Streustrombeeinflussung durch Gleichstrombahnen

Autor(en): **Häusermann, Siegfried**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **55 (1977)**

Heft 7

PDF erstellt am: **26.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-874142

Nutzungsbedingungen

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

Haftungsausschluss

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

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

http://www.e-periodica.ch

Streustrombeeinflussung durch Gleichstrombahnen

Siegfried HÄUSERMANN, Bern

550.374:620.193.7:621.316.973:621.331.3.024

Zusammenfassung. *Bedingt durch ihre Betriebsart, verursachen Gleichstrombahnen Streuströme, die an unterirdisch verlegten Anlagen aus Metall Korrosionen bewirken können. Es wird gezeigt, wie sich durch geeignete Vorkehren an den Bahnanlagen die Streuströme vermindern lassen und welche Schutzmassnahmen an den beeinflussten Anlagen nötig sind, um Korrosionen zu verhindern.*

Influences dues aux courants vagabonds engendrés par les chemins de fer

Résumé. *Le mode d'exploitation des chemins de fer à courant continu provoque des courants vagabonds qui corrodent souvent les armatures métalliques d'installations souterraines. L'auteur explique les mesures que l'on peut prendre au niveau des installations ferroviaires en vue de réduire efficacement l'apparition de courants vagabonds et ce qui peut être entrepris pour protéger les structures menacées contre la corrosion.*

Influenza di corrente vagabonda dovuta a ferrovie con esercizio a corrente continua

Riassunto. *A causa del loro genere di funzionamento, le ferrovie con esercizio a corrente continua provocano influenze di corrente che possono causare corrosioni agli impianti di metallo sotterranei. Nel presente articolo viene dimostrato come si possono ridurre, con mezzi appropriati sugli impianti delle ferrovie, le influenze di corrente e quali misure di protezione sono necessarie per evitare corrosioni agli impianti suddetti.*

1 Einleitung

Als Streustrom wird ein aus einem Leiter einer elektrischen Anlage in den umgebenden Erdboden austretender Strom bezeichnet, der an einer anderen Stelle aus dem Erdboden wieder in die Anlage zurückfliesst. Bei diesem Strom kann es sich um Gleich- oder Wechselstrom (50 Hz oder 16⅔ Hz) handeln. Im Erdboden folgt der Streustrom dem Weg des geringsten Widerstandes, er kann daher über im Boden verlegte Leiter, wie Rohrleitungen oder Kabelmäntel aus Metall, fliessen.

Gleichstrom verursacht nun beim Austritt aus solchen Leitern in das umgebende Erdreich Korrosionen.

Durch Wechselstrom verursachte Korrosionen an Aluminium wurden schon oft beobachtet. Bei Blei und Stahl hingegen reichen die in der Praxis vorkommenden Stromdichten kaum je aus, um Korrosionsschäden zu bewirken.

Eine elektrische Anlage kann nur dann Streuströme erzeugen, wenn ein zum Betriebsstromkreis gehörender Leiter oder Anlageteil an mehr als einer Stelle geerdet ist. Die wichtigsten Anlagen dieser Art sind:

- Gleichstrombahnen, bei denen der Rückstrom über die Schienen geführt wird. Zu diesen gehören Strassenbahnen, Bergbahnen, Überlandbahnen, Untergrundbahnen usw.
- Trolleybusse, bei denen mehr als eine Erdverbindung eines Fahrdrahtes vorhanden ist
- Korrosionsschutzanlagen, wie kathodische Schutzeinrichtungen, Drainagen und Soutiragen

Die weitaus gefährlichsten Streustromverursacher sind die Gleichstrombahnen. Anlagen mit nur einer Betriebserde können nur im Erdschlussfall Streustrom verursachen.

