, die den Anforderungen eines Grossbahnbetriebs unzweifelhaft genügend entsprechen? Heute wird der Ingenieur diese Frage bestimmt mit Ja beantworten können; wir können des technischen Erfolges der elektrischen Traktion sicher sein.

Aber auch die Frage, welches System im Einzelfalle, und welches allgemein, zunächst rein technisch gesprochen, die grössten Vorteile böte, hat sich bekanntlich gerade in den letzten Jahren bedeutend abgeklärt. Für die Schweiz handelt es sich im besonderen allerdings auch noch darum, ein System zu finden, das die grösstmöglichen wirtschaftlichen Vorzüge bei Wasserkraftbetrieb bietet. Zur Würdigung der nachstehenden Auszüge aus den Untersuchungen und Schlüssen der Studienkommission sei vorab nochmals darauf hingewiesen, dass alle Feststellungen über die Eigenschaften der verschiedenen Systeme und die Annahmen über das wirklich mit Sicherheit Ausführbare in eingehender Beratung der Konstrukteure und der Vertreter der verschiedenen Systeme mit den Mitarbeitern und übrigen Sachverständigen der Kommission vorgenommen wurden.

Die in Betracht kommenden Systeme.

Eingehende vergleichende Studien über die verschiedenen Systeme elektrischer Traktion erfordern bestimmte, zahlenmässige Annahmen über die anwendbaren technischen Normen, z. B. die Spannungen und andere technische Verhältnisse. Mit Rücksicht auf die bisherigen Erfahrungen können als im engeren Sinne in Betracht

kommende Systeme höchstens die folgenden bezeichnet werden, die alle mit Stromzuführung zu den Zügen mittelst Kontaktleitung und Schienenrückleitung versehen sind:

Gleichstrom mit dritter Schiene für Spannungen bis zu 800 Volt;

Gleichstrom mit Oberleitung für Spannungen bis zu 3000 Volt, eventuell 2×3000 Volt in Dreileiteranlagen;

in beiden Fällen in der Regel unter Benützung von Umformerwerken, denen die Energie in Form von hochgespanntem Drehstrom mit Freileitung zugeführt wird;

Dreiphasen-Wechselstrom mit zwei Oberleitungen von 5000 bis 8000 Volt verketteter Spannung und einer Periodenzahl zwischen 15 und 50 pro Sekunde, unter primärer Verteilung des Drehstroms mit höherer Spannung bis zu Transformationspunkten, die eventuell auch Pufferstationen sein können;

Einphasen-Wechselstrom mit Oberleitung bis zu 15 000 Volt Spannung und Periodenzahlen zwischen 15 und 25 pro Sekunde, sei es unter primärer Erzeugung von Einphasenstrom oder von Drehstrom höherer Spannung mit Umformung in Speisestationen, die auch zur Pufferung dienen können.

Dabei ist für die Begrenzung der zulässigen Spannungen nach oben bestimmend:

Motoren haben sich für Gleichstrom mit 500 und bis 800 Volt allgemein seit langer Zeit bewährt; bei solchen grösserer Leistung sind unter Benützung je zweier Kollektoren 1200 und 1500 Volt in Verwendung (St. Georges de Commiers-La Mure, Wiener Stadtbahn), mit Hülfspolen noch grössere Spannungen (Biasca-Acquarossa). Für die Drehstrom-Induktionsmotoren sind in grösseren Ausführungen 3000 Volt mit Erfolg verwendet (Veltlin, Simplon), versuchsweise auch 10000 Volt (Berlin-Zossen). Für diese Motoren sowohl wie für die Einphasen-Kollektormotoren ist die Motorspannung (die im letztern Fall bei Serien-Motoren nur zu 3—500 Volt angenommen werden kann) nicht mehr von wesentlicher Bedeutung, sobald Fahrzeugtransformatoren angewandt werden, die zumeist auch aus andern Gründen erforderlich sind.

Die Apparate für Steuerung und Regulierung, Schaltung und Stromabnahme sind leicht für dieselben Spannungen wie Motoren und Fahrdraht herzustellen und dafür bewährt.

Es bleibt die Begrenzung der Spannung durch die Fahrdrahtanlage selbst. Für die dritte Schiene kann man infolge der Nähe des Bahnoberbaues und wegen der erforderlichen mechanischen Bauart eine sichere Isolation für mehr als die bisher etwa verwendeten 500 bis 800 Volt nicht erzielen, und wegen der Gefährdung von Personen eine höhere Span-

nung überhaupt nicht anwenden.

Für einpolige Oberleitung, wie sie für Einphasen-Wechselstrom in Verwendung kommt, haben sich 15 000 Volt Spannung auf freier Strecke im Betriebe bewährt (vierjähriger Versuchsbetrieb Seebach-Wettingen, Betrieb Spiez-Frutigen) und Versuche (Schwedische Staatsbahnen usw.) gingen mit Erfolg noch höher. Für feuchte Tunnels ist die Ausführung naturgemäss etwas schwieriger und haben sich am Anfang, wie nicht anders zu erwarten, einige Schwierigkeiten gezeigt, die aber durch geeignete Anordnungen überwunden wurden (Spiez-Frutigen), so dass man heute auch hier mit 15 000 Volt sicher betreiben kann.

Für die zweipolige Oberleitung des Drehstromes (oder eventuell des Gleichstrom-Dreileitersystems) sind 3000 Volt bewährt (Italienische Bahnen, Simplon, neuerdings 6000 Volt bei der Great Northern-Bahn) und kann unbedingt auch mit 6000 Volt, nach Ansicht der Konstrukteure solcher Anlagen auch mit 8000 Volt gerechnet werden. Diese Ueberlegungen, sowie einige andere in Betracht kommende Momente führen dazu, als zulässige obere Spannungsgrenzen anzunehmen:

Für den Gleichstrom: 1500 Volt an den Kollektoren,

3000 Volt pro Motor, 800 Volt für dritte Schiene,

3000 Volt für einpolige und

2×3000 Volt für zweipolige Oberleitung (Dreileitersystem);

für den Drehstrom: 5000 bis 8000 Volt für Oberleitung, Fahrzeugtransformatoren und eventuell grosse Motoren; für den Einphasenstrom: ca. 300—500 Volt für reine Serie-Motoren,

6000 Volt für Kollektormotoren nach dem Induktionsprinzip,

15000 Volt für Fahrzeugtransformer und Oberleitung.

Als *Periodenzahlen* für die Wechselstromsysteme könnten beim Einphasenstrom zunächst solche zwischen 15 und 25 in Diskussion kommen, für den Drehstrom dieselben, wie auch die bisher bei Kraftwerken verwendeten von 40 oder 50.

Die durch das Vorstehende fixierten Systeme sind nun den nachstehenden vergleichenden Untersuchungen zugrunde gelegt, wobei für die Periodenzahlen rechnerisch die obern und untern Grenzwerte in Betracht gezogen sind.

Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung.

Zunächst ist das technische Genügen der verschiedenen Systeme zu untersuchen, und zwar einmal ausgehend von den Anforderungen, die der Bahnbetrieb an ein Traktionssystem stellen muss, und sodann ausgehend von den elektrisch-mechanischen und wirtschaftlichen Eigenschaften der Systeme.

In erster Linie sei vorgenommen ein

Vergleich der Traktionssysteme mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs an dieselben.

Als solche Anforderungen sind vor allem zu betrachten: 1. Die Erzielung genügender Drehmomente (Zugkräfte)

und Leistungen für die Fahrt bei Vollbahnbetrieben;
2. die Einhaltung des Fahrplans unter allen wirklich vorkommenden Verkehrsverhältnissen bei der vorhandenen Eigenart der Motoren (besonders mit Bezug auf die Fahrgeschwindigkeit, ihr Maximum, ihre Regulierung, die Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Zugkraft);

- 3. die Erzielung befriedigender Anfahrverhältnisse im besonderen;
- 4. die Möglichkeit der Traktion mit mehreren Triebfahrzeugen im selben Zuge.
- I. Leistungen der elektrischen Triebmittel. Noch vor wenigen Jahren bestanden Zweifel darüber, ob überhaupt in befriedigender Weise eine derartige Stärke der elektrischen Triebmittel erzielbar sei, wie sie der Vollbahnbetrieb erfordert.

Es lagen zunächst nur kleinere Ausführungen solcher Triebmittel vor, obwohl einzelne elektrische Bahnen, auch im eigenen Lande, schon Ansehnliches leisteten. So mit Gleichstrom die Montreux-Berner Oberland- und die Freiburg-Murten-Ins-Bahn, dann besonders mit Drehstrom die Burgdorf-Thun- und auch die Engelberg-Bahn, mit Einphasenstrom die Maggiatal-Bahn, seither die Schweiz. Seetalbahn und Martigny-Orsières. Dabei war grösstenteils Betrieb durch Motorwagen bewirkt, bei welchem die Gesamtleistung auf eine unter Umständen grössere Zahl Motoren relativ kleiner Leistung verteilt werden kann. Dass auf diese Weise Gesamtzugkräfte entwickelt werden können. wie sie in unserem Grossbahnbetrieb kaum so gross vorkommen, bewiesen dann bald verschiedene ausländische Spezialbahnen, besonders die New Yorker Untergrundbahn für Gleichstrom 1) (Anfahrzugkräfte von 20 000 kg und Anfahrleistungen von bis 2500 PS, wozu zwei der schwersten Schweizer Dampflokomotiven erforderlich wären), auch die Hamburg-Altona-Vorortbahn für Einphasenstrom. Fraglicher war die Sache längere Zeit für den Lokomotivbetrieb, der grösserer Motoreneinheiten bedarf. und der für Schnell- und Güterzüge unentbehrlich bleiben wird, in unserem Lande namentlich für die Durchführung der an der Grenze eintreffenden fremden Dampfschnellzüge.

Im Auslande waren allerdings Lokomotiven grosser Leistung seit Jahren in Betrieb, so seit 1895 für Gleichstrom solche von 1440 PS Stundenleistung bei der Balti-

¹⁾ Siehe "Berichte der Schweiz. Studienkommission", Heft I, Wyssling, Elektrische Bahnen in Nordamerika, Seite 144, und E.T.Z. 1905, Seite 726.

more- und Ohio-Bahn, seit 1905 dann solche von 2200 PS Stundenleistung bei der New York Central-Bahn, ebensogrosse bei der Pennsylvania-Bahn, und andere. Zeigten einzelne der Erstausführungen schwerer elektrischer Lokomotiven noch wesentliche Mängel, namentlich in mechanischer Beziehung, wie das bei einer neuen Sache nicht anders zu erwarten, so sind seither, besonders in letzterem Punkte, die Fortschritte gewaltige gewesen. Es mögen erwähnt werden: Für Gleichstrom 2000 PS-Lokomotiven der Westinghouse-Gesellschaft für die Pennsylvania-Bahn, entsprechende Doppellokomotiven von 4000 PS: für Drehstrom die Brown Boveri'schen Simplon-Lokomotiven, von denen die neueren 1700 PS Stundenleistung haben, und die für den Giovi-Tunnel 2000 PS; für Einphasenstrom-Lokomotiven der New York - New Haven-Bahn von 1000 und von 1200 PS, diejenigen der französischen Chemins de fer du Midi von 1500 PS, von Brown Boveri & Co. und anderen Konstrukteuren, die der preussischen Staatsbahnen verschiedener Provenienz von maximal 1500 PS in einem Motor, dann besonders die Ausführungen der Maschinenfabrik Oerlikon, die von Anfang an sich der Entwicklung der Einphasenmaschinen widmete und von den Seebach-Wettinger-Maschinen von 500 PS rasch auf die 2000pferdigen Lötschberg-Maschinen gelangte. Bei allen diesen Lokomotiven handelt es sich um solche, die (zum Teil schon sehr lange) im praktischen Betriebe stehen oder stunden. Ihnen kann heute eine bedeutende Anzahl grösserer Maschinen beigefügt werden, die in Konstruktion sind, z. B. Lötschberg 12 Stück zu 2500 PS, preussische Staatsbahnen mindestens 8 Stück zu 800 bis 1500 PS etc. Es kann daher mit voller Sicherheit gesagt werden: Alle drei Systeme sind imstande, Motoren und Lokomotiven von mehr als genügender Leistung und Zugkraft zu liefern.

2. Die Möglichkeit der Einhaltung des Fahrplans unter allen wirklich vorkommenden Verhältnissen. Dafür erweisen sich die verschiedenen Systeme als nicht völlig gleichwertig.

Der Bahnbetrieb erfordert von diesem Gesichtspunkte aus: a) Einstellbarkeit der Geschwindigkeit innerhalb weiter Grenzen für jede in Betracht kommende Zugkraft;

b) Einhaltung der Fahrzeit innerhalb der vorkommenden Gewichte der Züge und zwar unabhängig von Zugsgewicht und Streckenbelastung; c) die Möglichkeit der Einhaltung der maximal zugelassenen (behördlich erlaubten) Geschwindigkeiten auch auf Steigungen, soweit dies nicht mit Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit der ganzen Anlage (besonders bei Wasserkraftbetrieb) beschränkt werden muss; d) zur Einholung von Verspätungen die ausnahmsweise Möglichkeit, die maximal zugelassenen Geschwindigkeiten auf Steigungen auch da eintreten zu lassen, wo dies mit Rücksicht auf die letzte Bemerkung unter c) sonst nicht ausgeführt würde.

Für die Erfüllung dieser Forderung muss man von der Verwendung von allzu komplizierten Mitteln, die zwar ausführbar sind, aber für den praktischen Bahnbetrieb doch wenig geeignet sein dürften (wie z. B. Umformung auf der Lokomotive für Aenderung der Periodenzahl oder des Stromsystems, oder für Separaterregung, Verwendung von Zusatzgeneratoren auf der Lokomotive u. dgl. mehr), offenbar absehen. Zur Erfüllung der unter a) genannten Forde-

rung bleiben dann folgende ausführbare Mittel:

Für den Gleichstrommotor die Anwendung von zwei oder vier Motoren in Serie-Parallelschaltung, zur Erreichung verschiedener, in *Stufen* voneinander abstehender Geschwindigkeiten, für den Drehstrom beim Einzelmotor zum gleichen Zwecke die Polumschaltung, für mehrere oder *Doppel*motoren auch die Kaskadenschaltung. (Ueberlegung und Erfahrung zeigen dabei die Ueberlegenheit des erstern Mittels gegenüber dem letztern).

Für Gleichstrom- wie Drehstrommotor die Verwendung von Vorschaltwiderständen in einfacher, aber unökonomischer Weise zur Erzielung von zwischen den Grundgeschwin-

digkeiten der Stufen liegenden Geschwindigkeiten.

Für den Einphasen-Kommutatormotor mit Serie-Charakteristik die beliebige Veränderung der Motorenspannung und der Geschwindigkeit mittels Reguliertransformators, der zwar das Fahrzeug beschwert, bei den in Betracht kommenden Kontaktdrahtspannungen aber ohnehin als Fahrzeugtransformer notwendig wird; für die Einphasenmotoren mit Verwendung des Induktionsprinzips (z. B. System Déri-Brown) die Bürstenverdrehung, wobei

nicht unbedingt bei grossen, aber wenigstens bei kleineren Motoren zur Reduktion der Fahrdrahtspannung ebenfalls mit einem Fahrzeugtransformator zu rechnen ist.

Die Einhaltung der Fahrzeit nach Punkt b) ist somit beim Gleichstrommotor und beim Drehstrominduktionsmotor mit Triebfahrzeugen grösserer Leistung, bei denen Serie-Parallelschaltung, bezw. Polumschaltung zur Anwendung kommen kann, durch eine genügende Anzahl möglicher Geschwindigkeitsstufen im wesentlichen in wirtschaftlicher Weise gewährleistet, für kleinere Leistungen (Motorwagenbetrieb) dagegen meist nur mit Hülfe der unökonomischen Widerstandsregulierung möglich, und sie erfordert in jedem Falle, dass auch die grösste Streckenbelastung keinen zu grossen Spannungsabfall in der Kontaktleitung erzeugt. Der Einphasenkommutatormotor dagegen erfüllt die Bedingung b) ökonomisch, und erlaubt, mittels des Reguliertransformators auch einem aussergewöhnlichen Spannungsabfall der Strecke zu begegnen; er kann hierdurch auch die Bedingung c) erfüllen, welcher der Drehstrominduktionsmotor ohne weiteres gerecht wird, während der Gleichstrommotor dies nicht vollständig kann.

Die ausnahmsweise Steigerung der Geschwindigkeit nach d) wäre beim Gleichstrommotor durch Feldschwächung mittels Nebenschliessung in gewissem Grade möglich, ist aber durch das eintretende Sinken der Kontaktdrahtspannung begrenzt; beim Drehstrominduktionsmotor ist sie nur möglich, wenn eine Geschwindigkeitsstufe dafür in Reserve gehalten und für gewöhnlich nicht ausgenützt wird, oder dann auf Gefällen; beim Einphasenkommutatormotor erlaubt entsprechende Anordnung des Reguliertrans-

formators auch diese Massregel sehr gut.

Der Einholung von Verspätungen wird der Bahnbetriebstechniker grosses Gewicht beimessen. Abgesehen von der zumeist nicht möglichen Abkürzung der Haltezeiten kann sie nur mit Steigerung der Geschwindigkeit über die gewöhnlich auf den betreffenden Steigungen angewandte hinaus, d. h. mit grösstmöglicher Ausnützung der zulässigen Maximalgeschwindigkeit auf der ganzen Strecke erreicht werden. Das kann aber nur bei Erfüllung der Forderung c) und d) durch die Motoren ausgeführt werden.

Unsere Schlussfolgerung ist die, dass sämtliche zur Einhaltung des Fahrplans nötigen Bedingungen durch Einphasenkommutatormotoren in vollkommener Weise erfüllt werden, durch Gleichstrom- und Drehstrominduktionsmotoren dagegen nicht ganz, obwohl auch bei diesen für die meisten Fälle praktisches Genügen vorhanden sein kann.

3. Anfahrverhältnisse. Um die verschiedenen Motor-Systeme in bezug auf die Anfahrverhältnisse zu vergleichen, muss das Verhältnis der zum Anfahren erforderlichen Zugkräfte zu den sogenannten "normalen", d. h. den bei der normalen oder der "Stunden"-Leistung zur Fortbewegung nötigen Zugkräfte, festgestellt werden.

Für die Schweizer Bahnen wird die normale Motorzugkraft fast überall für Steigungen zwischen 10 und 20 % (für die Gotthardbahn für grössere) zu bemessen sein. Es sei ferner angenommen, dass bei der zukünftigen elektrischen Traktion der Schweizer Bahnen eine mittlere Beschleunigung erzielt werden sollte von 0,3 m/sec² für Personenzüge, 0,2 m/sec² für Schnellzüge, 0,1 m/sec² für Güterzüge. Diese Beschleunigungen sind zum Teil wesentlich grösser als diejenigen, welche unser bisheriger Dampfbetrieb aufweist, denn nach vorgenommenen Messungen überschritten die bisher angewandten Beschleunigungen niemals 0,15 m/sec² für Personen- und für Schnellzüge, bezw. 0,1 m/sec² für Güterzüge.

Unter diesen Voraussetzungen ergibt die Rechnung, dass die genannten Anfahrbeschleunigungen dann überall erreicht und zumeist wesentlich überschritten werden, wenn die Anfahrzugkraft das Doppelte der normalen ist.

Dies kann mit allen drei Motorsystemen anstandslos erzielt werden, beim Gleichstrommotor mit ungefähr dem 1,7fachen der Normal-Stromstärke, was mit Rücksicht auf Erwärmung wie auf Funkenbildung am Kollektor durchaus zulässig ist. Beim Drehstrommotor ist ungefähr die doppelte Normalstromstärke erforderlich, bei Stufenschaltung für die kleinen Geschwindigkeiten etwas mehr, aber nicht mehr als für die kurze Zeit zulässig. Beim Einphasen-Kommutatormotor ist die Funkenbildung am Kollektor beim Anfahren (wobei dann ebenfalls ungefähr doppelt so viel Strom gebraucht wird als normal) vermeidbar

bei niedriger Periodenzahl und entsprechender Kompensation; die hierin anfänglich bestandene Schwierigkeit ist heute vollkommen gelöst, wie z. B. die 1000pferdigen Motoren der im Betrieb befindlichen Lötschberglokomotive der Maschinenfabrik Oerlikon einwandfrei beweisen.

Mit der Möglichkeit, die doppelte normale Zugkraft als Anfahrzugkraft zu entwickeln, sind allerdings nicht alle wünschenswerten Bedingungen für richtiges Anfahren durch die Motoren erfüllt. Wenn die für das Anfahren aufgenommenen Leistungen nicht allzu hohe Werte erreichen und damit, besonders bei Wasserkraftbetrieb, die Stromlieferung erschweren sollen, so soll nicht mit konstanter Zugkraft beschleunigt, sondern die beschleunigende Zugkraft und die Beschleunigung allmählig vermindert werden, damit ein gewisser Höchstwert der Anfahrleistung nicht überschritten werde. Das ist bei allen Motoren möglich, jedoch, wie die Regulierung der Anfahrzugkraft überhaupt, in verschiedener Weise:

Beim Gleichstrommotor ist ausser der Serie-Parallelschaltung für den Beginn der Beschleunigung die unökonomische Verwendung der Vorschaltwiderstände erforderlich, beim Drehstrominduktionsmotor dasselbe oder eine Regelung der Statorspannung neben der Stufenschaltung; für den Einphasenkollektormotor wird die ökonomische Regulierung durch den Reguliertransformator oder durch Veränderung der Bürstenstellung verwendet. Im ganzen ist die Aufnahme an, die Zuleitungen etc. belastender Stromstärke bei allen drei Motorenarten für das Anlaufen mit der, als erforderlich angenommenen doppelten Normal-Zugkraft ungefähr dieselbe, die Watt-Aufnahme dagegen, welche für die Leistung der Wasserwerke ihre Bedeutung hat, beim Einphasenmotor am kleinsten.

Beim Drehstrom muss wegen des Anfahrens besonders auf nicht zu grossen Spannungsabfall der Leitung gehalten werden.

4. Die Möglichkeit der Mehrfachtraktion. Nicht nur bei Motorwagenbetrieb, sondern auch beim Betrieb mit Lokomotiven wird für einen rationellen Betriebsdienst besonders bei den sehr stark wechselnden Verhältnissen unseres Landes, die Möglichkeit der Mehrfachtraktion verlangt werden. Die Einrichtung einer gemeinsamen Steuerung mehrerer Motoren von zentraler Stelle aus, auch wenn die Motoren in verschiedenen Fahrzeugen sich befinden, bietet heute keine Schwierigkeiten mehr; die indirekten Mehrfachsteuerungen haben sich bewährt und können für alle Systeme in Anwendung kommen; sie gestatten die Verwendung eines einzigen Führers für beliebig viele Triebwagen oder Lokomotiven im Zuge. Sie sind namentlich in allen nordamerikanischen und auch europäischen Stadt- und Vorortbahnen seit Jahren in sehr grosser Zahl in Verwendung und haben sich auch für Fälle schwerster Traktion (z. B. New Yorker Untergrundbahn) glänzend bewährt, neuerdings auch bei Einphasenmotoren (Hamburg-Altona, Central-Illinois etc.). Ausserdem ist aber das richtige Zusammenarbeiten der Motoren selbst nötig. Bei den Seriemotoren, sowohl für Gleichstrom wie für Einphasenwechselstrom, macht das Zusammenarbeiten mehrerer Motoren auf verschiedene Triebachsen, auch in verschiedenen Triebfahrzeugen, keine Schwierigkeit; selbst bei ungleichen Motoren verteilen sich die Leistungen entsprechend der Leistungsfähigkeit.

Es ist dazu nach praktischen Betriebserfahrungen (Montreux-Berner Oberland-Bahn mit Gleichstrom, Spiez-Frutigen mit Einphasenstrom) nicht einmal eine zentrale Steuerstelle, d. h. eine Vielfachsteuerung, nötig, sondern es können voneinander getrennte Triebwagen auch einzeln gesteuert gut zum Zusammenarbeiten gebracht werden durch die Führer der verschiedenen Triebwagen.

Bei den Drehstrom-Induktionsmotoren muss, wenn z. B. durch ungleiche Radbandagen-Abnützungen oder dergleichen den verschiedenen Motoren ungleiche Umdrehungszahlen aufgezwungen werden, Unter-, bezw. Ueberbelastung der so durch Mehrfachtraktion verbundenen Motoren eintreten. Die praktische Erfahrung bei der Burgdorf-Thun-Bahn, sowie mit Lokomotiven der Great Northern Railway scheint jedoch zu zeigen, dass dies wenigstens zu keinen schädlichen Belastungsungleichheiten oder merklichen Nachteilen führt.

Die Mehrfachtraktion kann somit bei allen Systemen als durchführbar bezeichnet werden, immerhin sicherer bei

Einphasenstrom und Gleichstrom als bei Drehstrominduktionsmotoren.

Vergleich der Systeme in Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit.

Ausser mit Bezug auf die Anforderungen, die der Bahnbetrieb als solcher und rein technisch an die Traktionssysteme stellt, sind die verschiedenen Systeme daraufhin zu vergleichen, wie sie die Erfordernisse der Wirtschaftlichkeit befriedigen. Dabei haben wir zunächst die rein technische Wirtschaftlichkeit im Auge, die sich etwa durch folgende Punkte ausdrückt:

I. Totgewicht der Triebvorrichtungen selbst;

2. Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad der Systeme;

3. Möglichkeit des Ausgleichs der Schwankungen im Leistungsbedarf mit Rücksicht auf die Kraftquellen;

4. Verhältnis der Energierückgewinnung.

1. Das Totgewicht der Motoren, der ganzen motorischen Ausrüstungen und Triebfahrzeuge wurde bisher meistens auf die Einheit der Leistung in Pferdestärken bezogen. Die zu erzielenden Geschwindigkeiten beeinflussen aber solche Ziffern bedeutend; um dies zu berücksichtigen, bezieht man ebenso gut oder besser das Gewicht auf das Drehmoment der Triebmittel in mkg, m. a. W. auf die Zugkraft, wie bisher bei den Dampflokomotiven üblich. Beide Betrachtungsarten liefern übrigens qualitativ dasselbe Resultat der Vergleichungen: Die Eigenart der Einphasenkollektormotoren und die Notwendigkeit, bei diesem Systeme Transformatoren auf dem Fahrzeug zu verwenden (womit allerdings gleichzeitig für die beste Geschwindigkeitsregulierung gesorgt ist), lässt schon theoretisch übersehen, dass das spezifische Triebmittelgewicht, von beiden genannten Gesichtspunkten aus betrachtet, beim Einphasensystem grösser sein muss als bei den anderen.

Ebenso ist theoretisch zu erwarten, dass Gleichstrom und Drehstrom sich in diesem Punkte ungefähr gleich stellen. Dabei treten allerdings bei den neueren Ausführungen, wenn man solche für analoge Verhältnisse vergleicht, nur noch unwesentliche Unterschiede auf. Innerhalb eines und desselben Systems finden sich dagegen relativ wesentliche Unterschiede, die ausser durch allgemeine konstruktive Fortschritte besonders aus der Grössenordnung der Motoren, bezw. Ausrüstungen, sowie auch aus der Anwendung oder Nichtanwendung der künstlichen Kühlung entstehen, mittels welcher die Leistung pro Gewichtseinheit sich bei allen drei Systemen wesentlich erhöhen lässt.

Dass dagegen eine ganz bedeutende Verminderung des toten Gewichts gegenüber der Dampftraktion heute bereits erreicht ist, zeigt jeder Vergleich mit modernen Dampflokomotiven.

Zuverlässige Auskunft geben uns die bisherigen Ausführungen elektrischer Triebmittel. Zusammenstellungen solcher haben gezeigt, dass man für moderne Ausführungen und sorgfältige Projekte ziemlich sicher mit den nachstehenden Gewichten der Lokomotiven, bezw. der gesamten elektrischen Ausrüstung von Motorwagen bei Anwendung der angenommenen und beschriebenen Reguliermittel für die angeführten drei Systeme rechnen darf:

Spezifisches Gewicht pro PS Leistung bezw. mkg	Bei Anwendung von			
Drehmoment	Gleichstrom	Drehstrom	Einphasenstrom	
Von elektrischen Lokomotiven für ca. 40—60 km/Std Von elektrischen Motorwagen- ausrüstungen für ca. 40 km/Std.	11 kg/m kg 28-30 kg/PS	10-12 kg/m kg 30-35 kg/PS	11-13 kg/m kg 30-35 kg/PS	

Mit Bezug auf möglichst geringes, in den Triebmitteln mitzuführendes totes Gewicht stellen sich alle drei anwendbaren Systeme ganz unverhältnismässig günstiger als die Dampftraktion. Unter sich sind in diesem Punkte Drehstrom und Gleichstrom für Lokomotiven wesentlich gleichwertig, Einphasenstrom um vielleicht 10 bis 20% ungünstiger. Für Motorwagenbetrieb verhalten sich Drehstrom und Einphasenbetrieb ungefähr gleich, Gleichstrom um etwa 5% günstiger. Der prozentuale Gewichtsunterschied der elektrischen Triebmittel macht nun aber überhaupt nur

einen sehr geringen Unterschied im Gesamtgewicht der beförderten Züge aus; ausserdem entsprechen dem etwas grösseren Gewicht beim Einphasensystem bessere Regulierungsverhältnisse. Diese kleinen *Unterschiede* des Totgewichtes haben daher auf das Ganze beinahe gar keinen Einfluss, wohl aber die bedeutende Verminderung gegenüber den Dampftriebmitteln, wie sich später ergeben wird.

2. Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad der Systeme. Durchaus vom System abhängig und nur bis zu einer bestimmten Grenze verbesserungsfähig ist von den beim elektrischen Bahnbetrieb zur Geltung kommenden Wirkungsgraden wesentlich derjenige der Motoren, in geringerem Masse derjenige der Transformatoren-, Generatoren- und Umformeranlagen, denn bei diesen kann durch entsprechende Disposition bei einzelnen Systemen die Verwendung grösserer Einheiten in geringerer Zahl ermöglicht und dadurch der Wirkungsgrad dieser Anlagen sehr verbessert werden. Für die Leitungen hat man es technisch in der Hand, den Wirkungsgrad beliebig hoch zu machen. Der Wirkungsgrad der Leitungen und des Gesamtsystems bildet daher nur im Zusammenhang mit den Kosten für Betrieb, Unterhalt und Verzinsung ein Kriterium für den Vergleich der Systeme. Dies ist bei Vergleichung der Wirkungsgrade, die an sich demnach keine entscheidende Bedeutung haben, wohl zu beachten.

Die Wirkungsgrade der Motoren variieren für einen und denselben Motor sehr bedeutend mit der Benützungsart, den momentanen Betriebsverhältnissen, während sie zwischen Motoren verschiedener Stromart bei gleicher Normalleistung wenig voneinander abweichen. Die Untersuchung zahlreicher neuerer, ausgeführter Motoren ergibt, dass der Wirkungsgrad von Einphasenmotoren gleicher Verhältnisse bei Normalleistung beinahe derselbe oder höchstens einige Prozente kleiner ist als der von Drehstrom-Induktions- und Gleichstrom-Reihenschluss-Motoren.

Vergleichungen von Wirkungsgradkurven grösserer Motoren, wie sie für Normalbahnlokomotiven zur Verwendung kommen, zeigen, dass für solche Gleichstrom- und Drehstrommotoren moderner Art mit Wirkungsgraden von 0,9 bis 0,93 bei Vollbelastung gerechnet werden kann, und

für entsprechende Einphasenmotoren höchstens 3 bis 4%

weniger erzielt werden.

