

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 20 (1929)

Heft: 13

Artikel: Beitrag zur Kenntnis der Vorgänge beim Stromdurchgang durch den menschlichen Körper

Autor: [s.n.]

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056821>

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: 17.04.2026

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

Beitrag zur Kenntnis der Vorgänge beim Stromdurchgang durch den menschlichen Körper.

Mitgeteilt von den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich (E. K. Z.).

614.8

Die E. K. Z. haben an 25 Personen Elektrisierungsversuche durchgeführt, um die «Gefährlichkeit» des elektrischen Stromes, speziell des 50periodigen Wechselstromes, für den menschlichen Körper möglichst quantitativ zu erfassen. Im nachstehenden Aufsatz wird über diese Versuche und die Schlüsse, welche daraus gezogen werden können, berichtet.

Es wird darauf hingewiesen, dass zur Entscheidung über die Gefährlichkeit einer Situation alle Begleitumstände (Strom, Spannung, Widerstand, Berührungsfächen, psychologische Einflüsse) im Zusammenhang betrachtet werden müssen. Die Versuche zeigten, dass die von den Versuchspersonen empfundenen Gefühle bei gleichen Stromstärken weitgehend übereinstimmen, dass dagegen der Ohmsche Widerstand in weiten Grenzen variiert, sowohl zwischen verschiedenen Personen als auch bei einer und derselben Person.

Als gefährliche Stromstärke wird diejenige definiert, bei welcher es der betreffenden Person nicht mehr möglich ist, die umfasste Elektrode loszulassen.

Beim Stromdurchgang Hand—Hand, wobei jede Hand eine Messingelektrode von 20 mm Durchmesser und 160 mm Länge fest umfasste, betrug diese Stromstärke ungefähr 15 mA. Körperwiderstände Hand—Hand oder Hand—Fuss von 2000 Ohm sind nichts seltenes; es kommen sogar unter besonders ungünstigen Verhältnissen, z. B. in chemischen Betrieben, bei Reinigungsarbeiten im Haushalt mit Sodalaug, Körperwiderstände von 1500 Ohm vor. Man erhält somit als gefährliche Spannung für den empfindlichsten Menschen und unter den ungünstigsten Umständen beim Stromdurchgang Hand—Hand für trockene Hände etwa 30 V, für nasse Hände etwa 20 V. Für eine im Bade befindliche Person, welche einen spannungsführenden Hahn oder Lampenfuss umfasst, kann diese Spannung mit etwa 10 V angegeben werden.

Les Centrales du Ct. de Zurich (E. K. Z.) ont procédé sur 25 personnes à des essais d'électrisation pour traduire, quantitativement si possible, le danger du courant électrique, alternatif à 50 périodes spécialement, pour le corps humain. Le présent article contient la description de ces essais et les conclusions qu'on peut en tirer. On rend attentif à la nécessité de prendre en considération tous les éléments jouant un rôle dans une situation donnée (courant, tension, résistance, surfaces de contact, influences psychologiques), pour juger du danger de cette situation. Les essais ont montré que les sensations éprouvées par les sujets concordent fort bien pour une intensité donnée, tandis que la résistance ohmique varie dans de larges limites, tant d'une personne à l'autre chez un seul et même sujet. L'intensité dangereuse est définie comme étant celle pour laquelle la personne ne peut plus lâcher les électrodes. Lors du passage du courant d'une main à l'autre, chacune tenant une électrode en laiton de 20 mm de diamètre et de 160 mm de longueur, cette intensité-limite atteignait 15 mA environ. Il n'est pas rare de trouver pour la résistance du corps, mesurée entre les mains ou entre la main et les pieds, une valeur de 2000 ohms; on constate même, dans des conditions particulièrement défavorables, par exemple dans les fabriques de produits chimiques, lors de travaux de nettoyage à la soude dans les ménages, des valeurs descendant à 1500 ohms. C'est ainsi qu'on obtient comme tension-limite dangereuse pour l'homme le plus sensible et dans les conditions les plus défavorables, le passage du courant ayant lieu d'une main à l'autre, environ 30 V si les mains sont sèches et environ 20 V si elles sont mouillées. Pour une personne se trouvant dans un bain et qui saisit un robinet ou un socle de lampe sous tension, la limite indiquée se réduit à 10 V environ.

1. Einleitung.

Die Begriffe „ungefährliche Spannung“, „gefährliche Spannungsdifferenz“ usw. haben anlässlich der Beratung der neuen Bundesvorschriften und der neuen Vorschriften des S. E. V. über Hausinstallationen manchen Betriebsleiter beschäftigt. Sie spielen für ihn auch heute noch eine Rolle beim Entscheiden darüber, ob er zum besseren Schutz in seinen Netzen die Erdung beibehalten oder vielleicht die Nullung der Apparate einführen soll. Die E. K. Z. sahen sich aus diesen Gründen schon vor Jahren veranlasst, erste orientierende Versuche über den Stromdurchgang durch den menschlichen Körper und seinen Zusammenhang mit der Spannung anzustellen. Diese Versuche wurden dann im Jahre 1928 in grösserem Umfange fortgesetzt. Sie erfuhren einen weiteren kräftigen Impuls durch einen Artikel im Bulletin S. E. V. 1928, No. 21, wo unter dem Titel „Wie hoch muss eine Spannung sein, um dem Menschen gefährlich zu werden?“ über Messungen und Beobachtungen von Hrn. Prof. Dr. H. F. Weber aus dem Jahr 1897 berichtet wurde.

Schon bei der Aufstellung der neuen Vorschriften bestand offenbar eine gewisse Unsicherheit darüber, was für Spannungsdifferenzen noch als ungefährlich bezeichnet werden dürfen. Kritisch betrachtet erscheinen die 100 V, wie sie z. B. in den Erläuterungen zu Art. 11 der neuen Bundesvorschriften genannt werden, sehr hoch angesetzt zu sein, und auch die 50 und 36 V, von denen man bei der Aufstellung der §§ 15 bzw. 224 der Hausinstallationsvorschriften ausgegangen ist, geben je nach den Umständen noch zu Bedenken Veranlassung. Die Schlussfolgerungen, die Prof. Weber aus seinen Versuchen gezogen hat, könnten sogar dazu verleiten, die Gefahren des Stromdurchganges durch den menschlichen Körper zu unterschätzen. Messungen, die nur an einer einzigen und im vorliegenden Fall sehr willensstarken Person durchgeführt wurden, mögen wohl für eine erste Orientierung zweckmässig sein. Jedoch dürfen aus ihnen angesichts der Kompliziertheit der Vorgänge und angesichts der schon längst bekannten Tatsache, dass nicht für alle Personen unter sonst ähnlichen Umständen die gleiche Spannung als gefährlich bezeichnet werden muss, ja dass dieselbe Person in verschiedener körperlicher und seelischer Verfassung der gleichen Spannung gegenüber sich ungleich verhält, niemals allgemein gültige Schlüsse gezogen werden.

Berechnet man aus den Angaben von Prof. Weber, der am eigenen Körper mit Wechselstrom experimentiert und dabei die Spannung fest eingestellt und den sich ergebenden Strom abgelesen hat, den ohmschen Widerstand zwischen Hand-Hand, so erhält man die in Tabelle I angeführten Werte.

Versuche von Prof. Dr. H. F. Weber.

Tabelle I.

| Angefasste Spannung V | Nasse Hände | | Trockene Hände | |
|--------------------------|--|------------------------|---|------------------------|
| | Strom A | Widerstand Ω | Strom A | Widerstand Ω |
| 10 | < 0,001 | > 10 000 | — | — |
| 20 | 0,0022 | 9 100 | — | — |
| 30 | 0,0135 | 2 220 | — | — |
| 40 | 0,0205 | 1 955 | — | — |
| 50 | keine Ablesung mehr möglich; zu schmerzhaft | | < 0,0001 | > 500 000 |
| 60 | — | — | 0,0008 | 75 000 |
| 70 | — | — | 0,0018 | 38 900 |
| 80 | — | — | 0,0100 | 8 000 |
| 90 | — | — | keine Ablesung mehr, da zu schmerzhaft | |

Die Beschreibung der Versuche lässt ohne weiteres vermuten, dass Prof. Weber sich nicht geschont hat und offenbar bis an die Grenze des Erträglichen gegangen ist. Heute würde sich wohl niemand mehr dazu hergeben, diese Prozedur zu wiederholen. Diese Zurückhaltung ist auch berechtigt und angezeigt, denn eine grosse Zahl von Unfällen in Verbindung mit elektrischen Anlagen und Einrichtungen haben seither bewiesen, dass selbst niedrigere Spannungen als z. B. 50 V ernste Gefahren in sich schliessen können.

Die E. K. Z. gingen nun vor allem darauf aus, die Messungen nicht nur systematisch, sondern auch an einer möglichst grossen Zahl von Versuchspersonen durchzuführen. Den Anspruch auf Vollständigkeit können natürlich auch ihre Versuche nicht erheben; doch haben sie so wertvolle und interessante Ergebnisse gezeitigt, dass deren Veröffentlichung lohnend erscheint.

