

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 9 (1918)
Heft: 8

Artikel: Die Korrosion durch Erdströme elektrischer Bahnen : erster Bericht der gemeinsamen Kommission des Schweizerischen Gas- und Wasserfachmänner-Vereins, des Verbandes Schweizerischer Sekundärbahnen und des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins für die ...
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059608>

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: 09.01.2026

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen „Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz“ sowie „Jahresheft“ und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin“ betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins,
Neumühlequai 12, Zürich 1 - Telephon: Hottingen 37.08

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.,
Hirschengraben 80/82 Zürich 1 Telephon Hottingen 36.40

Publié sous la direction d'une Commission de Rédaction nommée par le Comité de l'A. S. E.

Ce bulletin paraît mensuellement et comporte comme annexes annuelles la „Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse“, ainsi que l'„Annuaire“.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la matière du „Bulletin“ au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Neumühlequai 12, Zurich 1 - Telephon: Hottingen 37.08

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les annonces, doivent être adressées à l'éditeur:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Hirschengraben 80/82 Zurich 1 Téléphone Hottingen 36.40

Abonnementspreis
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft und Statistik:
Schweiz Fr. 15.—, Ausland Fr. 25.—.
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 1.50 plus Porto.

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de l'A. S. E.), y compris l'Annuaire et la Statistique, Fr. 15.— pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 1.50, port en plus.

IX. Jahrgang
IX^e Année

Bulletin No. 8

August 1918
Août

Die Korrosion durch Erdströme elektrischer Bahnen.

Erster Bericht

der gemeinsamen Kommission des Schweizerischen Gas- und Wasserfachmänner-Vereins, des Verbandes Schweizerischer Sekundärbahnen und des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins für die Frage der Korrosion.

Bearbeitet vom Generalsekretariat des S. E. V.

(Fortsetzung)

II. Art und Grösse der praktisch auftretenden Korrosionserscheinungen und ihrer Ursachen.

A. Die Korrosionen, die an im Erdboden verlegten Röhren und Kabeln vorkommen.

1. *Korrosionen, die nicht auf fremde Erdströme zurückzuführen sind.* Beim Untersuchen einer durch Korrosion gefährdeten Rohrstelle entsteht zuerst die Frage nach der Möglichkeit anderer chemischer oder elektrochemischer Ursachen der Zerstörung als derjenigen der Bahnströme. Tatsächlich liegt bei der geringen Widerstandsfähigkeit des Eisens gegen chemische Einflüsse diese Vermutung meist sehr nahe, zumal für Objekte die im feuchten Erdboden liegen, dessen Gehalt an verschiedenen Säuren und Salzen diese Art der Korrosion ausserordentlich begünstigt. Die Erforschung der sich hiebei abspielenden Erscheinungen, die meist elektrochemischer Natur sind, hat in den letzten Jahren eine grosse Vertiefung erfahren und wissenschaftliche Methoden für den Rostschutz zu Tage gefördert.⁸⁾ In der folgenden kurzen Uebersicht über das Verhalten des Eisens gegen die chemischen Einflüsse des Erdbodens halten wir uns u. a. an die im unten erwähnten Aufsätze von Zschokke ausgesprochenen Anschauungen.

⁸⁾ Ueber die neueren Forschungen und erfolgreiche eigene Untersuchungen berichtete Prof. Bruno Zschokke, Adjunkt der Schweizer. Materialprüfungsanstalt u. a. in der Schweizer. Bauzeitung vom 13./20. März 1915.

Unter Rost im *engeren* Sinne wird jene gelbrote Substanz (Eisenoxydhydrat) verstanden, welche sich unter dem Einfluss der Atmosphärischen Luft und Wasser an der Oberfläche des Eisens bildet. Als Rost im *allgemeineren* Sinne ist jedes unter Einwirkung irgend einer sauren Flüssigkeit auf metallisches Eisen bei Zutritt von Luft entstandene basische in Wasser unlösliche Eisensalz anzusprechen. Für Gas- und Wasserrohre, die im Erdboden liegen, wird der letztere Fall die Regel sein. *Wesentliche Bedingung zur Rostbildung ist in jedem Fall die Anwesenheit von Sauerstoff und Wasser.*

Auch wenn weder Säuren noch Salze dem Erdboden beigemengt sind, wird daher bei lockerem sandigen Boden, der den Luftzutritt ermöglicht, Rostbildung eintreten; die Erfahrung lehrt,⁹⁾ dass hierbei schmiedeiserne Rohre eher zerstört werden als gusseiserne. Man kann den Grund darin suchen, dass erstere im Gegensatz zu den meist grösseren Gussrohren weniger tief im Boden verlegt werden und daher dem Luftsauerstoff mehr ausgesetzt sind. *Kröhnke*¹⁰⁾ hat durch Versuche gefunden, dass schmiedeiserne Leitungen überhaupt unter dem Verrostungsvorgang im engeren Sinne mehr leiden als gusseiserne. *Zschokke*¹¹⁾ findet in seinen Versuchen, die er mit Proben mit verschiedenen Eisensorten, die in destilliertem Wasser der Verrostung ausgesetzt sind, durchführte, gegenteils keine bedeutenden Unterschiede im Rostangriff.

Weit anders liegen die Verhältnisse bei Anwesenheit von Säuren und Salzlösungen. Hier scheint nach übereinstimmenden Versuchen verschiedener Forscher Gusseisen der Zerstörung weit mehr ausgesetzt zu sein. Nach *Heyn*¹²⁾ verhält sich z. B. in 1 %iger Schwefelsäure Flusseisen zu Schweisseisen zu Gusseisen im Rostangriff wie 1:2:100. Ähnliche Unterschiede sind auch von *Kröhnke*¹⁰⁾ konstatiert worden. Ueber den Einfluss der verschiedenen Salzlösungen berichtet *Zschokke*¹¹⁾ sehr eingehend. Aus den Resultaten, die sich mit den praktischen Erfahrungen an Rohrleitungen decken, folgt, dass besonders gips-, kochsalz- und bittersalzhaltiger Boden die Korrosion begünstigt. Gefährlich ist auch die Anwesenheit von Schlackenablagerungen, die in Industrieorten häufig zu treffen sind.

