Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 67/68 (1916)
Heft: 2

Artikel: Der Energieverbrauch der elektrischen Traktion der Berner Alpenbahn
Autor: Thormann, L.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-33030

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.12.2025

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

INHALT: Der Energieverbrauch der elektrischen Traktion der Berner Alpenbahn. — Das neue Krematorium in Zürich. — Durchleuchtung von armiertem Beton mit Röntgenstrahlen. — Die schweizerischen Eisenbahnen im Jahre 1915. — Zur Schluss-Sitzung der Schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb. — Miscellanea: Die Verwendung von Aluminium für Freileitungen. Neue Kuranlagen in Aachen. Verband schweizerischer Sekundärbahnen. Die Königl. Bergakademie zu Freiburg. Wasserkraftwerk Eglisau. Schweizer. Kommission für Mass und Gewicht. — Nekrologie: Silvanus Thompson. R. Alioth. F. Haniel. — Literatur: Denkschrift über die Feuerbestattung in Zürich 1874 bis 1915. Literarische Neuigkeiten. — Vereinsnachrichten. Gesellschaft ehemaliger Studierender: Stellenvermittlung.

Tafeln 4 und 5: Das neue Krematorium in Zürich.

Band 68. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 2.

Der Energieverbrauch der elektrischen Traktion der Berner Alpenbahn.

Von *L. Thormann*, berat. Ingenieur, Bern.

Auf der Lötschberglinie der Berner Alpenbahn-Gesellschaft sind seit der Inbetriebsetzung im Juli 1913 eine Reihe von Messungen an den elektrischen Fahrzeugen durchgeführt worden mit dem Zweck, möglichst genau deren Eigenschaften hinsichtlich Einfluss der rotierenden Massen, Widerstände der Schienenreibung, sowie der innern mechanischen Reibungen, elektrischen Verluste und Vorgänge bei Anfahrt und Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit zu ermitteln. Gestützt auf die dabei gefundenen Werte liess sich dann der Zusammenhang aufstellen zwischen der theoretisch am Radumfang der elektrischen Triebfahrzeuge zu leistenden Arbeit und den in Wirklichkeit vom Kraftwerk zu erzeugenden Energiemengen und zwar sowohl für einzelne Züge auf bestimmten Teilstrecken der Bahn, als auch für einzelne Züge über die ganze Bahn und schliesslich für den ganzen Zugsverkehr an bestimmten Tagen und im Jahresdurchschnitt.

Es erstrecken sich dementsprechend die Messungen über eine längere Zeitepoche und sie mussten infolgedessen auf den Angaben der aufgestellten Registrierinstrumente, wie *kWh*-Zähler und Registrier-Wattmeter beruhen, ohne dass jedesmal besondere Eichungen derselben hätten vorgenommen werden können. Da indessen nie starke Abweichungen in der Uebereinstimmung der verschiedenen Apparate sich bemerkbar gemacht haben, liegt kein Grund vor, in deren Angaben Zweifel zu setzen, umsoweniger, als es sich in erster Linie um die Ermittlung von Resultaten aus dem praktischen Betrieb und für die Praxis handelte.

Von grossem Nutzen speziell für die Einzelmessungen war der Umstand, dass die Schweizerischen Bundesbahnen ihren Dynamometer- und Messwagen mehrere Tage zur Disposition stellten. Da dessen Einrichtungen in diesem Blatte bereits eingehend beschrieben worden sind[1]), genügt es, an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass dieser Dynamometer-Wagen folgende Grössen als Funktionen entweder der Zeit oder des durchlaufenen Weges registriert:

1. Die Fahrgeschwindigkeit.
2. Die sog. Trägheitskraft, resp. die jeweilige Kraft, erforderlich zur Ueberwindung der Komponente der Steigung hinzugerechnet die lineare Beschleunigung oder Verzögerung der Massen, bezogen in *kg/t* der Zugslast.
3. Die Zug- oder Stosskraft am Haken des Dynamometerwagens.
4. Der Effekt in *PS* am Haken.
5. Die Energieleistung der Trägheitskräfte, resp. die Summation der Trägheitskräfte nach 2 multipliziert mit dem durchlaufenen Weg bezogen auf die *t*, in *mkg*.
6. Die Energieleistung der Zugkraft, bezw. die Summation der Zugkräfte am Haken multipliziert mit dem durchlaufenen Weg.
7. Die dem Zug zugeführte elektrische Energie in *kW*, die Stromstärke in Ampère und die Spannung in Volt.

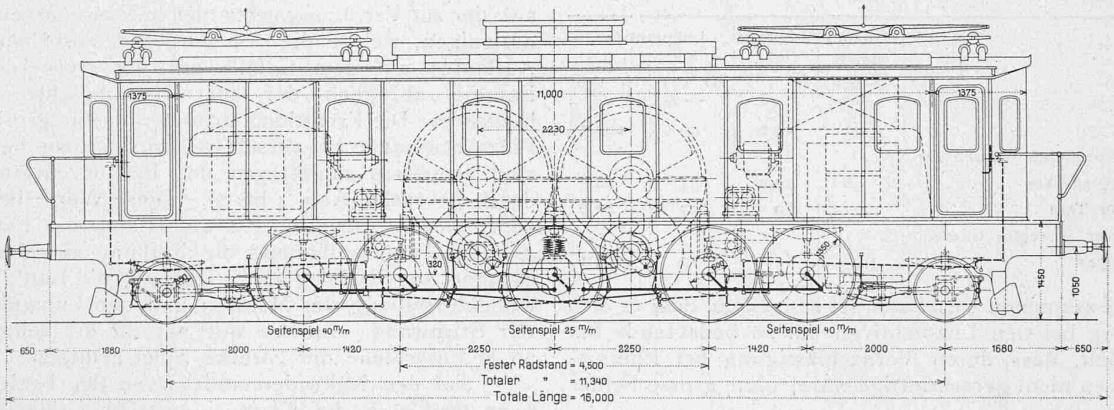

Abb. 2. Elektrische 2500 *PS*-Lokomotive Typ 1-E-1 der Lötschbergbahn, Gesamtgewicht 104,5 *t*. — Typenskizze 1 : 100.

Es sollen nun, ohne in die Einzelheiten der verschiedenen Messfahrten einzutreten, deren Resultate im Folgenden mitgeteilt werden, soweit sie auch für weitere Kreise von Interesse sein können, und zwar zuerst diejenigen der Einzelmessungen der Fahrzeuge und darnach diejenigen ganzer Züge.

A. Resultate von Einzelmessungen.

Es dürfte aus früheren Publikationen bereits bekannt sein, dass an elektrischen Fahrzeugen bei der Berner Alpenbahn folgende Typen vorhanden sind: Von der Versuchsstrecke Spiez-Frutigen her: drei vierachsige Personen-Motorwagen $C^{c}\,{}^{2}/_{4}$, ausgerüstet mit 2×225 *PS*-Achsentriebmotoren[1]); ferner eine Versuchslokomotive der Maschinenfabrik Oerlikon vom Typ C+C mit hochgelegenen Zahnradmotoren von 2×1000 *PS*, Blindwelle und Triebstangenantrieb[2]); 13 Lokomotiven von 1913 vom Typ 1-E-1 mit 2×1250 *PS*-Zahnradmotoren, Blindwellen und Dreieckantrieb.[3]) Bezüglich der eingehenden Beschreibung dieser Fahrzeuge sei auf die bezüglichen Publikationen verwiesen. Zum bessern Verständnis werden hier nur die Typen-Skizzen der zwei Lokomotivgattungen (Abb. 1 und 2), sowie das Längenprofil der Bahnstrecke (Abb. 3) beigefügt.

