Störung der Schwachstromanlage durch den elektrischen Betrieb der Lötschbergbahn

Autor(en): **Trechsel, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri**

Band (Jahr): **3 (1925)**

Heft 2

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-873895

Nutzungsbedingungen

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

Haftungsausschluss

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

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

http://www.e-periodica.ch

Jahrgang / Année / Anno III — № 2 — Bern, den / Berne, le / Berna, il 1. IV. 1925

Technische Mitteilungen

der schweizerischen Telegraphen- und Telephon-Verwaltung

Bulletin Technique — Bollettino Tecnico

de l'Administration des Télégraphes et des Téléphones suisses

dell' Amministrazione dei Telegrafi e dei Telefoni svizzeri

Herausgegeben im Auftrage der Obertelegraphendirektion — Publié par ordre de la Direction Générale des Télégraphes — Pubblicato per ordine della Direzione Generale dei Telegrafi

Störung der Schwachstromanlagen durch den elektrischen Betrieb der Lötschbergbahn.

Von E. Trechsel, Bern.

I. Einleitung.

Als der elektrische Betrieb der *Berner-Alpenbahn „Bern-Lötschberg-Simplon"* eröffnet wurde, machte sich ein störender Einfluss der Bahnbetriebsströme auf die im Bereich der Bahn befindlichen Telegraphen- und Telephonleitungen geltend. Die drei betroffenen Schwachstrom-Unternehmungen, d. h. die Schweiz. Bundesbahnen, die Lötschbergbahn und die Schweiz. Telegraphen- und Telephon-Verwaltung, einigten sich deshalb auf eine gemeinschaftliche Untersuchung der Störungs-Ursachen zwecks Anordnung geeigneter Abhilfs-Massnahmen.

Die Traktions-Einrichtungen der Lötschbergbahn.

Der Verlauf der elektrisch betriebenen Lötschbergbahn Scherzligen-Spiez-Kandersteg-Brig ist aus den Fig. 1 und 2 ersichtlich.

Zur Beurteilung der Versuchsergebnisse und der Versuchs-Anlagen werden die Speisungs-Verhältnisse im Folgenden beschrieben.

Die Bahn wird betrieben mit Einphasen-Wechselstrom von 15,000 Volt und 15⅔ Perioden. Die Stromerzeugung erfolgt in den beiden Zentralen der „Bernischen Kraftwerke" (BKW) in Spiez und Kandergrund, welche durch eine sogenannte Parallelschaltungsleitung von 2 mal 50 mm Kupfer für den 15,000 Volt-Pol und durch die Schienen-Anlage als Erdpol verbunden sind.

Die *Zentrale Spiez* speist normalerweise über das Schalthaus Spiez, und zwar die Sektion Scherzligen-Spiez und die Sektion Spiez-Kandergrund. Der Erdpol ist in Spiez angeschlossen.

Die *Zentrale Kandergrund* speist normalerweise über das Schalthaus Kandergrund direkt die Sektion Kandergrund-Kandersteg sowie über die sogenannte Feeder-Leitung Kandergrund-Kandersteg die Sektion Kandersteg-Brig. Die Feederleitung verzweigt sich von Blausee aus in zwei Leitungen, die eine über Felsenburg, die andere über den Bühlstutz. Der Erdpol ist in der Station Kandergrund angeschlossen.

Bei der Beurteilung der Versuche ist zu bedenken, dass die Erdpole sowohl in der Zentrale der BKW in Spiez, als auch in derjenigen in Kandergrund, von der Generatorklemme weg bis zu den Schienenanschlüssen in Spiezmoos bzw. Kandergrund, von Erde isoliert montiert sind. Zwischen den beiden Zentralen besteht keine andere Rückleitung als die Geleise-Anlage.

Der Verlauf der Fahrleitung, sowie derjenige der Parallelschaltungs- und Feeder-Leitungen, ist aus den Fig. 1 und 2 ersichtlich.

Die Schwachstrom-Anlagen.

Die in Betracht kommenden Schwachstrom-Anlagen der Telegraphen- und Telephonverwaltung sind in Fig. 3 schematisch dargestellt und auch in den Fig. 1 und 2 (topographische Karten) eingetragen. Es kommen in der Hauptsache die zur Zeit der Versuche noch eindrähtig mit Erd-Rückleitung betriebenen Telegraphen-Stromkreise in Betracht, welche durch den Bahnbetrieb in erheblichem Masse gestört wurden.

Die Telegraphenleitungen waren in der Hauptsache oberirdische Freileitungen aus 3 mm Eisendraht; auf der Strecke Thun-Gwatt und im Lötschbergtunnel waren jedoch Kabelstrecken eingeschaltet.

Auf der Nordrampe befanden sich die Telegraphen- und Telephonleitungen Scherzligen-Kandersteg im Zeitpunkt der Versuche bereits abseits der Bahn, wiesen aber auf einzelnen Strecken nahe Parallelführungen mit den Fahr- und Speiseleitungen auf, deren Abstände approximativ aus Fig. 1 und 2 ersichtlich sind. Mit Ausnahme der Kabel-Einführung Gwatt-Thun war die ganze Leitungsanlage oberirdisch erstellt.

Von Kandersteg bis Hothen war das Lötschbergkabel eingeschaltet, das 10 krarupierte Telephon-Doppeladern und zwei nicht-krarupierte Telegraphenadern von 1,8 mm Kupfer-Durchmesser enthält. Die Länge des Kabels beträgt 23,1 km.

Auf der Südrampe befinden sich die Schwachstromleitungen auf der Sohle der Rhone-Ebene, während die Fahrleitung sich am Abhang der nördlichen Gebirgs-Kette entlang hinaufzieht.

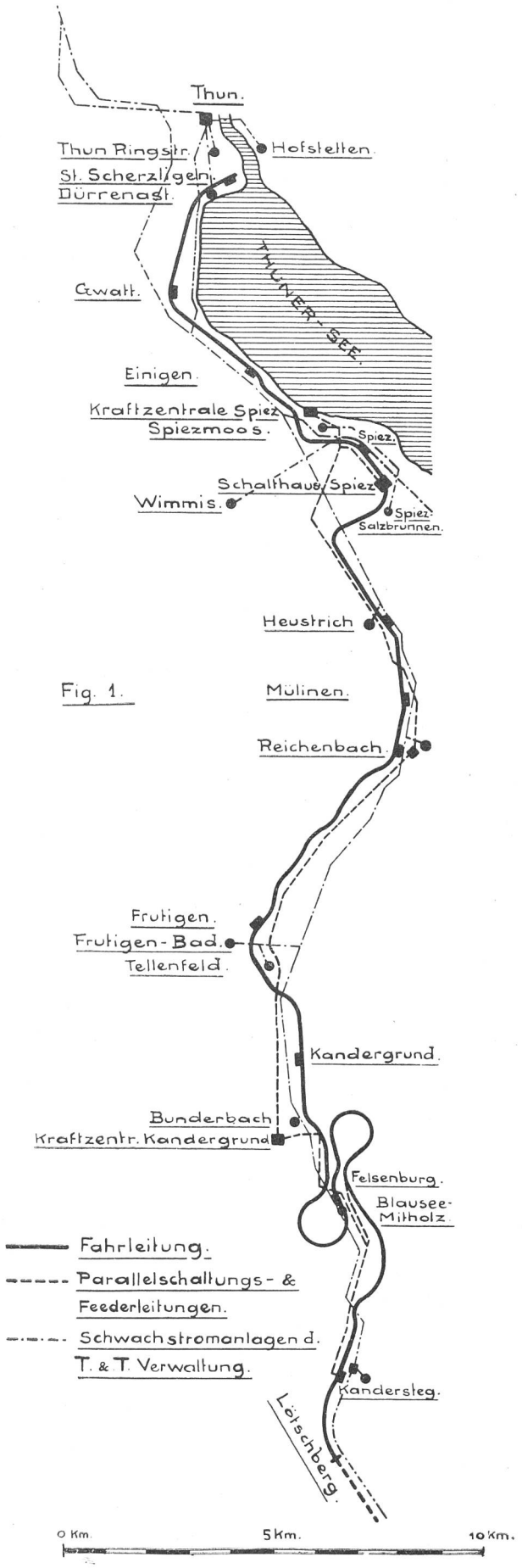

Fig. 1.

Entsprechend den beschriebenen Lage-Verhältnissen weist die Fahrleitung der Südrampe ziemlich beträchtliche Abstände von den Schwachstromleitungen auf. Wie aus Fig. 2 ersichtlich, kommen verschiedene Schwachstrom-Stränge in Betracht, die Parallelführungen mit der Lötschbergbahn verzeichnen, und zwar:

a) die Telegraphenlinie; von Brig bis Visp auf Privat-Terrain längs dem südlichen Bergabhang und von dort längs dem Bahnkörper der SBB;
b) die interurbane Telephonlinie längs dem Bahnkörper der SBB;
c) die Fern-Telephonleitung Berlin-Mailand über Privat-Terrain;
d) die Telegraphenleitungen der SBB am Bahnkörper der SBB;
e) die Signalleitungen der Lötschbergbahn, von Brig bis Ausserberg oberirdisch auf Privat-Terrain und von dort bis Goppenstein als Kabel längs dem eigenen Bahnkörper.

Die Abstände der verschiedenen Schwachstrom-Stränge von der Fahrleitung können aus Fig. 1 und 2 unter Berücksichtigung der Höhenverhältnisse approximativ abgeschätzt werden.

Die Versuchs-Anordnung.

Starkstrom-Anlagen. Für diejenigen Versuche, die nicht speziell betriebsmässige Verhältnisse der Traktions-Anlagen voraussetzten, musste möglichst konstante Dauerbelastung der Fahrleitung geschaffen werden, um praktisch auswertbare Versuchs-Resultate zu erzielen. Dies war nur nachts möglich, während der Verkehr ruhte. Zur Herstellung konstanter Belastung wurden 2 nieder-erregte Generatoren des Kraftwerkes Kandergrund parallel geschaltet, wodurch ein Dauerstrom bis zu 300 Ampère in der Fahrleitung erzielt werden konnte. Dabei wurde die Fahrleitung kurzgeschlossen (d. h. geerdet). Die Kurzschluss-Einrichtung befand sich auf einem Montage-Wagen und war mit einem Oel-Schalter und einem Präzisions-Ampèremeter versehen, so dass die Kurzschluss-Stelle auf der Strecke nach Belieben verschoben werden konnte.