Eine namhafte Vergrösserung der geschilderten Rostgefährdung können Eisenteile erfahren, die *in metallischer Verbindung mit edleren Metallen* der Spannungsreihe verlegt sind. Durch die so gebildete galvanische Zelle entstehen zusätzliche rein elektrolytische Prozesse, die die Zerstörung unterstützen. *Zschokke* erwähnt Messungen von *Heyn* und *Bauer*, wonach der Rostangriff von Eisen in Berührung mit Kupfer in gewöhnlichem Leitungswasser um 25 %, in Meerwasser um 47 % verstärkt wurde. Die elektrolytische Wirkung solcher Erdstromquellen, z. B. bei der Verbindung zweier verschiedener Rohrstücke (Bleirohr an Eisenrohr angeschlossen), ist örtlich auf die unmittelbare Umgebung beschränkt, sie ist offenbar umso ausgeprägter, je inniger die beiden Metallstücke in Berührung stehen und je geringer der innere Widerstand der Zelle (Widerstand des Erdbodens in unmittelbarer Umgebung der Verbindungsstelle) ist. Diese Zellenwirkung tritt auch zwischen Gusseisen und Flusseisen auf, unter Umständen auch an ein und demselben Rohrmaterial infolge der stets ungleichen Oberflächenbeschaffenheit der Guss- und Schmiedeisenrohre, zumal wenn bereits stellenweise Korrosion vorhanden ist. Die Erdströme die sich dabei ausbilden, sind aber meist sehr gering, sodass ihre Wirkung im Vergleich zu den geschilderten Zerstörungen im allgemeinen nicht von Belang sein kann. Es darf hieraus jedenfalls nicht abgeleitet werden, dass etwa die Verbindung zwischen gusseisernen und schmiedeisernen Rohren eine besondere Gefahr in sich schliesse. Auch scheint, dass man im allgemeinen der Ausbildung lokaler Erdströme selbst zwischen Metallen, die in der Spannungsreihe wesentlich auseinander stehen, praktisch keine zu grosse Bedeutung beimessen darf, wenigstens soweit es sich um Materialien und Verbindungsarten handelt, wie sie für Gas- und Wasserrohre in Frage kommen. *Besig*¹³⁾ verweist hier auf die überall gebräuchlichen Muffen-

⁹⁾ Hierüber berichtet u. a. *Besig*: Journal für Gasbeleuchtung No. 3—6 1913.

¹⁰⁾ Dr. *Kröhnke*: „Ueber das Verhalten von Guss- und Schmiederohren in Wasser, Salzlösungen und Säuren“, R. Oldenbourg 1911.

¹¹⁾ Siehe S. B. Z. Band LXV, Seite 124 u. ff.

¹²⁾ „Mitteilungen aus dem Kgl. Materialprüfungsamt zu Gross-Lichterfelde West“ 1908 u. 1910.

¹³⁾ *Besig*: Journal für Gasbeleuchtung No. 3—6 1913.

richtungen mit Blei, die noch keinen besonderen Anlass zu Zerstörungen ergeben haben. Der Grund ist wohl auch in der unvollkommenen metallischen Berührung zwischen Blei und Eisen zu suchen.

Die langjährigen Erfahrungen an Rohrnetzen die im Bereich elektrischer Gleichstrombahnen liegen, ergeben als allgemeine Regel, dass die geschilderten Zerstörungen durch den Rostvorgang bezüglich der Gefährdung den *Korrosionserscheinungen durch Bahnströme nachstehen*. Es darf angenommen werden, dass an jenen Orten, wo der Boden durch seinen Salz- und Feuchtigkeitsgehalt eine Gefahr bezüglich der Verrostung darstellt, die gegebenenfalls zugleich auftretenden Streuströme elektrischer Anlagen der grössere Feind bedeuten. Dies ist für die Wahl der zu treffenden Schutzmassnahmen wichtig, indem, wie wir später näher ausführen, die gegen die Verrostung zu treffenden Vorkehrungen die Gefährdung durch die elektrolytische Korrosion meist nicht zu beheben vermögen, eine namhafte Einschränkung der letzteren aber die noch verbleibende Gefährdung durch Rostvorgänge meist auf ein erträgliches Mass beschränkt. Dies gilt allgemein gesprochen und wird nicht ohne Ausnahme bleiben. Es sind Fälle sehr heftiger Korrosion an im Boden liegenden Metallteilen durch chemischen Angriff wie auch durch den Rostprozess bekannt, die als Ursache fremder Erdströme angesprochen wurden, weil die Objekte im möglichen Bereich der Streuströme elektrischer Bahnen lagen. In solchen Fällen kann nur eine genaue Untersuchung aller möglichen Faktoren die von Einfluss sind, auf den richtigen Weg zur Behebung der Gefährdung führen.

2. *Die Korrosion der Erdströme.* Die im vorangegangenen Teil des Berichtes getroffenen Voraussetzungen zu unseren theoretischen Betrachtungen treffen naturgemäss praktisch nur angenähert zu. So zeigt ein längs den Schienen verlegtes Rohr des stets veränderlichen Uebergangs- und Erdwiderstandes wegen keinen gleichmässig über die Strecke verteilten Angriff, sondern im günstigsten Fall eine mehr oder weniger kontinuierliche Reihe punktförmiger Anfressungen. Bei Gussrohren ist der ungleichmässigen Ausbildung der Gusskanten wegen der Stromaustritt d. h. der Angriff oft auf wenige Stellen des Korrosionsbereichs beschränkt. Diese Erscheinung ist besonders häufig bei Rohren mit isolierender Bekleidung beobachtet worden, deren Hülle an einigen wenigen Stellen durch äussere mechanische Zerstörung oder häufiger durch lokale chemische Vorgänge im Verlauf der Zeit blossgelegt wurde. Der Stromaustritt im Korrosionsbereich muss sich dann auf diese Stellen beschränken, wobei infolge der grösseren Erdstromdichte die Gefährdung entsprechend erhöht ist. Auf diese Weise können unter sonst durchaus zulässigen Verhältnissen bezüglich der Ausbildung der Erdströme in kurzer Zeit guss- und schmiedeeiserne Rohre vollständig durchlöchert werden. Solche korrodierte Stellen sind als kraterähnliche Vertiefungen in der Rohrwand bekannt, die Erscheinung wird mit „*Lochfrass*“ bezeichnet. Sie tritt auch bei nicht isolierten Rohren im Fall von Kreuzungen mit Schienen auf, wie solche auf Seite 152 erwähnt sind.

