Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 17 (1926)
Heft: 11

Artikel: Probleme der Elektro-Pathologie
Autor: Schwyzer, Fritz
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059815

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: 13.12.2025

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke | REDAKTION Zürich 8, Seefeldstr. 301 | Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union de Centrales Suisses d'électricité

Verlag und Administration | Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G. Zürich 4, Stauffacherquai 36/38 | Editeur et Administration

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet | Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XVII. Jahrgang XVII^e Année | Bulletin No. 11 | November Novembre 1926

Probleme der Elektro-Pathologie.

Von Dr. med. *Fritz Schwyzer*, Kastanienbaum.

61 : 537

Die Verhütung elektrischer Unfälle macht durch stetige Verbesserung der elektrischen Apparate und durch Verschärfung der Vorschriften erfreuliche Fortschritte. Viel weniger abgeklärt ist das Problem der Rettung und Behandlung der vom elektrischen Unfall Betroffenen. Die Aerzte haben mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen, denn Wesen und Aufbau der lebenden Gewebe sind sehr kompliziert, so dass die Ueberlegungen über elektrische Beschädigungen bis an die Lehre von Atomen und Elektronen hinreichen. Der Autor hat versucht, die Gedankengänge der Aerzte für die Elektrotechniker verständlich darzustellen und zugleich den Aerzten die wichtigsten elektrischen Grundprinzipien soweit klar zu machen, dass Techniker und Arzt bei Unfällen sich leichter verstehen sollten.

Die Hypothese des Verfassers über die Wirkung der unterbrochenen Ströme auf die lebenden Zellen, seine Auffassung gewisser Beschädigungen als Wirkung von Ionenschwingungen, dürfte auch für Elektrotechniker von Interesse sein.

Hoffen wir, dass es elektrotechnisch geschulten Aerzten gelingen möge, mehr Klarheit in die Elektro-Pathologie zu bringen, so dass viele der Schwerverletzten wieder zum Leben zurückgerufen werden können. Wir Techniker wollen inzwischen unser Bestes tun, auf dem schon lange eingeschlagenen Weg, dessen Ziel ist: Unfälle verhüten, weiter zu schreiten.

Les précautions prises pour parer aux accidents par électrocution gagnent à l'heure actuelle en efficacité, grâce à une amélioration constante de l'appareillage électrique, comme aussi à des prescriptions plus sévères. Le problème du sauvetage et du traitement des électrocutés est par contre beaucoup moins éclairci. Les médecins rencontrent ici de grandes difficultés, car la nature et la constitution des tissus vivants sont extrêmement complexes, de sorte que les considérations relatives aux méfaits du courant électrique à travers le corps doivent tenir compte de la théorie des atomes et des ions. L'auteur a essayé ici de faire comprendre aux techniciens la pensée des médecins, et en même temps de mettre les principes fondamentaux les plus importants de l'électrotechnique à la portée des médecins, de façon que le technicien et le médecin puissent se comprendre facilement en cas d'accident. Le technicien ne lira pas non plus sans intérêt l'exposé de l'hypothèse de l'auteur quant à l'action des courants non continus sur les cellules vivantes, et sa conception suivant laquelle certaines lésions seraient dues à des oscillations d'ions. Espérons que des médecins préparés par une culture électrotechnique arriveront à faire plus de lumière dans l'électro-pathologie, et qu'il sera possible alors de ramener à la vie bon nombre d'électrocutés gravement atteints. Quant à nous techniciens, nous continuerons à travailler de notre mieux au perfectionnement des mesures préventives contre les accidents.

Trotz der Häufigkeit elektrischer Unfälle hat der einzelne Arzt keine Gelegenheit, damit Erfahrungen zu sammeln. Denn die Unfälle passieren entlang einem Netze von elektrischen Leitungen, welches in der Schweiz allein viele Tausende von Kilometern misst, an irgend einem Anschluss, einer Lichtleitung, einem Motor, oder in einer Kraftzentrale, oder an einem Transformator. In Kliniken und Hospitälern, wo man am ehesten die Möglichkeit hätte zu genauerem Studium, und in den schweren Fällen zu erfolgreicher Rettungsaktion, kommen sie nur selten vor. Für Schwerbeschädigte, wenn das Herz oder das Zentralnervensystem getroffen

worden ist, muss in Eile der nächste Arzt geholt werden, und sehr oft kommt die ärztliche Hilfe zu spät. So kann jeder Arzt einmal gerufen werden, selten zweimal. Ist der Verunglückte schon tot, so besteht, auch bei den Aerzten, im ganzen wenig Interesse an genauer Untersuchung der Leiche. Bekanntlich ist relativ wenig zu finden, so wenig, dass es oft schwer hält, den Nachweis zu erbringen, dass die Elektrizität die Schuld an dem Unfall trägt. So ist die Lehre vom elektrischen Herz- und Hirntod noch wenig ausgearbeitet, während wir über die elektrischen Verbrennungen, für die Zwecke der Praxis, recht gut orientiert sind.