Schwachstrom-Anlagen. Da in der Hauptsache die Höhe der induzierten Spannungen gemessen werden musste, so kamen für die Versuche vorwiegend Leitungen mit beidseitiger Erdung, also Rückleitung durch den Erdboden in Betracht. Um aber auch einen Einblick in die Spannungs-Verteilung in der Erde zu erlangen, war es wünschenswert, die Spannungsdifferenzen in der Erde an möglichst vielen Stellen zu messen, bzw. die Erdspannung im Bereich des vermutlichen Rückleitungsweges der Bahnströme zu vergleichen mit derjenigen ausserhalb der Einflusszone der Bahnströme. Als solche Vergleichserdungen wurden für die Südseite der Bahn, die hauptsächlich in Betracht kam, Blitzingen und Lausanne gewählt; überdies wurden auf der Strecke des Parallelverlaufes eine Anzahl Versuchs-Erdungen vorbereitet, die auf den topographischen Karten (Fig. 1 und 2) als schwarze Punkte eingetragen sind.

Die Ermittlung der auf die Versuchsleitungen wirkenden Spannung erfolgte durch Messung der in diesen Leitungen fliessenden Stromstärke. Aus

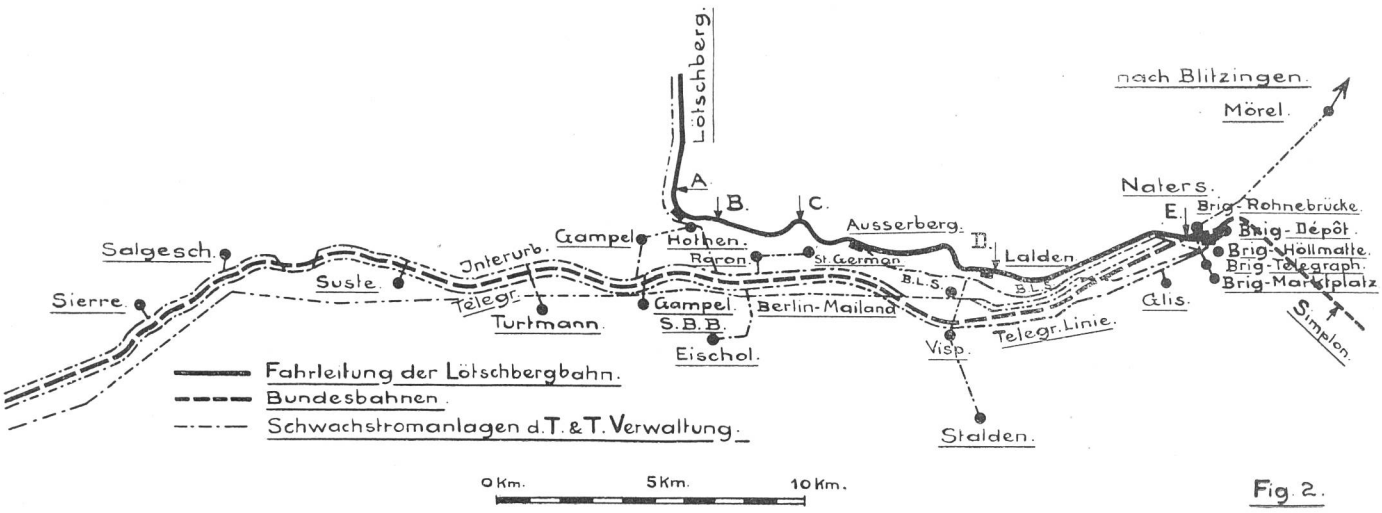

Fig. 2.

dieser konnte die Spannung durch Multiplikation mit dem Widerstand des Stromkreises berechnet werden.

Da der eigentliche Störungsstrom ein $15\frac{2}{3}$periodiger Wechselstrom ist, so müsste eigentlich die Impedanz der Leitungen und Messeinrichtungen berücksichtigt werden. Um diese dem Ohm'schen Widerstand möglichst nahe zu bringen, waren für die Messungen alle Apparate und übrigen Teile mit grösserer Selbstinduktion ausgeschaltet worden.

II. Versuchsresultate.

Versuchs-Serie 1.

Induktions-Spannung bei fahrplanmässigem Betrieb.

Um den Einfluss des fahrplanmässigen Betriebes festzustellen, wurden die Induktionsspannungen während der Fahrt eines Zugspaares gemessen, und zwar fuhr der Zug Nr. 140 mit 120 Tonnen Belastung von Spiez nach Brig, während gleichzeitig der Zug Nr. 1915 mit zirka 264 Tonnen Belastung von Brig nach Spiez auf der Fahrt war. Ueber die Lage der beiden Züge gibt der im obern Teil der Fig. 4 dargestellte, graphische Fahrplan Auskunft.

Als Versuchs-Schwachstromleitungen wurden einerseits eine Telegraphenleitung Brig-Kandersteg-Spiez-Thun und anderseits eine solche Brig-Gampel-Sitten-Lausanne beobachtet, welche beide an ihren Enden geerdet und über das Messinstrument geführt waren.

In Fig. 4 stellt die ausgezogene Kurve die Induktionsspannungen der Leitung Brig-Thun dar, währenddem die punktierte Kurve die Induktionsspannung der Leitung Brig-Lausanne veranschaulicht.

Die Kurven zeigen, wie zu erwarten war, dass die Induktionsspannungen in ihren Schwankungen mit denjenigen des Fahrstromes übereinstimmen. Ferner ergibt sich, dass die Leitung Brig-Thun erheblich stärker beeinflusst wird als diejenige von Brig nach Lausanne, indem erstere Induktionsspannungen bis zu 220 Volt verzeichnet, während die Spannung der Leitung Brig-Lausanne den Betrag von 50 Volt nicht übersteigt. Ueberdies ist ersichtlich, dass die Leitung Brig-Thun in vorwiegendem Masse durch die Bergfahrt des Zuges Brig-Goppenstein beeinflusst wird, da die Strom-Aus- und Einschaltungen dieses Zuges an den Haltestellen Lalden, Ausserberg, Hothen und Goppenstein nicht nur in der Spannungskurve der Leitung Brig-Lausanne, sondern in geradezu auffälliger Weise auch in der Kurve der Leitung Brig-Thun hervortreten. Diese auf den ersten Blick etwas befremdliche Erscheinung erweist sich bei näherer Prüfung doch als begründet, da die Fahrströme des Zuges Brig-Goppenstein durch die Fahrleitung des Tunnels fliessen und dort einen starken induktiven Einfluss auf das neben dem Geleise liegende Schwachstrom-Kabel ausüben können. Die vom Zuge Thun-Brig hervorgerufenen Induktionsspannungen lassen sich in der Kurve der Leitung Thun-Brig nicht leicht verfolgen, da ihre Intensität wegen der bedeutend geringern Zugsbelastung und schwachen Steigung des Bahntracés, sowie auch unter dem Einfluss der veränderten Speisungsverhältnisse, erheblich geringer ist als diejenige der Rampenfahrt Brig-Goppenstein. In der Kurve kommen deshalb die Induktionsspannungen des Zuges Thun-Brig nur als schwache Ueberlagerungen über die Kurve des Gegenzuges zum Ausdruck und lassen sich in einigen Spitzen und Zacken nachweisen.

Versuchs-Serie 2.

Untersuchung über Induktionsspannung und Stromübergang durch die Erd bei konstantem Fahrleitungsstrom.

Da die Telegraphenleitungen im Zeitpunkt der Versuche noch mit Erd-Rückleitung betrieben wurden, war die Vermutung naheliegend, dass die auftretenden Störungen ganz oder teilweise auf direkten Strom-Uebergang durch die Erde zurückzuführen sein könnten. Es wurde deshalb durch folgende Untersuchungen eine Trennung der Induktionsspannungen von den durch Erdpotential verursachten Ausgleichströmen versucht.

Die Messungen erfolgten nach der in Skizze Nr. 5 dargestellten Anordnung.

Wenn mittelst des in Brig eingebauten Umschalters die Leitungsstrecken westlich von Brig auf das Messinstrument geschaltet wurden, so konnten die Induktionsspannungen der Parallelführung Brig-Gampel, mit Einbegriff des zwischen den beiden Versuchs-Erdungen bestehenden Erdpotentials gemessen werden. Schaltete man aber die östlich von Brig gelegenen Leitungsstrecken auf das Instru-