1. Ermittlung der Einflüsse der rotierenden Massen. Rechnerisch waren diese annähernd bestimmbar aus den Gewichten und Schwerpunktsradien. Eine Kontrolle der Rechnung ergab sich aus Auslaufversuchen auf Steigung und Gefälle, indem auf der gleichen Strecke in der Geraden bei Km. 10 unterhalb Frutigen innerhalb ungefähr der gleichen Geschwindigkeitsgrenzen die Beschleunigung auf der Talfahrt und die Verzögerung auf der Bergfahrt gemessen wurden unter Voraussetzung einer bekannten Gefälls- und Rollwiderstandsarbeit.

[1]) Siehe Band LXIV, S. 41 u. ff. (Juli/Aug. 1914), auch als Separatabdruck erschienen. *Red.*

[1]) Band LVII, S. 77 (11. Febr. 1911). [2]) Band LVII, S. 89.
[3]) Band LXIII, S. 22 und 29 (10. und 17. Jan. 1914).

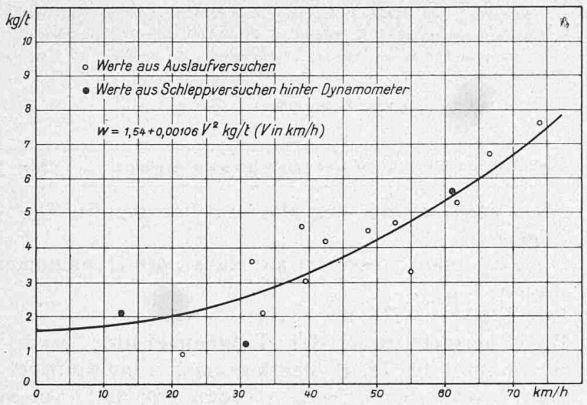

Abb. 4. Rollwiderstand des Dynamometerwagens der S. B. B.

Gewicht des Wagens	37,5 *t*
Scheinbares Mehrgewicht der rotierenden Massen . .	1,6 *t*
Für Massenwirkungen einzusetzendes totales Scheingewicht	39,1 *t*

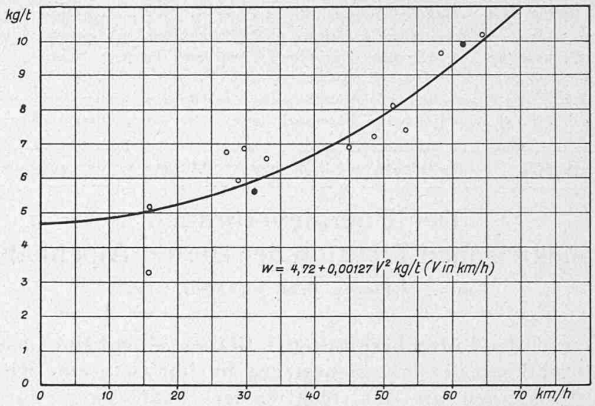

Abb. 5. Rollwiderstand des Motorwagens Ce 2/4 Nr. 781 der B. L. S.

Gewicht des Wagens	54,6 *t*
Scheinbares Mehrgewicht der rotierenden Massen . .	10,9 *t*
Für Massenwirkungen einzusetzendes totales Scheingewicht	65,5 *t*

Es ergeben sich daraus folgende Werte:

Tabelle I.

	Dynamometer-Wagen	Motorwagen Ce 2/4 Nr 781	Lokomotiven C + C Nr. 121	Lokomotiven 1-E-1 Nr. 156
Tara . . . . . *t*	37,5	54,6	90	104,5
Zuschlag für rotierende Massen zur linear bewegten Tara . . . *t*	1,6	10,9	33	44,6
Dito in % der Tara	4,25	20	37	42,6
Scheinbar linear bewegtes Gewicht des Fahrzeuges . . . . . *t*	39,1	65,5	123	149,1

Aus den gewonnenen Resultaten ist ersichtlich, dass es sich insbesondere bei den Lokomotiven um so bedeutende Beträge handelt, dass deren Vernachlässigung bei Energieberechnungen nicht gerechtfertigt wäre, ohne grosse Fehler zu begehen.

ist beim Auslaufen auf Steigung der Rollwiderstand ermittelt aus der zur Verfügung gestandenen Massenarbeit, abzüglich derjenigen, welche die Höhendifferenz absorbiert hat, beim Auslaufen auf dem Gefälle aus der freiwerdenden Fall-Energie abzüglich der für Massenbeschleunigung verbrauchten. Die Ermittlung erfolgte für eine grosse Zahl von Einzelmessungen bei verschiedenen Geschwindigkeiten. Sie sind graphisch aufgetragen und in Kurvenform zum Ausdruck gebracht (Abb. 4 bis 7). Diese Werte beziehen sich somit alle auf den sog. Rollwiderstand des Fahrzeuges in *kg/t* der Tara, enthaltend die Reibung zwischen Rad und Schiene, die Reibung im Triebwerk, die Luft-, Lager- und Kollektorreibung der Motoren und den Luftwiderstand auf der Stirnwand. Erstere gilt nur für die Gerade auf der 36 *kg*-Fusschiene der Strecke Spiez-Frutigen.

Auf den Rollwiderstandskurven der beiden Lokomotiven sind auch die Werte eingezeichnet, die für den Rei-

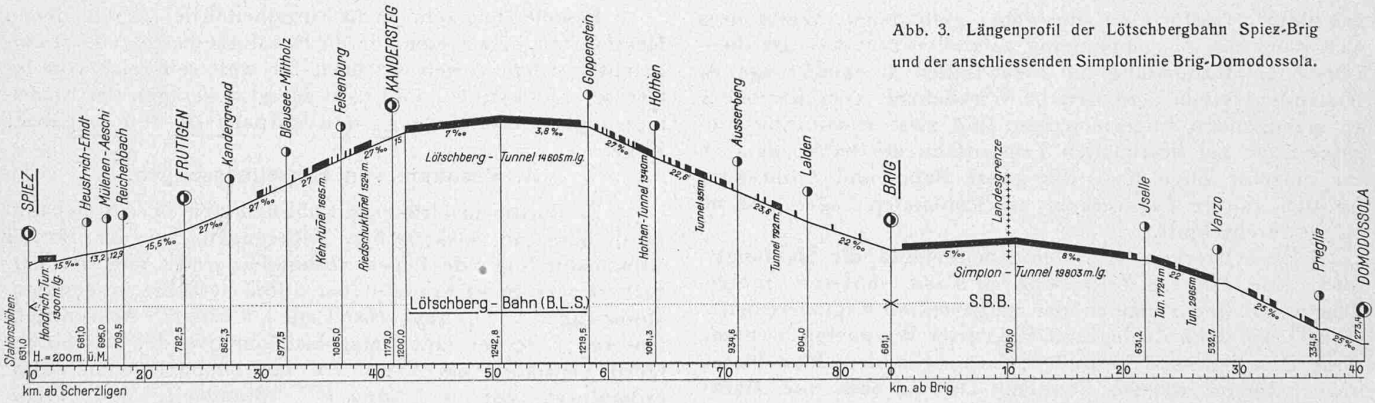

Abb. 3. Längenprofil der Lötschbergbahn Spiez-Brig und der anschliessenden Simplonlinie Brig-Domodossola.

