

Über
elektrische Unfälle
und
deren Verhütung.

Von

Dr. Max Reithoffer,

Professor der k. k. technischen Hochschule in Wien.

Vortrag, gehalten den 16. Januar 1907.

(Mit Experimenten.)

Mit 5 Abbildungen im Texte.

Die Erfolge der Elektrotechnik, welche ihr einen so hervorragenden Platz im Leben der Kulturvölker zuweisen, verdankt sie nicht zuletzt dem Umstande, daß es der Wissenschaft auf diesem technischen Gebiete gelungen ist, die Naturgewalten mit einer Verlässlichkeit zu beherrschen, mit einer Genauigkeit zu begrenzen und mit einer Feinheit zu messen wie sonst nirgend wieder. Daher erfüllt es uns außer mit dem Gefühl der Vornehmheit und Bequemlichkeit auch mit dem der Sicherheit und der Beruhigung, wenn wir von irgendeinem Betriebe hören, er sei elektrisch geworden. Wenn ich es heute dennoch unternehme, über elektrische Unfälle zu sprechen, so leitet mich dabei natürlich nicht die Absicht, Sie in diesem Gefühle der Sicherheit zu erschüttern — das wäre auch im 20. Jahrhundert ein wahnwitziges und erfolgloses Bemühen — sondern im Gegenteil, ich will zeigen, welche Summe von Umständen zusammentreffen müssen, damit in jenen Fällen, die für das gewöhnliche Leben in Betracht kommen, ein elektrischer Unfall sich ereignen könne. Trotz der außerordentlichen, von Jahr zu Jahr wachsenden Verbreitung elektrischer Anlagen für alle Arten von Aufgaben erreicht die Zahl der elektrischen Unfälle nur einen geringen Prozentsatz aller sich überhaupt ereignenden. Dieses Verhältnis wird noch günstiger, wenn

man unterscheidet zwischen Unfällen in Betrieben, für die die Elektrizität und ihre Behandlung selbst Endzweck ist, wie in Elektrizitätswerken und Fabriken elektrischer Apparate und Maschinen, und Unfällen in den tausendmal zahlreicheren Anlagen, bei denen die Elektrizität nur Hilfsmittel zur Gewinnung von Licht, Arbeit oder anderem ist. Eine ähnliche Unterscheidung mag man immerhin auch für die nichtelektrischen Unfälle durchführen.

Greifen wir aus der Unfallstatistik des Deutschen Reiches vom Jahre 1904 die tödlichen Unfälle heraus, so finden wir, daß von 1000 solchen 17 durch Fahrstühle, 28 durch Transmissionen und 16 durch Elektrizität erfolgt sind. Von diesen 16 elektrischen Unfällen haben sich 8 in Hochspannungsanlagen ereignet, also in Anlagen, die ein ganz besonders erhöhtes Gefahrmoment in sich tragen, in denen nur Berufene und der Gefahr Kundige zu tun haben, die dann freilich nur allzuleicht in fortwährendem Verkehr mit der gebändigten Naturkraft zu sorglos werden und durch Leichtsinn und Außerachtlassung der wohldurchdachten Vorschriften Gesundheit oder Leben einbüßen. Diese 8 Unfälle ausgeschieden, bleiben noch 8 übrig, von denen sich jedoch wieder eine Anzahl in Bergwerken ereignete, in welchen wegen der Schwierigkeit der elektrischen Montage, infolge des beengten Raumes und des Wassers von einer normalen Sicherheit selbst bei besten Installationen nicht gesprochen werden kann. Der kleine Rest betrifft Fabriksanlagen, die meist auch durch die Natur der Sache an Sauberkeit und Kontrolle zu wünschen übrig lassen.

Von elektrischen Unfällen in Wohnungsanlagen weiß in der Regel die Unfallstatistik nichts zu erzählen. Daher fliegt es wie ein Lauffeuer durch alle Zeitungen, Tages- wie Fachblätter, wenn sich einmal in einer elektrischen Hausanlage ein Unfall ereignet. So war es auch mit dem Unglücksfalle im vorigen Jahre in Wien, der ein Dienstmädchen betraf, das badend eine elektrische Lampe berührte und getötet wurde.

Wenn wir das Zustandekommen solcher außergewöhnlicher Unfälle begreifen gelernt haben, werden wir gewiß einige Lehren zur Vermeidung derselben daraus gewinnen können. Und dies sei der zweite Zweck meines heutigen Vortrages.

Die Voraussetzung einer Schädigung des menschlichen Organismus unmittelbar durch eine elektrische Einwirkung ist ein allzustarker elektrischer Strom. Wohl spielt auch die Zeit eine Rolle, insoferne, als eine gewisse kleinste Dauer der elektrischen Einwirkung notwendig ist, aber diese ist meistens so gering, daß sich ihre Bedeutung häufig verliert. Denn über eine gewisse Grenze hört die Zeit auf, von Einfluß zu sein. Sehr schwache Ströme können auch bei langer Dauer nicht gefährlich werden.