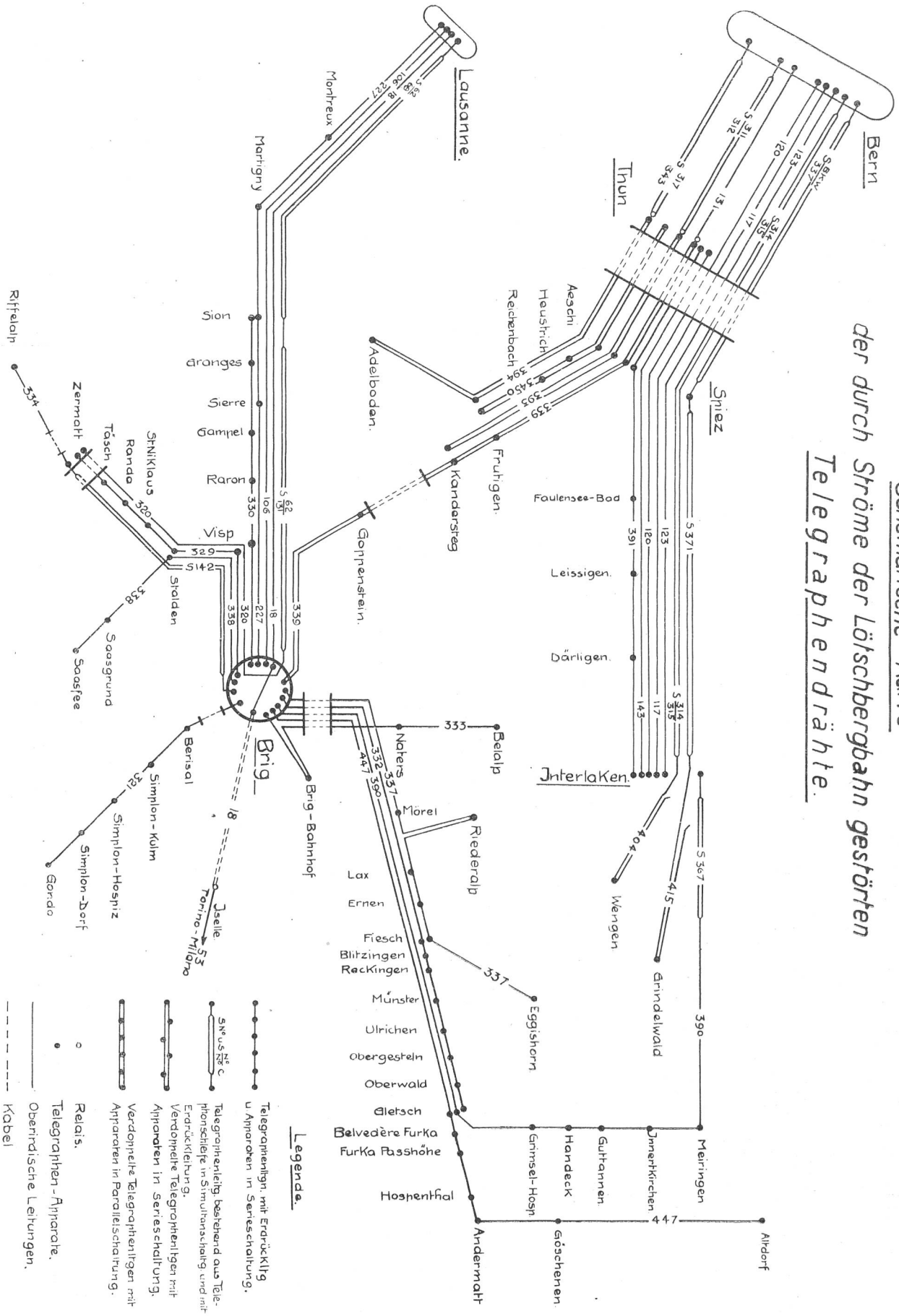
Schematische Karte
der durch Ströme der Lötschbergbahn gestörten
Telegraphendrähte.
Bern
Thun
Spiez
Lausanne
Montreux
Martigny
Sion
Granges
Sierre
Gampel
Raron
Visp
Stalden
Saasgrund
Saasfee
Zermatt
Täsch
St Niklaus
Randa
Riffelalp
Brig
Brig-Bahnhof
Berisal
Simplon-Kulm
Simplon-Hospiz
Simplon-Dorf
Gondo
Iselle
Torino → 53 Milano
Gampenstein
Kandersteg
Frutigen
Adelboden
Aeschi
Reichenbach
Faulensee-Bad
Leissigen
Därligen
Interlaken
Wengen
Grindelwald
Lauterbrunnen
Mürren
Naters
Belalp
Mörel
Riederalp
Lax
Ernen
Fiesch
Blitzingen
Reckingen
Münster
Ulrichen
Obergesteln
Oberwald
Gletsch
Belvedère Furka
Furka Passhöhe
Hospental
Andermatt
Eggishorn
Grimsel-Hosp
Handeck
Guttannen
Innertkirchen
Meiringen
Göschenen
Altdorf
Legende.
Telegraphenleitg. mit Erdrückltg u. Apparaten in Serieschaltung.
Telegraphenleitg. bestehend aus Telephonschleife in Simultanschaltg. und mit Erdrückleitung.
Verdoppelte Telegraphenleitgen mit Apparaten in Serieschaltung.
Verdoppelte Telegraphenleitgen mit Apparaten in Parallelschaltung.
Relais.
Telegraphen-Apparate.
Oberirdische Leitungen.
Kabel

Fig. 3.

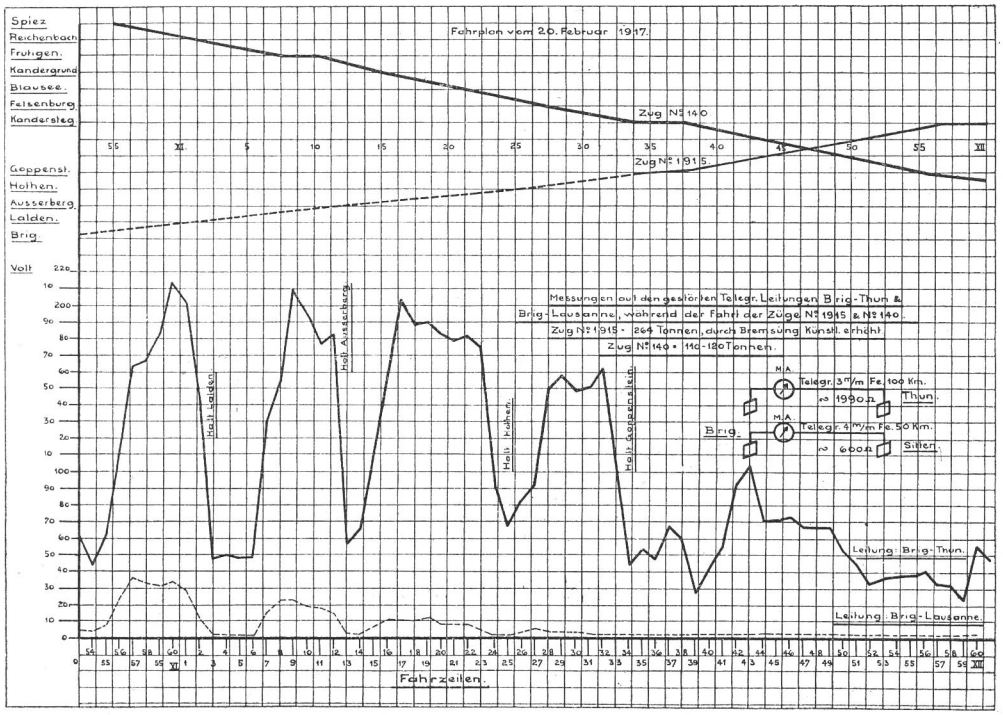

Fig. 4.

ment, so wurden lediglich die durch Erdpotential hervorgerufenen Ausgleichströme, ohne Induktionseinfluss der Fahrleitung gemessen. Die Messungen ergaben folgende Resultate:

Fremdspannungen der Leitungen im Wallis.

A. Fahrstrom 200 Ampère.

Nr.	Versuchsleitung	Vergleichs-Erde Brig Volt	Vergleichs-Erde Blitzingen Volt	Vergleichs-Erde Lausanne Volt
1.	Brig-Rhonebrücke	0,7	15,9	29,4
2.	Brig-Marktplatz .	1,6	13,6	29,5
3.	Brig-Höllmatte . .	0,6	13,9	27,5
4.	Brig-Depot. . . .	1,4	16,2	29,0
5.	Naters.	0,1	12,3	30,7
6.	Mörel	6,9	6,3	28,6
7.	Blitzingen	14,8	—	41,0
8.	Stalden	31,5	28,4	19,4
9.	Brig-Telegraph . .	—	13,3	27,4
10.	Gampel	63,6	75,6	24,4
11.	Raron	55,0	57,0	—
12.	Hothen	65,1	68,4	—

B. Fahrstrom 295 Ampère.

1.	Brig-Rhonebrücke	0,9	23,5	36,5
2.	Brig-Marktplatz .	2,16	19,5	36,6
3.	Brig-Höllmatte . .	0,84	21,0	35,3
4.	Brig-Depot. . . .	2,08	26,3	36,0
5.	Naters.	0,46	25,0	37,9
6.	Mörel	9,8	24,6	34,8
7.	Blitzingen	21,7	—	48,7
8.	Stalden	44,5	43,0	28,8
9.	Brig-Telegraph . .	—	26,5	35,2
10.	Gampel	91,5	90,0	24,6
11.	Raron	82,2	82,3	23,6
12.	Hothen	93,6	94,4	23,5
13.	Gampel SBB . .	88,5	87,7	26,2

Aus diesen Zahlen ist ersichtlich, dass z. B. die *nicht zur Fahrleitung parallel geführten Leitungsstrecken* von Brig talaufwärts (Nr. 1—8), sowie von Gampel talabwärts (Nr. 10—13), gleichwohl nennenswerte Fremdspannungen aufweisen, die von direktem Stromübergang durch die Erdplatten, d. h. durch Potential-Differenzen in der Erde verursacht werden.

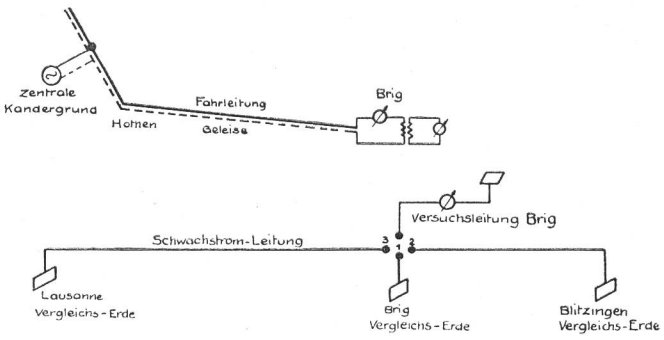

Fig. 5.

Aus den vorstehenden Tabellen lassen sich die folgenden besonders bemerkenswerten Zahlen zusammenstellen:

Spannung der Leitungen	bei 200 Amp.	bei 295 Amp.
Blitzingen-Lausanne . . .	41,0 Volt	48,7 Volt
Gampel-Brig	63,6 „	91,5 „
Gampel-Lausanne	24,4 „	24,6 „
Brig-Blitzingen.	14,8 „	21,7 „

Es geht hieraus hervor, dass die beiden am Ende des Parallelverlaufes liegenden Erdungsstellen Gampel und Brig im Bereich des erhöhten Erdpotentials liegen, und dass deshalb die Erdausgleichströme sich zu den Induktionsströmen addieren, wodurch die resultierende Spannung erheblich höher wird als die

reine Induktionsspannung der Leitung Lausanne-Blitzingen, deren Erdungspunkte ausserhalb des durch die Bahn-Rückströme erhöhten Erdpotentials liegen. In analoger Weise sind die verzeichneten Spannungen der Strecken Gampel-Lausanne-Brig-Blitzingen die reinen Erdpotential-Differenzen, da die betreffenden Leitungsstrecken sich ausserhalb der induktiven Einwirkung der Fahrleitung befinden.

