

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 20 (1929)

Heft: 13

Artikel: Die Organisation der Arbeiten der Schweizerischen Korrosionskommission und ihrer Kontrollstelle und einige der bisher erzielten Ergebnisse

Autor: Zangerer, H.F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060769>

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: 16.02.2026

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN BULLETIN ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des
Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des
Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke | REDAKTION | Secrétariat général de
l'Association Suisse des Electriciens et de
l'Union de Centrales Suisses d'électricité

Verlag und Administration | Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.
Zürich 4, Stauffacherquai 36/38 | Editeur et Administration

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der
Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet | Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et
sans indication des sources

XX. Jahrgang
XX^e Année

Bulletin No. 13

Juli I
Juillet I 1929

Die Organisation der Arbeiten der Schweizerischen Korrosionskommission und ihrer Kontrollstelle und einige der bisher erzielten Ergebnisse.

Bericht erstattet im Auftrag der Korrosionskommission
von H. F. Zanger, Leiter der Kontrollstelle.

621.333.167

Es werden Zwecke und Ziele der schweizerischen Korrosionskommission angegeben, wie auch der von ihr geschaffenen Kontrollstelle. Diese letztere kontrolliert auf einstimmigen Wunsch von Besitzern von Gleichstrombahnen und unterirdischen Leitungen die in Frage kommenden Anlageteile und schlägt diesen Verwaltungen auf Grund der von der Kommission aufgestellten Leitsätze Massnahmen zur Verkleinerung der Erdströme vor. Sie untersucht ferner auf Wunsch dieser Interessenten regelmässig diejenigen Anlageteile, die ihre Eigenschaften leicht derart verändern können, dass die Erdströme vermehrt werden und erstattet den Kontrahenten über ihre Untersuchungen in regelmässigen Intervallen Bericht. Sodann werden einige Angaben über die bisher erzielten Ergebnisse gemacht, wie auch einige zur Verbesserung der Untersuchungsmethoden geeignete Massnahmen besprochen.

In einem Anhang wird die von der Kontrollstelle entwickelte Ausrüstung zur Messung von Schieneneinstoss widerständen beschrieben.

Le présent article définit la raison d'être et le but de la Commission suisse de corrosion ainsi que de l'Office de contrôle créé par elle. Si l'exploitant d'un chemin de fer électrique à courant continu et les propriétaires de canalisations souterraines voisines sont tous d'accord, l'Office de contrôle examine les parties d'installation en cause et propose aux sociétés et administrations intéressées les mesures convenables pour diminuer les courants vagabonds, en se basant sur les «Règles» élaborées à cet effet par la Commission de corrosion. L'Office de contrôle soumet aussi, si les intéressés y consentent, les parties d'installation dont les propriétés peuvent facilement se modifier et augmenter par conséquent le vagabondage du courant, à un contrôle régulier dont les contractants reçoivent le résultat détaillé dans un rapport périodique. L'article donne ensuite quelques indications sur les résultats acquis à ce jour et mentionne quelques améliorations susceptibles d'être apportées encore aux méthodes actuelles.

Un chapitre-annexe contient la description de l'équipement de mesure développé par l'Office de contrôle et servant à déterminer la résistance des joints de rails.

I. Die Korrosionskommission.

Erdströme von Gleichstrombahnen haben schon lange Schäden an unterirdisch verlegten Leitungen verursacht, die vor 1914 zu Diskussionen zwischen den Verwaltungen, durch deren Anlagen solche Ströme erzeugt werden und den Besitzern unterirdisch verlegter metallischer Leitungen geführt haben. Dies war der erste Anlass, der den Schweiz. Verein von Gas- und Wasserfachmännern, den Verband Schweiz. Transportanstalten und den Schweiz. Elektrotechnischen Verein zur Bildung einer gemeinsamen Kommission bewog, die sich zum Ziele setzte, Mittel und Wege zur möglichsten Verminderung der Schäden durch vagabundierende Gleichströme zu studieren.

Das Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins, das seit Beginn die Arbeiten für die Kommission ausführte, erstattete derselben im Jahre 1917 einen ersten eingehenden Bericht, betitelt „Die Korrosion durch Erdströme elektrischer Bahnen“, der im Bulletin des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins (S.E.V.)¹⁾ veröffentlicht ist. Einen zweiten Bericht, der auf Messungen im Bereiche von 5 verschiedenen Bahnanlagen fußt, erstattete das genannte Sekretariat im Jahre 1920²⁾), in welchem Methoden zur Untersuchung der Korrosionsverhältnisse bei elektrischen Bahnen und die Mittel zur Verbesserung der Verhältnisse behandelt sind.

Auf Grund dieser Vorarbeiten und der erwähnten praktischen Untersuchungen hat die Kommission Leitsätze betreffend Schutzmassnahmen zur Verminderung der Korrosion an Rohren und Kabeln durch Erdströme elektrischer Bahnen aufgestellt³⁾), welche die genannten Verbände ihren Mitgliedern zur Einhaltung empfohlen haben. Diese wurden im Jahre 1927 teilweise abgeändert und ergänzt⁴⁾.

Damit waren technische Unterlagen für die messende Verfolgung, die Beurteilung und die Verminderung der Korrosionserscheinungen gegeben, die temporäre Korrosionskommission hatte entsprechend dem damaligen Stande der Erkenntnisse ihre Aufgabe erfüllt und hätte sich auflösen können. Sie erachtete es aber als ihre Pflicht, sich ihren Mandataren noch weiterhin zur Verfügung zu stellen und die genannten Leitsätze dem jeweiligen Stande der Technik anpassen zu können. Ferner sollte eine Kontrollstelle geschaffen werden, die den Mitgliedern der Verbände für Messungen und zur Beratung zur Verfügung gestellt würde. Alle drei Verbände stimmten diesem Vorschlage zu und gingen zu diesem Zwecke eine Vereinbarung ein, die die Arbeitsweise der Kommission und der Kontrollstelle regelte⁵⁾. Ferner wurde das Generalsekretariat des S.E.V. als Kontrollstelle bezeichnet.

Da auch die Obertelegraphendirektion in Bern in verschiedenen Städten schon seit Jahren ausgedehnte unterirdische Bleikabelnetze besitzt und im Begriffe stand, ein umfangreiches interurbanes Kabelnetz zu erstellen, wünschte sie sich an den Arbeiten der Kommission zu beteiligen. Diese Mitarbeit war den bisherigen Interessenten erwünscht und so wurde die Obertelegraphendirektion als viertes gleichberechtigtes und gleich verpflichtetes Glied in die Korrosionskommission aufgenommen. Ueber die Arbeiten der Kommission seit 1924 orientieren generell deren jährliche Geschäftsberichte⁶⁾.

II. Die Kontrollstelle.

Aufgabe der Kontrollstelle ist, einerseits den Verwaltungen, deren Betriebe im Boden vagabundierende Gleichströme erzeugen, anzugeben, durch welche Mittel diese Ströme derart verminder werden können, dass die Bestimmungen der erwähnten und von allen Beteiligten als erste Richtlinie anerkannten Leitsätze eingehalten werden können und anderseits den Besitzern unterirdisch verlegter Leitungen anzugeben, durch welche weiteren Mittel an ihren Anlagen, die auch nach den erstgenannten Massnahmen noch fliessenden Ströme weiter verminder werden können. Da aber mit der Angabe der zweckmässigsten Mittel zur Verbesserung der Zustände nur halbe Arbeit geleistet wäre, ist die Kontrollstelle auf einstimmigen Wunsch sämtlicher beteiligter Verwaltungen im Gebiete einer oder mehrerer zusam-

¹⁾ Bulletin S.E.V. 1918, No. 7 und 8, Separatabzüge dieser Arbeit sind beim Generalsekretariat des S.E.V., Zürich 8, Seefeldstrasse 301, erhältlich.

²⁾ Bulletin S.E.V. 1920, No. 10 und 11, Separatabzüge sind beim Generalsekretariat S.E.V. erhältlich.

³⁾ Siehe Bulletin S.E.V. 1922, No. 11.

⁴⁾ Siehe Bulletin S.E.V. 1928, No. 10, S. 344; Separatabzüge dieser Leitsätze mit einem Anhang, in welchen die von der Kontrollstelle angewandte Berechnungsmethode angegeben ist, sind beim Generalsekretariat des S.E.V. erhältlich.

⁵⁾ Siehe Bull. S.E.V. 1922, No. 12, S. 572 u. ff.

⁶⁾ Siehe Bull. S.E.V. 1925, No. 5, S. 254; 1926, No. 6, S. 269; 1927, No. 5, S. 297; 1928, No. 10, S. 344; 1929, No. 11, S. 405.

mehängender Bahnen bereit, jährliche Messungen durchzuführen, deren Ergebnisse sämtlichen Beteiligten zugestellt werden und damit die erzielten Fortschritte bekannt zu geben. Hiezu ist bisher in folgender Weise vorgegangen worden:

Wenn an einem Orte das Bedürfnis nach Erdstromuntersuchungen sich geltend macht, so sucht die Kontrollstelle das Einverständnis sämtlicher, an diesem Orte interessierter Verwaltungen zur Durchführung der Messungen zu erhalten.

Als Erzeuger von schädlichen Gleichströmen in der Erde kommen in Betracht: die *elektrische Bahn*, sofern sie mit Gleichstrom betrieben wird und die Schienen als Stromleiter benutzt; das *Elektrizitätswerk*, sofern es ein Gleichstromverteilnetz mit im Erdboden liegendem blanken Nulleiter besitzt.

Als Besitzer von unterirdischen Leitungen, die durch Bahnerdströme leiden können, kommen in Betracht:

das *Wasserwerk*,

das *Gaswerk*,

die *Obertelegraphendirektion*,

das *Elektrizitätswerk*, für seine im Boden liegenden Bleikabelleitungen,

die *elektrische Bahn*, für ihre im Boden liegenden Speise- und Rückleitungskabel und für ihre Schienen.

Diese Verwaltungen zusammen nennen wir im folgenden die interessierten Verwaltungen. Es verdient besonders hervorgehoben zu werden, dass die Erzeuger von Erdströmen auch selbst unter deren Folgen direkt leiden können. Dieser Umstand erleichtert oft Bahnverwaltungen den Entschluss, sich an gemeinsamen Untersuchungen zu beteiligen.

Ist allseitiges Einverständnis betreffend Durchführung der Messungen vorhanden, so wird zunächst eine allgemeine Untersuchung der Korrosionsverhältnisse vorgenommen, aus der sich ergibt, in welchem Zustande sich die verschiedenen Anlagen mit Bezug auf die Einhaltung der Bestimmungen der Leitsätze befinden. Hierauf werden die am meisten geeigneten Mittel zur Verbesserung der Verhältnisse vorgeschlagen, in komplizierten Netzen werden eventuell mehrere Varianten durchgerechnet. Ein eingehender Bericht über die Messungen, wie auch die Vorschläge werden sämtlichen interessierten Verwaltungen zugestellt.

Damit sind die Beteiligten über den Umfang des Uebels und die zweckmässigste Remedur orientiert. Es zeigt sich aber, dass die Krankheit, mit der die Korrosionserscheinungen verglichen werden können, langsamer, schleichender Natur ist. Sie braucht in der Regel Jahre, um sich gehörig zu entwickeln; es sind aber auch jahrelange, systematische Anstrengungen nötig, um alle die vielen oft geringfügig erscheinenden Ursachen zu beheben. Ist man soweit gelangt, dass der Patient als relativ gesund erklärt werden kann, so bedarf er noch dauernder sorgfältiger Pflege, indem man die verschiedenen Anlageteile dauernd überwacht und instandhält.

Entsprechend diesen zwei Stadien hat die Kontrollstelle ihre weitere Arbeit wie folgt organisiert:

Auf Wunsch der interessierten Verwaltungen schliessen diese mit der Kontrollstelle einen mehrjährigen Vertrag ab (der in der Regel auf fünf Jahre lautet), während welcher Zeit letztere diejenigen Anlageteile jährlich einmal untersucht, deren Aenderung eine Vergrösserung der Erdströme zur Folge haben kann. Es sind dies vor allem die Widerstände der Schienenstösse und die Verteilung der Ströme in den Schienen und den Leitungen, die diese mit einem Pol der Sammelschiene verbinden. Die Interessenten erhalten über diese Untersuchungen je einen Bericht zugestellt, aus welchem der Widerstand und die Lage der Stösse, wie auch die Ströme in den Schienekabelleitungen und die Ohmwerte eventueller zusätzlicher Widerstände, die in die Schienekabelleitungen zwecks besserer Verteilung der Ströme in denselben eingebaut werden, ersichtlich sind. Diese Messungen genügen, nachdem eine allgemeine Untersuchung vorgenommen wurde, um fest-

zustellen, inwieweit die von den Bahnverwaltungen getroffenen Massnahmen die Korrosionsgefahr vermindert haben. Soweit möglich werden solche Untersuchungen durch Messung der in Rohrleitungen und Kabelmänteln fliessenden Bahnströme ergänzt. Diese letzteren Messungen sind dann besonders wertvoll, wenn sie jährlich an denselben Messtellen wiederholt werden können, wozu diese Leitungen entweder direkt, oder besser durch besondere, festverlegte Messleitungen jederzeit zugänglich zu machen sind.