Natürlich ist es schwer zu bestimmen, wann ein Strom als gefährlich bezeichnet werden muß. Experimente an Tieren lassen keine sicheren Schlüsse zu, da verschiedene Tierorganismen ganz verschieden von elektrischen Strömen beeinflußt werden. Dennoch hat man aus Schätzungen und Messungen nach Unglücksfällen und

aus Versuchen an Menschen, die allerdings höchstens bis zu unerträglicher Schmerzempfindung getrieben werden konnten — gewöhnlich mußte sich der Experimentator dazu selbst hergeben — einige Zahlen gewonnen, die natürlich nur den Wert haben, eine Größenordnung festzulegen. Denn es hängt noch allzusehr vom Einzelnen ab und auch davon, welchen Weg durch den Körper der Strom nimmt. Man hat nun abgeleitet, daß unter Voraussetzung einer Elektrizitätsströmung durch den vollen Körper, also z. B. von Arm zu Arm und nicht etwa vom Daumen zum Zeigefinger derselben Hand, 0·03 Ampère die Grenze des erträglichen Stromes bilde, 0·1 Ampère bereits als höchst gefährlich und 0·2 Ampère als sicher tödlich bezeichnet werden müsse. Zur Vorstellung der Größe dieser Ströme diene die Angabe, daß in unseren 110 Volt-Lichtanlagen in einer 16 kerzigen Glühlampe ein Strom von ungefähr 0·5 Ampère fließt. Da darf man nun nicht etwa die Lampe auf seinem Schreibtische für ein todbringendes Element halten. Es kann mich auch eine Hutnadel töten, nur muß sie in meinen Leib gestoßen werden und die Hand, die den Stich führt, muß stark genug sein, die Nadel tief in mein Herz zu treiben. Ein Strom von 0·5 Ampère ist sicher tödlich, nur muß er den Weg durch den Körper nehmen und die treibende Kraft muß stark genug sein, ihn durch den Körper zu zwingen.

Und da wollen wir nun ein wenig halt machen und uns etwas über elektrische Begriffe und Gesetze Klarheit verschaffen, die ja immer dem Nichtfachmanne etwas ferner liegen als etwa die der Mechanik.

Der elektrische Zustand ist ein Zwangszustand, das heißt ein Zustand, der sich nicht halten will, der nach Abströmung strebt. Elektrizität, die auf einem Körper sitzt, ist etwa vergleichbar komprimierter Luft in einem Glasballon. Sowie sich Gelegenheit gibt, strömt die Elektrizität auf einen anderen Körper über, mit welchem leitende Verbindung hergestellt wird, vorausgesetzt, daß der zweite Körper sich in einem anderen elektrischen Zustand befindet. Die Größe dieses Abströmungsbestrebens bezeichnet man mit dem Worte Spannung, was mit Rücksicht auf die Anwendung dieses Wortes in anderen physikalischen Disziplinen zur Bezeichnung irgendwelcher Zwangszustände als ganz zutreffend erscheint. Die Erde selbst besitzt Elektrizität und demzufolge auch eine elektrische Spannung, welche auch auf allen Körpern, die mit ihr in Verbindung stehen oder standen, herrscht, sofern nicht elektrische Kräfte dieses Gleichgewicht gestört haben. Jeder Körper, der eine andere elektrische Spannung aufweist als die Erde, wird, mit ihr in Verbindung gebracht, Elektrizität mit ihr austauschen, bis die beiden Spannungswerte gleich sind. Wegen der Größe der Erde kann ihre Spannung durch die Elektrizitätsmenge, die ihr etwa ein anderer Körper bringt oder nimmt, nur unendlich wenig beeinflusst werden, so daß sie für unsere irdischen Verhältnisse einen elektrischen Ruhepunkt vorstellt. Man hat sich daher gewöhnt, den elektrischen Zustand der Erde als Spannung Null zu bezeichnen, und mißt alle anderen Spannungen als positive oder negative, je nachdem sie höhere oder tiefere Werte als die Erdspe-

aufweisen. Zwischen zwei Punkten kann nur dann eine Elektrizitätsbewegung stattfinden, wenn zwischen ihnen verschiedene Spannungen herrschen, wenn zwischen ihnen eine Spannungsdifferenz besteht. Ausgedrückt wird dieselbe in einer Maßeinheit, die man Volt genannt hat. Gewöhnlich gestattet man sich aber der Abkürzung halber eine kleine Ungenauigkeit und sagt, zwischen zwei Punkten bestehe eine Spannung von z. B. 110 Volt oder 220 Volt, statt eine Spannungsdifferenz von 110 oder 220 Volt. Durch diese strengere Bezeichnung würden wir zum Ausdruck bringen, daß wir nur etwas aussagen können oder wollen über den Unterschied der Spannungen der beiden Punkte, was auch für die elektrische Strömung in einem zwischen sie geschalteten Leiter allein maßgebend ist, und daß wir uns dabei nicht darum kümmern, wie groß der wirkliche Spannungswert jedes einzelnen Punktes ist, absolut oder über dem Niveau des elektrischen Zustandes unserer Erde.

Zur Erzeugung solcher Spannungsunterschiede oder, kurz gesprochen, Spannungen dienen Elemente, Batterien und Maschinen, in welchen, geweckt durch chemische oder elektromagnetische Ursachen, gewissermaßen eine elektrische Scheidekraft, man nennt sie elektromotorische Kraft, tätig ist. Die so an den Enden (Polen) der Batterie oder Maschine geschaffene Spannung teilt sich allen damit verbundenen Körpern mit, sofern sie überhaupt Elektrizität aufnehmen und leiten können. Führen wir Drahtleitungen von diesen Polen in unsere Häuser, so können wir in irgendeinem elektrischen Apparate (Lampe), den wir

zwischen beide Leitungen schalten, einen elektrischen Strom erhalten. Bevor wir jedoch eine leitende Verbindung zwischen den beiden Polen oder den damit verbundenen Drähten hergestellt haben, wird kein elektrischer Strom entstehen, sondern es wird einfach Elektrizität auf beiden Seiten sitzen, mit einer Spannungsdifferenz, welche durch die elektromotorische Kraft der Maschine gegeben ist, lauernd darauf, sich gegenseitig auszugleichen. Also Spannung ist da, aber noch kein Strom. Das Gleichgewicht ist dadurch gegeben, daß das Vereinigungsbestreben der Elektrizitäten an beiden Enden gleich ist der elektromotorischen Kraft der Maschine. Wichtig ist auch, festzuhalten, daß all unsere Stromquellen nie Elektrizität einer Art erzeugen können, sondern nur immer gleichviel positive wie negative, oder wenn man nur von einer Art Elektrizität sprechen will, immer gleichviel Elektrizität der höheren Spannung an dem positiven Ende, wie solche niederer Spannung am negativen schaffen müssen. Ähnlich erzeugt eine Luftpumpe nicht selbst Luft, sondern sie scheidet den neutralen Zustand und verdichtet die Luft auf der einen Seite und verdünnt sie auf der andern Seite, wobei das Quantum der einen immer gleich sein muß dem Quantum der andern.