Dass sich bei Addition der Spannungen keine genaue Uebereinstimmung ergibt, ist erklärlich, indem die Induktionsströme mit den Erd-Ausgleichströmen nicht phasengleich sind.

Zu bemerken ist noch, dass die Lage der Versuchs-Erdungen in den Fig. 1 und 2 durch schwarze Punkte ersichtlich gemacht ist.

Versuchs-Serie 3.

Spannungsmessungen mit verschiebbarem Fahrleitungs-Erdschluss zwischen Hothen und Brig.

Die Versuchsanordnung war in der Hauptsache die gleiche wie bei obiger Versuchs-Serie 2, mit dem Unterschied, dass die künstliche Erdung der Fahrleitung zwischen Hothen und Brig verschiebbar angeordnet war. Im übrigen wurden zum Teil andere Versuchsleitungen benutzt. Der Fahrleitungsstrom wurde für die ganze Versuchs-Serie 3 auf 295 Amp. konstant gehalten. Die Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Spannungsmessungen bei verschiebbarem Fahrleitungs-Erdschluss.

Nr.	Versuchsleitung	Vergleichs-Erdungen Brig Volt	Blitzingen Volt	Lausanne Volt
A. Fahrleitungs-Erdung oberhalb Hothen-Tunnel.				
1.	Gampel-Dorf . . .	17,1	16,7	6,51
2.	Hothen	25,5	26,5	8,8
3.	Gampel SBB . . .	2,3	4,6	3,6
4.	Turtmann	2,1	3,3	2,6
5.	Siders	7,1	5,1	1,3
6.	Sitten	6,8	5,0	1,4
7.	Visp	1,5	4,1	3,0
8.	Stalden	0,9	4,1	3,3
9.	Brig.	—	2,8	2,3
10.	Blitzingen	—	—	1,2
B. Fahrleitungs-Erdung in Hothen-Station.				
1.	Gampel-Dorf . . .	27,2	23,2	7,6
2.	Hothen	35,0	35,5	10,2
3.	Gampel SBB . . .	2,3	5,3	4,1
4.	Turtmann	2,7	3,4	2,8
5.	Siders	9,6	6,6	1,4
6.	Sitten	10,6	7,0	1,1
7.	Visp	9,8	4,8	3,4
8.	Stalden	1,7	4,9	3,6
9.	Brig.	—	3,6	2,6
10.	Blitzingen	—	—	2,4
C. Fahrleitungs-Erdung bei der Bietschtal-Brücke.				
1.	Gampel-Dorf . . .	—	6,9	10,9
2.	Hothen	—	10,6	19,5
3.	Gampel SBB . . .	—	4,6	6,1
4.	Turtmann	—	5,4	12,1
5.	Siders	—	10,4	1,2
6.	Sitten	—	10,7	1,5
7.	Visp	—	5,3	4,0
8.	Stalden	—	5,8	4,9
9.	Brig.	—	5,0	4,0
10.	Blitzingen	—	—	4,3
D. Fahrleitungs-Erdung in Lalden-Station.				
1.	Gampel-Dorf . . .	49,4	49,2	2,9
2.	Hothen	51,2	44,0	2;8
3.	Gampel SBB . . .	44,5	37,4	3,8
4.	Turtmann	43,2	36,7	3,7
5.	Siders	50,2	42,5	3,6
6.	Sitten	55,0	43,4	3,7
7.	Visp	21,4	14,6	6,1
8.	Stalden	0,6	12,3	12,0
9.	Brig.	—	10,6	10,1
10.	Blitzingen	—	—	13,1
E. Fahrleitungs-Erdung oberh. Rhonebrücke Brig.				
1.	Gampel-Dorf . . .	91,0	77,0	6,5
2.	Hothen	90,0	79,0	6,8
3.	Gampel SBB . . .	88,2	76,5	7,2
4.	Turtmann	54,8	67,9	6,4
5.	Siders	91,0	80,0	6,6
6.	Sitten	92,9	80,5	6,7
7.	Visp	57,5	48,6	6,7
8.	Stalden	1,7	20,5	21,4
9.	Brig.	—	17,0	17,4
10.	Blitzingen	—	—	21,4

Aus obiger Tabelle lassen sich auch hier, wie beim Versuch 2, die reinen Induktionsspannungen und die Erdpotentiale unterscheiden, und zwar wie folgt:

Spannung der Leitungen	Fall A Volt	Fall B Volt	Fall C Volt	Fall D Volt	Fall E Volt
Blitzingen-Lausanne, reine Induktionsspannung .	1,2	2,4	4,3	13,1	21,4
Gampel-Brig, Induktion und Erdpotential . .	17,1	27,2	—	49,4	91,0
Gampel-Lausanne, reines Erdpotential	6,5	7,6	10,9	2,9	6,5
Brig-Blitzingen, reines Erdpotential	2,3	2,6	4,0	10,1	17,4

Die Erdungspunkte sind in Fig. 2 durch Pfeile mit entsprechenden Buchstaben A, B, C, D, E bezeichnet.

Es ist einleuchtend, dass im Fall A die reine Induktion fast Null ist, da der Bahnstrom keinen eigentlichen Parallelverlauf mit der Schwachstromleitung aufweist; anderseits war im Falle E in der Leitung Gampel-Brig der Höchstwert der Spannung zu erwarten, da die ganze Strecke der Induktion ausgesetzt ist und überdies beide Erdungspunkte im Bereich des Erdpotentials liegen.

Bezogen auf die Strom-Momente der Fahrleitung, ergeben sich für die obigen Werte der *reinen* Induktion folgende

Spannungen pro 100 *Ampère-Kilometer*

Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
0,3 Volt	0,39 Volt	0,49 Volt	0,50 Volt

Das stetige Anwachsen dieser Einheitsspannungen entspricht der fortschreitenden Annäherung der Schwachstromleitung an die Fahrleitung auf der Strecke Gampel-Brig, d. h. dem Anwachsen der Gegeninduktivität mit dem verkleinerten Abstand der parallel geführten Leitungen.

Versuchs-Serie 4.

Einfluss des Simplon-Betriebes auf die Schwachstromleitungen im Wallis.

Ausser der Lötschberg-Fahrleitung mit 15,000 Volt Einphasenstrom endigte zur Zeit der Versuche auch die Fahrleitung des Simplontunnels mit 3000 Volt Drehstrom im Bahnhof Brig. (Die Strecke Brig-Sitten wurde erst später im Anschluss an den Simplon elektrifiziert.)

Zum Vergleich des Einflusses beider Bahnen auf die in Brig eingeführten Schwachstromleitungen Lausanne-Brig und Brig-Blitzingen-Oberwallis wurden beide Fahrleitungen im Bahnhof Brig geerdet und ungefähr auf 300 Ampère einregliert. Die Messung der Erd- und Induktionsspannungen an den Schwachstromleitungen erfolgte nach der weiter oben beschriebenen Anordnung.

In der nachstehenden Zusammenstellung der Versuchsresultate enthält die Serie A die vom *Simplon allein* herrührenden Spannungen, wobei nur die Simplon-Fahrleitung geerdet war; die Serie B zeigt die Spannung bei gleichzeitiger Erdung beider Fahrleitungen. Vergleichserde Brig-Telegraph.

Nr.	Versuchs-Leitungen	A. Simplon allein	B. Simplon u. Lötschberg
1.	Rhonebrücke-Brig	1,1 Volt	1,16 Volt
2.	Höllmatte-Brig	0,7 „	0,93 „
3.	Marktplatz-Brig	—	2,25 „
4.	Mörel	1,4 „	5,2 „
5.	Blitzingen	—	4,5 „
6.	Glis	1,5 „	8,1 „

Es zeigt sich, dass der Einfluss des Simplon-Betriebes im Bahnhofgebiet Brig zwar merklich, aber doch nicht von Bedeutung ist. Uebrigens dauert beim betriebsmässigen Verkehr die Störung nur ganz kurze Zeit, nämlich bis zur Einfahrt der Züge in den Simplontunnel. Vorwiegend handelt es sich um Erdpotential-Erhöhungen in der Gegend von Brig, da bei den vorliegenden Verhältnissen eine nennenswerte induktive Beeinflussung ausgeschlossen ist.

Versuchs-Serie 5.

Induktionsspannungen in Leitungen mit verschiedener Entfernung von der Kontaktleitung.

Um den Einfluss des Abstandes der Schwachstromleitung von der Fahrleitung auf die Induktionsspannung beobachten zu können, wurden Spannungsmessungen an drei verschiedenen Schwachstromsträngen Brig-Gamsen vorgenommen. Die Lage dieser Leitungen ist aus Fig. 2 ersichtlich; in Fig. 6 ist die Anordnung schematisch dargestellt, wobei die Endpunkte der Versuchsleitungen mit den Buchstaben F, G und H bezeichnet sind. Die Fahrleitung wurde, wie bei frühern Versuchen, in Brig an Erde gelegt. Länge des Parallelverlaufes zirka 8,3 km.

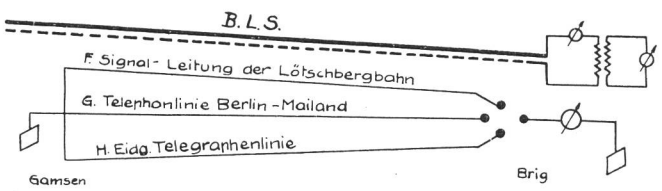

Fig. 6.

An diesen Leitungen wurden folgende Spannungen gemessen:

Leitung	Mittlere Entfernung von Fahrleitung	Spannung Total	Spannung pro 100 Ampère-Km.
F	200 m	184 Volt	7,5 Volt
G	500 m	55 „	2,2 „
H	800 m	1,0 „	0,04 „

Diese Zahlen zeigen die rasche Abnahme der Induktion mit wachsender Entfernung der induzierten von der induzierenden Leitung; zu rechnerischen Untersuchungen sind die erhaltenen Werte jedoch nicht verwendbar, da die gegenseitigen Abstände der verschiedenen Leitungen zu wenig gleichmässig sind.

Versuchs-Serie 6.

Einfluss der Geleise-Erdung auf die Fernwirkungen.