Gemäss den in den Leitsätzen niedergelegten Anschauungen werden jährlich die Widerstände aller Stösse in Weichen und Kreuzungen gemessen⁷⁾, die mechanisch den grössten Beanspruchungen ausgesetzt sind und denen auch durch ihre Häufung besondere Bedeutung zukommt, wie auch die Widerstände derjenigen Stösse im Geleise, in denen durch den Betriebsstrom ein grösserer mittlerer Spannungsabfall als 0,5 Millivolt pro Meter erzeugt wird. Die Widerstände von Schienenstössen, die nach dem Thermitverfahren geschweisst sind, werden, da sie immer sehr klein sind, nicht gemessen, sondern nur auf das Vorhandensein von Rissen kontrolliert. Wir nennen diese Messungen „teilweise Stosswiderstands-Messungen“. Einmal innert der fünfjährigen Vertragsperiode werden die Widerstände sämtlicher Schienenstösse mit Ausnahme der geschweissten Stösse, die wie oben angegeben kontrolliert werden, gemessen. Wir nennen diese letztern Messungen „vollständige Schienenstosswiderstands-Messungen“. Ferner wird seit zwei Jahren der Widerstand zwischen parallelen Schienensträngen vor und nach jeder Weiche und in der Mitte jeder Teilstrecke gemessen. Wir nennen diese Messungen „Querwiderstandsmessungen“.

Die Kontrollstelle hat bisher allgemeine Untersuchungen im Gebiete der nachstehend aufgeführten Bahnen durchgeführt:

		Geleiselänge in km ¹⁾	Betriebs- spannung Volt	Durchführung der ersten Untersuchung
1	Städt. Strassenbahn, Zürich	95,3	600	1919
2	Tramways Lausannois, Lausanne	77,9	675	1919
3	Tramways de Neuchâtel	31,4	600	1920
4	Städt. Strassenbahnen, Bern	34,4	600	1920
5	Strassenbahnen des Kt. Baselstadt, Basel	85,2	600	1920
6	Limmattalstrassenbahn	12,0	600	1920
7	Chur-Arosa-Bahn, Chur	27,1	2000	1921
8	Frauenfeld-Wil-Bahn	19,0	1200	1922
9	Trambahn St. Gallen	23,6	600	1923
10	Strassenbahn St. Gallen-Speicher-Trogen	10,4	850	1923
11	Städt. Strassenbahn Biel	12,0	600	1924
12	Uetlibergbahn	8,9	1200	1925
13	Strassenbahn Basel-Aesch	9,7	600	1920
14	Strassenbahn Basel-Pratteln	9,9	600	1925
15	Tramway Vevey-Montreux-Villeneuve, Territet	14,4	600	1926
16	Schaffhauser Strassenbahn	14,0	600	1926
17	Tramvie elettriche comunale di Lugano	7,8	1000	1927
18	Tramways de Fribourg	8,2	600	1927
19	Wynentalbahn, Aarau	23,7	650	1928
20	Aarau-Schöftland-Bahn, Aarau	11,7	650	1928
21	Chemin de fer Aigle-Leysin, Aigle	8,3	650	1928
22	" " Aigle-Sépey-Diablerets, Aigle	23,5	1350	1928
23	" " Aigle-Ollon-Monthey	11,5	750	1928
24	" " Bex-Gryon-Villars, Bex	14,8	650	1928
25	" " Monthey-Champéry-Morgins, Monthey	12,7	800	1928
26	Tramvie elettriche Locarnese, Locarno	3,6	1200	1928
Totale Geleiselänge			611,0 km	

1) Ohne Depot- und Stationsgeleise.

7) Ueber die Messmethode und Messausrüstung siehe Anhang.

Die Untersuchungen in Zürich, Bern und Basel wurden infolge wesentlicher Änderungen im baulichen Zustand und im Betriebe je einmal, diejenigen in Lausanne zweimal wiederholt.

Seit 1924 wurden fünfjährige Verträge betreffend die regelmässige Untersuchung der Anlagen im Gebiete folgender Bahnen abgeschlossen:

		Geleiselänge in km ¹⁾	Jährlich kontrolliert seit
1	Basler Strassenbahnen, Basel	85,2	1924
2	Städt. Strassenbahn, Zürich	95,3	1924
3	Städt. Strassenbahn, Bern	34,4	1924
4	Trambahn St.Gallen	23,6	1924
5	Städt. Strassenbahn, Biel	12,0	1925
6	Tramways Lausannois, Lausanne	77,9	1926
7	Tramvie Comunale di Lugano	7,8	1928
8	Tramways de Fribourg	8,2	1928
9	Chur-Arosabahn, Chur	27,1	1925
10	Uetlibergbahn, Zürich	8,9	1926
11	Strassenbahn Basel-Aesch, Basel	9,7	1925
12	Strassenbahn Basel-Pratteln, Basel	9,9	1926
13	Strassenbahn St.Gallen-Speicher-Trogen	10,4	1926
14	Tramway Vevey-Montreux-Villeneuve, Territet	14,4	1927
Total Geleiselänge			424,8 km

¹⁾ Ohne Depot- und Stationensgeleise.

Seit 1924 wurden u. a. insgesamt die Widerstände von 108 873 Schienenstössen und der Widerstand zwischen parallelen Schienensträngen an 4736 Orten gemessen, ferner wurden 30 273 Stösse, die nach dem Thermitverfahren geschweisst sind, auf das Vorhandensein von Rissen untersucht und die Ergebnisse jeder einzelnen Messung bezw. Beobachtung den beteiligten Verwaltungen zur Kenntnis gebracht.

Es mag interessant sein festzustellen, dass bei den teilweisen Messungen ca. $\frac{2}{3}$ der Messungen auf Stösse in Weichen oder Kreuzungen, ca. $\frac{1}{8}$ auf gewöhnliche Stösse im Geleise und $\frac{1}{5}$ auf Thermitstösse in diesem entfallen; bei den vollständigen Messungen betragen die entsprechenden Zahlen ca. $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{5}$ bzw. $\frac{1}{3}$. Hieraus geht hervor, dass ein Grossteil der Messungen Schienenstösse in Weichen und Kreuzungen betrifft, was angesichts der bereits erwähnten grösseren mechanischen Beanspruchung und örtlichen Häufung dieser Stösse durchaus berechtigt ist.

Unsern Bemühungen, dem Verständnis und den systematischen Verbesserungsarbeiten der Bahnverwaltungen ist es zu verdanken, dass 4 Bahnen mit einer Geleiselänge von 139,2 km nun jede einzelne weniger als 10 % Schienenstösse, die jährlich kontrolliert werden, aufweisen, die grössere Widerstände als 3 m-Schiene aufweisen. Bei diesen Bahnen hatten zu Beginn unserer regelmässigen Untersuchungen 27,9 % der Schienenstösse die jährlich kontrolliert werden, grössere Widerstände als diejenigen von 3 m-Schienen; heute weisen dieselben nur noch 3,9 % so cher Stösse auf.

Ausserdem steht zu erwarten, dass bei 3 weiteren Bahnverwaltungen mit 196,8 km Geleiselänge dieser Zustand in nächster Zeit ebenfalls erreicht wird (die entsprechenden Zahlen betragen bei Beginn unserer Untersuchungen 36,9 %, heute 19,8 %), so dass dann ca. 79 % der total von uns untersuchten Geleiselänge sich in gutem Zustande befinden wird, ein recht befriedigendes Ergebnis, wenn berücksichtigt wird, dass ca. 32 % der in Frage stehenden Geleiselänge erst seit 3 Jahren regelmässig untersucht wird.

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass es bei gutem Willen der Bahnverwaltungen und konsequenter Arbeit möglich ist, den erwähnten Zustand im allgemeinen ohne allzugrosse finanzielle Aufwendungen in 5 Jahren zu erreichen.

Wenn mit der Erreichung dieses Zustandes zugleich eine Verteilung der Ströme in den Schienen erreicht wird, die den Bestimmungen der Leitsätze entspricht, so kann erwartet werden, dass die Korrosionsschäden sich auf ein erträgliches Minimum reduzieren. Wenigstens scheint aus den bisherigen Erfahrungen kein gegenteiliger Schluss gezogen werden zu können. Der Patient kann also wenn auch nicht als ganz geheilt, so doch als wesentlich gebessert bezeichnet werden und bedarf nur noch weiterer sorgfältiger Pflege. Diese Pflege suchen wir ihm wie folgt zukommen zu lassen:

Wir schlagen den interessierten Verwaltungen vor, Stosswiderstandsmessungen nur alle zwei Jahre vornehmen zu lassen und zwar zweimal teilweise, einmal eine vollständige Stosswiderstandsmessung, zu welchem Zwecke neue sechsjährige Verträge abgeschlossen werden. Nach Ablauf derselben werden wir uns an Hand der gemachten Erfahrungen und systematischer Untersuchungen an befahrenen Schienentössen verschiedener Art schlüssig zu werden suchen, ob und ev. wie dieser Modus abzuändern sein wird. Durch solche langjährige, konsequent durchgeföhrte Untersuchungen hoffen wir, die dem Patienten zuträglichste Therapie ermitteln zu können. Wir zweifeln nicht daran, dass es möglich sein wird, mit Unterstützung von Seiten der Bahnverwaltungen, auf die wir angewiesen sind, mit der Zeit die Messungen noch weiter einschränken zu können.

Ungleich schwieriger als die Darstellung der erzielten Ergebnisse mit Bezug auf die Verbesserung der Schienenleitfähigkeit ist die allgemeine Darstellung der Verbesserung der Verteilung der Ströme in den Schienen, weil es sich hier um die Behandlung von Problemen handelt, die in jedem Fall individuell untersucht und für die auch individuell verschiedene Lösungen gesucht werden müssen, denen wohl die gleichen allgemeinen Gesichtspunkte, die in den Leitsätzen niedergelegt sind, zugrunde liegen, die sich aber statistisch nicht erfassen lassen.

Der in den Leitsätzen der Verteilung der Ströme in den Schienen zugrundegelegte Grundsatz ist folgender: Die Stromdichte in den Schienen darf bestimmte, je nach der Schienenart und ihrer Verlegung verschiedene Werte nicht überschreiten. Außerdem müssen die Ströme bei Bahnen in Städten so geföhrt werden, dass nirgends eine bestimmte Spannungsdifferenz zwischen den Schienen im Korrosionsgebiet und der neutralen Zone überschritten wird. Bei der Berechnung wird dabei angenommen, dass sämtlicher Bahnstrom ausschliesslich in den Schienen fliessst. Die beiden genannten Bedingungen können bei gegebenem Schienenprofil dadurch eingehalten werden, dass entweder für eine genügende Anzahl Anschlusspunkte von Leitungen an die Schienen und zugleich dafür gesorgt wird, dass diese Leitungen die gewollten Ströme föhren, oder durch Anwendung des Dreileitersystems, wobei in den Schienen, je nach dem angewendeten System, nur die Ausgleichströme zwischen zwei parallelen Geleisen oder zwischen benachbarten Speisebezirken verschiedener Polarität der Oberleitungen fliessen. Wird das in der Schweiz gegenwärtig ausschliesslich benützte Zweileitersystem in Betracht gezogen, so kann für genügend Anschlusspunkte von Leitungen an Schienen entweder durch Wahl vieler Umformerstationen mit wenigen und verhältnismässig kurzen Schienenkabeln oder weniger solcher Stationen mit vielen und dann auch langen Kabeln gesorgt werden. Welche Lösung die zweckmässigste ist, muss von Fall zu Fall besonders untersucht werden. Seitdem es möglich ist, solche Umformerstationen ohne oder mit sehr wenig Bedienung zu betreiben, nähert sich die zweckmässigste Lösung mehr dem Fall mehrerer Umformerstationen mit wenigen und kürzeren Schienenkabelleitungen. In beiden Fällen kann für richtige Verteilung der Ströme auf die verschiedenen Leitungen durch entsprechende Festlegung ihres Widerstandes, ev. unter Zuhilfenahme von zusätzlichen Widerständen, die an geeigneter Stelle in den Zug der Leitung eingeschaltet werden, oder durch Benützung von Zusatzmaschinen (solche kommen jedoch bei den Verhältnissen, wie sie in der Schweiz vorhanden sind, wirtschaftlich nicht in Frage) gesorgt werden.