Bei offener Stromquelle herrscht jener oben beschriebene Gleichgewichtszustand der Ladung; in dem System ist alles in Ruhe. Die Stromquelle braucht keine Elektrizität weiter zu liefern. Erst wenn durch eine Verbindung der beiden Seiten Ausgleich der Elektrizität durch einen elektrischen Strom auftritt, wird die Strom-

quelle sofort Elektrizität nachschaffen, weil eben die entladenen Enden nicht mehr die elektromotorische Kraft der Stromquelle kompensieren. Dies vollzieht sich aber nicht ruckweise, sondern ganz allmählich in demselben Maße, als Elektrizität von einer Seite zur andern abfließt.

Bei einer gut isoliert aufgestellten Maschine, an die noch nichts angeschlossen ist und deren Spannung z. B. 100 Volt beträgt, wird der positive Pol etwa eine Spannung von $+50$, der negative eine solche von -50 Volt gegenüber der Erde aufweisen. Verbinden wir den letzteren mit der Erde, so wird er entladen, seine Spannung auf Null herabsinken und das Spannungsgleichgewicht ist gestört. Die Maschine wird sofort Elektrizität nachliefern, bis die Spannung des positiven Poles auf $+100$ gestiegen ist, so daß die Spannungsdifferenz entsprechend der elektromotorischen Kraft der Maschine wieder 100 Volt beträgt. Es hat sich nichts geändert, als daß das Spannungsniveau der Maschine selbst gehoben wurde. Die dabei in Bewegung gesetzte Elektrizitätsmenge war eine äußerst kleine, kaum mit den feinsten Meßinstrumenten nachweisbar. Man hüte sich zu glauben, daß jetzt dauernd Elektrizität in die Erde fließen werde, also ein elektrischer Strom zur Erde entstehe. Jeder Elektrizitätsmenge, die aus der Maschine zu dem einen Pole fließt, entspricht eine gleich große, die zum andern Pole geht. Da aber unserer Voraussetzung nach Elektrizität vom positiven Pol nicht abfließen kann, so müßte sie sich dort stauen und die Spannung heben. Aber 100 Volt kann diese nicht übersteigen, da der andere Pol die Span-

nung Null hat, die elektromotorische Kraft der Maschine aber nur einer Spannungsdifferenz von 100 Volt das Gleichgewicht halten kann. Ein dauerndes Fließen von Elektrizität, ein elektrischer Strom, kann nur auftreten, wenn irgendwelche Wege sich bieten, daß Elektrizität der einen Seite sich mit solcher der andern Seite ausgleiche; dann muß die Stromquelle nachliefern. Ähnlich verhält sich auch eine Luftpumpe, die sowohl an ihrem Saug- wie an ihrem Druckende an ein geschlossenes Gefäß angeschlossen ist. Es wird eine Druckdifferenz geschaffen. Wird eines der Gefäße mit der atmosphärischen Luft verbunden, so ändert sich entsprechend der Druck in dem andern. Eine dauernde Luftbewegung wird nur eintreten können, wenn außen irgend ein Verbindungsweg zwischen beiden Enden geschaffen wurde, entweder durch eine Rohrleitung, oder dadurch, daß beide in die Atmosphäre arbeiten.

Ein elektrischer Strom durch einen Leiter wird also vorwiegend dadurch zustande kommen, daß er unmittelbar eine Brücke bildet zwischen den beiden Polen einer Stromquelle oder zwischen zwei zu diesen führenden Drähten. Die Größe dieses Stromes hängt aber nicht bloß von der wirkenden Spannung ab, sondern auch von der Art und Gestalt dieser Brücke, auf welcher die Elektrizität bei ihrer Bewegung eine Art Reibung findet. Man nennt diese Reibung den Widerstand des Leiters und mißt diesen in Ohm. Nach diesen Gesetzen ist auch die Stromentwicklung durch einen menschlichen Körper zu betrachten, der sich zwischen die beiden Pole schaltet. Die

Stromstärke wird abhängen von der Spannung der berührten Pole und dem Widerstand des Körpers.

Die Größe des elektrischen Widerstandes des menschlichen Körpers läßt sich aber nicht so einfach angeben. Dies werde ich an einem Experimente nachweisen. Ich schalte mich mittels zweier Metallstücke (Elektroden) in den Stromkreis einer Batterie, in welchen Stromkreis auch ein empfindliches Meßinstrument (Spiegelgalvanometer) eingeschaltet ist. Ein Lichtstreifen ist unser Zeiger. Wenn ich jetzt berühre, so wird der Zeiger sich bewegen, es geht durch meinen Körper ein elektrischer Strom. Ich habe auf der einen Seite die Elektrode nur mit einem Finger berührt. Berühre ich nun mit zwei Fingern, so wird der Ausschlag bedeutend größer, nehme ich drei Finger, noch größer. Nehme ich die ganze Hand, so geht der Ausschlag bis ans Ende der Skala. Also es ist nicht gleichgültig, mit welcher Berührungsfläche ich die Verbindung zwischen Körper und Pol herstelle. Bei einem zweiten Versuche fasse ich wieder den einen Pol fest, während ich den andern Pol mit der andern Hand, die ich zuvor naß gemacht habe, nur berühre. In dem Augenblick, wo ich selbst nur eine Fingerspitze an die Metallelektrode lege, wird der Ausschlag so groß wie früher, als ich sie mit der ganzen Hand anfaßte. Bei nassen Händen ist es also nahezu gleichgültig, ob nur mit den Fingerspitzen oder mit der ganzen Handfläche berührt wird. Man ist mit Rücksicht darauf zu folgendem Schluß gekommen. Der menschliche Körper besteht aus zweierlei Widerständen. Der eine ist der Widerstand des haut-

