

entfernung und dergl. bei elektrischen Bahnen richtig einschätzen und hiernach die zweckmäßigsten Schutzmaßnahmen gegen Schäden durch Streuströme, die aus den Gleisen in die Erde entweichen, treffen zu können, ist genaue Durchrechnung nötig. Messungen an einer ausgeführten Bahnanlage können zwar für diese einzelne Anlage maßgebende Aufklärung bringen, solche Messungen sind aber von vielen Zufälligkeiten abhängig und haben daher meist nur örtliche Bedeutung. Aus richtig aufgestellten Formeln oder Schaulinien kann aber vom Ingenieur leicht die Bedeutung der einzelnen Größen abgelesen und die Gefährdung beurteilt werden. Es können hiernach die zweckmäßigsten Maßnahmen für bestimmte Sonderfälle getroffen werden, wenn die Widerstandsverhältnisse und dergl. bekannt sind. Die Aufstellung allgemein gültiger Formeln hat daher nicht allein theoretische Bedeutung. Im Bureau of Standards wurden in Heft 63 der Technologic Papers „Leakage of Current from Electric Railway“ von Burton M'Collum und K. H. Logan, Washington 1916 nach deutschem Vorbild¹⁾ die theoretischen Grundlagen für den Verlauf und die Stärke der Streuströme rechnerisch verfolgt.

Die Rechnungen werden unter Vernachlässigung des Widerstandes in den Röhren oder in der Erde durchgeführt. Die Schlußfolgerungen gelten daher nur unter diesen Voraussetzungen. Der Wert von Schutzmaßnahmen an den Röhren, wie z. B. Einfügen von Isolierstücken in die Rohrleitung oder andererseits der Herstellung gut leitender Verbindung der einzelnen Rohrstücke beim Absaugen von eingedrungenen Rohrströmen kann hiernach aus den Formeln nicht entnommen werden²⁾.

Die Berechnung der Streustromstärke und der in Betracht kommenden Spannungen führt zu Exponentialwerten, die sich kurz in hyperbolischen Funktionen ausdrücken lassen. Da sich die vielseitigen Schlußfolgerungen genau nur ziehen lassen, wenn mit den strengen Formeln gerechnet wird, angenäherte vereinfachte Formeln nur unter bestimmten Voraussetzungen gelten, ist trotz der für die Allgemeinheit verständlicheren Näherungswerte auf solche verzichtet worden, zumal für den Kundigen das Rechnen mit Hyperbelfunktionen, für die ähnlich den Logarithmentafeln übersichtliche Tafeln vorhanden sind, nicht schwierig ist. Um aber auch eine allgemein verständliche Darstellung und übersichtliche Werte zu erhalten, sind für verschiedene, erfahrungsgemäß im Betrieb vorkommende Werte des Ueberleitungswiderstandes von Gleis zur Erde und des Widerstandes in den Gleisen eine Anzahl von Schaulinien gezeichnet, welche die Aenderung der Streuströme an verschiedenen Gleisstellen unter den verschiedenartigsten Verhältnissen zeigen.

Aus den Formeln ergibt sich, daß Erhöhung des Gleiswiderstandes in gleichem Maße die Entwicklung der Streuströme begünstigt, wie die Verminderung des Ueberleitungswiderstandes von den Gleisen zur Erde. Dies zeigt den Wert großen Schienenprofils und der stets gut leitend zu erhaltenden Schienenstoßverbindung und der Isolierung der Gleise. Die Ströme treten aus den Gleisen ferner um so stärker aus, je weiter die Speisepunkte entfernt sind. Bei kurzen Gleisstrecken gilt angenähert das Gesetz, daß der Prozentsatz des Gesamtstroms, der aus den Gleisen entweicht, wie das Quadrat der Speisepunktentfernung wächst. Bei großen Entfernungen der Speisepunkte nehmen die Streuströme bei steigender Länge der Strecke nicht in gleichem Maße zu, wie bei kurzen Entfernungen. In Außenstrecken, in denen die Entfernung

¹⁾ Michalke, Die vagabundierenden Ströme elektrischer Bahnen. Braunschweig 1904.