Korrosionsstellen durch Erdströme zeigen ein charakteristisches Aussehen. *Besig* schreibt in seinem schon zitierten Aufsatz hierüber: „Bei Gusseisen bilden sich graphitartige Stellen in der Rohrwand, wobei die äussere Form der Rohroberfläche oft vollständig erhalten bleibt, sodass erst durch Anschneiden mit einem Meissel oder Messer die Anfressungsstelle gefunden wird.¹⁴⁾ In vielen Fällen hört man schon am Klang des freiliegenden Rohres beim Anklopfen mit einem Meissel, ob die Rohroberfläche gut erhalten ist. Bei Schmiedeeisen tritt das strähnige Gefüge dieses Materials an den angefressenen Stellen in charakteristischer Weise hervor. Bleileitungen überziehen sich mit einer bläulichweissen Masse, die sich leicht abschaben lässt, wobei oft grössere blättrige Bestandteile des Rohres sich ablösen.“ Es ist anzufügen, dass damit die Ursache eines an einem Rohr konstatierten Angriffs noch nicht mit Sicherheit festgelegt ist. Die im ersten Abschnitt genannten chemischen und elektrochemischen Zerstörungen haben oft ganz ähnliches Aussehen, zumal bei Schmiedeeisenrohren. Ueber die Grösse der im praktischen Betrieb wirklich auftretenden

¹⁴⁾ *Nourtier* berichtet im „Journal des usines à gaz“ 1911, dass in einem Korrosionsherd eines Gusseisenrohres von 100 gr zerstörtem Metall 79,2 gr Eisen und alles Mangan verschwunden und dafür Graphit zurückgeblieben sei.

Gefährdungen von Rohrleitungen sind eine grössere Anzahl Versuche durchgeführt worden, die über den Einfluss der massgebenden Faktoren Aufschluss geben. Eine direkte Vergleichung tatsächlich konstatierter Zerstörungen etwa auf Grund gleicher Bahnverhältnisse ist der ausserordentlichen Manigfaltigkeit der Fälle wegen nicht möglich.

Aus den Untersuchungen von *Larsen*,¹⁵⁾ *Ganz*,¹⁶⁾ *Mc. Collum* und *K. H. Logan*¹⁷⁾ u. a. m. ist zu folgern, dass bei blankem Eisen im Erdboden verschiedener Zusammensetzung die tatsächlich aufgetretenen Gefährdungen eher grösser sind als die nach dem Faradayschen Gesetz (siehe Seite 137) ermittelten theoretischen Werte. Bei unbearbeitetem Eisen blieben die gemessenen Gefährdungen etwas hinter dem theoretischen Betrag, die Gusshaut an gusseisernen und die Galvanisierung schmiedeiserner Rohre bildet daher einen gewissen Schutz, der aber, wie anderweitige praktische Erfahrungen zeigen, nur vorübergehend ist. Bereits oxidierte Oberfläche scheint die Korrosion zu beschleunigen,¹⁶⁾ an Gusseisen ist indessen diese Erscheinung nicht beobachtet worden. Für sonst gleiche Bedingungen steht überhaupt die Gefährdung an diesem Material infolge der gegenüber Flusseisen geringeren Leitfähigkeit hinter den entsprechenden Werten für das letztere. Im übrigen zeigen aber die verschiedenen Eisensorten in ihren spezifischen Werten der Gefährdung keine grossen Unterschiede, wie auch aus praktischen Erfahrungen des Betriebs (u. a. auch aus dem von der Erdstromkommission des Schweizer. Gas- und Wasserfachmänner-Vereins gesammelten Material) kein besonders nachteiliges Verhalten des einen oder anderen Materials hervorgeht. Wenn sich in einigen Fällen die konstatierten Zerstörungen vorzugsweise auf die schmiedeisernen Haus- und Kandelaberanschlüsse zu beschränken scheinen, so liegt der Grund meist darin, dass diese aus schon erörterten Ursachen (Seite 146 und 151) ohnehin der Gefährdung besonders ausgesetzt sind. Dazu kommt, dass infolge der geringeren Wandstärke gegenüber gusseisernen Rohren ein und dieselbe Grösse der Gefährdung das dünnere Rohr eher zerstört oder unbrauchbar gemacht hat.

Ueber den Einfluss der Bodenart liegen u. a. Versuche von *Mc. Collum* und *K. H. Logan*¹⁸⁾ vor. Aus den Resultaten ist zu lesen, dass die Gefährdung mit dem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens rasch zunimmt. Temperaturschwankungen innerhalb natürlicher Grenzen scheinen ohne Einfluss zu sein. Von ausschlaggebender Bedeutung ist der Gehalt an Säuren oder Salzen. Was wir hierüber bezüglich der Verrostung berichteten, gilt z. T. auch für die elektrolytische Korrosion, indem besonders das Auftreten von Chloriden im Erdboden zu raschen Zerstörungen durch Erdströme führt. Es ist anzunehmen, dass sich beide Vorgänge zugleich abspielen, wodurch sich die gesteigerte Gefährdung erklären mag. Die Versuche der genannten Forscher mit verschiedenen Bodenarten ergaben bei sonst unveränderten Verhältnissen bis 100% Unterschiede in der Grösse der Gefährdung.

B. Praktisch ermittelte Werte von Strom und Spannung an Rohren mit Korrosionserscheinungen.

1. *Die Bedeutung des Erdwiderstandes.* In den vorangegangenen theoretischen Betrachtungen (siehe Seite 139 u. ff.) ist die Erdstromdichte j an der Rohroberfläche als ein wesentlicher Faktor der Gefährdung bezeichnet worden. Dem Zusammenhang mit dem Spannungsgefälle v zwischen Rohr und Schiene und dem totalen Widerstand r_e des Erdstroms pro Längeneinheit der Strecke wurde als Annäherung das ohmsche Gesetz zu Grunde gelegt, $j = \frac{v}{\Delta \cdot r_e}$ wobei Δ den Einfluss des Rohrdurchmessers ausdrückt. Wäre in der Veränderlichkeit des Widerstandes (in den der Uebergangswiderstand zwischen Schiene und Erdboden bzw. zwischen Rohr und Erdboden eingeschlossen ist) mit der Entfernung der beiden Objekte und der Zusammensetzung des Erdbodens irgendwelcher gesetzmässige Zusammenhang zu erwarten, so würde die Ermittlung der Spannung v ein weitaus bequemerer

¹⁵⁾ *Larsen*, Zeitschrift für Elektrochemie 1909, Seite 712.