entblößten Körpers. Dieser ist verhältnismäßig gering, 500 Ohm von Hand zu Hand. Der andere Widerstand ist der der Haut. Dieser ist bei trockenem Zustande der Haut recht groß; wieder bewährt sich die Haut als Schutz für den menschlichen Körper. Der Widerstand beträgt pro cm^2 Berührungsfläche 50.000 Ohm — ein ziemlich großer Wert —, nimmt aber ab im Verhältnis, als die Berührungsfläche wächst, wird bei $100\ cm^2$ auf den hundertsten Teil, auf 500 Ohm sinken. Als Berührungsfläche ist die mit der Elektrode oder damit verbundenen Leitern, also auch einer Wasserschichte in Berührung stehende Hautfläche zu nehmen.

Ob sich ein gefährlicher Strom entwickelt, hängt also davon ab, welchen Widerstand der Körper bietet und wie groß die Spannung ist. Bei hoher Spannung genügt eine leichte Berührung, bei niederen Spannungen (100, 200, 300 Volt) ist eine Berührung an großer Oberfläche erforderlich.

Ein Unfall durch direkte Berührung beider Pole wird aber selten sein; es müßte schon besonderer Leichtsinnsinn oder Absicht oder ein recht unglücklicher Zufall dabei mitspielen. Viel wichtiger ist daher die Frage nach den Folgen einer bloß einpoligen Berührung einer Stromquelle. Da spielt die Erde oft eine tückische Vermittlerrolle. Es sind verschiedene Fälle zu betrachten. Zunächst nehmen wir an, ich berühre, wohlisoliert stehend, einen Pol einer Maschine. Es wird sich dabei nichts anderes ereignen, als daß ich auf die Spannung dieses Poles geladen werde. Das vollzieht sich in Bruchteilen einer

tausendstel Sekunde mit einem minimalen Elektrizitätsquantum. Ich spüre davon gar nichts. Es ist dies kein dynamischer, sondern ein statischer Zustand. Man kann ohne Bedenken recht beträchtliche Spannungen berühren, wenn man sicher gut isoliert ist. Sie werden beobachtet haben, mit welcher Sorglosigkeit der Arbeiter auf dem Gerüstwagen an der Oberleitung der elektrischen Straßenbahn seine Montage vornimmt. Er berührt die Leitung von 500 Volt Spannung und erfährt davon nichts. Er wird einfach geladen und arbeitet ruhig weiter. Wir sind alle in einem solchen geladenen Zustand. Denn wie Sie wissen, ist die Erde elektrisch und alles auf ihr nimmt an diesem elektrischen Zustand teil.

Damit beantwortet sich auch die häufige Frage, was geschieht, wenn sich ein Vogel auf den Draht einer Hochspannungsleitung setzt. Als die Elektrotechnik noch recht jung war, hatte das Publikum die Vorstellung, daß der Telegraphenbeamte am Apparat verpflichtet ist, vor seiner Arbeit erst ein paar kurze elektrische Signale hinauszuschicken, damit die Vögel von den Drähten wegfliegen. Aber diese erfahren gar nichts davon, daß durch die Drähte unter ihnen oft ganz gewaltige Leistungen mit hohen Spannungen fließen und daß sie selbst elektrisch geladen werden.

Bei einer gut isolierten Aufstellung und nur einpoliger Berührung der Stromquelle ist es auch gleichgültig, ob der andere Pol selbst auch von Erde isoliert oder wie bei der Straßenbahn, mit ihr verbunden ist. Bei Wechselstrom ist die Sache insoferne etwas anders,

als durch den Wechsel des Spannungswertes und Zeichens des berührten Poles auch die elektrische Ladung des Berührenden fortwährend wechseln muß; aber hiefür kommen — wohlgemerkt immer unter der Voraussetzung einer sorgfältig isolierten Aufstellung — so geringe Elektrizitätsmengen in Betracht, daß man gefahrlos 10.000 Volt und mehr einpolig anfassen kann.

Bedenklich wird erst die einpolige Berührung, wenn man selbst auf der Erde steht oder Metalle berührt, die mit der Erde in Verbindung stehen, und gleichzeitig der zweite Pol der Stromquelle auch mit der Erde verbunden ist (,Erdschluß hat', ,geerdet ist'). Jetzt stellt sich kein statischer Zustand (Ruhezustand) ein. Das Ausgleichsbestreben der durch die Stromquelle geschaffenen Zwangszustände (Spannungen) macht sich geltend, es findet eine elektrische Strömung statt auf dem Wege: Pol—Körper—Erde—Erdschluß—Pol. Ein kleiner Versuch wird dies bestätigen. Ich verbinde einen Pol meiner Stromquelle mit der Gasleitung, berühre mit der einen Hand den zweiten Pol und mit der andern Hand gleichzeitig die Wasserleitung. Sie erkennen an dem Ausschlag des Galvanometers, daß jetzt ein Strom durch mich fließt, ebenso groß, wie wenn ich beidpolig berührt hätte.