Wie bereits bemerkt, werden die unserer Ansicht nach zweckmässigsten Verbesserungsvorschläge betreffend die Führung der Ströme in den Schienen, den Interessenten auf Grund der allgemeinen Untersuchung bekannt gegeben. In einfachen Fällen bei nicht zu dichtem Verkehr einer kleineren Bahn oder bei höherer Fahrspannung genügt eine einzige Schienenleitung zur Führung des gesamten Stromes. Da eine solche immer vorhanden ist, so beschränkt sich der Verbesserungsvorschlag in diesem Falle auf das Verlangen einer gegen Erde isolierten Leitung. Solche einfache Fälle sind bei kleineren Ueberlandbahnen häufig anzutreffen, bei entsprechend hoher Spannung (z. B. 2000 V) genügt oft eine einzige Schienenleitung trotz Verwendung ziemlich leichter Vignolschienen bei günstiger Lage des Anschlusspunktes auch noch für die Speisung von Bahnen, die 1 500 000 und mehr kWh pro Jahr benötigen. Bei der für städtische Strassenbahnen üblichen Spannung von 600 V und unter Annahme von Rillenschienen werden auch bei günstigster Wahl des Anschlusspunktes des Schienenkabels kaum Bahnen mit einem jährlichen Energieverbrauch von mehr als ca. 1 000 000 kWh mit einer an die Schienen angeschlossenen Leitung bedient werden können.

Bahnen mit grösserem Energieverbrauch oder nicht günstigster Lage der Umformerstation werden immer mehrere Schienenkabel benötigen ev. auch mehrere Umformerstationen.

In grösseren Netzen benötigt die Ausarbeitung verschiedener möglicher Lösungsvorschläge und die Auswahl der oder einiger zweckmässigsten Lösungen unter Berücksichtigung der Anforderungen des Betriebes, der Wirtschaftlichkeit und der Zukunftsentwicklung umfangreiche Studien in enger Zusammenarbeit mit der betreffenden Bahnverwaltung und ev. dem Elektrizitätswerk. Es handelt sich dabei auch um Errichtung neuer Umformerstationen mit den zugehörigen Leitungsverlegungen, d. h. um verhältnismässig teure und zeitraubende Arbeiten. Es wäre aber falsch, die gesamten Aufwendungen als durch die Verminderung der Korrosionsgefährdung allein bedingt zu betrachten. Diese Arbeiten erweisen sich meistens schon als notwendig, um günstige Speiseverhältnisse zu erzielen, sie bringen also der Bahn zugleich wesentliche andere Vorteile. Auf Grund der bisher gemachten Erfahrungen können wir feststellen, dass fast alle der umfangreicher und daher teureren vorgeschlagenen Arbeiten für die Bahn schon aus anderen Gründen als die der Korrosionsverminderung nötig waren.

Von den untersuchten 26 Bahnnetzen konnten die Hälfte mit einem Schienenkabel auskommen. Bei den verbleibenden 13 Netzen genügte bei weiteren 7 Bahnen eine Umformerstation mit mehreren Schienenkabeln. Die restlichen 6 Bahnen müssten zweckmässigerweise in 4 Fällen 2 Umformerstationen und in je einem Fall 4 bzw. 6 Umformerstationen besitzen. Die Anzahl Anschlussstellen von Leitungen an Schienen variiert von 1 bis 22. Wo mehr als ein Kabel pro Umformerstation angeschlossen ist, müssen in der Regel alle von einer Umformerstation ausgehenden Kabel, mit Ausnahme von 1 bis 2 Kabeln, in ihrem Widerstande durch zusätzliche Widerstände korrigiert werden. Diese müssen reichlich genug dimensioniert werden, um ohne übermässige Erwärmung den höchsten zu erwartenden Strom aufnehmen zu können. Diese Widerstände verursachen direkt zusätzliche Energieverluste und indirekt solche dadurch, dass mehr Strom gezwungen wird, die längeren Kabel zu benützen als wenn diese Widerstände nicht vorhanden wären. Sie haben andererseits eine Verringerung der Energieverluste in den Schienen, die sie so bald als möglich vom Strom zu entlasten trachten, zur Folge, doch fällt diese Verringerung in der Regel kleiner aus als die erwähnte Erhöhung der Energieverluste, so dass mit einem gewissen, grösseren resultierenden Energieverlust zu rechnen ist, der aber wirtschaftlich nicht wesentlich ins Gewicht fällt.

Von den 13 Bahnen, denen wir nennenswerte Umänderungen vorgeschlagen haben, sind diese bisher von 8 Bahnverwaltungen vollständig, von 3 solchen teilweise und von 2 noch nicht verwirklicht worden. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die 2 letztgenannten Verwaltungen unsern Bericht erst vor kurzer Zeit erhalten

haben. Bei den Verwaltungen, die die Verbesserungsvorschläge erst teilweise durchgeführt haben, handelt es sich in 2 Fällen um bedeutende Arbeiten, um Erstellung neuer Umformerstationen und im Zusammenhang damit um bedeutendere Kabelverlegungsarbeiten, in dem 3. Fall um Aufgabe einer bestehenden Umformerstation und Erstellung einer neuen an anderer Stelle, was ebenfalls mit erheblichen Kabelverlegungsarbeiten verbunden ist.

Eingangs dieses Berichtes haben wir erwähnt, dass neben den Bahnen auch Elektrizitätswerke, die eine Gleichstromverteilung mit blankem, in der Erde verlegtem Nulleiter besitzen, prinzipiell die gleichen Korrosionsstörungen wie Gleichstrombahnen verursachen können. Wir sind bisher nur in einem Falle in der Lage gewesen, ein solches Netz untersuchen zu können und zwar wohl das grösste der zurzeit in der Schweiz bestehenden und haben dort festgestellt, dass die Spannungsdifferenzen zwischen blankem Nulleiter und Rohren wesentlich kleiner waren als die entsprechenden Spannungsdifferenzen zwischen Strassenbahnschienen und Rohren. Nirgends wurden über 12 Minuten grössere mittlere Spannungsdifferenzen als 0,24 V gemessen, Werte, bei denen eine nennenswerte Gefährdung von unterirdisch verlegten Leitungen kaum zu befürchten ist. Es sind nur wenige Gleichstromnetze mit unisoliertem, im Erdboden verlegtem Nulleiter in der Schweiz vorhanden; die grössten derselben sollen mit der Zeit auf Drehstrom umgebaut werden, so dass in unserem Lande eine irgendwie nennenswerte Gefährdung unterirdisch verlegter Leitungen durch unisoliert verlegte Gleichstrom-Nulleiter nicht vorhanden ist. Immerhin empfehlen wir Elektrizitätswerken, die dieses System beibehalten wollen, den Nulleiter mit der Zeit durch einen isoliert verlegten zu ersetzen.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass es den gemeinsamen Bemühungen aller Interessenten und der Kontrollstelle gelungen ist, die Verhältnisse bei einer grossen Anzahl Schweizer Bahnen inbezug auf Gefährdung unterirdisch verlegter Leitungen sehr wesentlich zu verbessern. Es ist dies ein um so erfreulicheres Ergebnis gemeinsamer, freiwilliger Arbeit, als zu Beginn die Interessengegensätze an manchen Orten kaum überbrückbar erschienen und legt ein beredtes Zeugnis ab für die Einsicht, Tatkraft und Geduld der Betriebsleiter schweizerischer öffentlicher und privater Unternehmungen.

III. Ausblick.

Aus den schweizerischen Leitsätzen und dem denselben beigegebenen Anhang, in dem eine Methode zur angenäherten Berechnung der zeitlich mittleren Spannungsdifferenzen im Schienennetz und der Spannungsdifferenzen zwischen den Schienen und unterirdisch verlegter Leitungen angegeben ist, ist ersichtlich, dass u. a. zur Beurteilung der Gefährdung von solchen Leitungen auf die *zeitlich mittleren* Spannungsdifferenzen zwischen Schienen und unterirdischen Leitungen abgestellt wird. Ausserdem werden diese letzteren Spannungsdifferenzen gemessen und das Ergebnis dieser Messungen mit denjenigen der Berechnungen verglichen. Demgegenüber stellen z. B. die entsprechenden deutschen Vorschriften nur auf die berechneten *maximalen* Spannungsdifferenzen im Schienennetz ab. Die Berechnung dieser Spannungsdifferenzen erfolgt in beiden Fällen auf Grund derselben Annahmen, so dass also nach beiden Methoden für eine bestimmte Bahn dieselben Resultate inbezug auf die Spannungsdifferenzen im Schienennetz erhalten werden. Wir sind der Ansicht, dass die schweizerische Methode vor der deutschen die folgenden drei Vorteile aufweist:

1. Die Spannungsdifferenzen zwischen Schienen und unterirdischen Leitungen sind der Erdstromdichte in erster Annäherung direkt proportional, die Spannungsdifferenzen im Schienennetz stehen aber zu dieser nicht im selben einfachen Zusammenhang. Dabei ist ohne weiteres zuzugeben, dass die Spannungsdifferenzen zwischen Schienen und unterirdischen Leitungen nicht der einzige Faktor sind, der die Erdstromdichte beeinflusst, was aber ebenso

von den Spannungsdifferenzen im Schienennetz gilt. Wir verweisen diesbezüglich auf unsere nachfolgenden Ausführungen.

2. Die Spannungsdifferenzen zwischen Schienen und unterirdischen Leitungen sind ohne besondere Hilfsmittel, wie Prüfdrähte in den Schienenkabeln und besondere Spannungsmessleitungen nach den Punkten vermutlich höchsten Potentials im Schienennetz, viel leichter und an viel mehr Stellen messbar als die Spannungsdifferenzen im Schienennetz.
3. Der Vergleich der Ergebnisse der Rechnung mit denjenigen der Messung lässt gewisse Rückschlüsse zu auf die Richtigkeit der Rechnungsannahmen, die sehr wertvoll sind. So kann z. B. eine beabsichtigte oder unbeabsichtigte metallische Verbindung zwischen den Schienen und einem unterirdischen Leitungsnetz, wenn sie nicht zufälligerweise in der neutralen Zone liegt, wie auch die ungefähre Lage dieser Verbindung, ohne weiteres daran erkannt werden, dass die gemessene Spannungsdifferenz zwischen Schienen und Leitungsnetz viel kleiner ist als sie nach der Rechnung sein müsste. Ganz allgemein kann gesagt werden, dass wesentliche Abweichungen zwischen den Ergebnissen von Messung und Rechnung erklärt werden müssen. Das Nach forschen nach den Gründen solcher Abweichungen fördert oft ebenso wichtige wie interessante Tatsachen zu Tage, die bei Abstellen auf die blosse Rechnung nicht ohne weiteres gefunden würden.

Der schwerwiegende Einwand, der gegen die schweizerischen Leitsätze, wie auch gegen einige auf ähnlicher Grundlage beruhende ausländische Vorschriften geltend gemacht werden kann, ist wohl der, dass diese zur Beseitigung der Korrosionsgefahr in der Hauptsache nur auf die nachfolgenden drei Gesichtspunkte Rücksicht nehmen:

- A. Verbesserung der Leitfähigkeit der Schienen durch Verwendung möglichst grosser Schienenprofile und Begrenzung des Widerstandes der Schienentösse und damit zusammenhängend Vergrösserung des Widerstandes zwischen Schienen und unterirdisch verlegten Leitungen und des Widerstandes dieser Leitungen selbst, wodurch die Streuströme möglichst verkleinert werden sollen.
- B. Begrenzung der Stromdichte in den Schienen, oder mit anderen Worten des Spannungsgefälles längs derselben, womit auch eine Verminderung der Erdströme erzielt werden soll.
- C. Begrenzung der Spannungsdifferenz zwischen Schiene und Erde im Korrosionsgebiet, womit zugleich indirekt auch eine solche zwischen Schiene und Erde im Einzugsgebiet erzielt wird und damit der örtlich maximalen, zeitlich mittleren Spannungsdifferenz im Schienennetz. Auch durch diese Massnahme sollen die Erdströme verminder werden. Diese letztere Begrenzung findet nur bei Bahnen im Stadtgebiet, deren Schienenanschlusskabel sich auch im Stadtgebiet befinden, Anwendung, weil hier infolge der grösseren Dichtigkeit der unterirdisch verlegten Leitungen und des im allgemeinen grösseren Wertes, wie auch der grösseren Bedeutung derselben ein weitgehender Schutz wirtschaftlich gerechtfertigt erscheint.

Demgegenüber ist bekannt⁸⁾, dass in erster Linie die Dichte, mit welcher die in unterirdisch verlegten Leitungen fliessenden Ströme diese verlassen (Austrittstromdichte) für die Beurteilung der Korrosionsgefahr massgebend ist. Die Leitsätze können daher nur eine Bestimmung aufweisen, die beispielsweise folgendermassen formuliert werden könnte:

„Es ist dafür zu sorgen, dass die mittlere Dichte, mit welcher Gleichströme unterirdisch verlegte Leitungen verlassen, an keiner Stelle bestimmte Werte überschreitet“ (z. B. 0,75 Milliampère pro dm² für eiserne Leitungen, wie in den

⁸⁾ Siehe z. B. erster und zweiter Bericht der Korrosionskommission loc. cit.

deutschen Erdstromvorschriften angegeben, bzw. $0,15 \text{ mA/dm}^2$ für Leitungen mit Bleiumhüllung.

Eine solche oder ähnliche Bestimmung würde gegenüber den Leitsätzen unbedingt den Vorteil der physikalischen Richtigkeit, der Kürze, Klarheit und Einfachheit aufweisen.