¹⁶⁾ Proc. A. J. E. E. 1912, Seite 1000.

¹⁷⁾ Technologic Papers of the Bureau of Standards No. 25 1914.

¹⁸⁾ Technologic Papers of the Bureau of Standards No. 25 1914.

Mittel zur Kennzeichnung der Korrosionsgefährdung darstellen. Dies ist aber praktisch durchaus nicht der Fall. Besteht an einem bestimmten Punkt zwischen Schiene und Rohr eine Potentialdifferenz, deren Richtung bekannt ist, so sagt das nur aus, ob der Punkt im Korrosionsbereich oder Einzugsgebiet der Erdströme liegt; ein Schluss auf die Gefährdung darf nicht ohne weiteres gezogen werden, da die Zusammensetzung des Bodens von ebenso grossem Einfluss ist. Hierüber ist im vorangegangenen Abschnitt schon die Rede gewesen; es sei nur noch angeführt, dass sich der Widerstand des natürlichen Erdbodens etwa zwischen 50 Ω bis 700 Ω bewegt, gemessen an einem Würfel von 1 m³ Volumen. Nach Michalke¹⁹⁾ zeigen Mörtel und Zementmasse bedeutend grössere Leitfähigkeit, er nennt einen Wert von 0,7 Ω pro m³; für Brunnenwasser 3 Ω bis 80 Ω pro m³. Vom totalen Widerstand auf dem Weg der Erdströme zwischen zwei korrespondierenden Punkten auf Rohr und Schiene entfallen nach Messungen von Besig²⁰⁾ bei einem Boden mittlerer Leitfähigkeit 50÷90 % auf die Schienenbettung und etwa 5÷20 % auf den Uebergang zwischen Rohr und Erde. Der Anteil der Bodenstrecke beträgt nur 5÷30 % und die Entfernung zwischen Rohr und Schiene ist daher auf den totalen Widerstand von geringem Einfluss. Die Messungen sind zwischen Rohren und Schienen vorgenommen, die schon längere Zeit im Betrieb standen. Sind erstere mit einem isolierenden Anstrich versehen (z. B. Teer-anstrich), so werden sich die Verhältnisse entsprechend günstiger stellen solange der Anstrich am Rohr im Boden besteht.

2. *Die zwischen Schiene und Rohr auftretenden Spannungswerte* dürfen nach dem Gesagten nicht ohne weiteres als ein Mass der Korrosionsgefährdung gelten, wenn auch für ein und dieselbe Strecke bei ungefähr gleichartigem Boden mit der Veränderlichkeit der Spannung längs der Strecke im gleichen Sinne die Gefährdung ändert. Die Uebereinstimmung mit den diesbezüglichen theoretischen Beziehungen trifft nach praktischen Messungen am ehesten noch für parallel verlegte Rohre zu. Diese weisen in den Bezirken maximaler Spannungsdifferenz für normale Spannungsverhältnisse in den Schienen Mittelwerte zwischen 0,5 V bis 3 V auf, bezogen auf eine charakteristische Periode des Bahnbetriebs. Die in deren Verlauf auftretenden Maxima und Minima weichen umso mehr hievon ab, je kleiner die Ausnützung der Strecke ist. So können auch unter normalen Verhältnissen vorübergehende Anstiege der Spannung bis auf 5 V und mehr auftreten. Die extremen, an stark überlasteten Strecken oder solchen mit mangelhafter Schienenleitfähigkeit gemessenen Spannungswerte zwischen Schiene und Rohr gehen aber bedeutend höher. Besig hat 1912 an den Ausläufern des Strassenbahnnetzes der Stadt Genf (positiver Pol an den Schienen) vorübergehende Werte von 20 V und mehr ermittelt, wobei allerdings¹ der Mittelwert bedeutend kleiner ausfiel. Pionchon²¹⁾ berichtet über Korrosion am Bleimantel eines Telegraphenkabels, der gegenüber der kreuzenden Schiene eine Potentialdifferenz bis zu 25 V aufwies; zu ähnlichen Resultaten führten Messungen an den stark überlasteten Linien einiger amerikanischer Stadtbahnen. Wenn auch an solche Stellen nicht notwendigerweise ein gefährlicher Angriff des Rohrs oder Kabels gebunden ist (Erd- und Uebergangswiderstand können zugleich so hoch sein, oder die Zugsfrequenz so klein sein, dass die Gefährdung trotzdem auf ein zulässiges Mass beschränkt ist), so sind diese Erscheinungen doch ein unfehlbares Zeichen einer ausserordentlichen Streuung der Bahnschienen. Bei ungünstigen Widerstandsverhältnissen können andererseits viel kleinere Spannungen hinreichen, um gefährliche Zerstörungen durch den Erdstrom zu veranlassen. Dies zeigen die im folgenden Abschnitt genannten Resultate der Messungen in Genf.

3. *Gefährliche Stromdichten.* Die Frage nach dem zulässigen Grenzwert der Erdstromdichte im Korrosionsbereich einer Rohrleitung kann nicht allgemein beantwortet werden, da für die Gefährdung δ das Produkt $\left(\frac{\alpha}{\gamma}\right) \cdot j \cdot t$ massgebend ist. Man kann den Mittelwert von j über die betrachtete Zeit t einführen und unter Annahme einer bestimmten Gefährdung während dieser Zeit diesen Mittelwert theoretisch berechnen. Mit Hülfe der auf Seite 146 angegebenen Zahlen würden sich ungefähr folgende Grössen ergeben.

¹⁹⁾ „Die vagabundierenden Ströme elektrischer Bahnen“ von Dr. C. Michalke 1904.

²⁰⁾ Erdstromuntersuchungen in Genf März 1912.

²¹⁾ Revue Électrique 28. IV. 1911.

Theoretische Werte der zulässigen Erdstromdichte in mA/dm².