2 Streuströme, verursacht durch Gleichstrombahnen

Streustromprobleme ergeben sich bei den Gleichstrombahnen, die die Fahrschienen zur Rückleitung des Betriebsstromes benutzen. Die Schienen, auf Schwellen aus Holz, Stahl oder Beton montiert, stehen in mehr oder weniger gutem Kontakt mit dem Erdboden. Das Erdreich als elektrolytischer Leiter ist also den Fahrschienen parallel geschaltet. Das Schienennetz ist daher auf seiner ganzen Länge als geerdet anzusehen.

Bei Schienennetzen von Strassenbahnen in Städten unterscheidet man zwischen dem eigentlichen Netzkern und auslaufenden Strecken. Ein weiterer Unterschied ergibt sich zwischen den auslaufenden Strecken einer Strassenbahn und Überland- oder Vorortsbahnen mit einer geringen Zugdichte durch die Art der Belastung. Befindet sich nur ein Triebwagen auf der Strecke, so spricht man von einer *konzentrierten* Stromeinspeisung auf das Gleis. In diesem Fall ist der Strom im Gleis zwischen Speisestelle und Triebwagen (abgesehen vom Streustrom) konstant. Auf auslaufenden Tramstrecken sind normalerweise mehrere Triebwagen unterwegs. Die so auf das Gleis eingespeisten Ströme überlagern sich, der Rückstrom im Gleis ist also nicht konstant, sondern steigt in Richtung Speisestation kontinuierlich an. Man bezeichnet diese Art der Belastung als Belastung mit *gleichmässigem* Strombelag. Es ist klar, dass beide Fälle vereinfacht dargestellt sind. In Wirklichkeit liegt fast immer eine Kombination beider Belastungsarten vor.

Streustromberechnungen an vermaschten Schienennetzen sind äusserst kompliziert und aufwendig. Eine übersichtliche Art der Streustromberechnung ist nur an einem stark vereinfachten Modell möglich. *Figur 1* zeigt ein solches mit der Gleislänge L für den Fall der konzentrierten Stromeinspeisung beim Punkt B. Es gilt unter der Voraussetzung, dass der Rückstrom im Gleis I_B annähernd konstant ist und der Gleiswiderstand R_s oder R'_s (Ω/km) wie auch der Gleisableitbelag G oder G' (S/km) homogen sind.

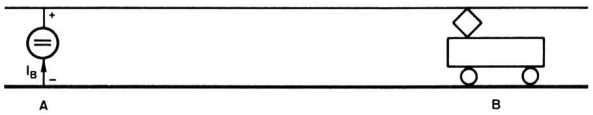
Der Spannungsabfall am Gleis U_L wird dann

$$U_L = I_B \, L \, R'_s \quad (V, A, km, \Omega/km) \qquad (1)$$

Mit der in Figur 1 angenommenen Polarität wird das Gleis am Speisepunkt A gegen Erde negativ und beim Triebwagenstandort B positiv.

Bei homogenen Verhältnissen teilt sich der Gleisspannungsabfall gleichmässig in eine Spannung Gleis–Erde U_G auf, wobei das Maximum dieser Spannung dem halben Wert des Spannungsabfalls entspricht

$$U_{G\,max.} = \frac{U_L}{2} = I_B \frac{L}{2} R'_s \qquad (2)$$



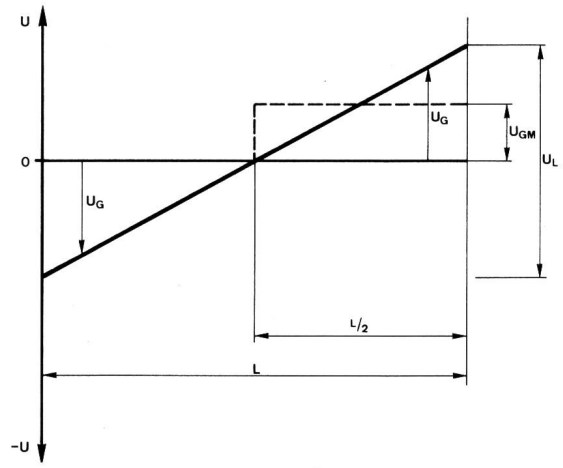


Fig. 1
Spannungsverhältnisse am Gleis

U_L Längsspannung
U_G Spannung Gleis–Erde
U_{GM} Mittelwert der Spannung Gleis–Erde
L Speiselänge