Diese Verhältnisse sind es auch, die den glücklicherweise äußerst seltenen Fällen eines elektrischen Unfalles außerhalb elektrischer Zentralen und Fabriken meistens zugrunde liegen. Die Voraussetzungen für eine Stromentwicklung durch den Körper bei nur einpoliger Berührung seien aus diesem Grunde noch einmal schärfer

hervorgehoben. Sie sind: Erdschluß der Stromquelle, Berührung einer der Leitungen derselben bei gleichzeitiger Erdverbindung des Körpers. Besteht eine solche an großer Oberfläche und sind die Verbindungswege zur Erde von nicht zu großem Widerstande, so kann sich auch bei niederen Spannungen (110, 220 Volt) eine gefährliche Stromstärke entwickeln. Von den obigen Voraussetzungen ist in elektrischen Beleuchtungsnetzen immer die erste erfüllt: Erdung der Stromquelle. Selbst bei Verwendung des besten Materials und sorgfältigster Isolation finden sich bei den vielen Abzweigungen und Anschlüssen eines ausgedehnten Leitungsnetzes eine ganze Menge kleiner Schleichwege, auf welchen die Elektrizität aus der Maschine der Zentrale zur Erde gelangen kann. Es gibt eben keine absoluten Isolatoren für Elektrizität. Und sind auch die Widerstände dieser einzelnen Erdwege sehr groß, in ihrer Summe stellen sie einen ziemlich kleinen Wert vor. Was die Erdung des Körpers betrifft, so ist diese für kleine Spannungen nicht so ängstlich aufzufassen. Trockene, gute Schuhe, trockenes Holz bieten genügend isolierten Stand. Wer jedoch mit durchfeuchteten, zerrissenen Schuhen auf Metall oder feuchter Erde steht, wer Gas- oder Wasserleitungen anfaßt oder gar in mit der Erde verbundenem Wasser sich befindet, muß ängstlich jede absichtliche oder zufällige Berührung einer elektrischen Leitung vermeiden.

Bei dem eingangs erwähnten Unfälle saß das davon betroffene Mädchen in einer Badewanne, war also durch das Rohr der Wasserleitung mit der Erde verbunden, und

zwar durch das Wasser der Wanne an großer Oberfläche. Nun ergriff sie den metallischen Fuß einer elektrischen Stehlampe. Zwar sollen die äußeren Metallteile eines elektrischen Beleuchtungskörpers mit der Stromleitung nicht in Verbindung stehen. Aber durch mangelhafte Befestigung der Drähte im Innern derselben oder durch eine Verletzung der Isolation der Leitungen, was bei einem tragbaren Gebrauchsapparate namentlich leicht eintreten kann, hatte einer der Drähte Schluß mit dem Metallkörper der Lampe bekommen und die einpolige Berührung mit allen oben erörterten Voraussetzungen in unglücklich günstigster Form für die Bildung eines gefährlichen Stromes waren gegeben und führten zum Tode.

Noch ein erschwerender Umstand kam hinzu. Obgleich die Anlage nur 110 Volt Spannung für die Lampen führte, bekam das Opfer dieses Unfalles doch eine Spannung von 330 Volt. Dies rührt davon her, daß bei ausgedehnten Leitungsnetzen niederer Spannung aus Rücksichten einer Leitungsersparnis mehrere Stromkreise miteinander verkettet wurden. Dadurch entstehen die sogenannten Mehrleiteranlagen. Art und Zweck dieser Verkettung möge an einem Modell erkannt werden. Zwei Stromkreise mit eigener Stromquelle besitzen einen Leiter gemeinsam, und zwar ist dieser für den einen Kreis der positive, für den anderen der negative (Fig. 1).

Jeder Kreis hat seinen eigenen Schalter. Im Mittelleiter befindet sich ein Ampèremeter, mit Skala nach beiden Seiten. Schließen wir oben, so brennen die oberen Lampen, das Ampèremeter zeigt nach links, schließen

wir unten, so brennen die unteren Lampen, das Ampèremeter zeigt nach rechts, also entgegengesetzten Strom wie früher, aber dieselbe Stromstärke, da die Lampenzahl so gewählt wurde. Schließen wir beide Kreise, so brennen zwar beide Lampengruppen, aber das Ampère-

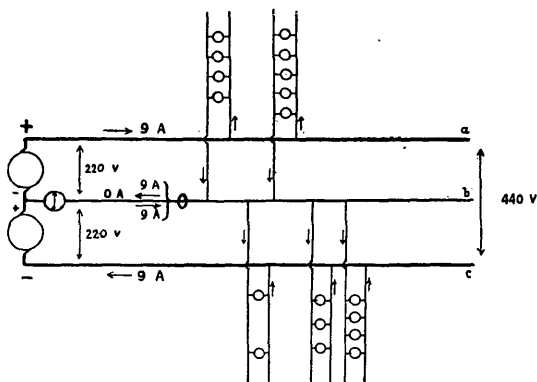


Fig. 1.

meter im Mittelleiter zeigt Null. Ich könnte das Stück der Mittelleitung, das zu den Maschinen zurückführt, eigentlich wegnehmen. Freilich bei ungleicher Lampenzahl in den beiden Seiten ginge das nicht, denn der Differenzstrom sollte noch immer zur Maschine zurückgeführt werden. Aber jedenfalls fließt im Mittelleiter ein bedeutend schwächerer Strom zurück, insbesondere wenn für guten Ausgleich der beidseitigen Lampenzahl gesorgt wurde, was ja die Elektrizitätsgesellschaft erreichen kann, und im Mittelleiter kann beträchtlich an dem

teuren Kupfer gespart werden. Dies ist das sogenannte Dreileitersystem. Sowie hier zwei Stromkreise verkettet sind, lassen sich auch vier Kreise verbinden und man erhält das Fünfleitersystem, von dem hier gleichfalls ein Modell aufgestellt ist (Fig. 2). An einem Spannungsmesser (Voltmeter) können wir nun die einzelnen Spannungen beobachten. Wir finden zwischen zwei benachbarten Leitern je 110 Volt; solche werden in die Wohnungen geführt. Zwischen nichtbenachbarten Leitungen

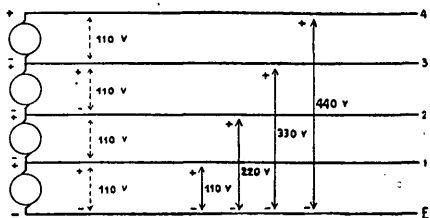


Fig. 2.