Da das Geleise der Lötschbergbahn in Abständen von je zirka 1 km geerdet war, so lag die Vermutung nahe, dass diese Erdungen einen erheblichen Einfluss auf die Induktion und auf die Spannungsverteilung in der Erde ausüben. Um diesen Einfluss zu beobachten, wurden die Spannungsmessungen nach Anordnung der obigen Versuchs-Serie 2 wiederholt, bei geerdetem und ungeerdetem Geleise. Die Resultate sind nachfolgend zusammengestellt:

Fremdspannungen bei 300 Ampère Dauerstrom

Nr.	Versuchsleitung	Vergleichs-Erde Brig		Vergleichs-Erde Blitzingen		Vergleichs-Erde Lausanne	
		Geleise geerdet	Geleise isol.	Geleise geerdet	Geleise isol.	Geleise geerdet	Geleise isol.
		Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt
1.	Blitzingen	17,2	17,2	—	—	77,5	87,0
2.	Mörel	13,0	10,2	8,6	9,3	84,0	90,0
3.	Brig, Höllmatte .	—	—	16,2	16,6	95,0	96,0
4.	Brig, Marktplatz .	2,3	2,9	14,8	16,0	95,0	95,0
5.	Brig, Telegraph .	—	—	16,4	17,8	94,0	97,5
6.	Brig, Rhonebrücke	—	0,6	17,4	18,4	94,0	97,0
7.	Stalden	58,2	61,5	52,2	53,2	35,0	35,2
8.	Raron	80,6	83,7	71,6	87,4	14,3	13,9
9.	Hothen	92,0	96,8	83,0	86,0	1,7	4,2
10.	Gampel-Dorf . . .	85,0	90,0	72,5	96,8	7,8	7,7
11.	Gampel SBB . .	84,0	86,0	73,5	77,5	10,9	11,2
12.	Turtmann	80,5	91,0	77,0	83,0	8,5	7,2

Aus obigen Resultaten geht hervor, dass die Fremdspannungen durch die Beseitigung der Geleiseerdung in den meisten beobachteten Leitungen etwas gestiegen sind, aber doch nur in ganz unbedeutendem Masse. Die wenigen Resultate, welche eine Herabminderung der Spannung verzeigen, dürften auf Mess-Ungenauigkeiten oder auf nicht kontrollierbaren Spannungsverteilungen in der Erde beruhen.

Versuchs-Serie 7.

Messung der Fremdspannungen auf der Strecke Kandersteg-Spiez (Nordrampe) bei verschiebbarem Fahrdraht-Erdschluss.

Die gleiche Versuchsanordnung, welche auf der Südrampe für die oben beschriebene Versuchs-Serie 3 getroffen wurde, fand auch für die auf der Nordrampe durchgeführten Messungen Anwendung. Dabei wurde die Fahrleitung sukzessive in Goppenstein, Kandersteg, Mitholz und Felsenburg geerdet, unter Einregulierung des Fahrleitungsstromes auf zirka 300 Ampère. Als Schwachstromversuchsleitungen wurden verschiedene von Spiez ausgehende Linien verwendet, wobei Vergleichsversuche mit Erdung in der Telephonzentrale Spiez (im Bahnhof) und Erdung in Weissenburg stattfanden; letzteres, um die Vergleichserde aus dem Bereich der Erdpotential-Erhöhung von Spiez wegzuverlegen.

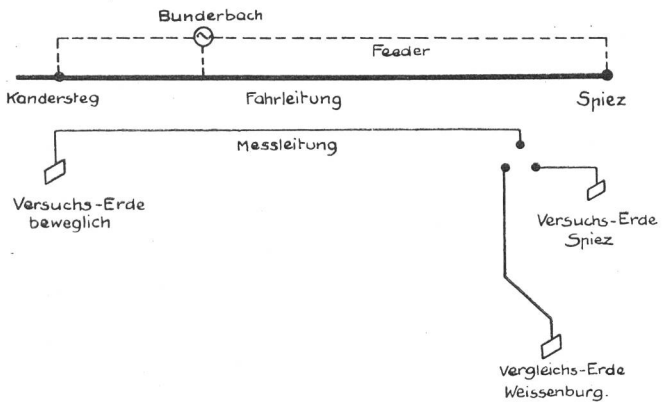

Fig. 7.

Die Versuchsanordnung ist aus Fig. 7 ersichtlich. Ueber das Tracé der Fahr- und Feederleitungen und über dasjenige der gestörten Schwachstromleitungen, sowie über die Lage der verschiedenen Erdungsstellen gibt Fig. 1 Auskunft.

Die Spannungsmessungen haben folgende Resultate ergeben:

Spannungsmessungen bei verschiebbarem Erdschluss Spiez-Kandersteg (Nordrampe).

Nr.	Versuchs-Leitung	Vergleichs-Erdungen Spiez	Weissenburg
	A. Fahrleitungs-Erdschluss in Goppenstein.		
1.	Spiez-Kandersteg	79,0 Volt	94,5 Volt
2.	Spiez-Bunderbach . . .	16,5 „	18,0 „
3.	Spiez-Mitholz	15,2 „	16,0 „
4.	Spiez-Tellenfeld	8,2 „	13,0 „
5.	Spiez-Frutigen-Bad . . .	7,5 „	13,5 „
6.	Spiez-Reichenbach . . .	10,6 „	9,5 „
7.	Spiez-Salzbrunnen . . .	2,4 „	13,5 „
8.	Spiez-Spiezmoos	5,2 „	6,0 „
9.	Spiez-Wimmis	13,4 „	2,4 „
10.	Spiez-Weissenburg . . .	11,5 „	—
	B. Fahrleitungs-Erdschluss in Kandersteg.		
1.	Spiez-Kandersteg	80,0 Volt	106,0 Volt
2.	Spiez-Bunderbach . . .	16,2 „	19,3 „
3.	Spiez-Mitholz	16,5 „	27,7 „
4.	Spiez-Tellenfeld	7,7 „	12,5 „
5.	Spiez-Frutigen-Bad . . .	7,2 Volt	13,5 Volt
6.	Spiez-Reichenbach . . .	10,5 „	9,2 „
7.	Spiez-Salzbrunnen . . .	2,4 „	13,6 „
8.	Spiez-Spiezmoos	5,1 „	5,8 „
9.	Spiez-Wimmis	13,6 „	2,7 „
10.	Spiez-Weissenburg . . .	11,3 „	—
	C. Fahrleitungs-Erdschluss in Mitholz.		
1.	Spiez-Kandersteg	23,0 Volt	28,7 Volt
2.	Spiez-Bunderbach . . .	19,9 „	21,1 „
3.	Spiez-Mitholz	—	30,2 „
4.	Spiez-Tellenfeld	8,0 „	12,3 „
5.	Spiez-Frutigen-Bad . . .	7,5 „	13,9 „
6.	Spiez-Reichenbach . . .	10,6 „	9,5 „
7.	Spiez-Salzbrunnen . . .	2,4 „	13,9 „
8.	Spiez-Spiezmoos	5,2 „	5,9 „
9.	Spiez-Weissenburg . . .	11,3 „	—
	D. Fahrleitungs-Erdschluss in Felsenburg.		
1.	Spiez-Kandersteg	23,0 Volt	28,1 Volt
2.	Spiez-Bunderbach . . .	21,0 „	21,0 „
3.	Spiez-Mitholz	14,7 „	16,7 „
4.	Spiez-Tellenfeld	10,2 „	7,9 „
5.	Spiez-Reichenbach . . .	11,4 „	10,3 „
6.	Spiez-Salzbrunnen . . .	2,6 „	14,9 „
7.	Spiez-Spiezmoos	5,4 „	6,2 „
8.	Spiez-Wimmis	12,0 „	—

Bei obigen Versuchsresultaten ist zu berücksichtigen, dass die Fahrleitungsspeisung vom Kraftwerk Kandergrund aus erfolgte, und dass die Fahrleitungs-Erdschlüsse ausschliesslich im obern Teil des Kandertales angeordnet wurden. Eine nennenswerte induktive Beeinflussung der Schwachstromlinie war deshalb nur auf der Strecke Bunderbach-Kandersteg möglich, was auch mit den Spannungswerten der obigen Tabelle übereinstimmt. Es kann aus dieser Versuchs-Serie der Schluss gezogen werden, dass die erwähnte Strecke Bunderbach-Kandersteg, die ziemlich nahe Parallelführungen mit dem Schwachstromstrang aufweist, eine Induktionsspannung von zirka 80—100 Volt verursacht.

Versuchs-Serie 8.

Messung der Fremdspannungen der Nordrampe bei Fahrleitungs-Erdung in Scherzligen.

Die Versuchsanordnung war in der Hauptsache wie bei Serie 7. Die Speisung der Fahrleitung er-

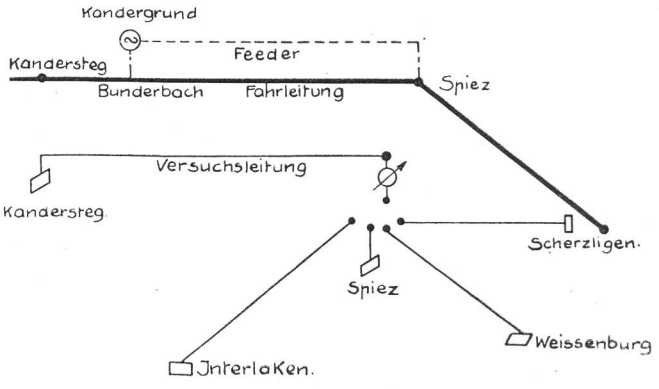

Fig. 8.

folgte aus dem Kraftwerk Kandergrund, unter Einregulierung des Fahrleitungsstromes auf zirka 300 Ampère. Der Fahrleitungs-Erdschluss wurde in Scherzligen angeordnet, so dass die ganze Fahrleitung Bunderbach-Scherzligen unter Strom war. Die Resultate sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

Fremdspannungen bei Fahrdraht-Erdung in Scherzligen.