Der aus dem Gleis austretende Streustrom hängt vom Mittelwert der Spannung Gleis–Erde auf der Strecke L/2 ab

$$U_{Gm} = \frac{1}{2}\,\frac{U_L}{2} = I_B\,\frac{L}{4}\,R'_s \qquad (3)$$

und damit der Streustrom I_E

$$I_E = U_{Gm}\,\frac{L}{2}\,G' \qquad (4)$$

oder

$$I_E = I_B\,\frac{L^2}{8}\,R'_s\,G' \quad (A, km^2, \Omega/km, S/km) \qquad (5)$$

Die Grösse des über den Erdboden fliessenden Streustromes ist also vom Betriebsstrom, vom Gleiswiderstand und vom Ableitbelag des Gleises linear, von der Speiselänge hingegen quadratisch abhängig.

Diese Näherungsrechnung gilt aber streng nur für den Fall, dass der Gleisstrom annähernd konstant bleibt. Ist dies nicht der Fall, der Streustrom also nicht mehr vernachlässigbar klein im Vergleich zum Betriebsstrom, so muss die Berechnung nach Ableitungen aus der Leitungstheorie durchgeführt werden. Für Streustromwerte $\leq$ 10% des Betriebsstromes ist die Näherungsrechnung aber ausreichend genau.

Die Widerstandswerte der üblichen Gleise reichen etwa von 10 m Ω/km bei Rillenschienen bis etwa 35 m Ω/km bei Vignolschienen mit 24 kg/m. Diese Werte gelten für Gleise mit geschweissten Schienenstössen, für mit Stossverbindern ausgerüstete Gleise muss mit einem Zuschlag von ~ 15% gerechnet werden.

Der Gleisableitbelag hängt von der Art der Gleisbettung und dem Schwellenmaterial ab. *Tabelle I* zeigt übliche Ableitbelagwerte; dabei gelten jeweils die tieferen Werte für imprägnierte, gesunde Holz- oder Betonschwellen mit zusätzlichen Gleisisolierungen, die höheren Werte für die in der Schweiz verbreiteten Beton- oder Stahlschwellen.

Tabelle I. Ableitwerte

Gleis	
Im Tunnel	~ 0,1 S/km
Im offenen Schotterbett	0,5...5 S/km
In der Strassendecke	10... 50 S/km

Die Ergebnisse einer Streustromberechnung, die nach der allgemein gültigen, im Anhang widergegebenen Gleichung für den Fall der konzentrierten Stromeinspeisung durchgeführt wurde, sind in *Figur 2* dargestellt. Angegeben ist der Streustrom in Prozenten des Betriebsstromes in Funktion der Speiselänge mit dem Ableitbelag als Parameter. Der Gleiswiderstand wurde mit 30 m Ω/km angenommen.

3 Massnahmen zur Verminderung des Streustromes

Streuströme von Gleichstrombahnen können nie ganz verhindert werden. Durch geeignete Massnahmen und eine entsprechende Ueberwachung der getroffenen Massnah-