Bei allen Wechselstromsystemen tritt zwischen Strom und Spannung Phasenverschiebung ein, so dass bei gleicher Leistung und Spannung mehr Strom zuzuführen ist als bei Gleichstrom, was ein gewisser Nachteil für die Zuleitungen und Stromquellen ist, die deshalb grösser zu bemessen sind. Der "Leistungsfaktor", der die Verminderung des effektiven Stromwerts ausdrückt, ist nun beim Einphasenmotor, wenigstens beim Reihenmotor, immerhin grösser als bei den andern Motoren für Dreh- und Wechsel strom. Da indessen bei allen Wechselstromsystemen, besonders aber beim Einphasenstrom, viel grössere Fahrdrahtspannungen und damit überhaupt geringere Stromstärken zur Verwendung kommen können als bei Gleichstrom, so verliert der Umstand des geringen Leistungsfaktors seine Bedeutung für die Leitungen vollständig, zum mindesten beim Ein-

phasenstrom.

Der Wirkungsgrad der Motoren mit Getriebe, wie er im vorigen behandelt, fällt mit dem Wirkungsgrad des Triebmittels samt Reguliervorrichtungen zusammen, wenn es sich um Systeme handelt, bei denen die Geschwindigkeitsregelung ohne irgendwelche zusätzliche Verluste in Regulierorganen erreicht ist. Wie früher gezeigt, ist bei Gleichstrom diese Geschwindigkeitsregelung beim Vorhandensein von 2 oder 4 Motoren im Zuge durch die Serieparallelschaltung möglich, beim Drehstrom durch die Polumschaltung, beim Einphasenstrom durch den Reguliertransformer beim Seriemotor, und durch Bürstenverschiebung beim Déri-Motor. Bei Gleich- und Drehstrom wird dadurch nur eine Reglierung in einigen Stufen erzielt. Daneben wird nun aber tatsächlich unter Umständen auch in der Fahrt und während längerer Zeit die Verwendung von Widerständen zur Erzielung zwischenliegender Geschwindigkeiten bei den Gleichstrommotoren und den Drehstrominduktionsmotoren nicht vermieden werden können, wobei dann bedeutende Verluste in den Widerständen hinzukommen. Dann sinkt der Gesamtwirkungsgrad samt Reguliervorrichtungen wesentlich, und so verschwindet der wegen besserem Wirkungsgrad und höherem Leistungsfaktor der Motoren für sich allein beim Gleichstromsystem gegenüber dem Wechselstromsystem scheinbar

vorhandene Vorzug, und es kommt hierin auch der Drehstrom in Nachteil gegenüber dem Einphasenstrom. Bei den neueren Drehstromausführungen für grosse Motoren, den Lokomotiven des Simplon z. B.; kommt man allerdings mit der Polumschaltung allein, ohne grosse zusätzliche Rotorwiderstände, aus, und für derartige Verhältnisse würde daher der erwähnte Nachteil beim Drehstrom nicht auftreten.

Untersucht man dieselben Verhältnisse beim Anfahren, die freilich wegen ihrer kurzen Dauer den Wirkungsgrad des Systems, bezogen auf längere Zeiten, wenig merklich beeinflussen, so zeigt sich der Unterschied der drei Systeme analog, nur in verstärktem Masse.

Praktische Messungen über den Wirkungsgrad der ganzen Triebfahrzeuge samt Reguliermechanismen oder den Wirkungsgrad ganzer Züge müssten diese theoretischen Erwägungen bestätigen können. Solche Ermittlungen allein können die in Wirklichkeit vorkommenden mittleren Belastungen der Motoren und Benützungsgrade der Reguliervorrichtungen einwandfrei zur Geltung bringen. Die zahlenmässige Würdigung solcher Messungen ist aber ausserordentlich schwierig. Denn es kommen dabei die besonderen Betriebs- und Profilverhältnisse der betreffenden Bahn als ganz wesentlich beeinflussende Faktoren zur Wirkung; für einwandsfreie Vergleichsresultate müsste man ein und dieselbe Bahn unter den gleichen Verhältnissen nacheinander mit den verschiedenen Systemen betreiben und dabei Messungen anstellen können, was praktisch unmöglich ist.

Die Untersuchungen der Resultate von etwa 20 in- und ausländischen bestehenden elektrischen Bahnen der drei Systeme, worunter nebst andern die Gleichstrombahnen Freiburg-Murten-Ins, Montreux-Berner Oberland, Mailand-Varese, die Drehstrombahnen Burgdorf-Thun, Engelberg und Veltlin, und die Einphasenbahnen Seebach-Wettingen und Maggiatal, zeigen immerhin, dass die vorstehenden Erwägungen über den Wirkungsgrad der ganzen Triebmittel und Züge richtig sind und dass etwa folgende mittlere Wirkungsgrade der Züge für neuere Ausführungen angenommen werden können bei Verwendung von

Gleichstrom:

Drehstrom: 0,65—0,70

Einphasenstrom:

Diese Zahlen gelten ohne eine allfällige Rückgewinnung von Energie auf Gefällen, von welcher später die Rede sein wird.

Besondere Versuche über die Verluste in Regulierwiderständen ergaben bei der Gleichstrombahn Freiburg-Murten für volle Hin- und Herfahrt eines Zuges als Betrag dieser Verluste zirka 13%, bei der Burgdorf-Thun-Bahn mit Drehstrominduktionsmotoren ohne Polumschaltung zirka 14% der totalen vom Zuge aufgenommenen Energie. Das zeigt zum mindesten, dass ein System, das solche Widerstände vermeiden kann, einen wesentlichen Vorteil besitzt.

Der Wirkungsgrad der Kontaktleitungen lässt sich unter Kostenaufwand beliebig hoch gestalten, also nach Wirtschaftlichkeit regeln. Dabei sei nochmals erinnert, dass der Spannungsverlust für Gleichstrom und namentlich für Drehstrominduktionsmotoren innert engeren Grenzen als bei Einphasenstrom zu halten ist, so lange hier, wie es immer der Fall sein wird, ein Stufentransformator die Spannungsregelung gestattet. Für die Fernleitungen zu den Speisepunkten oder Umformerwerken verhalten sich die Wirkungsgrade bei allen drei Systemen gleich.

Die wichtigste Rolle bei den Wirkungsgraden spielen die Einrichtungen zur Umformung des Stromes im weiteren Sinne des Wortes. Sie bestehen beim Gleichstromsystem aus Werken mit rotierendenUmformern von hochgespanntem Drehstrom auf Gleichstrom, mit oder ohne Pufferbatterien. Erfahrungen zeigen, dass deren Jahres-Wirkungsgrad je nach den Verhältnissen zwischen etwa 0,70 und 0,90 schwankt und dass die durch Pufferbatterien erzielte Verbesserung des mittleren Wirkungsgrades der Maschinengruppen im allgemeinen kompensiert wird durch die Verluste in den Batterien selbst. Die Vorteile dieser "Pufferung" liegen mehr an anderem Orte, wovon später gesprochen wird.

Bei Drehstrom und Einphasenstrom sind, von allfälliger Pufferung abgesehen, die Umformeranlagen lediglich Transformerstationen, in denen nur die Spannung verändert wird. Die Transformatoren haben mit der Leistung veränderliche, im Mittel daher geringe Verluste in den Kupferbewicklungen, und von der Belastung unabhängige, konstante Verluste im Eisen. Der Wirkungsgrad von Trans-

formatoren in der bei bisherigen älteren elektrischen Bahnen zur Verwendung kommenden Art und Grösse lag bei voller Leistung etwa zwischen 88 und 95%, aber der "Jahreswirkungsgrad", das Verhältnis der im ganzen Jahre erhaltenen nützlichen zur hineingesteckten Energie, war dennoch sehr schlecht, weil der Verlust im Eisen das ganze Jahr hindurch in gleicher Höhe entsteht. Nach Messungen betrug z. B. der Jahreswirkungsgrad der Transformatorenstationen bei den Drehstrombahnen: Burgdorf-Thun nur 60, Veltlinbahn gar nur 45%. Heute stellen sich diese Verhältnisse aus zwei Gründen wesentlich besser: Erstens kommen seit einigen Jahren die legierten Eisenbleche zur Verwendung, wodurch die Verluste im Eisen auf rund die Hälfte herabgesetzt wurden. Zweitens bewirkt die Anwendbarkeit höherer Spannungen indirekt eine gewaltige Verbesserung: Je grösser die Fahrdrahtspannung, desto weiter können die Transformatorenstationen voneinander entfernt werden. Sie umfassen dadurch ein grösseres Gebiet, für welches die Maximalleistung, für die sie ausreichen müssen, viel näher der mittleren Leistung liegt als bei einem kleineren Gebiete. Die gesamte aufzustellende Transformatorenleistung wird dabei geringer, und damit auch die Verluste im Eisen. Es kommen so aber auch grössere Transformatoreneinheiten zur Aufstellung, die an sich schon wieder weniger Verluste haben als die kleineren.

Damit ist gleichzeitig klar, dass ein System, das relativ grössere Fahrdrahtspannung anwenden kann, wesentlich weniger Energieverlust in den Transformatorenstationen ergibt als ein solches, das auf kleinere Fahrdrahtspannung beschränkt ist, Einphasenstrom also hierin im Vorteil ist gegenüber dem Drehstrom.

Berechnungen und bisherige Erfahrungen führen so zum Ergebnis, dass in mittleren Verhältnissen ungefähr folgende Zahlen angenommen werden können als

Wirkungsgrade der drei Systeme

bezogen auf die Tages- und Jahres-Energie:

Gleich- strom	Dreh- strom	Einphasen- strom
Für die Züge (Fahrzeuge) 0,70-0,80	0,65-0,75	0,68-0,75
Für Fahrleitung und Schienen . 0,94-0,98	0,94-0,98	0,94-0,98
Für Umformung in Maschinen		
(eventuell m. Transformation) 0,70-0,90		
Für Transformierung:		
(in Transformern alter Bauart) —	(0,70-0,80)	(0,80-0,90)
(in neuartigen Transformern) —	0,80-0,90	0,90-0,95
Für die Hochspannungs-Über-		
tragungsleitungen 0,90-0,95	0,90-0,95	0,90-0,98
Für das ganze System: von den		
Ausführungen des Stroms aus		
den Kraftwerken bis an den		
Triebradumfang 0,42-0,67	0,44-0,63	0,53-0,63

Diese Zahlen zeigen, dass die Unterschiede im Wirkungsgrad der Systeme im Mittel nicht sehr bedeutend sind, die Werte innerhalb eines Systems je nach den Verhältnissen dagegen stark schwanken. Verglichen mit Wechselstromsystemen mit älteren Transformatoren war eine entschiedene Ueberlegenheit des Gleichstroms vorhanden, mit den Transformatoren mit legierten Blechen ist sie beinahe verschwunden, kann allerdings in Fällen sehr guter Ausnützung der Umformerwerke (deren Wirkungsgrad in den weitesten Grenzen schwankt) noch vorhanden sein.

Sucht man den mittleren Jahres-Wirkungsgrad von den Turbinenwellen aus bis zum Radumjange, so sind obige Zahlen noch mit dem Jahreswirkungsgrad der Generatoren und Auftransformatoren zu multiplizieren. Dieser fällt beim Drehstromsystem wegen grösserer Maximalleistung für dieselbe Jahresarbeit etwas schlechter aus als bei Einphasen- und Gleichstrom, so dass schliesslich der Drehstrom einen geringern Gesamtwirkungsgrad als die andern Systeme zeitigt, wie besonders die von der Studienkommission ausgeführten Projekte dartaten. Für sich allein entscheidende Bedeutung haben diese Unterschiede nicht.

3. Die Möglichkeit des Ausgleichs der Schwankungen im Leistungsbedarf. Dieser Punkt ist für die Anordnung der Kraftwerke sehr wichtig und erlangt speziell für unsere Elektrifizierung mit Betrieb durch die einheimischen Wasserkräfte die allergrösste Bedeutung. Den Idealzustand einer Fahrordnung für den elektrischen Betrieb, bei dem die Transportarbeit über die ganze Zeit gleichmässig mit vielen gleichen Zügen verteilt würde, und bei welchem nur noch das Längenprofil Anlass zu wesentlichen Schwankungen des Leistungsbedarfs geben würde, wird keine Bahn voll verwirklichen können, wenn auch die allmählige Annäherung an diesen, eigentlich auch den Anforderungen des Verkehrs günstigen Zustand, in späterer Zukunft noch grosse Vorteile bringen kann. Vorläufig und wohl noch für lange kommt auch bei uns auf den Hauptbahnen der starke Einfluss zeitlich zusammengedrängter, schwerer und rasch fahrender Schnellzüge, die zeitweise besonders grosse Leistungen erfordern, erschwerend zur Geltung. Wie schon auf Seite 18 erwähnt, wird je nach Ausdehnung, Verkehrsmenge und Längenprofil einer Strecke oder eines Netzes das Verhältnis der maximalen zur mittleren erforderlichen Leistung in sehr weiten Grenzen schwanken, und dasjenige System wird für uns einen besonders grossen Vorteil aufweisen, das technisch und namentlich wirtschaftlich diese Schwankungen am leichtesten, mit geringster Erschwerung für die Wasserkraftwerke, aufnehmen kann.

Untersuchungen hierüber haben zunächst die genannte Verhältniszahl als eine, die vorkommenden Leistungsschwankungen charakterisierende und für die Leistungsfähigkeit der Kraft-Produktions- und Verteilungsanlagen massgebende Grösse zu ermitteln. Dass dieses Verhältnis mit wachsender Anzahl gleichzeitig ins Spiel tretender Züge, also mit zunehmender Grösse des betrachteten Bahnnetzes abnimmt, ist klar. Hier kommt die Grösse desselben einerseits für das Gebiet einer Speisestation, anderseits für das Gesamtgebiet das von einem Kraftwerke aus gespeist wird, in Frage. Es liegen für diese Zahl wenige praktische Erfahrungen von Vollbahnen vor; sie lässt sich aber, wie schon auf Seite 18 angedeutet, und bei den Gotthardprojekten, Seite 81, näher angegeben, errechnen. Die Resultate umfangreicher solcher Rechnungen der Studienkommission, sowie einige praktische Messungsergebnisse zeigt die nachfolgende Tabelle.

Verhältnis zwischen der beanspruchten maximalen Leistung und der mittleren Leistung.

A.	Nach Berechnungen der Studienkommission, die mitt-
	lere Leistung auf durchgehenden (24stündigen) Betrieb
	bezogen, und die Leistungen gerechnet am Radumfang:

a)	für den Dampfbetrieb wie 1904	4 für Netze mit einer
	Verkehrsarbeit, bezogen auf das	Gesamtzugsgewicht,
	von Brutto-Tonnenkilometern	per Tag:

	500 000	bis	I	000	000				3,8	bis	6,8
I	000 000	,,	2	000	000				3,5	,,	5,2
2	000 000	,,		000							
-	000 000			000							
	000 000										
IO	000 000	,,	30	000	000			1.0		3,15	

b) Für elektrischen Zukunftsbetrieb für das Netz

Gotthardbahn südlich des Gotthard	
(ca. 1,91 Millionen tkm per Tag)	3,3
Gotthardbahn nördlich des Gotthard	
(ca. 3,46 Millionen tkm per Tag)	4,4
Gotthardbahn insgesamt	
(ca. 5,37 Millionen tkm per Tag)	3,3
S. B. B. II	
(ca. 8,02 Millionen tkm per Tag)	3,1

B. Nach *Beobachtungen* an bestehenden elektrischen Bahnen, die mittlere Leistung auf die wirkliche Betriebszeit (18—20 Std. per Tag) bezogen, und die Leistungen gerechnet *ab Kraftwerk*:

cerrice do in different.				
Burgdorf-Thun				
(ca. 70 000	tkm	per	Tag)	3,8
Veltlinbahn				
(ca. 264 000	tkm	per	Tag)	2,9
Le Fayet-Chamonix				
(ca. 210 000	tkm	per	Tag)	3.6

Haben die Kraftwerke die erforderliche Maximalleistung direkt zu liefern, so muss ihre Leistungsfähigkeit

also für unsere Verhältnisse etwa das dreieinhalbfache der mittleren Leistung sein und ihre Maschinen werden nur zu etwa ein Drittel ausgenützt. Dieser bei Bahnkraftwerken auftretende Umstand hat von jeher nach Anordnungen suchen lassen, bei denen in Momenten geringen Leistungsbedarfs die aus gleichmässig arbeitender Kraftquelle überschüssige Energie in der Nähe des Bahnnetzes aufgespeichert und in den Augenblicken grossen Bedarfs zur Erhöhung der Leistung der Quelle verwendet werden kann, also sogenannte Pufferungsanlagen. Als wirklich verwendbare solche Einrichtungen kommen elektrische Akkumulatoren und hydraulische Akkumulationen (Wasserreservoirs mit Pumpen- und Turbinenanlagen) in Betracht. Da extreme Schwankungen der erforderlichen Leistungen sehr rasch, innerhalb Minuten, gelegentlich innert Sekunden vor sich gehen, müssen bei allen diesen Anlagen. wenigstens zur Hauptbetriebszeit, stets sämtliche Einrichtungen für die maximale Leistung in Betrieb sein, wodurch grosse Energieverluste entstehen.

Im übrigen fallen diese Pufferanlagen bei den verschie-

denen Stromsystemen nicht gleich aus:

Akkumulatoren zur Pufferung können bei Gleichstrom ohne weiteres mit den nötigen Umformerwerken vom Uebertragungs-Drehstrom auf den Fahrdraht-Gleichstrom verbunden werden, bei Einphasen- und Drehstrom erfordern sie besondere Pufferwerke mit rotierenden, zweimal die Stromart umformenden Maschinen und ständiger Ueberwachung. Sie können aber bei den Wechselstromsystemen wegen der höheren Fahrdrahtspannung wieder viel weiter voneinander entfernt werden, was ihre Anzahl gegenüber dem Gleichstromsystem vermindert und den scheinbaren Vorteil des letzteren aufhebt. Vergleichsprojekte für typische Fälle dienten der Studienkommission zur Ermittlung der Energieverluste und der hierdurch. sowie durch die Kosten der Pufferwerke entstehenden Verteuerung der Energie. Das Ergebnis hängt natürlich von der grösseren oder geringeren Ausnützung dieser Pufferwerke, d. h. von der Verkehrsdichte ab. In relativen Werten ergab sich nachfolgendes Resultat, wobei die eingeklammerten Zahlen sich auf einen ausserordentlich starken die anderen auf einen mittleren Verkehr beziehen:

Verluste und Kostenvermehrung durch Pufferung.

	Gleichstrom von 3 000 Volt und Einzel-	von 5000Volt und Zentral- pufferung ohne Perioden-	von Einphasen- strom von 15 000 Volt und Zentral-
sind für jede an die Kon- taktleitung abzugebende Kilowattstunde von der Hochspannungskraft- verteilung zu beziehen.		Umformung .	pufferung
Kilowattstunden Die Kosten der so zu beziehenden Energie sind demnach vergleichs-	I,54 (I,40)	1,65 (1,55)	1,65 (1,50)
weise in $0/0$ Die Kosten der Umformung werden verhältnis-	100 (100)	107 (111)	107 (107)
mässig in $0/0$ und die Kosten der abgegebenen Kilowattstunden daher verhältnismässig	136 (64)	93 (50)	68 (43)
in $0/0$	236 (164)	200 (161)	175 (150)

Das Einphasensystem ergibt sich hierdurch entschieden als das in Beziehung auf Pufferung weitaus vorteilhafteste, das Gleichstromsystem als das ungünstigste.

Analoge Vergleichsprojekte wurden für die Wasserpufferung gemacht; bei dieser zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede zwischen den drei Stromsystemen.

Die bedeutenden Anlagekosten, welche sich bei den Studien für die Pufferungsanlagen jeder Art ergaben, besonders aber die sehr erhebliche daherige Vermehrung der Betriebskosten und die grossen Energieverluste drängten zu einer weiteren, genauen Untersuchung der von vornherein aufgeworfenen Frage, ob es nicht doch vorteilhafter

¹) Die sogen. Einzelpufferung an allen Speisestellen hatte sich durch eine Voruntersuchung bei Gleichstrom als günstiger als eine, für mehrere Speisepunkte gemeinsame (zentrale) Pufferung erwiesen.

sei, die Kraftwerke für die direkte Lieferung der Maximalleistungen einzurichten und auf jegliche Pufferanlage zu verzichten. Es ist dies zwar keine Frage des Vergleichs zwischen den elektrischen Systemen, da sie für alle gleich besteht, aber dennoch eine Systemfrage in dem Sinne, als ihre Beantwortung für die allgemeine Anordnung der Anlagen für die Elektrifikation von einschneidender Bedeutung ist.

Die Anordnung der direkten Lieferung der erforderlichen Leistungsmaxima ab Kraftwerken führt nicht nur zu einer Vergrösserung der maximalen Leistungsfähigkeit der Kraftwerke, die am besten bei Hochdruckwerken mit bequemer Wasserakkumulierung ausführbar ist, sondern sie führt auch zu bedeutenden Verstärkungen der Uebertragungsleitungen nach den Speisestationen. Für das Resultat ist daher auch die Länge dieser Leitungen von Einfluss, wie die nachstehende Zusammenstellung relativer Resultate über typische Fälle zeigt, die für Hochdruckwasserwerke mit etwelcher Speicherfähigkeit unter sorgfältiger Aufstellung von Vergleichsprojekten erhalten wurden:

Verhältnis der jährlichen Totalausgaben

(für Bedienung, Unterhalt, Verzinsung und Amortisation von Kraftwerk und eventuellen Akkumulatoren- und Pufferanlagen).

	nah Schw dur		mit Kr n lei Bat	stem konstante aftwerk- stung und teriepuffe g im Net:	1
für den Fall, dass:		70	ie:		
keine Fernleitung nötig		100		182	
eine Fernleitung ohne Umformung					
auf 50 km nötig		100		142	
do. » 100 ° »		100	Ċ.	132	
do. » 150 » »		100	:	124	
eine Fernleitung mit Umformung an de	er				
Verbrauchsstelle					
in 50 km Entfernung nötig .		100	:	180	
do. » 100 » » » .		100	:	144	
do. » 150 » » » .		100	:	134	

Obwohl auch diese Zahlen stark von den für das Wasserwerk angenommenen Verhältnissen abhängen, so drücken sie doch das Resultat so scharf aus, dass es qualitativ für die meisten Fälle gültig sein wird. Wo es bei Hochdruck-Wasserkraftwerken möglich ist, die Schwankungen des Leistungsbedarfs direkt durch das Kraftwerk zu übernehmen, anstatt besondere Pufferungsanlagen im Konsumgebiet zu erstellen, ist also das erstere Verfahren, zum Teil weitaus, wirtschaftlicher.

Dieses Resultat wirkt dahin, dass dasjenige System wirtschaftlicher wird, welches an sich geringere Schwankungen der maximalen Leistung hervorruft. In einem Lande, bei welchem bedeutende Steigungen vorkommen, verursachen die letztern von den grössten Leistungsschwankungen. Diese sind bei Anwendung von Motoren mit Serieeigenschaft natürlich im Verhältnis der Geschwindigkeitsabnahme auf Steigungen geringer als bei Motoren mit wesentlich konstanter Geschwindigkeit, wie den Drehstrominduktionsmotoren.

Bei diesen setzt eine ähnliche Begrenzung dieser Schwankungen zum mindesten die Stufenschaltung voraus, die für grosse Lokomotiven ohne weiteres ausführbar ist, für Motorwagenbetrieb aber Schwierigkeiten bietet. Es ergibt sich somit für uns, d. h. mit Rücksicht auf wirtschaftliche Ausnützung der Wasserkräfte, ein Vorzug der Motorensysteme mit Serieeigenschaft, insbesondere des Einphasensystems gegenüber dem Drehstromsystem.

4. Die Energie-Rückgewinnung. Theoretisch kann mit der Rückgewinnung der lebendigen Kraft als Bremsarbeit und der Hebearbeit durch die Fahrt auf Gefällen gerechnet werden. Wir sprechen dabei nicht davon, dass auf Gefällen der Zug ganz oder teilweise durch seine Gewichtskomponente getrieben wird, also abwärts keine oder weniger Leistung von aussen zuzuführen ist: Diese Art Wiedergewinnung eines Teils der für die Hebung aufgewendeten Arbeit macht sich natürlich auch bei der elektrischen Traktion ganz von selbst. Es kann aber bei der letztern auch der Überschuss der Gewichtskomponente über den Rollwiderstand auf grösseren Gefällen ausgenützt und die so elektromechanisch gewonnene Energie der Fahrleitung

zugeführt werden. Es scheint zunächst, als ob diese Art Rückgewinnung (sogen. Rekuperation) namentlich in einem bergigen Lande, wie die Schweiz es ist, wo so oft auf erheblichen Steigungen und Gefällen gefahren wird, von grosser Bedeutung sei.

Die Rekuperation erfordert das Arbeiten der Motoren als Generatoren, wozu bei allen Systemen Erhöhung der elektromotorischen Kraft der Motoren über die Fahrdrahtspannung nötig ist. Verzichten wir, wie früher (Seite 30) begründet, auf Anordnungen mit zusätzlichen Generatoren, Separaterregern und dergleichen, als für den Betrieb zu kompliziert, so geht dem Gleichstromseriemotor die praktische Eignung, als Generator wirken zu können, ab. Den Gleichstromnebenschlussmotor aber werden wir für die in Betracht kommenden Bahnverhältnisse aus andern bekannten Gründen im allgemeinen nicht verwenden. Der Drehstrominduktionsmotor ist dagegen ohne weiteres so benutzbar, der Einphasenmotor unter Spannungszusatz mittels des sowieso vorhandenen Fahrzeugtransformators und gewisser zusätzlicher Hülfsmittel.

Dies genügt aber nicht für die wirkliche Durchführung der Rekuperation. Die Rückgewinnung aus Bremsarbeit scheitert in der praktischen Ausführung meistens schon daran, dass dazu die Maschinen als Generatoren grösser bemessen sein müssten denn als Motoren. Die Bremsungen liefern aber auch im Verhältnis zur Gesamtarbeit, wie jede rechnerische Untersuchung zeigt, so wenig Energie, dass auf deren Benützung kein Gewicht zu legen ist.

Die Rückgewinnung der bei Zugsbewegung auf Gefällen frei werdenden Energie ist eher möglich, weil die dabei frei werdende Leistung nicht grösser ist als die für die Bergfahrt aufzuwendende.

Die Rückgewinnung der Gefällsarbeit ist hauptsächlich bei eigentlichen Bergbahnen zur Anwendung gekommen, wo sie bei grosser Steigung die Reibungsarbeit stark übersteigt und die Konstanz der Steigung einfache Verhältnisse schafft. So bei der Barmer Bergbahn (185 %), Gleichstrom-Nebenschluss), der Filderbahn bei Stuttgart (172 %), Gleichstrom-Nebenschluss), Gornergratbahn und Engelbergbahn-Steilrampe (200, bezw. 250 %), Drehstrom-In-

duktionsmotoren). Ausser bei Bergbahnen wird Rekuperation angewandt in der Schweiz lediglich bei der Burgdorf-Thun-Bahn und in Italien bei der Veltlinbahn, und neuerdings auch beim Giovi-Tunnel, je mit Drehstrom-Induktionsmotoren.

Von der Burgdorf-Thun-Bahn und den ital. Bahnen liegen Messresultate vor. Eine vollständige Hin- und Rückfahrt Burgdorf-Thun ergab mit Motorwagen bei einer Zufuhr von 3102,5 eine Rückgabe von 630,4 Wattstunden pro Tonne, oder 20,3% Rückgewinn; mit der Lokomotive Nr. 2 ergab sich ebenso: Zufuhr 1950, Rückgabe 483 Wattstunden pro Tonne, oder 23% Rückgewinn, immer von der dem Zuge zugeführten Energie. Der Rückgewinn entspricht ca. 63, bezw. 69% der theoretisch am Radumfang auftretenden Arbeits-Rückgabe. Für die Veltlinbahn ergaben sich aus Zahlen der staatlichen Kommission auf Gefällen von 12,4 bis 20 % bei Geschwindigkeiten von 62, bezw. 33 km/Std. 17,5 bis 45,5 Wattstunden pro Tonnenkilometer als rückgewinnbar, was einem Wirkungsgrad der Fahrzeuge für die Rekuperation von 63 bis 67% entspricht.

Diese Resultate beziehen sich auf die relativ starken Steigungen von 12,4 bis 25 $^0/_{00}$. Auf geringerer Steigung wird wegen geringerer Belastung der Wirkungsgrad der Motoren und Fahrzeuge für die Rückgewinnung wesentlich kleiner; man kann daher z. B. bei 15 $^0/_{00}$ nicht mehr als 50%, für grössere Steigungen etwa 65% für diesen Wirkungsgrad annehmen.

Fasst man nur Bahnen mit grösseren Steigungen ins Auge, so könnten also vielleicht 20 bis 25% der den Zügen zugeführten Energie durch die Rückgewinnung auf Gefällen erspart werden. Die Verhältnisse unserer Schweizerbahnen sind aber, wegen geringerer mittlerer Steigungen, für die Rückgewinnung wesentlich ungünstiger. Es kommt aber ausserdem nicht auf die Ersparnis in der den Zügen zugeführten Energie, sondern auf diejenige der ab Kraftwerk abgegebenen Energie an. Hier ist der Einfluss der Rückgewinnung wegen der mehr oder weniger konstanten Zwischenverluste viel kleiner:

Bei jenen Versuchen bei der Burgdorf-Thun-Bahn zeigten die Messungen:

An der Radachse waren theoretisch zu

leisten 2050 KW/Std.; letzteres sind also 41,5% der Kanderenergie *ohne* Rückge-2050 KW/Std.; winnung und 37,4% der Kanderenergie mit Rückgewinnung gerechnet, d. h. ein Unterschied von nur 4%, bei erheblichen Steigungen. Allerdings sind bei der Burgdorf-Thun-Bahn die ständigen Verluste der Fahrdraht-Transformatoren, welche hauptsächlich obige Verschiebung ergeben, verhältnismässig noch viel grösser als dies bei modernen Ausführungen der Fall sein wird, allein eine für das Ganze sehr wesentliche Veränderung dieser Verhältnisse können auch moderne Anlagen nicht erzielen. Zwar bringt die heute mögliche Verwendung höherer Fahrdrahtspannung, wie auf Seite 25 ff. gezeigt, eine wesentliche Verminderung der konstanten Transformatorenverluste, wodurch die Ersparnis durch Rekuperation ab Kraftwerk wieder prozentual etwas grösser werden könnte als im vorigen Beispiel. Da der Einphasenstrom wesentlich höhere Fahrdrahtspannung gestattet als der Drehstrom, würde diese Verbesserung dann einen Vorzug des Einphasensystems gegenüber dem Drehstrom bedeuten, bei dem die Rekuperation im übrigen einfacher möglich ist, und neuerdings in der modernsten Drehstromanlage, beim Giovi-Tunnel, versucht wird. Eine ernsthafte Untersuchung gerade dieser Resultate zeigt aber, dass auch hier der schliessliche Gewinn nicht grösser und der praktische Vorteil überhaupt sehr zweifelhaft ist 1).

Bei den mittleren Verhältnissen der Schweizerbahnen kann daher nicht einmal sicher mit 4% Gesamtgewinn an Energie durch Rekuperation von Gefällsarbeit gerechnet werden.