2. Versuchsziele.

Man hat versucht, die Gefährlichkeit der Elektrizität zahlenmässig zu charakterisieren und hat als Masstab die Spannung gewählt. Beobachtungen bei Unfällen zeigen indessen, dass die Spannung nicht die allein ausschlaggebende Grösse ist.

Neuerdings wird versucht, den im Körper fließenden Strom als einzigen Gefahrenmasstab zu verwenden. Beide Wege befriedigen nicht. Es wird schlechterdings unmöglich sein, durch eine einzige Zahl eine Gefahrgrenze festzulegen. Vielmehr wird man alle Begleitumstände (Berührungsflächen, Strom, Spannung, Widerstand) im Zusammenhang zu betrachten haben, um über die Gefährlichkeit einer Situation entscheiden zu können.

Solange die Gefahrgrenze lediglich eine zu wissenschaftlichen Zwecken definierte Grösse darstellt, sind Diskussionen darüber durchaus am Platz. Wenn jedoch in Vorschriften von gefährlichen Spannungen die Rede ist, so muss man sich bewusst sein, dass bei dieser Spannungsgrenze eine wirkliche Gefahr eigentlich noch gar nicht vorhanden sein sollte. Aus diesen Ueberlegungen heraus stellten sich die E. K. Z. die Aufgabe, für Anlagen mit Wechselstrom von 50 Per/sec ein Kriterium für die äusserste Grenze der Ungefährlichkeit zu finden. Offenbar muss als wirklich gefährlicher Zustand derjenige bezeichnet werden, der dem betroffenen Menschen die Selbstbefreiung aus dem Stromkreis nicht mehr erlaubt. Die Ver-

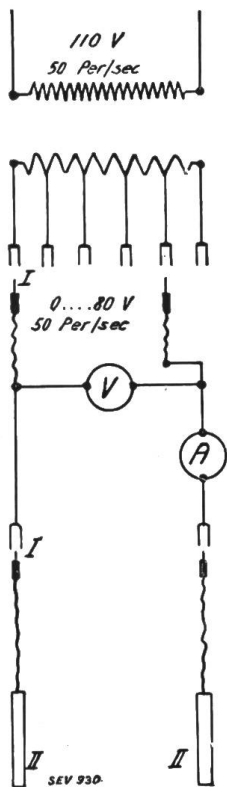


Fig. 1.
Schema der Versuchseinrichtung.
I Bananenstecker
II Messingelektroden
A Ampèremeter
V Voltmeter

15 mA, mit Bandaufhängung.

Die Versuche wurden in der Weise durchgeführt, dass nach jedem Versuch eine kurze Pause von $\frac{1}{2}$ bis 2 Minuten eingeschaltet und nachher mit der nächst höheren Spannungsstufe weitergefahren wurde.

4. Besprechung der Versuchsergebnisse.

Einleitend sei noch einmal bemerkt, dass die nachstehenden Versuche mit Wechselstrom von 50 Per/sec durchgeführt wurden. Ueber einige Messungen mit

suchen wurden also auch unternommen, um wenn möglich festzustellen, wann dieser Zustand in jedem Falle eintritt. Es sei jedoch nochmals darauf verwiesen, dass neben der Spannung auch die andern Umstände mitberücksichtigt werden müssen, sobald Vergleiche angestellt werden sollen. Im weiteren wurde versucht, Gesetzmässigkeiten der Vorgänge beim Stromdurchgang herauszufinden. Dazu war vor allem eine grössere Zahl von Versuchspersonen erforderlich, um Einflüsse von Besonderheiten des Einzelnen zu beseitigen. Es stellten sich 25 Personen zur Verfügung und zwar Techniker, männliches und weibliches Büropersonal, Monteure und sonstige Handarbeiter.

Es würde natürlich zu weit führen, alle Ergebnisse in der vorliegenden Arbeit wiederzugeben. Was hier erwähnt und besprochen wird, stellt das Wesentliche der Versuche und ihrer Ergebnisse dar.

3. Versuchsordnung.

Nachdem einige Vorversuche ergeben hatten, dass Widerstandsmessungen mit einer Messbrücke zu keinem Ergebnis führen, entschloss man sich zur Durchführung von Strom- und Spannungsmessungen. Um die unzweifelhaft mit solchen Messungen verbundenen Gefahren auf ein Mindestmass zu beschränken, wurde ein Stufentransformator mit getrennten Wicklungen benutzt. Es konnten Spannungen eingestellt werden von 1 bis 80 V. Fig. 1 zeigt die Schaltung.

Zur Sicherung der Versuchsperson wurden die Verbindungen zu den Elektroden mit leicht sitzenden Bananensteckern bewerkstelligt, so dass bei Gefahr ein leichter Ruck zur Lösung der Verbindung und damit zur Befreiung aus dem Stromkreis genügte.

Das Voltmeter war ein Weston-Voltmeter, das Ampèremeter ein Präzisions Milli-Ampèremeter mit einem Messbereich von 0 bis

Gleichstrom finden sich am Schlusse des Berichtes einige ergänzende Mitteilungen.

a) *Gefühle und Empfindlichkeit beim Stromdurchgang.* Schon die ersten Versuche zeigten, dass die Widerstände der einzelnen Versuchspersonen sehr stark von einander abweichen. Die von den Personen empfundenen Gefühle stimmten dagegen bei gleichen Stromstärken weitgehend überein. Diese Feststellung zwingt zur Annahme, dass für die Gefährlichkeit die Stromstärke massgebend ist, die Spannung dagegen nur mittelbar eine Rolle spielt. Immerhin gilt dies mit einer gewissen Beschränkung, weil aus Versuchen mit Niederspannung nicht ohne weiteres auf Verhältnisse bei Hochspannung geschlossen werden darf.

Tabelle II stellt einen Versuch dar, die Gefühle, welche die Versuchspersonen durchschnittlich empfunden haben, in Funktion der Stromstärke zu kennzeichnen. Der Stromdurchgang ging von Hand zu Hand, indem die Person zwei Messing-Elektroden von 20 mm Durchmesser und 160 mm Länge fest umfasste.

Gefühls-Skala beim Stromdurchgang Hand-Hand.

Tabelle II.

| Stromstärke mA | Empfindungen |
|-------------------|--|
| 0 bis 0,9 | Nichts spürbar. |
| 0,9 " 1,2 | Gerade spürbar in den Berührungsstellen. |
| 1,2 " 1,6 | Kribbeln in der Hand wie von Ameisen. |
| 1,6 " 2,2 | Hand eingeschlafen. |
| 2,2 " 2,8 | Auch im Handgelenk spürbar. |
| 2,8 " 3,5 | Leichte Handfesseln. |
| 3,5 " 4,5 | Stärkere Handfesseln, Gefühl wie Ermüdung im Unterarm bis zum Ellbogen. (Erste Schmerzäusserungen von empfindlichen Leuten.) |
| 4,0 " 5,0 | Krampfartiges Gefühl in den Händen, leises Zittern der Hände. |
| 4,5 " 5,5 | Krampf im Unterarm. |
| 5,0 " 7,0 | Leichter Krampf auch im Oberarm. (Wird allgemein als unangenehm empfunden.) |
| 6,0 " 8,0 | Hände steif und verkrampft. Loslassen nur mit Mühe möglich. Ungewohnte Versuchspersonen zeigen Schmerzäusserungen beim An- fassen der Elektroden. |
| 8,5 " 9,5 | Krampf im Oberarm. |
| 10,0 | Recht unangenehm, allgemeiner Krampf. |
| 11,0 bis 12,0 | Erster Krampf in den Achseln. Berührung nur noch ca. 30 Sekunden auszuhalten. |
| 13,0 " 15,0 | Loslassen gerade noch möglich mit Anstrengung. |
| 15,0 | Loslassen nicht mehr möglich, nur ca. 15 Sekunden auszuhalten. |

Prof. Weber ging, wie aus Tabelle I ersichtlich ist, noch weiter und machte trotz der Schmerzen noch eine Ablesung bei ca. 20 mA. Bei der höchsten von ihm erreichten Stromstärke von schätzungsweise 25 bis 30 mA konnte er dann allerdings wegen der Schmerzhaftigkeit nicht mehr ablesen.

Die vorstehenden Beobachtungen gelten den durchgeführten Versuchen entsprechend nur dann, wenn die vom Strom betroffene Person sich mit gespannter Aufmerksamkeit in den Stromkreis einschaltet. Geschieht die Berührung ganz überraschend, so tritt zu den Wirkungen des Stromes noch der Schreck. Dadurch werden die Verhältnisse ganz wesentlich verschlimmert. Indessen konnten in dieser Richtung keine Versuche durchgeführt werden.

b) *Ohmscher Widerstand des menschlichen Körpers.* Vorerst seien die qualitativen Eigenschaften des Widerstandes betrachtet.

Die Grösse des Widerstandes des menschlichen Körpers ist von einer ganzen Reihe von Einflüssen abhängig, welche unter sich wieder weitgehend von einander abhängig sind. Es ist daher am richtigsten, wenn man den ganzen Fragenkomplex im Zusammenhang betrachtet.