Nr.	Versuchs-Leitungen	Vergleichs-Erden Spiez Volt	Interlaken Volt	Thun Volt	Kandersteg Volt
1.	Spiez-Kandersteg . .	144,0	134,0	184,0	—
2.	Spiez-Bunderbach .	140,0	131,0	178,0	45,2
3.	Spiez-Mitholz . . .	141,0	129,5	180,0	38,2
4.	Spiez-Tellenfeld . .	120,0	110,0	156,0	17,9
5.	Spiez-Frutigen-Bad .	116,0	106,0	154,0	16,6
6.	Spiez-Reichenbach .	64,2	56,0	100,0	48,8
7.	Spiez-Salzbrunnen .	5,7	8,8	42,4	104,5
8.	Spiez-Spiezmoos . .	6,3	18,4	30,0	118,2
9.	Spiez-Wimmis . . .	7,7	16,2	30,1	118,4
10.	Spiez-Heustrich . .	26,9	18,2	63,9	85,5
11.	Spiez-Thun (Ringstr.)	58,2	—	—	149,1
12.	Spiez-Dürrenast . .	36,7	—	—	147,0
13.	Spiez-Hofstetten . .	38,7	—	—	149,1
14.	Spiez-Weissenburg .	17,5	—	—	110,2

Diese Resultate zeigen, dass die stromdurchflossene Fahrleitung Scherzligen-Bunderbach auf den verschiedenen Sektionen der Schwachstromleitung folgende Spannungen hervorruft:

Spiez-Kandersteg . . . . . 140—150 Volt
Thun-Kandersteg . . . . . 175—185 „
Bunderbach-Kandersteg . . 45 Volt
Spiez-Reichenbach . . . . . 65 „
Spiez-Thun . . . . . 58 „

Bei den Kanderstegerleitungen ist zu bedenken, dass die Induktionsspannung der Strecke Bunderbach-Kandersteg noch hinzukommt, sobald letztere Strecke der Fahrleitung auch stromdurchflossen ist. Diese Induktionsspannung beträgt gemäss Versuchs-Serie 7 zirka 80 Volt, so dass die Fahrleitung Scherzligen-Kandersteg eine Induktionsspannung von

zirka 180 + 80 = 260 Volt

zur Folge haben müsste.

Versuchs-Serie 9.

Messung der Schienenströme bei Fahrdraht-Erdschluss.

Gleichzeitig mit den mehrmals erwähnten Fahrleitungserdschlüssen an verschiedenen Stellen der Bahnstrecke wurde versucht, die Stromverteilung im Geleise zu untersuchen durch Messung der Schienenströme. Ueber die Anordnung dieser Messungen und die Leitungsbedingungen der Schienen ist folgendes zu bemerken.

Das Geleise besteht aus Stuhlschienen von 53,5 cm² Querschnitt, welche fast ausschliesslich auf Holzschwellen montiert sind. Alle 200 m bestehen Querverbindungen von 50 mm² Kupfer. Ungefähr alle Kilometer sind Erdplatten von zirka ¼ m² angeschlossen. Sämtliche eisernen Tragwerke sind geerdet. Doppelspurig sind nur die Strecken Scherzligen-Spiez und Kandersteg-Goppenstein.

Bei der Beurteilung der Versuche ist ferner zu bedenken, dass die Erdpole sowohl in der Kraftzentrale Spiez als auch in derjenigen von Kandergrund von den Generatorklemmen weg bis zum Schienenanschluss in Spiezmoos resp. auf der Station Kandergrund von Erde isoliert montiert sind. Zwischen beiden Werken besteht keine andere Erdleitung als die Geleiseanlage.

Die in Zoreseisen verlegten Schwachstromkabel Kandergrund-Ausserberg (bahneigene) und Kandersteg-Hothen (Telegraphenverwaltung) werden zweifellos an der Stromrückleitung erheblichen Anteil nehmen.

Die Messungen erfolgten direkt, indem man an den Meßstellen beide Laschen und Schienenverbindungen entfernte und in das Geleise einen Stromwandler mit Ampèremeter einbaute. Die Beleuchtungstransformatoren blieben während der Versuche eingeschaltet; ihre Leistung beträgt 7—20 KVA.

Vorversuche ergaben einen Gleichstromwiderstand des Geleises:

Für Kandersteg-Brig, bei 38 Volt und 6,25 Ampère = 6,05 Ohm;

für Kandersteg-Goppenstein, bei 36 Volt und 22,5 Ampère = 1,60 Ohm.

Die Versuchsresultate sind nachstehend zusammengestellt:

Versuch A.

Lötschbergbahnstrecke Brig-Goppenstein. Die Speisung der Strecke erfolgt von Kandergrund aus, wobei der Erdschluss gemäss Fig. 9 in Brig, bei km

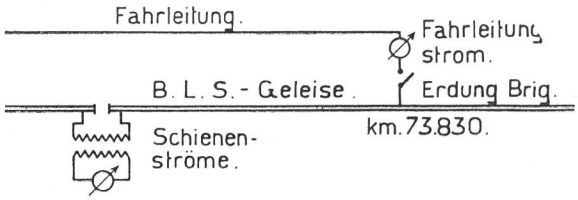

Fig. 9.

73,830, erstellt worden war. Die Strecke war noch mit Erdplatten ausgerüstet. Die Resultate waren die folgenden:

Ort der Messung	Amp.	Amp.	Amp.
Brig, km 73,830, *Strom im Erdschluss-Draht* . . .	*295*	*295*	*200*
	Schienen-Ströme		
Brig, km 73,3, rechtes Rhoneufer .	165	163	115
Lalden, km 67,585	200	202	140
Ausserberg, km 61,520	199	200	138
Hothen, km 54,490	210	210	150
Goppenstein, km 48,690	211	211	149

Versuch B.

Bundesbahngeleise Brig-Gampel. Die Speisung der Strecke erfolgte von Kandergrund aus, wobei der Erdschluss, wie bei Versuch A, im Bahnhof Brig

bei km 73,830 (BLS) resp. km 145,56 (SBB) erfolgte (siehe Fig. 10).

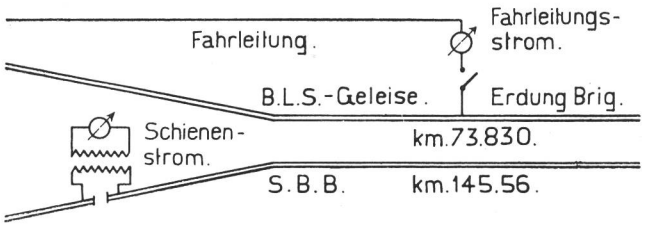

Fig. 10.

Ort der Messung		
Brig, km 145,650 SBB		
Strom im Erdschlussdraht	295 Amp.	
	Schienen-Ströme	
Brig, km 144,840 SBB	3 Amp.	
Visp, km 136,500 „	0 „	
Raron, km 129,800 „	0 „	
Gampel, km 125,500 „	0 „	

Versuch C.

Lötschbergstrecke Brig-Goppenstein. Die Speisung der Strecke erfolgte von Kandergrund aus, wobei der Erdschluss, wie bei den Versuchen A und B, im

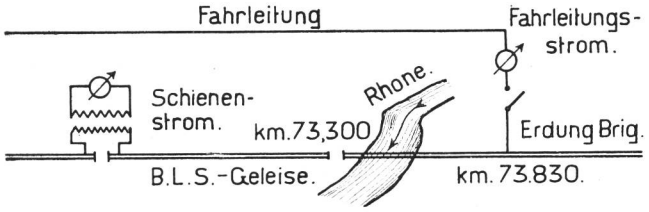

Fig. 11.

Bahnhof Brig (km 73,830) erstellt worden war (siehe Fig. 11). Die Erdplatten der Südrampe waren entfernt worden. Die Resultate sind folgende:

Ort der Messung	Amp.	Amp.
Brig, Strom in Erdschlussdraht . .	295	200
a. Schienen durchverbunden:	Schienen-Ströme	
Brig, rechtes Rhoneufer, km 73,300 .	160	110
Hothen, km 54,490	208	—
Goppenstein, km 48,690	211	—

Nach Aufhebung der Schienenverbindung auf dem rechten Rhoneufer in Brig, km 73,300, also bei vollständigem Unterbruch des Schienenstranges, wurden gemessen:

Ort der Messung	
b. Schienen unterbrochen:	Schienen-Ströme
Brig im Erdschlussdraht	295 Amp.
Hothen, km 54,490	215 „
Goppenstein, km 48,690	220 „

Versuch D.

Schienenstrommessungen auf Station Kandergrund. Die Speisung erfolgte von Kandergrund aus, mit Erdschluss in Brig (km 73,830); die Versuchsanordnungen sind aus Fig. 12 ersichtlich.

1. Instrumente wurden eingebaut vor beiden Ausfahrtsweichen der Station Kandergrund, Seite Spiez, km 17,240 und Seite Brig, km 17,765. Gemessen wurden:

im Fahrdraht	290 Amp.
bei km 17,765	215 „
bei km 17,240	90 „

2. Instrumente wurden vor die Ausfahrtsweiche Seite Brig eingebaut. Vor der Ausfahrtsweiche *Seite Spiez blieb die Schienenleitung unterbrochen.* Die Ablesungen ergaben:

im Fahrdraht	300 Amp.
bei km 17,765	240 „

3. Instrumente wurden vor die Ausfahrtsweiche Seite Spiez eingebaut. Vor der Ausfahrtsweiche *Seite Brig blieb die Schienenleitung unterbrochen.*

im Fahrdraht	296 Amp.
bei km 17,240	130 „

4. Die Schienenrückleitung blieb vor beiden Ausfahrtsweichen der Station Kandergrund unterbrochen. Das Kraftwerk benötigte nun 100 Volt mehr, um die 300 Ampère im Fahrdraht zu erzeugen.

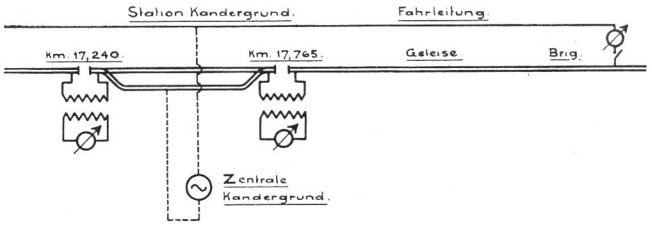

Fig. 12[1].