Es kommt noch ein weiteres, sehr wesentliches Moment in Betracht: Für die Rekuperation müssen bei der Talfahrt alle Wagen ungebremst auf die Lokomotive drücken. Ob

¹⁾ Siehe: Dr. W. Kummer, Schweiz. Bauzeitung vom 16. März 1912, Bd. LIX, Nr. 11, Seite 146.

dabei die Sicherheit z. B. für lange Personenwagenzüge genügend gewahrt ist, wird von vielen verneint. So wird auch beim Giovi-Tunnel bis jetzt nur mit Güterzügen, nicht mit Personenzügen rekuperiert. Mit Rücksicht auf die Fahrsicherheit verlangt denn auch die Aufsichtsbehörde in der Schweiz, dass auch talwärts mit straff gespannten Kupplungen gefahren werde. Solange diese. gewiss mit Sorgfalt erwogene Massregel eingehalten werden muss, kann daher das angehängte Gewicht nicht treibend, energieleistend benützt werden, und die Rückgewinnung fällt für diesen Fall überhaupt dahin. In praktischen Fällen hat auch die Regulierung der Bremsung durch Rekuperation schon bei geringen Widerstandsänderungen durch Kurven Schwierigkeiten gezeigt. Die Rekuperation liefert bei Bahnen mit Wechseln des Längenprofils und der Kurven eine stark wechselnde Leistung, die auf den Betrieb der die Energie liefernden Primärmotoren dereglierend wirkt und die nutzbringende Aufnahme der rekuperierten Energie erschwert, auch wenn, was nicht immer der Fall, jederzeit dafür Verwendung vorhanden ist. Auch dies hat sich u. a. beim Giovi-Betrieb gezeigt. Selbst bei einfachern Anlagen mit Rekuperation wird diese sogar durch die Notwendigkeit von Widerständen (solche sind auch im Kraftwerk der Giovi-Linie angebracht worden) zur Aufnahme unverwendeter Energie direkt lästig (Engelbergbahn etc.).

Man kommt daher zum Schlusse: Die Energierückgewinnung hat für den praktischen Betrieb der Vollbahnen der Schweiz im allgemeinen keine wesentliche Bedeutung, jedenfalls nicht eine so grosse, wie man a priori glauben möchte, und jedenfalls keine derartige, dass die grössere oder geringere Eignung eines Systems für die Rekuperation ein erhebliches Moment bei der Systemwahl bilden dürfte. (Von diesen Schlüssen bleiben selbstverständlich Fälle von Spezialbahnen, in denen die Rückgewinnung sehr vorteil-

haft sein könnte, unberührt.)

Der Umstand, dass die Rekuperation bei Gleichstrom (d. h. dem aus andern Gründen einzig in Betracht fallenden Seriemotor) nicht durchführbar, bei Drehstrominduktionsmotoren mehrfach angewandt, bei Einphasen-Kollektormotoren weniger erprobt, aber ebenfalls möglich ist und hier aus dem oben angeführten Grunde eher eine etwas grössere Ersparnis verspricht als bei Drehstrom, fällt daher für die Systemwahl wenig ins Gewicht. Wählt man nicht gerade Gleichstrom, so wird die Rückgewinnung von Gefällsarbeit immerhin ausführbar sein.

Es bleiben nun noch einige

weitere technische Eigenschaften der Systeme

zu vergleichen.

1. Betriebssicherheit und Solidität der Kontaktleitung.

Es ist wohl nicht zu bestreiten, dass von der Solidität der Kontaktleitung die Betriebssicherheit der elektrischen Traktion zum grössten Teil abhängt, da die Leitungen diejenigen Bestandteile der Anlage sind, die mancherlei Beeinflussungen leicht zugänglich sind, und weil Schäden an den Leitungen Betriebsstörungen grösseren Umfangs veranlassen können als z. B. Störungen in einzelnen Trieb-

fahrzeugen.

Die dritte Schiene hat wegen ihrer robusten Bauart besonders bei Eisenbahnfachleuten seinerzeit manche Anhänger gewonnen. Sie hat entschieden gewisse Vorteile: Grosse mechanische Festigkeit; leichte Zugänglichkeit ohne Hinderung des Fahrverkehrs; geringeres Hindernis in Tunnels, bei Brücken und Ueberführungen als eine Oberleitung, besonders eine solche hoher Spannung; keine Beeinflussung durch den Wind. Die Nachteile häufiger und schwerer Störungen bei Schneefall und Glatteis scheinen nach den amerikanischen Erfahrungen durch die neueren Konstruktionen vermieden zu sein, wenigstens mit genügender Sicherheit für unser Klima. Abgesehen von dem nicht hier zu diskutierenden Punkte der hohen Anlagekosten verbleiben aber die Nachteile des teuren Unterhalts der notwendigen Verschalungen (Holz) und besonders der Unmöglichkeit der Isolation für höhere Spannung, die eigentlich wirtschaftliche Nachteile sind, von denen wir den letztern bereits in der Beschränkung der "anwendbaren Systeme" auf 800 Volt für das Drittschienensystem zum Ausdruck brachten. Daneben besteht noch die Vergrösserung der Gefahr für Bahnpersonal und Reisende und eine daherige Erschwerung des Bahndienstes und Unterhalts, besonders in Bahnhöfen.

Für die Oberleitung fallen letztere Nachteile weg, dagegen tritt Behinderung des Fahrverkehrs bei Revision und Unterhalt der Oberleitung selbst und eine gewisse Erschwerung des Unterhalts in Tunnels ein. Besonders wird der Oberleitung geringere mechanische Sicherheit, namentlich gegenüber den äussern Einflüssen der Temperatur und des Windes, vorgeworfen. Die Zweifel an genügender Betriebssicherheit der Oberleitungen haben besonders in den Kreisen der Eisenbahntechniker immer einen starken Grund der Abneigung gegen den elektrischen Betrieb gebildet. Nun besteht ja z. B. die Beeinflussung durch atmosphärische Elektrizität in der Tat. Aber es sind hierin, wie mit Bezug auf die mechanische Sicherheit der Oberleitungen, so zahlreiche und vorzügliche Verbesserungen entstanden, dass im Hinblick auf deren praktische Erfolge wohl gesagt werden darf, dass damit heute ein sehr hoher Grad der Sicherheit erreicht ist. Schon die Erfahrungen mit älteren Ausführungen von Oberleitungen, wie z. B. bei der Burgdorf-Thun-Bahn und der Engelbergbahn beweisen, dass die Störungen der Oberleitung tatsächlich auf ein sehr geringes Mass reduziert werden können. Die Erfahrungen an neueren Ausführungen, bei uns z. B. am Simplon, bei Seebach-Wettingen und Spiez-Frutigen, dann bei den preussischen Staatsbahnen bei Dessau-Bitterfeld, und anderwärts, bestätigen das soeben Gesagte auch für Leitungen mit sehr hohen Spannungen. Wenn letztere bei Anwendung erster Konstruktionen, für die noch keine Erfahrung benützt werden konnte, in Tunnels zuerst etwelche Schwierigkeiten machten, insbesondere solange auch noch mit Dampf regelmässig unter den Leitungen gefahren wurde und dadurch die Einwirkungen von Rauch und Russ an den Isolationen in hohem Masse hervorgerufen wurden, so hat sich anderseits gezeigt, dass die Schwierigkeiten und Störungen bei zweckmässiger Ausbildung der Konstruktionen und entsprechender Reinigung solange die regelmässige Berussung noch unvermeidlich ist, sicher überwunden werden können (so das Beispiel des Hondrich-Tunnels mit 15 000 Volt am Fahrdraht).

Mit den neueren, nach Erfahrungen durchgebildeten Vielfachaufhängungen sind sehr betriebssichere, solide, die Gefahren für Personen fast ganz beseitigende Oberleitungen geschaffen worden, die auch unter schwierigsten lokalen Verhältnissen durchführbar sind, wie z. B. der bewährte Betrieb mit Hochspannung der London-Brighton-Bahn zeigt, der ins Herz der Stadt London und in deren grösste Personenbahnhofsanlage eingeführt ist und bei dem die (einphasige, daher einpolige) Oberleitung fortwährend durch Dampfbetrieb anderer Gesellschaften verrusst wird ohne deswegen Störungen zu haben; ebenso die New York-New Haven-Bahn, deren Elektrifikation mit Einphasen-Oberleitung nach mehrjähriger Bewährung gegenwärtig auf über 900 km Geleise (zum Teil mit bis 6geleisigen Strecken) mit 22 000 Volt ausgedehnt wird.

Hält man mit diesen Tatsachen die Möglichkeit der Verwendung der viel wirtschaftlicheren Hochspannungen bei der Oberleitung zusammen, so kommt man zunächst zum Schlusse, dass Systeme, welche die Oberleitung fordern — Hochspannungssysteme — dadurch in keinen wesentlichen Nachteil gegenüber Niederspannungssystemen kommen, die mit dritter Schiene arbeiten könnten.

Man wird aber anderseits darüber nicht im Zweifel sein können, dass eine einpolige Oberleitung — auch abgesehen von der Verwendbarkeit noch höherer Spannung, wesentlich solider und betriebssicherer gebaut werden kann und weniger Störungen aufweisen wird, als eine zweipolige, wie sie der Drehstrom erfordert. Kurzschlüsse, z. B. durch Stromabnehmer, sind viel leichter möglich bei Mehrpoligkeit, z. B. müssen die mehrpoligen Weichen und die dabei notwendigen vielen isolierten Unterbrechungen der Kontaktdrähte mehr Störungen veranlassen als die einpolige Oberleitung des Einphasenstroms. Dasselbe ist für den ausnahmsweisen Fall starker Beräucherung, z. B. in Tunnels, vorauszusehen. Die Durchführung von Vielfachaufhängungen gestaltet sich bei den zweipoligen Oberleitungen ebenfalls schwieriger. Auf einen weitern kleinen, vielleicht aber doch nicht so ganz unbedeutenden Nachteil der Drehstrom-Oberleitung ist noch hinzuweisen: Ueberall da, wo eine Drehscheibe, ein Geleisedreieck mit zwei Spitzkehren, oder eine Rückkehrschleife vorkommt (solche im grossen Masstabe bildet das S. B. B.-Netz mehrere), tritt ein Wechsel der Polarität der Oberleitung gegenüber dem Fahrzeug ein, so dass ohne besondere Hilfsmittel die Fahrstellung "vorwärts" nachher Rückwärtsfahrt ergibt, und umgekehrt.

Vom Standpunkte der Betriebssicherheit muss daher zweifellos einem Systeme, das mit einpoliger Oberleitung für den Fahrdraht auskommt, in dieser Hinsicht der Vorzug gegeben werden vor einem solchen, das eine zweipolige Oberleitung erfordert, also dem Einphasensysteme vor dem Drehstrom, wogegen diese beiden durch die Oberleitung jedenfalls nicht in Nachteil kommen gegenüber dem, dritte Schiene gestattenden Niederspannungssysteme mit Gleichstrom.

2. Die Beeinflussung der Schwachstromleitungen durch die elektrische Traktion.

Dieser Punkt bildete längere Zeit den Gegenstand starker Besorgnis der Amtsstellen, die für den Betrieb der öffentlichen Telephone und Telegraphen, sowie der Bahnsignaleinrichtungen verantwortlich sind. Es wurde ihm daher seitens der Studienkommission ganz besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Die vorliegende Schrift eignet sich nicht dazu, auf die Einzelheiten dieser zum Teil sehr komplizierten Erscheinungen einzutreten. Es handelt sich um verschiedene Beeinflussungen, nämlich:

- a) Durch statische Induktion seitens der Bahnbetriebsdrähte entstehen in benachbarten Schwachstromleitungen Spannungen und wechselnde Ladeströme, die besonders bei Wechsel- (also auch Dreh-) strom der Bahnanlage störend werden können.
- b) Durch dynamische Induktion des veränderlichen Bahnstroms werden in nahe parallel verlaufenden Schwachstromleitungen ebenfalls wechselnde Ströme induziert. Sie stören im allgemeinen ebenfalls nur, wenn Wechsel- oder Drehstrom bei der Bahn verwendet wird.
- c) Vagabundierende Ströme, abweichende, unmittelbar Teile der im allgemeinen in den Schienen verlaufenden Bahnströme darstellend, verlaufen bei allen Bahnstromsystemen ziemlich gleichermassen durch Schwachstromanlagen, wenn diese in der Nähe der Bahn ebenfalls die Erde als Leitung benützen. Auf letzteres können die Schwachstromanlagen durch metallische Rückleitung ver-

zichten, der Bahnbetrieb aus wirtschaftlichen und technischen Rücksichten nicht.

Die Erscheinungen lassen sich alle theoretisch vorausbestimmen, wegen der sehr mannigfaltigen praktischen Verhältnisse jedoch oft nur äusserst mühsam. Ausser diesbezüglichen Studien wurden daher besonders zahlreiche Messungen gemacht und praktische Erfahrungen an im Betrieb befindlichen elektrischen Bahnen gesammelt. Von ganz besonders klärender Wirkung waren die von der eidgen. Telegraphendirektion und der Telegrapheninspektion der S. B. B. im Verein mit der Maschinenfabrik Oerlikon bei Seebach-Wettingen gemachten Versuche und Erfahrungen. Die Ursachen und genügenden Mittel zur Behebung der anfänglich sich sehr hartnäckig zeigenden Störungen sind mit Sicherheit festgestellt worden. Das Er-

gebnis ist folgendes:

Die Beseitigung der Störungen von Bahnleitungen auf Schwachstromleitungen ist etwas schwieriger bei Wechselund Drehstrom als bei Gleichstrom, sie ist aber auch bei erstern durchaus befriedigend ausführbar. Es ist unter allen Umständen und für alle Bahnstrom-Systeme, schon wegen der vagabundierenden Ströme, die Anbringung von Schleifenleitungen und der Verzicht auf Erdrückleitung für alle diejenigen Schwachstromleitungen (Telephon, Telegraph, Signalsysteme) erforderlich, die längs des Bahntrace verbleiben müssen und nicht in grössere Entfernung von der Bahn gebracht werden können. Für die Telephonleitungen wird dabei je nach den Verhältnissen ein mehr oder weniger häufiges Kreuzen der Schleife notwendig; für minder empfindliche Apparate (Blocksignale) kann in manchen Fällen auch gemeinsame Rückleitung für mehrere Hinleitungen genügen. Zur Verhütung der statischen Einwirkung ist auf möglichst gleichmässige Verteilung der Kapazität, z. B. Vermeidung des Anschlusses von Kabeln an Freileitungen zu sehen. Für die Wechselstrom-Traktionssysteme ist streng auf Vermeidung von Oberschwingungen zu achten, was bei Einphasenmotoren anfänglich etwas schwieriger erschien als bei Drehstrominduktionsmotoren, heute aber dort ebensogut gelöst ist. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den verschiedenen Stromsystemen ergibt sich aus dem Gesichtspunkte der Schwachstromeinwirkungen nicht, jedenfalls stellen sich Drehstrom und Einphasenstrom ungefähr gleich und sind die erwähnten Massnahmen an den Schwachstromanlagen auch für Gleichstromtraktion in Aussicht zu nehmen. Mit ihrer Durchführung ist bei den Kostenaufstellungen für die elektrische Traktion zu rechnen; sie sichern aber auch das ungestörte Bestehen von Schwach- und Starkstrombetrieb nebeneinander.

3. Die Periodenzahl für Wechselstrom und Drehstrom.

Für den Fall der Verwendung einer dieser Stromarten ergeben sich innerhalb derselben Unterschiede je nach der Höhe der Periodenzahl (Zahl der Schwingungen des Stroms pro Sekunde). Es müssen daher die passendsten

Periodenzahlen gesucht werden 1).

Betrachten wir mit Bezug hierauf zunächst wieder die rein technischen Verhältnisse: Bei den Einphasenkommutatormotoren ist das maximale Drehmoment für das Anfahren durch die beim Anlaufen noch funkenlos kommutierbaren Ströme bestimmt, deren Stärke mit zunehmender Periodenzahl immer mehr beschränkt werden muss, so dass das Anfahrmoment gegenüber dem "normalen" bei grösseren Periodenzahlen kleiner, schliesslich allzu klein wird. Dies spricht für möglichst kleine Periodenzahl. Im gleichen Sinne wirkt das für ein bestimmtes, normales Drehmoment bei geringerer Periodenzahl kleiner werdende Konstruktionsgewicht und der wachsende Wirkungsgrad, bei unkompensierten Motoren ausserdem der Umstand, dass dabei ein höherer Leistungsfaktor erreichbar ist. Bei Drehstrom spricht für eine kleine Periodenzahl die Rücksicht auf zweckmässigere Bauart der langsam laufenden Lokomotivmotoren; im übrigen hat die Periodenzahl wenig Einfluss auf die Gestaltung dieser Art Motoren.

Für die Leitungsanlagen sind ebenfalls möglichst niedrige Periodenzahlen günstig wegen der Verminderung des induktiven Spannungsabfalls, insbesondere in den Schienen, und sodann namentlich wegen geringerer Energiever-

luste in den letzteren.

湯

¹) Mitteilungen der Schweiz. Studienkommission, Nr. 3, Die Wahl der Periodenzahl etc., Zürich, Rascher & Co., 1908.

Bei den Generatoren und Transformatoren bestehen für den Wirkungsgrad keine wesentlichen Unterschiede bei den in Betracht kommenden Periodenzahlen, dagegen führen hier geringe Periodenzahlen zu wesentlich grösseren Dimensionen, Gewichten und Kosten, namentlich für die Transformatoren, in geringerem Masse auch für die Generatoren und die Synchronmotoren der Umformeranlagen. Die Gewichtsfrage kommt bei den Fahrzeugtransformatoren auch rein technisch etwas ins Spiel wegen des mitzuführenden toten Gewichts.

Die Rücksichten auf gute Motoren müssen nun bei der Traktion allen andern vorangehen. Sie führen nach allen bisherigen Erfahrungen dazu, dass für den Einphasenstrom eine Periodenzahl über 25 nicht angewendet werden kann. Für die Drehstrommotoren kann man wohl selbst für langsam laufende Lokomotivmotoren bis auf 50 Perioden gehen. Technisch vorteilhafter wäre für beides eine noch niedrigere Periodenzahl, doch sind diese Vorteile bei Erniedrigung unter 20 oder 25 Perioden auch für die Motoren nicht mehr sehr wesentlich, und es stehen ihnen nun die höheren Kosten für die Transformatoren und zum Teil die Generatoren entgegen. Bei Verkleinerung der Periodenzahl werden die Preise des Rollmaterials billiger, die der stationären Anlagen aber teurer werden. Der endgültige Entscheid darüber, ob man bei 25 Perioden stehen bleiben oder noch tiefer gehen will muss richtigerweise einer Wirtschaftlichkeitsrechnung zugewiesen werden.

Die Studienkommission hat daher vollständige Kostenberechnungen für die hiefür in Betracht kommenden Anlageteile (unter Verwendung von Preisen, die von den in Betracht kommenden Firmen gutgeheissen wurden) für ein und dieselbe Bahnanlage mit Einphasenstrom von 15 und von 25 Perioden und mit Drehstrom von 50 und 15 Perioden ausführen lassen, und zwar für die Kreise V und II der S. B. B.

Die erhaltenen Zahlen lassen erkennen ¹), dass für alle praktisch vorkommenden Verkehrsdichtigkeiten unserer Vollbahnen folgendes gilt:

¹⁾ Siehe auch die Tabelle auf Seite 68.

Bei Einphasenanlage sind die Minderkosten des Rollmaterials bei 15 Perioden gegenüber 25 grösser als die entsprechenden Mehrkosten der Transformatoren, Generatoren und Kraftwerksanlagen; das Ganze wird bei 15 Perioden erheblich billiger. Bei der Drehstromanlage tritt kein wesentlicher, ausschlaggebender Kostenunterschied zwischen der Verwendung von 50 oder 15 Perioden auf.

Dass grössere Periodenzahlen vorteilhafter für die direkte Abgabe von *Lichtstrom* wären, ist unwesentlich; nach dem bisherigen Gang der Wagenbeleuchtungsfrage ist anzunehmen, dass die Wagen alle, wie bis jetzt schon für eine grosse Zahl einheitlich durchgeführt, mit einzeln von den Radachsen aus angetriebenen Dynamomaschinen und kleinen Batterien für die Beleuchtung versehen werden; für die grossen Bahnhöfe werden ohnehin besondere Beleuchtungsanlagen gewählt werden, und schliesslich ist mit passend gewählten Spannungen und Glühlampen auch mit 15 Perioden Beleuchtung möglich.

Unter den allgemeinen Gesichtspunkten für die Wahl der Periodenzahl ist vielfach die Möglichkeit einer bequemen Stromlieferung aus bestehenden Kraftwerken angeführt worden, die in der Schweiz zum grössten Teil mit 50, teilweise auch mit 40 und 42 Perioden arbeiten. Es ist unseres Erachtens diesem Punkt keine sehr grosse Bedeutung beizumessen. Denn die Bundesbahnen werden im allgemeinen ihre eigenen neuen und von anderen Betrieben getrennten Kraftwerke für die Traktion schaffen, die von vornherein für die Periodenzahl des Bahnbetriebs einzurichten sind. Es würde das nicht hindern, dass diese Kraftwerke, wenn für die ersten Jahre geringeren Bahnstrombedarfs vielleicht erwünscht, Energie auch für andere Zwecke abgeben könnten behufs besserer hydraulischer Ausnützung. Es müsste dies unter allen Umständen von besonderen Maschinen aus erfolgen, und wenn nicht Abgabe mit niedriger Periodenzahl für elektrochemische Zwecke möglich ist, so fällt auch die eventuelle vorübergehende Aufstellung einiger besonderer Generatoren von 50 Perioden für jene Zwecke beim Ganzen gar nicht ins Gewicht.

Für kleinere Nebenbahnen kann allerdings der Energiebezug aus Kraftwerken mit 40 bis 50 Perioden in Frage

kommen und es ist selbstverständlich anzustreben, dass die Nebenbahnen wenigstens derart angenähert dieselbe Periodenzahl adoptieren wie die Bundesbahnen, dass die Triebfahrzeuge beiderseits verwendbar sind. Da für Einphasenstrom der Strom von 40 bis 50 Perioden jedenfalls nicht direkt verwendbar, sondern auf 25 oder besser weniger Perioden umgeformt werden muss, so genügt für diese Fälle die Rücksichtnahme auf eine begueme Umformbarkeit, die für 40, bezw. 50 Perioden gewährleistet ist mit Zulassung der Bahn-Periodenzahlen $^{40}/_{3} = 13^{1}/_{3}$, bezw. $\frac{50}{3} = 16\frac{2}{3}$. Es besteht kein Hindernis, die für diese beiden Periodenzahlen gebauten Triebfahrzeuge von Nebenbahnen auf mit 15 Perioden betriebenen Hauptbahnen ohne weiteres laufen zu lassen, und umgekehrt, und da die oben gebrachten Erwägungen alle für diese niedrigere Zahl 15 sprechen, kam die Studienkommission zum Schlusse:

Es sei für Einphasenstrom die *Periodenzahl 15* die günstigste und als Norm anzunehmen; als *obere und untere Grenze* seien noch $16\frac{2}{3}$ und $13\frac{1}{3}$ Perioden zuzulassen. Diese Festsetzung wird vor allem sehr gute Motoren liefern und ist wirtschaftlich günstig. Für Drehstrom könnten 15 oder 50 Perioden gleichermassen gewählt werden; der Entscheid darüber wird aber bedeutungslos durch folgende

Schlussfolgerung in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus.

Ueberblickt man die Vor- und Nachteile der drei in Betracht gekommenen Betriebssysteme, wie sie im Vorstehenden dargelegt sind, so kommt man, wenn man nun auch das Gewicht der einzelnen Gesichtspunkte, unter denen die Systeme betrachtet wurden, abwägt, zwanglos zum Schlusse, dass dem Einphasensystem das grösste Uebergewicht der technischen Vorzüge eignet.

Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten.

Hatten die bisherigen Betrachtungen ergeben, dass alle drei näher präzisierten elektrischen Traktionssysteme den Anforderungen des Bahnbetriebs bei zweckentsprechender Ausführung genügen, jedoch mit gewissen Unterschieden in bezug auf das technische Verhalten, so können die letzteren allein die Frage des zu wählenden Systems noch nicht ausschlaggebend entscheiden; es bleibt vielmehr zu untersuchen, ob und welche *Unterschiede zwischen den Systemen* in den *Anlage*- und in letzter Linie in den *Betriebs-Kosten* bestehen.

Es würde zu keinen schlüssigen Resultaten führen, wollte man solche Kostenvergleiche allgemein theoretisch anstellen. Dies müsste an den verschiedenen Bestandteilen der Traktionsanlagen geschehen, die einzeln bald zugunsten dieses, bald jenes Systems Vorteile ergeben und die in das Ganze mit sehr verschiedenem Gewichte eintreten.

Vergleichsergebnisse von positivem Wert können nur vollständige Anlage- und Betriebsprojekte für bestimmte, grössere Bahnnetze geben. Die Studienkommission hat von Anfang an diesen Weg in ihr Programm aufgenommen. Als Objekt wurde zunächst die bisherige Gotthardbahn behandelt.

Die dafür aufgestellten vergleichenden Projekte sind bis in alle für den Vergleich in Betracht kommenden Einzelheiten durchgeführt worden. Gerade diese eingehende Behandlung klärte aber nicht nur die Systemfrage, sondern auch andere Fragen, besonders auch solche der zweckmässigen Gestaltung des Fahrplans, der Geschwindigkeiten, der Beschleunigungsart u. dgl. mehr, in hohem Masse ab, so dass später für die im letzten Kapitel eingehend behandelten Ausführungsprojekte für den Kreis V einzelne Grundlagen anders als in diesen Vergleichsprojekten angenommen wurden. Die Endzahlen der letztern sind deshalb absolut genommen nicht vergleichbar mit denen der späteren Projekte.

Die Grundlagen der Vergleichsprojekte.

Es erschien notwendig, für den Vergleich nicht unmittelbar die Verkehrsverhältnisse des bestehenden Dampfbetriebs zugrunde zu legen, sondern die Vergleichung für die absehbare Zukunft vorzunehmen, d. h. Grundlagen zu wählen, wie sie für die zukünftige Entwicklung der Verkehrsverhältnisse beim elektrischen Betrieb erwartet werden können.

Daher wurden folgende Annahmen für die Vergleichsprojekte gemacht:

Beim elektrischen Betrieb angenommene wirkliche Zugsgeschwindigkeiten in km/h

gegenüber den

(in Klammer beigesetzten) des bestehenden Dampfbetriebes 1).

Für die		Auf Steigungen von									
Zugsart:	O 0/00	5 0/00	10 0/00	15 ⁰ / ₀₀	20 0/00	26 º/00					
Schnellzüge	90 (70-85)	78 (65-75)	68 (50-60)	60 (40-48)	55 (35-40)	50 (30-40)					
Personenzüge	75 (50-55)	70 (45-50)	60 (40-45)	55 (30-35)	52 (25-30)	50 (20-26)					
Güterzüge	45 (35-38)	45 (25-35)	45 (20-30)	40 (20-25)	37 (15-21)	35 (15-18)					

Die zu befördernden Zugsgewichte wurden in den Maxima angenommen: Für die Schnellzüge auf den Hauptstrecken zu 400 t entsprechend den bisherigen absoluten Maxima, für die Güterzüge zu 700, bezw. 600 t

¹) Die hiervon etwas abweichenden Zahlen auf Seite 265 des Rapportes zu Frage VIII für den Internationalen Eisenbahnkongress, Bern 1910, beziehen sich auf eine erste Berechnung, nicht die hier verwertete endgültige vom März 1910, und die dort aufgeführten, früher erhaltenen approximativen Angaben über die Dampfbetriebsgeschwindigkeiten erwiesen sich als ungenau. Die hier angegebenen Zahlen entsprechen eingehender späterer Nachprüfung und Angabe durch die Verwaltung der Bahnen selbst.

(d. i. wesentlich mehr als bei Dampfbetrieb), bei den Personenzügen mit Rücksicht auf die grössere Zahl und die Erleichterung durch Motorwagenbetrieb 250 t. Die mittlern Zugsgewichte sind wesentlich höher gerechnet als bisher vorgekommen.

Anzahl und zeitliche Verteilung der Züge. Schnellzüge ungefähr zu den gegenwärtigen Zeiten, jedoch unter Verdoppelung aller Mittagszüge; Personenzüge in möglichst regelmässigen Zwischenräumen, je nach dem Bedürfnis in Abständen von I bis I½ Stunden in beiden Richtungen; Güter- und Fakultativzüge ungefähr wie beim Dampfbetrieb, von den Fakultativzügen jedoch zur Maximalzeit eine grosse Anzahl.

Der so sich ergebende **Gesamtverkehr** beträgt per Tag rund 6 333 000 Gesamttonnenkilometer. Um den Einfluss der Dichtigkeit des Verkehrs auf das Ergebnis der wirtschaftlichen Systemsvergleichung zu erkennen, wurden nun diese Zahlen für zwei Varianten benützt, indem in einer ersten (A) ein Tag mit jenem Gesamtverkehr als Tag maximalen Verkehrs, in der zweiten (B) ein solcher Tag als Durchschnittstag des Jahres und, entsprechend einer früheren Ermittlung, der Maximaltag mit 54% grösserem Verkehr angenommen wurde.

Die Variante A umfasst so jährlich i 710 000 000 tkm Verkehrsarbeit (insgesamt, samt Triebmittelgewicht), d. i. ca. 10% mehr als der bisher grösste Dampfverkehr (der

von 1907 und 1910),

und Variante B jährlich 2 300 000 000 tkm Verkehrsarbeit oder 50% Vermehrung gegenüber diesem maximalen

Dampfbetrieb 1907.

An Brutto-Tonnenkilometern des "gezogenen" oder "angehängten" Zugsgewichtes, d. h. der Züge ohne Lokomotiven, welche Zahlen für den elektrischen Betrieb einen bessern Vergleich geben, hat

Variante A jährlich 1 300 000 000 tkm oder rund 20%

mehr als der Dampfbetrieb 1907, und

Variante B jährlich I 760 000 000 tkm oder 60% mehr

als der Dampfbetrieb 1907.

Der für absehbare Zukunft zu veranschlagende Verkehr dürfte wohl etwa in diesen Grenzen liegen. Für die Leitungen zur Energieverteilung wurden die nach Massgabe der eigentlichen Bahnanlage grösstmöglichen Belastungen und ungünstigsten Zugslagen der Berechnung zugrunde gelegt und

Hauptspeisepunkte in Goldau, Amsteg, Lavorgo, Giubiasco und Melide angenommen, in Anlehnung an die Disposition der dabei vorgesehenen

Kraftwerke in Amsteg (später noch Göschenen), Lavorgo und Ritomsee-Piotta.

Die Einheitspreise der Anlagekosten sind festgesetzt worden, wie später¹) für die Ausführungsprojekte angegeben.

Die Projekte und Berechnungen der Anlage- und Betriebskosten

sind auf diesen Grundlagen für die drei Hauptsysteme, und zwar für das Einphasensystem für beide vorläufigen Grenzen der Periodenzahlen 15 und 25, für den Drehstrom ebenso für 15 und 50 Perioden aufgestellt worden, und weiter für jedes System sowohl ohne als mit Pufferung im Netz, um auch am konkreten Beispiele nochmals die Frage der Pufferung abzuklären. Als Pufferungsmittel sind Akkumulatoren verwendet.

Noch nicht zur Verfügung stunden bei Aufstellung dieser Vergleichsprojekte die genaueren Berechnungen über die Kraftwerke. Daher wurde der Einheitspreis der Energie ab Kraftwerk zunächst mit einer aus Vorprojekten als wahrscheinlich ermittelten Zahl in die Rechnung eingesetzt, nämlich mit 2 Rp. pro KWh für den Fall gleichmässiger Belastung der Kraftwerke unter Anwendung von Pufferung, und mit 20% mehr für die direkte Abgabe der Maximalleistung ab Kraftwerk, da die erwähnten Untersuchungen über den Einfluss der Pufferung im Mittel eine ungefähr derartige Steigerung der Kosten der Energieeinheit, veranlasst durch den in diesem Falle nötigen Ausbau der Kraftwerke auf grössere Maximalleistung und schlechtere Ausnützung derselben, voraussehen liessen.

¹⁾ Seite 97 ff.

Die späteren, auf genauen Kraftwerkprojekten beruhenden Berechnungen ergaben geringere Kosten der Energieeinheit ab Kraftwerken; in der nachstehenden Vergleichstabelle sind daher die totalen Energiekosten auch noch mit Einheitspreisen berechnet, wie sie sich ungefähr aus den spätern Ergebnissen feststellen lassen, nämlich 1,9 bezw. 2,3 und 1,5 bezw. 1,8 Rp. (je nach

Verkehrsdichte) pro KWh 1).