Der Widerstand des menschlichen Körpers setzt sich in erster Annäherung aus drei in Reihe geschalteten Widerständen zusammen, nämlich den Hautwiderständen beim Stromeintritt und beim Stromaustritt und dem innern Körperwiderstand. Für die vorliegenden Untersuchungen fällt der innere Körperwiderstand ausser Betracht, weil er im Vergleich zu den Hautwiderständen verschwindend klein ist.

Der Hautwiderstand R hängt von drei Faktoren ϱ , d und f ab, für welche die Beziehung $R = \varrho \cdot \frac{d}{f}$ gilt (ϱ = spez. Widerstand, d = Dicke der Haut und f = Fläche der vom Strom durchflossenen Haut — Berührungsfläche —); ϱ und d sind schon für ein und dieselbe Person von Körperstelle zu Körperstelle verschieden. Für verschiedene Personen sind daher erst recht wesentliche Unterschiede zu erwarten. Nun sollen aber verschiedene Menschen untereinander verglichen werden und deshalb muss eine möglichst einheitliche Vergleichsbasis geschaffen werden. Dies geschieht am besten dadurch, dass man für alle Personen die gleichen Elektroden verwendet und den Versuchspersonen gleichartige Umfassung derselben angewöhnt. Auf diese Weise erhält man für die verschiedenen Personen ungefähr gleich grosse Berührungsflächen f , also gleich grosse Eintrittsquerschnitte.

Die Verschiedenheiten von ϱ und d können indessen nicht ausgemerzt werden. Vielmehr muss man sich zum Ziel setzen, diese die Verschiedenheit im wesentlichen bedingenden Grössen in ihrer Grössenordnung zu erfassen. Der wesentlichste, vielleicht sogar der einzige Umstand, der die Grösse des spez. Hautwiderstandes beeinflusst, ist die Feuchtigkeit derselben. Nur indirekt spielen auch andere Umstände mit.

Die Feuchtigkeit der Haut und damit ihr Einfluss auf die elektrische Leitfähigkeit des Körpers kann durch äussere Einwirkungen (physikalische) beeinflusst werden. Sie steigt z. B. mit zunehmender Luftfeuchtigkeit, mit steigender Temperatur, durch Benetzung mit Wasser und anderen Flüssigkeiten. Dabei spielt die Leitfähigkeit der benetzenden Flüssigkeit eine wesentliche Rolle. Diese Verhältnisse wirken sich hauptsächlich bei Unfällen in nassen Räumen aus (Badezimmer, Küchen, Keller, chemisch-technische Betriebe etc.).

Neben den erwähnten äusseren Einwirkungen wird die Hautfeuchtigkeit durch eine Unmenge „innerer“ Vorgänge beeinflusst. Die Schweissabsonderung in den Schweissdrüsen ist die gemeinsame Wirkung aller dieser Vorgänge. Die Zusammenhänge scheinen dabei ziemlich verwickelt zu sein. Es wäre daher sehr zu begrüssen, wenn sich z. B. die vom Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (V. S. E.) ins Leben gerufene Aerktekommision gerade auch mit solchen Fragen befassen würde.

Nur andeutungsweise mögen hier einige Beobachtungen erwähnt werden. Die gezogenen Schlussfolgerungen stellen lediglich einen Erklärungsversuch dar. Ihre Beurteilung durch berufene medizinische Fachleute wäre nur zu begrüssen.

Schweissbildung tritt ein bei körperlichen Arbeiten, bei hoher Temperatur, besonders dann, wenn die Luftfeuchtigkeit gross ist. Auch Schrecken und Angst vermögen bei gewissen Personen Schweissbildung hervorzurufen. So sieht man, dass auch physiologische und psychologische Verhältnisse Einfluss haben können auf die Widerstandsgrösse.

Kommt ein Mensch mit spannungsführenden Teilen in Berührung, so ist der Strom, den er aufnimmt, von der berührten Spannung und seinem Widerstand abhängig. Gleichgültig, ob die Berührung absichtlich oder unabsichtlich geschieht, ist für den ersten Moment einzig sein „Anfangszustand“, sagen wir sein „Anfangswiderstand“ massgebend. Dieser Anfangswiderstand ist das Ergebnis der oben beschriebenen äusseren und inneren Einwirkungen. Vom Moment der Berührung an treten dann noch Wirkungen des Stromes ein, wiederum physiologische und psychologische. Zu den ersteren gehört die Einwirkung auf die Muskeln, welche mit zunehmender Stromstärke sich immer krampfhafter zusammenziehen. Das ist offenbar nichts anderes als eine (ungewollte) Anstrengung, welche ihrerseits zur Schweissbildung führt. Damit lässt sich sehr gut die Beobachtung erklären, dass

sowohl mit steigender Stromstärke, als auch mit länger dauernder Stromeinwirkung eine Widerstandsabnahme festgestellt werden kann. Als physiologische Einwirkung kann genannt werden die Reizwirkung auf die Nerven, welche bei Ueberraschung, Schrecken und Angst, vielleicht aber auch bei leichtem Prikkeln nicht unangenehme Gefühle hervorrufen kann. Je nach Charakter werden daher die psychologischen Wirkungen für die Widerstandsgrösse verschiedener Art sein. Dass auch die Aufmerksamkeit eine wichtige Rolle spielt, ist bekannt. Wenn die Ueberraschung dahinfällt, so bleiben auch meist Schrecken und Angst aus, wodurch auch weniger

Widerstand beim Stromdurchgang Hand-Hand. Elektroden Φ 20 mm.
Trockene Hände; Elektroden fest umfasst.

Tabelle III.

| Obere Grenzkurve | | | | | | Untere Grenzkurve | | | | | |
|------------------|------------|----------|---------------------|--------------|--|-------------------|------------|----------|---------------------|--------------|--|
| Lf. No. | Spannung V | Strom mA | Widerstand Ω | Widerstand % | Strom je cm ² Berührungsfläche mA | Lf. No. | Spannung V | Strom mA | Widerstand Ω | Widerstand % | Strom je cm ² Berührungsfläche mA |
| 1 | 5,8 | 0,5 | 11 500 | 100 | 0,0166 | 13 | 1,8 | 0,5 | 3 600 | 100 | 0,0166 |
| 2 | 10,4 | 1,0 | 10 400 | 89,8 | 0,0333 | 14 | 3,3 | 1,0 | 3 300 | 91,6 | 0,0333 |
| 3 | 14,5 | 1,5 | 9 650 | 83,3 | 0,0500 | 15 | 4,6 | 1,5 | 3 090 | 85,8 | 0,0500 |
| 4 | 18,3 | 2,0 | 9 150 | 79,0 | 0,0666 | 16 | 5,9 | 2,0 | 2 960 | 82,2 | 0,0666 |
| 5 | 25,1 | 3,0 | 8 350 | 72,1 | 0,100 | 17 | 8,3 | 3,0 | 2 780 | 77,2 | 0,100 |
| 6 | 31,2 | 4,0 | 7 800 | 67,3 | 0,1333 | 18 | 10,6 | 4,0 | 2 650 | 73,6 | 0,133 |
| 7 | 36,4 | 5,0 | 7 280 | 62,8 | 0,166 | 19 | 12,9 | 5,0 | 2 570 | 71,4 | 0,166 |
| 8 | 41,4 | 6,0 | 6 900 | 59,5 | 0,200 | 20 | 15,0 | 6,0 | 2 500 | 69,5 | 0,200 |
| 9 | 50,4 | 8,0 | 6 300 | 54,4 | 0,266 | 21 | 19,2 | 8,0 | 2 400 | 66,6 | 0,266 |
| 10 | 59,6 | 10,0 | 5 960 | 51,4 | 0,333 | 22 | 23,0 | 10,0 | 2 300 | 63,9 | 0,333 |
| 11 | 69,6 | 12,0 | 5 800 | 50,1 | 0,400 | 23 | 26,4 | 12,0 | 2 200 | 61,1 | 0,400 |
| 12 | 80,3 | 14,0 | 5 740 | 49,5 | 0,466 | 24 | 30,1 | 14,0 | 2 150 | 59,7 | 0,466 |

Widerstand beim Stromdurchgang Hand-Hand. Elektroden Φ 20 mm. Mit Brunnenwasser benetzte Hände; Elektroden fest umfasst.