jedoch zeigen sich höhere Spannungen, und zwar entsprechende Vielfache von 110 Volt. Nun ist die Anlage in Wirklichkeit geerdet. Dadurch wird gewissermaßen ein Spannungsnullpunkt der Anlage festgelegt und die anderen Spannungen bauen sich darauf auf. Verbinden wir, um gleich den äußersten Fall herzustellen, den untersten Leiter mit der Erde (*E*), so bestätigt die Messung, was wir hätten voraussagen können, daß die folgenden Leiter entsprechend 110, 220, 330 und 440 Volt Spannung gegen Erde haben. In diesem Falle also würde eine Hausanlage, die an den obersten Kreis angeschlossen ist,

zwischen den Leitungen selbst zwar nur eine Spannung von 110 Volt, aber gegen Erde Spannungen von 330 und 440 Volt aufweisen. So ähnlich lagen die Verhältnisse bei dem erwähnten Unfälle, so daß die berührte Leitung eine Spannung von 330 Volt gegenüber Erde führte.

In Wien haben wir sowohl solche Dreileiter- wie Fünfleiteranlagen. Auch das städtische Elektrizitätswerk Wien verteilt in seinem Gleichstromnetze nach dem Dreileitersystem, und zwar mit 2 mal 220 Volt, hält jedoch durch geeignete Anordnungen den Mittelleiter fest und dauernd auf Erdspannung und verhindert dadurch sicher, daß in seinem Netze höhere Spannungen gegen Erde als 220 Volt auftreten. Bei dem besprochenen Unfälle hätte allerdings bei den besonderen Verhältnissen voraussichtlich auch diese Spannung genügt, den Tod herbeizuführen.

Ist bei solchen Spannungen, wie sie für Beleuchtungsanlagen in Betracht kommen, ein Zusammentreffen von besonderen Umständen zur Ausbildung eines tödlichen Stromes notwendig, so liegen die Verhältnisse bei hohen Spannungen (1000, 10.000 Volt) natürlich weit gefährlicher. Da muß schon eine leichte, flüchtige Berührung als höchst gefährlich bezeichnet werden. Denn trotz des hohen Widerstandes derselben wird sich eben infolge der hohen Spannung eine große Stromstärke entwickeln können. Solche große Ströme wirken blitzartig auf den Körper. Selbst bei sehr kurzer Dauer kann der Tod herbeigeführt werden. In manchen Fällen hat man durch künstliche Atmung einen vom elektrischen Strome

Getroffenen wieder zum Bewußtsein gebracht, oft erst nach stundenlangem Bemühen. Ströme von einer Stärke an der Grenze der Gefährlichkeit können manchmal kurze Zeit schadlos ertragen werden, während sie bei längerer Dauer der Einwirkung zum Tode führen, vielleicht dadurch, daß sie von krampfhaftem Aussetzen der Atmung oder des Herzschlages begleitet sind. Daher liegt ein besonderes Gefahrmoment auch darin, daß man angefaßte elektrische Leitungen nicht mehr loslassen kann, sobald sich stärkere Ströme bilden. Die Elektrizität hält ihr Opfer, das sie einmal erwischt hat, fest, wie wenn sie sich dafür rächen wollte, daß sie gefesselt wurde und in rast- und maßloser Arbeit dem Fortschritte der Menschheit dienen muß.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich auch einer häufig begegneten irrigen Auffassung entgegenreten. Es ist nachgewiesen, daß bei Wechselströmen außerordentlich hoher Wechselzahl weit höhere Stromstärken schadlos vertragen werden können. So kann man sogenannte Teslaströme, d. s. Ströme, die mehrere hunderttausend bis eine Million Mal in der Sekunde wechseln, bis zu einer Stärke von 0·5 Ampère und darüber vertragen. Da man diese Ströme gewöhnlich nur besonders hochgespannt anwendet, z. B. in der Funkentelegraphie, so hat sich der Irrtum gebildet, als ob besonders hohe Spannungen, über hunderttausend Volt, gefahrlos berührt werden können. Dies ist aber eine falsche und gefährliche Ansicht, denn nur die hohe Schwingungszahl ist es, welche hier die physiologische Einwirkung herabsetzt.

Was für eine Lehre zur Verhütung von Unfällen in Hausanlagen läßt sich nun aus den angestellten Betrachtungen gewinnen? Es genügt die Beobachtung folgender Regel: Man hüte sich, wenn man geerdet ist, d. h. durch feuchten Grund, feuchte Schuhe, durch Wasser, Metallschienen oder Platten, Gas- oder Wasserleitung mit der Erde leitend verbunden ist, elektrische Leitungen oder Metallteile von elektrischen Apparaten anzufassen. Selbst solche Metallteile von elektrischen Apparaten, die ordnungsgemäß spannungslos sind, können durch einen verhängnisvollen Zufall Schluß mit der Stromleitung bekommen. Und umgekehrt. Man berühre, wenn man eine elektrische Lampe oder einen elektrischen Motor anfaßt, nicht Gas- oder Wasserleitung oder sonstwie ‚Erde‘. Man hüte sich, einen elektrischen Apparat (Motor, Lampe u. a.) für spannungslos zu halten, wenn er ausgeschaltet ist, außer wenn die Ausschaltung zweipolig erfolgt ist. Meistens aber werden solche Apparate nur einpolig ausgeschaltet und bleiben also mit einem Pole der Maschine oder des Netzes verbunden.

Wie schützt sich nun der Arbeiter, der an elektrischen Leitungen oder Apparaten zu arbeiten hat? Er wird womöglich den betreffenden Gegenstand beidpolig von der Leitung abschalten. Soll oder kann aber die Leitung oder der Apparat überhaupt nicht oder nur einpolig abgeschaltet werden, dann muß sich der Arbeiter selbst von der Erde isolieren oder er darf an den Elektrizität führenden Teilen nur mit entsprechend der Span-

nung gut isolierenden Handschuhen (Gummi) und nur mit Werkzeugen mit isolierten Griffen arbeiten.