Der Vergleich der Zahlen beweist, dass die relative wirtschaftliche Stellung der Systeme zueinander — und nur um diese handelt es sich hier — bei beiden Kraftpreisen dieselbe bleibt, und eine weitere Rechnung zeigte, dass dies auch noch bei 50% höherem Einheitspreis der Energie ab Kraftwerken der Fall ist; dasselbe Resultat ergaben auch die ersten, in der Fussnote von Seite 63 erwähnten Projekte mit zum Teil wesentlich höheren Geschwindigkeiten und anderem Fahrplan. Die relativen Resultate sind daher durchaus sichere.

Die Vergleichsprojekte durften sich so zunächst beschränken auf Anlagekosten und Jahreskosten der Verteilanlagen, Energiekonsum und Energiekosten ab Kraftwerken, und die Summe der letztern und der Jahreskosten der Verteilanlagen, was dann die Energiekosten am Fahrdraht, alles rückwärts davon liegende inbegriffen, ergab. Denn die Anlagekosten und die Unterhalts-, überhaupt die Jahreskosten der übrigen Teile des elektrischen Betriebs, der Triebfahrzeuge und einiger allgemeiner Dinge, sind bei allen Systemen wesentlich gleich, mit Ausnahme der Verteuerung bei Einphasenstrom mit 25 Perioden gegenüber 15 Perioden, worüber aber die auf Seite 59 erwähnte Sonderuntersuchung Aufschluss gab.

Die nebenstehende Tabelle zeigt die

Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten.

Für die Ermittlung der Jahresausgaben sind dabei (ausser üblichem Zins) für den Unterhalt, die Reparaturen

¹⁾ Siehe u. a. die Zahlen auf Seite 108.

Tab. zu pag. 66.

Vergleich der Anlage- und Jahreskosten der Verteilanlagen, des Energiebedarfs und der Energiekosten für den elektrischen Betrieb der Gotthardbahn nach verschiedenen Systemen.

)												
	Anlage- Kosten	Jahres- Kosten		inergiebedarf Itwerken	Jährlic f	he Energieko ür den Verkel	sten ab Kraf hr im Umfang	twerken ge	Jährliche Energiekosten am Fahrdraht für den Verkehr im Umfange			
	der Verte	eilanlagen	für	für den		A		В		A		В
Betriebssystem	(Unterwerk	e u. Ueber-	Verkehr in	n Umfange	zum Pre	eise von Rapp	en per Kilowa	attstunde	zum Preise v.	Rappen per Kil	owattstunde (ab	Kraftwerken)
	tragungsl	eitungen)	Α	В	2 bezw. 2,4	1,9 bezw. 2,3	2 bezw. 2,4	1,5 bezw. 1,8	2 bezw. 2,4	1,9 bezw. 2,3	2 bezw. 2,4	1,5 bezw. 2,8
	In Tausenden	von Franken	Millionen Ki	lowattstunden		In Tausenden	von Franken			In Tausenden	von Franken	
Einphasenstrom, 15 000 Volt, 15 Per.	4. 7											
ohne Pufferung	2 53 1	316	83,8	113,5	2012	1910	2 720	2 040	2 3 2 8	2 2 2 6	3 036	2 3 5 6
mit Pufferung in Goldau, Giubiasco												
und Melide	10771	1 550	98,2	132,8	1 964	1 980	2 6 5 6	2 000	3 514	3 550	4 206	3 550
Einphasenstrom, 15000 Volt, 25 Per.												
ohne Pufferung	2 519	315	83,8	113,5	2012	1910	2 720	2 040	2 327	2 2 2 5	3 0 3 5	2 355
mit Pufferung in Goldau, Giubiasco												
und Melide	10 559	1 519	98,2	132,8	1 964	1 980	2 6 5 6	2 000	3 483	3 499	4 175	3 519
Drehstrom, 5000 Volt, 15—16 Per.												
ohne Pufferung	5 661	759	90,3	122,3	2167	2 060	2 933	2 200	2 9 2 6	2 1 1 9	3 692	2 959
mit Pufferung in Goldau, Giubiasco												
und Melide	13 634	1 937	107,5	145,5	2150	2 060	2910	2 180	4 087	3 997	4 847	4 117
Drehstrom, 5000 Volt, 50 Per.												
ohne Pufferung	6717	853	91,6	123,8	2 197	2 060	2 966	2 240	3 050	2 933	3 819	3 093
mit Pufferung in Goldau, Giubiasco	0											
und Melide	14 218	2 020	108,8	147,1	2 176	2 080	2 942	2 200	4 196	4 100	4 962	4 220
Gleichstrom, 3000 Volt mit Umformung und Pufferung in 11 Unterwerken	22 877	3 364	104,6	141,5	2 092	2 000	2 830	2 130	5 456	5 364	6 194	5 494

NB. Bei den Energiekosten ist der erste Einheitspreis pro Kilowattstunde jeweilen der für den Fall von Pufferung, der zweite der entsprechende für den Fall der direkten Abgabe der Maximalleistungen ab Kraftwerken; die höheren Preise der ersten Kolonnen entsprechen den ersten Annahmen, die niedrigeren der zweiten Kolonnen ungefähr den Ergebnissen der späteren, genaueren Kraftwerksprojekte.

und Erneuerungsrücklagen überall analoge Prozentsätze nach Erfahrungen bei elektrischen Anlagen, für die eigentliche Wartung die Löhne nach gegenwärtigen Verhältnissen eingesetzt.

Die vorstehende Zahlentafel lehrt durch ihre, den Ausschlag gebenden 4 letzten Kolonnen deutlich folgendes:

a) Die Anlagen mit direkter Uebernahme der Maximalleistung durch entsprechend ausgebaute Kraftwerke erweisen sich bei diesem konkreten Beispiele — in Bestätigung der früher erwähnten allgemeinen Studie — als ganz zweifellos viel vorteilhafter als diejenigen mit Akkumulatoren-Pufferungsanlagen, und zwar bei allen Systemen und

jedem in Betracht kommenden Verkehr.

b) Das Gleichstromsystem ist zweifellos, auch bei Anwendung dieser höchsten allenfalls in Betracht zu ziehenden Spannung von 1500 Volt an den Kollektoren und 3000 Volt am Fahrdraht, ganz enorm viel unwirtschaftlicher als das Einphasensystem. Das zeigen die über 5 Millionen Franken Jahreskosten bis an den Fahrdraht gegen ungefähr 2 Millionen beim Einphasenstrom deutlich genug. (Das Gleichstromsystem mit dritter Schiene und 800 Volt hatten schon Voruntersuchungen als noch viel unwirtschaftlicher für unsere Verhältnisse ergeben; es ist daher dafür kein Projekt ausgearbeitet worden.)

c) Das Drehstromsystem ist, ebenfalls mit der als höchstmöglicher in Betracht zu ziehenden Spannung, auch wesentlich unwirtschaftlicher als das Einphasensystem. (Dabei ist bei dieser Rechnung noch nicht in Betracht gezogen, dass wegen der, gegenüber Einphasenstrom notwendigen grösseren Maximalleistung der Kraftwerke auch die Energieeinheit für Drehstrom noch teurer zu stehen kommen wird; dies würde tatsächlich den Unterschied wesent-

lich verschärfen.)

Ergänzung der Vergleichsprojekte.

Man dürfte sich wohl bei der Entschiedenheit, mit der die Zahlen sprechen, mit Recht mit diesen Vergleichsresultaten begnügen.

Um jedoch gar keine Zweifel zu lassen, wurden die Vergleichsprojekte noch ergänzt durch die Triebfahrzeuge und

übrigen Anlagen, welche die Elektrifikation veranlasst, immerhin unter Weglassung des Gleichstroms.

Auch die Projekte mit Pufferung sind als viel zu unwirtschaftlich in der Folge ausser Betracht gelassen.

Es wurden also noch die Kosten der Bahnbetriebseinrichtungen im engern Sinne berechnet. Diese sind: Die
Fahrdrahtleitung, das Rollmaterial, die nötigen Aenderungen
und Ergänzungen an Remisen und Depotanlagen, der
Umbau der Schwachstromeinrichtungen und verschiedenes
Zubehör. Auch diese Projektierung geschah auf sorgfältigsten Grundlagen, analog wie später bei den Ausführungsprojekten angegeben. Es ergeben sich dabei u. a. die

Gesamtanlagekosten der Fahrbetriebsmittel

für Einphas	senstrom von	für Drehs	strom von
	25 Perioden	15 Perioden	50 Perioden
Fr.	Fr.	Fr.	Fr.
15 283 500	17 781 400	15 715 300	14 347 000

(Daraus sind u. a. die früher, Seite 59, erwähnten Unterschiede für verschiedene Periodenzahlen ersichtlich.)

Ausser diesen neuen Triebmitteln (in deren Kosten neben den Lokomotiven und Motorwagen auch Reserveteile und Einrichtungen für Heizung einbegriffen sind), erfordert die angenommene Verkehrsvermehrung auch eine Vermehrung des Rollmaterials an gewöhnlichen Personenund Güterwagen, die genau festgestellt und in den Kosten mit berechnet wurde.

Um auch den Einfluss der verschiedenen Systeme und Periodenzahlen auf die Anlage- und Betriebskosten der Kraftwerke noch genauer zu ermitteln, sind in diesem Stadium der Untersuchungen neue Vorprojekte für die oben erwähnten 4 Kraftwerke ausgeführt worden, welche für alle zusammen vergleichsweise für den grösseren Verkehr B die nachfolgenden Anlagekosten ergaben:

Für das System mit

Einphasenstrom	15	Perioden				30 450 000
,,	25	,,			,,	29 625 000
Drehstrom	15	,,			,,	28 725 000
,,	50	,,			,,	27 865 000

Die Zahlen haben nur Vergleichswert, da sich die angenommene absolute Grösse des Ausbaus auf Maximalleistung durch die spätern genauern Ermittlungen als noch zu gross erwies. Diese Anlagekosten führten zu den in nachstehender Tabelle eingesetzten Jahreskosten der Werke, d. i. den *Energiekosten ab Kraftwerk*, die um einen belanglosen Betrag abweichen von den in der Tabelle zu Seite 66 mit 2 Rp./KWh angenommenen.

Diese Weiterführung der Projekte ward nun noch ergänzt durch die Ermittlung der Betriebskosten des eigentlichen Fahrdienstes, im Umfange entsprechend dem Rechnungsschema der schweizerischen Eisenbahnen, gleich wie für die ausführlichen Projekte auf Seite 108 erwähnt.

Fassen wir die zahlenmässigen Ergebnisse der so ergänzten Projekte zusammen, indem wir nur noch die Projekte mit denjenigen Periodenzahlen berücksichtigen, die sich als günstiger erwiesen (15 Perioden für Einphasen- und 50 Perioden für Drehstrom), so ergibt sich folgendes Bild:

Für den elektrischen Betrieb

und dem Systeme mit: It	5 Po Anl 7 I 2 5	lage Fr.	ekosi	50 ten	Fr. 865	rgleid	15 hsv	Fr. 450	den	50	ehstr Perio	den
für Kraftwerke	7 I 2 5	Fr. 50	000	24	Fr. 865	000	30	Fr. 450	000	27		
Kraftwerke 2 Energieverteilanlagen Elektrische Betriebseinrichtungen (Triebfahrzeuge,	7 I 2 5	50	000	24 6	865	000	30	450	000	27		
Kraftwerke 2 Energieverteilanlagen Elektrische Betriebseinrichtungen (Triebfahrzeuge,	2 5	31	000	24 6	865 717	000	30	450	000	27	865	
Energieverteilanlagen Elektrische Betriebseinrichtungen (Triebfahrzeuge,	2 5	31	000	6	717	000	2	.0				000
	86	41						531	000	6	717	000
Rollmaterialvermehrung		-	000	32	211	000	28	641	000	32	211	000
wegen Verkehrssteigerung	64	16	000	6	416	000	15	765	000	15	765	000
6.	47	38	000	70	209	000	77	387	000	82	558	000
für Indirekte Ausgaben: Eigentliche Bahnbetriebs- einrichtungen:												
	II	46	000	I	289	000	I	146	000	I	289	000
Tilgung		93	000		III	000			000		III	000
Erneuerung , .	3	48	000		375	000		348	000		375	000
wegenVerkehrssteigerung			000			000			000			000
Zins, Tilgung, Erneuerung	-	-	000	-	0 ,	000			000	AND THE REAL PROPERTY.		000
für Direkte, eigentliche Fahr- dienstauslagen:	19	16	000	2	104	000	2	400	000	2	594	000
			000			000			000			000
			000	852630		000			000	2		000
Kosten der Verteilung	-		000	-	00	000		_	000			000
Insgesamt	90	93	000	9	726	000	10	649	000	II	259	000

Setzt man statt der, wie auf voriger Seite angegeben, ermittelten Energiepreise die den später ermittelten Selbstkosten besser entsprechenden 1,9 bezw. 1,5 Rp./KWh in die Tabelle ein, so ergeben sich die relativen Gesamtkosten für die vier Kolonnen zu Franken

8 8 3 1 0 0 0 9 8 1 7 0 0 0 10 2 5 3 0 0 0 11 2 7 0 0 0 0

Das qualitative Ergebnis bleibt dasselbe; es ist lediglich noch schärfer ausgeprägt und bestätigt das schon auf Seite 67 Ermittelte:

Der Einphasenstrombetrieb erweist sich als wesentlich wirtschaftlicher als der Drehstrombetrieb und als der wirt-

schaftlichste elektrische Betrieb überhaupt.

Zu diesem Resultat sind wir zunächst für die Gotthardbahn gekommen. Einfache Ueberlegungen und Ueberschlagsrechnungen lassen aber leicht erkennen, dass das Ergebnis für andere Teile unseres schweizerischen Vollbahnnetzes qualitativ kein anderes wird. Ueberprüfungen an den später errechneten Projekten für den Bundesbahnkreis II zeigen dies u. a. zur Evidenz.

Konnte auf Seite 61 dem Einphasensystem das Uebergewicht an technischen Vorzügen vor den anderen zugesprochen werden, so fügt sich nun die Ueberlegenheit in der Wirtschaftlichkeit hinzu und man kann daher ohne Beden-

ken den sicheren

Schluss über die Systemfrage

ziehen:

Das Einphasensystem, mit Kollektormotoren mit Seriecharakteristik, ausgeführt mit ca. 15 Perioden pro Sekunde und einer Fahrdrahtspannung von ungefähr 15 000, eventuell 10 000 Volt, ist für die Verhältnisse unseres Vollbahnbetriebs technisch und wirtschaftlich als das günstigste System zu em-

ptehlen.

Die Studien der preussischen, der bayerischen, der österreichischen und der schwedischen Staatsbahnen, teilweise unterstützt von Versuchen, bezw. praktischen Betrieben im grossen, haben bekanntlich zu demselben Ergebnis und positiven bezüglichen Beschlüssen geführt, denen die Schweiz daher mit um so weniger Bedenken folgen darf.

III. Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und deren finanzielle Ergebnisse.

Allgemeines.

Auf Seite 62 u. ff. sind bereits vollständige Projekte für die Elektrifizierung der G.-B. und einzelne Resultate erwähnt. Wie es bei einer derart komplexen Materie nie anders sein kann, so hat auch hier erst die Einzelbearbeitung und Durchführung erster Projekte genauen Einblick in die Wirkung der verschiedenen Faktoren gegeben, und dadurch zur Ueberzeugung geführt, dass mit gewissen Aenderungen sich noch Passenderes, sowohl dem Verkehrsbedürfnis als der neuen Betriebsart besser Dienendes schaffen lasse. Es gelang der Studienkommission, für eine neue Bearbeitung die dazu unumgänglich notwendige Mitwirkung der bei der Bahn selbst mit den betreffenden Grundlagen sich befassenden Fachleute zu gewinnen. So wurden die Fragen der Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Zugsgewichte und besonders der Fahrplan, die verkehrsstatistischen Angaben, die Diensteinteilungen für Material und Personal und die Ausgabeposten für Saläre des letztern von Organen der Bahn mitbearbeitet.

Ausser Aenderungen der Grundlagen und der teilweisen Anwendung von neuen, präziseren Methoden wurde nun namentlich eine eingehendere Bearbeitung der Kraftwerksprojekte vorgenommen. Die Wasser- und Akkumulierungsverhältnisse, das passende Zusammenarbeiten der Werke, die Einzelheiten aller baulichen und hydromechanischen Anlagen wurden durch Spezialfachleute unter Mitwirkung erster Konstruktionsfirmen studiert und be-

rechnet.

Die im Nachstehenden besprochenen neuen Projekte für den elektrischen Zukunftsbetrieb sind ergänzt durch ein solches, das zum genauen Vergleiche mit dem Dampfbetrieb dem 1904 stattgefundenen Verkehre entspricht.

Die verkehrstechnischen Grundlagen der Projekte.

Wenn man auch die Einführung des elektrischen Bahnbetriebs in erster Linie zum Zwecke der Befreiung von der Kohleneinfuhr und zur Verwertung der nationalen Wasserkräfte ins Auge fasst, so wird man doch auch die weiteren, beim elektrischen Betriebe möglichen Verkehrsverbesserungen erreichen wollen, selbst wenn sie besondere Einrichtungen erforderten. Die Projekte für den zukünftigen elektrischen Betrieb müssen daher so angeordnet werden, dass in allen Beziehungen, in denen dies möglich ist, über den gegenwärtigen Betrieb hinausgegangen und mehr geleistet wird. Immerhin wird man dabei nicht ohne weiteres bis an die Grenzen der technischen Möglichkeit gehen, sondern nur soweit als die Wirtschaftlichkeit gestattet und das Bedürfnis vorhanden. Von diesem allgemeinen Gesichtpunkt aus hat die Studienkommission die verkehrstechnischen Grundlagen für die neuen Projekte bestimmt.

Folgende Zusammenstellung gibt zunächst verglei-

chenden Aufschluss über

Die wirklichen (in der Ausführung maximalen) Zugsgeschwindigkeiten auf der bisherigen Gotthardbahn in km/h:

		auf	den	Steigu	ngen	von	0/00:
	Für Schnellzüge:	0	5	IO	15	20	26
a)	beim bisherigen Dampfbetrieb						
	(1904) und beim Vergleichs-						
	projekt für analogen elektri-						
	schen Betrieb	85	7.5	60	48	40	40
b)	beim Projekt für zukünftigen						
	elektrischen Betrieb	90	80	70	60	55	50
	Für Personenzüge:					00	
a)	beim bisherigen Dampfbetrieb						
	(1904) und beim Vergleichs-						
	projekt für analogen elektri-						
	schen Betrieb						- 6
h)	beim Projekt für zukünftigen	55	50	45	35	30	26
0)	olektrischen Betriek			,	,		
	elektrischen Betrieb	75	70	60	56	53	50

auf den Steigungen von °/00: 0 5 10 15 20 26

Für Güterzüge:

a) beim bisherigen Dampfbetrieb
(1904) und beim Vergleichsprojekt für analogen elektrischen Betrieb 38 35
b) beim Projekt für zukünftigen

elektrischen Betrieb . . .

38 35 30 25 21 18

40 37

3.5

45

Es sind demnach für den elektrischen Betrieb der Zukunft überall Geschwindigkeitssteigerungen, zum Teil gewaltige, gegenüber dem Dampfbetrieb angenommen; auch die heute schon relativ raschen Schnellzüge sollen weiter beschleunigt werden; am grössten und fast einer Verdoppelung gleichkommend, sind die Geschwindigkeitssteigerungen der Personen- und Güterzüge auf den Maximal-

45 45

steigungen.

Die Vermehrung der kommerziellen oder Reisegeschwindigkeiten und die Verminderung der totalen Reisezeiten tritt natürlich nicht in gleichem Masse ein wie die Vermehrung der wirklichen Geschwindigkeiten, wegen der unvermeidlichen und in ihrer Dauer nicht verkürzbaren Halte; immerhin ist die Verbesserung auch nach dieser Richtung eine sehr bedeutende, wie nachstehender Tabelle zu entnehmen ist:

Totale Reisezeit einschliesslich Halte, in Minuten.

		Beim bis Dampfb			Beim zukünftigen elektrischen Betrieb:					
Für die Strecken:	Ex- press- züge	Gewöhn- liche Schnell- züge	Per- sonen- züge	Güter- züge	Ex- press- züge	Gewöhn- liche Schnell- züge	Per- sonen- züge	Güter- züge		
Luzern-Bellinzona Bellinzona-Luzern Luzern-Chiasso Chiasso-Luzern Luzern-Luino Luino-Luzern	206 217 286 296 290 293	258 266 360 370 320 325	340 351 472 535 430 490	600 630 780 780 720 750	177 182 240 247 232 240	190 194 263 267 240 246	250 260 333 338 310 320	400 430 550 600 500 530		

Kommerzielle oder Reisegeschwindigkeiten, einschliesslich Halte, in km/h.

10 (in the contract of the con		Beim bis Dampfb			Beim zukünftigen elektrischen Betrieb:					
Auf den Strecken:	Ex- press- Züge	Gewöhn- liche Schnell- züge	Per- sonen- züge	Güter- züge	Ex- press- züge	Gewöhn- liche Schnell- züge	Per- sonen- züge	Güter- züge		
Luzern - Bellinzona Bellinzona - Luzern Luzern - Chiasso Chiasso - Luzern Luzern - Luino Luino - Luzern	49 47 47 45 44 43	39 38 37 36 40 39	30 28 29 25 29 26	17 16 17 17 18	58 56 56 55 54 53	54 52 51 50 53 51	41 39 40 40 41 39	25 24 25 22 25 24		

Als Beschleunigungen wurden für den Zukunftsverkehr solche angenommen, die sich mit Triebfahrzeugen erzielen lassen, welche beim Anfahren eine Leistung gleich ⁵/₄ der Normalleistung geben, wobei in Anbetracht des Längenprofils der Bahn als Normalleistung diejenige im Beharrungszustand auf 26 ⁰/₀₀ Steigung festgesetzt wurde. Man kann auf diese Weise im allgemeinen jene, gegenüber dem Dampfbetrieb erhöhten Beschleunigungen erzielen, die schon auf Seite 32 als wünschenswert bezeichnet wurden, nämlich von 0,3 m/Sec² für Personenzüge, 0,2 m/Sec² für Schnellzüge und 0,1 m/Sec² für Güterzüge gegenüber bisher angewandten maximalen von 0,15, bezw. 0,10 m/Sec².

Grundlagen der Verkehrsstatistik. Für die in Rechnung zu ziehenden Zugsgewichte und Zugszahlen und die Aufstellung des Fahrplans überhaupt wurde für die Bearbeitung der endgültigen Projekte die Verkehrsstatistik eingehend zu Rate gezogen. Es stunden nunmehr auch neue Detailzahlen über den Verkehr von 1907 zur Verfügung, ausser den früher verwendeten von 1904.

Die Statistik ergab vor allem bedeutende Unterschiede zwischen dem *maximalen* und dem *mittleren Verkehr*, welche für die Fahrplanbildung massgebend sein mussten und durch folgende Zahlen illustriert werden:

Es betrug, gerechnet für das angehängte Zugsgewicht Die Verkehrsarbeit der Gotthardbahn pro Tag in Brutto-Tonnenkilometer rund, im Jahre 1907:

				im Mittel	im Maximum
Für	die	Schnellzüge		810 000	I 303 000
,,	,,	Personenzüge		369 000	558 000
,,	,,	Güterzüge .		I 835 000	2 504 000

Dabei ist das "Mittel" aus der Jahresarbeit berechnet und das Maximum den je wirklich vorgekommenen Tagen höchster Verkehrsleistung entnommen. Zur Bewältigung dieser, besonders auffällig bei den Güterzügen auftretenden Ungleichheiten genügt eine Vermehrung der Zugszahl, also die Führung von mehr fakultativen Zügen zu Zeiten des starken Verkehrs nicht; es muss auch eine Erhöhung des mittleren und maximalen Gewichts bestimmter Zugsnummern vor sich gehen. Rein verkehrstechnische Gründe bedingen ferner bei Güterzügen, dass die Transportmengen oft auf mehr Züge verteilt werden müssen als nach dem zulässigen Maximalgewichte erforderlich wäre. Zur Zeit des maximalen Verkehrs zeigt sich auch ein bedeutender Mehrtransport von Süd nach Nord als in der Gegenrichtung, während im Mittel das Verhältnis eher umgekehrt ist.

Im übrigen lieferte die Verkehrsstatistik die mittleren Zugsgewichte auf den einzelnen Strecken, und zwar die Mittelwerte des ganzen Jahres und die "mittleren Maximalgewichte", d. h. die aus der Verkehrsarbeit eines Tages des Maximalverkehrs sich ergebenden Tagesmittel, alles zunächst als Totalgewichte der Züge. Nach Abzug der bekannten Lokomotivgewichte ergaben sich die betreffenden Zahlen für das "angehängte Gewicht". Der Verkehrssteigerung entsprechende höhere Annahmen über dieses "angehängte" mittlere Zugsgewicht der einzelnen Strecken bei mittlerem und maximalem Verkehr führten dann, unter Zurechnung der Gewichte der neuen Triebmittel (der elektrischen Lokomotiven, bezw. der elektrischen Ausrüstung der Motorwagen), zu den zukünftigen, mittleren Gesamtzugsgewichten.

Tab. zu pag. 77.

Zugszahlen und Zugsgewichte der Gotthardbahn für den zukünftigen elektrischen im Vergleich zum bisherigen Dampf-Betrieb.

		Anzah	nl der tä	iglichen	Züge				Mittle	re Zug	sgewich	nte in T	onnen	Tall Page	14 1 - 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
Zugsgattung und Teilstrecken	Dampfbet	rieb 1904	Dampfbet	rieb 1907		elektrischer	Gesamtzu	igsgewichte	beim elektr Dampfbetrie	Betrieb			er elektrisch		
Zugsgattung und Tenstrecken			All the second			trieb		ittsverkehr		lverkehr		e Gewichte	Triebmittel-		gsgewichte
	Durch- schnitt	Maximum	Durch- schnitt	Maximum	Durch- schnitt	Maximum		Süd-Nord	Nord-Süd		Durchschnitts- Verkehr	Maximal- Verkehr	Gewichte	Durchschnitts- Verkehr	Maximal- Verkehr
Schnellzüge. Luzern-Goldau-Luzern	10	17	14	22 I4	18	24	172,5 145 246	160 115,5 228,5	172 125 254	172 125 254	200 I 20	300	100	300 155	400 235
Erstfeld-Biasca-Erstfeld	10	19	14	24	18	28 27	233,5 233,5 218	228,5 228,5 218	254 254 242	254 254 242	280	320	100	380	420
Bellenz-Luino-Bellenz	4 3	4 3	6 3	6 3	6 —	6	95	95 95	102,5	102,5	100	150	35	135	185
Personenzüge. Luzern-Goldau-Luzern Luzern-Erstfeld-Luzern Luzern-Göschenen-Luzern Luzern-Chiasso-Luzern Zug-Goldau-Zug Goldau-Brunnen-Goldau Goldau-Erstfeld-Goldau Erstfeld-Biasca-Erstfeld Biasca-Bellenz-Biasca Bellenz-Chiasso-Bellenz Bellenz-Luino-Bellenz Bellenz-Locarno-Bellenz Lugano-Chiasso-Lugano	} 3 2 8 8 2 4 9	3 2 8 8 2 - - 4 9	3 } 10 8 2 — 6 13 4	3 10 8 2 - - 6 13 4	10 14 } 12 14 26	10 14 12 14 26	110 68 78 117 124 152 141,5 76,5	124 65 97,5 137 124 151 141,5 75	65 80 134 139 146 148,5 141,5	127 65 100 150 139 148,5 141,5	100 150 100 — — — —] 100 100	150 200 150 — 150 — 150 150 150 —	35 35 35 20 20	120 185 135 — — 135 120 120	170 235 185 — — 185 170 170
Güterzüge. Luzern-Goldau-Luzern	4 6 19 22 14 13 9	5 7 27 30 21 17 14 2	4 9 29 32 20 18 12 2	6 13 39 46 28 23 22 2	6 6 26 40 24 24 10 4	8 12 34 54 34 15 + 12 18	196 372 448 295 511 318 406 217	198 374 451 296 511 338 408 219	265 387 380 244 400 307 303 237	454 504 488 312 511 326 505 380	210 480 480 310 560 310 480 130	400 500 500 320 560 320 u.400 500 400	80 80 80 80 80 80 80 80	290 560 560 390 640 390 560 2 I	480 580 580 400 640 400 u. 480 580 480

Die unter Berücksichtigung aller dieser Verhältnisse entstandenen Festsetzungen für den Fahrplan des zukünftigen elektrischen Betriebs weisen nun vorstehende Hauptdaten bezüglich der Zugszahl und der Zugsgewichte auf, bei deren Würdigung zu bedenken ist, dass zufolge der kleineren Triebmittelgewichte dasselbe Gesamtzugsgewicht beim elektrischen Betrieb ein wesentlich grösseres angehängtes Zugsgewicht als beim Dampfbetrieb ergibt.

Diese Uebersicht zeigt zunächst die bedeutende Vermehrung der Zugszahl. Bei den Schnellzügen ist schon für den regelmässigen Dienst in jeder Richtung ein Zug mehr als gegenwärtig eingestellt, und am Maximalverkehrstag vor Ostern ausserdem 3 Supplementszüge, sowie 4 sogenannte Italienerzüge. Ihrer neuen Geschwindigkeit und ihrem Charakter nach sind die bisherigen "Schnellzüge". der Strecke Bellinzona-Locarno unter die Personenzüge eingereiht, deren Zahl übrigens auf allen Strecken am bedeutendsten erhöht ist, was der angenommene Motorwagenbetrieb erleichtert: Auf der ganzen Hauptstrecke Luzern-Chiasso und zwischen Bellinzona und Luino verkehrt in jeder Richtung ungefähr alle 3 Stunden, auf den verkehrsdichtern Strecken Luzern-Erstfeld, Zug-Goldau, Biasca-Chiasso und Bellinzona-Locarno dagegen alle 11/2 Stunden ein Zug. Für die Güterzüge ist da, wo der Maximalverkehr auf der Hauptstrecke in einer Richtung mehr Züge aufweist als in der andern, mindestens die grössere maximale Zugszahl angenommen, soweit nicht die Einspurigkeit (Bellinzona-Chiasso) dies verunmöglicht; im übrigen ist überall eine allgemeine starke Vermehrung entsprechend dem Verkehre zugrundegelegt.

Die allgemeine Einteilung des Fahrplans wurde genau dem Bedürfnis angepasst: Für die bestehenden Schnellzüge sind die Anschlüsse in Luzern durch Beibehaltung der bisherigen Ankunfts- und Abfahrtszeiten gesichert; die übrigen und Supplementschnellzüge sind entsprechend eingeordnet, und zwar so, dass höchstens 3 Schnellzüge sich gleichzeitig auf grösserer Steigung derselben Bergrampe befinden); die Personen- und Güterzüge, erstere in den oben genannten zeitlichen Abständen, sind sodann mit Rücksicht auf die Geleisebelegung und den Kraftbedarf

auf die Zwischenzeiten verteilt.

Ueber die erzielte Steigerung der Verkehrsarbeit gibt Auskunft die nachstehende

Übersicht der Verkehrsarbeit der Gotthardbahn beim zukünftigen elektrischen im Vergleich zum bisherigen Dampfbetrieb

in Millionen Brutto-Tonnenkilometern des angehängten Zugsgewichts.