Tabelle IV.

| Obere Grenzkurve | | | | | | Untere Grenzkurve | | | | | |
|------------------|------------|----------|---------------------|--------------|--|-------------------|------------|----------|---------------------|--------------|--|
| Lf. No. | Spannung V | Strom mA | Widerstand Ω | Widerstand % | Strom je cm ² Berührungsfläche mA | Lf. No. | Spannung V | Strom mA | Widerstand Ω | Widerstand % | Strom je cm ² Berührungsfläche mA |
| 25 | 3,8 | 0,5 | 7500 | 100 | 0,0166 | 37 | 1,4 | 0,5 | 2750 | 100 | 0,0166 |
| 26 | 6,7 | 1,0 | 6700 | 89,3 | 0,0333 | 38 | 2,6 | 1,0 | 2600 | 94,5 | 0,0333 |
| 27 | 9,3 | 1,5 | 6200 | 82,6 | 0,0500 | 39 | 3,7 | 1,5 | 2500 | 91,0 | 0,0500 |
| 28 | 11,6 | 2,0 | 5800 | 77,3 | 0,0666 | 40 | 4,8 | 2,0 | 2400 | 87,3 | 0,0666 |
| 29 | 15,7 | 3,0 | 5240 | 69,9 | 0,100 | 41 | 6,8 | 3,0 | 2250 | 81,8 | 0,100 |
| 30 | 19,4 | 4,0 | 4850 | 64,6 | 0,133 | 42 | 8,6 | 4,0 | 2150 | 78,2 | 0,133 |
| 31 | 22,7 | 5,0 | 4540 | 60,5 | 0,166 | 43 | 10,5 | 5,0 | 2100 | 76,4 | 0,166 |
| 32 | 25,5 | 6,0 | 4250 | 56,6 | 0,200 | 44 | 12,2 | 6,0 | 2030 | 73,8 | 0,200 |
| 33 | 30,6 | 8,0 | 3820 | 50,9 | 0,266 | 45 | 15,8 | 8,0 | 1970 | 71,6 | 0,266 |
| 34 | 35,0 | 10,0 | 3500 | 46,6 | 0,333 | 46 | 19,0 | 10,0 | 1900 | 69,1 | 0,333 |
| 35 | 39,6 | 12,0 | 3300 | 44,0 | 0,400 | 47 | 22,1 | 12,0 | 1840 | 66,9 | 0,400 |
| 36 | 44,6 | 14,0 | 3190 | 42,5 | 0,466 | 48 | 25,2 | 14,0 | 1800 | 65,4 | 0,466 |

Schweissbildung und damit keine oder nur eine geringere Verschlimmerung des Anfangszustandes eintritt. Es sei hier wiederholt, dass bei den Versuchen zwischen jeder Messung eine Pause eingeschaltet wurde und zwar von mindestens $\frac{1}{2}$ Minute, bei grösseren Strömen entsprechend mehr, um dem Organismus der Versuchsperson wieder Zeit zur Erholung zu geben.

Ueber die quantitativen, d. h. die zahlenmässigen Verhältnisse beim Stromdurchgang Hand-Hand geben die Tabelle III und die Figuren 2 bis 4 Aufschluss.

Die in den Tabellen enthaltenen Zahlen bedeuten nicht die aufgenommenen Werte, sondern Punkte ausgeglichener Grenzkurven. Alle gemessenen Punkte liegen zwischen diesen Werten. Bei den Auswertungen ist der Spannungsabfall im Amperemeter (Schaltungsschema Fig. 1) berücksichtigt worden.

Man sieht daraus, dass für anfangs „trockene“ Hände und im Anfangszustand Widerstände von 12000 Ohm (ein Ausnahmefall bis 30000 Ohm) bis hinunter auf 3500 Ohm gemessen wurden. Der Begriff „trockene“ Hand ist dabei allerdings ziemlich weit zu fassen, weil es eben Menschen gibt, die immer leicht feuchte Hände haben.

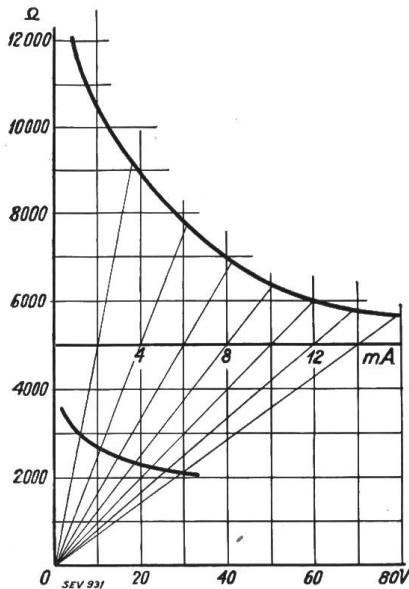


Fig. 2.

Verlauf des Widerstandes in Abhängigkeit der Spannung bei gleicher Berührungsart. Stromdurchgang Hand-Hand. Zwei Elektroden von 20 mm Durchmesser fest umfasst. Wechselstrom von 50 Per/sec.

Trockene Hände.

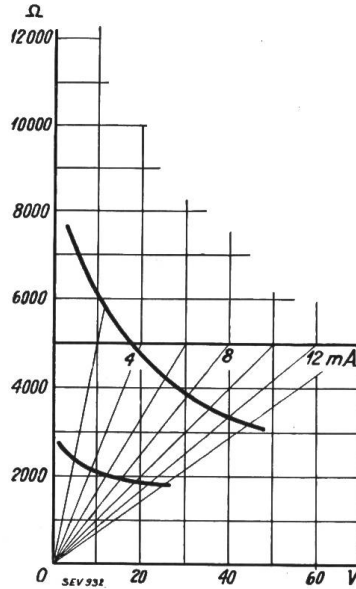


Fig. 3.

Nasse Hände.

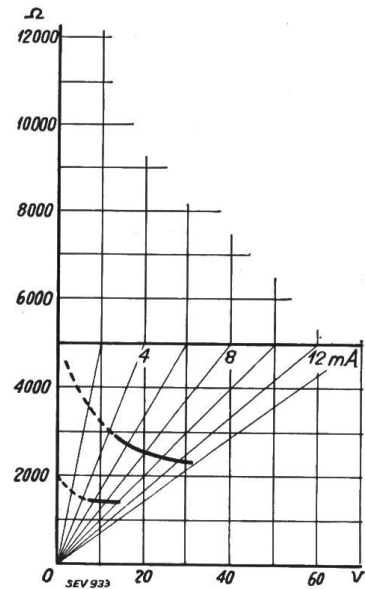


Fig. 4.

Mit Sodalaugabe benetzte Hände.

Für die höchst ertragene Stromstärke von ca. 15 mA (das ist nach der Zusammenstellung Tabelle II die Stromstärke, bei der das Loslassen der Elektroden nicht mehr oder nur mit Anstrengung möglich ist) sinkt der Widerstand auf 5700 bis 2200 Ohm. Die physiologischen Wirkungen des Stromes sind dann aber schon

Widerstand beim Stromdurchgang Hand-Hand. Elektroden \varnothing 20 mm. Mit Sodalaugabe benetzte Hände. Elektroden fest umfasst.

Tabelle V.

| Obere Grenzkurve | | | | | | Untere Grenzkurve | | | | | |
|------------------|------------|----------|---------------------|--------------|--|-------------------|------------|----------|---------------------|--------------|--|
| Lf. No. | Spannung V | Strom mA | Widerstand Ω | Widerstand % | Strom je cm ² Berührungsfläche mA | Lf. No. | Spannung V | Strom mA | Widerstand Ω | Widerstand % | Strom je cm ² Berührungsfläche mA |
| 49 ¹⁾ | 2,25 | 0,5 | 4500 | 100 | 0,0166 | 55 ¹⁾ | 0,96 | 0,5 | 1920 | 100 | 0,0166 |
| 50 | 12,0 | 4,0 | 3000 | 66,6 | 0,133 | 56 | 5,9 | 4,0 | 1470 | 76,5 | 0,133 |
| 51 | 14,3 | 5,0 | 2860 | 63,5 | 0,166 | 57 | 7,2 | 5,0 | 1450 | 75,5 | 0,166 |
| 52 | 16,3 | 6,0 | 2720 | 60,4 | 0,200 | 58 | 8,5 | 6,0 | 1420 | 74,0 | 0,200 |
| 53 | 20,2 | 8,0 | 2520 | 58,2 | 0,266 | 59 | 11,2 | 8,0 | 1400 | 73,0 | 0,266 |
| 54 | 24,0 | 10,0 | 2400 | 53,4 | 0,333 | 60 | 13,8 | 10,0 | 1380 | 72,0 | 0,333 |

¹⁾ Extrapolierte Punkte.

so gross, dass nicht mehr von trockenen Händen gesprochen werden darf. Selbst ausgesprochene Schwerarbeiter mit dicker, schwieliger Haut erhalten Schweissperlen an den Berührungsstellen.

Werden die Hände mit gewöhnlichem Brunnenwasser benetzt (gewaschene Hände), so misst man Widerstände Hand-Hand von anfangs 7500 Ohm bis 2800 Ohm, sinkend bis hinunter auf die Werte von 3200 bis 1800 Ohm bei 14 mA.

Wie aus der graphischen Darstellung Fig. 3 und der Tabelle IV ersichtlich ist, sind für die nassen Hände die Verschiedenheiten von Person zu Person wesentlich geringer als bei trockenen Händen.

Schliesslich wurde der Versuch mit Sodawasser ausgeführt, wobei eine abermalige Senkung des Widerstandes mit abermaliger Verminderung der Unterschiede festgestellt wurde (Tabelle V, Fig. 4).

Zu diesen Darstellungen ist zu bemerken, dass die wirklich an Personen gemessenen Kurven wohl im allgemeinen den Charakter der Grenzkurven aufweisen. Jedoch verlaufen diese Kurven nicht streng parallel. Auch gehört z. B. die oberste Kurve für feuchte Hände einer Person nicht zur obersten Kurve für trockene Hände derselben Person. Es kann z. B. die Kurve einer Person bei „trockenen“ Händen im mittleren Bereich, für nasse Hände aber z. B. fast an der oberen Grenzkurve liegen.