Rohr, Wandstärke	für Gefährdung gleich der Hälfte der Wandstärke in Jahren			
	20	30	40	50
Gusseisen . 10 mm	2.0	1.3	1.0	0.8
Schmiedeeisen 3 mm	0.6	0.4	0.3	0.24
Blei . . . 3 mm	0.22	0.15	0.11	0.09

Dies sind Mittelwerte, die konstant über die ganze Zeitdauer wirkend gedacht sind. Die mittlere Stromdichte während einer Betriebsperiode (z. B. über 18 h) und noch mehr die momentanen Spitzenwerte können hierbei bedeutend grösser sein, je nach der Ausnützung der Strecke. Ueber die Veränderlichkeit von j im Verlauf einer Betriebsperiode orientieren die Fig. 5, 7 und 9 für die einfachsten Betriebsfälle. Diese theoretischen Zahlen vermögen immerhin Aufschluss zu geben, ob die für einen gegebenen Korrosionsfall gemessene Erdstromdichte ein besorgniserregendes Fortschreiten der Rohrzerstörung zur Folge haben wird oder nicht. Es kann sich ja meist nicht darum handeln, jede Korrosionserscheinung überhaupt verhindern zu wollen, wichtig ist nur, dass an keinem Punkt der Anlage eine Erdstromdichte auftritt, die innerhalb *unzulässig kurzer* Frist das Rohr oder Kabel unbrauchbar macht.

Als Ergänzung und Kontrolle der angegebenen Grenzwerte der mittleren Stromdichten sei nachfolgend ein Auszug der Messresultate von *Besig* aus seinen Untersuchungen in Genf wiedergegeben. Es handelt sich um die Bestimmung der Erdstromdichte an Rohren an einigen besonders gefährdeten Stellen des Rohrnetzes. Die Ermittlung geschah nach der von *Haber* vorgeschlagenen Methode.²²⁾

Gemessene Erdstromdichten.

No.	Bodenbeschaffenheit	Rohr		Stromdichte in mA/dm ²		Spannung zwischen Rohr u. Schiene in V	
		Grösse und Lage	Zustand	Mittelwert	Maximaler Wert	Mittelwert	Maximaler Wert
	1.	2	3	4	5	6	7
1	Lehm mit Sand und Steinen vermischt feuchter Boden	Gussrohr 100 mm Ø parallel mit Schiene 0.9 m unter Boden	Angerostet, noch keine Anzeichen von Korrosion	0.10	0.31	0.65	0.9
2	Lehm und Sand, wenig feuchter Boden	Gussrohr 80 mm Ø Kreuzung mit Schiene 1.0 m unter Boden	Deutliche Anzeichen von Korrosion	0.33	0.93	1.0	3.2
3	Trockener Sand u. Schutt, mit Schotterstein vermischt	Schmiedeeisernes Rohr 20 mm Ø Kreuzung mit Schiene 0.3 m unter Boden	Ausgeprägte Korrosion	0.51	1.14	2.1	4.5
3	Sand mit Steinen vermengt, wenig feuchter Boden, a. der Korrosionsstelle Sickerwasser	Bleirohr 20 mm Ø Kreuzung mit Schiene 0.9 m unter Boden	Starke Korrosion, Rohr ist undicht geworden	0.87	2.04	0.9	2.9

²²⁾ Ueber diese Messungsmethode ist im Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1906 ausführlich berichtet. Siehe auch *Liese*: „Ueber die Messung der Dichtigkeit vagabundierender Ströme im Erdreich“, Wilhelm Knapp, Halle a. S.

Die angegebenen Stromdichten sind vermittels eines Messrahmens von 1 dm² Fläche gemessen; es ist denkbar, dass sich die Erdströme nicht gleichmässig auf diese Fläche verteilen, sodass innerhalb dieser noch grössere Werte der Erdstromdichte auftreten können. Die Mittelwerte der Kolonnen 4 und 6 beziehen sich auf eine charakteristische Betriebsperiode des betreffenden Strecken-Abschnitts.

Aus dieser Auswahl der Messresultate von Besig folgt, dass die theoretisch berechneten Werte der zulässigen Stromdichte, wie wir sie oben vorgeschlagen haben, ein Kriterium für die Praxis abzugeben vermögen, indem sich die wirklich konstatierten Erdstromdichten ungefähr in den gleichen Grenzen bewegen. Es ist bekannt, dass in den *Erdstromvorschriften des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern*²³⁾ eine mittlere Stromdichte von 0.75 mA pro 1 dm² als die Rohrleitung unbedingt gefährdend angesprochen wird. Man kann nach obigem dieser Festlegung des obersten Grenzwerts jedenfalls nur zustimmen; eine andere Frage ist, ob nicht auch der erhofften Lebensdauer des Rohrs und seinem Material (Blei oder Eisen) bei der Aufstellung solcher Grenzwerte Rechnung zu tragen ist. Eine Bestimmung über die zulässige Stromdichte ist ja im allgemeinen nur in Sonderfällen von Bedeutung, wo man im Zweifel sein kann, ob ein konstaterter Rohrangriff besondere Schutzvorkehrungen rechtfertigt oder nicht; in solchen Fällen ist es aber dann auch angezeigt, die genannten Faktoren ebenfalls zur Beurteilung heranzuziehen.

4. *Die Rohrströme.* Der grösste Betrag des Erdstroms in einem parallel zur Schiene verlegten Rohr tritt nach den früheren theoretischen Betrachtungen in der neutralen Zone auf und hängt bei sonst gleichen Verhältnissen von der Ausdehnung des Einzugsgebiets bzw. von der Streckenlänge ab, über die das Rohr parallel zur Schiene liegt. Es können so unter Umständen auch bei kleinen auf das zulässige Mass beschränkten Erdstromdichten verhältnismässig hohe Rohrströme auftreten. Die im Betrieb ermittelten Ströme in Rohren sind naturgemäss von Fall zu Fall sehr verschieden. Vorerst ist zu beachten, dass je nach Lage, Abstand und Widerstand des parallel verlegten Rohrs nur ein Bruchteil der von den Schienen auftretenden Streuströme ihren Weg über das Rohr nimmt. *Larsen und Faber*²⁴⁾ stellten bei ihren Versuchen in Kopenhagen diesen Anteil zu 50 % des totalen Erdstroms fest, *Michalke* gibt in einem Fall 60 % an. Messungen über die Grösse der Rohrstromstärke sind u. A. von *Besig* in seinem Bericht über die Versuche in St. Gallen angegeben. Sie betreffen drei parallel mit den Schienen verlegte Röhre in einem Strassenzug. Die Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Rohrwiderstände.