	In	n Durchni	ttsverkeh	Im Maximalverkehr:					
Für die		per Jahr		per Tag	per Tag				
Zugsgattung:	Dampf- betrieb 1904	Dampf- betrieb 1907	Elektr. Betrieb	Elektr. Betrieb	Dampf- betrieb 1904	Dampf- betrieb 1907	Elektr. betrieb		
Schnellzüge Personenzüge Güterzüge Insgesamt	213 122 441 776	296 135 670	418 226 793	I,145 O,620 2,470 4,242	O,643 O,320 I,574 2,537	1,303 O,558 2,504 4,365	2,033 0,874 3,585 6,492		

Die Verkehrsarbeit, ausgedrückt in angehängten Brutto-Tonnenkilometern, ist somit bei dem projektierten elektrischen Betriebe im Mittel rund 185% derjenigen von 1904 und 130% derjenigen von 1907, am Maximaltage rund 255% derjenigen von 1904 und 150% derjenigen von 1907. Sie wird nahe an das heranreichen, was mit Rücksicht auf die Bahnanlage auf der Gotthardbahn durchführbar ist.

Die Berechnung des Kraftbedarfs.

Die nachstehenden Angaben bezwecken, über die Grundlagen der Berechnung des Kraftbedarfs zu orientieren und zu zeigen, welches Mass der Sorgfalt und Genauigkeit auf die Aufgabe verwendet wurde. Dagegen erachten wir es nicht als Aufgabe des vorliegenden Berichts, näher auf die technischen Einzelheiten einzugehen, die aus den Originalberichten und den "Mitteilungen" der Studienkommission ersichtlich sind.

Tab. zu pag. 79.

Verkehrsarbeit und erforderliche totale und spezifische mechanische Arbeit und mittlere Leistung am Radumfang beim projektierten zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Für die Zugsart:	Schnell- züge	Personen- züge	Güter- züge	Total	Schnell- züge	Personen- züge	Güter- züge	Total	Schnell- züge	Personen- züge	Güter- züge	Total	Schnell- züge	Personen- züge	Güter- züge	Total
		Für ei	nen Ta	g, im I	Ourchsc	archschnittsverkehr			Für einen Tag, im Maximalverkehr							
Für das Gebiet:	Brutte	rsarbeit in o-Tonnen- Gesamtzug	Kilometer	n des		ale mecha am Radu den von I	mfang in		Brutto	rsarbeit in o-Tonnen- Gesamtzug	Kilometer	n des		ale mecha am Radu den von I	mfang in	
		2														
Reussgebiet	610	268	1035	1913	30,0	12,0	42,0	84,0	1050	354	1497	2901	50,9	15,8	60,0	126,7
Nördlicher Tessin	547	179	1244	1970	29,3	9,1	48,8	87,2	941	230	1729	2900	49,9	12,0	55,6	129,5
Südlicher Tessin	408	324	757	1489	21,6	15,6	24,8	62,0	669	439	1106	2213	35,3	21,4	34,3	91,0
Ganzer Tessin	957	503	2001	3459	51,0	24,8	73,3	149,1	1609	669	2835	5113	85,2	33,3	102,0	220,5
Ganze Gotthardbahn .	1566	771	3036	5372	81,0	36,8	115,3	233,1	2659	1024	4332	8015	136,1	49,1	162,0	347,2
		ische mech am Radum aden pro	fang in			e Leistung en Durchs in Pferd	chnitts-W			fische mec am Radu nden pro	mfang in			e Leistung n Tag des in Pferd	Maxima	
Reussgebiet	36	33	20	32	1250	500	1750	3500	36	33	29	32	2120	660	2500	5280
Nördlicher Tessin	39	38	29	34	1220	380	2030	3630	39	38	29	33	2080	500	2320	5400
Südlicher Tessin	39	36	24	31	900	650	1030	2580	39	36	23	30	1470	890	1430	3790
Ganzer Tessin	39 38	36	27 28	32	2120	1030	3060	6210	39	37	27	32	3550	1390	4250	9190
Ganze Gounardbann .	30	36	28	32	3370	1530	4810	9710	38	36	28	32	5670	2050	6750	14470

Der Arbeitsbedarf an den Schienen. Die Ermittlung des Bedarfs an täglicher und Jahresarbeit an den Schienen, d. h. am Umfange der Triebräder, ist recht genau möglich. Für die Berechnung der Fortbewegungsarbeit ist der Rollwiderstand (Traktionskoeffizient) massgebend, zunächst dessen Wert in der Geraden. Zu dessen Bestimmung wurden neuere, sorgfältige Untersuchungen herangezogen. Deren Resultate für die verschiedenen Geschwindigkeiten sind zur Berechnung der reinen Rollarbeit für einen ganzen Kreis benützt und zum so erhaltenen mittleren Rollwiderstand in der Geraden der Kurvenwiderstand für die berechnete mittlere Krümmung nach der bewährten Formel von Röckl zugeschlagen. Das Resultat wurde dann noch sicherheitshalber nach oben aufgerundet. Damit ist für bestimmte Transportmengen, Zugsgewichte und Fahrplan die Reibungsarbeit für einen bestimmten Fahrweg rein mathematisch zu ermitteln, gleich wie die sog. Hebungsarbeit aus den Höhendifferenzen allein.

Arbeitsrückgewinn durch Rekuperation ist aus den auf Seite 48 ff. angegebenen Gründen nicht angenommen; sollte man später doch zu deren Verwendung kommen, so würde sich das Resultat für die elektrische Traktion entsprechend günstiger gestalten. Die Anfahrenergie ist aus den Endgeschwindigkeiten ebenfalls mathematisch bestimmbar.

Für die elektrische Beleuchtung der Züge ist ein später berücksichtigter Zuschlag zu machen, da auch diese Energie dem Fahrdraht entnommen wird. Besondere Rechnungen wie die Erfahrung erwiesen diesen Bedarf als sehr klein; er erreicht nur einige Prozente der Traktionsarbeit. Auch für die Heizung ist, soweit die Energie dafür elektrisch zugeführt wird (siehe darüber Seite 108) später ein entsprechender Betrag zugerechnet.

Die Ermittlung der Tages- und Jahresarbeit wurde mit Rücksicht auf die Lieferung aus verschiedenen Unterstationen und Kraftwerken gebietsweise gesondert vorgenommen.

Das Ergebnis gibt die vorstehende Tabelle an, in der durch Division der Tagesarbeit durch die 24 Stunden des Tages auch die *mittlere Tagesleistung* in Pferdekräften, sowie durch Division der Energie (umgerechnet aus Pferdekraftstunden in Wattstunden), durch die Zahl der Verkehrseinheiten, der Brutto-Tonnenkilometer, auch der spezifische Energieverbrauch in Wattstunden pro Tonnenkilometer des Gesamtzugsgewichts, als charakteristische Zahl für einen elektrischen Betrieb, angegeben ist.

Die Maximalleistung am Radumfang. Für die Bemessung der Kraftwerke, der Unterstationen und der Uebertragungsmittel ist die Kenntnis der maximalen Leistung nötig, welche der Bahnbetrieb des bedienten Gebiets erfordert. Dazu muss der zeitliche Verlauf der Leistung in PS oder KW ermittelt werden. Die Studienkommission hat die Arbeit nicht gescheut, bei den neuen Gotthardprojekten dafür die genauest mögliche Methode anzuwenden. Wird für einen bestimmten Zeitmoment die fahrplanmässige Lage aller Züge festgestellt, so lässt sich für jeden Zug und damit durch Summation auch für alle zusammen aus Gewicht, Geschwindigkeit und allfälliger Beschleunigung, vorhandener Steigung und Kurve die erforderliche Leistung berechnen. Diese Rechnungsarbeit ist für die einzelnen in Betracht kommenden Gebiete und die ganze Gotthardbahn durchgeführt worden, im allgemeinen für Intervalle von 10 Minuten, zu den kritischen Zeiten der Maximalbeanspruchung alle 5 Minuten oder auch noch häufiger. Einen erheblichen Einfluss auf das Resultat haben dabei die zwar kurzzeitigen, aber grossen Leistungen für das Anfahren. Diese sind so gerechnet, dass mit einer dem betreffenden Triebmittel angepassten Beschleunigungsart die früher (Seite 32) erwähnten, gegenüber dem Dampfbetrieb wesentlich erhöhten, mittleren Beschleunigungen erreicht werden. Dabei sind jeweilen sämtliche Anfahrten berücksichtigt, die genau zur gewählten Minute oder kurz vor- und nachher eintreten können, und da der Fahrplan es mit sich brachte, dass gerade zu jenen Zeiten — den geraden 10er Minuten der Uhr — besonders viele Anfahrten stattfinden, so wird die wirkliche Beanspruchung für Anfahrleistung eher kleiner, unter keinen Umständen grösser sein als sie berechnet wurde. Das Ergebnis der Rechnungen ist folgendes:

Erforderliche Maximalleistungen am Radumfange für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn

in Pferdestärken:

Für das Gebiet:	Im Durchschnitts- verkehr:	lm Maximal- verkehr:
Reussgebiet	10 530	15 240
Nördlicher Tessin .	10 170	12 370
Südlicher Tessin .	9 300	13 880
Ganzer Tessin	13 700	20 760
Ganzer Kreis V .	21 820	31 840

Das Verhältnis der maximalen zur mittleren Leistung am Radumfang. Vergleicht man diese maximalen Leistungen mit den in der Tabelle zu Seite 79 enthaltenen mittleren Leistungen, so ergeben sich die Verhältniszahlen zwischen der maximalen und dieser Leistung zu den verschiedenen Jahreszeiten, besonders aber das extreme Verhältnis zwischen der absoluten Maximalleistung und der mittleren Leistung des Jahres, bezogen auf den Radumfang: Die Zahlen, die schon auf Seite 44 des Kapitels über den Systemvergleich genannt wurden:

4,4 für das Reussgebiet, 3,3 für das Tessingebiet, 3,3 für

das ganze Gebiet der Gotthardbahn.

Bezogen auf die Leistungen in den Kraftwerken werden diese Zahlen aber kleiner. Denn es sind nun zu bestimmen:

Die Verluste in den Zwischenmitteln von den Kraftwerken bis an die Triebräder, d. i. in den Triebmotoren, ihren Zubehörden und Antriebsmechanismen, den Fahrdraht- und Speiseleitungen, den diese selbst speisenden Transformatoren der Unterstationen, in den Uebertragungsleitungen zu diesen von den Kraftwerken aus, und in den Auftransformatoren, Generatoren und Turbinen der letztern selbst. In allen diesen Zwischenmitteln wechseln die Verluste sehr stark mit deren Beanspruchung (Leistung); der Verlauf des Wirkungsgrades als Funktion der Leistung ist bekannt; damit sind die Verluste für jeden Betriebszustand jedes Teils und des Ganzen bestimmbar. Praktisch kann diese Rechnung natürlich nicht für jeden Moment des Tages oder Jahres vorgenommen werden, dagegen können durch gewisse technische Methoden, deren Schilderung hier nicht

wohl möglich ist, die Mittelzustände der Beanspruchung aller Teile bestimmt, und daraus die im Jahresmittel auftretenden Verluste, bezw. Wirkungsgrade berechnet werden. Diese hier angewandte, allerdings sehr zeitraubende Methode, liefert genügend genaue Resultate, während dies bei einer blossen Schätzung des Mittelzustandes und der mittleren Wirkungsgrade, wie sie gewöhnlich vorgenommen wird, nicht der Fall ist.

Zur Bestimmung der Verluste in den Zwischenmitteln ist auch die Kenntnis der *Leistungsfaktoren* der Motoren (Verhältnis zwischen der wirklichen Leistung zu der scheinbaren, welcher die aufgenommene Stromstärke entspricht, siehe Seite 38) erforderlich, die in analoger Weise wie die Wirkungsgrade mit der Beanspruchung der Motoren wechselt und darnach in den Mittelwerten berechnet wurde.

Die Ermittlung der Wirkungsgrade und Leistungsfaktoren für die *maximalen* Beanspruchungen ist in einfacherer Weise noch genauer möglich.

Von diesen umfangreichen Untersuchungen möge nun hier lediglich das Ergebnis in Form nebenstehender Tafel Platz finden.

Wirkungsgrade vom Radumfang bis zu den Turbinenwellen für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

	be Durchschn	im ittsverkehr	beim Maximalverkehr			
Für den Anlageteil:	bei der Maximal- leistung des Tages	bei der mittleren Leistung des Tages	bei der Maximal- leistung des Tages	bei der mittleren Leistung des Tages		
Fahrzeuge	0,75	0,68	0,78	0,70		
Fahrdraht	0,95	0,98	0,94	0,97		
Transformatoren	0,97	0,94	0,97	0,94		
Uebertragungsleitungen	0,93	0,98	0,90	0,96		
Generatoren mit Trans-						
formatoren	0,88	0,81	0,89	0,83		
Insgesamt	0,56	0,50	0,57	0,51		

Der Kraftbedarf ab Kraftwerken. Hiemit ergeben sich nun aus den früher (Seite 78 ff.) angegebenen Werten für die Maximalleistung und die Tages- und Jahresarbeit am Triebradumfang folgende Werte für das

Krafterfordernis an den Turbinenwellen der Kraftwerke für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

in PS	Tagesarbeit in PS-Stunden	Jahresarbeit in PS-Stunden
27 000	250 000	58 000 000
22 000	260 000	59 000 000
25 000	180 000	43 000 000
37 000	440 000	102 000 000
56 000	690 000	160 000 000
	27 000 22 000 25 000 37 000	27 000 250 000 22 000 260 000 25 000 180 000 37 000 440 000

Für die Berechnung des Wasserhaushalts der Kraftwerke ist noch die Kenntnis der Wirkungsgrade der Turbinen nötig. Diese wurden unter Beizug von Turbinenspezialisten unter der Annahme bestimmt, dass speziell für die stark wechselnde Beanspruchung konstruierte Turbinen gewählt werden, die sich so bauen lassen, dass ihre Leerlaufverluste im Verhältnis zum mittleren Wasserverbrauch nicht so gross sind wie bei den gewöhnlichen, für stärkere Ausnützung konstruierten Turbinen. Die in Anrechnung gebrachten Wirkungsgrade der Turbinen sind:

73% für die bei Maximalleistung der Kraftwerke vorkommende Leistung,

68% im Mittel eines Tages des Maximalverkehrs, und

65% im Jahresmittel.

Die Kraftwerke.

Allgemeines.

Die Lage des zentralen Teils der Gotthardlinie in nächster Nähe der bedeutenden Wasserkräfte des Reuss- und Tessin-Gebiets beantwortet ohne weiteres die Frage, welche Wasserkräfte für die Energiebeschaffung für den elektrischen Betrieb des Kreises V zu wählen seien. Demgemäss haben sich auch die schweizerischen Bundesbahnen die Gesamtwasserkräfte der Reuss von Andermatt bis Amsteg mit Inbegriff der Kräfte der Meienreuss, des Fellibachs und des Kärstelenbachs gesichert, ebenso den Ritom-See nebst Zuund Abflüssen, die Tessinkraft beim Monte Piottino, dazu den Tremorgio-See, die Piumegna und die übrigen Gewässer der Leventina bis Lavorgo.

Die sehr gründlichen Studien des wassertechnischen Mitarbeiters der Kommission über die natürliche Wasserführung und den möglichen künstlichen Wasserhaushalt dieser Gewässer haben gezeigt, dass für den projektierten Zukunftsbetrieb der Ausbau folgender Gefällsstufen bezw. Werke genügt:

Für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn benützte Wasserkräfte und deren hydrographische Verhältnisse.

Gefälls	sstufe	Brutto-	Minimales Monatsmittel	Einzugs-	Ungefährer nutzbarer
von	bis zum Werk bei	gefälle	der Wassermenge	gebiet	Akkumulier- raum
		m	m³/Sec.	km^2	m^3
Urnerloch .	Göschenen ·	370	1,97	192	22 000
Pfaffensprung	Amsteg 1)	282	4,4	523	65 000
Ritom-See .	Piotta	828	1,22)	231	25 000 000 bis 32 000 000

1) Mit Einbezug des Fellibachs, Kärstelenbachs und Etzlibachs.

2) Dies ist die durchschnittliche jährliche Wassermenge.

Es verbleiben somit das zwischen Göschenen und Wassen ausnützbare Gefälle von Reuss und Meienreuss von 230 m mit 3,15 m³/Sec. Minimalwassermenge und 358 km² Einzugsgebiet, sowie dasjenige des Tessin mit Neben-

flüssen am Monte Piottino für ein Werk bei Lavorgo mit 320 m Bruttogefälle, 4,0 m³/Sec. Minimalwasser und 295 km² Einzugsgebiet, noch zu freier Verfügung, sei es für eine spätere Zukunft oder für Ueberlassung an die Privatindustrie für andere Zwecke; ebenso bleibt die Vergrösserung der Kraft des Ritom-Sees durch Ueberleitung der Wasser des Medelser-Rheins, welche ohne höhergehende

Stauung des Sees durchführbar ist, in Reserve.

Für das Reussgebiet würde das Werk Amsteg allein genügend Jahresarbeit liefern, jedoch, wegen zu geringer Akkumulation, nicht die Tagesarbeit für einen Maximalverkehrstag, wenn dieser, wie vorkommen kann, in die Zeit des Minimalwassers fällt. Das Ritomwerk kann selbstverständlich für praktisch beliebig grosse Tagesarbeit eingerichtet werden, liefert aber nicht die ganze für das Tessingebiet nötige Jahresarbeit. Dagegen könnten die Werke Amsteg und Ritom zusammen sowohl Jahresarbeit als Tagesmaximum liefern. Mit Rücksicht darauf, dass alsdann eine sehr bedeutende Ueberleitung von Energie durch den Tunnel nötig wäre, die besser auf einen geringern Umfang beschränkt wird, und damit auch im Falle von Störungen in dieser Ueberleitung die Werke auf jeder Seite des Gotthard imstande seien, ihr Gebiet je für sich allein zu speisen, ist die gleichzeitige Erstellung des Werks Göschenen, das nach Lage, Grösse und Kosten sich am besten eignet, dennoch ins Projekt aufgenommen worden.

Würden die beiden Werke Amsteg und Göschenen auf die Maximalleistung für den ganzen Kreis, d. i. auf 56,000 PS ausgebaut, was leicht möglich wäre (wie sie denn auch sehr wohl zusammen eine den Maximaltagen entsprechende Tagesarbeit akkumulieren könnten), so liesse sich hinwiederum der ganze Bedarf des Kreises V während des grössten Teils des Jahres aus diesen Werken allein decken und das Ritomwerk hätte lediglich etwa von November bis April einen gewissen Ausfall zu ersetzen und wäre nur für eine kleine Leistung auszubauen. Die oben schon wahrgenommene Rücksicht darauf, dass jede Seite des Gotthard für den Notfall für sich selbst genügend Kräfte besitze, lässt auch hiervon absehen und führt dazu, das Ritomwerk für eine Leistungsfähigkeit auszubauen, die

dem Maximalbedarf des Tessingebiets genügt.

Dies angenommen, ist unter mehreren Voraussetzungen über ungünstige, lange Dauer des Maximalverkehrs zu verschiedenen Jahreszeiten untersucht worden, für welche Leistung alsdann Amsteg und Göschenen auszubauen seien. Nach der bisherigen Erfahrung findet der stärkste, ungefähr dem angenommenen maximalen entsprechende Verkehr in den Monaten August bis Oktober mit ungefähr 2½ Monaten Dauer statt. Darf man dies auch für die Zukunft voraussetzen, so würde ein Ausbau von Amsteg und Göschenen auf zusammen 45,000 PS nebst dem Ritom-See weitaus genügen; der grösseren Sicherheit halber ist aber, unter Berücksichtigung der möglichen Grössen der einzelnen Turbinen, die Leistungsfähigkeit der Werke im Vergleich zum Bedarf der Gebiete wie folgt projektiert worden:

Leistungserfordernis und Ausbau der Kraftwerke für den zukünftigen Betrieb der Gotthardbahn.

Für das Gebiet:	erforderliche Maximalleistung	installierte Turbinenleistung 1)	In den Kraftwerken:
	PS	PS	action of the second
Reussgebiet .	27 000	20 000	Göschenen
recussgebiet .	2,000	30 000	Amsteg
Tessingebiet .	37 000	37 500	Ritom (Piotta)
Ganzer Kreis V	56 000	87 500	
1) In Betrieb	zu nehmende Mas	chinen, wozu die F	Reserveaggregate

¹⁾ In Betrieb zu nehmende Maschinen, wozu die Reserveaggregate noch hinzukommen.

Macht man nun die denkbar ungünstigste Betriebsannahme, dass der *Maximalverkehr*, wie er oben für die Zukunft angenommen worden, vom I. September bis zum I. März andauere, so wären dem Ritom-See etwa 24½ Millionen m³ zu entnehmen. Da der See gegenwärtig in ungestautem Zustande rund 25 Millionen m³ fasst und die vorige Annahme selbst für eine spätere Zukunft kaum jemals eintreffen wird, da der Maximalverkehr heute noch viel kleiner ist und jeweilen nicht halb so lange andauert, so darf angenommen werden, dass vorläufig

von einer Aufstauung des Ritom-Sees Umgang genommen werden kann. Im Projekte ist aber dennoch eine Aufstauung um 7 m, d. h. auf einen Inhalt von rund 32 Millionen m³ vorgesehen. Jene, für die spätere Zukunft als grösstmögliche denkbare Wasserentnahme im Winter würde dann eine Absenkung bis auf Cote 1806,0 ergeben und noch 6 Millionen m³ Reserve im See lassen. Die sorgfältig für alle Fälle durchgearbeiteten Wasserwirtschaftsdiagramme zeigen, dass es trotz dieser starken Entnahme unter allen Umständen möglich ist, den See wieder vollständig zu füllen. Nimmt man die Stauung des Ritom-Sees um 7 m vor, so zeigt die Untersuchung, dass der Bedarf des angenommenen Zukunftsverkehrs sich dann sogar ohne das Werk Göschenen decken liesse. Auch von dieser Erleichterung ist im Projekte Umgang genommen. Bei der im Projekte angenommenen starken Ausnützung der Reusskräfte würde beim extremsten Zukunftsverkehr am Ritom-See noch ein Ueberschuss von 6 Millionen m³ Wasser über die Staumauer überfallen.

Die im Projekte vorgesehene Versorgung mit den drei Werken Ritom, Göschenen und Amsteg erfordert also für den angenommenen, starken Zukunftsverkehr eine gewisse Ueberleitung von Energie vom Reussgebiet nach dem Kanton Tessin im Sommer, und vom Tessin ins Reussgebiet im Winter; auf ein Jahr bezogen ist dabei wesentlich mehr Energie vom Reussgebiet nach dem Tessingebiet überzuleiten als umgekehrt.

Beschreibung der Kraftwerke.

Die Anlage der Kraftwerke ist eingehend studiert worden, besonders ist im wasserbaulichen Teile, soweit als ohne eine genauere Terrain-Vermessung möglich war, die Gestaltung und Bauweise aller Objekte genau behandelt worden. Im vorliegenden Bericht müssen wir uns auf die Skizzierung der Hauptsachen beschränken. Betreffend Gefälle und Wassermengen sei auf Seite 84 verwiesen.

Ritomwerk. Das Projekt ist für eine Benützung des Ritomsees unter Aufstauung auf die Cote 1838,5 und Absenkung auf 1806,0 ü. M. gegenüber dem natürlichen Mittel-

wasserspiegel von Cote 1831,5 ausgearbeitet. Die Anlagen am See (Sperrwerk, regulierbarer Ueberfall, Grundablassstollen, Anzapfungsstollen unter Druck, Rechenanlagen, druckausgleichender Wasserturm, mehrfache Rohrleitungsabschlüsse, Apparatenhaus etc.) sind mit Rücksicht auf die für die vorliegenden Verhältnisse nicht einfach zu erfüllenden Anforderungen eines ununterbrochenen, sicheren Betriebs besonders sorgfältig projektiert worden. Anzahl, Kaliber und Kaliberabstufung der Druckleitungen wurden durch eingehende Wirtschaftlichkeits-Rechnungen bestimmt, die Art der Rohre und ihrer Abdichtung für den sehr hohen Druck nach neuesten Erfahrungen festgesetzt. Es sind 3 Rohrstränge vorgesehen, normal jeder für 15 000 PS, durch eigenartige Verbindung gegenseitig Reserve bildend und insgesamt zur Speisung von 7 Turbinen zu je 7500 PS genügend, von denen vorläufig 6 Stück (eines davon in Reserve) im Maschinenhause am linken Tessinufer gegenüber Piotta aufgestellt würden, gekuppelt mit Einphasengeneratoren von 6000 KVA Maximalleistung bei 16 000 Volt und 15 Perioden. Dazu 2 Erregermaschinen mit eigenen Turbinen, ferner Auftransformatoren auf 45 000 Volt für den grösseren, nicht direkt in 16 000 Volt an den Fahrdraht abgegebenen Teil der Leistung des Werks. Ein angebautes Schalthaus enthält die Schaltanlage mit allen Zubehörden.

Werk Göschenen. Das Wasser der Reuss wird beim Urnerloch gefasst und durch einen Stollen im rechtsufrigen Felshange der Schöllenen bis ob Göschenen geführt. Alle wünschenswerten Zubehörden zur Wasser-Fassung und -Führung sind vorgesehen, auch eine Erweiterung des Stollens zu einem kleinen Reservoir, von wo eine aus 2 Rohrsträngen bestehende Druckleitung an die Reuss hinunter führt, an deren Ufer bei Göschenen das Maschinenhaus zu stehen käme, mit 2 Erregergruppen und 4 Turbinen-Generatorgruppen (wovon eine in Reserve), Platz für eine weitere Gruppe und analoger elektrischer Ausrüstung wie beim Ritomwerk.

Werk Amsteg. Für dieses wird das Reusswasser am Pfaffensprung und das Wasser des Etzli- und Kärstelenbaches bei deren Zusammenfluss gefasst und mittels Stollen, die am untern Ende als Reservoir erweitert, nach einem Wasserschloss ob Amsteg geführt; von hier gehen 2 Druckrohrstränge, jeder für 15 000 PS, zum Maschinenhause hinunter. Wasserfassung, Stollen und Ueberführungen in die Druckleitung sind in analoger Weise mit allen nötigen Hilfseinrichtungen versehen wie bei den bereits geschilderten Werken; in den Reusstollen wird auch noch der Fellibach eingeleitet. Das Maschinenhaus an der Reuss ob Amsteg hat ausser für die zwei Erregermaschinengruppen Platz für 5 Maschinengruppen zu je 7500 PS, wovon 4 aufgestellt würden, mit gleicher Anordnung und elektrischer Ausrüstung wie bei den andern Werken.

Die Energieverteilungs- und Fahrdraht-Anlagen.

Allgemeines. Die Speisung des Fahrdrahts mit 15000 Volt geschieht einerseits direkt von den Kraftwerken Amsteg, Göschenen und Piotta aus (deren Generatoren bis zu 16000 Volt geben), anderseits von 3 Unterstationen in Goldau, Giubiasco und Lugano, nach denen die Energie von den Kraftwerken aus (nach Passierung von dort aufgestellten Auftransformatoren 15000/45000 Volt) mittels Uebertragungsleitungen in 45000 Volt geliefert und in Transformatoren auf Fahrdrahtspannung herabgesetzt wird. Der bereits (auf Seite 85) erwähnten Ueberleitung von Energie von einem Gebiet zum andern dienen Verbindungsleitungen teils in Ober-, teils in Unterspannung. Zur eigentlichen Fahrdrahtleitung mit 15000 Volt über den Geleisen führen von Kraftwerken und Unterstationen aus Speiseleitungen mit 15000 Volt parallel zur Bahnanlage.

Übertragungsleitungen. Je eine solche führt vom Werk Amsteg nach Goldau und vom Werk Piotta nach Giubiasco und nach Lugano. Die beiden letztern sind zwischen Piotta und Giubiasco auf getrennten Gestängen geführt, können sich aber durch Schaltung in Giubiasco aushelfen. Die Querschnitte sind so berechnet, dass im normalen Zustand bei den Maximalleistungen der betr.

Unterstationen ca. 7 bis 8% (in den Werken ausregulierbarer) Spannungsabfall eintritt, sodass notfalls an Stelle einer vorhandenen Doppelleitung auch je eine einfache noch genügt. Die erstgenannte Leitung hat pro~Pol~Ioo, die zweite $2\times \text{Ioo}$, die dritte $3\times \text{Ioo}$ mm² Querschnitt. Das Gestänge besteht aus einbetonierten Gittermasten mit Holzeinsatz und folgt passenden, nicht ans Bahngeleise gebundenen Tracen.

Verbindungsleitungen der Werke. Eine doppelte solche, auf zwei unabhängigen Tracen als Freileitung wie die vorbeschriebenen Leitungen ausgeführt, verbindet die Werke Amsteg und Göschenen. Auf jedem Gestänge sind 3 parallelgeschaltete Leitungen mit je 75 mm² Querschnitt pro Pol, im ganzen zwischen den Werken also 450 mm² pro Pol gespannt, um jene zeitweise Ueberleitung von Amsteg nach Göschenen, bezw. von dort dann weiter ins Tessin zu ermöglichen. Dies geschieht unmittelbar in Generatorspannung von 16 000 Volt, die gewählt wurde wegen grösserer Sicherheit, besonders auch für die Verbindungsleitung Göschenen-Piotta, die nicht nur im Tunnel, sondern bis Piotta als Kabel geführt ist und aus 4 armierten, an 2 räumlich getrennten Stellen geschützt verlegten Kabeln von je 175 mm² (insgesamt also 700 mm² pro Pol) besteht.

Unterwerke. Diese, in Goldau, Giubiasco und Lugano, sind Transformatorenstationen, gleichzeitig als Schaltstellen für Uebertragungs-, Verbindungs-, Speise- und Fahrdrahtleitungen ausgebildet, und zwar beziehungsweise mit Transformatoren für 7800, 13000 und 7800 KVA Maximalleistung der Betriebstransformer, nebst je einem Reservetransformer von 2600 KVA Leistung.

Fahrdrahtanlage und Speiseleitungen. Ueber jedem Geleise ist ein Profildraht von 100 mm² Kupferquerschnitt in Vielfachaufhängung an Stahldrahtseil montiert; mit Ausnahme von Nebengeleisen und in Tunnels, wo engere Aufhängung eintritt, ist überall noch ein Hülfstragdraht vorgesehen.

Das Gestänge des Fahrdrahts, das auch die Speiseleitungen trägt, besteht aus einbetonierten, einfach gebauten Gittermasten. Auf eingeleisiger offener Strecke stehen diese Masten einseitig und tragen die Vielfachaufhängung an Auslegern, bei zweigeleisigen Strecken und in Bahnhöfen stehen sie beidseitig und bilden mittels Quer-

träger Joche.

Auf dem Fahrdrahtgestänge sind durchwegs noch Speiseleitungen angebracht, und zwar mit Querschnitten pro Pol von 50 mm² auf den Strecken Zug-Goldau und Giubiasco-Locarno, von 64 mm² auf den Strecken Luzern-Goldau, Lugano-Chiasso und Piotta-Giubiasco, von 100 mm² auf der Strecke Piotta-Amsteg-Goldau, von 50 + 64 mm² von Giubiasco bis Lugano.

Beim normalen Zustand der Fahrdraht- und Speiseleitungen ist bei den Maximalleistungen bis auf 15% totalen Spannungsabfall in Leitungen und Schienen gerechnet.

Die Speiseleitungen sind in den Stationen an die Fahrleitungen angeschlossen, die dortselbst ebenfalls unterteilt und durch Sicherheits-Zwischenstrecken getrennt sind. Bei Defekt einzelner Fahrdrahtstrecken können die Speiseleitungen als, die beidseitige Verbindung wahrende Umgehungsleitungen dienen.

Für die Schaltungen in den Stationen sind konzentrierte Bedienungsstellen mit Fernbetätigung und Rücksignalen

am Stationsperron projektiert.

Gemeinsames. Die angenommene Disposition der Leitungs- und Verteilanlagen betrachtet die Studienkommission nicht als die einzig zweckmässigen; es ist wohl möglich, dass das nähere Studium hier zu etwas veränderten Anordnungen führt. Die Bearbeitung mehrerer solcher hat aber gezeigt, dass die Kosten dadurch unwesentlich beeinflusst werden.