Wie steht es aber mit ihrer praktischen Durchführbarkeit? Zur Beantwortung dieser Frage müssen wir folgende zwei Vorfragen beantworten können:

1. Kann die Austrittsstromdichte einwandfrei, an beliebigen Stellen, ohne verhältnismässig grosse Kosten und ohne wesentliche Betriebs- oder Verkehrsstörung gemessen werden?
2. Können an Bahnanlagen oder unterirdischen Leitungen, einzeln oder an beiden, wenn an einer oder mehreren Stellen unzulässig grosse Austrittsstromdichten festgestellt worden sind, ohne wesentliche Betriebsstörungen und ohne unverhältnismässig grosse Kosten Massnahmen zur Verminderung der Austrittsstromdichte auf zulässig erscheinende Werte getroffen werden und wenn ja, welcher Art werden diese Massnahmen sein?

Zur ersten Frage kann unseres Erachtens folgendes gesagt werden:

Die mittlere Austrittsstromdichte wird, soweit uns bekannt ist, nach einer der drei folgenden Methoden zu bestimmen gesucht:

- a) Durch gleichzeitige Messung des Stromes an zwei benachbarten Punkten einer unterirdischen Leitung. Die algebraische Summe des Stromes an den zwei Messpunkten tritt in jedem Augenblicke in der zwischen den Messpunkten gelegenen Strecke aus, sofern angenommen werden kann, dass zwischen den Messpunkten keine Ströme ein- oder austreten, was mit genügender Genauigkeit zutrifft, wenn die Distanz zwischen den Messpunkten klein und die betrachtete Leitung homogen ist, d. h. z. B. keine nennenswert in Frage kommende Stosswiderstände aufweist. Als Spezialfall dieser Methode kann die Bestimmung des Stromes in der Nähe eines Endpunktes der Leitung angesehen werden, wobei nur ein Messpunkt notwendig ist.
- b) Durch Messung der Austrittsstromdichte nach der von Prof. Haber angegebenen Methode⁹⁾, die im Prinzip darin besteht, dass in der Nähe der Leitung zwei voneinander isolierte Metallplatten, deren Ebenen parallel zueinander und senkrecht auf der durch die Leitungsachse und ihre Mittelpunkte gebildeten Ebene liegen, vergraben und über ein Ampèremeter miteinander verbunden werden, das den in die eine Metallplatte eintretenden Strom anzeigt. Dieser Strom wird in Beziehung zu dem Teil der Rohr- oder Kabeloberfläche gebracht, von der angenommen wird, dass dieser Strom ein- bzw. ausgetreten ist.
- c) Durch Messung der Austrittsstromdichte nach der vom Bureau of Standards in Washington angegebenen Methode¹⁰⁾, die darauf beruht, dass mittelst in ein kleines zylindrisches Loch oder einen Graben eingeführter Elektroden, der Spannungsabfall, den in unterirdische Leitungen ein- oder austretende Erdströme erzeugen, gemessen wird. Die Ströme selbst werden durch Widerstandsmessung des Erdreiches in unmittelbarer Nähe der Messtellen ermittelt und zur Bestimmung der Stromdichte in Beziehung gesetzt zur vermutlichen Austrittsoberfläche derselben an der unterirdischen Leitung.

Diese drei Methoden weisen den gemeinsamen Nachteil auf, dass sie zur Bestimmung der Austrittsstromdichte ein oder zwei grössere oder kleinere Ausgrabungen, bis unmittelbar an die zu untersuchende Leitung notwendig machen. Diese Ausgrabungen sind kostspielig, zeitraubend und verkehrsstörend, so dass sie nicht wie wünschbar, beliebig vermehrt werden können.

⁹⁾ Siehe z. B. zweiter Korrosionsbericht loc. cit.

¹⁰⁾ Siehe Technological paper No. 351, Bureau of Standards.

Die unter *a)* beschriebene Messung weist vor den beiden andern den Vorteil auf, dass das Erdreich auf der Strecke, auf der die Austrittsstromdichte gemessen werden soll, in seinem Gefüge nicht geändert wird, wenn wenigstens die beiden Löcher nicht zu nahe beieinander angelegt werden. Sie hat aber den Nachteil, dass dann die mittlere Austrittsstromdichte für eine verhältnismässig grosse Oberfläche gebildet werden muss, währenddem für die Beurteilung der Gefährdung die örtlich maximale, zeitlich mittlere Austrittsstromdichte massgebend ist. Eine auch nur oberflächliche Untersuchung von Leitungen, die durch Erdströme angegriffen sind, zeigt aber, dass die Anfressungen lokal fast punktförmig auftreten, so dass von einer einwandfreien Methode verlangt werden muss, dass die Austrittsstromdichte auf einen möglichst kleinen Teil der Oberfläche bezogen wird. Ferner ist die Messung des austretenden Stromes in dem Fall, wo zwei Löcher gegraben werden, als Differenz zweier, auch zeitlich meist stark variierender, und fast gleich grosser Ströme, sehr ungenau.

Die unter *b)* und *c)* angegebenen Methoden weisen vor der unter *a)* beschriebenen den Vorteil auf, dass die Austrittsstromdichte auf einen viel kleineren Teil der Leitungsoberfläche bezogen wird, dagegen weisen beide, die Methode *c)* in etwas geringerem Masse, den schwerwiegenden Nachteil auf, dass das Gefüge des Erdreiches gerade an den Messtellen durch die unerlässlichen Eingriffe gestört wird, wodurch die zu messende Stromdichte beeinflusst wird.

Von einer einwandfreien Messung der Ein- oder Austrittsstromdichte von Erdströmen muss verlangt werden, dass sie sich:

- a)* auf einen möglichst kleinen Teil der Leitungsoberfläche bezieht;
- b)* ohne Störung des Gefüges des Erdreiches an der Messtelle bewerkstelligen lässt;
- c)* leicht, verhältnismässig rasch und ohne nennenswerte Betriebs- oder Verkehrsstörung durchführen lässt.

Nur wenn diese Bedingungen wenigstens annähernd erfüllt sind, kann die Frage 1 bejaht werden. Dies ist heute nicht der Fall. Es besteht ein grosses Bedürfnis nach der Lösung dieses Problems. Ob die Lösung möglich ist, z. B. durch Ausnutzung der Fernwirkungen der Ströme, erscheint uns fraglich, da diese Fernwirkung im Vergleich zu derjenigen der viel grösseren Ströme in den Schienen und der Fahrleitung ausserordentlich klein sein wird.

Nehmen wir aber zur Beantwortung der Frage 2 vorläufig an, es bestehe eine einwandfreie Methode zur Messung der Ein- und Austrittsstromdichte, und nehmen wir weiter an, in einer Stadt bestehe eine Gleichstrombahn, die die Schienen zur Stromleitung benutzt und daneben Gas-, Wasser- und elektrische Leitungen. Durch Anwendung irgend einer Methode zur Messung der Austrittsstromdichte sei ferner festgestellt worden, dass die Erdströme dieser Bahn die erwähnten Leitungen an mehreren Stellen gefährden. Unsere Aufgabe wird es dann sein, durch geeignete Mittel die in den Leitungen fliessenden Ströme soweit zu verringern, bis die Austrittsstromdichte an keiner Stelle die als zulässig erachteten Grenzwerte überschreiten.

Wir würden in einem solchen Falle wohl mit den geringsten Kosten zum Ziele kommen, wenn wir schrittweise verschiedene Massnahmen zur Verminderung der totalen Erdströme treffen, womit auch automatisch die Rohr- und Kabelmantelströme verkleinert würden und damit die Austrittsstromdichte. Solche Massnahmen würden wir zunächst an den Anlagen der Bahn treffen, denn diese liegen näher an der Oberfläche. Wenn diese nicht genügen, oder mit unverhältnismässig grossen Kosten verbunden sind, würden wir auch Massnahmen an den unterirdischen Leitungen vorsehen.

Welches sind solche geeignete Massnahmen?

1. Die Verbesserung der Leitfähigkeit der Schienen.
2. Die möglichste Entlastung der Schienen von Strom und damit die Verkleinerung der Spannungsdifferenzen im Schienennetz und gegen Erde.

3. Die Erhöhung des Uebergangswiderstandes der Schienen gegen Erde.
4. Die Vergrösserung des Widerstandes der äusseren metallischen Umhüllungen unterirdischer Leitungen.

Diese Massnahmen haben wir eingangs dieses Kapitels als wesentlichen Inhalt der Leitsätze angegeben und damit ist der Gedankenkreis geschlossen.

Wir haben mit Absicht die Problemstellung vereinfacht und vielleicht auch etwas drastische Beispiele gewählt. Wir möchten aber nicht, dass der Leser aus unseren Ausführungen den Schluss ziehe, die Leitsätze der schweizerischen Korrosionskommission seien mustergültig und nicht verbesserungsfähig. Wir selbst sind davon überzeugt, dass sie sich verbessern lassen und unser ganzes Vorgehen ist derart organisiert, dass wir Verbesserungen *nach gemachten Erfahrungen* anstreben. Aber wir hoffen doch dargetan zu haben, dass die Grundlage unserer Vorschriften richtig ist.

Unser nächstes Ziel wird sein müssen, eine wenn auch nicht völlig einwandfreie, so doch möglichst gute und praktisch anwendbare Methode zur Messung der Austrittsstromdichte zu finden, oder eine der bestehenden mangelhaften anzuwenden. Nur auf diese Weise werden wir in die Lage versetzt werden, die zahlenmässigen Festlegungen, die in den Leitsätzen enthalten sind, auf ihre Richtigkeit unter verschiedenen Bedingungen nachzuprüfen und gegebenenfalls zu ändern.

Die Schienenstosswiderstands-Messausrüstung der Kontrollstelle der Korrosionskommission.

1. Definition des Stosswiderstandes und des Querwiderstandes.

Als Schienenstosswiderstand (*Stosswiderstand*) bezeichnen wir den Widerstand von 2 Schienenstücken, zwischen denen ein Stoss liegt, abzüglich des Widerstandes der beiden Schienenstücke.

Wir geben den Stosswiderstand nicht in Ohm, sondern in Meter Schiene (vom Profil der den Stoss bildenden Schienen) an.

Unter dem *Querwiderstand* verstehen wir den Widerstand zwischen 2 gegenüberliegenden Punkten zweier paralleler Schienenstränge.

Der Querwiderstand wird in Milliohm pro Meter (Abstand der Schienenstränge) ausgedrückt.

2. Verschiedene Methoden zur Messung des Stosswiderstandes.

Die Messung eines Stosswiderstandes kann z. B. durch Vergleich desselben mit dem Widerstande eines homogenen Schienenstücks gemäss der in Fig. 1 angegebenen Schaltung erfolgen.

S bedeutet den zu messenden Schienenstoss, R_1 und R_2 zwei Widerstände, G ein Galvanometer, a , b und c drei Kontaktpunkte auf der Schiene. Der Stoss S sei die Distanz $a b$, mit l_2 die Distanz $b c$ bezeichnet.

Fig. 1.
Prinzipielles Schaltungsschema zur Messung
des Stosswiderstandes nach der Nullmethode.

zwischen den Punkten a und b . Mit l_1 sei die Länge des Schienenstückes $a c$ bezeichnet.

Bezeichnen wir den oben definierten Stosswiderstand mit l_s , ausgedrückt in Meter Schiene, so ist diese Länge durch die nachfolgende Gleichung bestimmt, sobald der Strom im Galvanometer-Kreis Null wird:

$$l_s = l_2 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{l_1}{l_2} \right). \quad (1)$$

Die Messung von l_s kann auf zwei verschiedene Arten geschehen:

a) Man gibt den Widerständen R_1 und R_2 irgend einen festen Wert und macht $R_1 = R_2$, ebenso hält man den Abstand l_1 konstant (mit Vorteil $0,25 \div 0,50$ m), dann verschiebt man den Kontakt c solange, bis der Zeiger des Galvanometers Null zeigt. Dabei darf man aber auf keinen Fall den nächsten Stoss überschreiten. Es genügt dann, die Länge l_2 zu messen und man hat die Gleichung:

$$l_s = l_2 - l_1 \quad (1a)$$

b) Es werden die Abstände l_1 und l_2 der 3 Kontakte a , b und c konstant gehalten, wobei man gewöhnlich $l_1 = l_2 = l$ wählt, dafür wird der Widerstand R_2 bei gleichbleibendem R_1 so geändert, bis das Galvanometer Null zeigt. Zwecks Vergrösserung des Messbereiches wird der Widerstand R_1 in mehrere Stufen unterteilt. Der Stosswiderstand ist dann durch folgende Gleichung definiert:

$$l_s = l \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} - 1 \right). \quad (1b)$$

In beiden Fällen ist darauf zu achten, dass die Widerstände R_1 und R_2 nie so weit verkleinert werden, dass ihnen gegenüber die Widerstände der Zuleitungen und die Uebergangswiderstände der Kontakte auf den Schienen in Betracht fallen. Für die Kontakte a , b , c genügen angepresste Kupferbürsten nicht, selbst wenn an der Kontaktstelle die Schienen blank geschmiedet sind. Es ist vielmehr notwendig, dass die Schienenoberfläche, in die durch die Tramwagen eine Schmutzschicht eingewalzt ist, durch einen Stahlmeissel angeritzt wird. In der von der Kontrollstelle konstruierten, weiter unten beschriebenen Messausrüstung sind meisselartig wirkende Kontakte mit kreisscheibenförmiger Schneide aus bestem Werkzeugstahl verwendet worden, welche quer zur Fahrrichtung auf die Schienen aufgesetzt und angepresst werden, bei Rillenschienen in die Rille, bei Vignolschienen in doppelter Anzahl links und rechts des Schienenkopfes (Fig. 2). Diese Methode der Kontaktgabe hat sich gut bewährt. Die oben beschriebenen Methoden gestatten die Messung der Stosswiderstände während des Betriebes, indem der in den Schienen fliessende Rückstrom zur Messung benutzt wird. Bei Messungen auf Ueberlandbahnen, wo im Tage nur wenige Züge verkehren, die Schienen deshalb längere Zeit ohne Strom sind, ist es notwendig, mit Hilfe einer Batterie einen Hilfsstrom durch die Schienen zu schicken, wobei die Stromkontakte $+$ und $-$ ausserhalb der Spannungskontakte a und c auf die Schienen gesetzt werden (Fig. 1). Schwankungen des Schienenstromes haben auf die Messung keinen Einfluss.