2. *Die Ermittlung der Rollwiderstände* erfolgte für die einzelnen elektrischen Fahrzeuge teils durch Auslaufversuche, teils durch Schleppfahrten. Die erstern wurden vorgenommen auf einer Bahnstrecke mit bekannter Länge und Gefällsarbeit (Km. 9,9 bis 10,6 unterhalb Frutigen). Dabei

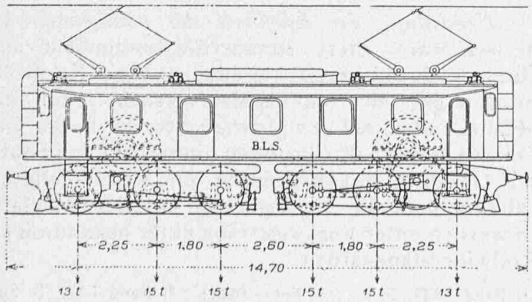

Abb. 1. Erste 2000 *PS*-Versuchslokomotive Typ C + C. — 1 : 200.

bungswiderstand der Motoren in Rechnung zu bringen sind. Diese wurden durch elektrische Messungen in der Maschinenfabrik Oerlikon ermittelt und beziehen sich auf die Reibung in den Lagern, der Bürsten auf dem Kollektor und auf die Luftreibung im Motorinnern, alles bei leerlaufendem Motor. Wie aus den Kurven ersichtlich, sind diese Werte nicht unbedeutend. Seither ist durch die Wahl eines andern Kohlenmaterials die Bürstenreibung wesentlich kleiner geworden.

Schleppfahrten wurden mit beiden Lokomotiven über bestimmte kürzere Strecken mit bekannter konstanter Steigung und Krümmung ausgeführt mit angenähert gleichbleibender Geschwindigkeit. Die Rollwiderstandsarbeit ergab sich dabei als Differenz aus der Arbeit am Haken des Dynamometer-Wagens abzüglich derjenigen, die für die Beschleunigung der rotierenden Massen rechnerisch ermittelt wurde, sowie derjenigen, die das Dynamometerdiagramm für Ueberwindung der Steigung und Beschleunigung der Massen in linearem Sinn angab.

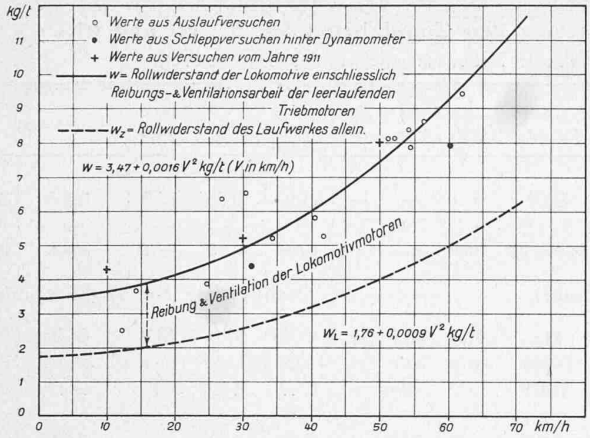

Abb. 6. Rollwiderstand der Lokomotive C + C Nr. 121 der B. L. S.

Gewicht der Lokomotive	90,0 *t*
Scheinbares Mehrgewicht der rotierenden Massen . .	33,0 *t*
Für Massenwirkungen einzusetzendes totales Scheingewicht	123,0 *t*

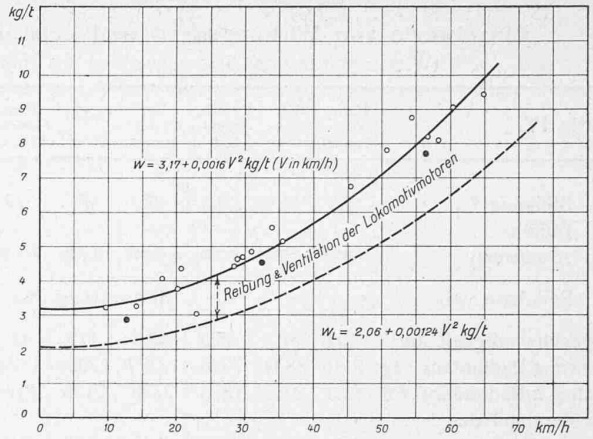

Abb. 7. Rollwiderstand der Lokomotiven 1-E-1 der B. L. S.

Gewicht der Lokomotive	104,5 *t*
Scheinbares Mehrgewicht der rotierenden Massen . .	44,6 *t*
Für Massenwirkungen einzusetzendes totales Scheingewicht	149,1 *t*

Aus diesen Schleppfahrten ergaben sich folgende Werte:

Tabelle II.		Kurven Radius	Oberbau	Geschw. *km/h*	Rollwiderstand *kg/t*
Lok. Typ C + C	Offene Strecke .	Gerade	Fuss-Schienen 36 *kg/m*	48,4	6,25
	Offene Strecke .	Gerade und Kurven $R = 400$ u. 500 *m*	Stuhlschienen 42 *kg/m*	45,6	5,35
	Tunnel	Gerade	»	47,8	6,03
	Offene Schleife .	300 *m*	»	47,2	6,28
	Kehrtunnel . .	300 *m*	»	48,3	6,56
	Tunnel	1100 *m*	»	47,2	6,13
	Tunnel	900 *m*	»	47,6	5,73
Lok. Typ 1-E-1	Offene Strecke .	Gerade und Kurven $R = 400$ u. 500 *m*	Stuhlschienen 42 *kg/m*	49,5	5,8
	Tunnel	Gerade	»	50,3	5,74
	Offene Schleife .	300 *m*	»	49,1	7,35
	Kehrtunnel . .	300 *m*	»	49,4	7,92
	Tunnel	1100 *m*	»	48,2	6,11
	Tunnel	900 *m*	»	48,7	5,4

Aus diesen Ergebnissen kann man folgende Folgerungen ziehen:

1. Die Werte auf der Geraden sind kleiner als die bei den Auslaufversuchen ermittelten. Es rührt dies vom Luftdruck auf die Stirnwand her, der bei den Fahrten der geschleppten Lokomotive kleiner als bei den freien Auslaufversuchen ist. Aus dem Vergleich der beiden Messungen der Lokomotive Nr. 121 auf der Geraden unterhalb Frutigen und unter Annahme, dass der Luftdruck auf eine ebene Fläche nach der Gleichung (Hütte) erfolge

$P = 0{,}1225 \cdot F v^2$ (worin F in m^2 und v in m/sek),

würde bei der Freifahrt eine um etwa 3,92 m^2 grössere ebene Fläche der Stirnwand beim Luftdruck in Rechnung zu bringen sein, oder, da die gesamte Stirnfläche rund 8,6 m^2 beträgt, ein Betrag von etwa 54 % derselben für die Schleppfahrt in Wegfall kommen.

2. Für die Lokomotive Typ C + C gilt besonders: In den Geraden ist der Widerstand auf dem schwereren Stuhlschienenoberbau von 42 *kg/m* Schienengewicht um etwa 10 % geringer als auf dem Geleise mit Breitfussschienen von 36 *kg/m*. In den Tunnels ist mit einem zusätzlichen Luftwiderstand zu rechnen, der im Mittel bei den vorliegenden Geschwindigkeiten rund 0,35 *kg/t* beträgt, in dem auch der Einfluss ungünstigerer Geleisezustände inbegriffen sein kann. In Kurven erreichen die Zusatzwiderstände gegenüber der Geraden nicht einmal 1 *kg/t*.

3. Für die Lokomotive Typ 1-E-1 gilt im besondern: In den Tunnels ist auch für diesen Typ eine Vermehrung des Rollwiderstandes gegenüber der offenen Strecke feststellbar von im Mittel rund 0,5 *kg/t*. Der zusätzliche Kurvenwiderstand ist mit rund 2 *kg/t* bei 300 *m* Radius bedeutend grösser als bei der andern Lokomotivgattung, was aus deren Konstruktion sich ohne weiteres erwarten lässt.