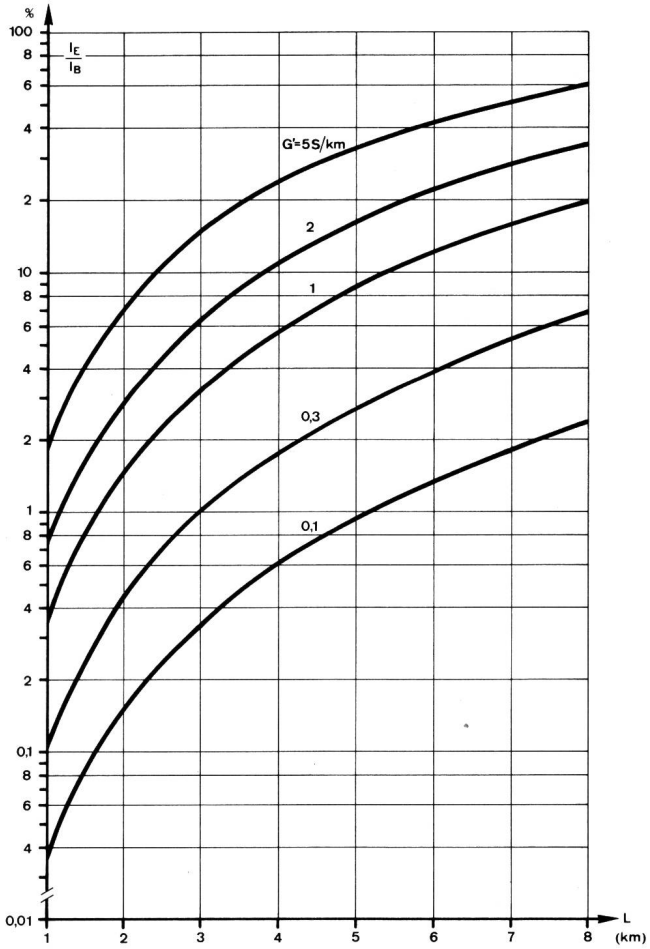


Fig. 2
Verhältnis Streustrom–Betriebsstrom bei einseitiger, konzentrierter Stromeinspeisung

I_B Betriebsstrom
I_E Streustrom
R'_s Gleiswiderstand in Ω/km
G' Gleisableitbelag in S/km
L Speiselänge in km

men lassen sie sich aber beträchtlich vermindern. Schutzmassnahmen an beeinflussten Anlagen, wie Rohrleitungen, Kabeln usw., werden darum trotzdem in den meisten Fällen erforderlich sein.

Die wesentlichsten Massnahmen zur Verminderung von Streuströmen lassen sich aus Gleichung (5) ersehen, es sind dies:

- Möglichst geringer Spannungsabfall am Gleis, das heisst ein gut durchverbundenes Schienennetz
- Eine möglichst geringe Ableitung gegen Erde, das heisst eine gute elektrische Isolierung der Fahrschienen vom Erdboden
- Kurze Speiselängen, das heisst eine genügende Anzahl Unterwerke

Neben einem ausreichenden Schienenquerschnitt sind geschweisste Schienenstösse die beste Massnahme zur Erzielung eines möglichst geringen Spannungsabfalls am Gleis. Die früher üblichen gelaschten Stösse sind ungenügend und müssen mit Stossverbindern von ausreichendem Querschnitt überbrückt werden. Die gleiche Massnahme ist überdies auch bei Weichen und Kreuzungen nötig. Querverbinder in gewissen Abständen zwischen den Schienen des Gleises und zwischen den Schienen von Doppel- oder Mehrfachgleisen bewirken ebenfalls eine Verringerung des Spannungsabfalls, da sich der Rückstrom auf die parallel geschalteten Schienen verteilen kann; auch werden so die Auswirkungen eines Schienenbruches vermindert.

Ausschlaggebend für den Ableitbelag eines Gleises ist – neben dem Schwellenmaterial – die Art seiner Verlegung. So haben Untersuchungen der Deutschen Bundesbahn ergeben, dass der Erdungswiderstand eines Gleises in einem sauberen, gut entwässerten Schotterbett im Extremfall etwa den 100fachen Wert eines in der Strassendecke eingebetteten Gleises annehmen kann. Bei städtischen Strassenbahnen werden heute vermehrte Anstrengungen unternommen, durch eine geeignete Gleisbettung die Lärmdämmung zu verbessern. Es wäre wünschenswert, wenn bei der Durchführung dieser teuren Massnahmen auch auf die Verbesserung der Gleisisolation Rücksicht genommen würde.