Ueber Herz- und Atmungslähmung durch Berührung mit elektrischen Drähten ist schon ziemlich viel geschrieben worden, aber meistens sind es Aufsätze, welche sich auf das sehr unvollständige Material kasuistischer Mitteilungen stützen.

Die gleichen Statistiken sind wieder und wieder benutzt worden; der eine Autor zieht diese, der andere jene Schlüsse daraus. So hat H. Schridde (Deutsche medizinische Wochenschrift 1926, No. 38) eine Arbeit geschrieben über die Stromeintrittsstellen beim elektrischen Tode, in der er sich in der Hauptsache auf die Statistik Boruttau's stützt. Diese umfasst 1190, aber so unvollkommen verarbeitete Fälle, dass oft nur einige Worte einen Unfall erwähnen, und dass Schridde selber bloss 55 Unfallsberichte fand, die er für seine Zwecke verwenden konnte. Er zieht daraus allerdings keine besonders wichtigen Schlüsse. Es braucht keine Beweise dafür, dass das Herz am ehesten leidet, wenn es in der kürzesten Verbindungslinie der zwei Kontaktstellen liegt; also bei Querdurchströmung von Arm zu Arm und bei Längsdurchströmung vom linken Arme oder Kopf zu den Füssen. Die Strombahnen ergeben sich von selber, wenn man die leitenden Querschnitte betrachtet und die Widerstände, welche von den einzelnen Gewebegattungen des Querschnitts geleistet werden.

Wir brauchen vor allem genaue Berichterstattung über jeden einzelnen Fall, wie dies vom Starkstrominspektorat des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins wenigstens in elektrischer Beziehung schon seit einer Reihe von Jahren angestrebt wird. Leider sind die medizinischen Berichte über die einzelnen Fälle oft ungenügend, besonders wenn der Arzt erst nach dem Tode des Opfers an der Unfallstelle erschienen ist, und er mit dem Falle nichts weiter zu tun hatte, als den Tod und die Todesursache festzustellen. Die Angehörigen des Verunglückten haben begreiflicherweise kein Interesse daran, dass die Leiche zu wissenschaftlichen Untersuchungen verwendet werde, und solange die Behörden bei elektrisch Getöteten eine Obduktion nicht *verlangen,* wird die Elektro-Pathologie nur durch Experimentalarbeiten an Tieren gefördert werden können. Die Aufstellung eines kompletten Fragenschemas für den hinzugerufenen und für den obduzierenden Arzt ist unerlässlich, und dadurch würde in vielen Fällen ein brauchbares Material geschaffen. Das Publikum sollte darüber belehrt werden, dass es im Interesse künftiger Opfer liegt, wenn jeder tötliche Unfall möglichst genau, auch anatomisch, untersucht wird. – Von den Starkstrombeschädigungen des Zentralnervensystemes z. B. wissen wir sozusagen gar nichts. Vielleicht würde es gelingen, an den Nervenzellen charakteristische Beschädigungen nachzuweisen, wenn man genügendes, frisches Material hätte. (Allerdings ist auch in Nordamerika, wo von elektrischen Hinrichtungen her recht viel Material erhalten werden kann, die mikroskopische Anatomie des getöteten Hirnes noch nicht aufgeklärt worden.)

Unsere Kenntnisse könnten durch Nachahmung der Unfälle an Tieren erweitert werden, indem man die Gleichungen mit vielen Unbekannten, wie sie der Unfall am Menschen darstellt, auf Gleichungen mit je einer Unbekannten zu reduzieren versucht, und womöglich nur mit messbaren Faktoren arbeitet. So sollte es gelingen, die physiologischen Vorgänge beim Unfalle mit elektrischen Strömen genauer zu erkennen und zu bewerten. Das können nur Biologen zustande bringen, welche genügende Kenntnisse der Elektrizitätslehre besitzen. Oder sie sollten sich mit Elektroingenieuren für solche Arbeiten associieren. Aus diesem Grunde war es mir sehr lieb, diesen Aufsatz in einer Zeitschrift zu publizieren, welche von Elektrotechnikern gelesen wird. Ich möchte diese bitten, wissenschaftliche Experimentalarbeiten be-

sonders über die Beschädigung des Herzens und des Zentralnervensystems zu unterstützen, sei es durch Mitarbeit, sei es, indem sie Experimentalforscher dazu auffordern, oder sei es durch pekuniäre Mithilfe. Die Leiter der grossen Kraftwerke könnten Preisaufgaben ausschreiben, um jungen Aerzten solche Arbeiten zu erleichtern. Die Ausgaben für Tiere und Apparate sind manchmal beträchtlich, und besonders für junge Forscher abschreckend; um so eher, als ruhmvolle Ergebnisse auf diesem Gebiete kaum zu erwarten sind. Für die Elektrizitätswerke und für die Versicherungsanstalten besteht ein sehr grosses Interesse an Arbeiten, welche geeignet sind, die Folgen elektrischer Unfälle zu mildern, ganz abgesehen von dem mit Geld gar nicht messbaren Gewinne, den die Rettung eines Menschenlebens bedeutet.