Des weitern wurden Schleppfahrten mit beiden Lokomotiv-Typen über längere Strecken unternommen, aus denen dann *ein mittlerer Rollwiderstand* hervorgeht. Es wurden dabei die in nachstehender Tabelle angegebenen Werte ermittelt:

Tabelle III.	Lok. C + C		Lok. 1-E-1
Strecke	Reichenbach-Frutigen	Frutigen-Kandersteg	Frutigen-Kandersteg
Länge . . . . . *m*	4532	17463	17444
Oberbau	Breitfusschienen 36 *kg/m*	Stuhlschienen 42 *kg/m*	Stuhlschienen 42 *kg/m*
Kurvenlänge . . . . . *m*	1780	9583	9583
Umgerechnet auf $R = 300$ *m* *m*	1292	7474	7474
Tunnellänge . . . . . *m*	—	4930	4930
Mittlere Geschwindigkeit *km/h*	47,4	46,5	47,75
Mittlerer Rollwiderstand *kg/t*	6,44	6,15	6,38
Desgl. aus Einzelversuchen berechnet . . . . *kg/t*	6,35	5,9	6,45

Wie ersichtlich, sind die gemessenen Werte der Schleppfahrten nur wenig verschieden von den berechneten, wenn für letztere die Werte der Einzelmessungen auf den verschiedenen Bahnverhältnissen, wie Kurven, Tunnels u. s. w. eingesetzt werden.

B. Resultate von Einzelfahrten ganzer Züge.

Diese wurden, wie bereits eingangs erwähnt, vorgenommen, speziell um über die Energieverwendung Aufschluss zu erhalten. Unter Verwendung des Dynamometerwagens fanden solche Züge statt am 3. und 4. Februar 1915 und zwar nur mit Lokomotiven vom Typ 1-E-1. Es wurden dabei gefahren:

Zug 58 Spiez-Brig als Schnellzug mit Anhalten in Frutigen.
Zug 59 Brig-Frutigen als Schnellzug mit Anhalten in Hohtenn.
Zug 60 Frutigen-Brig als Personenzug mit Anhalten auf allen Stationen.
Zug 61 Brig-Kandersteg desgl.

Die Zugszusammensetzung bestand jeweils aus:

Lokomotive 1-E-1 Nr. 156 . .	104,5 *t*	Tara
Dynamometerwagen S. B. B. . .	37,5 *t*	„
Heizwagen	28,0 *t*	„
5 A B 4ü zu 40 *t*	200,0 *t*	„
1 F 4ü	32,5 *t*	„
Total	402,5 *t*	Tara.

Die Ermittlung der mechanischen Arbeiten des angehängten Zugteiles erfolgte durch die Instrumente des Dynamometerwagens, jene der Lokomotive aus den Werten

Einzelwerte von Wirkungsgrad und Leistungsfaktor aus den Zugsfahrten 58, 59, 60 und 61.
(Wirkungsgrad vom Stromabnehmer bis Radumfang, inkl. alle Nebenbetriebe auf der Lokomotive.)

Tabelle IV.	Hondrich-Tunnel	Vor Heustrich	Unterh. Schlundbach	Vor Kandergrund	Fürten-Tunnel	Offene Schleife Blausee	Kehrtunnel	Riedschuk-Tunnel	Lötschbergtunnel Gerade	Lötschbergtunnel Gerade	Lötschbergtunnel Gerade	Zwischen Mundbach und Badtunnel	Oberh. Baltschieder	Luegjetunnel	Lötschbergtunnel	Lötschbergtunnel
Steigung ‰	5,5	15,0	15,5	27	27	27	24	26,9	7,0	—	—	21,93	23,56	27,0	3,8	2,45
Gefälle	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,45	3,8	—	—	—	—	—
Alignement	Gerade	⌣ Gerade	Gerade	⌣ Gerade	Gerade	R = 300	R = 300	R = 900 + 1100	Gerade	Gerade	Gerade	Gerade	⌣ Gerade	⌣ Gerade	Gerade	Gerade
Resultate von	← **Schnellzug No. 58** (Nordrampe) →											← **Schnellzug No. 59** (Südrampe) →				
Fahrgeschwindigkeit *km/h*	50,8	61,5	65,0	48,5	47,8	47,7	48,2	41,2	60,8	60,7	—	45,85	51,0	43,2	64,2	66,0
Zugkraft a/Radumfang *kg*	5116	8834	7790	12377	12054	12249	11679	11854	4678	623	—	10281	11100	12134	3800	2517
Leistung a/Radumfang *PS*	963	2010	1873	2220	2135	2160	2083	1810	1032	140	—	1747	2100	1943	904	615
Rollwiderstand des angehängten Zuges *kg/t*	5,34	4,83	3,63	3,66	2,79	3,78	5,09	3,04	4,15	3,65	—	2,87	2,72	2,52	4,01	3,82
Elektr. zugeführte Leistung ab Stromabnehmer effektiv *kW*	846	1786	1660	2000	1970	1980	1895	1680	902	128	—	1655	1965	1882	736	544
Elektr. zugeführte Leistung ab Stromabnehmer scheinb. *kVA*	917	1852	1771	2185	2180	2175	2070	1877	945	—	—	1804	2175	2100	—	—
Wirkungsgrad η	0,837	0,83	0,831	0,818	0,797	0,804	0,81	0,793	0,843	0,806	—	0,777	0,786	0,76	0,904	0,834
Leistungsfaktor $\cos\varphi$	0,923	0,965	0,938	0,915	0,905	0,911	0,915	0,895	0,955	—	—	0,918	0,905	0,896	—	—
Resultate von	← **Personenzug No. 60** (Nordrampe) →											← **Personenzug No. 61** (Südrampe) →				
Fahrgeschwindigkeit *km/h*	—	—	—	48,1	49,4	48,6	48,5	46,9	67,0	—	68,5	46,2	44,0	36,0	45,3	39,8	39,8
Zugkraft a/Radumfang *kg*	—	—	—	12645	12270	12433	11997	12634	5243	—	869	10742	11752	12229	3553	2535	2638
Leistung a/Radumfang *PS*	—	—	—	2255	2243	2240	2155	2195	1300	—	220	1840	1915	1631	596	373	389
Rollwiderstand des angehängten Zuges *kg/t*	—	—	—	4,47	4,03	4,26	5,11	4,42	5,86	—	5,12	4,26	3,82	3,42	4,02	3,56	3,46
Elektr. zugeführte Leistung ab Stromabnehmer effektiv *kW*	—	—	—	1973	1980	1967	1895	1971	1080	—	184	1652	1765	1580	518	344	346
Elektr. zugeführte Leistung ab Stromabnehmer scheinb. *kVA*	—	—	—	2105	2085	2080	2023	2070	1090	—	—	1805	1966	1790	—	—	—
Wirkungsgrad η	—	—	—	0,841	0,834	0,84	0,837	0,82	0,886	—	0,88	0,82	0,80	0,76	0,85	0,80	0,827
Leistungsfaktor φ	—	—	—	0,936	0,95	0,945	0,937	0,953	0,98	—	—	0,916	0,90	0,884	—	—	—

der Einzelmessungen rechnerisch. Die Messung der elektrischen, der Lokomotive zugeführten Energiewerte erfolgte auf dem Dynamometerwagen mittels der Funken-Registrierinstrumente. Als Kontrolle dienten die Registrier-Wattmeter und der *kWh*-Zähler der Schaltstation Kandergrund, unter rechnerischer Berücksichtigung der Nebenbetriebe, wie Wasserstrahlerder und Lichtumformer, sowie der Leitungsverluste. Dabei hat sich beinahe Uebereinstimmung der Angaben der verschiedenen Instrumente ergeben. Aus den gewonnenen Werten sind nun zunächst in obenstehender Tabelle IV eine Reihe von *Einzelwerten von Wirkungsgrad und Leistungsfaktor* der Lokomotiven zusammengestellt.