Alle Massnahmen für eine gut isolierende Gleisbettung sind aber illusorisch, wenn die Fahrschienen mit anderen niederohmig geerdeten Anlagen, gewollt oder zufällig, verbunden sind. So bewirken Fahrleitungs- und Signalmaste, die, zur Vermeidung von hohen Berührungsspannungen im Fehlerfall, nach Verordnung bahngeerdet sein müssen, bereits eine beträchtliche Verschlechterung der Gleisisolation. Solche Maste sollten daher von Erde isoliert werden, sei es durch eine isolierende Beschichtung der einbetonierten Teile oder durch eine vom Betonsockel isolierte Montage des Mastes.

Wegen ihres sehr niedrigen Erdungswiderstandes sind grosse Bauwerke, wie Brücken, Unterführungen und Tunnels, besonders kritisch. Hier muss auf eine strenge Trennung von Bahnerde (Gleis) und Bauwerkserde geachtet werden. Wo eine solche Trennung aus elektrischen Sicherheitsgründen nicht möglich ist, beispielsweise in Depots und Werkstätten, können Streuströme vermindert werden, indem man diese Anlagen vom Durchgangsgleis abtrennt und mit einer eigenen Speisestation ausrüstet.

Anzahl und Abstände der Unterwerke für die Speisung einer Gleichstrombahn hängen von betrieblichen Gegebenheiten ab. Vom Standpunkt der Streustromverhütung aus gesehen, ist eine grössere Anzahl Unterwerke kleinerer Leistung vorzuziehen. Dabei sollten ihre Standorte so gewählt werden, dass die Potentialdifferenzen im Schienennetz im zeitlichen Mittel möglichst gering sind. Im eigentlichen Netzkern ist dies durch eine geeignete Wahl der Speisebezirke, bei Parallelbetrieb der Unterstationen durch eine geeignete Wahl der Betriebsspannung möglich.

Bei weitaus den meisten Gleichstrombahnen ist der Minuspol mit den Fahrschienen verbunden. Diese Polarität erleichtert Korrosionsschutzmassnahmen ganz bedeutend, da in diesem Fall die Korrosionszone auf die Umgebung des Speisegleichrichters beschränkt bleibt. Bei umgekehrter Polarität wandert sie mit dem Triebwagen.

In neueren Richtlinien und Bestimmungen, die die Verringerung des Streustromes bei Gleichstrombahnen behandeln, sind die meisten der hier genannten Massnahmen enthalten, so zum Beispiel in der Neuausgabe der VDE 0150 von 1975. In der Schweiz wurden die ersten Richtlinien dieser Art im Jahre 1922 veröffentlicht.

Gegenwärtig ist eine Arbeitsgruppe der Korrosionskommission damit beschäftigt, neue Richtlinien für Gleichstrombahnen aufzustellen.

4 Massnahmen an beeinflussten Anlagen

Selbst wenn alle vorgenannten Schutzmassnahmen an Gleichstrombahnen strikte durchgeführt wurden, sind Streustromkorrosionen immer noch möglich. Deshalb sind in den meisten Fällen an beeinflussten Anlagen zusätzliche Schutzmassnahmen nötig.

Figur 3 zeigt, wie eine Streustrombeeinflussung an einer den Schienen einer Gleichstrombahn entlang verlaufenden