Unserer Ansicht nach können Stosswiderstände nicht in zuverlässiger Weise von einem fahrenden Wagen aus gemessen werden, weil mittels Schleifkontakten die kleinen Spannungsdifferenzen, die in Frage stehen, mittels solcher Kontakte nicht genau an das Voltmeter weiter gegeben werden.

3. Prinzipielle Schaltung der Stosswiderstands-Messausrüstung der Kontrollstelle.

Als seinerzeit für die Kontrollstelle die Absicht bestand, mit verschiedenen Bahnen Verträge abzuschliessen, wonach jährlich eine grössere Anzahl Schienenstösse gemessen werden mussten, handelte es sich darum, eine Ausrüstung zu entwerfen, welche gestattet, diese Messungen möglichst rationell durchzuführen. Während die oben erwähnte Methode nicht erlaubte, die Abstände l_1 und l_2 der Spannungskontakte beliebig zu verkleinern, ohne an Messgenauigkeit einzubüßen (Minimalabstand: 0,25 m), war für die konstruktive Ausführung der Kontaktstücke erwünscht, zwecks

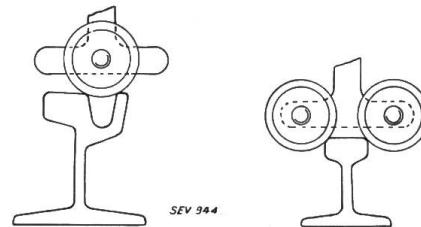


Fig. 2.
Ansetzen der Kontaktmeissel
bei Rillen- und Vignolschienen.

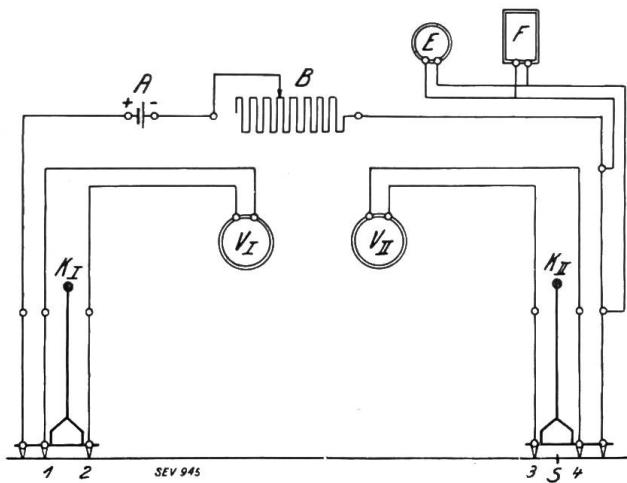


Fig. 3.
Prinzipielles Schaltschema.

Legende zu Fig. 3 und 4.

<i>A</i>	Akkumulator
<i>B</i>	Regulierwiderstand
<i>C_I C_{II}</i>	Messleitungen in Schutzschlauch
<i>E</i>	Ampère-Meter
<i>F</i>	Ampèrestunden-Zähler
<i>K_I K_{II}</i>	Kontaktstücke
<i>L_I</i>	Doppelpoliger Umschalter für <i>V_I</i>
<i>L_{II}</i>	» » » » <i>V_{II}</i>
<i>M_I</i>	Umschalt-Taste für <i>V_I</i>
<i>M_{II}</i>	» » » » <i>V_{II}</i>
<i>N</i>	Umschaltstecker für Schienenstein-Messleitung-Prüfeinrich- tung
<i>V_I</i>	Schienen-Voltmeter
<i>V_{II}</i>	Stoss-Voltmeter

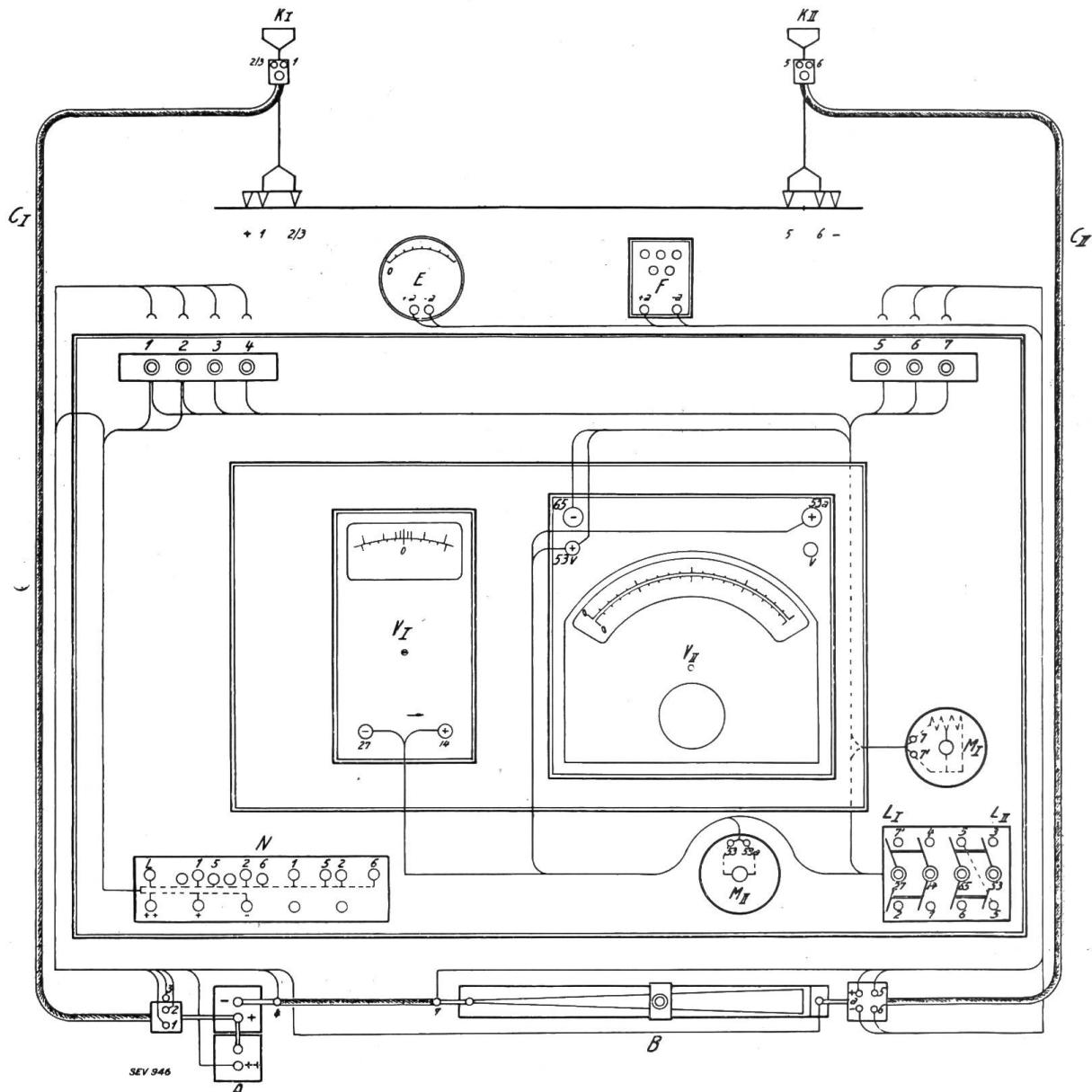


Fig. 4.
Oertliches Schalschema.

Erreichung eines möglichst geringen Gewichtes, und um eine gute Kontaktgabe auch in Kurven zu sichern, die Abstände l_1 und l_2 auf ca. 0,1 m zu reduzieren.

Aus diesen Gründen verliessen wir das Prinzip der Null-Methode und bauten die Ausrüstung nach der in Fig. 3 angegebenen Schaltung. Aus einer Akkumulatoren-Batterie A wird über einen kontinuierlich regulierbaren Widerstand B ein Strom in die Schienen geschickt. Als Kontaktgeber dienen 2 Stöcke K_I und K_{II} , welche je einen Stromkontakt und 2 Spannungskontakte aufweisen. Der Abstand der beiden Spannungskontakte eines Stockes, l_1 und l_2 , beträgt bei beiden Stöcken 0,1 m. Der Kontaktstock K_{II} (Stoss-Stock) steht mit seinen Spannungskontakten über dem Schienenstoss. Der Strom erzeugt in einer der anstossenden Schienen einen Spannungsabfall. Die Mess-Methode besteht darin, die Spannungsabfälle über 0,1 m Schiene *ohne* Stoss und denjenigen über 0,1 m Schiene *mit* Stoss mit den Instrumenten V_I (Schienen-Voltmeter) und V_{II} (Stoss-Voltmeter) zu messen und miteinander zu vergleichen. Die Instrumente sind derart geeicht, dass man durch Regulieren des Stromes den Spannungsabfall V_I auf einen bestimmten Wert einstellt, um am Instrument V_{II} den Stosswiderstand direkt in Meter Schiene ablesen zu können.

Diese Methode hat den Nachteil, dass die Volt-Ausschläge vom Schienenstrome abhängig sind. Die Messungen können deshalb nicht während der Betriebszeit der Bahn durchgeführt werden, da dann der fortwährend variierende Schienenstrom die Messung erschwert oder direkt verunmöglicht. Nun weist aber die Messung während der Nacht den Vorteil auf, von dem immer mehr überhandnehmenden Strassenverkehr unabhängig zu sein. Man hat dabei gleichzeitig die Möglichkeit, die Instrumente in einem Schienen-Fahrzeug zu installieren, da man zu dieser Zeit auch den Bahnbetrieb nicht hindert. Dies hat aber den Vorteil, dass man auch von den Witterungseinflüssen (Regen und Wind) unabhängig ist, was hauptsächlich den Instrumenten und der Protokollführung zugute kommt.

4. Beschreibung der Mess-Apparatur (siehe Fig. 4–7).

a) Stromquelle. Um trotz der geringen Distanz der Spannungskontakte von nur 10 cm genügend grosse Ausschläge zu erhalten, ohne dabei äusserst empfindliche, und deshalb teure Instrumente verwenden zu müssen, war es notwendig, einen ansehnlichen Schienenstrom ($50 \div 100$ A) zur Verfügung zu haben. Dieser Wert entspricht in seiner Grössenordnung dem tatsächlich in einem Schienenstrang fliessenden Strom. Zur Verwendung gelangt ein Nickel-Eisen-Akkumulator (A) von 300 Ah Kapazität bei einem mittleren Entladestrom von 60 A. Eine einzelne Zelle reicht für $3 \div 4$ Mess-Nächte aus, und da die Kontrollstelle 6 solcher Zellen besitzt, können Messungen von 3 bis 4 Wochen Dauer durchgeführt werden, ohne dass die Batterien frisch geladen werden müssen. Die Eigenschaft der Edison-Akkumulatoren, selbst bei unsachgemässer Behandlung nicht wesentlich Schaden zu nehmen, ist uns zu verschiedenen Malen zugute gekommen, denn die Batterie wird beim Bahntransport öfters derart behandelt, dass z. B. ein Blei-Akkumulator unfehlbar unbrauchbar geworden wäre.

b) Regulierwiderstand. Zur Regulierung des Batteriestromes dient ein Gleitwiderstand (B) von ca. 50 Milliohm Maximal-Widerstand für einen Maximalstrom von 110 A. Als Widerstandsmaterial dienen 2 Nickelin-Streifen von veränderlicher Breite ($15 \div 65$ mm), 0,3 mm Dicke und 0,90 m Länge. Der Widerstand ist auf konstante Erwärmung bei jeder Belastung berechnet und hat sich in jeder Beziehung bestens bewährt.

c) Messleitungen. Zur Uebertragung des Stromes von der Batterie zu den Kontaktstössen dienen 2 flexible Leitungen (C) von je 7,5 m Länge und 100 mm^2 Querschnitt. Da diese beiden Leitungen bei den Messungen auf dem Boden herumgeschleppt