I. Wir schicken einige orientierende Bemerkungen über technische Ströme voraus, denn nicht jeder Arzt hat Gelegenheit gehabt, darüber Kenntnisse zu erwerben. Der physiologische Unterricht befasst sich hauptsächlich mit den schwachen Potentialen, welche das Leben der Zelle, die Tätigkeit der Muskeln und Nerven begleiten, oder welche als Reizmittel für Muskeln und Nerven gebraucht werden (faradische und galvanische Ströme).

In der Elektrotherapie benützen die Aerzte auch niedergespannte Starkströme (Hausströme), für welche von Spezialgeschäften alle möglichen Anschlussapparate geliefert werden, und die im ganzen so konstruiert sind, dass man ohne Sachkenntnis galvanisieren, faradisieren, durchleuchten, diathermieren und mit Sinusoidalströmen arbeiten kann. Die meisten Aerzte würden davor zurückschrecken, wenn sie wüssten, was man ohne Spezialkenntnisse mit solchen Einrichtungen anstellen kann, wenn irgend etwas „nicht klappt", und ganz besonders, wenn man die Behandlung dem Heilpersonal überlässt. Ich erinnere an die vielen Todesfälle, welche bei ungeschickter Bedienung der Sinusoidalapparate vorgekommen sind. Bei Benutzung von Röntgenapparaten kommt der Arzt mit zwei gefährlichen Kräften in Berührung, mit den stärkeren Lichtströmen, oft 200 – 400 Volt und mit den vielfach gefährlichen Strahlen. Es ist jetzt allgemein anerkannt, dass nur Spezialisten und speziell geschulte Aerzte diese nicht ungefährlichen Kräfte benützen sollten.

Ueber die „Hausströme", wie sie für Licht, Heizung und Motoren jedermann zugänglich sind, hören die jungen Mediziner am ehesten in den Vorlesungen über Unfallsmedizin (und gerichtliche). Spezieller Unterricht darüber wäre dringend erwünscht, denn diese Ströme liefern den Aerzten jedes Jahr viel mehr Arbeit als manche pathogenen Bakterien. Gibt es doch in der Schweiz allein jährlich hunderte von Verletzungsfällen durch Elektrizität.

Die Technik verwendet Gleichströme und Wechselströme. Die Ersteren werden entweder von Dynamomaschinen geliefert (Generatoren), und haben dann ähnliche Eigenschaften wie die Ströme von Batterien (Elementen oder Akkumulatoren). Oder sie können aus Wechselströmen durch Gleichrichter gewonnen werden und sind dann den Batterieströmen ähnlich insofern, als sie eine konstante Stromrichtung zeigen (so dass man beim Anschluss einen positiven und einen negativen Pol bekommt), aber der Strom fliesst nicht gleichmässig, sondern in Stössen, da bei jeder Stromwendung des Wechselstromes das Potential auf Null absinkt. Das Charakteristische der technischen Wechselströme besteht darin, dass die Stromrichtung in der Sekunde 80 – 100 Mal über Plus oder Minus um Null schwankt. Der Ablauf einer solchen Schwankung heisst „Periode". Die gebräuchlichen Wechselströme haben also 40 – 50 Perioden per Sekunde.

Die Spannung eines Wechselstromes, ob 50, 100, 150, 250, 500, 5000, 50000 Volt, bedingt nach dem Ohmschen Gesetz $(I = E : R)$ die Stromstärke, zugleich aber auch die Gefährlichkeit. Ein technischer Strom von 100 Volt kann ausnahmsweise tötlich sein, bei 250 – 500 Volt ist die Gefahr viel grösser. Hochgespannte Wechselströme 5000 – 50000 Volt können, wenn ein Leiter in die Nähe kommt, z. B. ein auf nassem Boden stehender Mensch, mit 5 – 30 cm langen Funken überspringen. Die hochgespannte Energie überwindet den Widerstand der Luft, ja die Luft kann sogar ioni-

siert werden, so dass ein „Flammenbogen" entsteht, der nicht nur durch seine Hitze zerstörend wirkt, sondern auch als Potential elektrisch oder thermisch beschädigen kann.

Auch Gleichströme von so grosser Spannung würden überspringen und auf lebendes Gewebe in ähnlicher Weise einwirken, doch verwendet man für Fernübertragung nur Wechselströme. Aus der Städtebeleuchtung sind die Gleichströme verdrängt, aber man benützt sie noch in Strassenbahnbetrieben, für Galvanoplastik, für elektrochemische Zwecke und zum Laden von Akkumulatoren. Pulsierende (unterbrochene) Gleichströme wirken technisch wie Gleichströme, physiologisch wie Wechselströme.