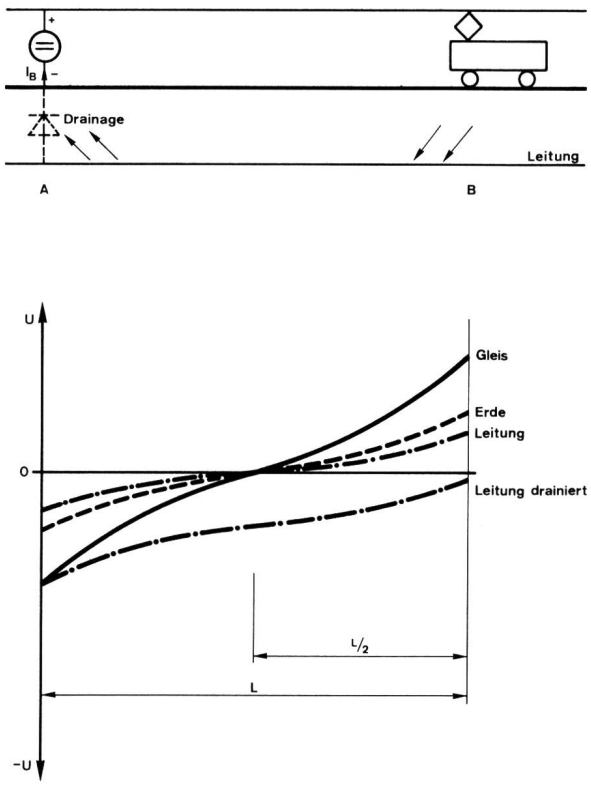


Fig. 3
Potentialverhältnisse einer Leitung im Einflussbereich einer Gleichstrombahn

Leitung entsteht. Dargestellt sind für den Fall der konzentrierten Stromeinspeisung die Potentialverhältnisse von Schiene, Leitung und die des Erdreichs in unmittelbarer Nähe der Leitung gegen die neutrale Erde. Bei der eingezeichneten Polarität tritt in der Nähe des Triebwagens beim Streckenpunkt B Strom aus dem Gleis in den Erdboden über und in die Leitung ein. Demzufolge wird dieser Abschnitt von L/2 bis B mit Stromeintrittszone bezeichnet. In der Stromaustrittszone, von A bis L/2, tritt der Strom aus der Leitung in das die Leitung umgebende Erdreich aus, am stärksten in der unmittelbaren Umgebung des Speisepunktes.

Die Stromaustritts- oder Korrosionszone kann mit Potentialmessungen bestimmt werden. In dieser Zone, in der das Gleis negativ gegen neutrale Erde ist, ist das Leitungspotential immer positiv, denn massgebend ist das relative Potential gegen das umgebende Erdreich.

Figur 3 stellt die Verhältnisse, der Anschaulichkeit wegen, sehr vereinfacht dar und gilt nur für einen bestimmten Zeitpunkt. Ströme und Potentiale schwanken bei Bahnbetrieb in Wirklichkeit auch wegen der sehr unterschiedlichen Belastung stark. Registrierende Messungen sind deshalb unerlässlich. Potentialregistrierungen allein ergeben aber nur ein qualitatives und noch kein quantitatives Mass für die Korrosionsgefährdung einer beeinflussten Leitung.

Als wichtigste Schutzmassnahme an beeinflussten Anlagen drängt sich der sogenannte passive Korrosionsschutz auf, das heisst eine ausreichend isolierende Umhüllung von Kabeln und Rohrleitungen. Da aber die Mäntel der Fernmeldekabel zur Verbesserung der Betriebserdung nötig sind, darf deren Isolation nicht beliebig hochohmig sein, oder die Erdfühligkeit der Kabel muss auf andere Weise – wie bei den heute viel gebauten Rohrblockanlagen durch die mitverlegten Erdbänder – sichergestellt werden. Der seit 1962 übliche Aufbau unseres B-Kabels (geteertes Papier unter polyäthylenbeschichtetem Celluxband) ist in dieser Beziehung ideal; es ist trotz seiner Erdfühligkeit praktisch elektrolysefest.