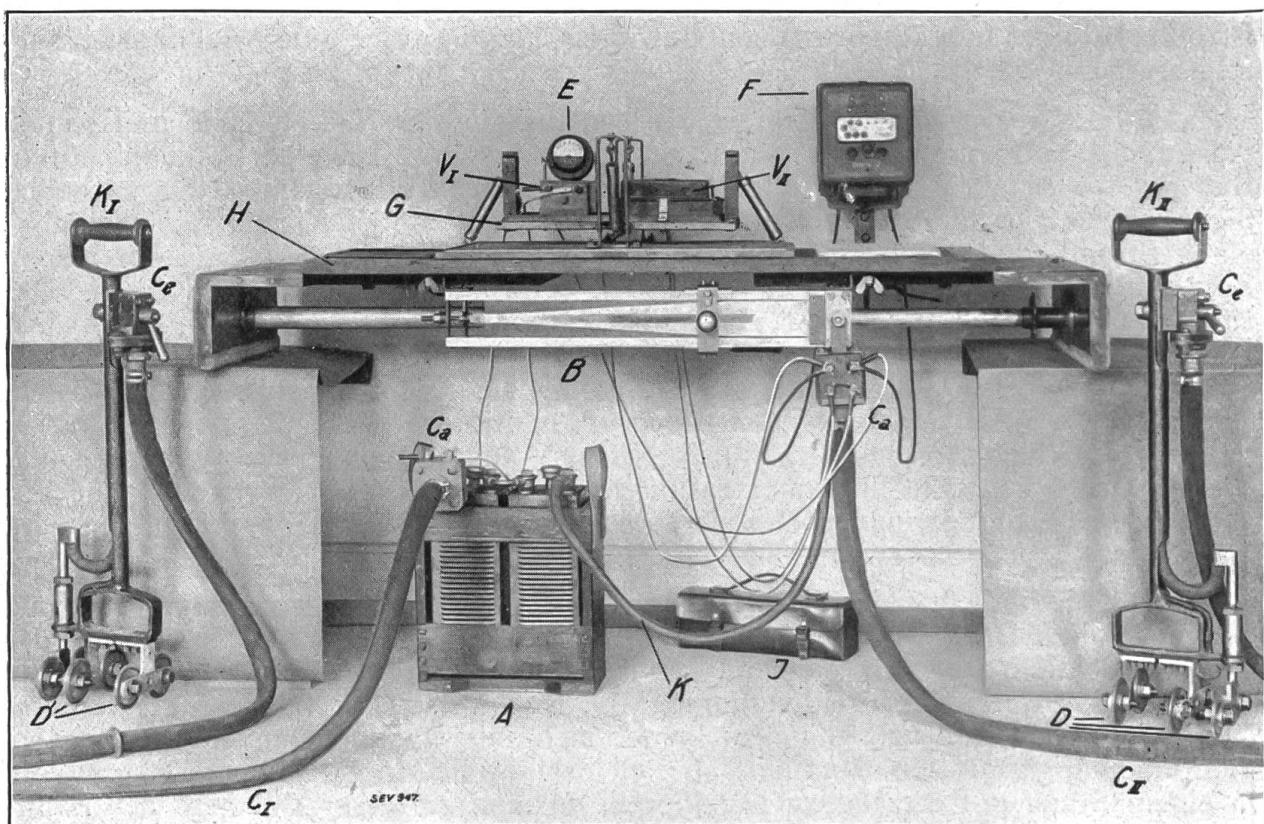


Fig. 5.
Mess-Apparatur.

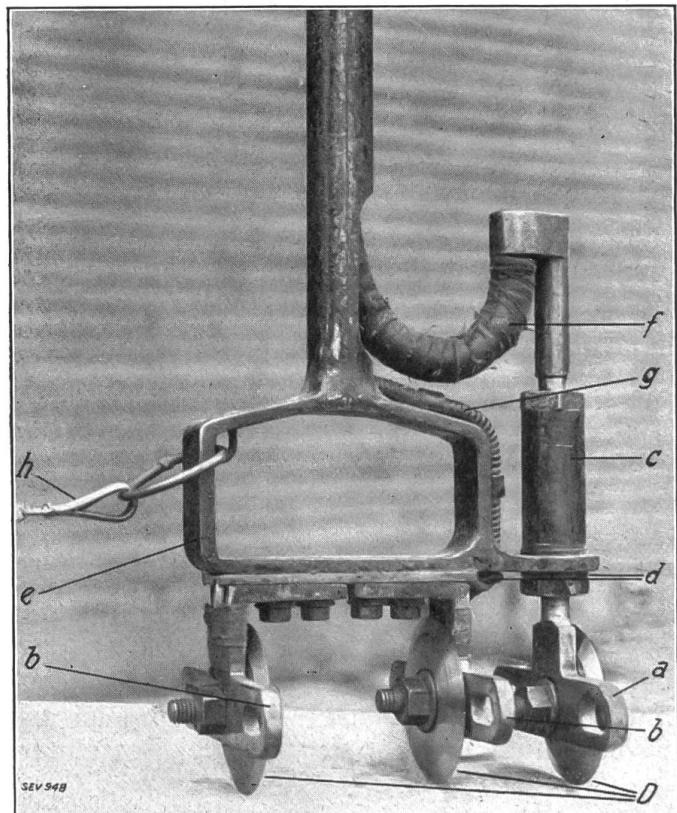


Fig. 6.
Kontaktstock.

Legende zu Fig. 5, 6, 7 und 9.

A	Akkumulatorenbatterie
B	Regulierwiderstand
C ₁ C _{II}	Messleitungen in Schutzschläuchen
C _a C _e	Leitungs-Endverschlüsse
D	Kontaktmeissel
E	Ampère-Meter
F	Ampèrestunden-Zähler
G	Federnd aufgehängter Instrumententisch
H	Ausziehbarer Messtisch
J	Werkzeugtasche
K _I K _{II}	Kontaktstücke
L _I L _{II}	Doppelpolige Umschalter
M _I M _{II}	Umschalt-Tasten
N	Umschalt-Stecker
O	Schaltschema
P	Aufhängefedern für Instrumententisch
T	Protokollformulare
V _I V _{II}	Messinstrumente
a	Federnder Stromkontakt mit Meissel
b	Spannungskontakt mit Meissel
c	Federgehäuse
d	Isolierplatte aus Hartgummi
e	Fussbügel
f	Stromleitung (100 mm ²)
g	Spannungsleitungen in Metallschlauch
h	Karabinerhaken und Leine

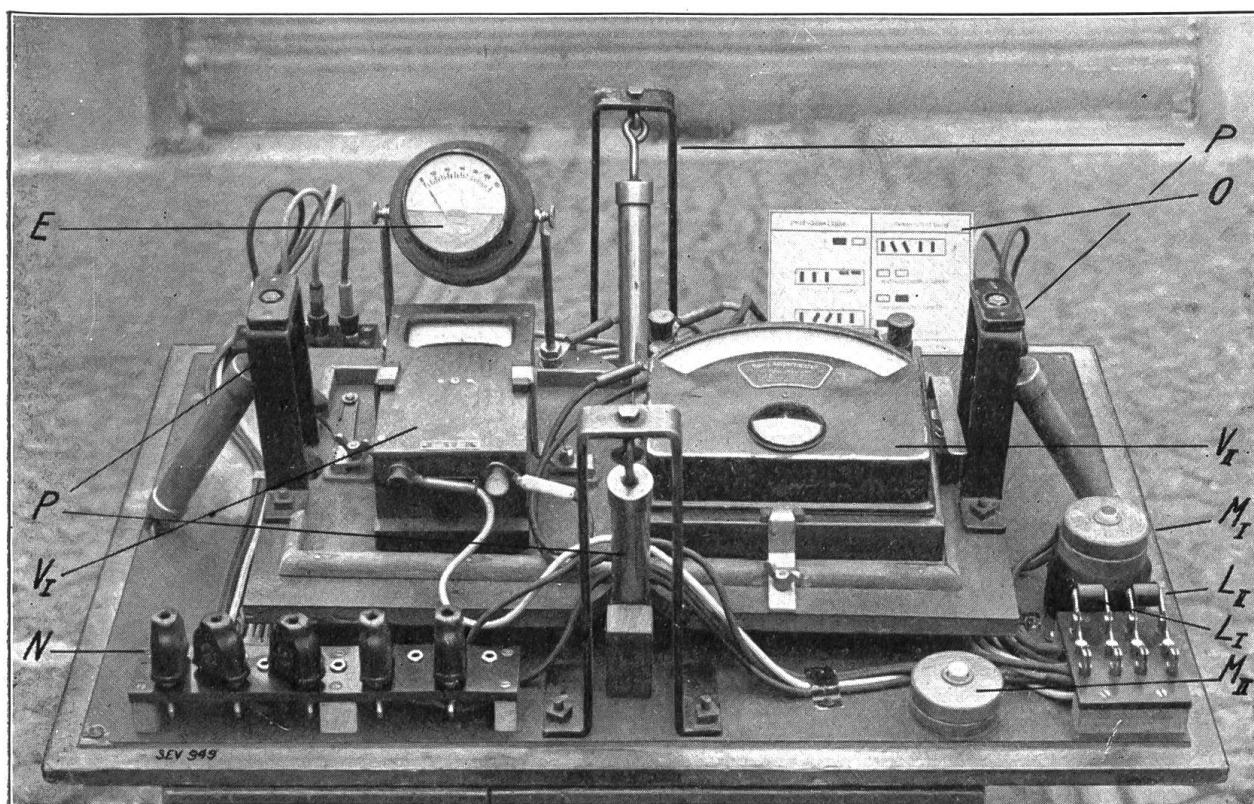


Fig. 7.
Instrumententisch.

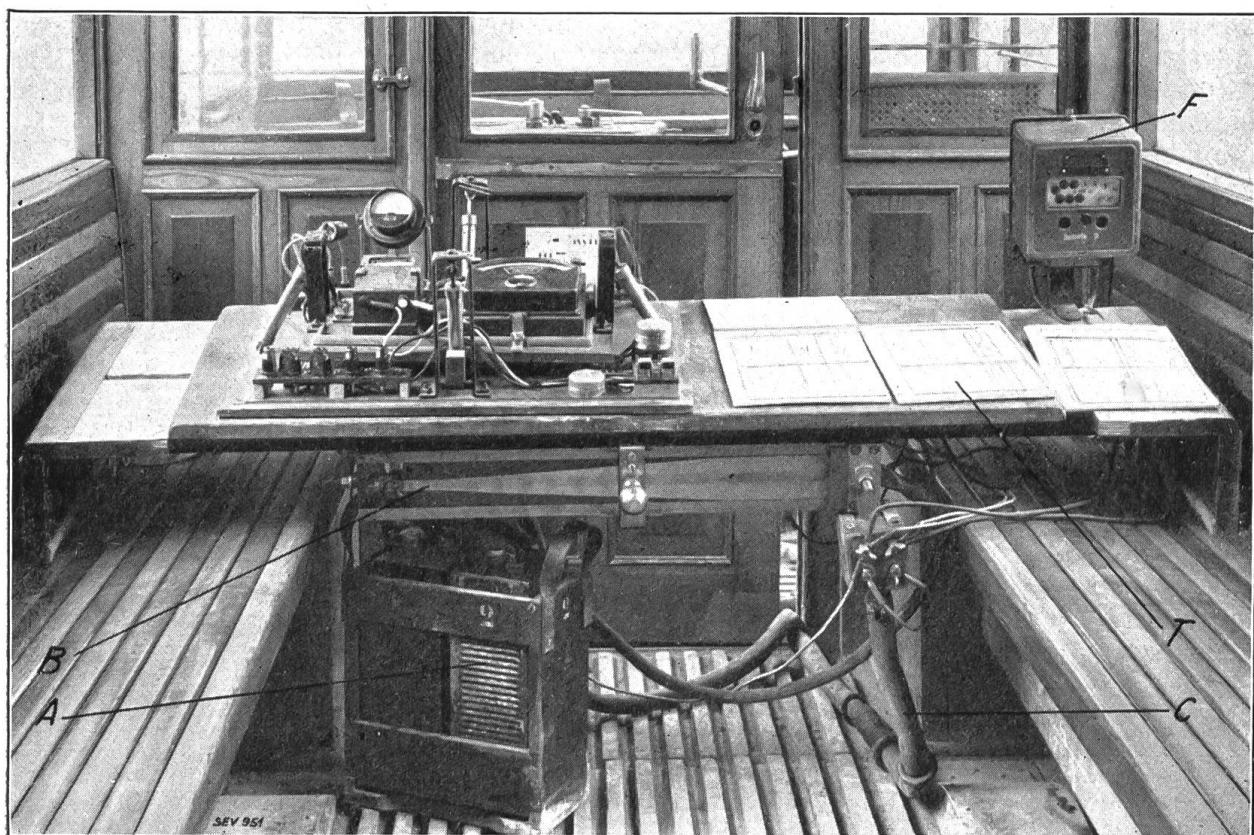


Fig. 9.
Einbau der Instrumente in einen Personen-Motorwagen.

werden, wurden sie in Hanfschläuche mit Gummieinlage, wie sie die Strassenbahnen zum Verlegen der Wagen-Kabelleitungen benützen, gelegt, welche ihrerseits wieder durch aufgereihte Gummiringe vor dem frühzeitigen Durchscheuern geschützt werden. (Versuchsweise wurde in letzter Zeit eine der Messleitungen anstatt in einen Hanfschlauch in einen Hochdruck-Gummischlauch eingezogen, womit bis heute gute Erfahrungen gemacht wurden.) Die Kontrollstelle besitzt 3 solcher Messleitungen, von denen immer 2 im Betriebe stehen, während die dritte als Reserve dient. Ausser den 100 mm^2 Stromleitungen sind in den erwähnten Schutzschläuchen noch mehrere Spannungs-Messleitungen miteingezogen und zwar bei der Schienenleitung (C_1) 3 isolierte Litzen zu je $2,5 \text{ mm}^2$, bei der Stossleitung (C_{II}) 2 Litzen zu je $2,5 \text{ mm}^2$ und eine zu $1,0 \text{ mm}^2$ Querschnitt. Das „Reservekabel“ ist mit 3 Leitungen zu je $2,5 \text{ mm}^2$ und einer zu $1,0 \text{ mm}^2$ ausgerüstet, damit es wahlweise als „Schienen“- oder „Stossleitung“ verwendet werden kann.