Der Widerstand (*R*), den in sehr verschiedenem Masse ein Körper dem Durchgange der Elektrizität entgegensetzt, ist der dritte Faktor des Ohmschen Gesetzes. Bei gegebener Spannung ist die Stromstärke um so grösser, je kleiner der Widerstand im Leiter. Es ist also nicht bloss die Spannung (in Volt), welche den Ausgang eines Unfalles bestimmt, sondern die Stromstärke *I*, in Ampere, welche ihrerseits von dem Widerstande, z. B. des menschlichen Gewebes, in Ohm, abhängt. Menschliche (und tierische) Haut hat einen Widerstand von 2000 – 100000 Ohm pro cm^2. Muskeln und alle mit Blut (Salzlösung) durchtränkten Gewebe leiten viel besser. Die Stromstärke wächst ceteris paribus proportional zu der Grösse der berührten Hautfläche und dem Querschnitt und der Länge des leitenden Gewebes. Deshalb ist z. B. die Berührung eines stromführenden Leiters für einen im Bade (geerdet!) sitzenden Menschen besonders gefährlich. – Man darf nicht vergessen, dass auch die *Dauer* der Durchströmung für das Resultat ausschlaggebend sein kann. Mancher Mensch erträgt z. B. 150 Volt und 100 Milliampere für 1 Minute, erliegt aber diesem Potential, wenn es 2 Minuten einwirkt. So liesse sich die Gefahrgrenze auch in Watt-Sekunden ausdrücken, d. h. in der Summe der Arbeit, welche der Strom in der Zeiteinheit leistet. Bei der Beurteilung elektrischer Unfälle muss der Arzt sich darüber klar sein, dass ein gegebenes Arbeitsquantum per Sekunde von sehr verschiedenen Strömen geliefert werden kann, nach dem Satze: Watt = Volt × Ampere. Ein Strom von 60 Volt und 5 Ampere hat den gleichen Effekt wie ein anderer von 300 Volt und 1 Ampere.

II. Betrachten wir die *Wirkung*, welche die verschiedenen technischen Ströme *auf das lebende Gewebe*, besonders auf den menschlichen Körper, ausüben. Sie ist, wie sich aus den einleitenden Bemerkungen ergibt, sehr verschieden:

1. Der konstante Gleichstrom hat im ganzen die Eigenschaften seines kleinen Bruders, des Batteriegleichstromes, die wir aus der Phylologie kennen. Wenn ein schwacher, konstanter Strom plötzlich in einen Muskel eindringt, so zieht sich dieser zusammen. Während der Dauer des Stromes erschlafft er, schnellt aber wieder zusammen, wenn das Potential plötzlich auf Null abfällt. Der Muskel empfindet das Entstehen oder Verschwinden eines fremden Potentials als Anreiz zur Kontraktion, nicht aber die Dauer des Stromes.

Für hochgespannte Gleichströme gilt dieses Gesetz nicht, denn Tramströme tetanisieren auch während ihrer Dauer, obwohl die Generatoren so konstruiert sind, dass das Potential nicht schwanken sollte. Ein genaueres Studium der physiologischen Wirkung dieser Ströme wäre wertvoll.

2. Der pulsierende Gleichstrom (gleichgerichteter Wechselstrom) hat durch das rasche Schwanken des Potentials eine ähnliche Reizwirkung auf lebende Zellen, wie der Wechselstrom. Er tetanisiert Muskeln in der gleichen Weise. Eine ruhige Dauerzusammenziehung entsteht, wenn mindestens 20 Reize per Sekunde den Muskel treffen. Sind es weniger, so sieht man, dass der Tetanus aus einzelnen Zuckungen zusammengesetzt ist.

3. Zu der Reizwirkung kommt bei allen Gleichströmen während ihrer ganzen Dauer die ionenrichtende Eigenschaft hinzu. Dies äussert sich auf zweierlei Arten:

a) Die Gegend des negativen Poles, d. h. der Elektrode, welche mit diesem Pole verbunden ist, wird in den Zustand höherer Erregbarkeit versetzt, welchen der Physiologe *Katelectrotonus* nennt, während das Gewebe in der Nähe des + Poles

in *Anelectrotonus* gerät und weniger erregbar ist. Diese Verschiedenheiten (bei schwachen Strömen) sind als Pflügersches Gesetz bekannt und zur Grundlage der Elektrotherapie und -diagnostik geworden. Bei starken Strömen würde wohl die Elektrotonuswirkung noch stärker hervortreten, wenn sie nicht durch die gewebeschädigende Wirkung des hohen Potentials überdeckt würde.