Rohr	Durchmesser mm	Widerstand pro km Rohrlänge inkl. Rohrstoss (Muffen-Verbindung) Ω	Stromstärke im Rohr	
			maximal A	mittel A
Gasrohr	150	0.35	1.1	0.6
Gasrohr	100	0.41	0.9	0.5
Wasserrohr . . .	135	{ 0.24 *) 1.45**)	4.7	2.5

*) Ohne Schieber, Kreuzstück mit Flanschenverbindung.

**) Mit " " " "

Die hier in den Rohren fliessenden Ströme sind demnach ziemlich bedeutend, ihr Austritt auf eine einzige Stelle beschränkt z. B. an einem quer zum Gleis liegenden Abzweigrrohr, müsste dieses in kürzester Zeit zerstören.

Bei gegebener Rohrlage und Bodenverhältnissen ist der Rohrstrom wesentlich vom *Rohrwiderstand* abhängig. Nach obigen Zahlen würde sich dieser für gebräuchliche Gussrohre von 100 bis 150 mm \varnothing auf ca. 0,35 Ω als Mittelwert pro km Rohrlänge, inkl. Muffen-

²³⁾ Mit Erläuterungen veröffentlicht im Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1911, und E. T. Z. Heft 21 1911.

²⁴⁾ E. T. Z. 1901, Seite 1038.

verbindung stellen. Die Zahlen sind etwas grösser als das Resultat der Messungen von *Larsen und Faber*²⁴⁾, die für englische Gussrohre von ca. 26 cm Ø und 12 mm Wandstärke ohne Stoss einen Widerstand von 0,1 Ω pro km angeben. Der Einfluss der verschraubten oder vernieteten Rohrverbindung ist bei Schmiedeeisen unbedeutend, bei Guss-eisen soll nach *E. B. Rosa* und *Mc. Collum*²⁵⁾ die Muffenverbindung in ihrem Widerstand 30 m Rohr äquivalent sein. Es scheint, dass die Leitfähigkeit von Wasserrohren von der Wasserfüllung praktisch unabhängig ist.²⁶⁾

Die Vergrösserung des Rohrwiderstands zur Verminderung der Rohrströme könnte durch Verwendung *isolierender Rohrverbindungen* oder solchen hohen Widerstandes erreicht werden. Dadurch wäre der totale Rohrstrom, der etwa die neutrale Zone durchfliesst, fast beliebig weit zu reduzieren. Um aber einen wirklichen Schutz des Rohrs zu erzielen, dürfen die isolierten Stösse nicht zu weit auseinanderliegen, weil sonst die vom zwischenliegenden Rohrstück aufgenommenen und am isolierten Ende wieder abgegebenen Erdströme noch gefährden können. Es scheint, dass immerhin durch isolieren eines jeden dritten oder vierten Stosses eine brauchbare Schutzanordnung erzielt werden kann²⁷⁾. *Die Anwendung ist aber beschränkt*, weil sie für bereits verlegte Rohre kaum in Frage kommt, auch scheint besonders bei Wasserrohren die Aufrechterhaltung des hohen Uebergangswiderstandes nicht gesichert zu sein. Die Verwendung von Rohrstössen geringer Leitfähigkeit kann zu besonderen Korrosionserscheinungen an den Rohrenden führen, wenn die Rohre namhafte Ströme führen, wie dies etwa der Fall ist, wenn zur Vermeidung des Stromübertritts vom Rohr zur Schiene im Korrosionsbereich die Rohre nach dem bekannten „bonding-System“ direkt mit den Schienen oder durch besonderes Kabel mit dem negativen Pol im Kraftwerk verbunden werden. An den schlecht leitenden Rohrverbindungen bilden sich alsdann Stauungen des durch die Verminderung des Erdwiderstandes stark angewachsenen Rohrstroms der über die Erde als Nebenschluss die Rohrverbindung umgeht. Die Stromaustrittsstelle am Rohrende kann so der Sitz ernster Rohrangriffe werden.

Gleicherweise bildet auch der *isolierende Rohranstrich* oder eine entsprechende Hülle nur einen sehr bedingten Schutz. Theoretisch wäre auf diesem Weg durch beliebige Vergrösserung des Uebergangswiderstandes am Rohr eine sehr einfache und radikale Schutzvorkehrung getroffen. Bekannt sind die sehr eingehenden Untersuchungen von *Happer*²⁸⁾ über das Verhalten verschiedenster Anstriche und Umkleidungen der Rohre im Betrieb. Er untersuchte den schützenden Einfluss von anorganischen Verbindungen, Legierungen, Oxyden, Silikaten, ferner Umhüllungen aus Papier, Tuch, Zement etc. und fand, dass keines der Materialien *mit Sicherheit* dem Einfluss des Erdstroms zu widerstehen vermag. Beim Zutritt der Bodenfeuchtigkeit bilden sich lokale Prozesse, Anrostungen, wie wir sie auf Seite 158 erwähnten, die auf eine rasche lokale Zerstörung der Schutzhülle hinarbeiten. Damit ist aber eine auf kleine Fläche beschränkte Stromaustrittsstelle für eventuell im Rohr fliessende Erdströme geschaffen, wenn erstere in einem Korrosionsbereich liegt. Auf die Gefährlichkeit solcher Erscheinungen ist schon auf Seite 159 verwiesen. Handelt es sich mehr um den Schutz der Rohroberfläche gegen Zerstörung durch den Rostvorgang, so scheinen sich Umhüllungen aus Faserstoffen oder geteertem Papier am ehesten zu bewähren.

Die Verwendung isolierender Rohranstriche ist trotz mehrfach gemachter ungünstiger Erfahrungen²⁹⁾ nicht ganz von der Hand zu weisen. Es ist anzunehmen, dass ein grösserer Erfolg zu erwarten ist, wenn prinzipiell nur die Rohre im Einzugsgebiet, insofern dieses festgestellt werden kann, mit der isolierenden Hülle versehen werden. Vorausgesetzt, dass diese intakt bleibt, würde im Korrosionsbereich der Rohrleitung theoretisch überhaupt keine Gefährdung auftreten. Die Beibehaltung der Hülle ist aber im Einzugsgebiet eher zu erwarten, weil jeder beginnende lokale Rostvorgang infolge Polarisation durch den eintretenden Erdstrom mehr oder weniger aufgehoben wird.

²⁵⁾ E. T. Z. 1901.