Auch die Drainage – eine elektrische Verbindung der zu schützenden, mit dem negativsten Punkt der beeinflussenden Anlage – als aktive Schutzmassnahme bewirkt, dass ein Austritt des Streustromes aus der beeinflussten Leitung in den umgebenden Erdboden verhindert wird. Der ohne Drainage über Erde zum Speisepunkt zurückfliessende Streustrom gelangt nun direkt über die Verbindungsleitung zur streustromverursachenden Anlage; der beeinflussten Leitung wird so das Potential der Schienen aufgedrückt. Der Potentialverlauf einer drainierten Leitung ist ebenfalls in Figur 3 eingezeichnet, wobei Kabel wegen ihres erheblich höheren Längswiderstandes und ihrer Erdfühligkeit, im Gegensatz zu den niederohmigen und gut durchverbundenen Rohrleitungen, nur in einem beschränkten Abschnitt der Parallelführung stark negativ bleiben. Leitungen dürfen aber dann als geschützt gelten, wenn ihr Potential – mit Ausnahme kurzzeitiger Spitzenwerte – im zeitlichen Mittel gleich oder negativer als ihr Potential ohne Streustrombeeinflussung ist.

Die Schienen von Gleichstrombahnen können bei bestimmten Betriebszuständen zeitweise auch in der Nähe einer Speisestelle ein positives Potential annehmen, so beispielsweise wenn mehrere Speisestationen parallel betrieben oder wenn einzelne Speisestationen nachts ausgeschaltet werden. In diesen Fällen wird dem Zurückfliessen des Streustromes in die geschützte Anlage mit einer gerichteten Drainage begegnet. Drainageeinrichtungen dieser Art sind heute meist mit einer Siliziumdiode hoher Leistung ausgerüstet. Diese Elemente haben die früher verwendeten polarisierten Relais und Selendioden weitgehend verdrängt.

Fig. 4
Drainageeinrichtung der PTT

Muss nicht nur eine Kompensation der Streustrombeeinflussung, sondern ein kathodischer Schutz einer Leitung erzielt werden, so ist eine Streustromabsaugung, eine Soutirage, nötig. Sie ist eine Kombination von gerichteter Drainage und kathodischer Schutzeinrichtung, gewährleistet ein ausreichend negatives Schutzpotential und wird meistens zum Korrosionsschutz von Rohrleitungen eingesetzt.

Anhang

Streustrom $I_{E\,max}$ für den Fall der konzentrierten Stromeinspeisung

$$\frac{I_{E\,max}}{I_B} = 1 - \frac{1}{\cosh \frac{L}{2\,L_K}}$$

Streustrom $I_{E\,max}$ bei gleichmässigem Strombelag

$$\frac{I_{E\,max}}{I_B} = \frac{L_K}{L}\left[\operatorname{arcosh}\left(\frac{L_K}{L}\sinh\frac{L}{L_K}\right) - \sqrt{1-\left(\frac{1}{\frac{L_K}{L}\sinh\frac{L}{L_K}}\right)^2}\right]$$

I_E Streustrom
I_B Betriebsstrom
R'_s Gleiswiderstand/km

G' Gleisableitbelag/km
L Speiselänge in km

$$L_K = \frac{1}{\sqrt{R'_s \cdot G'}}$$

5 Schlussbetrachtungen

PTT-Fernmeldekabel werden seit 1945 mit gerichteten Drainagen gegen Streustrombeeinflussung geschützt. Insgesamt sind zurzeit bei den Schweizerischen PTT-Betrieben 59 dieser Einrichtungen in Betrieb, die sich ausgezeichnet bewähren.

Bibliographie

v. Baeckmann W. und *Schwenk W.* Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes. VDE 0150 Bestimmungen zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme aus Gleichstromanlagen.

Die nächste Nummer bringt unter anderem
Vous pourrez lire dans le prochain numéro

Nummer 8/1977 ist den **ferngesteuerten Verkehrsmesseinrichtungen in Telefonzentralen der Schweizerischen PTT-Betriebe** gewidmet.
Le numéro 8/1977 sera consacré aux **dispositifs de mesure de trafic télécommandés dans les centraux téléphoniques de l'Entreprise des PTT suisses**

R. von Bergen	Technisches Grundkonzept Concept technique de base
A. Burgherr	Datenverarbeitungskonzept Concept du traitement des données
K. Bönzli	Betriebliche Aspekte Considérations touchant l'exploitation

---