Das Rollmaterial.

Die elektrischen Triebfahrzeuge. Die Wahl der Typen der elektrischen Triebfahrzeuge muss einerseits mit Rücksicht auf die zu erzielenden Zugkräfte und Geschwindigkeiten, anderseits mit Rücksicht auf eine gute mittlere Ausnützung der Motoren geschehen; sowohl Typen als

anzuschaffende Anzahl sind ferner so festzusetzen, dass eine möglichst rationelle Diensteinteilung der Triebfahrzeuge entsteht. Für die Schnellzüge wie für die Güterzüge ergibt sich schon wegen des durchgehenden Wagenmaterials von vornherein der Lokomotivbetrieb als notwendig, während für die Personenzüge der Vorteil der Motorwagen, d. i. die Verminderung des toten Gewichts bei gleichzeitiger Erhöhung der Anfahrzugkraft für die hier besonders notwendigen grossen Beschleunigungen, ausgenützt werden kann. Für die Schnellzüge ist die Anwendung eines einzigen, einheitlichen Lokomotivtyps durch die Verhältnisse sozusagen gegeben, mit Ausnahme der Strecken Zug-Goldau, Bellinzona-Luino und Bellinzona-Locarno, über die weiterhin Näheres folgt. Für die Güterzüge könnte es sich um die Ausführung eines leichteren Lokomotivtyps für die Strecken Luzern-Goldau und Bellinzona-Locarno handeln; da sich aber dadurch eine ungünstige Diensteinteilung und Ausnützung der Lokomotiven ergäbe, erweist sich auch hier die Verwendung einer Einheitslokomotive für alle Güterzüge als richtiger.

Für die Motorwagen ist dagegen die Einführung eines schwereren und eines leichteren Typs zweckmässig, wobei dem schwereren nicht nur die durchgehenden Personenzüge Luzern-Chiasso und die Personenzüge Biasca-Chiasso und Zug-Goldau zugewiesen werden, sondern mit Vorteil auch die Schnellzüge Zug-Goldau und Bellinzona-Luino. Der leichtere Typus würde die Personenzüge Luzern-Erstfeld, Bellinzona-Luino und Bellinzona-Locarno (auf letzterer Strecke mit Inbegriff der früheren sogenannten

Schnellzüge) besorgen.

Für die verschiedenen Triebfahrzeuge ergeben sich auf diese Weise die in nachstehender Uebersicht aufgeführten Daten bezüglich erforderlicher Leistungsfähigkeit, mechanischen Leistungen auf den grossen Steigungen und in der Ebene, und mit Rücksicht auf das Längenprofil der Bahn als "normal" zu betrachtende Betriebsverhältnisse, Zugskräfte und Geschwindigkeiten; ferner bestimmte die, genau nach dem angenommenen Fahrplan aufgestellte Diensteinteilung die Anzahl der für Betrieb und Reserve erforderlichen Triebfahrzeuge, wie folgt:

Hauptdaten der elektrischen Triebmittel für den zukünftigen Betrieb der Gotthardbahn.

	Erforderliche Leistungen				Vorgesehene Ausführung									
	Es ist im Maximum zu befördern: auf grösster Stei- gung von 26 0/00 Bahn			für folgende normale Daten:			mit dem Gewichte:		in der Anzahl der Triebmittel:					
Art und Zweck des Triebmittels:	ein an- gehäng- tes Zugs- gewicht von t	mit der Ge- schwin- digkeit von km/h	ein an- gehäng- tes Zugs- gewicht von t	mit der Ge- schwin- digkeit von km/h	Normale Steigung	Nor- male Zugkraft kg	Nor- male Ge- schwin- digkeit km/h	Leistung PS	Total t	für Ad- häsion t	für den Durch- schnittsverkehr	Zuschlag für Maximalverkehr	Zuschlag f. Reserve und Reparatur	Total
Lokomotive für Schnellzüge	320	50	320	90	26	12 000	50	2200	100	72	7	3	5	15
Lokomotive für Güterzüge	320	35	560	45	26	11 500	35	1500	80	80	24	5	9	38
Motorwagen, schwere Type	200	50	200	90	26	6 000	50	1100	68 (elektrische	68	9	-	5	14
Motorwagen, leichte Type	auf 10 %00 150	Steigung 60	150	75	10	2 000	50	400	Ausrüstung 36 t) 46 (elektrische Ausrüstung 18 t)	46	5	_	2	7

Wie den in der Tabelle aufgeführten Gewichten zu entnehmen ist, sind bestimmte Triebfahrzeuge ins Auge gefasst, die für diese Verhältnisse durch Konstruktionsfirmen entsprechend neueren, bewährten Ausführungen entworfen und dem Projekte zugrunde gelegt worden; deren nähere Beschreibung kann hier wohl umgangen werden.

Für den Rangierdienst sind zunächst bisherige Dampflokomotiven vorgesehen, und zwar stünden nach aufgestellter Diensteinteilung deren 21 im Dienst, die auf die verschiedenen grösseren Bahnhöfe verteilt sind, wozu noch 7 Stück für Reserve und als in Reparatur befindlich angenommen wurden.

Die Vermehrung des Wagenparks für den zukünftigen Betrieb. Die, gegenüber dem jetzigen Dampfbetrieb stark gesteigerte Verkehrsmenge des angenommenen zukünftigenBetriebs würde eine erhebliche Vermehrung des allgemeinen Wagenparks erfordern. Die Steigerung der Verkehrsarbeit gegenüber dem gegenwärtigen Dampfbetrieb beträgt ungefähr 49% für den Personenverkehr und etwa 19% für den Güterverkehr. Die wesentlich grösseren Fahrgeschwindigkeiten der Personenzüge gestatten aber eine höhere Ausnützung des Personen-wagenmaterials als bisher. Dies berücksichtigt, ist mit einer Vermehrung der Achsenzahl an Personenwagenmaterial um 40%, bei den Güterwagen um 20% gerechnet. Es ergibt dies zu den bereits gerechneten 84 Motorwagenachsen noch 256 neue Personenwagenachsen und 753 Güter- und Gepäckwagenachsen. Diese Vermehrung des Wagenparks fällt zwar nicht eigentlich der Elektrifikation zur Last; da aber der erhöhte Verkehr sie immerhin erfordert und mit ihr auch die allgemeinen wirtschaftlichen Vorteile einer Verkehrssteigerung erreicht werden, sind die Auslagen dafür doch in den Neuanlagekosten für die Elektrifizierung eingerechnet worden.

Verschiedene Anschaffungen an Rollmaterial. Da noch auf Jahre hinaus viele der auf der Gotthardbahn verkehrenden Wagen, vor allem der fremden Bahnen, für Dampfheizung eingerichtet sein werden, ist das Endziel, die Einführung direkter elektrischer Beheizung aller Wagen unter Stromentnahme dafür vom Fahrdraht, noch lange nicht erreichbar und muss mit einem Uebergangsstadium gerechnet werden. Vorläufig ist angenommen, dass die elektrischen Schnellzugslokomotiven mit Heizkesseln für Oelfeuerung ausgerüstet werden, die eine ganz geringe Gewichtsvermehrung dieser Lokomotiven bringen. Für die von Motorwagen gezogenen Personenzüge kann im allgemeinen das Rollmaterial leicht sofort für elektrische Heizung eingerichtet werden. Für eine beschränkte Anzahl anderer Züge wären dann noch besondere Heizwagen anzuschaffen und in die Züge einzustellen, ebenfalls mit Dampfkesseln für Oelfeuerung.

Für alle elektrischen Triebfahrzeuge ist ausser der Reservestellung ganzer Fahrzeuge noch die Beschaffung einzelner Reservebestandteile ins Projekt aufgenommen.

Verschiedene Neuanlagen und Änderungen.

Anderungen an Depotanlagen und Reparaturwerkstätten. Die Verhältnisse, die sich beim elektrischen Betrieb in Depots und Werkstätten einstellen werden, sind im einzelnen untersucht worden. Im allgemeinen wird die elektrische Traktion um die Hälfte weniger Platz an Lokomotivständen erfordern als die heutige Dampftraktion. Doch werden längere Zeit, namentlich während des Uebergangs, Dampflokomotiven in grösserer Zahl in den Depots bleiben. Anderseits sind die vorhandenen Remisen für die elektrischen Lokomotiven nicht unmittelbar passend und es bedarf auch neuer Einrichtungen, wie z. B. Spezialwerkzeugmaschinen und Rüstzeug für den Unterhalt der Triebfahrzeuge und Leitungen. Ergänzungen der Remisenanlagen in Erstfeld und Chiasso, Spezialeinrichtungen in allen Lokomotivdepots und besonders in der Werkstätte Bellinzona werden so notwendig, die generell projektiert wurden.

Umbau der Schwachstromanlagen. Im Abschnitt "Vergleich der Systeme" ist die Notwendigkeit und Art der Umbauten an den Schwachstromanlagen gezeigt worden;

wir verweisen besonders auf die Seiten 56-58. Für die Gotthardbahn ist nach diesen Grundsätzen ein vollständiges Umbauprojekt in den Einzelheiten studiert worden, unter Mitarbeit der Organe der Bahn und der eidgenössischen Telegraphendirektion. Es folgen gegenwärtig dem Bahnkörper sowohl bahndienstliche als eidgenössische Schwachstromleitungen in z. T. sehr grosser Zahl, zumeist als Freileitungen, in mehreren Tunnels als Kabel. Freileitungen müssen bei Erstellung der Traktionsleitungen auf dem grössten Teil der Bahnlänge vom Bahnkörper weichen. Da die Zahl der Drähte ohnehin sehr gross ist und mehrere Gestänge erfordert, wurde vorgesehen, die bahndienstlichen Leitungen von denen der Telegraphendirektion derart zu trennen, dass jede Gruppe besonderes Trace erhält. Die ersteren würden in ein Trace möglichst nahe der Bahn verlegt, im allgemeinen auf etwa 20 m Abstand von den Fahrdrähten und Speiseleitungen der Traktion, wodurch die Induktionswirkungen schon bedeutend abgeschwächt werden, die Zuführung der Leitungen zu den bahndienstlichen Apparaten und die Kontrolle durch die Bahnorgane noch nicht zu sehr erschwert ist. Die Leitungen der Telegraphendirektion dagegen würden in ein weiter entferntes Trace verlegt, das im allgemeinen der Strasse folgen und von dieser aus kontrolliert würde.

Die Verkehrssteigerung wird schon an sich eine Vermehrung der bahndienstlichen Verbindungsmittel gegenüber dem gegenwärtigen Zustande erfordern; es muss daher mit dem Umbau nicht bloss der gegenwärtigen, sondern vermehrter Schwachstrom-Leitungen gerechnet werden. Die neuen bahndienstlichen Schwachstromlinien würden auf neuem Holzgestänge, das je nach Drahtzahl einfach oder mehrfach sein wird, im allgemeinen mit 3 mm Bronze-Drähten in doppeldrähtiger Anlage (Schleifenleitungen) ausgeführt, und zwar die Leitung für den Bahntelegraph wie bisher, dann eine neue Telephonverbindung von Blockwerk zu Blockwerk und die Signalläutwerkleitung; die elektrische Streckenblockierung, die gegenwärtig nur teilweise besteht, würde auf die ganzen Hauptlinien ausgedehnt und mit metallischer Rückleitung versehen. Sämtliche Schleifenleitungen würden öfter gekreuzt und durch Entladespulen an Erde gelegt, die Telephonleitungen mit Pupin-Spulen versehen. Wo die lokalen Verhältnisse die Führung dieser bahndienstlichen Leitung als Freileitung nicht gestatten, sind passende Kabel, in Eisenkanalschutz in den Bahnkörper verlegt, vorgesehen.

Die Signalleitungen zur Rückmeldung der Signalbewegungen und zur elektrischen Signalbeleuchtung werden mit Starkstrom betrieben und deren Leitungen auf dem

Fahrdrahtgestänge geführt.

An den lokalen Schwachstromleitungen der Stationen, bei den Stellwerken, Telephonapparaten etc. sind eine Reihe nötiger und wünschenswerter Aenderungen in Rech-

nung gebracht.

Die Verlegung sämtlicher Leitungen der Telegraphendirektion auf ein neues Gestänge ist von der Telegraphendirektion selbst projektiert worden. Ausser den dafür angenommenen Arbeiten wird eventuell noch die Auswechslung einiger Tunnelkabel gegen induktionsfreie, vielleicht auch die schleifenweise Führung der Freileitungen vorzusehen sein.

Die Kosten der Anlagen und Anschaffungen für die Elektrifizierung.

Allgemeines.

Die Berechnung der Kosten für das im vorstehenden geschilderte Projekt für den zukünftigen Verkehr erfolgte unter Heranziehung aller Mittel, die für die Anwendung möglichst zutreffender Einheitspreise Gewähr bieten konnten. Bei den Kraftwerken sind für die allgemeinen Bauarbeiten die Erfahrungen einer der ersten Baufirmen der Branche benützt und wurde auch bereits auf etwelche Steigerung der Arbeitslöhne Rücksicht genommen, wie sie die nächsten Jahre mutmasslich bringen werden. Für die Rohrleitungen und maschinellen Einrichtungen der Kraftwerke stützen sich die Kostenanschläge auf Detailofferten von ersten schweizerischen Konstruktionsfirmen; Preise ähnlicher Anlagen aus neuester Zeit sind für die gesamten

elektrischen Verteilanlagen zugrunde gelegt worden. Das Kupfer der Freileitungen ist mit einem Lagerpreis von Fr. 2.- per kg eingesetzt. Für das elektrische Rollmaterial nahm man nach Beratung mit den Firmen, welche die betreffenden Typen entworfen, einen Preis von Fr. 1. 50 per kg für die mechanische Ausrüstung und einen solchen von Fr. 3.— für die elektrische Ausrüstung an. Das übrige Rollmaterial ist nach, bei der Gotthardbahn ermittelten Preisen gerechnet. Für den Umbau der Schwachstromanlagen wurde auf Verwendung von Altmaterial nur soweit wahrscheinlich gerechnet; für die neue Leitung der Telegraphendirektion ist zu den von letzterer berechneten Kosten von Fr. 650 000. - aus oben angegebenen Gründen ein besonderer Zuschlag bis auf ein Total von Fr. 1 000 000 gemacht. Hiezu ist jedoch zu bemerken: Da die bisherigen Leitungen der Telegraphendirektion den Bahnkörper der Bundesbahnen benützt haben, dürften nach den Artikeln 9 und 10 des eidgenössischen Gesetzes über elektrische Anlagen diese Umbaukosten nicht den Bundesbahnen zur Last fallen, sondern von der Telegraphendirektion selbst zu tragen sein; die Bundesbahnen vertreten denn auch diese Anschauung. Der Betrag ist aber im Kostenanschlag sicherheitshalber dennoch aufgenommen.

Bei allen einzelnen Posten ist, entsprechend der Art der Arbeit und der grösseren oder geringeren Sicherheit der Projektierung, ein kleinerer oder grösserer Betrag für "Unvorhergesehenes" eingerechnet. So z. B. bei den Kraftwerkprojekten (selbstverständlich ausser den Kosten für Bauleitung und Bauzinsen) in den einzelnen Posten Beträge von im Mittel 6%. Insgesamt ist alsdann noch ein Posten für "General-Unvorhergesehenes" zugeschlagen; dessen Höhe ist derart angesetzt, dass dieser Betrag mit den schon in den Einzelposten für Unvorhergesehenes inbegriffenen Posten zusammengenommen rund 8% der Gesamtsumme ausmacht, damit die Kostenberechnung für das umfangreiche Werk, dessen Ausführung sich auf eine Reihe von Jahren erstrecken wird, finanziell genügend

sicher sei.

Das Resultat der Kostenberechnungen ist das nachstehende:

Voranschlag der Anlagekosten für die Elektrifizierung der Gotthardbahn für den angenommenen zukünftigen Verkehr.

Kraftwerke.

Wasserbaulicher und allgemeiner Teil:	Werk Ritom-Piotta	Werk Göschenen	Werk Amsteg
Wasserfassung mit Zu-	Fr.	Fr.	Fr.
behör, Grundablass,			
Geschiebesammler,			
Bachverbauungenetc.	610 000	220 000	592 000
Zuleitungsstollen bis Wasserschloss, ein-			
schliesslich Reser-			
voirstollen	220 000	I 050 000	3 660 000
Wasserschloss	270 000	170 000	235 000
Druckleitung mit Un-			_33 ***
terbau	3 180 000	910 000	780 000
Verteilleitung beim Ma-			
schinenhaus	245 000	170 000	185 000
Zufahrten etc	250 000	60 000	50 000
Fundationen	750 000	500 000	600 000
Landerwerb, Anteil an	730 000	300 000	000 000
der Konzessionsge-			
bühr	510 000	70 000	120 000
Bauleitung, Bauzinsen			Market of Lin
und Diverses (Unvorhergesehenes bei den	765 000	350 000	728 000
Einzelposten inbegriffen)			
Zusammen	6 800 000	3 500 000	6 950 000
		A Section 1	3930 000
Maschineller und elektrischer Teil:			
Generatorturbinen u.			
Erregerturbinen .	420 000	200 000	265 000
Generatoren u. Schalt-		-6-11	
anlagen Transformatorenanlagen	950 000	560 000	700 000
	27.0 000		135 000
Übertrag	1 640 000	760 000	1 095 000

	Werk Ritom-Piotta Fr.	Werk Göschenen Fr.	Werk Amsteg Fr.
Übertrag Apparate f. abgehende	I 640 0 00	760 000	1 095 000
Leitungen Bauleitung, Bauzinsen	135 000	95 000	80 000
und Diverses Unvorhergesehenes .	110 000 40 000	45 000 20 000	70 000 25 000
Zusammen	1 925 000	920 000	1 275 000
,,	Ritom-Piotta Göschenen . Amsteg ekosten der Ka		8 725 000 4 420 000 8 225 000 21 370 000
· ·	erteilanlagen.		
Übertragungsleitungen	:	Fr.	Fr.
Amsteg-Goldau		680 000	
		850 000	
Göschenen-Piotta .		1 000 000	
		I 250 000	
Piotta-Lugano		1850000	
Bauleitung, Bauzins		0	
verses		338 000	T 004 000
Unvorhergesehenes		26 000	5 994 000
Unterstationen:			
Transformerstationer	n 45 000/16 00	o Volt:	
Goldau		315 000	
Giubiasco		530 000	
Lugano		322 000	
Besondere Anlagen für			
16 000 Volt (soweit			
dort berechnet) in			
werken Amsteg, Gös		T45 000	
Piotta	Dirrogge	145 000 216 000	
Bauleitung, Bauzinsen Unvorhergesehenes .	u. Diverses .	108 000	1 636 000
Gesamtanlagek	eosten der Veri	terlanlagen	7 630 000

Fahrdraht- und Speiseleitungen.

Durchgehende Kontaktleitungen, Speiseleitungen, Geleise- und	Fr.	Fr.
Schienenverbindungen Bahnhof-Kontaktleitungen mit zugehörigen Geleise- und Schienenverbindungen, und Bahn-	5 520 000	
hof-Schaltstationen Spezialkonstruktionen und Abänderungsarbeiten bei Brücken, Perrondächern, Einschnitten, Strassen-, Weg- und Bach-Uebergängen, Passerellen, Besonderes für den grossen Tunnel, Umbau von Hochspannungsüberführungen und Semaphoren und		
verschiedenes Derartiges	365 000	
Bauleitung, Bauzinsen und Diverses	538 000	
Unvorhergesehenes	270 000	
Gesamtanlagekosten der Fahr- und Spe	iseleitungen	9 770 000
D 11		
Rollmaterial.		
Rollmaterial. Triebfahrzeuge: Fr.	Fr.	Fr.
Triebfahrzeuge: Fr. 15 Schnellzugslokomotiven 230 000 38 Güterzugslokomotiven 180 000	3 450 000 6 840 000	Fr.
Triebfahrzeuge: Fr. 15 Schnellzugslokomotiven 230 000 38 Güterzugslokomotiven 180 000 14 schwere Motorwagen . 155 000	3 450 000 6 840 000 2 170 000	
Triebfahrzeuge: Fr. 15 Schnellzugslokomotiven 230 000 38 Güterzugslokomotiven 180 000	3 450 000 6 840 000 2 170 000	Fr. 13 132 000
Triebfahrzeuge: Fr. 15 Schnellzugslokomotiven 230 000 38 Güterzugslokomotiven 180 000 14 schwere Motorwagen . 155 000	3 450 000 6 840 000 2 170 000	
Triebfahrzeuge: Fr. 15 Schnellzugslokomotiven 230 000 38 Güterzugslokomotiven 180 000 14 schwere Motorwagen . 155 000 7 leichte Motorwagen . 96 000	3 450 000 6 840 000 2 170 000	13 132 000
Triebfahrzeuge: Fr. 15 Schnellzugslokomotiven 230 000 38 Güterzugslokomotiven 180 000 14 schwere Motorwagen . 155 000 7 leichte Motorwagen . 96 000 Reservebestandteile Heizeinrichtungen und Diverses:	3 450 000 6 840 000 2 170 000	13 132 000
Triebfahrzeuge: Fr. 15 Schnellzugslokomotiven 230 000 38 Güterzugslokomotiven 180 000 14 schwere Motorwagen . 155 000 7 leichte Motorwagen . 96 000 Reservebestandteile	3 450 000 6 840 000 2 170 000	13 132 000
Triebfahrzeuge: Fr. 15 Schnellzugslokomotiven 230 000 38 Güterzugslokomotiven 180 000 14 schwere Motorwagen 155 000 7 leichte Motorwagen 96 000 Reservebestandteile Heizeinrichtungen und Diverses: 15 Heizkessel auf Schnellzugslokomotiven	3 450 000 6 840 000 2 170 000 672 000	13 132 000
Triebfahrzeuge: Fr. 15 Schnellzugslokomotiven 230 000 38 Güterzugslokomotiven 180 000 14 schwere Motorwagen 155 000 7 leichte Motorwagen 96 000 Reservebestandteile Heizeinrichtungen und Diverses: 15 Heizkessel auf Schnellzugslokomotiven	3 450 000 6 840 000 2 170 000 672 000	13 132 000
Triebfahrzeuge: Fr. 15 Schnellzugslokomotiven 230 000 38 Güterzugslokomotiven 180 000 14 schwere Motorwagen 155 000 7 leichte Motorwagen 96 000 Reservebestandteile Heizeinrichtungen und Diverses: 15 Heizkessel auf Schnellzugslokomotiven 10 Heizwagen	3 450 000 6 840 000 2 170 000 672 000	13 132 000
Triebfahrzeuge: Fr. 15 Schnellzugslokomotiven 230 000 38 Güterzugslokomotiven 180 000 14 schwere Motorwagen 155 000 7 leichte Motorwagen 96 000 Reservebestandteile Heizeinrichtungen und Diverses: 15 Heizkessel auf Schnellzugslokomotiven	3 450 000 6 840 000 2 170 000 672 000	13 132 000

		Fr.
Übertrag Ebenso der Gepäck- und Postwagen, sowie von Personenwagen ande- rer Kreise, die auf der G. B. zir-	807 000	13 732 000
kulieren	80 000	
Diverse Aenderungen an bestehendem Rollmaterial	120 000	1 007 000
Gesamtkosten am Rollmaterial für die zierung.		14 739 000
Vermehrung des gewöhnlichen Rol für die Verkehrssteigerung:	llmaterials Fr.	Fr.
Neue Personenwagen, 256 Achsen Neuer Güter- und Gepäckwagen,	3 328 000	
753 Achsen	I 883 000	5 211 000
Gesamtkosten für R	Collmaterial	19 950 000
	Donotonio	MAN
Ausbau und Änderungen der und Reparaturwerks		igen
Ausbau und Anderungen der und Reparaturwerk		rgen Fr.
und Reparaturwerks Aenderungen an den Depotanlagen	stätte. Fr. 250 000	
und Reparaturwerks Aenderungen an den Depotanlagen Neuanlagen in Erstfeld u. Chiasso Rüstzeug für den Unterhalt der	stätte.	
und Reparaturwerks Aenderungen an den Depotanlagen Neuanlagen in Erstfeld u. Chiasso Rüstzeug für den Unterhalt der Fahrdrahtleitungen	stätte. Fr. 250 000	
und Reparaturwerks Aenderungen an den Depotanlagen Neuanlagen in Erstfeld u. Chiasso Rüstzeug für den Unterhalt der	stätte. Fr. 250 000 750 000	
und Reparaturwerks Aenderungen an den Depotanlagen Neuanlagen in Erstfeld u. Chiasso Rüstzeug für den Unterhalt der Fahrdrahtleitungen Aenderungen und Ergänzungen in	Fr. 250 000 750 000 450 000 500 000	Fr.
und Reparaturwerks Aenderungen an den Depotanlagen Neuanlagen in Erstfeld u. Chiasso Rüstzeug für den Unterhalt der Fahrdrahtleitungen Aenderungen und Ergänzungen in der Reparaturwerkstätte	Fr. 250 000 750 000 450 000 Werkstätte	Fr.
Aenderungen an den Depotanlagen Neuanlagen in Erstfeld u. Chiasso Rüstzeug für den Unterhalt der Fahrdrahtleitungen Aenderungen und Ergänzungen in der Reparaturwerkstätte Gesamtkosten an Depots und Umbau der Schwachstro Bahndienstliche Leitungen, inklu-	stätte. Fr. 250 000 750 000 450 000 500 000 Werkstätte manlagen. Fr.	Fr.
Aenderungen an den Depotanlagen Neuanlagen in Erstfeld u. Chiasso Rüstzeug für den Unterhalt der Fahrdrahtleitungen Aenderungen und Ergänzungen in der Reparaturwerkstätte Gesamtkosten an Depots und Umbau der Schwachstro Bahndienstliche Leitungen, inklusive Unvorhergesehenes Anlagen der eidg. Telegraphendirek-	Fr. 250 000 750 000 450 000 Werkstätte manlagen. Fr. 2 500 000	Fr. 1 950 000
Aenderungen an den Depotanlagen Neuanlagen in Erstfeld u. Chiasso Rüstzeug für den Unterhalt der Fahrdrahtleitungen	Fr. 250 000 450 000 Werkstätte manlagen. Fr. 2 500 000 1 000 000	Fr. 1 950 000
Aenderungen an den Depotanlagen Neuanlagen in Erstfeld u. Chiasso Rüstzeug für den Unterhalt der Fahrdrahtleitungen Aenderungen und Ergänzungen in der Reparaturwerkstätte Gesamtkosten an Depots und Umbau der Schwachstro Bahndienstliche Leitungen, inklusive Unvorhergesehenes Anlagen der eidg. Telegraphendirek-	Fr. 250 000 750 000 450 000 Werkstätte manlagen. Fr. 2 500 000 I 000 000 chstromlei-	Fr. 1 950 000

General-Unvorhergesehenes.

Erhöhung der in den Einzelposten aufgeführten oder enthaltenen Beträge für Unvorhergesehenes auf insgesamt 8% der Gesamtkosten	3 330 000
Zusammenzug der Anlagekosten.	
Kraftwerke Energieverteilungs-Anlagen Fahrdraht- und Speise-Leitungen Rollmaterial Depots und Reparaturwerkstätte Schwachstromanlagen General-Unvorhergesehenes	7 630 000 29 000 000 9 770 000 19 950 000 1 950 000 3 500 000
Gesamtkosten der Neuanlagen	67 500 000
Ebenso, ohne die Vermehrung des nicht elektrischen Rollmaterials für die allgemeine Verkehrsvermehrung, nebst Anteil an Unvorhergesehenem (Fr. 5 500 000)	

Vergleich mit Anlagekosten anderer Projekte.

Es bietet ein gewisses Interesse, die Ergebnisse der Anlagekostenberechnung nach dem vorstehenden Projekt zu vergleichen mit demjenigen für die im Abschnitt "Systemvergleich" (auf Seite 62 ff.) erwähnten ersten Projekte der Studienkommission für die Elektrifizierung der Gotthardbahn. Diesem lag ein anderer Fahrplan zugrunde" die Energielieferung war auf 4 Kraftwerke verteilt (nämlich auch Lavorgo erstellt gedacht), dafür auf Ueberleitung von Energie von einer Seite des Gotthard zur andern verzichtet. Auch in Einzelheiten war die Ausführung etwas anders projektiert. Die Projekte waren, wie dort angegeben, für zwei Verkehrsmengen, "A" und "B", ausgerechnet, zwischen welchen der für das neue Projekt an-

genommene Verkehr ungefähr in der Mitte liegt. Die Anlagekosten der einzelnen Teile erweisen sich entsprechend der verschiedenen Ausführung natürlich als voneinander abweichend, die gesamten Anlagekosten mit Inbegriff der Rollmaterialvermehrung wegen allgemeiner Verkehrsvermehrung aber stellen sich wie folgt:

Für das alte Projekt mit Verkehr A wie oben Für das alte Projekt mit Verkehr B 64,5 Millionen Fr. 67,5 Millionen Fr. 77,0 Millionen Fr.

Diese Zahlen bestätigen die Zuverlässigkeit der unabhängig entstandenen Projekte und zeigen gleichzeitig, dass zweckmässige Aenderungen in der Einzelanordnung keinen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtkosten haben, wenn dieselben Verkehrsverhältnisse beibehalten bleiben.

Die Betriebskosten für die elektrische Traktion.

Allgemeines.

Es darf ohne weiteres angenommen werden, dass die Allgemeinkosten und die jährlichen Ausgaben für die eigentliche Bahnanlage, also die im Rechnungsschema mit "Allgemeine Verwaltung", "Aufsicht und Unterhalt der Bahn", "Expeditions- und Zugdienst" und "Verschiedene Ausgaben" bezeichneten Posten unter übrigens gleichen Umständen für die elektrisch betriebene Bahn dieselben sind wie für den Dampfbetrieb. Die Untersuchung über die Betriebskosten der elektrifizierten Bahn braucht daher nicht mit der Berechnung aller Bestandteile der Betriebsausgaben belastet zu werden. Es genügt, die im Rechnungsschema der schweizerischen Eisenbahnen unter "Fahrdienst" rubrizierten direkten Ausgaben zu berechnen, und dazu das hinzuzufügen, was man die "indirekten Betriebsausgaben des Fahrdienstes" nennen könnte: Die Beträge, welche jährlich für Verzinsung, gesetzliche Rücklagen in den Erneuerungsfond und für Amortisation der in den Neuanlagen mit Inbegriff der Triebfahrzeuge investierten Kapitalien erforderlich sind.

Die (direkten) "Jahreskosten des Fahrdienstes" werden beim elektrischen Betriebe nach dem Rechnungs-

schema folgende Posten umfassen:

Personalausgaben (für den Obermaschineningenieur und dessen Bureau, das Maschinenpersonal und die Wagenvisiteure, das Personal für Ausrüstung und Reinigung des Fahrmaterials); sodann den Materialverbrauch, nämlich ausser dem besonders gerechneten Bedarf an elektrischer Energie das Brennmaterial für bisherige Dampflokomotiven, soweit solche nach der Annahme noch im Rangierdienst bleiben, das gesamte Schmiermaterial, die Ausgaben für Heizung und Beleuchtung der Züge, verschiedene Verbrauchsmaterialien für das Rollmaterial; dann die Ausgaben für Unterhalt und Reparatur des Rollmaterials und der Fahrdrahtleitungen, und verschiedene sonstige Ausgaben.

Die jährlichen Kosten der elektrischen Energie, die in den Posten "Materialverbrauch der Lokomotiven und Wagen" eingehen, müssen jedoch so berechnet werden, dass die indirekten Ausgaben, überhaupt alle und jegliche Kosten, welche die Kraftwerke, die Energieverteilungs- und Zufuhr-Anlagen jährlich verursachen, inbegriffen sind. Damit ergibt sich auch ein Vergleich dieser Selbstkosten der Energie gegenüber allfälligem Bezug solcher von fremden Unternehmungen, sowie mit den bisherigen Brenn-

materialkosten.