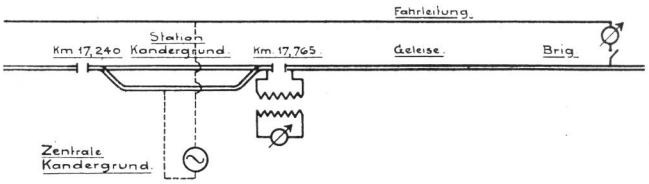

Fig. 12[2].

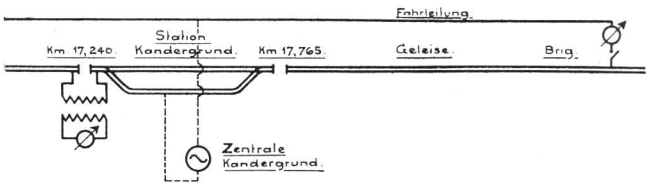

Fig. 12[3].

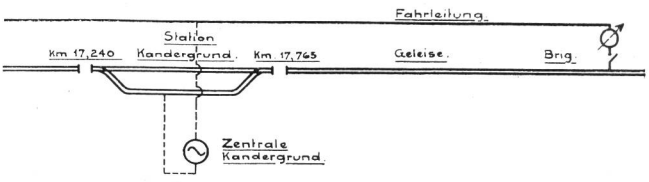

Fig. 12[4].

Versuch E.

Schienenstrommessungen auf der Strecke Goppenstein-Spiez. Der Erdschluss wurde in Goppenstein erstellt. Die Speisung erfolgte vom Kraftwerk Kandergrund aus, unter Benützung der Parallelschaltungs-

leitung zwischen den Werken Kandergrund und Spiez. Die Stromzuführung zur Bahnanlage erfolgte in der Zentrale Spiez, von wo aus die Fahr- und Speise-

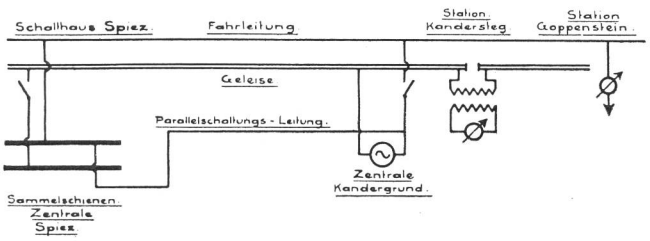

Fig. 13.

leitungen bis Goppenstein unter Spannung gehalten wurden. Der Erdanschluss des Werkes befand sich in der Station Kandergrund (siehe Versuchsanordnung in Fig. 13). Die Resultate waren:

Ort der Messung			Fahrdraht-Erdungen in Goppenstein	Kandersteg	Blausee	Felsenburg
			Schienenströme in Ampère			
Goppenstein-Station	km	48,440	298	—	—	—
Kandersteg-Remise	„	31,240	—	290	—	—
Kandersteg-Seite Spiez	„	31,080	165	205	—	—
Blausee-Station	„	22,350	—	—	300	—
Felsenburg	„	20,620	0	0	120	330
Kandergrund-Süd	„	17,765	130	125	100	160
Kandergrund-Nord	„	17,240	170	40	45	20
Mülenen	„	5,560	75	80	80	80

(Die Fahrleitungs- resp. Erdschluss-Ströme sind unterstrichen).

Versuch F.

Schienenstrommessungen auf der Strecke Scherzligen-Kandergrund. Versuchsanordnung nach Fig. 14. — *Variante I*: Erdschluss in Brig erstellt bei km 73,830.

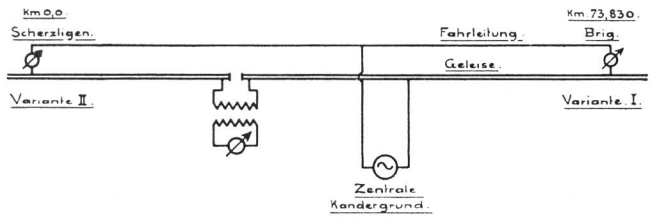

Fig. 14.

Die Speisung erfolgte von Kandergrund aus. *Variante II*: Erdschluss in Scherzligen bei km 0,0; Speisung von Kandergrund aus. Ermittelt wurden folgende Resultate:

Ort der Messung			Schienen-Ströme Variante I	Variante II
Scherzligen	km	0,0	—	310 Amp.
Scherzligen-Depot	km	0,8	0 Amp.	220 „
Mülenen-Süd	km	5,560	0 „	190 „
Kandergrund-Nord	km	17,240	50 „	150 „
Kandergrund-Süd	km	17,765	220 „	80 „
Brig-Bahnhof	km	73,830	300 „	—

(Fahrdraht-Kurzschluss-Ströme sind unterstrichen.)

Versuch G.

Schienenstrommessungen auf der Strecke Kandergrund-Brig. Die Versuchsanordnungen I—VI wurden wie folgt getroffen:

I. In Brig befand sich der Erdschluss bei km 73,830.
II. Erdschluss wie bei I; Unterbrechung der Schienen an der Ausfahrtsweiche Ausserberg-Nord.
III. Erdschluss wie bei I; Unterbrechung der Schienen an der Ausfahrtsweiche Ausserberg-Süd.
IV. Erdschluss wie bei I; Schienenunterbrechung Ausserberg-Süd, Erdschluss-Stromstärke jedoch nur 200 Ampère.
V. Erdschluss in Brig beim Abschluss-Signal, km 73,280; die Strommessung (km 73,300) erfolgte hinter dem Erdschluss. In Ausserberg waren beide Stromwandler eingebaut.
VI. Erdschluss in Brig wie bei V. Schienenleitung bei km 73,30 hinter dem Erdschluss unterbrochen.

Gemessen wurden folgende Schienenströme:

Ort der Messung			I. Amp.	II. Amp.	III. Amp.	IV. Amp.	V. Amp.	VI. Amp.
Brig, Erdschluss	km	73,830	308	310	310	200	—	—
Brig, rechtes Ufer	„	73,300	210	210	210	70	165	—
Brig, rechtes Ufer	„	73,280	—	—	—	—	305	305
Ausserberg-Süd	„	61,530	178	180	—	—	210	210
Ausserberg-Nord	„	61,030	205	—	40	38	178	171

(Fahrdraht-Erdschluss-Ströme unterstrichen.)

Versuch H.

Schienenstrommessungen Kandergrund-Brig, bei *verschobenem Erdschluss*. Die Speisung erfolgte von Kandergrund aus; der Erdschluss wurde an verschiedenen Stellen mittelst Erdungs-Stange ausgeführt.

I. Erdschluss Ausserberg, km 61,050, zwischen Station und Meßstelle Nord.
II. Erdschluss Ausserberg, km 61,020, Seite Hothen, oberhalb Meßstelle Nord.
III. Erdschluss bei km 64,060.
IV. Erdschluss bei km 66,558.
V. Erdschluss in Brig, km 73,280, oberhalb der Meßstelle.
VI. Erdschluss in Brig, km 73,320, zwischen Rhonebrücke und Meßstelle.
VII. Erdschluss in Brig, bei km 73,280; der Unterbruch der Schiene bei km 73,300, d. h. oberhalb der Erdschlußstelle.

Gemessen wurden folgende Schienenströme:

Versuchs-Serien / Ort der Messung	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	Schienen-Ströme in Ampère						
Ausserberg, km 61,020 ob Mess-Stelle Nord .	—	300	—	—	—	—	—
Ausserberg, km 61,050 Mess-Stelle Nord . .	280	130	130	209	172	182	174
Ausserberg, km 61,300 unter Mess-Stelle Nord	300	—	—	—	—	—	—
Ausserberg, km 61,350 Mess-Stelle Süd . . .	70	68	280	242	200	—	198
Wärterhaus, km 64,060	—	—	300	—	—	—	—
Wärterhaus, km 66,558	—	—	—	300	—	—	—
Brig, km 73,280, oberhalb Mess-Stelle . . .	—	—	—	—	300	—	300
Brig, km 73,300, Mess-Stelle.	—	—	—	—	160	235	—
Brig, km 73,320, Mess-Stelle.	—	—	—	—	—	300	—

(Fahrdraht-Erdschluss-Ströme unterstrichen.)

Versuch J.

Schienenstrommessungen im Lötschbergtunnel. Erdschluss in Brig bei km 73,830; Speisung von Kandergrund aus.

Ort der Messung	Schienen-Ströme Amp. I.	II.
Brig-Bahnhof, km 73,830	300	300
Lötschbergtunnel Südportal, Brigergeleise	90	100
Lötschbergtunnel Südportal, Spiezergeleise	130	130
Lötschbergtunnel Nordportal, Brigergeleise	90	50
Lötschbergtunnel Nordportal, Spiezergeleise	70	135
Mülenen, Ausfahrtsweiche Nord	0	—

(Bei den Ablesungen der Serie I war ein Stromwandler am Nordportal schlecht eingeschaltet.)

Schlussfolgerungen.

Obige Resultate der Versuchs-Serie 9 ergeben verschiedene auffällige Tatsachen. Zunächst zeigen sich geringe Schwankungen in der Stromstärke, ähnlich den Strömungsverhältnissen von Gewässern. Dann wurde mehrfach festgelegt, dass die Schienenströme grössere Werte besitzen als die Fahrleitungsströme. Solche Messungen waren:

Versuch D. In Kandergrund wurden in den Schienen am Nord- und Südende die eintretenden Stromstärken ermittelt; sie betrugen 215 + 90 = 305 Ampère, während im Kurzschlussdraht der Strom 290 Ampère betrug. Zudem darf angenommen werden, dass bei den Messungen nicht der totale Strom erfasst wurde, indem ein Teil durch die Erde und die Schwachstrom-Kabelanlage seinen Weg fand.

Versuch E. Eine Messung in Felsenburg ergab unmittelbar neben dem Erdschluss (300 Amp.) eine Schienenstromstärke von 330 Ampère.

Die gleichen Messungen ergaben bei Speisung der Strecke vom Werk Kandergrund über Zentrale Spiez, Schalthaus Spiez, Fahrleitung Spiez-Goppenstein etc. in Mülenen einen Schienenstrom von 75—80 Ampère. Hierbei erfolgte die Stromrückleitung von der Station Kandergrund direkt zum Werk Kandergrund. Geschah nun die Speisung direkt ab Werk und Schalthaus Kandergrund mit Erdschluss z. B. in Brig, so konnte in Mülenen kein Schienenstrom nachgewiesen werden (siehe F. I und J).