Wie den Kurven zu entnehmen ist, können schon bei ganz niedrigen Spannungen (unter 20 V) Ströme auftreten, die eine ernste Gefahr darstellen.

Erwähnt sei noch ein Messergebnis, das leider nicht reproduziert werden konnte. Eine Versuchsperson hat bei ihrer überhaupt erstmaligen Elektrisierung (mit einer Spannung von nur 3,5 V) wohl infolge der Angst vor dem vollständig Neuen einen Widerstand von kaum 1000 Ohm gehabt. Nachdem diese Person dann mit dem beim Elek-

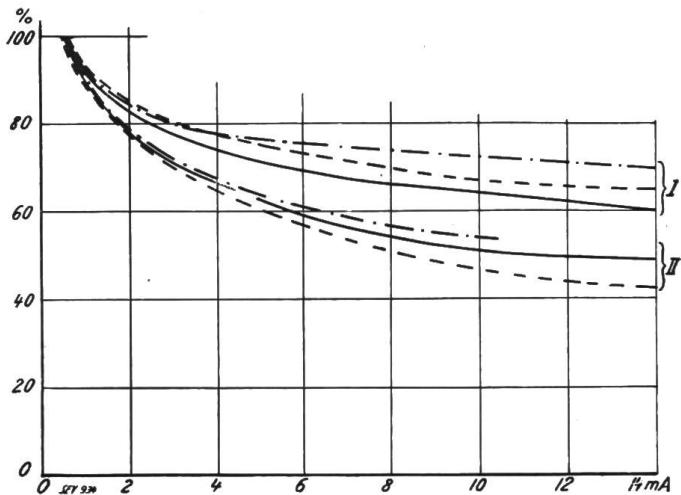


Fig. 5.
Verlauf des Widerstandes bei steigender Stromstärke.
Anfangswiderstand = 100%.

I Von Natur relativ feuchte Hände.
II Von Natur relativ trockene Hände.

Ausgezogene Linien gelten für trockene Hände.
Gestrichelte Linien gelten für nasse Hände.
Strichpunktierte Linien gelten für mit Sodawasser benetzte Hände.

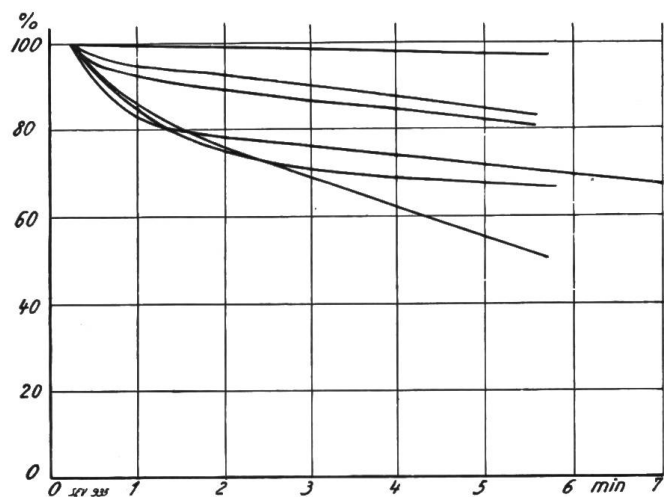


Fig. 6.
Verlauf des Widerstandes mit der Zeit, bei konstanter Spannung. Anfangswiderstand = 100%.

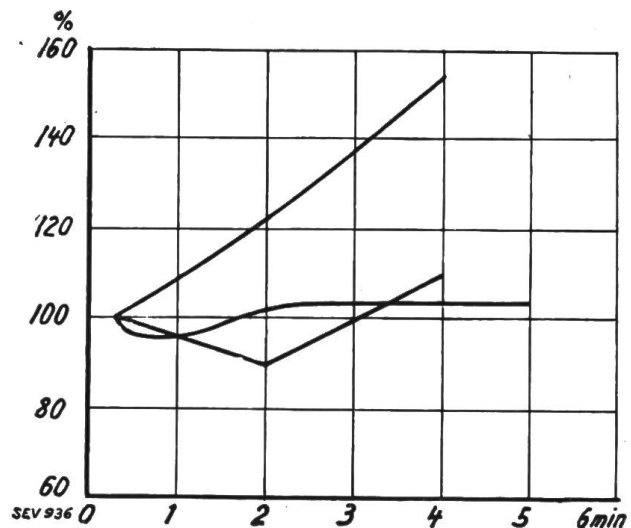


Fig. 7.
Verlauf des Widerstandes mit der Zeit, bei konstanter Spannung in einzelnen speziellen, unerklärlichen Fällen (psychologische Einflüsse?). Anfangswiderstand = 100%.

trisieren auftretenden Gefühl vertraut geworden war, stieg der Widerstand innerhalb die durch die anderen Versuche festgelegten Grenzen.

In Fig. 5 sind die prozentualen Widerstandsänderungen aufgetragen und zwar so, dass der Anfangswiderstand = 100 % gesetzt wurde. Es zeigt sich, dass der Widerstand mit steigender Stromstärke für relativ feuchte Hände auf ca. 60 %, für relativ trockene Hände auf ca. 50 % des Anfangswertes sinkt. Für gewaschene Hände sind die entsprechenden Werte 65 % und 42 % und für mit Sodalaugel be-netzte Hände rund 70 % und 50 %.

Aehnlich wie die Steigerung der Stromstärke wirkt auch die Verlängerung der Stromeinwirkung. Man kann sich das vielleicht so erklären, dass schon eine mässige Elektrisierung für die Muskeln eine lokal konzentrierte Arbeit bedeutet, die eine lokale Schweissbildung auslöst und dadurch eine Widerstandsabnahme herbeiführt. Es scheint eine leichte Elektrisierung von langer Dauer auf den Widerstand denselben Einfluss zu haben wie eine starke Elektrisierung von kürzerer Dauer.

Fig. 6 zeigt einige aufgenommene Kurven. Jedoch sind dabei keine Gesetzmässigkeiten zu Tage getreten und die in Fig. 7 eingetragenen Kurven zeigen, dass Einzelfälle in krassem Widerspruch zu dem in Fig. 6 dargestellten Verlauf stehen. Die Vermutung, dass Müdigkeit und körperliche Frische und der Wille entscheidenden Einfluss haben, müsste vorerst noch durch Versuche, die diese Umstände besonders berücksichtigen, bestätigt werden.

Die Versuche wurden sodann noch ausgedehnt auf den Stromdurchgang von Fuss zu Fuss und von den Füüssen zu einer Hand. Die von den Versuchspersonen geäusserten Empfindungen sind analog denjenigen beim Stromdurchgang Hand – Hand. Die Empfindlichkeit ist nur unwesentlich kleiner. Hier treten nun aber neue Teilwiderstände hinzu, bestehend im Schuhwerk, den Einlagesohlen und den Socken, wobei diese Widerstände im Vergleich zu den Körperwiderständen teils verschwindend klein, teils überwiegend gross sein können. Rohgummisohlen, trockene Einlagesohlen aus Stroh und Kork isolieren bei den zur Anwendung gekommenen Spannungen vollkommen. Je nach dem Zustand der Schuhe (Feuchtigkeit und Benagelung) erhält man Gesamtwiderstände Fuss – Fuss von 1300 Ohm bis ∞ . Aus den gleichen Gründen sind die zwischen Füüssen und Hand gemessenen Widerstände sehr verschieden. Die Werte liegen zwischen 2000 Ohm und ∞ .

Ein recht interessanter Fall war folgender: Die Versuchsperson wies an der rechten Hand ungefähr einen doppelt so hohen Widerstand (6000 Ohm) auf, als an der linken (kaum 3000 Ohm). Diese Person war also links viel empfindlicher und gefährdeter als rechts. Es mag dies eine Erscheinung sein, die mit der Gewöhnung, alles vorwiegend mit der rechten Hand zu tun, zusammenhängt, so dass die rechte Hand eine derbere Haut erhält als die linke.

Der Vollständigkeit halber mögen nun noch einige Einzelergebnisse gemäss Fig. 8 (A), Fig. 9 (F), Fig. 10 (R) und Fig. 11 (X) erwähnt werden. Eine Besprechung derselben dürfte sich nach dem Vorstehenden erübrigen.

Ferner wurden noch einige Versuche durchgeführt zur Ermittlung der Widerstandsabhängigkeit von der Grösse der Berührungsfläche, beziehungsweise von der spez. Stromdichte. Zu diesem Zwecke wurden von den Versuchspersonen Elektroden von verschiedenem Durchmesser angefasst und überdies Berührungen mit kleineren Flächen (einzelne Finger) untersucht. Einige der gemessenen Werte sind in der Tabelle VI eingetragen. Die Berührungsfläche wurde gemessen, indem die Elektroden vor dem Anfassen eingeschwärzt und dann in der Hand die eingeschwärzten Stellen gemessen wurden. Da die Berührung jedoch nie genau gleich ist, entstehen immer kleine Unterschiede, welche sich in scheinbaren Unterschieden des spezifischen Widerstandes spiegeln. Bei richtiger Ausmessung der Flächen sollten sich für eine Person ungefähr gleiche Widerstände pro 1 cm² ergeben. Die Abweichungen rühren auch davon her, dass der Widerstand von Körperstelle zu Körperstelle etwas ändert (z. B. harte Haut an Fingerbeeren, weiche Haut bei den Fingergelenken).