b) Dort macht sich die zweite Wirkung mehr bemerkbar, die Elektrolyse. Während der ganzen Dauer der Ströme werden im lebenden Gewebe die Ionen beeinflusst. Sie werden in Bewegung gesetzt, die negativen, wie *O, Cl, SO_4, CO_3,* Phosphorsäureradikale gegen den + Pol hin, die positiven Ionen, wie *Na, K, H, Mg, Ca, NH_4* gegen den negativen Pol. Dieser Ionentransport wird bei schwachen Strömen, wie wir sehen werden, gehemmt, bei starken Gleichströmen aber kann er zu beträchtlichen Aenderungen der Ionenkonzentration, wenigstens in der Nähe der Elektroden, führen. Sind diese letzteren klein, berühren sie punktförmig, so wird das lebende Gewebe in der Nähe derselben angesäuert und koaguliert, oder alkalisch und verätzt, das letztere am negativen Pole. Die Elektrotherapie macht sich diese Tatsache dienstbar, indem sie den negativen Pol als Nadel in Geschwülste, Haarbälger, welche zerstört werden sollen, einsticht.

4. Das lebende Gewebe setzt dem Ionentransport grösseren Widerstand entgegen als z. B. Salzwasser. Es ist durch die Salze seiner Gewebeflüssigkeit in hohem Masse gegen Aenderungen der Reaktion geschützt. Die Karbonate und Bikarbonate, die sauren, neutralen und alkalischen Phosphate sind sehr wirksame Puffer und schützen die Zellen auch gegen elektrolytische Vorgänge in beträchtlichem Masse (Pufferwirkung No. 1).

5. Ein viel grösserer Schutz liegt aber in dem Aufbau der Gewebe und des Protoplasmas in Zellen, in Schaumkonstruktion, in Kolloiden, in der sehr grossen Zahl von Oberflächen und Membranen usw. Diese erhalten alle eine elektrostatische Ladung von den elektrolytischen Salzen der Dispersionsflüssigkeit, und wenn eine Seite einer Oberfläche in einem Sinne geladen ist, so folgt daraus, dass die andere, z. B. die Innenfläche einer Zellmembran, die gegenteilige Ladung annimmt, wodurch das ganze System stabilisiert und ausgeglichen ist. Die statische Ladung erhält die Kolloidteilchen, die Spumoidkügelchen, die Zellteile und Zellen als Einheiten. Sie stossen sich, weil gleichnamig geladen, gegenseitig ab. Sonst würden sie zusammensintern. Sie erhält z. B. die Blutkörperchen. Wird sie gestört, so legen sich die gedellten Scheiben (z. B. der menschlichen Erythrocyten) geldrollenartig zusammen und verschmelzen — oder andere agglutinieren (kleben zusammen) und geben ihre Einheit auf (vergleiche: F. Schwyzer, Geldrollenbildung im Blute vom kolloidchemischen Standpunkte. Biochem. Zeitschrift 1914, Bd. 60, Heft 4). Daher bringt Störung der Ladung Gefahr, Aufhebung oder gar Umdrehung derselben hebt sofort die vitalen Spannungen auf, leitet den Abbau der chemischen Systeme ein und bedeutet Tod.

6. Das einbrechende fremde Potential bringt alle bestehenden Ladungen aus dem Gleichgewicht, und alle müssen sich wieder frisch einstellen, wenn es möglich ist. Die wandernden Ionen prallen in ihrer geradlinigen Bewegung auf andere auf und dadurch wird ein Teil ihrer Stosskraft gebrochen und verbraucht. Aber immer weiter wirkt die richtende Kraft, und wieder leistet das Gleichgewicht einen Widerstand (Pufferwirkung No. 2). Es braucht sehr starke Gleichströme, bis der Körper eines grösseren Tieres durch Elektrolyse ernsthaft geschädigt wird (bei Stromzuführung durch *grosse* Elektroden, kleine würden lokale elektrolytische Beschädigungen machen neben der Jouleschen Wärmewirkung).

7. Der pulsierende Gleichstrom entfaltet zwar auch die elektrolytische Wirkung, aber die Reizwirkung durch die werdenden und vergehenden Potentiale überdeckt die Elektrolyse und lässt ihn wie ein Wechselstrom erscheinen. Wir können also die beiden Ströme in ihrer pathologischen Wirkung zusammen betrachten, immerhin mit dem Unterschiede, dass die Schwingung der Ionen beim Gleichstrom nur halb so gross ist wie beim Wechselstrom. In Wirklichkeit gelten auch die pulsieren-

den Gleichströme als bedeutend weniger gefährlich als die Wechselströme gleicher Spannung. Ich nehme an, dass die Ionen von den Schwankungen der Potentiale hin- und hergerissen werden. Sie stossen im Gewebe und in den Kolloiden sofort auf Widerstand, und bevor sie diesen überwinden können, werden sie in der andern Richtung bewegt. Das muss in allen Teilen des Protoplasmas Schwingungen erzeugen, von den Eiweissmolekülen und den Kolloidteilchen bis zu den Zelloberflächen und Membranen. Zwar ist die Masse eines Ions verschwindend klein, aber dafür ist die Zahl derselben ungeheuer gross, so dass die Schwingungen eine ganz respektable Kraftleistung bedeuten. Kein Wunder, wenn die feinsten Zusammenhänge gelockert und gesprengt werden. Wenn auch die Beschädigungen ultravisible sind, so können sie doch Zellen zerstören und Grenzflächen permeabel machen. Der Widerstand, den das Gewebe dieser Ionenschwingung entgegensetzt, kann als Pufferwirkung No. 3 bezeichnet werden.