Dieser Posten der Jahresausgaben möge als erster, und sodann die übrigen ermittelt werden.

Die Jahreskosten der elektrischen Energie an den Hauptspeisepunkten.

Diese Kosten für Lieferung der Energie in Fahrdrahtspannung sind die gesamten direkten und indirekten Jahresausgaben für die Kraftwerke, die Uebertragungslei-

tungen und Unterstationen.

Die direkten Ausgaben setzen sich zusammen aus denen für den Wasserzins, das Personal der allgemeinen Leitung und der ständigen Wartung der Werke und Unterstationen, dem Material und den Arbeitslöhnen für den Unterhalt und die laufenden Reparaturen aller dieser Teile, verschiedenen Ausgaben für Versicherungen und anderes. Das Personal ist nach Erfahrungen bei grossen Kraftwerken reichlich, entsprechend einem best geleiteten und geführten Betriebe in Anrechnung gebracht worden. Die Zentralleitung der Energieerzeugungsanlagen ist als besondere Abteilung mit eigener Rechnungsführung im Ressort des Kreis-Obermaschineningenieurs gebildet mit einem leitenden und den nötigen weiteren Ingenieuren und Technikern. Jedes der drei Kraftwerke steht unter einem Betriebsleiter mit einem Obermaschinisten, hat drei Bedienungsschichten Maschinenwärterpersonals für permanenten Dienst, die erforderlichen Ersatzleute für Sonn- und Feiertage u. dgl. und Reservepersonal, dazu die Schleusen- und Wehrwärter. Für die Unterstationen (Transformatorenstationen) Goldau, Giubiasco und Lugano ist ebenfalls ständige Ueberwachung mit Schichtenwechsel gerechnet.

Die Auslagen für Unterhalt und laufende Reparaturen der Kraftwerks- und Verteil-Anlagen wurden als Prozentsätze der Anlagekosten der einzelnen Bautenkategorien bestimmt, unter sorgfältiger Verwendung von Erfahrungen bei derartigen Betrieben; diese Ansätze begreifen die Kosten für Material und Arbeitslöhne, Werkzeuge und alle Spesen in sich und sind überall reichlich und derart angenommen, dass auch sämtliche, jeweilen nur in grösseren Zeitabständen vorzunehmenden Ersetzungen abgenützter Teile (wie z. B. von Turbinenrädern, Leitungsstangen

usw.) daraus bezahlt werden können.

Bei den indirekten Kosten, welche die Energieerzeugung und -Verteilung veranlasst, sind zunächst 4% für Verzinsung aufgenommen. Ferner wurden für sämtliche Bestandteile, mit Ausnahme der Grundstücke, Einlagen in einen Erneuerungsfond mit zu den Betriebsausgaben gerechnet, welche Rücklagen zufolge der Art der Berechnung der Reparaturkosten nur noch dafür zu dienen haben, aussergewöhnliche Erneuerungen oder Ersetzungen grösserer Bestandteile der Gesamtanlagen vorzunehmen, wie sie etwa infolge technischer Neuerungen wünschenswert oder durch grössere Betriebsunfälle nötig werden. Diese Einlagen sind je nach der Art der Objekte als unterschiedliche Prozentsätze der Teilanlage so gross bemessen, dass durch sie, falls keine ausserordentliche Ereignisse eintreten, auch noch

eine gewisse Amortisation als eigentliche Schuldentilgung ermöglicht wird. Die in den Anlagekosten enthaltenen Beträge für Bauleitung, Bauzins, Unvorhergesehenes usw. sind für die Berechnung der Unterhaltskosten und Erneuerungsrücklagen angemessen auf die Baukategorien verteilt worden.

Die Berechnung nach diesen Grundsätzen führt zu den nachstehend zusammengestellten Ergebnissen:

Jahreskosten für die Erzeugung und Verteilung der Energie für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Gegenstand	Zentral- leitung	Kraft- werke Amsteg, Gösche- nen und Ritom	Zentral- leitung u. Kraft- werke zu- sammen	Energieverteilung bis zu den Hauptspeise punkten			
	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.		
Personalkosten 1)	28 000	173 900	201 900	36 000	237 900		
Materialverbrauch, Unter-							
halt und laufende Repa-		e da le le l					
raturen 2)		213 500	213 500	203 500	417 000		
Wasserzinse, Versicherun-							
gen und Diverses	274 100		274 100		274 100		
Kapitalverzinsung	-	854 800	854 800	305 200	1 160 000		
Einlagen in den Erneue-							
rungsfond	-	165 500	165 500	165 500	331 000		
Zusammen	302 100	I 407 700	I 709 800	710 200	2 420 000		
1) Exklusive Personalkosten der laufenden Renaraturen							

1) Exklusive Personalkosten der laufenden Reparaturen.

2) Inklusive zugehörige Personalkosten (Löhne, Spesen etc.)

Die Schlussumme von Fr. 2 420 000 tritt als Ganzes an Stelle des Kohlenverbrauchs in den Schemaposten "Materialverbrauch der Lokomotiven und Wagen" ein. Dieser Teil der Jahresausgaben ändert sich ganz unwesentlich, nämlich im allgemeinen nur um den relativ sehr geringen Mehrverbrauch an Schmiermaterial der Maschinenaggregate der Kraftwerke, wenn aus denselben Kraftwerken mehr Energie geliefert wird als angenommen war. Die Kosten der Kilowattstunde Energie ab Kraftwerken ändern sich daher bedeutend mit der Vermehrung oder Verminde-

rung der Zahl der abgegebenen Kilowattstunden, also mit der Dichte des Verkehrs, während die Gesamtkosten der Energie durch letztere fast unbeeinflusst bleiben. Dies darf nicht ausser Acht gelassen werden, wenn nun dennoch, mit Rücksicht auf die Preise von Energie aus anderen Werken, der Preis pro Kilowattstunde bestimmt wird, der also nur für die angenommene Benützung der Werke, den angenommenen Verkehr, Geltung hat. Wie auf Seite 83 ermittelt wurde, sind für die Traktion bei diesem Verkehr 160 Millionen PSh ab Turbinen zu leisten. Bei 81% mittlerem Wirkungsgrad der Generatoren, teilweise mit Auftransformatoren (Seite 82), ergibt dies, weil I PSh = 0,736 KWh, rund 95 Millionen Kilowattstunden ab Kraftwerken. Hiezu kommt nun der früher (Seite 70) erwähnte Bedarf für Heizung und Beleuchtung. Dieser kann ohne Erhöhung der maximalen Leistungsfähigkeit der Werke abgegeben werden, weil er nicht zu Zeiten der maximalen Leistung gebraucht wird. Da dieses Energieerfordernis etwa 5 bis 6 Millionen Kilowattstunden beträgt, so kann man eine elektrische Jahresarbeit ab Kraftwerksausführungen (teils in 45 000, teils in 15—16 000 Volt) von rund 100 Millionen KWh annehmen, und da diese dort (d. h. ohne die Jahreskosten der Leitungen und Unterwerke) rund 1,7 Mill. Fr. kosten, so betragen die Kosten der Kilowattstunde an den Ausführungen aus den Krattwerken bei dem angenommenen Verkehr 1,7 Rp. Diese Zahl kann sich aber, wie gesagt, mit dem bewältigten Verkehr ganz bedeutend - bei grösserem Verkehr im Sinne der Verbilligung - ändern.

Die (direkten) Jahreskosten des "Fahrdienstes".

Die einzelnen Teile dieser Kosten für den künftigen elektrischen Betrieb sind wie nachstehend angegeben ermittelt und ihre Beträge finden sich in der nachfolgenden Betriebsausgabenrechnung auf Seite II3 ff. zusammengestellt.

Die Personalausgaben sind unter Mitwirkung der regelmässig damit beschäftigten Beamten der Kreisdirektion V festgestellt worden. Für die Lokomotiven der Güterzüge

wie der Schnellzüge ist zweimännige Bedienung angenommen, für die Motorwagen einmännige. Die aus der allgemeinen Verkehrssteigerung sich ergebende Vermehrung sämtlichen Personals ist selbstverständlich sorgfältig eingerechnet, ebenso Ruhetage, Urlaub, Krankheit, Unfall und Reservestellung berücksichtigt. Das "Personal für Reinigung und Ausrüstung der Lokomotiven" (nunmehr: der Triebfahrzeuge) kann gegenüber dem Dampfbetrieb verhältnismässig vermindert werden; in der angenommenen Zahl wird es für den neuen, reinlicheren Betrieb vollauf genügen. Beim Personal für Wagenreinigung wurde trotz Wegfalls der Rauchbeschmutzung keine verhältnismässige Verminderung vorausgesetzt. Die Gehaltsansätze entsprechen dem neuen Besoldungsgesetze; eine angemessene Anzahl Beamte sind mit dem Maximum der Besoldungen eingesetzt, auch alle Nebenbezüge berücksichtigt, und zwar nach den bisherigen Ansätzen der G.-B., die höher sind als die der S. B. B.

Materialverbrauch für Lokomotiven und Wagen. Ausser dem oben ermittelten Betrag für die elektrische Energie mit Inbegriff des Zuschlages für Beleuchtung und die von den Kraftwerken elektrisch betriebene Heizung ist mit folgenden Posten zu rechnen:

Kohlenkonsum der Dampf-Rangierlokomotiven: Dieser war nach den bisherigen Erfahrungen aus der Lokomotivkilometerzahl bestimmbar.

Brennmaterial der Heizkessel für die Dampfheizung der Züge usw.: Aus der, nach bisherigem Betriebe ungefähr bekannten Zahl der Zugsheizstunden unter Berücksichtigung des Preises und Heizwertes des angenommenen Brenn-

materials (Petroleum-Rückstände) ermittelt.

Schmiermaterial: Für die Wagen und die Dampflokomotiven im Rangierdienst sind die Kosten nach den letzten Erfahrungen beim Dampfbetrieb über Verbrauch und Materialkosten pro Achsenkilometer gerechnet. Für die elektrischen Triebfahrzeuge wurde der Verbrauch pro Kilometer durch Vergleich mit den Dampflokomotiven bezüglich Zahl und Art der Schmierstellen geschätzt; die darnach ermittelten Ansätze dürften nach anderwärtigen Erfahrungen reichlich genügen. Das Reinigungsmaterial

ist nach bisherigen Erfahrungen pro Fahrzeugkilometer gerechnet.

Beleuchtung: Material- und Unterhaltskosten für die verbleibenden Beleuchtungseinrichtungen mit Dynamomaschinen und Batterien in den bisherigen Wagen, und die analogen im vermehrten Rollmaterial, sind nach bisherigen Ergebnissen berechnet; diese sind auch für die Bemessung des Materialverbrauchs in neu einzuführenden Beleuchtungseinrichtungen direkter elektrischer Art verwertet. Die elektrische Energie für Beleuchtung ist schon oben eingerechnet worden.

Sowohl das Schmier- und Reinigungsmaterial als der Posten "Beleuchtung" machen relativ kleine Beträge aus, sodass selbst grössere Fehler in diesen Ansätzen fast ohne

Einfluss auf das Ganze bleiben.

Unterhalt und Erneuerung des Rollmaterials teilen sich

in folgende Gruppen:

Lokomotiven: Hierfür sind Unterhalt und Erneuerung nach Erfahrungen bei andern, grösseren elektrischen Bahnen, besonders bei amerikanischen (Bericht Wyssling) bestimmt worden. Die angewandten Ansätze pro Lokomotivkilometer werden bei den neueren elektrischen Triebmitteln, die nur wenige teuere, der Abnützung bezw. Reparatur unterworfene Teile besitzen, voraussichtlich in der Praxis nicht erreicht werden.

Wagen: Die Berechnung der Unterhalts- und Erneuerungskosten hierfür ist nach der Zahl der Wagenkilometer eingesetzt, jedoch unter Erhöhung der bisherigen Einheitskosten mit Rücksicht auf zu erwartende Lohnsteigerung.

Der Unterhalt der Fahrdraht- und Speiseleitungen ist ein hier eingefügter, im Rechnungsschema der Dampfbahnen nicht vorkommender Posten. Hierfür sind die Erfahrungen an andern Starkstromleitungen konsultiert worden; sowohl Bestimmungen nach Kilometern Leitungslänge als nach Prozentsätzen der Erstellungskosten ergaben übereinstimmende Resultate; der Posten beträgt übrigens nur etwa 10% desjenigen für die gesamten Fahrzeuge.

Sonstige Ausgaben sind nach bisherigen Erfahrungen eingesetzt.

Rückerstattungen von Fahrdienstkosten betreffen solche seitens anderer Transportanstalten, für Anteile an den bezüglichen Gemeinschaftsdiensten in den Bahnhöfen, für die Bahnstrecke auf italienischem Gebiete bis Luino und seitens der Postverwaltung für ihre Wagen. Entsprechend dem Rechnungsschema sind diese Einnahmen bei den direkten Fahrdienstkosten in Abzug gebracht; sie sind ermittelt nach dem Verkehr und den bisherigen Ansätzen.

Die indirekten Jahreskosten des Fahrdienstes.

Die indirekten jährlichen Betriebsausgaben finden sich in der nachfolgenden Betriebsrechnung aufgeführt; es sei dazu folgendes bemerkt:

Nach den unter "Betriebskosten, allgemeines" gegebenen Grundsätzen kommen für die Berechnung hier fol-

gende Kapitalien unzweifelhaft in Betracht:

a) Anlagekapital sämtlicher für den elektrischen Betrieb erforderlichen Neu-Anlagen, mit Ausnahme desjenigen für die Kraftwerke und die Energieverteilung, weil die direkten wie indirekten Betriebsausgaben hierfür bereits im Energiepreis unter den direkten Fahrdienstausgaben enthalten sind. Es handelt sich also um das Kapital für Fahrdraht- und Speiseleitungen, Rollmaterial, Depots, Reparaturwerkstätten und Schwachstromanlagen, alles mit Inbegriff der Anteile am General-Unvorhergesehenen.

b) Das Kapital für die Beschaffung der für die allgemeine Verkehrssteigerung erforderlichen Rollmaterialver-

mehrung.

c) Das Anlagekapital der alten, beim elektrischen Betrieb weiter im Dienst bleibenden Rollmaterialbestände. Nach Abzug der nicht mehr verwendeten Dampflokomotiven, von denen weiter unten zu sprechen, betrug dieses Anlagekapital zur Zeit der Berechnung (welchem Stand auch die Rollmaterialvermehrung zugrunde gelegt wurde) Fr. 15 911 000.

Diese Kapitalien insgesamt ergeben sich nach unserer

Kostenaufstellung zu Fr. 54 411 000.

Dafür ist zunächst der Zins zu rechnen, der zu 4% angenommen wurde.

Die Amortisation des Anlagekapitals ist nach den Regeln der S. B. B. für diejenigen Bestandteile, für welche Erneuerung in zeitlich begrenzter Frist vorgesehen, bezw. entsprechende Einlagen in den Erneuerungsfond zu machen sind, nur auf 30% des Anlagewerts zu erstrecken. Es betrifft dies das ganze Rollmaterial nebst Heiz- und Beleuchtungseinrichtungen; in gleicher Weise sind die Fahrdrahtund Speiseleitungen behandelt worden. Die übrigen Kapitalien sind als in 60 Jahren vollständig zu amortisieren angenommen.

Die Einlagen in den Erneuerungsfonds sind entsprechend der vorschriftsgemäss als wahrscheinlich anzunehmenden Gebrauchsdauer für das hier in Betracht fallende gesamte Rollmaterial berechnet, und in gleicher Weise für die

Fahrdraht- und Speiseleitungen.

Betreffend die Abschreibung der nicht mehr verwendeten Dambtlokomotiven sind verschiedene Gesichtspunkte möglich. Der Inventarwert der im zukünftigen elektrischen Betrieb nicht für den Rangierdienst verwendeten, weiter vorhandenen 143 Dampflokomotiven beträgt Fr. 11872 000. Davon kann derjenige Betrag abgerechnet werden, der zur Zeit des Beginns des elektrischen Betriebs entsprechend dem Sollbestand des zugehörigen Anteils des Erneuerungsfonds und dem Altmaterialwert schon dafür zurückgelegt ist. Um Verzinsung und Abschreibung des Restbetrags zu Lasten des elektrischen Betriebs kann es sich äussersten Falles handeln, sofern für die Lokomotiven keine andere nutzbringende Verwendung sich findet. In dieser Hinsicht lassen sich aber folgende Gruppen dieser Lokomotiven bilden: Eine erste Gruppe im Inventarwert von rund 61/2 Millionen Franken besteht aus älteren Lokomotiven, die jedenfalls gleich nach Einführung des elektrischen Betriebs ausser Gebrauch kommen und abzuschreiben wären; die zweite Gruppe umfasst Schnellzugslokomotiven, die an Stelle von Neuanschaffungen in anderen Bundesbahnkreisen verwendet werden oder auch veräussert werden können, mit einem Inventarwert von rund 3¹/₃ Millionen Franken. Weitere schwere Schnellzugslokomotiven werden voraussichtlich während der ersten Zeit des elektrischen Betriebs noch als Dampfreserven im Gotthardbetrieb belassen werden; diese stehen mit ungefähr 2 Millionen Franken im Inventar. Je nach Auffassung und erzielter Lösung wird daher der elektrische Betrieb mit der Verzinsung und Amortisation des ganzen oder eines Teils obiger Fr. 11 872 000 oder auch gar nicht zu belasten sein. In der Betriebskostenaufstellung sind daher als Varianten die beiden extremen Fälle ohne oder mit vollständiger Berücksichtigung dieser Summe aufgeführt.

Voranschlag der Betriebskosten (Jahreskosten des "Fahrdienstes") für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Direkte Jahreskosten.

Personalausgaben.			
Obermaschineningenieur und Hülfsper- sonal (inklusive elektrotechnisches Zentralpersonal, mit Ausnahme der bei den Kosten der Energieerzeugung angerechneten Zentralleitung der	Fr.	Fr.	Fr.
Kraftwerke)		128 500	
Maschinenpersonal und Wagenvisiteure	0		
Vorstände und Personal der Depots, Fahrpersonal (mit 2männiger Be-	152 800		
dienung aller Lokomotiven)	1 431 100		
Wagenvisiteure	84 200	1 668 100	
Personal für Reinigung u. Ausrüstung des Fahrmaterials:			
Lokomotivreiniger	192 000		
Wagenreiniger	115 000	307 000	2 103 600
N/T - 4 11 4			
Materialkosten.			
Elektrische Energie (Einzelheiten siehe			
Tabelle Seite 107)		2 420 000	
Brennmaterialien:			
Saarkohlen für die Dampflokomotiven des Rangierdienstes	256 800		
Brennöl (Masut) für die Heizkessel	230 000		
der Dampfheizung	120 000	376 800	
Schmiermaterial:			
für die elektr. Lokomotiven und			
Motorwagen	49 620		
für die Dampf-Rangierlokomotiven	5 660		
für die Wagen	10 580	65 860	
Übertrag		2 862 660	2 103 600

Fr.	Fr.	
Übertrag	2 862 660	2 103 600
Reinigungs-, Desinfektions- und ver- schiedenes Material:		
für die Lokomotiven	43 390	
Beleuchtungsmaterial:		
für die elektr. Lokomotiven 6 000		
für die Dampf-Rangiermaschinen . 2800		
für die Wagen (inkl. Motorwagen). 78 120	86 920	2 992 970
Unterhalt und Erneuerung des Rollma und der Fahrdraht- und Speiseleitun		
Triebfahrzeuge: Fr.	Fr.	
Elektr. Schnellzugslokomotiven 354 000		
Elektr. Güterzugslokomotiven 386 100		
Elektr. Motorwagen 204 000 Dampf-Rangierlokomotiven 92 400	1 036 500	
Dampi-Rangieriokomotiven	1 030 300	
Wagen:		
Personenwagen 430 500 Gepäck- und Güterwagen 672 000	1 102 500	
Fahrdraht- und Speiseleitungen	245 000	2 384 000
Sonstige Ausgaben		75 150
Total der direkten Brutto-Ausgaben des Fahrdienstes		7 555 720
Rückerstattungen von Fahrdienstkoster	1.	
Anteile an den Kosten des Gemein- schaftsdienstes der Bahnhöfe: Fr.	Fr.	
Goldau (S. O. B. und S. B. B. III) . 48 000 Chiasso abzüglich Luino (F. S.) . 80 000	128 000	
Rückerstattuung der F. S. für den Fahrdienst Schweizergrenze bis Luino	220 800 30 000	
Total der Rückerstattungen von Fahrdienst	kosten .	378 800
Total der direkten Netto-Ausgaben des Fah		

Indirekte Jahreskosten.

Verzinsung des Anlagekapitals.

voizing des imagene						
	Kapitalien:	Jahresi	eträge:			
Fr.		Fr.	Fr.			
Rollmaterial (gesamtes) . 35 261 Reservebestandteile dazu . 600 Depot- und Werkstätte- Neueinrichtungen						
Schwachstromanlagen . 8 781 Ergänzung des Unvorhergesehenen Fahrdraht- und Speise-	000					
leitungen 9 769	000					
54 411	000 zu 4º/0		2 176 440			
Amortisation des Anlagel	kapitals.					
Fr						
Rollmaterial wie oben 35 261 Fahrdraht- uud Speise-						
leitungen 9 769						
45 030						
Reservebestandteile	gen, vo r -					
$_{0,42}$ $^{0}/_{0}$ von	Fr. 22 990 000		96 140			
Einlagen in den Erneuerungsfond. Rollmaterial, nach besonderer Aufstellung zu verschiedenen Ansätzen						
Total der indirekten Jahresausgaben des Fahrdienstes 2 889 070 ohne Abschreibung der entbehrlichen Dampflokomotiven.						
Vollständige Abschreibun Dampflokomotiven.	g der entbehrl	ichen				
Inventarwert dieser Dampflokon abzüglich Sollbestand der bezüglagen (diese gerechnet auf Ende Altmaterialwerts	glichen Erneuerung e 1914) und abzügl Fr. 53	gsrück- ich des 58 048	236 850			
Total der indirekten Jahresausgab mit vollständiger Abschreibur Dampflokomotiven	ig aller entbehrlich	en	3 125 920			

Zusammenzug der Jahreskosten des Fahrdienstes.

	Fr.
Direkte Netto-Jahreskosten	
Gesamtjahreskosten des Fahrdienstes (ohne Dampflokomotivenabschreibung)	10 065 990
Vollständige Abschreibung der entbehrlichen Dampflokomotiven	236 850
Gesamtkosten des Fahrdienstes (mit Dampflokomotivenabschreibung)	10 302 840

Die Ergebnisse der Betriebsrechnung.

Die berechneten Jahreskosten können ihre Würdigung nicht im unmittelbaren Vergleich der Gesamtsummen mit solchen des bisherigen Betriebs finden, da sie sich auf andere Verkehrsleistungen beziehen. Einen gewissen Vergleich erhält man dagegen durch die spezifischen Jahreskosten des Fahrdiensts, berechnet auf die Einheiten der Transportarbeit. Da ergibt sich die folgende Zusammenstellung:

Übersicht der Verkehrsarbeiten, der Jahreskosten des Fahrdienstes und der spezifischen Kosten des Fahrdienstes.

		Für den							
	Gegenstand	Dampf- betrieb 1907	Dampf- betrieb 1908	Zukünft. elektr. Betrieb					
	Jahres-Verkehrs-Arbeiten :								
	Für das angehängte Zugs- gewicht:	e toan		950					
	Millionen Brutto-tkm	1 103	1 072	1 437					
	Für das gesamte Zugsgewicht:								
	Millionen Brutto-tkm Millionen Zugskilometer	$\substack{1 \ 623 \\ 4,583}$	$\begin{array}{c} 1593 \\ 4,550 \end{array}$	1 824 5, ₇₅₁					
	Gesamte direkte (Netto-)Fahrdienstkosten:								
	Franken	8 267 166	8 630 188	7 176 920					
	Spezifische direkte (Netto-)Fahrdienstkosten:								
	Rpn. pro tkm angehängtes Gewicht	0,75	0,81	0,50					
	Rpn. pro tkm Gesamtzugs- gewicht	0,51	0,54	0,39					
	Fr. pro Zugskilometer	1,80	1,90	1,25					
	Totale (direkte Netto- un	d indirekte)	Fahrdienstk	osten :					
	Franken	9 647 550	10 067 490	10 065 990 (10 302 840)					
	Spezifische totale (direkte i	and indirekt	e) Fahrdiens	stkosten:					
	Rpn. pro tkm angehängtes Gewicht	0,88	0,94	0,70 (0,72)					
	Rpn. pro tkm Gesamtzugs- gewicht	0,59	0,63	0,55 (0,57)					
-	Fr. pro Zugskilometer	2,10	2,21	1,75 (1,79)					
-	(Die eingeklammerten Zahlen beim elektrischen Betrieb treten ein, wenn mit der vollen Abschreibung aller freiwerdenden Dampflokomotiven gerechnet wird, die nicht eingeklammerten ohne diese Abschreibung).								

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass der zukünftige elektrische Betrieb ganz wesentlich geringere Kosten des Fahrdienstes pro Transporteinheit ergibt, als der bisherige Dampfbetrieb erforderte. Dies ist der Fall sowohl für die Kosten pro Zugskilometer als pro Bruttotonnenkilometer des Gesamtzugsgewichts und des angehängten Gewichts. Die ersten zwei Zahlen haben weniger Vergleichskraft, einmal weil die Zugskompositionen etwas andere sind beim elektrischen als beim Dampfbetrieb, besonders aber weil die beiden Betriebsarten wesentlich verschiedene Differenzen zwischen dem Gesamtzugsgewicht und dem angehängten Zugsgewicht ergeben, da die elektrischen Triebmittel leichter sind. Massgebend ist namentlich die erste Zahl, die Kosten pro km angehängten Zugsgewichts, da letzteres die wirkliche Nutzverkehrsarbeit darstellt.

Die ausgewiesene Ermässigung der Totalkosten des Fahrdienstes pro Bruttotonnenkilometer vom Dampfbetrieb 1908 zum zukünftigen elektrischen von 0,94 auf 0,72 bezw. 0,70 Rp., d. h. um 25 bis 26%, darf hierbei allerdings nicht völlig der Elektrifikation zugeschrieben werden, da ein Teil dieser Verbilligung durch die Steigerung des Verkehrs an sich veranlasst ist; auch bei entsprechender Steigerung des Dampfbetriebs wäre etwelche Verbilligung pro Transporteinheit zu erwarten, weil gewisse konstant bleibende Kosten sich auf grössere Verkehrsmengen verteilen. Diese Ermässigung könnte immerhin nicht so bedeutend sein, da es sich bei diesen Zahlen nur um die Fahrdienstkosten handelt, bei denen die von der Verkehrsmenge unabhängigen Kosten keine so bedeutende Rolle spielen, wie etwa bei den Jahreskosten der eigentlichen Bahnanlagen.

Das, auch bei der Studienkommission von Anfang an vorhanden gewesene Bedürfnis nach einem unmittelbaren Vergleich mit den Dampfbetriebskosten hat nun, wie schon auf Seite 72 mitgeteilt, zur eingehenden Bearbeitung eines besonderen Vergleichsprojektes geführt, das im Nach-

stehenden noch behandelt werden möge.

Das Vergleichsprojekt für einen dem Dampfbetrieb 1904 gleichen elektrischen Betrieb.

Allgemeines.

Für diesen Vergleich wurde das Jahr 1904 gewählt, weil s. Z. für kein späteres genügend genaue statistische Angaben erhältlich waren; seine Verkehrsmenge liegt wesentlich unter den heute in Betracht zu ziehenden.

Die Berechnungen sind nach denselben Grundsätzen vollzogen, wie für das Projekt des zukünftigen Betriebs geschildert; es wurden lediglich diejenigen Daten geändert, die beim Dampfbetrieb 1904 andere waren. Der elektrische Betrieb ist in allen Punkten derart angenommen, dass er, soweit sich technisch überhaupt Uebereinstimmung erzielen lässt, genau dasselbe leistet wie jener stattgehabte Dampfbetrieb. Im nachstehenden seien daher von den Grundlagen nur die, gegenüber dem Zukunftsprojekt veränderten aufgeführt.

Die verkehrstechnischen Grundlagen.

Für die Geschwindigkeiten wird auf Seite 73 und 74 verwiesen; die Tabelle Seite 120 gibt über die Zugszahl

und die Zugsgewichte Auskunft.

Die Verkehrsarbeiten in Bruttotonnenkilometern für das angehängte Zugsgewicht sind schon auf Seite 15 aufgeführt. Aus den früheren Angaben sei unter Beifügung des Vergleichs mit dem wirklich stattgehabten Dampfbetrieb von 1904 folgendes rekapituliert:

Verkehrsarbeit beim Betrieb der Gotthardbahn wie 1904.

	im [Jahre		hschnitts- per Tag	im Maximal- verkehr per Tag			
Für die Zugsgattung:	beim wirklichen Dampf- betrieb	beim ange- nommenen elektri- schen Be- trieb	beim wirklichen Dampf- betrieb	beim ange- nommenen elektri- schen Be- trieb	beim wirklichen Dampf- betrieb	beim ange- nommenen elektri- schen Be- trieb		
	in Millionen Brutto-Tonnenkilometern des angehängten Zugsgewichts:							
Schnellzüge	213	213	0,58	0,58	0,64	0,64		
Personenzüge .	122	123	0,33	0,34	0,32	0,32		
Güterzüge ¹)	441	441	1,42	1,42	I,57	2,03		
Insgesamt	776	777	2,33 2)	2,34 2)	2,53 ²)	2,99 2)		
	des gesamten Zugsgewichts:							
Schnellzüge	34	301		0,83		0,92		
Personenzüge .		151		0,41		0,40		
Güterzüge ¹)		545		1,76		2,52		
Insgesamt	1105 997		·	3,00 2)	•	3,84 2)		

1) 310 Tage im Jahre.

Wie man sieht, ist trotz des notwendigerweise etwas anders gestalteten Fahrplans die Verkehrsarbeit an angehängtem Zugsgewicht, welche für die zu befördernde Transportmenge massgebend ist, bis auf den kleinen Unterschied zwischen 776 und 777 Bruttotonnenkilometern gleich gehalten beim elektrischen wie beim wirklich stattgehabten Dampfbetrieb. Dagegen erforderte der letztere natürlich wegen der schwereren Lokomotiven für dieselben gezogenen Gewichte grössere Gesamtzugsgewichte, nämlich 1105 statt 997 Bruttotonnenkilometer. Die Steigerung vom Verkehr des mittleren Tages zum maximalen beträgt etwa die Hälfte des erstern.

²⁾ Für die Tage, an welchen Güterzüge laufen (Werktage), also nicht das eigentliche Jahresmittel.

Tab. zu pag. 121.

Verkehrsarbeit und erforderliche totale und spezifische mechanische Arbeit und mittlere Leistung am Radumfang beim elektrischen Betrieb der Gotthardbahn gleich dem Dampfbetrieb von 1904.

Für die Zugsart:	Schnell- züge	Personen- züge	Güter- züge	Total	Schnell- züge	Personen- züge	Güter- züge	Total	Schnell- züge	Personen- züge	Güter- züge	Total	Schnell- züge	Personen- züge	Güter- züge	Total
		Für ei	nen Ta	g, im D	Ourchso	hnittsv	erkehr			Fü	r einen	Tag, ir	n Maxi	malverk	ehr	
		o-Tonnen-	Tausend Kilometer gsgewichts	n des		tale mecha am Radui den von I	nfange in	1		o-Tonnen		rn des		ale mecha am Radur den von I	nfange in	
Für das Gebiet:			5-8													
Reussgebiet	330	163	616	1109	13,9	6,5	22,8	43,2	337	154	880	1401	15,8	6,0	30,7	52,5
Tessingebiet	496	250	1141	1887	23,0	10,6	40,3	73,9	554	242	1648	2444	25,7	9,8	58,5	94,0
Ganze Gotthardbahn	826	413	1757	2996	36,9	17,1	63,1	117,1	921	396	2528	3845	41,5	1 5,8	89,2	146,5
		am Radu	hanische mfange in Tonnen-K			e Leistung en Durchs in Pferd	chnitts-W			fische med am Radu nden pro	mfange in	ı		e Leistung en Tag des in Pferd	s Maxima	
Reussgebiet	31	20	27	20	580	270	050	1800	32	20	26	28	660	250	1280	2190
Tessingebiet	34	31	26	29	960	270	950 1680	3080	34	30	26	28	1070	410	2430	3910
Ganze Gotthardbahn	33	30	26	29	1540	710	2630	4880	33	30	26	28	1730	660	3710	6100

Der Kraftbedarf.