²⁶⁾ Hierüber berichtete *Lubberger*, Journal für Gas- und Wasserversorgung 1901.

²⁷⁾ Technologic Papers of the Bureau of Standards No. 27, Washington.

²⁸⁾ American Gas & Light-Journal 1909.

²⁹⁾ Siehe z. B. hierüber *Geppert & Liese* Journal für Gasbeleuchtung 1910.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass auch die Verlegung der Rohre und Kabel in gemauerten Kanälen nicht immer vor Korrosion schützt. *A. F. Ganz*³⁰⁾ berichtet über den Angriff eines Bleikabels in einem Backsteinkanal. Das Kabel lag direkt auf dem gemauerten Grund auf, die Strecke befand sich im Bereich von Streuströmen einer elektrischen Bahn mit grosser Verkehrsdichte. Beim Auftreten von Bodenfeuchtigkeit scheint der Bleimantel, aus den aufgetretenen Korrosionen zu schliessen, beträchtliche Erdströme geführt zu haben. *A. F. Ganz* leitet hieraus die Forderung einer möglichst gut isolierenden Unterlage für das Bleikabel ab.

C. Die Spannungsverhältnisse in der Schienenanlage.

1. *Der zulässige Spannungsabfall.* Die früher abgeleiteten Formeln für die theoretische Rohrgefährdung ergeben proportionalen Anstieg der letzteren mit dem Schienenspannungsabfall. Dies trifft auch für jene Fälle zu, wo etwa an einer Kreuzungsstelle einer Rohrabzweigung die gesamten im Einzugsgebiet des parallel verlegten Hauptrohrs gesammelten Erdströme zum Austritt kommen. (Siehe Beispiel auf Seite 152). Ueber die naheliegende Frage nach dem praktisch zulässigen Grenzwert des Schienenspannungsabfalls auf einer Bahnstrecke kann wieder keine allgemein gültige Aussage gemacht werden, da auch bei Kenntnis der gegenseitigen Lage von Rohr und Schiene und des Betriebscharakters der Linie (über den Einfluss der letzteren haben wir uns auf Seite 148 ausgelassen) keine sicheren Annahmen über die Grösse des Erdwiderstandes zu treffen sind. Andererseits ist bei ausgedehnten Schienen- und Rohrnetzen eine Potentialdifferenz auf einem Geleisestück nicht nur die Quelle von Rohrströmen im parallelen Rohr, sondern oft zugleich auch die Ursache von Erdströmen zwischen dem betrachteten und einem zweiten unabhängigen Geleise, wie dies in Fig. 12 angegeben ist. Dies bedingt, dass zur Vermeidung gefährlicher Korrosionen an Metallteilen die im Bereich solcher Streuströme liegen, auch die Spannungen zwischen zwei Geleisstrecken oder allgemein zwischen zwei beliebigen Punkten des Schienennetzes gewisse Grenzwerte nicht übersteigen dürfen. Da man in diesem Fall noch weniger irgend eine Voraussage a priori über den zulässigen Spannungsunterschied zu machen vermag, ist man für unsere Frage ganz auf die Erfahrungen am praktischen Betrieb angewiesen.

Besig hat bei seinen Untersuchungen in St. Gallen 1906 die Mittelwerte des Schienenspannungsabfalls über eine charakteristische Betriebsmethode an einer grösseren Anzahl von verschiedenen Strecken bestimmt und in seinem Bericht folgende Resultate angegeben:

Spannungsgefälle vom Schienenspeisepunkt aus gemessen.

Entfernung des Messpunkts vom Speisepunkt km	Mittlere Spannungsdifferenz	
	absolut Volt	pro km Geleise- länge Volt
5,1	8,1	1,6
3,2	6,2	1,9
2,7	6,7	2,5
1,6	5,7	3,8
0,35	4,1	(11,7)

Obschon es sich um Spannungen an verschiedenen an den Speisepunkt anschliessenden Strecken handelt, zeigt die Tabelle, dass bei annähernd gleichmässiger Belastung der Linie der Spannungsabfall pro Längeneinheit gegen den Speisepunkt hin zunimmt, wie dies auch die theoretischen Ueberlegungen (Fig. 8) zum Ausdruck brachten. Die beim Bestehen der untersuchten Schienenanlage aufgetretenen z. T. sehr schweren Kor-

³⁰⁾ Electrician 1915.

rosionserscheinungen an Rohrleitungen in der Nähe des fraglichen Speisepunkts zeigten nun, dass solche Werte des Spannungsabfalls in den Schienen bedeutend über das zulässige Mass hinausgehen. Es wurden gleicherweise in der betreffenden Schienenanlage als Ursache von Rohrangriff Spannungen zwischen zwei 300 m von einander entfernten Speisepunkten von 1 V bis 5 V, im Mittel 3,5 V konstatiert, ein Betrag der den Zerstörungen gemäss auch zu hoch ist. Gleicherweise ergaben sich bei den durch *Besig* ausgeführten Untersuchungen in Genf 1912 in einem besonders gefährdeten Rohrleitungsgebiet Spannungen zwischen zwei Geleisen von im Mittel 2 V. Auf Grund einer grösseren Anzahl ähnlicher Versuche gelangten in den *deutschen Erdstromvorschriften* folgende *zulässige Grenzwerte des Schienenspannungsabfalls* zur Anwendung; § 3 der Vorschriften³¹⁾ sagt hierüber:

„Hinsichtlich der Spannungsverhältnisse im Schienengebiet ist zwischen dem „inneren verzweigten Schienennetz“ und den „auslaufenden Strecken“ zu unterscheiden. Bei Ueberlandbauten werden die Verbindungsstrecken der Ortschaften als „auslaufende Strecken“ behandelt.

Im „inneren verzweigten Schienennetz“ und innerhalb eines anschliessenden Gürtels von 2 km Breite soll bei mittlerem, fahrplanmässigem Betrieb der Anlage die sich rechnerisch ergebende Spannung zwischen zwei beliebigen Schienenpunkten 2,5 V nicht überschreiten. Unter den gleichen Bedingungen soll jenseits des Gürtels auf den „auslaufenden Strecken“ das grösste Spannungsgefälle nicht mehr als 1 V pro Kilometer betragen. Der Verkehr vereinzelter Nachtwagen scheidet bei der Feststellung des mittleren, fahrplanmässigen Betriebes aus.