8. Die lebende Substanz und das lebende Gewebe sind nach der eben entwickelte Theorie in ganz erstaunlichem Masse gegen den Einbruch fremder Potentiale geschützt. Das Protoplasma setzt der Aenderung der Ionenkonzentration Widerstand entgegen (wie unter Pufferwirkung No. 1 auseinandergesetzt worden ist). Die Pufferwirkung No. 2 hemmt den Ionentransport durch das Gleichgewicht der überall vorhandenen statischen Ladung und verbraucht dadurch ein gutes Teil der zugeführten elektrischen Energie. Die dritte Pufferwirkung verwandelt die Stösse der Ionen in rhythmische Schwingungen, welche erst dann Schaden anrichten, wenn sie durch die Gewalt der Schwingung die Grenzflächen sprengen. Ich glaube, dass diese Theorie erklärt, weshalb von jeder Stromart ein beträchtliches Quantum ertragen werden kann, und was für Vorgänge die Schädigung irreversibel machen.

III. A priori müssen wir annehmen, dass einzellige Lebewesen, welche keine Zellmembran besitzen, sondern nur durch eine geladene Zelloberfläche von der Umgebung abgegrenzt sind, gegen Ströme besondere Empfindlichkeit zeigen. Das ist in der Tat bei Amoeben der Fall. Wird eine solche von einem Wechselstrom getroffen (selbst wenn es nur ein schwacher faradischer Strom ist), so zerfällt sie in ein Häufchen von feinsten Körnchen. Andere Zellen zeigen zwar diesen Zerfall in Körnchen nicht, oder nicht so rasch, aber aus der Abwesenheit von Lebensäusserungen kann man auf ihren Tod schliessen. Leider haben wir kein Mittel, um *sofort* den Tod einer Zelle zu konstatieren, doch kann man bei manchen ziemlich bald den eingetretenen Tod erkennen. Gewisse Zellen nehmen aus gefärbter Suspensionsflüssigkeit Anilinfarben fast sofort nach ihrem Tode auf. Eiterkörperchen in Urin, dem eine Spur Methylenblau zugesetzt ist, zeigen sofort nach Tötung durch Erhitzen blaue Kernfärbung. Pilzsporen, welche in Wasser unter dem Mikroskop elektrisiert werden, zeigen ebenfalls diese plötzlich auftretende Färbung.

Höher organisierte Wasserbewohner, z. B. die mikroskopischen Krebschen des Plankton unserer Seen, halten relativ viel Strom aus. Ein Wechselstrom von 150 Volt, der ein Wasserprisma von 10 mal 10 zu 50 mm durchfliesst, tötet Organismen wie Diaptomus, Daphnia, Bythotrephes (Krebschen) innerhalb 1 – 10 Sekunden nicht sofort. Sie zeigen nach 10 Sekunden z. T. noch schwache Drehbewegungen, die aber innert wenigen Minuten ganz aufhören. Verkleinert man den Querschnitt des Wasserprismas auf 5 mal 5 mm, so ist die tödliche Wirkung in 1 Sekunde erreicht. Die mikroskopischen Krebschen sind von einer Kalkschale und von chitinartiger Haut bedeckt und zudem durch starken Fettgehalt relativ schwer leitend.

Aus der Beobachtung über den leitenden Querschnitt kann man den schon bekannten Schluss ableiten: je kleiner ceteris paribus dieser Querschnitt, um so wahrscheinlicher wird der Strom verletzen, sei es durch Elektrolyse, durch Joulesche Wärme oder durch Reizung (Ionenschwingung). Die menschliche Haut wird besonders leicht beschädigt oder zerstört, wenn sie von einem guten Leiter nur punktförmig berührt wird, etwa von der Spitze eines bis zur Fusshaut vorgedrungenen Schuhnagels.