Für verschiedene Stellen, an denen sich die Züge in Beharrungszuständen befinden, sind jeweilen ermittelt worden: Die Gesamtzugkraft am Radumfang der Lokomotive, der entsprechende Effekt und die zugeführte elektrische Energie, effektiv und scheinbar; daraus wurden der Wirkungsgrad zwischen Effekt am Radumfang und ab Stromabnehmer, sowie der Leistungsfaktor $\cos\varphi$ berechnet. Zu bemerken ist dabei, dass in der zugeführten Energie auch alle Nebenbetriebe der Lokomotive, wie Bremsluft-Kompressoren, Beleuchtungsumformer und Ventilation der Motoren und Transformatoren inbegriffen sind. Die Werte für $\cos\varphi$ sind bei Belastungen unter 1000 *kW* unsicher infolge der Ablesungsschwierigkeit am Ampèremeter für kleine Werte.

Ueber die *Anfahrverhältnisse* geben die beiden Diagramme (Abb. 8 und 9) Aufschluss. Das erste zeigt eine Anfahrt mit voller Belastung auf einer Stationshorizontalen übergehend auf 27 ‰ Steigung, das zweite eine Anfahrt im Tunnel auf 24 ‰ Steigung bei gleichzeitiger Kurve von 300 *m* Radius. Die Diagrammwerte sind in Funktionen der Zeit aufgetragen für Geschwindigkeit in *km/h*. Die Diagramme zeigen den Verlauf der Zugkraft in *kg* am

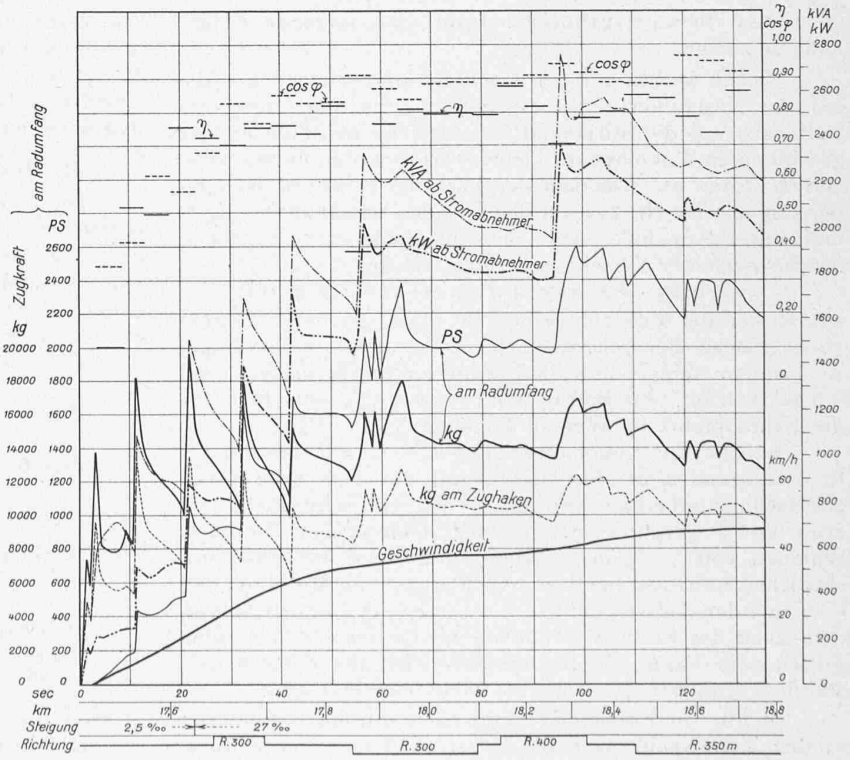

Abb. 8. Diagramm einer Anfahrt auf Station Kandergrund, am 2. Februar 1915, mit Zug Nr. 54, bestehend aus Lokomotive + 30 Achsen = 402,5 *t*.

Lokomotivhaken, Zugkraft in *kg* am Triebradumfang, den entsprechenden Effekt in *PS*, den zugeführten elektrischen Effekt am Stromabnehmer scheinbar in *kVA* und effektiv in *kW*, Wirkungsgrad (Stromabnehmer bis Radumfang) und elektrischen Leistungsfaktor.

Beim zweiten Anfahrdiagramm sind die Werte der Zugkraft und *PS*-Leistung vom Stufenwechsel bei Km. 25,4 an nicht brauchbar, voraussichtlich infolge einer vorübergehenden Störung an der Registriervorrichtung des Instrumentes, die erst später bemerkt wurde. Es zeigt sich dies daraus, dass der Wirkungsgrad über 1 steigt.

Der Gesamtwirkungsgrad einer ganzen Anfahrperiode ergibt aus diesen und drei weitern Anfahrten folgende Verhältnisse zwischen verbrauchter mechanischer und zugeführter elektrischer Energie:

Tabelle V. Anfahrts-Ort:	Kandergrund	Blausee	Kehrtunnel	Riedschuktunnel	Kandersteg
Steigung . . . . ‰	2,5/27	27	24	26,9	0/15
Kurvenradius . . . . *m*	0 u. 300	300	300	1100 und 900	Gerade
Weg . . . . . *m*	1225	547	1557	1543	422
Zeit . . . . . *sek*	135,5	134	228	250	67,5
Endgeschwindigkeit . *km/h*	46,1	24,8	44	44,2	44,9
Mittl. Beschleunigung *cm/sek²*	20 auf 2,5 4,4 » 27	5,75	6	5,1	21,4
Arbeit am Radumfang *kWh*	45,6	21,03	60,15	65,25	13,17
Arbeit zugeführt elektr.:					
Effektiv . . . . *kWh*	61,85	33,2	80,3	92,33	16,87
Scheinbar . . . *kVAh*	70,1	51,9	104,3	115	21
Wirkungsgrad mittlerer η	0,737	0,634	0,75	0,71	0,78
Leistungsfaktor mittl. cos φ	0,88	0,64	0,77	0,80	0,80

Schleudern der Triebräder ist in den Diagrammen verschiedentlich zu beobachten. Ein solches zieht jedesmal eine bedeutende Erniedrigung des Wirkungsgrades nach sich.

Die Zugkräfte am Radumfang, bei denen sich die auf Steigung befindlichen Züge in Bewegung setzen, betragen ungefähr 17 000 bis 19 000 *kg*, was bei rund 80 *t* Adhäsionsgewicht einem Adhäsionskoeffizienten von 1 : 4,7 bis 1 : 4,2 entspricht; der Steuerkontroller stand dabei auf Stufe $4^1/_2$. Die maximalen Zugkräfte erreichen auf Stufen 5 und 6 verschiedentlich 20 000 *kg*, wobei der Adhäsionskoeffizient auf 1 : 4 steigt. Die Zugkraft eines Motors[1]) der Lokomotive Typ 1-E-1, gemessen vermittels eines tragbaren Dynamometers an gebremstem Zug, beträgt:

Tabelle VI.	Strom in Ampère primär	Strom in Ampère sekundär	*kW*	Zugkraft am Haken in *kg*
Stufe 1	—	550	—	800
2	—	1250	50	1100
3	30	1950	120	4000
4	48	3000	200	8000
5	72	> 4000	320	11500

Auf Stufe 5 ist eine Anfahrt aus der Ruhe wegen Schleuderns nie gelungen, ein Beweis dafür, dass auch bei günstigen Schienenzuständen der Adhäsionskoeffizient, der sich auf etwa 1 : 3,5 belaufen würde, ausserhalb der zulässigen Grenze liegt, die bei 1 : 4 zu suchen ist.