Offenbar darf man bei gleich grosser Stromdichte und gleichem Hautzustand den Widerstand als umgekehrt proportional der Berührungsfläche annehmen. Nimmt

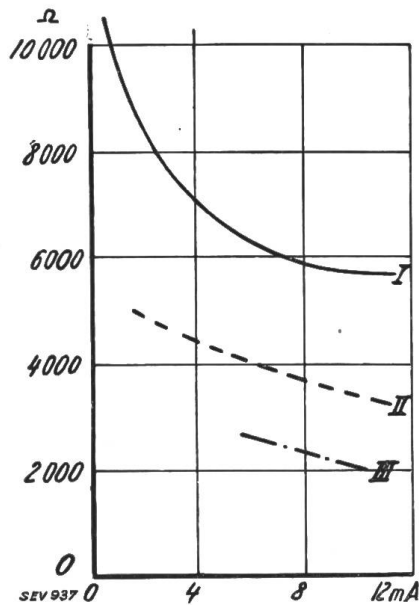


Fig. 8.

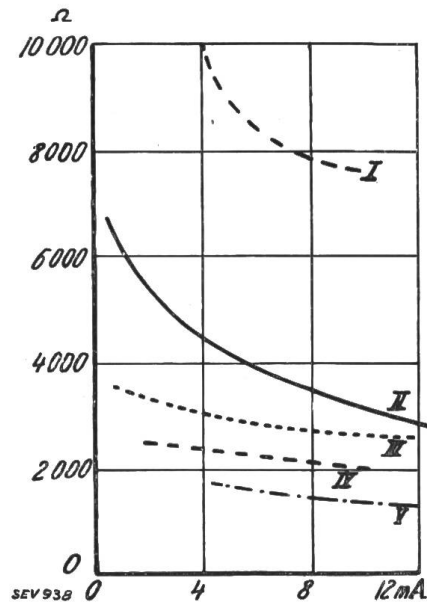


Fig. 9.

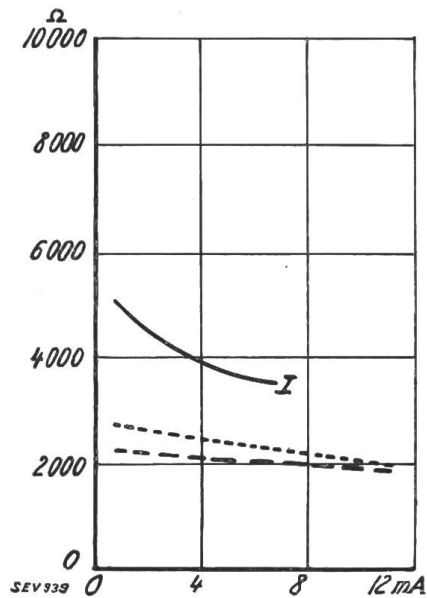


Fig. 10.

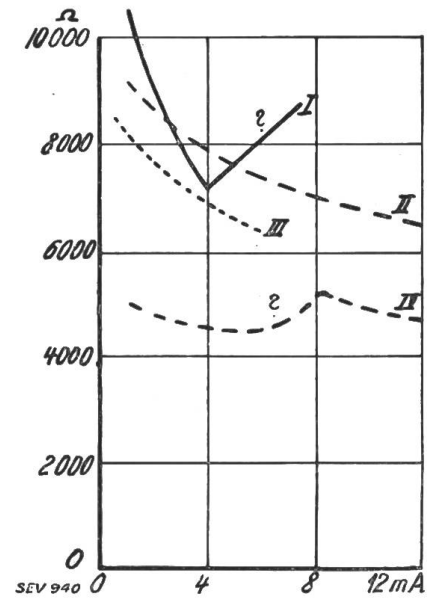


Fig. 11.

Charakteristische Kurven. Messergebnisse an einzelnen Versuchspersonen.

- | | | | |
|--|---|--|---|
| <p>Fig. 8. Versuchsperson A.</p> <ul style="list-style-type: none"> I Hand-Hand, trocken II Hand-Hand, nass III Hand-Hand, Soda | <p>Fig. 9. Versuchsperson F.</p> <ul style="list-style-type: none"> I Fuss-Fuss, nasse Schuhe II Hand-Hand, trocken III Füsse in nassen Schuhen, + eine trockene Hand IV Hand-Hand, nass V Hand-Hand, Soda | <p>Fig. 10. Versuchsperson R.</p> <ul style="list-style-type: none"> I Hand-Hand, trocken II Füsse in nassen Schuhen + eine trockene Hand III Fuss-Fuss, nasse Schuhe | <p>Fig. 11. Versuchsperson X.</p> <ul style="list-style-type: none"> I Hand-Hand, trocken II Fuss-Fuss, nasse Schuhe III Füsse, nasse Schuhe + rechte Hand, trocken IV Füsse, nasse Schuhe + linke Hand, trock. |
|--|---|--|---|

man weiter an, dass die gemessenen Körperwiderstände Hand-Hand sich aus zwei gleich grossen Einzelwiderständen zusammensetzen, was für die Mehrzahl der Leute

gültig ist, so kann man aus den Messungen schliessen, dass 1 cm² Haut einen Widerstand von ca.

$$30 \times \frac{1500}{2} = 22500 \text{ Ohm bis ca. } 30 \times \frac{12000}{2} = 180000 \text{ Ohm}$$

aufweist.

*Widerstand beim Stromdurchgang Hand-Hand; trockene Hände.
Berührungsfläche mit Elektrode verschieden gross, jedoch an beiden Händen jeweilen gleich gross.*

Tabelle VI.

| Lf. No. | Ver-suchs-person | Elek-troden-durch-messer mm | Berührungsart | Span-nung V | Strom mA | Wider-stand Ω | Be-rüh-rungs-fläche cm ² (ca.) | Körper-Wider-stand je cm ² Ω | Einfach. Haut-Wider-stand je cm ² Ω | Strom je cm ² Fläche mA |
|---------|------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|----------|----------------------|---|--|---|------------------------------------|
| 61 | F | 9 | Beide Hände, fest | 35,0 | 8,0 | 4 375 | 18 | 78 700 | 39 350 | 0,445 |
| 62 | | 9 | " " " | 42,0 | 9,0 | 4 670 | 18 | 84 000 | 42 000 | 0,500 |
| 63 | | 20 | B. H., je 3 Fingerspitzen | 44,0 | 3,0 | 14 700 | 5,5 | 80 800 | 40 400 | 0,545 |
| 64 | | 20 | Beide Hände, Handballen | 44,0 | 1,9 | 23 400 | 3,2 | 75 000 | 37 500 | 0,593 |
| 65 | | 20 | Eine Hand, je 1 Finger | 45,0 | 0,4 | 112 000 | ~ 0,75 | ~ 84 000 | ~ 42 000 | 0,533 |
| 66 | | 20 | Beide Hände, fest | 34,0 | 11,6 | 2 940 | 30,0 | 88 200 | 44 100 | 0,386 |
| 67 | O | 20 | " " " | 34,0 | 9,35 | 3 640 | 30,0 | 109 000 | 54 500 | 0,312 |
| 68 | | 9 | " " " | 34,0 | 4,35 | 7 820 | 14,0 | 109 200 | 54 600 | 0,276 |
| 69 | | 9 | " " " | 39,5 | 5,86 | 6 730 | 14,0 | 94 200 | 47 100 | 0,418 |
| 70 | | 9 | " " " | 35,9 | 5,27 | 6 810 | 14,0 | 95 300 | 47 650 | 0,376 |
| 71 | | 9 | " " " | 27,4 | 3,93 | 6 970 | 14,0 | 97 300 | 48 650 | 0,286 |

Es lässt sich so für eine Berührung der Widerstand zum voraus abschätzen, indem der Gesamtwiderstand

$$\text{zwischen } R = \frac{22500}{f_1} + \frac{22500}{f_2} = \frac{(f_2 + f_1) \times 22500}{f_1 \times f_2}$$

$$\text{und } R = \frac{180000}{f_1} + \frac{180000}{f_2} = \frac{(f_2 + f_1) \times 180000}{f_1 \times f_2}$$

liegen wird, wobei f_1 und f_2 die Berührungsflächen in cm² bedeuten.

Gewisse Unfälle, bei denen das Opfer z. B. mit Werkzeug einen kräftigen Druck ausübte (Linienzange), lassen endlich noch die Vermutung aufkommen, dass der Berührungsdruck für den Unfallverlauf von Belang sei. Hiezu ist zu sagen, dass durch Erhöhung der Pressung in erster Linie eine Vergrösserung der Berührungsfläche erzeugt wird, weil die vielen Unebenheiten der Haut verflacht werden. Ob darüber hinaus eine Veränderung des Hautwiderstandes eintritt, ist durch eine Versuchsreihe abzuklären versucht worden. Fig. 12 zeigt zwei Kurven, welche mit zunehmender Pressung eine Widerstandsabnahme zeigen. Jedoch ergab sich bei andern Versuchen keine Gesetzmässigkeit, so dass noch nicht von einem sichern Ergebnis gesprochen werden darf.