Ebenso ist auffällig, dass bei *Versuch H* eine Messung in Ausserberg mit Erdschluss zwischen beiden Meßstellen bei 300 Ampère Erdschluss-Strom einen Schienenstrom von 280 + 70 = 350 Ampère ergab.

Die Messungen der Südrampe ergaben folgende allgemeine Situation:

Bei Erdschluss in Brig (Versuche A, B, C, G und H) verteilen sich die Erdströme im ganzen Gebiet. Unterstützt wird dieser Vorgang durch die eisernen Schwellen des Bahnhofes Brig und durch die vielen geerdeten Eisenmaste. Jenseits der Rhonebrücke konnten kaum 55 % des Stromes in den Schienen nachgewiesen werden. Das SBB-Geleise nimmt minimen Anteil an der Rückleitung (Versuch B). Mit der Entfernung des Schienenstranges von der Talsohle steigert sich bis Lalden die Schienenstromstärke bis auf $^2/_3$ des Erdschluss-Stromes, um bis Goppenstein beinahe konstant zu bleiben. Die Erdplatten, eine per Kilometer, haben im Vergleich zum Einfluss der Mast-Erdungen keine Bedeutung (Versuche A und C). Auch die Schienenströme des Lötschbergtunnels betragen im Maximum nur 75 % des Erdschluss-Stromes (Südportal), wobei allerdings die zu addierenden Anteile der Schwachstromkabel und Schutzkanäle nicht bestimmt wurden. Auffallenderweise besteht zwischen Süd- und Nordportal eine Differenz von 15 % (geringer am Nordportal).

Längs der Nordrampe zeigte sich bei Erdschlüssen auf der Südseite, dass nur zirka 55 % des Erdschluss-Stromes das Geleise als Leiter benützen; der Rest verläuft sich offenbar in den Schwachstromanlagen, in den Wasserläufen und in den Wasserkraftanlagen der BKW.

Unterbrechungen der Schienenleitungen ergaben wohl Verschiebungen, doch keine grundsätzlichen Aenderungen am Stromverlauf (Versuche C, D und H.).

Besondere Verhältnisse zeigten sich in der Geleiseschleife bei Blausee, wo bei Felsenburg (Versuch E) erst bei Erdschluss in der Nähe der Meßstelle Ströme messbar wurden. Die Erklärung muss darin gesucht werden, dass die Geleiseschleife durch eine kupferne Erdleitung abgeschnitten, und dass im untern Schleifenteil viel Wasser im Boden vorhanden ist.

Diese Ergebnisse waren zum Teil ganz überraschend. So hatte z. B. ein vollständiger Schienenunterbruch oberhalb der Rhonebrücke in Brig, zwischen der benachbarten Erdschlußstelle und der Speisestelle, auf die Stromstärke im übrigen Geleise fast gar keinen Einfluss. Es war erwartet worden, dass die Stromstärke in Brig in der Nähe des Erdschlusses und in Kandergrund bei der Anschlussstelle des Rückleitungskabels am grössten, annähernd gleich der Fahrleitungsstromstärke sei und in der Gegend von Kandersteg-Goppenstein einen kleinsten Wert erreiche. Der Versuch ergab das Gegenteil.

Würde ferner der grösste Teil des Stromes durch die Schienen zurückfliessen und nur ein kleiner Teil durch die Erde, so müsste das Geleise in Brig und Kandersteg eine Potentialdifferenz gegen Erde ungefähr gleich dem halben Spannungsabfall des Geleises aufweisen, also eine Spannung von einigen 100 Volt. Statt dessen ergaben sich für diese Spannungsdifferenz gegenüber der Briger Telegraphenerde nur 21 Volt und in Kandergrund ähnliche Werte, obschon im Geleise eine Stromstärke von ungefähr 60 bis 75 % des Fahrleitungsstromes gemessen wurde. Eine Erklärung hierfür lässt sich nur finden unter der Annahme, dass der in den Schienen gemessene Strom in der Hauptsache überhaupt nicht Rückleitungsstrom, sondern ein vom Fahrleitungsstrom hervorgerufener Induktionsstrom sei, während der eigentliche Rückleitungsstrom seinen Weg ganz oder fast ganz durch die Erde nehme.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass die vorstehend beschriebenen Messungen gewisse Unstimmigkeiten aufweisen, wohl hauptsächlich davon her-

rührend, dass nicht immer die gleichen Schwachstromleitungen zu den Strom- und Spannungsmessungen verwendet wurden. Zudem ist zu bedenken, dass es sich nicht um streng genaue Messungen handelt, weil eine ganze Anzahl von Faktoren nicht wohl berücksichtigt werden konnte (Impedanz der Leitungen, Kapazitätswirkungen, Schirmwirkung der Leitungsdrähte unter sich etc.).

Schliesslich möchte ich nicht unerwähnt lassen, dass Herr G. Sulzberger, Kontroll-Ingenieur beim eidg. Eisenbahndepartement und Herr H. Haueter, damals Ingenieur bei der Lötschbergbahn, bei der Aufnahme, Ausmittlung und Zusammenstellung der Versuchsresultate in sehr erheblichem Masse beteiligt waren und durch ihre Mitwirkung wertvolle Dienste leisteten.

Wirkung der Distanz-Aenderung zwischen den Belastungsspulen eines Stromkreises auf die charakteristische Impedanz desselben.

Von J. Collard, Ing. d. Western Electric Co.

Für einen erfolgreichen Verstärkerbetrieb im schweizerischen Kabelnetz ist es wichtig, dass die Stromkreise verschiedener Kabelabschnitte dieselben Impedanzverhältnisse aufweisen. Die schweizerische Verwaltung hat daher beschlossen, für sämtliche Kabel mittelschwere Induktanzbelastung anzuwenden, das heisst in die Stammstromkreise Spulen von 0,177 Henry und in die Phantomkreise Spulen von 0,107 Henry, beide in Abständen von 1800 Metern, einzuschalten.

Bei einigen durch Tunnels geführten Kabeln ist es jedoch unmöglich, die normale Distanzierung für die Belastungsspulen einzuhalten, weil man gezwungen ist, die Spulen in den an der Seitenwand des Tunnels angebrachten und in Abständen von 2000 Metern angeordneten Nischen unterzubringen. Zwei Beispiele dieser Art sind der Simplon- und der Gotthard-Tunnel.

Die auf die Längen-Einheit des Kabels entfallende Induktanz der Belastungsspulen ist in diesem Falle annähernd 10 % geringer als bei normaler Spulendistanzierung, und die charakteristische Impedanz, die ungefähr dem Werte $\sqrt{\frac{L}{C}}$ entspricht, wird gegenüber dem normalen Werte um zirka 5 % vermindert. Beim Simplon-Kabel hat man sich dadurch geholfen, dass man die gegenseitige Kapazität der Stromkreise um ungefähr 10 % vermindert hat, mit dem Ergebnis, dass die charakteristische Impedanz auf den normalen Wert zurückging. Gegenstand der vorliegenden Betrachtung ist es nun, zu zeigen, dass diese Methode zur Erzielung eines normalen Impedanzwertes im üblichen Frequenzbereich für Fernsprechkabel mit Erfolg angewandt werden kann.

Vom theoretischen Standpunkte aus betrachtet, scheinen zunächst zwei Gründe gegen diese Methode zu sprechen. Einmal der, dass die auf die Einheitslänge entfallende Induktanz des Stromkreises selbst um ungefähr 10% grösser ist bei 2000 Metern Spulen-

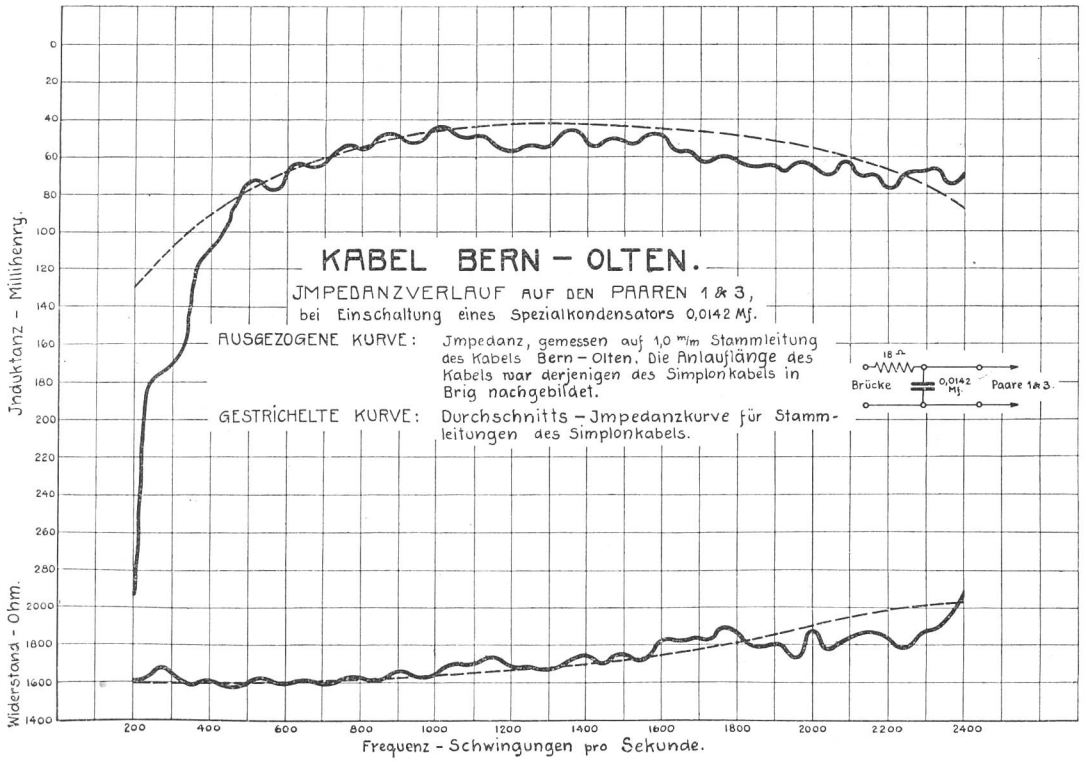

Fig. 1.