Der *gesamte Energieverbrauch* der erwähnten vier Zugsfahrten, wie er von den Registrierinstrumenten des Dynamometerwagens aufgenommen wurde, kann nun in Beziehung gebracht werden zur mechanischen Arbeit, wie sie insgesamt am Triebradumfang geleistet wird, zusammengesetzt aus den Angaben des Dynamometerwagens für die angehängte Zugslast und für die Lokomotive auf Grundlage der Ergebnisse der Einzelmessungen rechnerisch ermittelt. Daraus ergeben sich der mittlere Energieverbrauch pro *tkm* für die einzelnen Strecken, der mittlere Rollwiderstand für den Zug ohne und mit Lokomotive, sowie der mittlere Wirkungsgrad der Lokomotive zwischen Stromabnehmer und Radumfang, alle Verluste in den Hülfsbetrieben der Lokomotive, wie künstliche Ventilation, Druckluftkompressoren u. s. w. inbegriffen.

Auf umstehender Tabelle VII folgt eine Reihe von bezüglichen Resultaten.

Auf der folgenden Tabelle VIII (Seite 14) finden sich, jeweilen für ganze Fahrten zusammengezogen, die entsprechenden Werte für die am Lokomotiv-Radumfang zu leistende Arbeit, für die am Stromabnehmer zugeführte elektrische Energie, absolut und pro *tkm*, ausserdem noch die Energie, gemessen an der Anschlusstation Kandergrund, bezw. am Speisepunkt der ganzen Strecke seitens des Kraft-

[1]) Siehe dessen Beschreibung in Bd. LXIII, S. 52 (24. Jan. 1914).

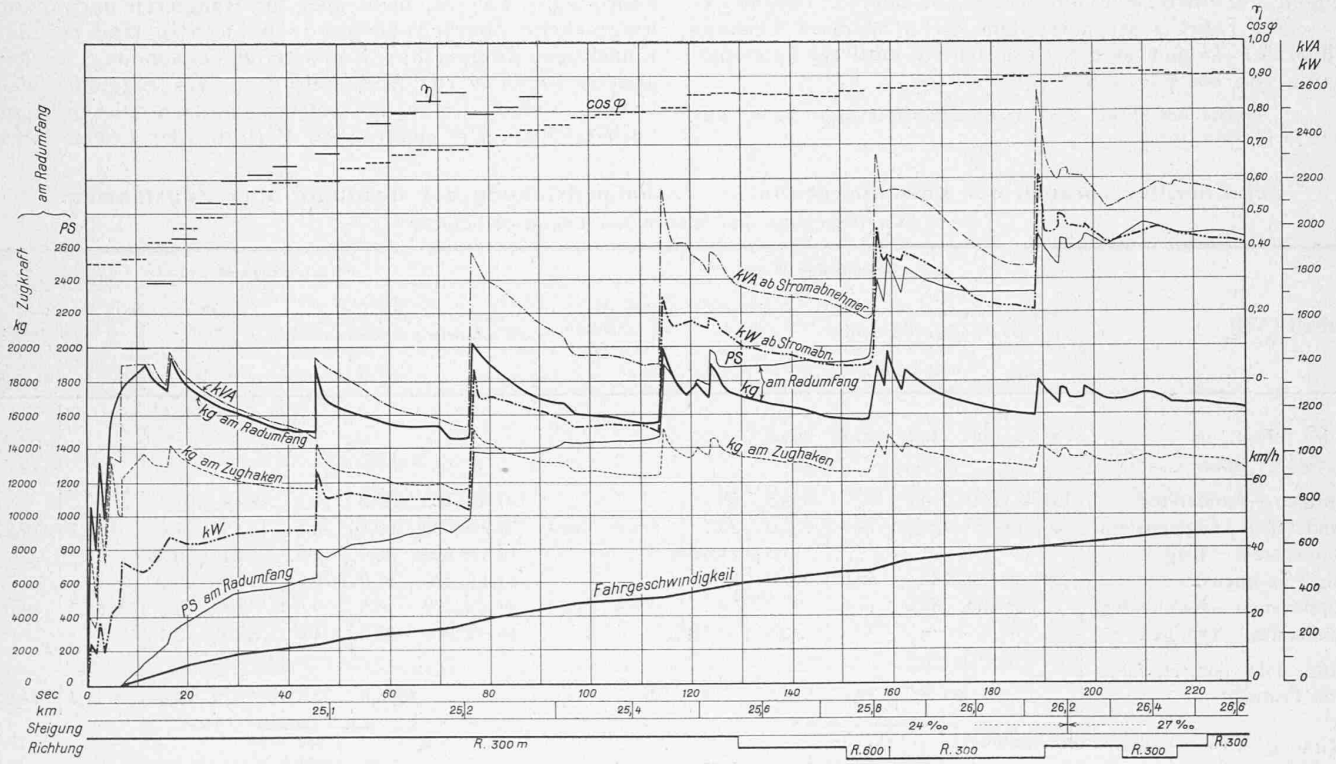

Abb. 9. Diagramm einer Anfahrt im Kehrtunnel der Lötschbergbahn am 2. Februar 1915 mit Zug Nr. 54 (Gesamtgewicht 402,5 *t*).

Tabelle VII.

	Totale Arbeit Radumfang *kWh*	Elektr. zugeführte Arbeit *kWh*	Gesamt *tkm*	*Wh* pro *tkm*	Wirkungsgrad	Rollwiderstand *kg/t* ohne Lok.	Rollwiderstand *kg/t* mit Lok.
Zug Nr. 58							
Spiez-Frutigen	244	295,8	5340	55,4	0,83	4,95	5,47
Frutigen-Kandersteg . .	516	638,8	7270	88	0,806	3,44	3,79
Kandersteg-Goppenstein	134	157	6800	23,1	0,853	4,02	4,59
Goppenstein-Brig . . .	(Gefäll)	15,5	10200	1,52	—	—	—
Zug Nr. 59							
Brig-Goppenstein . . .	700	911,0	10200	89,4	0,77	3,22	3,75
Goppenstein-Kandersteg	80	97	6800	14,2	0,84	3,88	4,53
Kandersteg-Frutigen .	(Gefäll)	23,3	7270	3,2	—	—	—
Zug Nr. 60							
Frutigen-Kandersteg . .	538	662,8	7270	91,3	0,81	4,4	4,5
Kandersteg-Goppenstein	160	183,5	6800	27	0,87	5,2	5,6
Goppenstein-Brig . . .	28	54,4	10200	5,35	0,51	—	—
Zug Nr. 61							
Brig-Goppenstein . . .	721	919,9	10200	90,2	0,78	3,9	4,1
Goppenstein-Kandersteg	66,6	88,6	6800	13	0,8	3,65	3,5

werkes.[1]) Da indessen zwischen den elektrischen Registrierinstrumenten auf dem Zug und denen in Kandergrund nur angenäherte Uebereinstimmung herrschte, kann der aus der Differenz beider Messungen hervorgehende Leitungsverlust von 260,6 *kWh*, bezw. von 6,4 % nicht als zahlenmässig absolut richtig angesehen werden, umsoweniger als auch der darin mitenthaltene Verbrauch von Wasserstrahlerdern und Lichtumformern der Stationen nur näherungsweise geschätzt werden konnte.