IV. Das bringt uns zur Besprechung der *Wärmewirkung* elektrischer Ströme. Jeder Leiter erwärmt sich, wenn er von einem Strome durchflossen wird — nach dem Jouleschen Gesetze. Die Wärmeproduktion in der Zeiteinheit ist gleich der Widerstandsgrösse multipliziert mit dem Quadrate der Stromstärke ($= R\,I^2$). Diese Umwandlung einer Energieform in eine andere, von Elektrizität in Wärme, kompliziert das Wesen des elektrischen Unfalles. Fliesst ein Potential durch lebendes Gewebe, so kann dieses durch 4 verschiedene Wirkungen Schaden nehmen: durch Ionentransport, durch Erhitzung, durch Ionenschwingung und physiologisch durch Ueberreizung, z. B. des Herzens, oder: chemisch, thermisch, physikalisch, physiologisch. Die Stärke der Ströme bedingt im wesentlichen die Ausdehnung der Schädigung, ein kleiner Strom kann eine kleine Hautverbrennung machen und elektrolytische Verätzung kleinsten Umfanges; ein starker Strom kann ausser der Haut auch das Unterhautzellgewebe und die Muskeln zerstören, ja, ganze Glieder verkohlen. Die Kontaktstelle verändert ihre Leitfähigkeit durch die Joulesche Wärme sehr rasch. Es kann Verschorfung eintreten, wodurch der Widerstand der Kontaktstelle so hoch ansteigt, dass die Stromintensität abnimmt. Oder in anderen Fällen kann durch Verkohlung bessere Leitung eintreten. Alle diese Faktoren sind so veränderlich, dass das Resultat nie sicher vorausgesagt werden kann. Zudem ist der Widerstand der menschlichen Gewebe, besonders der Haut, abhängig von vielen Faktoren. Die Innenfläche der Hand eines Arbeiters kann schwielig und verhornt sein, so dass ihr Widerstand sehr hoch ist. Aber die gleiche Hand, wenn die Haut durch Schwitzen erweicht oder gar mit elektrolytischen Flüssigkeiten durchtränkt ist (die Hand eines Metzgerknechtes, der eben Fleischwaren eingesalzen hat), kann leicht leiten. Im ersteren Falle resultiert eine punktförmige Verbrennung der Haut, wobei die elektrische Reizung vielleicht gering ist, im anderen, ebenfalls bei kleinem Kontakt, kann sofort, ohne ein Zeichen an der Haut, der Tod eintreten. Sind die berührten Flächen grösser, so tritt die Joulesche Wärme zurück und die anderen Arten der Beschädigung (Zellbeschädigung, Herzbeschädigung) treten hervor. Der Unterschied zwischen trockener und feuchter Haut ist sehr gross: 100 000 Ohm pro cm^2 bei ersterer, gegen 1000 Ohm bei letzterer. Das Wetter hat einen grossen Einfluss. Bei schwüler Witterung schwitzt man leicht, so dass der Körperwiderstand stark schwankt. Die Lebensgewohnheiten des Verunglückten und sein Gesundheitszustand spielen eine entscheidende Rolle. Die mit Wasser durchtränkten Herz- und Nierenkranken, der hektisch schwitzende Tuberkulöse, der leicht schwitzende Neurotiker, der Alkoholiker, der psychisch irritable oder alterierte, sie alle sind viel mehr gefährdet, wenn sie stromführende Teile berühren, als normale, gesunde Menschen.

Die *Wirkung der technischen Wechselströme* auf den *Menschen* wird durch das Schwanken der Potentiale gefährlich. Selbst die elektromotorische Kraft eines einzigen Elementes, im faradischen Apparate hochgespannt und durch den Neefschen Hammer sehr häufig unterbrochen, kann die Muskeln zur Dauerkontraktion (Tetanus) bringen, und zwar sowohl durch direkte Muskelreizung als durch Reizung der motorischen Nerven der betreffenden Muskelgruppe. Die Tetanisierung eines Muskels erfolgt vom Nerven aus durch mehr als 20 Impulse per Sekunde und elektrisch durch mindestens 20 Stromschläge. Für grössere Tiere und für Menschen liegt das Optimum der Reizzahl wohl zwischen 50 und 200 pro Sekunde, so dass der technische Wechselstrom mit seiner Periode von 40—50, die 2 Potentialanstiege von Null auf 150 Volt und 2 Abfälle von 150 Volt auf Null ergibt, gerade in diese Reizzahlen hineinpasst. Raschbewegliche Insekten können per Sekunde 100—200 willkürliche Muskelzuckungen ausführen und würden daher zur Tetanisierung frequentere Wechselströme brauchen.

Die Periodenzahl von 50 per Sekunde ist aus technischen und wirtschaftlichen Gründen gewählt worden und heute kaum mehr zu ändern. Es wäre sehr wertvoll, wenn ein Experimentator eine Skala der Reizfrequenz aufstellen würde, etwa von 15—10 000 per Sekunde, woraus man ersehen könnte, wo die Tetanisierung beginnt,

wo sie am heftigsten ist, und wo sie bei hoher Frequenz abnimmt und auf Null absinkt. Es ist ja bekannt, dass wir hochfrequente Ströme gar nicht fühlen.