Ueber die erforderliche totale und nach der Verkehrsarbeit berechnete spezifische mechanische Arbeit und die mittlere Leistung am Radumfang möge die vorstehende Aufstellung orientieren, die mit der Tabelle zu Seite 79 für den Zukunftsverkehr in Vergleich gesetzt werden kann.

Diese Uebersicht liefert interessante Vergleiche zwischen dem zukünftigen elektrischen Verkehr und dem-

jenigen gleich diesem kleinen Dampfverkehr.

Die Jahresverkehrsarbeit in Bruttotonnenkilometer ist im Zukunftsverkehr (Gesamtzugsgewicht) 80% grösser als diejenigen von 1904, die maximale Tagesverkehrsarbeit dagegen rund 110%. Die erforderliche mechanische Arbeit am Radumfange aber ist 1904 um mehr vermindert gegenüber dem zukünftigen elektrischen Betriebe, als der Verkehrsarbeit entspricht: Die erstere ist im Zukunftsbetrieb nicht nur 80, sondern 100% höher und für einen Tag des Maximalverkehrs 137 anstatt nur 110% grösser als 1904. In der Tat zeigt denn auch die spezifische mechanische Arbeit am Radumfang, pro Tonnenkilometer, eine Zunahme vom elektrischen Betriebe 1904 auf den der Zukunft von 29 auf 32 und für den Maximalverkehr von 28 auf 32 Wattstunden. Diese Steigerung des spezifischen Arbeitsbedarfs am Radumfange rührt allein von den bedeutend höheren Geschwindigkeiten der Züge her, die man beim zukünftigen Betrieb gegenüber dem Dampfbetrieb annahm, was eine wesentliche Erhöhung der Rollarbeit durch den vermehrten Luftwiderstand ergibt. Dieser Steigerung der Geschwindigkeiten würde bei Dampfbetrieb ein wesentlich erhöhter spezifischer Kohlenverbrauch entsprechen, der beim Vergleich des Zukunftsprojekts nicht in Anrechnung gebracht worden ist.

Die Ergebnisse bezüglich der maximalen Leistungen sind nachfolgender Aufstellung zu entnehmen:

Erforderliche Maximalleistungen am Radumfange für den Betrieb der Gotthardbahn wie 1904, in PS:

Für das Gebiet	Im Durchschnitts- verkehr	Im Maximal- verkehr
Reussgebiet	6 190	6 580
Tessingebiet	8 670	9 920
Ganzer Kreis	V 13 890	15 320

Das extreme Verhältnis zwischen der absoluten maximalen und der mittleren Leistung des Jahres ergibt sich für 1904 (vergleiche Seite 81 für die Zukunft) im Reussgebiet zu 3,7, Tessingebiet 3,2, ganze Gotthardbahn 3,1.

Dagegen sind die Maximalleistungen 1904 nicht im gleichen Masse wie die Verkehrsarbeit geringer als beim Zukunftsbetrieb, und auch die Maximalleistungen der einzelnen Tage sind nicht so gut ausgenützt, weil der Verkehr nicht so dicht ist.

Letzteres hat auch zur Folge, dass die Zwischenmittel weniger ausgenützt und deren mittlere Wirkungsgrade geringer sind:

Wirkungsgrade vom Radumfang bis zu den Turbinenwellen für den Verkehr der Gotthardbahn wie 1904.

	Beim Durg verk	chschnitts- cehr	Beim Maximal- verkehr		
Für den Anlageteil:	bei der Maximal- leistung des Tages	bei der mittleren Leistung des Tages	bei der Maximal- leistung des Tages	bei der mittleren Leistung des Tages	
Fahrzeuge	0,72	0,62	0,74	0,66	
Fahrdraht	0,97	0,985	0,96	0,98	
Transformatoren	0,96	0,92	0,97	0,94	
Übertragungsleitungen	0,95	0,98	0,94	0,97	
Generatoren mit Trans-					
formatoren	0,86	0,78	0,87	0,80	
Insgesamt	0,547	0,428	0,564	0,473	

Der Gesamtwirkungsgrad von Turbinenwelle bis Radumfang sinkt für den Durchschnittsverkehr von 0,497 auf 0,428, und für die Maximalleistung von 0,570 auf 0,564.

Darnach ergibt sich das

Krafterfordernis an den Turbinenwellen der Kraftwerke für den Betrieb der Gotthardbahn wie 1904.

Für das Gebiet:	Maximal- leistung in PS	Maximale Tagesarbeit in PS-Stunden	Jahresarbeit in PS-Stunden
Reussgebiet	11700	111 300	34 000 000
Tessingebiet	17 600	195 800	58 000 000
Ganzer Kreis V .	27 200	309 800	92 000 000

(Vergleiche die Tabelle Seite 83 für den Zukunftsbetrieb.)

Maximale Leistung und Tagesarbeit bleiben etwas unter der Hälfte derjenigen für den Zukunftsbetrieb, die Jahresarbeit ist etwas mehr als die Hälfte.

Die Kraftwerke.

Für die Bewältigung des vorerwähnten Kraftbedarfs genügt ohne weiteres je eines der auf der Süd- und Nordseite in Frage kommenden Kraftwerke. Für einen strengen Kostenvergleich mit dem Dampfbetriebe hätte man nun diesen Anforderungen gerade genügende, kleinere Werke in Anrechnung bringen sollen. Es lässt sich aber auch der Standpunkt einnehmen, dass man selbst dann, wenn mit der Elektrifizierung zu Zeiten eines so kleinen Verkehrs begonnen worden wäre, die Anlagen doch für den Zukunftsbetrieb vorgesehen hätte. Dabei ergeben sich selbstverständlich grössere Anlage- und Jahreskosten für die Werke, und der Vergleich wird zu Ungunsten des elektrischen Betriebs verschoben. Dessenungeachtet wurde so verfahren: Grössere Werke, die einen ersten Ausbau der

jenigen für den Zukunftsverkehr darstellen, sind in die Rechnung aufgenommen worden, und zwar die Werke Ritom-Piotta und Göschenen. Beim ersteren sind gegenüber demjenigen für den Zukunftsverkehr lediglich eine geringere Seestauung und vorläufig nur 2 (anstatt 3) Druckrohrleitungen angenommen, während die wasserbauliche Anlage des Werkes Göschenen genau dieselbe ist wie beim Zukunftsverkehr. Die maschinelle Ausrüstung ist vorläufig kleiner gerechnet, nämlich:

Installierte Maschinengruppen der Kraftwerke für den Betrieb der Gotthardbahn wie 1904.

Kraftwerk:	Für den Betrieb:	In Reserve:
Göschenen	$3 \times 5000 = 15000 \text{ PS}$	1 × 5000 PS
Ritom-Piotta	$3 \times 7500 = 22500$,	I × 7500 ,,

Schon allein die für den Betrieb bestimmten Maschinengruppen (ohne die Reservegruppen) können, wie man sieht, wesentlich mehr leisten als erforderlich.

Eine allgemeine Reduktion der Preise für den baulichen Teil der Anlagen gegenüber den beim Zukunftsprojekt zugrundegelegten musste beim Kostenanschlag durch einen Abzug in Anrechnung gebracht werden, weil zu der dem elektrischen Betrieb anno 1904 entsprechenden Bauzeit die Baupreise wesentlich niedriger waren als sie für die Zukunft eingesetzt wurden.

Die Energieverteilungsanlagen

begreifen wiederum drei besondere Transformatorenstationen 45 000/15 000 Volt in Goldau, Giubiasco und Lugano in sich, und zwar mit beziehungsweise 3, 4 und 3 Transformatoren von je 2600 Kilowatt Höchstleistung; dazu kommen die Einrichtungen für direkte Abgabe von 15 000 Volt-Strom an die Fahrdrähte in den Kraftwerken Piotta und Göschenen; weiter die 45 000 Volt Uebertragungsleitungen nach diesen Stationen, jedoch mit geringeren Querschnitten, nämlich je eine Leitung von 100 mm² Kupferquerschnitt pro Pol von Piotta nach Giubiasco und von Piotta nach Lugano, und eine von 150 mm² pro Pol von

Göschenen nach Goldau. Eine Verbindung in der Oberspannung zwischen Göschenen und Piotta ist auch jetzt angenommen, doch im reduzierten Querschnitt von 350 mm² pro Pol.

Als Fahrdraht- und Speiseleitungen sind dieselben gerechnet wie für den Zukunftsverkehr. Es wurde auch hier der Standpunkt eingenommen, dass der Bau den späteren Zukunftsverkehr vorzusehen habe und die schwierige Auswechslung dieser Leitungen gegen stärkere zu vermeiden sei.

Die elektrischen Triebfahrzeuge.

Die vorgesehenen kleineren Geschwindigkeiten erfordern für den Verkehr von 1904 wesentlich geringere Leistungen der Triebfahrzeuge als der Zukunftsverkehr, wogegen die allgemeinen Gründe wieder zu den 4 Typen: Schnellzugslokomotive, Güterzugslokomotive, schwerer und leichter Motorwagen führen. Haupteigenschaften und Anzahl dieser Fahrzeuge finden sich in folgender Tabelle:

Hauptdaten der elektrischen Triebmittel für den Verkehr der Gotthardbahn wie 1904.

	Erforderliche Leistungen			Vorgesehene Ausführung										
	Es ist im Maximum zu befördern: auf grösster Stei- gung von 26 0/00 Bahn			Normale			mit dem Gewichte		in der Anzahl der Triebmittel					
Art und Zweck des Triebmittels:	ange- hängtes Zugs- gewicht von t	mit der Ge- schwin- digkeit von km/h	ange- hängtes Zugs- gewicht von t	mit der Ge- schwin- digkeit von km/h	Steigung 0/00	Zug- kraft kg	Ge- schwin- digkeit km/h	Leistung PS	Total t	Ad- häsion t	für den Durch- schnittsverkehr	Zuschlag für Maximalverkehr	Zuschlag f. Reserve und Reparatur	Total
Lokomotive für Schnellzüge	280	40	280	85	26	12 000	40	1800	100	72	4	I	4	9
Lokomotive für Güterzüge	300	18	520	38	26	11 500	18	800	82	82	20	8	9	37
Motorwagen, schwere Type	155	26	155	55	26	5 500	26	550	60 (elektr.	60	8	_	3	11
Motorwagen, leichte Type	auf 10 % 130	Steigung 26	130	55	10	2 000	26	200	Ausrüstg. 30 t) 46 (elektr. Ausrüstg. 18 t)	46	6	-	2	8

- 126 -

Bezüglich des später in die Rechnung einzufügenden Preises der Lokomotiven ist zu bemerken, dass diese Maschinen einen verhältnismässig viel weiteren Regulierbereich haben müssen als diejenigen des Zukunftsverkehrs, weshalb sie in der elektrischen Ausrüstung relativ teurer kommen und mit dem (voraussichtlich etwas zu hohen) gleichen absoluten Preise angerechnet wurden wie die des Zukunftsverkehrs.

Rangierdienst. Dieser würde von 17 der vorhandenen Dampflokomotiven besorgt.

Heizung und Beleuchtung. Für den Betrieb 1904 kämen lediglich die Vorkehren für Heizkessel und Heizwagen analog wie beim Zukunftsbetrieb als neu hinzu.

Verschiedene Anlagen.

Depot- und Werkstätteanlagen. Beim Uebergang auf elektrischen Betrieb müssten trotz gleichbleibendem Verkehr gewisse Aenderungen und Neu-Ausrüstungen dieser Anlagen vorgenommen werden, die anzurechnen sind.

Umbau der Schwachstromanlagen. Dieser ist genau gleich auszuführen wie für den Zukunftsbetrieb.

Voranschlag der Anlagekosten für die Elektrifizierung der Gotthardbahn für einen Betrieb wie 1904 (jedoch für Vermehrung vorgesehen).

Kraftwerke.

Wasserhaulisher and allegmainer Teil		
Wasserbaulicher und allgemeiner Teil.	Werk	Werk
Wasserfassung m.Zubehör, Grund-	Ritom-Piotta	Göschenen
ablass, Geschiebesammler, Bach-	Fr.	Fr.
verbauung etc	490 000	220 000
Zuleitungsstollen bisWasserschloss,		
einschliesslich Reservoirstollen .	220 000	I 050 000
Wasserschloss	270 000	170 000
Druckleitung mit Unterbau	2 190 000	910 000
Verteilleitung beim Maschinenhaus	180 000	170 000
Zufahrten etc	250 000	60 000
Maschinenhaus samt Fundationen	580 000	500 000
Landerwerb, Anteil a. d. Konzes-	9	9
sionsgebühr	275 000	70 000
Bauleitung, Bauzinsen u. Diverses	710 000	360 000
(Unvorhergesehenes überall inbegriffen)		
Zusammen	5 165 000	3 510 000
Zusammen	5 105 000	3 310 000
Reduziert wegen früher niedrigerer		
Einheitspreise auf	5 055 000	3 440 000
	3 33	9 11
Maschineller und elektrischer Teil.		
Generatorturbinen und Erreger-		
turbinen	310 000	200 000
Generatoren und Schaltanlagen .	650 000	560 000
Transformatorenanlagen	180 000	105 000
Apparate für abgehende Leitungen		
etc	120 000	85 000
Bauleitung, Bauzinsen u. Diverses	55 000	52 000
Unvorhergesehenes	50 000	44 000
Zusammen	1 365 000	1 046 000
	3-3-5-	
Insgesamt: Werk Ritom-Piotta .		6 402 000
Werk Göschenen		4 486 000
Gesamtanlagekosten der	Kraftwerke	10 906 000

Verteilanlagen.							
Fr.							
1 130 000							
550 000							
1815 000							
211 000							
15 000							
Volt							
287 000							
437 000							
273 000							

Triebfahrzeuge.

Anlagen für Abgabe von		
16 000 Volt (soweit nicht schon		
dort berechnet) in den Kraft-		
werken Göschenen und Piotta	99 000	
Bauleitung, Bauzinsen u. Diverses	185 000	
Unvorhergesehenes	92 000	I 373 000
Gesamtanlagekosten der Ver	teilanlagen	5 094 000

Fahrdraht- und Speiseleitungen.

Wie für den Zukunftsverkehr (siehe Seite 101) 9 770 000

Rollmaterial.

o Schnellzugslokomotiven 230 000 2 070 000

Fr.

Fr.

11 schwere Motorwagen . 135 000	6 660 000 1 485 000 768 000	10 983 000
Reservebestandteile		400 000
Heizeinrichtungen und Diverses.		
9 Heizkessel auf Schnellzugsloko-		
motiven	108 000	
5 Heizwagen	100 000	
Ausrüstung der vorhandenen Personenwagen (762 Achsen) für		
elektrische Heizung	381 000	
Übertrag	589 000	11 383 000

Fr.

3 721 000

Ebenso der Gepäck- u. Postwagen, sowie von Personenwagen ande- rer Kreise, die auf der G. B. zir-	000 11 383 000
kulieren 60 o Diverse Aenderungen an bestehen-	
dem Rollmaterial 100 0	112
Gesamtkosten an Rollmateri	ial 12 132 000
Ausbau und Änderungen der Depot und Reparaturwerkstätten.	tanlagen
Aenderungen an Depots u. Werk- Fr.	
stätten 500 0 Rüstzeug für den Unterhalt der	00
elektrischen Leitungen 450 o	00
Gesamtkosten an Depots und Werkstätt	en 950 000
Umbau der Schwachstromanlag	gen.
Wie für den Zukunftsverkehr (siehe Seite 10	2) 3 500 000
General-Unvorhergesehenes.	
Erhöhung der in den Einzelposten aufgefüh ten oder enthaltenen Beträge für Unvorhe gesehenes auf insgesamt 8% der Gesam kosten	er-
7	是企业的建筑的
Zusammenzug der Anlagekoste	
Kraftwerke	. 10 906 000
	16 000 000
Fahrdraht- und Speiseleitungen	9 770 000
Rollmaterial	. 12 132 000
Schwachstromanlagen	950 000
Schwachstromanlagen	. 3 500 000
Gesantkosten der Neuanlage	THE RESERVE THE PARTY OF THE PA
	110

Die Betriebskosten.

Jahreskosten der Energie an den Speisepunkten. Bei den direkten Betriebsausgaben für die Kraftwerke und Verteilanlagen tritt gegenüber dem Zukunftsbetrieb eine Ersparnis in den Kosten des Ueberwachungspersonals ein, weil nur 2 Kraftwerke zu bedienen sind, ferner (wegen kleinerer Kraftwerks- und Verteilanlagen) im Materialverbrauch und in den Reparaturkosten, während die Zentralleitung und Bedienung der Unterwerke gleich viel kosten. Auch die Ausgaben für Versicherung und Diverses werden etwas kleiner. Bei allen indirekten Ausgaben für Zins und Einlagen in den Erneuerungsfonds treten gegenüber dem Zukunftsbetrieb den Kapitalkosten entsprechende Verminderungen ein. Das Resultat ist das nachstehende:

Jahreskosten der Erzeugung und Verteilung der Energie für den Betrieb der Gotthardbahn wie 1904.

Gegenstand	Zentral- leitung	Kraftwerke Göschenen und Ritom	Zentral- leitung und Kraftwerke zusammen	Energie- verteilung bis zu den Hauptspeise- punkten	Gesamt- kosten bis zu den Hauptspeise- punkten
Personalkosten ¹) Materialverbrauch, Unterhalt u. laufende	28 000	113 000	141 000	36 000	177 000
Reparaturen ²) Wasserzinse, Versiche-	-	117 000	117 000	138 600	255 600
rungen u. Diverses .	235 800	_	235 800	-	235 800
Kapitalzins Einlagen in den Er-	_	436 240	436 240	203 760	640 000
neuerungsfonds	<u>-</u>	88 000	88 000	113 600	201 600
Zusammen	263 800	754 240	1 018 040	491 960	1 510 000

¹⁾ Exklusive Personalkosten der laufenden Reparaturen.

2) Inklusive zugehörige Personalkosten.

Die Selbstkosten der Energie bei den Ausführungen aus den Kraftwerken ergeben sich somit zu Fr. 1,018,040 per Jahr. Mit denselben Reserven wie auf Seite 108 über den beschränkten Wert einer solchen Angabe rechnen wir auch hier diese Kosten per Kilowattstunde: Es sind nach Seite 123 92 000 000 Pferdekraftstunden ab Turbinen zu liefern für die Traktion; dies ergibt mit 78% mittlerem Wirkungsgrad der Generatoren und Auftransformatoren (Seite 122) 52,7 Millionen Kilowattstunden bei den Kraftwerksausführungen und mit Inbegriff eines Zuschlags von ungefähr 5% für Heizung und Beleuchtung rund 56 Millionen KWh; so stellt sich die Kilowattstunde ab Kraftwerksausführungen bei dieser Benutzung auf rund 1,8 Rp., also etwa 10% teurer als beim Zukunftsverkehr.

Die (übrigen) direkten Jahreskosten des Fahrdienstes wurden auf Basis der 1904 beim Dampfbetrieb wirklich vorhanden gewesenen Verhältnisse betreffend Besoldungs. ansätze, Rückvergütungen etc. bestimmt, beim Dampfbetrieb die wirklichen Ausgaben für Kohlen etc. eingesetzt-

Die indirekten Kosten des Fahrdienstes sind wie beim Zukunftsverkehr für zwei Varianten der Berechnung aufgestellt, nämlich mit und ohne Abschreibung der freiwerdenden Dampflokomotiven.

Den so entstandenen Betriebskostenvoranschlag lassen wir hier folgen:

Voranschlag der Betriebskosten (Jahreskosten des "Fahrdienstes") für den Betrieb der Gotthardbahn wie 1904.

Direkte Jahreskosten.

device tentre assista	Elektrisch	er Betrieb	Dampi	betrieb		
Personalausgaben.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.		
Obermaschineningenieur u. Hilfs- personal	90 040		76 640			
Maschinenpersonal und Wagen-						
visiteure	1 144 370		1 440 280			
rüstung des Fahrmaterials .	154 000	00	218 590			
Materialkosten.		1 388 410		1 735 510		
Elektrische Energie	1 510 000					
tiven	162 490		2 163 400			
Heizmaterial	70 000		16 240			
Schmiermaterial	51 110		108 750			
Reinigungs- u. versch. Material	29 620		36 660			
Beleuchtungsmaterial	110 030		147 650			
		1 933 250		2 472 700		
Unterhaltung und Erneuerung materials und der Fahr- un leitungen.	des Roll- id Speise-					
Triebfahrzeuge	559 410		925 120			
Wagen	573 250		570 650			
Wagen	245 000					
		1 377 660		1 495 770		
Sonstige Ausgaben		44 200		45 990		
Total der direkten Bruttoaus	gaben					
des Fahrdienstes		4 743 520		5 749 970		
Rückerstattungen von Fahrdi	enstkoster	1.				
Anteile am Gemeinschaftsdienst						
der Bahnhöfe	34 910		34 910			
Rückerstattung von der F. S. Rückerstattung von der eidg.	117 600		118 200			
Post ,	18 860		18 860			
haltungsdienstes	12 000		10 400			
genreparaturen	14 820		14 820			
Total Rückerstattungen		198 190		197 190		
Total der direkten Nettoausgaben						
des Fahrdienstes		4 545 330		5 552 780		

Indirekte Jahreskosten.

Verzinsung des Anlagekapitals.							
	Kapita	lien:	Jahresbet	räge:			
			Elektrischer Betrieb				
Gesamtes Rollmaterial samt Re-		Fr.	Fr.	Fr.			
servematerial	26 793 260	24 808 540					
Fahrdraht- und Speiseleitungen Depot- und Werkstätte-Einrich-							
tungen	950 000	(. 					
Schwachstromanlagen General-Uuvorhergesehenes	3 500 000						
	43 161 260	24 808 540	1 726 450	992 320			
Amortisation des Anlageka	pitals.						
Rollmaterial ohne Reserveteile	25 803 260	24 000 540					
Fahr- und Speiseleitungen .							
	35 662 260						
Davon 300/0:	10 608 680	7 200 160					
Reserveteile	900 000	808 000					
Depots und Werkstatteinrich-							
tungen	. 950 000						
Schwachstromanlagen	3 500 000						
	-						
$0,42^{0}/0$ von	18 197 680	8 008 160	76 430	33 630			
Einlagen in den Erneuerung	sfond.						
Rollmaterial	366 650	257 600					
Fahr- und Speiseleitungen	. 132 860	_	499 510	257 600			
Total der indirekten Jahre dienstes (ohne Abschreib	esausgaben	des Fahr-					
Dampflokomotiven)				1 283 550			
			- 3 - 3 /	3 33			
Vollständige Abschreibung							
Dampflokomo		Fr.					
Inventarwert derselben		9 536 708					
ab: Sollwert der Erneuerungsr Altmaterialwert	ücklagen und	3 782 150					
4 ⁰ / ₀ Zins und 0,42 ⁰ / ₀ Absch Rest		5 754 558	254 350	_			
Total der indirekten Jahr dienstes (mit vollständiger	esausgaben Absobreiber	des Fahr-	ia matangir				
behrlichen Dampflokomotiv	en)	ng aner ent	2556740	1 283 550			
- Jampionomour				333			

Zusammenzug der Jahreskosten des Fahrdienstes.

	Elektrischer Betrieb Fr.	Dampf- betrieb Fr
Direkte Netto-Jahreskosten	4 545 330	5 552 780
schreibung)	2 302 390	1 283 550
Gesamtjahreskosten des Fahrdienstes ohne Lokomotivenabschreibung	6 847 720	6 836 330
Vollständige Abschreibung der entbehrlichen Dampflokomotiven	254.250	en die k
	254 350	
Gesamtjahreskosten des Fahresdienstes mit vollständiger Lokomotivenabschreibung	7 102 070	6 836 330

Aus den vorstehenden Totalkosten ergeben sich nun unter Berücksichtigung, dass dafür beim elektrischen Betrieb 777, beim Dampfbetrieb 776 Millionen Bruttotonnen-kilometer angehängten Zugsgewichts geleistet werden:

Die spezifischen Gesamtjahreskosten des Fahrdienstes für den Verkehr der Gotthardbahn wie 1904 pro Brutto-Tonnenkilometer angehängten Zugsgewichts

beim beim projektierten elektrischen Betriebe stattgehabten ohne mit vollständiger Dampfbetrieb Amortisation der entbehrlichen Dampflokomotiven zu 0,88 Rappen zu 0,88 Rappen zu 0,91 Rappen

Ergebnis.

Wir finden somit, dass der Betrieb der Gotthardbahn bei einem kleinen Verkehr wie 1904 nach dem angenommenen Projekt für elektrischen Betrieb sich gerade gleich teuer gestellt hätte wie der Dampfbetrieb, wenn man die Dampflokomotiven, soweit sie nicht für den Rangierbetrieb behalten würden, an andere Betriebskreise hätte abgeben und somit die Elektrifizierung nicht mit deren Amortisierungen hätte belasten müssen. Dagegen wäre der elektrische Betrieb mit Abschreibung der Dampflokomotiven bei dieser Anordnung etwas teurer gekommen.

Bei Würdigung dieses Resultats darf aber nicht übersehen werden, dass die projektierten Kraftwerke und Energieverteilungsanlagen des elektrischen Betriebs ganz wesentlich grösser und teurer angenommen wurden als für einen dem Dampfbetrieb 1904 entsprechenden elektrischen Betrieb nötig wäre, und dass auch die Fahrdrahtanlagen entsprechend einem wesentlich stärkeren Verkehr erstellt gedacht wurden. Die Zusammensetzung der Jahresausgaben zeigt, dass eine entsprechende Verkleinerung der Kraftwerksanlagen durch Verminderung ihres Zinsen- und Unterhaltsdienstes, namentlich aber schon eine kleine Herabsetzung des Zinsfusses überhaupt, bewirken können, dass auch bei diesem geringen, heute schon überholten Verkehre der billigere Einheitspreis auf Seite des elektrischen Betriebs kommt, selbst mit Inbegriff von Lokomotiven-Amortisation.

Schlussbetrachtung.

Für die Abwägung der Wirtschaftlichkeit des elektrischen Betriebs gegenüber dem Dampfbetrieb kommen indessen offenbar die Verhältnisse eines Verkehrs, der heute schon überholt ist, überhaupt nicht oder wenig in Betracht; massgebend ist der Vergleich für denjenigen Verkehr, wie er zum allermindesten zur Zeit nach Einführung des elektrischen Betriebs vorhanden sein wird. Für diesen ist er aber gegeben durch die auf Seiten 117 enthaltenen Zahlen:

Kosten der Gesamtfahrdienst-Ausgaben per angehängten Bruttotonnenkilometer für den zukünftigen elektrischen Betrieb: **0,70** Rp., für den bisherigen Dampfbetrieb (1907, bezw. 1908): **0,88**, bezw. **0,94** Rp. Zu dem hiermit gezeigten wirtschaftlichen Vorteil der zukünftigen elektrischen Traktion kommen nun folgende,

im gleichen Sinne wirkende Momente hinzu:

Wie früher (Seite 121) nachgewiesen, erfordert der angenommene raschere Transport des zukünftigen Fahrplans mindestens 10 % mehr Energie als dieselben Transportmengen bei den bisherigen Geschwindigkeiten. Diese Mehrarbeit müsste auch bei beschleunigtem Dampfbetrieb geleistet werden und würde einen entsprechenden Mehrkonsum an Kohlen ergeben, der im vorstehenden Vergleiche bei den Einheitskosten des Dampfbetriebs nicht eingerechnet ist. Diese Mehrausgabe dürfte die anderseits durch Vermehrung der Verkehrsarbeit an sich (auch beim Dampfbetrieb) eintretende Verbilligung pro Tonnenkilometer kompensieren; aus diesem Grunde wird obiger Einheitspreis des vermehrten elektrischen Verkehrs doch direkt demjenigen des Dampfbetriebs der Jahre bisher grössten Verkehrs vergleichbar.

Für die weitere Zukunft werden die Jahresausgaben für den elektrischen Betrieb noch beträchtlich mehr unter diejenigen des entsprechenden Dampfbetriebs sinken, weil die Betriebsenergie, die ungefähr ¼ der Ausgaben des Fahrdienstes entspricht, mit der fortschreitenden Abschreibung und besseren Ausnützung der Kraftwerke immer billiger werden wird (denn die Personalkosten spielen bei den Kraftwerken eine ganz nebensächliche, die Anlagekosten die Hauptrolle), während die entsprechenden Auslagen beim Dampfbetriebe, diejenigen für die Kohlen, mit Sicherheit pro Einheit stetig grösser werden, ja vielleicht ganz unerwartete Steigerungen erfahren können.

Der projektierte und der Rechnung zugrundegelegte elektrische Betrieb bringt ferner eine gewaltige Verbesserung durch Vermehrung der Geschwindigkeiten und viel bessere Ausnützung der eigentlichen Bahnanlagen, in einem Masse, das der Dampfbetrieb überhaupt kaum leisten könnte. Sollte man mit Dampf dasselbe erreichen, so wären unter allen Umständen andere Lokomotiven erforderlich; es müssten dann auch für den Zukunfts-DampfBetrieb die vorhandenen Lokomotiven abgeschrieben und neue angeschafft werden, wobei noch zu untersuchen bliebe, ob Dampflokomotiven von der Leistungsfähigkeit der pro-

jektierten elektrischen nicht ausserdem Verstärkungen der Bahnanlage rufen müssten. Es geht daraus hervor, dass wenn man dieselben Anforderungen an die Geschwindigkeiten stellen wollte beim Dampfbetrieb wie im Projekt für den elektrischen angenommen, der erstere, wenn überhaupt so erzielbar, schon von Anfang an viel mehr kosten würde.

Endlich ist zu erwarten, dass die mit dem elektrischen Betriebe eintretenden Verkehrsverbesserungen, wie namentlich die Abkürzung der Reisezeit für Personen- und die viel grössere Ausnützung der Bahnanlage für den Gütertransport, ganz abgesehen von den Annehmlichkeiten der Rauchlosigkeit, auch einer namhaften spezifischen Verstärkung des Verkehrs, einer Verbesserung des Verhältnisses der Einnahmen zu den Ausgaben rufen werden.

Man kommt daher zum Schlusse:

Der elektrische Vollbahnbetrieb ist technisch zuverlässig

und vollkommen befriedigend möglich.

Für die Verhältnisse der schweizerischen Bundesbahnen, auch mit besonderer Berücksichtigung der Gotthardbahn, eignet sich am besten das Betriebssystem mit Einphasenstrom von ungefähr 15 Perioden und einer Fahrdrahtspannung von etwa 15 000 Volt, wobei diese Stromart zweckmässig direkt als solche in Wasserkraftwerken zu erzeugen und auf möglichste Verwendung von Werken mit Akkumulierfähigkeit zu sehen ist.

Die für diese Betriebsart durchgerechneten Projekte für den elektrischen Betrieb der Gotthardbahn zeigen, dass dieser für einen Verkehr, wie er bei Einführung der Elektrifikation vorhanden sein wird, schon bei den gegenwärtigen Kohlenpreisen trotz Annahme wesentlich grösserer Geschwindigkeiten erheblich billiger sein wird als der Dampfbetrieb, wozu die Vorteile der Rauchlosigkeit und der Möglichkeit besserer Ausnützung der Bahnanlage hinzukommen.