5. Versuche mit Gleichstrom.

Die Gefühle sind bei Gleichstrom-Elektrisierung wesentlich verschieden von denjenigen bei Wechselstrom. Beim Anfassen und Loslassen der Elektroden ist ein „Schlag“ verspürbar. Nachher konzentriert sich die gesamte Wirkung auf die Berührungsstellen. Die Versuchsperson hat das Gefühl einer lokalen Erhitzung. Die Gleichstrom-Elektrisierung lässt sich nur kurze Zeit ertragen, da sie recht unangenehm ist.

Die Messungen ergaben die in Tabelle VII zusammengestellten Ergebnisse für den Stromdurchgang Hand-Hand. Eine Stromstärke von 10 bis 12 mA ist schon sehr unangenehm und muss als Grenze des Erträglichen angesprochen werden.

Fig. 13 zeigt die obigen Zahlen in graphischer Darstellung. Die Verhältnisse sind etwas verändert gegenüber Wechselstrom; indessen stimmen die Widerstände

im grossen und ganzen mit den mit Wechselstrom gemessenen Werten überein, wenn man die Berührungsflächen berücksichtigt.

Hat beispielsweise eine Person bei je 16 cm² Berührungsfläche einen Widerstand von 10000 Ohm und wird sie dabei von einem Strom von 5,5 mA durchflossen, so wäre der Widerstand bei 30 cm²

Berührungsfläche $\frac{10000 \times 16}{30} = 5330$ Ohm, wiederum bei 5,5 mA Strom.

6. Schlussfolgerungen.

Nachdem durch die Besprechung obiger Versuchsergebnisse ein ungefährer Ueberblick über die Widerstandsverhältnisse des menschlichen Körpers gewonnen worden ist, lassen sich einige Schlüsse auf die Grenzen ziehen, von denen an die Spannung „gefährlich“ ist. Man sieht, dass Körperwiderstände Hand-Hand oder Hand-Fuss von 2000 Ohm nichts seltenes sind, dass aber unter besonders ungünstigen Verhältnissen, z. B. in chemischen Betrieben oder auch nur bei Reinigungsarbeiten im gewöhnlichen Haushalt, welche mit Sodalaugae ausgeführt werden, Körperwiderstände bis auf 1500 Ohm herab auftreten. Man weiss nun auch, dass eine Stromstärke von 15 mA das Loslassen verunmöglicht und erhält somit als gefährliche Spannung für den empfindlichsten Menschen und unter den ungünstigsten Umständen beim Stromdurchgang Hand-Hand für trockene Hände $2000 \times 0,015 = 30$ V und für nasse Hände $1500 \times 0,015 = 22,5$ V.

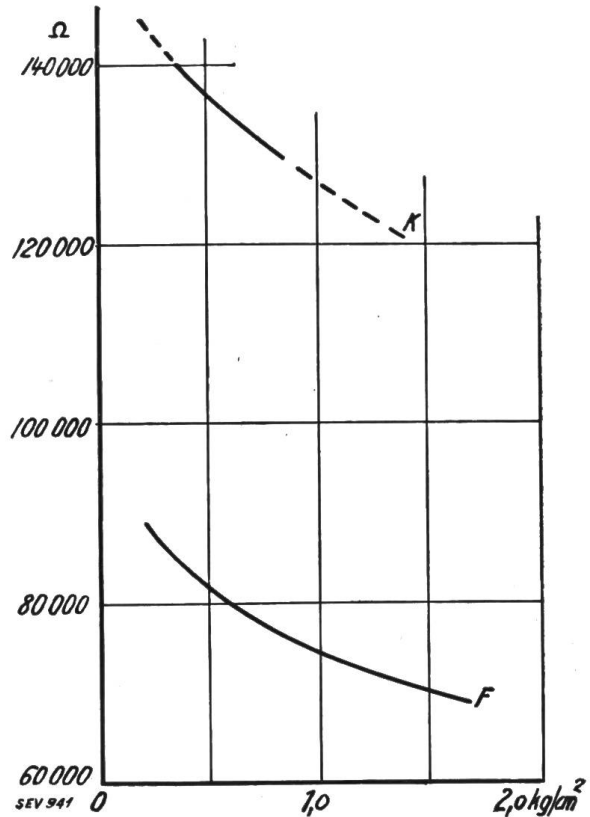


Fig. 12.

Verlauf des Widerstandes pro 1 cm² der Berührungsfläche in Funktion der Pressung an der Berührungsfläche bei zwei Versuchspersonen K und F.

Elektrisierung mit Gleichstrom.

Widerstand beim Stromdurchgang Hand-Hand. Elektroden Φ 9 mm. (Berührungsfläche je ca. 16 cm².) Trockene Hände.

Tabelle VII.

| Obere Grenzkurve | | | | | | Untere Grenzkurve | | | | | |
|------------------|------------|----------|---------------------|--------------|--|-------------------|------------|----------|---------------------|--------------|--|
| Lf. No. | Spannung V | Strom mA | Widerstand Ω | Widerstand % | Strom je cm ² Berührungsfläche mA | Lf. No. | Spannung V | Strom mA | Widerstand Ω | Widerstand % | Strom je cm ² Berührungsfläche mA |
| 72 | 20,0 | 0,5 | 40 000 | 100 | 0,0312 | 84 | 4,8 | 0,5 | 9600 | 100 | 0,0312 |
| 73 | 35,6 | 1,0 | 35 600 | 89,0 | 0,0625 | 85 | 9,0 | 1,0 | 9000 | 93,7 | 0,0625 |
| 74 | 47,4 | 1,5 | 31 600 | 79,0 | 0,0937 | 86 | 12,6 | 1,5 | 8400 | 87,5 | 0,0937 |
| 75 | 55,2 | 2,0 | 27 600 | 69,0 | 0,125 | 87 | 16,0 | 2,0 | 8000 | 83,3 | 0,125 |
| 76 | 63,5 | 3,0 | 21 200 | 53,0 | 0,188 | 88 | 22,2 | 3,0 | 7400 | 77,0 | 0,188 |
| 77 | 68,8 | 4,0 | 17 200 | 43,0 | 0,250 | 89 | 26,8 | 4,0 | 6700 | 69,8 | 0,250 |
| 78 | 73,9 | 5,0 | 14 800 | 37,0 | 0,312 | 90 | 31,0 | 5,0 | 6200 | 64,5 | 0,312 |
| 79 | 79,1 | 6,0 | 13 200 | 33,0 | 0,374 | 91 | 34,2 | 6,0 | 5700 | 59,4 | 0,374 |
| 80 | 86,3 | 8,0 | 10 800 | 27,0 | 0,500 | 92 | 39,2 | 8,0 | 4900 | 51,0 | 0,500 |
| 81 | 90,0 | 10,0 | 9 000 | 22,5 | 0,625 | 93 | 43,0 | 10,0 | 4300 | 44,8 | 0,625 |
| 82 | 94,7 | 12,0 | 7 900 | 19,8 | 0,750 | 94 | 46,7 | 12,0 | 3900 | 40,6 | 0,750 |
| 83 | 100,7 | 14,0 | 7 200 | 18,0 | 0,875 | 95 | 51,8 | 14,0 | 3700 | 38,5 | 0,875 |

Dies gilt aber nur unter der Voraussetzung von verhältnismässig kleinen Berührungsflächen (ca. $2 \times 30 \text{ cm}^2$). Eine im Bade befindliche Person ist natürlich noch stärker gefährdet. Rechnet man mit 15000 cm^2 ($1,5 \text{ m}^2$) für den vom Bad benetzten Körper und 30 cm^2 für die Hand, welche einen spannungsführenden Hahn oder Lampenfuss umfasst, so erhält man einen Körperwiderstand von

$$R = \frac{22500}{15000} + \frac{22500}{30} = 1,5 + 750 \sim 752 \text{ Ohm.}$$

Die gefährliche Spannung wird in diesem Falle nur noch $752 \times 0,015 = 11,3 \text{ V}$ betragen.

Wollte man andererseits eine analoge Ueberlegung für ganz kleine Berührungsflächen ausführen, so sieht man bald ein, dass dies unzulässig ist. Hat 1 cm^2 Haut einen Widerstand von 30000 Ohm , so hat 1 mm^2 einen solchen von 3 Millionen

Ohm. Eine Person, die also eine 45000 V -Leitung mit einer Nadel berührte, erhielte nach dieser Rechnung nur einen Strom von $45000 : 3000000 = 0,015 \text{ A}$. Das ist natürlich ein Trugschluss.