Eine andere Methode, sich gegen Hochspannung zu schützen, will ich Ihnen mehr des Interesses wegen, als etwa weil sie angewendet wird, im Versuche vorführen.



Fig. 3.

Sie besteht darin, sich mit einer metallischen Haut zu überziehen. Einer der Herren unseres Institutes hat einen allseitig geschlossenen Anzug aus Kupfergaze angelegt (Fig. 3) und läßt mächtige Funken aus einem Hochspannungsapparat auf sich, beziehungsweise seinen An-

zug springen, und berührt sogar beide Pole, ohne davon etwas zu spüren. Die gut leitende Oberfläche läßt eben keine Elektrizität eindringen; alle Elektrizität findet in dem Kupfer des Anzuges bessere Wege des Ausgleiches als durch den Körper.

Bei dieser Gelegenheit will ich auch von jenen Unfällen sprechen, bei denen die Elektrizität nur eine mittelbare Rolle spielt, während die zerstörende Energieform Wärme ist.

Der elektrische Strom erzeugt in allen Leitern, die er durchfließt, Wärme, umsomehr, je stärker der Strom und je größer der Widerstand des Leiters ist. Er findet auf seinem Wege zwischen den Molekülen eines Stromleiters eine Art Reibung. Wir benützen diese Wärmewirkung des elektrischen Stromes in unseren elektrischen Licht- und Heizquellen und müssen sie in unseren Leitungen und Apparaten auf ein zulässiges Maß herabdrücken. Durch starke elektrische Ströme können sogar sehr dicke Drähte zum Glühen und Schmelzen gebracht werden.

Die stärksten Ströme erhält man durch den sogenannten Kurzschluß. Darunter verstehen wir die direkte Verbindung zweier Stromleitungen verschiedener Spannung durch ein dickes, kurzes Metallstück von geringem Widerstande. Dabei können sich namentlich, wenn die Kurzschlußstelle mit der Stromquelle durch dicke Leitungen verbunden sind, der Kurzschluß also z. B. an dem Schaltbrette einer elektrischen Zentrale oder an den Straßenkabeln gemacht wird, Ströme von mehreren tausend Ampère ausbilden, die von ganz gewaltigen

Wärmewirkungen begleitet sind. In den Moulagesammlungen der Kliniken zeigen mehrere Nachbildungen, welche furchtbaren Verbrennungen manche Monteure durch Kurzschluß erlitten haben. Durch die gewaltige Hitze bilden sich Metaldämpfe, und selbst wenn der wirkliche metallische Kurzschluß schon getrennt ist, bilden diese bei genügender Spannung und nicht zu großer Länge der Trennungsstelle eine Strombrücke zwischen den Leitungen und setzen so den Kurzschluß fort. Diese glühenden Metaldämpfe sind es auch, welche die schweren Verbrennungen im Gefolge haben.

Um Ihnen annähernd einen Begriff von dem Flammenmeer eines kräftigen Kurzschlusses zu geben, will ich hier einen solchen mit 440 Volt vorführen. Er wird hier allerdings insoferne in seiner Mächtigkeit begrenzt sein, als doch noch Widerstand in den Leitungen liegt, die diesen Saal mit der Stromquelle verbinden, und als ich mit Rücksicht auf unsere Anlage und die Zentrale, die uns den Strom liefert, den Kurzschluß nicht lange bestehen lassen darf, sondern sofort wieder aufheben muß. Denn eigentlich ist ein solcher Versuch eine Mißhandlung elektrischer Einrichtungen. Das Vernichten des Kurzschlusses lasse ich durch ihn selbst besorgen und benütze dazu eine Einrichtung, die Sie vielleicht schon als Betriebseinrichtung unserer elektrischen Straßenbahn gesehen haben. Es ist der Hörnerblitzableiter der Österreichischen Siemens-Schuckertwerke. Er besteht aus sichelförmig gebogenen Kupferstäben, die so befestigt sind, daß sie sich mit ihren konvexen Seiten bis auf eine

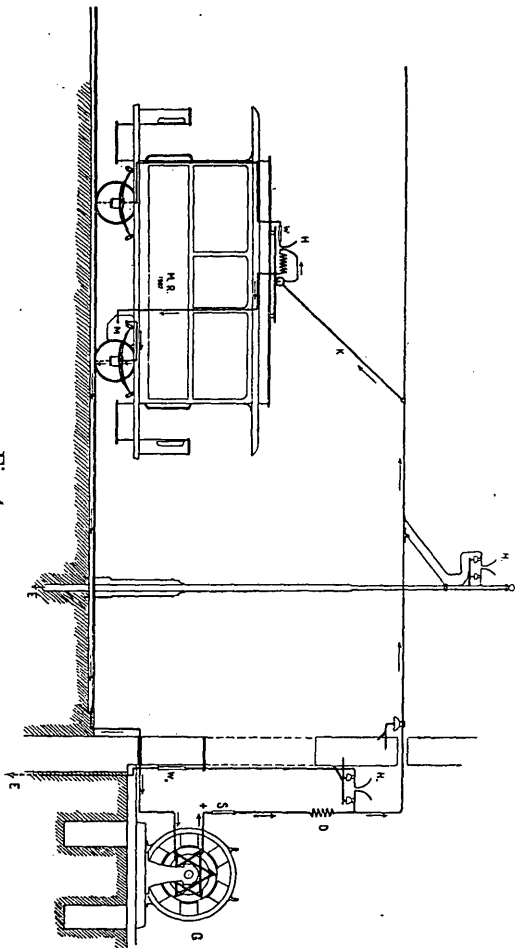


Fig. 4.