Jede Messleitung besitzt am einen Ende einen Anschlussklotz aus Holz mit den zugehörigen Spannungs-Anschlussklemmen. Zum Anschluss an den Kontaktstock dient ein Endverschluss aus Messing, wobei die Spannungsleitungen vermittels Spezialbolzen mit den entsprechenden Leitungen im Kontaktstock verbunden werden. Spannungs- und Stromleitungen sind unter sich mit 1000 V Spannung auf Isolation geprüft.

d) Kontaktstöcke. Die 3 Kontaktstöcke, wovon einer ebenfalls als Reserve dient, sind unter sich gleich konstruiert. Sie bestehen im wesentlichen aus einem Stahlrohr mit angeschweisstem Fussbügel resp. Handgriff aus Flacheisen. Am Fussbügel (*e*) sind, unter Zwischenschaltung eines Isolierkörpers (*d*), die Befestigungswinkel für die Kontaktmeissel (Spannungskontakte) (*b*) festgeschraubt. Der Befestigungswinkel des Stromkontakt-Meissels (*a*) läuft in einer senkrechten Büchse (*c*) ausserhalb des Fussbügels und besitzt ein wenig Seitenspiel, um Messungen in engen Kurven zu ermöglichen, ferner ist er in der Senkrechten beweglich und wird durch Federkraft in die tiefste Lage gedrückt. Dadurch ist ein guter Kontakt der beiden Spannungsmeissel auch in Kurven gewährleistet. Die Befestigungswinkel *a* und *b* sind mit entsprechender Lochung versehen, um bei Messungen an Rillenschienen je einen Meissel (in der Mitte), bei Vignolschienen je 2 Meissel (links und rechts) anzubringen, ferner sind sie untereinander und gegen den Stock ebenfalls für 1000 V Spannung isoliert.

e) Kontaktmeissel. (*D*) Wie schon erwähnt, ist es für die Spannungsmessungen absolut notwendig, einwandfreie Kontakte auf den Schienen zu erhalten. Dies war nur möglich durch Verwendung von Stahlmeisseln von bestem Werkzeugstahl. Die Scheiben haben in ungebrauchtem Zustande einen Durchmesser von 80, die neueste Serie von 85 mm und eine Dicke von 8 mm. Der Schneidenwinkel beträgt ca. 45° . Durch den Gebrauch nützen sie sich natürlich ab, d. h. sie werden stumpf. Durch Drehen um einen kleinen Betrag ist es möglich, nach und nach den ganzen Umfang des Rundmeissels auszunützen, so dass mit einer Serie von 6 Meisseln etwa $6 \div 8$ Nächte gemessen werden kann. Stumpf gewordene Meissel werden nachgeschliffen.

f. Messinstrumente. Als wichtigste Instrumente sind zu erwähnen:

- 1 Drehspul-Galvanometer (Schienen-Voltmeter) (V_1) von 0,25 mV Vollausschlag,
- 1 Drehspul-Millivoltmeter (Stoss-Voltmeter) (V_{II}) von 1,5 V resp. 45 mV Vollausschlag.

Die Skala dieses zweiten Instrumentes ist direkt in Meter Schiene geeicht, wobei der obere Messbereich von 0 – 750 m, der untere von 0 – 22,5 m reicht. Der Nullpunkt ist überdies um 0,1 m verschoben, um die mit dem Stoss mitgemessenen 0,1 m Schiene zu kompensieren. Dieses Instrument ist beständig an den höheren

Messbereich (1,5 V) angeschlossen, so dass selbst bei einem isolierenden Stoß die an den Klemmen auftretende Batteriespannung (Max. 1,4 V) keine Gefährdung desselben hervorruft. Durch Niederdrücken eines Druckkontaktees (M_{II}) kann der andere Messbereich (45 mV) eingeschaltet werden.

Als weitere Instrumente sind vorhanden:

1 Ampère-Meter (E) zur Kontrolle des Batteriestromes,

1 Ampèrestunden-Zähler (F) zur Kontrolle des Entlade-Zustandes der Batterie.

Diese beiden Instrumente, die nur zu Kontrollzwecken dienen, sind an die eine der 100 mm² Stromleitungen als Shunt angeschlossen.

g) Instrumententisch. Die unter *f)* angeführten Instrumente, mit Ausnahme des Batteriezählers, sind auf einem Tischchen (G) montiert, das durch je 2 Zug- und Druckfedern freihängend abgefedert ist. Dadurch werden die während der Fahrt des Fahrzeuges auftretenden Stöße von den empfindlichen Instrumenten ferngehalten. Dieser eigentliche Instrumententisch ruht auf einem ausziehbaren Tisch (H), welcher gestattet, die Mess-Apparatur in jeden Personen-Motorwagen, sei er mit Längs- oder Quersitzen ausgerüstet, einzubauen, ohne Nagel und Hammer zu Hilfe nehmen zu müssen.

5. Ausbau der Messausrüstung auf Grund der Betriebserfahrungen.

Zur Messung normaler Schienen- und Weichenstöße eignete sich die Ausrüstung, wie sie im Jahre 1924 in Betrieb kam, sehr gut. Dagegen bereitete die Messung des Widerstandes der Herzstückstöße etwelche Schwierigkeiten. Bekanntlich bestehen die „Phönix“-Herzstücke aus einer durchgehenden Schiene und zwei angestossenen, mit dieser und einer Grundplatte verschraubten Schenkeln. Rechts und links jedes Herzstückes befinden sich also

auf der nicht durchgehenden Schiene zwei Stöße. Die Schwierigkeit, diese Stöße zu messen, bestand nun darin, dass man die Stöcke nicht mehr in die Schienenrille, sondern auf den Schienenkopf stellen musste, wobei der Stoß trotzdem innerhalb der 0,1 m Distanz der Spannungskontakte liegen musste. Diese Art der Messung ergab oft unzuverlässige Resultate infolge schlechten Kontaktes; zum mindesten verursachte sie einen beträchtlichen Zeitverlust.

Wir messen daher diese Art Stöße als Doppelstöße, wobei ihr zulässiger Grenzwert ebenfalls verdoppelt wird. Zur Messung solcher Stöße setzen wir die beiden Kontaktstöcke K_I und K_{II} derart auf, dass das ganze Herzstück zwischen die Kontakte 2 und 3 zu liegen kommt. Durch geeignete Umschaltung des Stoß-Voltmeters ist es möglich, die Spannungsabfälle über 1–2 und 2–3 miteinander zu vergleichen, wobei aber die Länge 2–3 der mit den Herzstückstößen gemessenen Schiene vom Messergebnis zu subtrahieren ist. Um die Distanz zwischen den Kontakten immer gleich zu halten, werden bei solchen Messungen die Stöcke durch eine mit Karabinerhaken versehene Leine (h) von bestimmter Länge miteinander verbunden. Zur Umschaltung des Stoß-Voltmeters dient ein auf dem Instrumententisch angebrachter doppelpoliger Umschalter (L_{II}).

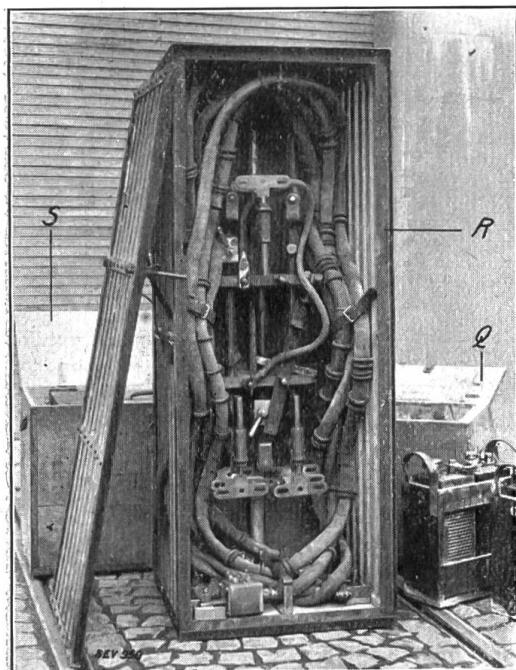


Fig. 8.

Verpackung der Apparate zum Transport.

- G* Akkumulatoren-Transportkiste
- R* Lattenverschlag
- S* Instrumenten-Transportkiste

Nachdem die Leitsätze im Jahre 1926 erweitert wurden, wobei u. a. auch die Querwiderstände von Weichen und Geleise-Teilstrecken begrenzt wurden, mussten auch diese gemessen werden. Dabei war es wünschbar, wenn möglich diese Messungen mit den bereits vorhandenen Instrumenten auszuführen. Der Querwiderstand wird bestimmt, indem je ein Kontaktstock auf jeden der zu messenden Schienenstränge gesetzt wird und der Strom und die zwischen den Kontaktstöcken auftretende Spannung gemessen wird. Um einen Zeitverlust zu vermeiden, sollten die Stösse und Querwiderstände einer Anlage, z. B. einer Weiche, in einem Zuge gemessen werden können; dazu war es aber notwendig, die Instrumente durch geeignete Umschalter rasch für die eine oder andere Messart brauchbar zu machen.

Hiezu wird das Drehspul-Galvanometer (V_1) als Ampèremeter benutzt, indem die kurze Verbindungsleitung von 100 mm² zwischen Batterie und Regulierwiderstand als Shunt verwendet wird. Die Schaltung des Instrumentes für diesen Zweck geschieht durch einen zweiten doppelpoligen Umschalter (L_1), während der erste Schalter dieser Art (L_{II}), der bereits für die Messung der Herzstückstösse verwendet wird, dazu dient, das Stossvoltmeter mit den für die Querwiderstandsmessung notwendigen Spannungskontakten zu verbinden.

Durch diese beiden Erweiterungen ist es nun möglich, die Messausrüstung durch einfaches Umschalten für die drei Messarten:

Gewöhnliche Stösse, Herzstück-Stösse, Querwiderstände,
zu verwenden.

Das Schienen-Voltmeter (V_1) besitzt einen kleinen inneren Widerstand (ca. 1,5 Ohm), während das Stoss-Voltmeter (V_{II}) 350 resp. 10 Ohm Widerstand aufweist, je nach Messbereich. Der Widerstand der Zuleitungsdrähte von den Kontaktstöcken zu den Messinstrumenten beträgt je 250 Milliohm. Wenn nun der Widerstand der Spannungs-Messleitung aus irgend einem Grunde auf den doppelten Wert ansteigt, so hat dies am Schienen-Voltmeter einen Fehler von ca. 15 % zur Folge, während er beim Stoss-Voltmeter im schlimmsten Falle 2,5 % beträgt.

Im Betriebe hat es sich ferner gezeigt, dass die Spannungsleitungen, hauptsächlich in der Nähe des Anschlusses an den Kontaktstock durch das Hin- und Herziehen der Kabel bei den Messungen stark beansprucht werden. Es zeigten sich oft Defekte infolge Abbrechen dieser Leitungen. Dieser Umstand bewog uns, eine dritte Messleitung mit zugehörigem Kontaktstock anzuschaffen, welcher bei Störungen gegen das defekte Stück ausgewechselt werden kann, damit die Messungen keinen Unterbruch erleiden. Da die Spannungs-Messleitungen aus vielzähligen Litzen bestehen, ist es sehr wahrscheinlich, dass der Defekt nicht durch momentanes Abbrechen sämtlicher Litzen entsteht, sondern dass während längerer Zeit ein Drähtchen ums andere defekt wird. Dadurch steigt aber der Widerstand der Messleitung in unkontrollierbarem Masse an, bis der Defekt infolge Versagens der Ausrüstung zutage tritt. So bestand die Möglichkeit, dass Messungen, welche kurz vor einem solchen Defekt ausgeführt wurden, zu mehr oder weniger falschen Resultaten führten. Um diese Fehlerquelle zu eliminieren, wurde eine Einrichtung geschaffen, mit der der Widerstand der Spannungs-Messleitungen kontrolliert werden kann, wozu ebenfalls die bereits vorhandenen Instrumente verwendet werden.