Schon diese einfache Gegenüberstellung deutet daraufhin, dass nicht nur die Stromstärke als solche, sondern auch die spez. Stromstärke von ausschlaggebender Bedeutung ist. Eine Stromstärke von 15 mA pro mm^2 bewirkt eben tiefgreifende physikalische und chemische Veränderungen in der Haut, so dass eine andere und zwar viel grössere Leitfähigkeit entsteht. Bei den vorgenommenen Versuchen ist man natürlich noch weit von den Grenzen entfernt geblieben, wo solche Veränderungen, die gewöhnlich als Verbrennungen bezeichnet werden, eintreten, so dass quantitative Schlüsse in dieser Richtung unzulässig sind. Solche Verhältnisse müssten durch besondere Versuche am toten Körper oder am Tier näher untersucht werden. Wahrscheinlich aber liegen die Grenzen in dieser Richtung gar nicht besonders hoch und sie sind nicht erst im Bereich der Hochspannung zu suchen. Denn schon bei Unfällen

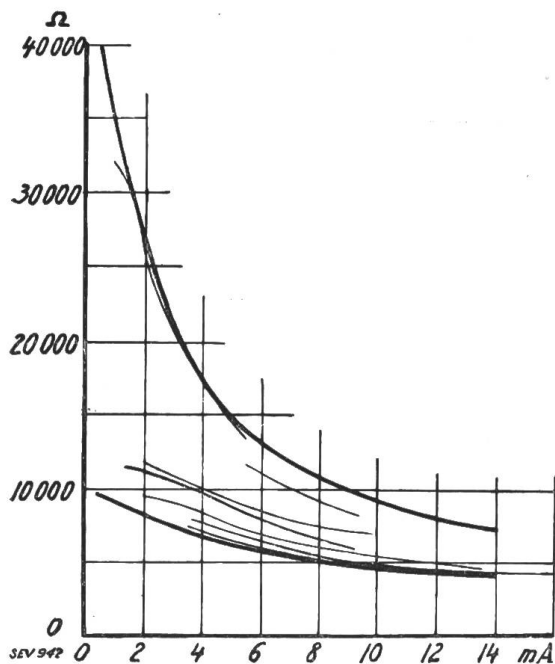


Fig. 13.

Elektrisierung mit Gleichstrom.

Verlauf des Widerstandes Hand-Hand bei verschiedenen Versuchspersonen in Funktion der Stromstärke. Elektroden von 9 mm Durchmesser fest umfasst. Die dick ausgezogenen Kurven sind die Grenzkurven.

mit z. B. 220 V sind sogenannte Strommarken, also physikalische Veränderungen der Haut festgestellt worden.

Weitere Schlüsse sollen aus den Versuchen vorläufig nicht gezogen werden, mit Rücksicht darauf, dass hoffentlich recht bald die Bearbeitung und Abklärung des vorliegenden Fragenkomplexes auf breiterer Basis von der seit einiger Zeit bestehenden „Aerztekommission des V. S. E. zum Studium von Starkstromunfällen“ in Verbindung mit dem Starkstrom-Inspektorat und den Technischen Prüfanstalten des S. E. V. an die Hand genommen werden wird. Es sei hier nur noch auf einige Punkte hingewiesen, die ebenfalls einer Abklärung bedürfen.

1. Einfluss der Frequenz auf den Widerstand und das Verhalten beim Stromdurchgang.
2. Einfluss der Ermüdung.
3. Einfluss der Tageszeiten (als Spezialfall von Punkt 2 aufzufassen).
4. Einflüsse der Ernährung und des Genusses von Flüssigkeiten, besonders von alkoholhaltigen Getränken.

5. Einfluss des Alters (wichtig wegen Gefährdung von Kindern und Kleinkindern z. B. durch elektr. Spielzeug).
6. Einfluss der Verletzungen.

Das Gebiet ist so vielseitig, dass es schwer halten dürfte, nach allen Richtungen erschöpfende Untersuchungen anzustellen. Eine möglichst genaue Erfassung und Nachprüfung der Unfälle der Praxis könnte unter Umständen eine wertvolle Ergänzung der Versuche darstellen. Erst wenn die Messergebnisse durch eine grosse Menge von Daten, wie sie nur eine Statistik zu liefern imstande ist, bestätigt sind, dürfen Versuchsergebnisse verallgemeinert werden. Eine Abklärung ist aber unbedingt notwendig, weil die heute in den Bundesvorschriften und den Vorschriften des S.E.V. enthaltenen bzw. einzelnen ihrer Bestimmungen zu Grunde gelegten oberen Grenzen der angeblichen Ungefährlichkeit der Spannung im Vergleich zum Resultat obiger Versuche sehr hoch angesetzt erscheinen. Sie ist für die Elektrizitätswerke auch darum eine dringende Notwendigkeit, weil die heute noch viel zu summarische Ansetzung der Gefährlichkeitsgrenze die Verschiedenartigkeit der Vorgänge beim Stromdurchgang durch den menschlichen Körper und ihre Begleitumstände unberücksichtigt lässt und dadurch Personal, das die Vorschriften zwar kennt, aber nicht über ausreichende elektrotechnische Kenntnisse verfügt oder ungenügend instruiert ist, direkt zur Unvorsichtigkeit sich selber und Dritten gegenüber verleiten kann.

Wirtschaftliche Mitteilungen. — Communications de nature économique.

Aus Geschäftsberichten bedeutenderer schweizerischer Elektrizitätswerke.

Elektrizitätswerk Otten-Aarburg, für die Periode vom 1. April 1928 bis 31. Mai 1929.

Mit Ausnahme des letzten Quartals war die Wasserführung im Berichtsjahre eine günstige. Es konnten 306,8 Millionen kWh nutzbar gemacht werden, wovon 42,7 auf Ruppoldingen, der Rest auf Gösgen entfallen.

| | Fr. |
|--|-----------|
| Die aus dem Verkauf der Energie erzielte Bruttoeinnahme betrug . . . | 5 423 446 |
| Diverse andere Einnahmen und Aktivzinsen beliefen sich auf . . . | 245 782 |
| die Obligationenzinsen betragen . . | 1 420 000 |
| die Steuern u. Konzessionsgebühren | 643 731 |
| die übrigen Geschäftsunkosten . . . | 1 128 515 |
| Zu Abschreibungen und Rückstellungen wurden verwendet | 1 164 452 |
| Die Aktionäre erhalten (8 %) | 1 200 000 |
| Der Verwaltungsrat | 69 253 |

Auf Ende März ist das Aktienkapital um 5 Millionen erhöht worden zwecks Rückzahlung der siebenprozentigen Obligationenanleihe im Betrage von 6 Millionen.

Die Gesamtanlagen, inkl. Wohnhäuser und Verwaltungsgebäude, ohne Betriebsmaterialien, stehen mit 39,0 Millionen zu Buche, die Effekten und Beteiligungen (Gesellschaft des Aare- und Emmenkanals, Schweiz. Kraftübertragung) mit 1,3 Millionen.

Das Aktienkapital beträgt nun 20 Millionen, das Obligationenkapital ebenso viel.

Kraftwerke Brusio A.-G. Poschiavo, pro 1928.

Dank der neuen Anlagen in Cavaglia und Palü konnte die Energieproduktion bedeutend erhöht und der Absatz gegenüber dem Vorjahre um mehr als 20 % gesteigert werden.

| | Fr. |
|----------------------------------|-----------|
| Die Einnahmen betragen | 3 145 813 |

| | Fr. |
|--|---------|
| Die Ausgaben betragen: | |
| für Passivzinsen | 567 833 |
| für Konzessionsgebühren und fiskalische Lasten | 358 621 |
| für Versicherungen und Diverses . | 200 082 |
| für Unterhalt, Reparaturen und Betriebsmaterial | 295 743 |
| für Verwaltung, Direktion u. Personal | 374 449 |
| zu Abschreibungen wurden verwendet | 750 000 |
| an Dividenden (7%) an Prioritäts- und an Stammaktien | 525 000 |

Das Aktienkapital beträgt 7,5 Millionen, die Obligationenschuld 11 Millionen.

Elektrizitätswerk der Stadt Schaffhausen, pro 1928.

Die erzeugte und bezogene Energiemenge hat 40,03 Millionen kWh betragen. Davon sind 15,01 Mill. Eigenproduktion und 25,02 Mill. kWh Fremdenergiebezug, wovon 20,53 an die Stahlwerke Fischer abgegeben wurden und 4,49 Mill. zur Deckung des Energiebedarfes dienten.

Der Anschlusswert aller Verbrauchsapparate betrug Ende 1928 im Kraftnetz 16 593 kW, im Lichtnetz 7195 kW. Die maximale Belastung der eigenen Maschinen betrug 4300 kW, der maximale Kraftbezug aus dem Kantonswerk 6900 kW.

| | Fr. |
|---|-----------|
| Die Einnahmen aus Stromverkauf u. Mieten betragen | 1 499 130 |
| Die Reineinnahmen aus dem Installationsgeschäft | 10 000 |
| Die Einnahmen aus Wertschriften . | 52 608 |
| Total | 1 561 738 |

| | |
|-------------------------------------|---------|
| Die Ausgaben betragen für: | |
| Verwaltung, Betrieb und Unterhalt . | 498 834 |
| Uebertrag | 498 834 |