²⁾ Unter Berücksichtigung des Rohrwiderstandes sind entsprechende Rechnungen durchgeführt im Archiv der Mathematik und Physik (3) Bd. 12, Heft 1, S. 52, 1907.

der Speisepunkte sehr groß ist, kann es vorkommen, daß fast der gesamte Rückstrom seinen Weg durch die Erde nimmt.

Wenn, wie dies bei deutschen Bahnen stets zutrifft, die negative Sammelschiene nicht geerdet ist, so bilden sich positive (Gefahr-) Gebiete in der Nähe des Kraftwerks und negative (Einzugs-) Gebiete am entferntesten Ende oder in der Mitte zwischen zwei Speisepunkten aus. Die Ausdehnung des Gefahrgebietes kann sich je nach der Länge der Strecke nach dem Gleis- und Ueberleitungswiderstand verschieden weit erstrecken. Würde man die Oberleitung an die negative Sammelschiene anschließen, so würde sich zwar die Zeitdauer, in der sich ein größerer Schaden an den Röhren zeigt, verlängern, der Angriff würde sich aber über ein größeres Gebiet ausdehnen, die Gesamtmenge des durch die Streuströme in der Erde zerstörten Metalls an Gas- und Wasserrohren oder Kabelmänneln würde unverändert bleiben.

Die Formeln zeigen ferner, wie ungünstig bezüglich der Entwicklung und Ausbreitung der Streuströme das Erden der negativen Sammelschiene wirkt, so daß dieses Erden, das nach den deutschen Vorschriften nicht gestattet ist, in amerikanischen Bahnen aber zuweilen angewendet wird, nicht zu empfehlen ist.

Das Spannungsgefälle in den Gleisen wird durch entweichende Streuströme vermindert. Geringes Spannungsgefälle in den Gleisen, das ist die Spannung auf die Längeneinheit, ist daher kein untrügliches Zeichen für günstige Verhältnisse bezüglich Rohrfährdung. Im Gegenteil kann ein geringes Gefälle Zeichen für überstarke Entwicklung von Streuströmen sein, wenn sich rechnerisch ein bedeutend höherer Wert ergibt. Um solches Gefälle richtig zu deuten, müssen noch die übrigen Gleis- und Bodenverhältnisse in Rücksicht gezogen werden. Bei langen Strecken ist die Verminderung der Gleisspannung, das ist die höchste Spannung, die zwischen einzelnen Stellen im Gleise auftritt, bei Nebenleitung durch die Erde größer als bei kürzeren. Für sehr lange Strecken kann selbst bei mäßig starkem Stromentweichen die Spannung auf den fünften Teil, bei geerdeter, negativer Sammelschiene auf den zwanzigsten Teil sinken.

Die Spannung zwischen Gleis und Erde, die vielfach als ein Maß der Gefährdung angesehen wird, wächst mit zunehmendem Gleiswiderstand der Speisepunktentfernung, während niedriger Ueberleitungswiderstand diese Spannung vermindert. Hohe Gleis- und geringe Ueberleitungswiderstände haben beide die Wirkung, die Ausdehnung des Gefahrgebietes zu verringern, das gleiche ist bei großer Speisepunktentfernung der Fall. Es wächst so die Gefährdung im Gefahrgebiet, da die Schäden sich zwar nur auf ein enges Gebiet erstrecken, aber in diesem um so ernster sind. Eine verhältnismäßig geringe Ausdehnung des Gefahrgebietes ist daher im allgemeinen ein Zeichen gefährlicher Streustrom-Zustände.

Keinerlei Formeln sind entwickelt für die Berechnung der Stromdichte an den Rohren, wenn die Spannung zwischen Rohr und Gleis, die Leitfähigkeit des Bodens gemessen und die Abmessungen von Rohr und Gleis bestimmt sind, obwohl die Dichte des aus den Rohren in die Erde austretenden Stromes für die Gefährdung der Rohre bestimmend ist³⁾.

Dr. Michalke.

Persönliches.

Dem Seniorchef der Bergischen Stahl-Industrie, Gußstahlfabrik Remscheid, Geheimen Kommerzienrat B ö k e r; dem Oberingenieur Prof. S c h m i d t h e n n e r, Heidenheim; dem Fabrikant K o p p e r s, Essen; dem Vorsitzenden des Vereins Deutscher Ingenieure, Generaldirektor

³⁾ Vergl. Archiv der Mathematik und Physik 1907 I. c.