kurze Entfernung von einigen Millimetern gegenüberstehen (Fig. 4). Einer der Stäbe ist an die Oberleitung der Straßenbahn angeschlossen, während der andere an Erde liegt. Trifft nun der Blitz irgendwo die Oberleitung, so sucht er sich einen Weg zur Erde und würde diesen durch den Motorwagen oder die Zentrale finden, dabei Verheerungen an Maschinen und Leitungen anrichten, Menschenleben gefährden und eine empfindliche Betriebsstörung verursachen. Das muß natürlich verhindert werden. Aus diesem Grunde bietet man dem Blitze in diesen Hörnerblitzableitern (*H*) bequeme Wege zur Erde und erschwert ihm die anderen. Einige Windungen einer Kupferspule bilden für den Blitz einen größeren Widerstand als die Luftstrecke des Hörnerblitzableiters und daher saust er lieber über diese zur Erde. Damit ist aber der Vorgang noch nicht zu Ende. Denn an den Hörnern stehen sich eigentlich die zwei Pole der Zentrale gegenüber und die Elektrizität auf dem Horn an der Bügelseite würde sich gerne auf die andere Seite, auf das ‚geerdete‘ Horn stürzen und so seinen Weg zur Maschine zurück müheloser finden als durch den Motor des Wagens, wo sie zur Arbeit gezwungen wird. Aber die Luftstrecke ist für ihre Spannung (500 Volt) ein nicht zu bewältigendes Hindernis. Sowie aber eine Blitzentladung über diesen Luftweg eintritt, bilden sich Metaldämpfe, die Luft selbst wird leitend und auf dieser leitenden Brücke stürzt sofort Elektrizität nach. Es bildet sich ein Kurzschluß mit einem mächtigen Flammenbogen. Die erhitzten Dämpfe und auch elektrodynamische Kräfte treiben nun diesen Flam-

menbogen nach aufwärts, infolge der Form der Hörner wird er dabei länger und länger und reißt schließlich ab. Der ganze Kurzschluß verläuft rasch und störungslos. Ein Versuch mag dies beweisen. Den Blitz ersetze ich durch den Funken einer ganz kleinen Influenzmaschine. Sie sehen nur ein ganz kleines Fünkchen aufblitzen, wenn ich die Maschine drehe. Schalten wir aber die 440 Volt Gleichstrom an die beiden Hörner, so genügt dieses kleine Fünkchen, den Weg zu öffnen und explosionsartig spielt sich ein Kurzschluß ab. (Fig. 5.)

Natürlich in den Wohnungen läßt man es auch zu einer solchen Erscheinung nicht kommen. Um gefährliche Erwärmungen zu vermeiden, müssen zunächst die Leitungen richtig bemessen sein. Um aber auch einer zufälligen Überlastung der Leitung zu begegnen und einen allfälligen Kurzschluß schnell zu unterdrücken, dienen die Abschmelzsicherungen. An irgendeine passende Stelle wird in die Leitung ein zu schwach bemessenes Leitungsstück aus Drähten oder Streifen von Blei oder Silber, wohl verschlossen in eine feuersichere Dose, eingeschaltet. Wird der Strom zu stark oder tritt gar ein Kurzschluß ein, so schmilzt dieses Leitungsstück und unterbricht den Strom. Die Vorschriften der elektrotechnischen Vereine bestimmen genau, wo und wie solche Schmelzsicherungen anzubringen sind und welchen Bedingungen sie genügen müssen. Denn namentlich für höhere Spannungen ist es nicht leicht, gute Sicherungen zu bauen. Zwei Versuche sollen uns einen grellen Unterschied zwischen guter und schlechter Sicherung zeigen.

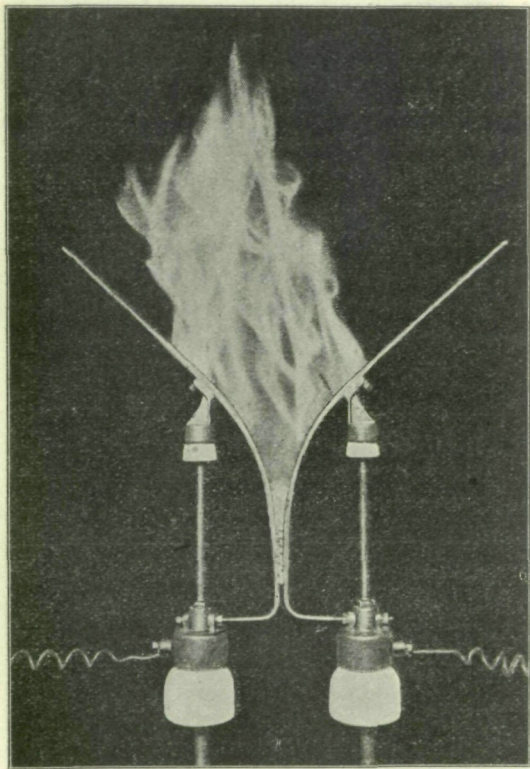


Fig. 5.

Beide Male schalte ich die Sicherung in einen Stromkreis von 440 Volt, den ich dann kurz schließe. Die eine Sicherung, eine eigene Konstruktion unseres Instituts, arbeitet tadellos. Ohne Feuererscheinung, ohne Explosion, unterbricht sie den Stromkreis. Die andere tut auch ihre Pflicht insoferne, als sie den Strom unterbricht, aber dabei ist sie ganz zerrissen worden und Porzellantrümmer und geschmolzenes Metall werden nach allen Seiten geschleudert.

Die Elektrotechnik hat noch eine ganze Reihe von Sicherheitseinrichtungen für ihre Anlagen und Betriebe, aber das, was in den Rahmen dieses Vortrages paßt, dürfte wohl nunmehr erschöpft sein.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1907

Band/Volume: [47](#)

Autor(en)/Author(s): Reithoffer Max

Artikel/Article: [Über elektrische Unfälle und deren Verhütung. 453-482](#)