Die Aufgabe wurde derart gelöst, dass mit Hilfe von Steckern (N), welche auf einem Schaltbrettchen in verschiedene Schaltkombinationen gebracht werden können, die Messleitungen mit einem kleinen Strom von 3 ÷ 4 A beschickt werden. Zu diesem Zwecke werden an den Kontaktstöcken die Spannungskontakte 1 und 2, resp. 3 und 4 bei aufgeschraubten Meisseln durch eine spezielle Vorrichtung überbrückt. Durch Messung von Strom und Spannung mit den bereits vorhandenen Instrumenten kann der Widerstand der Messleitung inkl. die in der Ausrüstung liegenden Übergangswiderstände ermittelt werden. Zur Umschaltung der Instrumente für den genannten Zweck konnten wiederum die bereits vorhandenen Umschalter (L_1 und L_{II}) verwendet werden.

Diese Vorrichtung gestattet, sich jederzeit über den Zustand der Messleitungen zu orientieren, so dass Messfehler infolge von Defekten, welche äusserlich nicht von vornherein wahrnehmbar sind, leicht entdeckt werden können.

6. Transport der Apparate. (Siehe Fig. 8.)

a) Akkumulatorenkiste. (Gewicht mit Ladung: 125 kg).

Zum Transport der Akkumulatoren musste eine Spezialkiste (*Q*) angefertigt werden, welche den Vorschriften der SBB entsprach. Einmal muss die ungewöhnliche Form auffallen, was „oben“ und „unten“ ist, damit die Kiste während des Transportes nicht gestürzt wird. Allfälliges Verschütten der Lauge musste unschädlich gemacht werden, indem die Kiste Doppelwandung mit dazwischenliegender Sägemehlfüllung erhielt. Der Kiste wurde aus diesem Grunde die Form einer abgestumpften Pyramide gegeben.

*b) Lattenverschlag (*R*). (Gewicht, beladen: 180 kg).*

In diesem wurden der ausziehbare Messtisch mit dem aufgeschraubten Gleitwiderstand, ferner die drei Messleitungen mit den Kontaktstöcken untergebracht, welcher zur Erleichterung des Verlades mit Laufrollen versehen wurde. Die Leitungen und Stöcke können festgeschraubt werden. Dadurch, dass die Kiste nicht „massiv“ gemacht wurde, war es möglich, ihr Gewicht bei voller Ladung unter der 200 kg Grenze für Transport als Expressgut zu halten.

c) Instrumentenkiste. (Gewicht, beladen: 75 kg).

Diese Kiste (*S*) dient zum Transport des gefederten Instrumententisches mit den darauf montierten und dadurch gegen Erschütterungen auch während des Transportes geschützten Instrumenten, des Batterie-Zählers, der Kontaktmeissel, der Werkzeugtasche, der Mappe mit den Protokollformularen u. a. m. Sie wurde in der unteren Hälfte am Boden und an den Wänden gepolstert, während die obere Hälfte, welche zur Aufnahme des mit einem Schutzdeckel versehenen Instrumententisches dient, in den Ecken dicke Filzstreifen als Stoßdämpfer erhielt.

7. Durchführung der Messungen.

a) Aufnahme der zu messenden Anlageteile.

Vor der ersten Messung werden von sämtlichen zu untersuchenden Weichen und Kreuzungen Skizzen aufgenommen, worin die Lage der Stösse durch Punkte markiert und diese letzteren mit Ordnungszahlen versehen werden. Sofern von der Bahn aus eine Weichenummerierung besteht, wird neben der Ortsbezeichnung auch die entsprechende Weichen- resp. Kreuzungsnummer angeführt. Um diese Arbeit zu erleichtern, benützen wir vorgedruckte Skizzen der gebräuchlichsten Anlageteile, nämlich von einspurigen und doppelspurigen Weichen, Geleiswechseln und Kreuzungen. Anormale Weichenanlagen, wie Dreieckweichen, Doppelwechsel, werden an Hand von Plänen an Ort und Stelle aufgenommen.

Diese Arbeiten müssen jeweilen nur im ersten Jahre im vollen Umfange durchgeführt werden, während wir uns in den nachfolgenden Jahren darauf beschränken können, eventuelle Neuanlagen aufzunehmen und allfällige Änderungen an bereits bestehenden Anlagen in den betreffenden Skizzen nadzutragen.

b) Kontrolle der nach dem Thermit-Verfahren geschweißten Schienenstösse.

Da die Thermitstösse von uns nicht gemessen, sondern nur auf das Vorhandensein von Kopfrissen untersucht werden, kann diese Kontrolle am Tage durchgeführt werden. Dabei wird die Anzahl der zu kontrollierenden Thermitstösse notiert, da in der Zusammenstellung der Messergebnisse die intakten Stösse als solche mit dem Widerstand Null taxiert werden.

c) Einbau der Instrumente. (Siehe Fig. 9).

Wie schon an anderer Stelle erwähnt wurde, kann die Messausrüstung ohne weitere Hilfsmittel in jedem Personen-Motorwagen installiert werden. Zuerst wird der ausziehbare Messtisch im Innern des Fahrzeuges aufgestellt, indem die ausziehbaren Seitenteile vermittelst einer Stellschraube gegen die Seitenwände des Wagens (bei Quersitzwagen gegen die Rücklehnen der Quersitze) gepresst werden.

Die Kontaktstöcke werden mit den zugehörigen Kontaktmeisseln versehen und mit den Messleitungen verschraubt. Die andern Enden der Messleitungen werden durch die Perrontüre in das Wageninnere gezogen und das eine Kabel mit der Akkumulatorenbatterie, das andere mit dem Gleitwiderstand verbunden, welch letzterer am Messtisch festgeschraubt ist. Der gefederte Instrumententisch wird auf den Messtisch gestellt, der Schutzdeckel abgehoben, worauf die verschiedenen Anschlussklemmen durch flexible Leitungen mit den entsprechenden Klemmen der Kabel-Endverschlüsse verbunden werden. Zur besseren Uebersichtlichkeit sind die korrespondierenden Klemmen durch gleiche Farbe gekennzeichnet. Hierauf wird der Batterie-Zähler in einer Ecke des Messstisches befestigt, mit den Shuntklemmen verbunden und darnach der Zählerstand abgelesen.

Die Messausrüstung ist nun betriebsbereit, doch erfolgt als erste Messung eine Kontrolle der Widerstände der beiden Messleitungen, damit eventuelle, auf dem Transport entstandene Defekte sogleich behoben werden können.

d) Funktionen des Hilfspersonals. (Fig. 10).

Gemäss den mit den Interessenten abgeschlossenen Verträgen haben zu den Stosswiderstandsmessungen die Bahnverwaltung einen Motorwagen mit Führer, die übrigen Vertragskontrahenten nach einem vereinbarten Turnus 3 Hilfsarbeiter zu stellen. Zwei

Mann werden zum Bedienen der Kontaktstöcke benötigt, während der dritte an Hand der Anlageskizze dem Messbeamten die Nummer des jeweilen gemessenen Stosses angibt und im übrigen dafür zu sorgen hat, dass die Kontaktstöcke in richtiger Weise gehandhabt werden. Der Wagenführer hat die notwendigen Wagenmanöver vorzunehmen. Die drei Hilfsarbeiter befinden sich vor dem Wagen. Nach erfolgter Messung begeben sie sich zum benachbarten Stoss- oder Querwiderstand, indem die Stockträger die Messleitungen nachschleppen, während der Wagenführer, soweit notwendig, mit dem Wagen nachfährt. Bei der Messung von Geleisestössen geht der dritte Mann, mit einer Laterne versehen, gewöhnlich um eine Schienellänge voraus und bezeichnet die zu messenden Stösse mit einem Kreidestrich, während die andern, vor dem Wagen hergehend, von Stosspaar zu Stosspaar nachrücken.

Wenn der Abstand zwischen zwei zu messenden Anlageteilen grösser als etwa 50 m ist, werden die Messleitungen und Kontaktstöcke auf den Wagen geladen, worauf mit normaler Fahrgeschwindigkeit zur nächsten Messtelle gefahren wird.

e) Messung und Protokollführung.

Sobald die Kontaktstöcke aufgesetzt sind und damit der Batterie-Stromkreis geschlossen ist, was am Kontrollampèremeter (*E*) ersichtlich ist, wird vermittelst

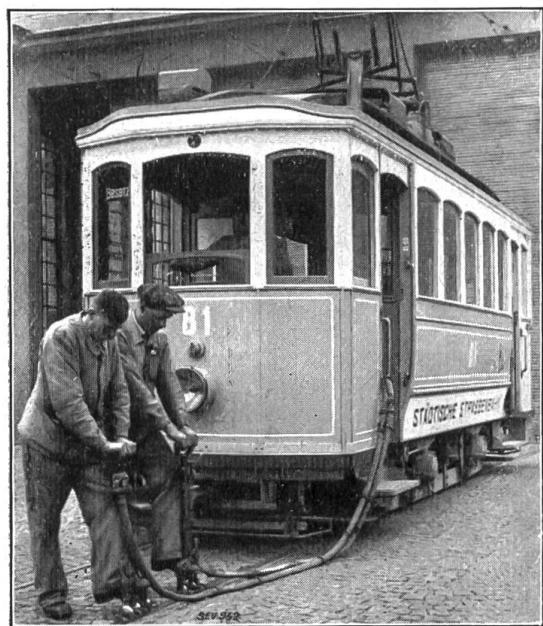


Fig. 10.
Messen eines Stosswiderstandes.

des Schieberwiderstandes der Strom so reguliert, dass das Schienen-Voltmeter (V_1) einen bestimmten Ausschlag zeigt, worauf am Stossvoltmeter (V_{II}) der Stosswiderstand direkt in Meter Schiene abgelesen werden kann.

Die Protokollformulare für die verschiedenen Anlageteile sind ebenfalls vorgedruckt und enthalten die entsprechende Anlage-Skizze, welche an Hand der Weichenpläne vervollständigt wird. In den darunterstehenden Zahlenkolonnen wird der Widerstandswert des gemessenen Stosses neben seiner zugehörigen Ordnungszahl notiert. Eine weitere Kolonne ist für allfällige Bemerkungen reserviert. Neuerdings besitzen die Messprotokolle eine besondere Kolonne für die Registrierung der Querwiderstände. Die Protokolle werden an Ort und Stelle mit Tusche beschrieben und nach Anbringen der notwendigen Aufschriften nach dem Plandruckverfahren vervielfältigt.

In analoger Weise werden die Herzstückstösse gemessen. Vom erhaltenen Messresultat muss hier der Abstand der Kontaktstücke subtrahiert werden.

Bei der Messung der Querwiderstände wird der Strom auf 50 A eingestellt, worauf für den abgelesenen Voltmeter-Ausschlag in einer Tabelle der zugehörige Querwiderstand gefunden werden kann.

8. Leistungsfähigkeit der Ausrüstung.

Um sich ein richtiges Bild von der Leistungsfähigkeit der Ausrüstung zu machen, genügt es nicht, nur die Anzahl der gemessenen Stösse pro Nacht festzustellen, sondern man muss dabei noch die Art des Betriebes (ob Strassenbahn oder Ueberlandbahn) und die Art der gemessenen Anlageteile berücksichtigen. Ferner ist es auch nicht gleichgültig, ob in einer Stadt im Zentrum, wo manchmal auf einem einzigen Hauptplatz 200–300 Stösse vorhanden sind, oder auf einer Aussenlinie gemessen wird, wo einige Gleiswechsel und einspurige Weichen untersucht werden müssen, die örtlich weit auseinander liegen. Bei der Messung der Geleisestrecken ist zu unterscheiden, ob die Stösse einer längeren zusammenhängenden Teilstrecke zu messen sind oder ob bei einer in der Hauptsache geschweißten Strecke nur vereinzelte gelaschte Zwischenstösse untersucht werden müssen.

Die Messung eines Querwiderstandes erfordert etwa doppelt so viel Zeit als die Messung eines Stosswiderstandes.

Wenn am Tage gemessen werden kann, was bei einigen Ueberlandbahnen möglich ist, so steigert sich die Leistungsfähigkeit der Ausrüstung, da die Messungen wegen der besseren Sicht der Stösse etwas rascher forschreiten.

Die Leistungsfähigkeit der Ausrüstung für einige typische Fälle ist aus nachstehender Zusammenstellung ersichtlich:

I. Strassenbahnenetze in Städten.

Art der zu messenden Anlagen	Messdauer	Anzahl Stösse per Nacht
Weichen auf Hauptplätzen	5—6 Std.	400—500
Weichen auf Aussenlinien	5—6 "	300—400
Geleisestösse, zusammenhängende	5—6 "	450—550
Geleisestösse, vereinzelte	5—6 "	200—300

II. Ueberlandbahnen (sofern am Tage gemessen werden kann).

Art der zu messenden Anlagen	Messdauer	Anzahl Stösse per Tag
Durchgehendes Geleise (15 m Schienen) . . .	6—8 Std.	500—700
Durchgehendes Geleise (12 m Schienen) . . .	6—8 "	600—800