Ein andere Messreihe wurde auf der Südrampe durchgeführt mit den an den betreffenden Tagen vorhandenen kursmässigen Zügen, indem in Goppenstein die gesamte von der Südrampe verbrauchte Energie mittels Präzisions-Watt-, Ampère- und Voltmeter aufgenommen wurde. Die mechanisch am Radumfang zu leistende Energie musste in diesem Fall, da Dynamometerwagen nicht vorhanden waren, rechnerisch unter Voraussetzung gleicher Grundwerte für Rollwiderstand, wie aus den Spezialfahrten ermittelt, bestimmt werden. Die hierbei gewonnenen Resultate stimmen mit den vorhergehenden nicht schlecht überein, wenn man in Betracht zieht, dass die Züge aus ganz andern Fahrzeugen, Personen- und Güterwagen, bestanden (Tabelle IX).

Für Fahrt 2 ist ausserdem die scheinbare Leistung mit 612 *kVAh* gemessen, sodass sich ein mittlerer Leistungsfaktor von $\cos \varphi = 0{,}87$ ergibt.

[1]) Schema der Speise- und Fahrleitungsanlagen siehe Band LXIII, Seite 76 (7. Febr. 1914).

Tabelle IX.

Fahrt Nr.	Strecke	Zugsgewicht *t*	Gesamt *tkm*	Arbeit am Radumfang berechnet *kWh*	Elektr. Arbeit in Goppenstein *kWh*	Wirkungsgrad	*Wh* pro *tkm*
1	Brig-Goppenstein .	355	9000	620.5	770	0,806	85,5
2	Brig-Goppenstein .	233	5900	415	532	0,78	90,1
3	Brig-Goppenstein .	205	5190	366	487	0,75	98
4	Brig-Goppenstein .	318	8050	558.5	682	0,818	84,9
5	Brig-Goppenstein . / Brig-Ausserberg .	338 / 357	13030	892	1136	0,785	88,3
6	Brig-Goppenstein .	235	8490	588	745	0,79	87,9
7	Brig-Goppenstein .	338 / 315	16530	1150	1402	0,82	85,7

C. Resultate ganzer Tage.

Zur Untersuchung des Energieverbrauchs ganzer Tage sind die Betriebsverhältnisse vom 24. bis 27. Mai 1915 gewählt worden, an denen ein sehr starker Güterverkehr Nord-Süd zu bewältigen war mit über 10 000 angehängten Tonnen an einem Tag über die ganze Bahn, einer bei eingeleisiger Bahn sehr erheblichen Leistung.

Für diese Tage sind die Fahrleistungen ermittelt aus den Stundenpässen der Züge, desgleichen angehängte Lasten und effektive Fahrleistungen. Die Energiemengen sind den Angaben der Instrumente der Schaltstation Kandergrund entnommen, da die Speisung der ganzen Strecke ausschliesslich an diesem Anschlusspunkt erfolgt. Der zur Festlegung des Wirkungsgrades zwischen Speisepunkt und Radumfang erforderliche Wert der theoretisch geleisteten Arbeit wurde berechnet nach den effektiven Transportmengen unter Zugrundelegung der für die Einzelzüge ermittelten Resultate auf den einzelnen Teilstrecken der Linie. Dabei wurde stillschweigend die Voraussetzung gemacht, dass die Rollwiderstände der Güterzüge denjenigen der gemessenen Personenzüge gleich gewesen seien. Es ergaben sich an diesen Tagen die Leistungen laut Tabelle X.

Wenn man den *Energieverbrauch* dieser Tage (im Mittel 45,5 *Wh/tkm*) mit jenem der Einzelzüge vergleicht (39,5 für Schnellzüge und 44,2 für Personenzüge), so stellt sich der Betrag der untersuchten Tage anscheinend etwas höher. Es ist indessen nicht ausser Acht zu lassen, dass bei den Einzelzügen die Fahrleistungen ganz genau bekannt waren, während dies bei ganzen Tagen nur für die kursmässigen Fahrten der Fall ist, nicht aber für Rangieren und unvorhergesehene Zugsbewegungen. Des fernern fand bei den Einzelzügen ausgesuchtes Rollmaterial Verwendung, an den andern Tagen wurde Alles befördert, was zugeführt war. Ueberdies sind noch bei den Güterzügen, die an diesen Tagen vorherrschten, die elektrischen Verluste der Lokomotiven

Der Energieverbrauch der Lötschbergbahn. — Zusammenstellung der Resultate aller Zugsfahrten.

Wirkungsgrade und spezifischer Energieverbrauch.

Tabelle VIII.

	Schnellzüge 58 und 59: Abgegebene mechanische Arbeit am Radumfang der Lokomotive			Zugeführte elektrische Arbeit ab Stromabnehmer		Zugeführte elektrische Arbeit ab Schaltstation Kandergrund		Personenzüge 60 und 61: Abgegebene mechanische Arbeit am Radumfang der Lokomotive			Zugeführte elektrische Arbeit ab Stromabnehmer		Zugeführte elektrische Arbeit ab Schaltstation Kandergrund	
	mkg	*kWh*	*Wh/tkm*	*kWh*	*Wh/tkm*	*kWh*	*Wh/tkm*	*mkg*	*kWh*	*Wh/tkm*	*kWh*	*Wh/tkm*	*kWh*	*Wh/tkm*
Spiez — Frutigen	89,734,600	244,5	45,8	295,8	55,4	306,7	57,5	—	—	—	—	—	—	62,3
Frutigen — Spiez	—	—	—	—	—	—	3,6	—	—	—	—	—	—	9,7
Frutigen — Kandersteg	188,423,000	514,0	70,7	638,8	88,0			197,459,100	539,0	74,1	662,8	91,3		
Kandersteg — Goppenstein	49,119,300	134,0	19,7	157,0	23,1	824,6	34,0	58,796,900	160,2	23,6	183,5	27,0	952,7	39,2
Goppenstein — Brig	—	—	—	15,5	1,52			10,578,560	28,9	2,8	54,4	5,35		
Brig — Goppenstein	256,436,420	700,0	68,6	911,0	89,4			264,435,900	721,0	70,7	919,9	90,2		
Goppenstein — Kandersteg	29,336,400	80,0	11,8	97,0	14,2	1098,4	45,2	24,406,000	66,5	9,8	88,6	13,0	1188,7	49,0
Kandersteg — Frutigen	—	—	—	23,3	3,2			10,600,000	28,9	4,0	52,0	7,15		
Ganze Hin- und Herfahrt ab Frutigen		1428,0	29,4	1842,6	37,9	1923,0	39,6		1544,5	31,8	1961,2	40,4	2141,4	44,2
Wirkungsgrad: Radumfang/Stromabnehmer:		0,775							0,787					
Wirkungsgrad: Radumfang/Kandergrund:		0,743							0,720					

Tabelle X.	Mai 24.	25.	26.	27.
Zugs-*km* inkl. Leerfahrten	1976,6	2395	2345	2232
Lokomotiv-*km* Nutzdienst	2230,7	2438,5	2548,7	2233,3
» » total	2470,2	2691,3	2757,3	2472,8
Tagesleistung in Gesamt-*tkm*:				
Nord-Süd	538320	610190	619800	488750
Süd-Nord	375380	385130	414750	370730
Total	913700	995320	1034550	859480
Angehängte Tonnen über ganze Bahn	8960	9740	10200	8210
Energieverbrauch:				
Berechnet am Radumfang *kWh*	27850	31140	30660	26580
Gemessen in Kandergrund *kWh*	40900	45500	45500	40700
Wirkungsgrad	0,683	0,685	0,675	0,653
Wh/tkm	44,7	45,7	44	47,3
Mittlerer Effekt während Betriebsdauer . . . . . *kW*	2220	2300	2260	2020
Momentane Maximalbelastung *kWh*	8330	8450	8130	7560
Schwankungsverhältnis	1 : 3,7	1 : 3,7	1 : 3,6	1 : 3,75