Ist in einer Ortschaft das Schienennetz unverzweigt, so soll die Spannung innerhalb des verzweigten Rohrnetzes 2,5 V nicht überschreiten.

Der Anschluss anderweitiger stromverbrauchender Anlagen an das Bahnnetz darf die Spannung im Schienennetz nicht über die vorgeschriebenen Grenzen steigern.

Stehen verschiedene Bahnen miteinander in Verbindung — sei es durch das Schienennetz oder durch die Kraftquelle — so sind sie so anzulegen, dass sie zusammen diese Bedingungen erfüllen.

Gleisanlagen in Ortschaften mit selbständigen Röhrennetzen sollen für sich den vorstehenden Bestimmungen dieses Paragraphen genügen.“

Man darf nach einem Vergleich mit den vorgenannten Messresultaten annehmen, dass die hier vorgeschlagenen Grenzwerte i. a. eine gewisse Garantie für die Vermeidung gefährlicher Rohrangriffe bieten. Die Sicherheit wird sich aber je nach den Betriebsverhältnissen (siehe hierüber die Bemerkung auf Seite 148) in weiten Grenzen ändern. Es lauten daher mit Recht die Vorschriften im gleichen Paragraphen weiter:

„Abweichungen von diesen Vorschriften — u. zw. nach beiden Richtungen — in Bezug auf Spannungsverhältnisse im Schienennetz können durch besondere örtliche Verhältnisse oder durch erheblich abweichende Betriebsweise begründet sein. So z. B. kann, wenn die Betriebsdauer — wie dies bei Güterbahnen oft der Fall ist — nur einen kleinen Bruchteil des Tages ausmacht, eine Ueberschreitung der angegebenen Spannungsgrenzen zugelassen werden; bei Bahnen bis zu 3 Stunden Betriebsdauer bis auf das Zweifache und bei Bahnen bis zu einer Stunde Betriebsdauer bis auf das Vierfache.“

2. Der Schienenwiderstand. Der in den Schienen auftretende Spannungsabfall ist bei gegebenen Betriebsverhältnissen durch den *Schienenwiderstand* bedingt. Die Leitfähigkeit der eigentlichen Schiene muss beim Entwurf der Bahnanlage durch das erforderliche Profil als gegeben betrachtet werden. Der spezifische Widerstand von Schienenstahl variiert zwischen $0,17 \div 0,25 \Omega$ pro m/m^2 und 1 m Länge, als häufiger Mittelwert wird 0,2 angegeben³²⁾, sodass sich der Widerstand pro km einfaches Geleise bei meist gebräuchlichem Profil auf etwa $0,015 \Omega$ stellt. Von bedeutendem Einfluss ist nun aber die Güte der Stossverbindung. Man darf sagen, dass der grössere Teil der tatsächlich konstatierten erheblichen Rohrzerstörungen durch Erdstrom seine Ursache in der unzulänglichen Leitfähigkeit des Schienenstosses findet. Dies ist u. a. bei den Rohrangriffen in Genf und in St. Gallen beobachtet worden; die Prüfung der Stösse im letzteren Bahnnetz ergab nach *Besig* z. B. folgende Resultate:

³¹⁾ Journal für Gasbeleuchtung 1911, E. T. Z. 1911 (Heft 21).

³²⁾ Siehe u. a. *Besig*, Journal für Gasbeleuchtung 1911.

Von 150 untersuchten Stossverbindungen ergaben eine Erhöhung des Widerstandes der 10 m langen Schiene:	ca. 31 %	um	6	÷	10 %
	ca. 10 %	"	20	÷	30 %
	ca. 7 %	"	50	÷	70 %
	ca. 3 %	"	70	÷	100 %

Im Mittel resultierte eine Widerstandserhöhung von 19 %.

Es ist einleuchtend, dass nicht ein hoher Mittelwert, sondern die Vermeidung extremer Werte des Stosswiderstandes für den Rohrschutz in Frage kommen. Ein kurzes Geleisstück mit schlechter Stossverbindung in einer sonst guten Strecke kann durch die, den hohen Geleiswiderstand überbrückenden Streuströme zum Herd gefährlicher Rohrzerstörungen werden. Diese Erscheinung tritt durch Beobachtung des Verlaufs des Schienenstroms in einer auslaufenden Strecke besonders deutlich zutage. Solange sich die, die Strecke belastenden Wagen vom Speisepunkt aus gesehen, ausserhalb des beobachtenden Schienenstücks befinden, sollte die Stromstärke bei guter Schienenverbindung annähernd konstant sein, unabhängig von der Stellung des Wagens. Je grösser aber der im Erdboden fliessende Streustrom ausfällt, desto mehr wird der während einer Beobachtungsreihe gemessene Mittelwert des Gleisstroms vom wirklichen Wert des Bahnstroms abweichen, der beim Vorüberfahren der Wagen an der betreffenden Stelle zu messen ist. *Besig* nennt in seinem Bericht über die Untersuchungen in Genf einige charakteristische Zahlen für Geleisstrecken mit schlecht leitendem Stoss. Die folgenden Angaben beziehen sich auf verschiedene untersuchte Strecken. Das Verhältnis von Mittelwert zu Höchstwert gibt aber nur ein relatives Mass der Güte der Schienenverbindung, da für ein und dieselbe totale Leitfähigkeit des Geleises die Erdströme vom Erdwiderstand abhängt.

No. der Strecke	Schienenstrom	
	Höchstwert A	Mittelwert A
1	30	5
2	30	3
6	63	12
8	192	96
9	114	46

Nach den Untersuchungen die den deutschen Erdstromvorschriften zu Grunde liegen, ist eine Erhöhung des totalen Gleiswiderstandes durch die Stossverbindungen um höchstens 20 % zulässig. Dieser Grenzwert ist bei Verwendung der heute gebräuchlichen Schienenstossverbindungen und bei regelmässiger Kontrolle im Betrieb ohne weiteres einzuhalten.

Die Verlegung einer besonderen Verstärkungsleitung ist hiebei nicht nötig, wenn gleich damit die Leitfähigkeit der Schienen noch um einen weiteren Betrag erhöht wird. Die damit verbundene Auslage bringt aber meist geringen Gewinn, im Vergleich zur Verbesserung der Spannungsverteilung, die mit einem oft wenig grösseren Kostenaufwand durch die zweckmässige Anordnung von Schienenspeisekabeln erzielt werden kann.