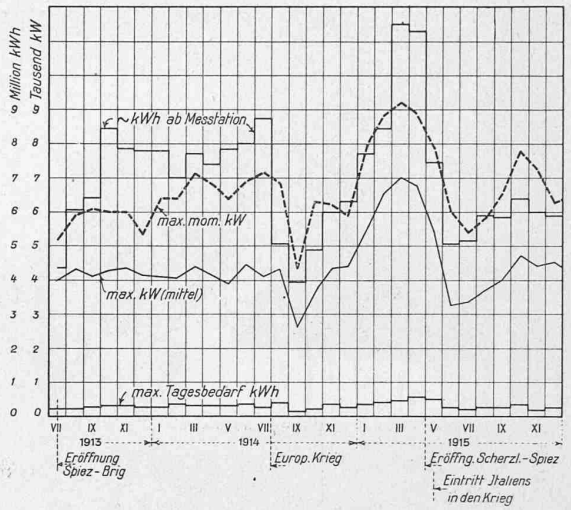

Abb. 10. Darstellung des monatlichen Energieverbrauchs.

grösser als bei Personen- und insbesondere bei Schnellzügen, da verhältnismässig mehr Leerlaufsarbeit der Transformatoren, namentlich auch auf den Gefällsstrecken, bei langsamer Fahrt vorkommt.

Unter Berücksichtigung dieser Umstände darf die Uebereinstimmung zwischen den Messungsresultaten der Einzelzüge und dem Verbrauch ganzer Tage als eine gute bezeichnet werden.

Gemäss den Ablesungen eines Phasenmessers schwankte der *Leistungsfaktor* an diesen Tagen zwischen 0,85 und 1,0.

D. Energieverbrauch im Jahresdurchschnitt.

Der Energieverbrauch der ganzen Bahn von Eröffnung der durchgehenden Linie Spiez-Brig am 14. Juli 1913 an bis Ende 1915 findet sich auf Abb. 10 graphisch dargestellt. Darin sind veranschaulicht: Die monatlichen Energiemengen am Speisepunkt Kandergrund in *kWh*; die maximal momentanen *kW*; der Durchschnitt der höchstbelasteten sechs Viertelstunden verschiedener Tage eines Monats; die maximale Tagesbelastung in *kWh*.

Auf den *tkm* berechnet ergibt sich aus dem *Gesamtverbrauch im Jahresdurchschnitt* folgender Energieverbrauch:

Tabelle XI. Energieverbrauch für:	1914	1915
Befördertes Gesamtgewicht im Nutzdienst *tkm*	163 241 300	168 401 881
Leerfahrten und Materialzüge . . . *tkm*	2 509 300	3 581 810
Total *tkm*	165 750 600	171 983 691
Energieverbrauch der Traktion . . *kWh*	7 848 970	8 215 310
Energieverbrauch der Traktion . *Wh/tkm*	47,4	47,7

Die Uebereinstimmung mit den Einzelmessungen der Züge und Tage ist auch hier vorhanden, wenn berücksichtigt wird, dass in den obigen Fahrleistungen alles Rangieren nicht inbegriffen ist, auch die Ermittlung der gefahrenen *tkm* nicht so genau erfolgen kann und wahrscheinlich eher zu kleine Werte als zu grosse ergibt. Im Energieverbrauch ist ferner im Jahresdurchschnitt auch der Bedarf der elektrischen Heizung der Lokalzüge inbegriffen, der in den Einzelzügen nicht vorkam und an den Einzeltagen im März jedenfalls auch nicht von Bedeutung war. Von Einfluss ist ebenfalls noch das Verhältnis der Transportmengen in Richtung Nord-Süd zu Süd-Nord, indem beim Ueberwiegen der ersteren auch der Energieverbrauch pro *tkm* etwas höher ist.

Schlusswort.

Aus den vorliegenden Resultaten, die unter betriebsmässigen Verhältnissen und nicht etwa für Paradezwecke unter möglichst günstigen Umständen zurecht gemacht wurden, darf wohl die Tatsache festgestellt werden, dass das von der Berner Alpenbahn adoptierte Einphasen-Wechselstrom-System hinsichtlich der Oekonomie des Energieverbrauchs äusserst günstig arbeitet. Die Wahl der Seriegespeisten raschlaufenden Zahnradmotoren der Maschinenfabrik Oerlikon hat sich in dieser Hinsicht vollkommen bewährt, wie auch diejenige der angewendeten Stufenregulierung. Die Vorteile der letztern sind besonders kenntlich bei den Anfahrdiagrammen. Dass bei irgend einem andern Stromsystem derart geringe Energieverluste während der Anfahrperiode zu erzielen sind, dürfte wohl als ausgeschlossen gelten.

Da die Energieverbrauchswerte in der Messtation Kandergrund bis auf einen ganz geringen Leitungsverlust von etwa 1 bis 2 % bis zum nahe gelegenen Kraftwerk Bunderbach der Bernischen Kraftwerke, auch für Messung an letzterem Ort Geltung haben, ergibt sich zwischen den Klemmen der Generatoren und dem Triebradumfang der Züge ein *mittlerer Wirkungsgrad im Jahresdurchschnitt von 0,66 bis 0,68*, alle Hülfsdienste der Traktion inbegriffen. Nachdem die örtlichen Verhältnisse der Stromversorgung derart günstig waren, dass die Bahnleitungen direkt mit der Generatorspannung von rund 15500 Volt gespiesen werden konnten, und abgesehen von den Transformatoren der Lokomotiven sonst deren nirgends benötigt waren, dürfte der erwähnte Wirkungsgrad der Traktion wohl das Höchste darstellen, was bei einer Vollbahnanlage von der vorliegenden Ausdehnung je erreicht werden kann. Die Berner Alpenbahn-Gesellschaft darf sich dazu beglückwünschen, dass ihr Bau in eine Zeit fiel, wo die Fortschritte in der Konstruktion von Einphasenmotoren bereits derart waren, dass der Versuch einer ausgedehnten Verwendung derselben sich rechtfertigen liess.

Das neue Krematorium in Zürich.

Architekt *Alb. Frölich* aus Brugg in Zürich.

(Mit Tafeln 4 und 5.)

Am 15. Juni 1889 hatte der „Zürcher Feuerbestattungsverein" das auf seine Initiative und durch ihn geschaffene erste Krematorium in Zürich seiner Bestimmung übergeben.[1]) In seiner Weihrede sagte damals der verdiente Vorkämpfer der Feuerbestattung in der Schweiz, Prof. Dr. *Alb. Heim*, vor dem schlichten, in klassischen Formen gehaltenen Bau: . . . „Das Krematorium ist ein Tempel der Duldung und der Freiheit. Es trägt nicht den Stempel einer besondern Religionsgemeinschaft. Die Feuerbestattung ist nicht Sache einer bestimmten Konfession und auch nicht Feind einer Konfession. Ihr sollen zugetan sein Anhänger des frömmsten Glaubens wie Freigeister: ihnen Allen steht dieser Tempel der Toleranz offen!" — Damit hatte Heim in zutreffender Weise auch den für ein

[1]) Erbaut nach Plänen des damaligen Stadtbaumeisters *A. Geiser*, dargestellt und durch ihn beschrieben in Band XIV, Nr. 7 und 8 (August 1889).