Die Gefahr der Tetanisierung ist mannigfaltig: 1. Die Hände, welche zwei stromführende Drähte anfassen (oder, wenn eine Hand einen Draht erfasst, während die Füsse in feuchten Schuhen auf nassem Erdboden stehen) können den Draht nicht mehr loslassen, weil sie tetanisiert sind. Da kann nur Ausschalten des Stromes, oder lösen vom Strom durch andere helfen. Es ist schon vorgekommen, dass Elektriker sich durch Sprung von einer Leiter hinab retten konnten, indem sie sich durch ihr Gewicht losrissen; aber meist halten die tetanisierten Hände fest. Auf eine Erschöpfung der Armmuskeln kann man nicht rechnen, das Herz oder das Zentralnervensystem erliegen lange vorher! Manchmal spielt dabei die Elektrizität ihr grausames Spiel in jeder Weise: durch Joulesche Wärmewirkung auf die Hände und Arme, durch Elektrolyse, wenn es sich um pulsierenden Gleichstrom handelt, und durch die spezifisch elektrische Wirkung auf die inneren Organe.

2. Einzelne Unfälle werden durch die plötzliche Tetanisierung verursacht: Das Opfer berührt mit irgend einem Körperteil einen Draht, während er auf geerdeter Betonplatte oder feuchtem Boden steht. Der ganze Körper wird tetanisiert, und durch plötzliche Streckung kann der Verunfallte von seinem Standpunkte relativ weit weggeschleudert werden und auch durch einen Sturz Schaden nehmen.

3. Diese unwillkürliche Muskelaktion kann sich mit Schreckwirkung kombinieren, so dass sonderbare akrobatische Leistungen zustande kommen. Dadurch kann der Körper so weit vom Kontakte entfernt werden, dass man an der Möglichkeit eines elektrischen Unfalles zweifelt.

4. Durch die plötzliche intensive Zusammenziehung können kräftige Muskeln quer durchreissen, wenn die Bewegung des betreffenden Gelenkes zufällig gehemmt ist (Querdurchreissen des elektrisierten Biceps Brachialis, weil die Hand eine Last trägt).

5. Tödlicher Ausgang hauptsächlich infolge Schrecks bei der Stromberührung kann vorkommen, besonders bei Neurotikern und suggestiblen Menschen, welche die unheimlichen Kräfte der Elektrizität kennen und fürchten. Man sieht aber auch merkwürdige Rettungen. So gibt es Menschen, welche Spannungen von 250 – 500 Volt, die von Arm zu Arm gehen, mehrere Minuten lang ertragen können ohne die Besinnung zu verlieren. Das ist nicht wunderbar. Die Menschen sind auch anderen Gefahren gegenüber von sehr verschiedener Resistenz. Der eine stirbt an einer ganz kleinen Lungenentzündung, der andere übersteht eine Wanderpneumonie, welche drei Viertel der ganzen Lunge ausser Funktion gesetzt hatte.

6. Ein besonderer Effekt der Muskeltetanisierung liegt ferner in der Aufhebung der Atembewegungen, wenn die Brustmuskulatur getroffen wird. Die Position der zwei Kontakte kann so sein, dass die Atemmuskulatur bretthart zusammengezogen wird (zu Beginn schreien die Opfer meist auf, weil die Luft aus der Lunge durch die ebenfalls kontrahierte Glottis gepresst wird). Der Erstickungstod ist die Folge. Bei aufgehobener Atmung wird das Zentralnervensystem narkotisiert, der Getroffene wird ohnmächtig. Das Herz kann den Unterbruch der Atmung nicht lange ertragen, es schlägt vielleicht noch eine Minute weiter und steht dann still, falls es nicht ebenfalls Strom bekommt und sich dann so verhält, wie wir unten sehen werden. Es wäre sehr wertvoll, durch Experimentalarbeiten zu erfahren, wie lange der Stillstand der Respiration ertragen werden kann im längsten, und wie schnell er töten kann im kürzesten Fall. Auch sollte die Frage gelöst werden, ob der Atmungsstillstand durch Herz- oder Hirnschädigung zum Tode führt.

7. Um die Wirkung elektrischer Reize (besonders des Wechselstromes) auf das Herz zu verstehen, müssen wir einige Punkte der Herzphysiologie uns vor Augen rufen. Die Muskelfasern des Myocards stehen in der Mitte zwischen den langsamen glatten Muskelfasern und den schnell sich kontahierenden Skelettmuskeln. Das Myocard hat eine besondere Art der Reizleitung und seine eigenen Nervenzentren, welche rhythmische Tätigkeit veranlassen können, selbst am herausgeschnittenen

Herzen. Durch Vagus und Sympathicus steht das Herz in Verbindung mit den wichtigsten Zentren des verlängerten Rückenmarkes. Die Herzmuskelfasern reagieren auf Reize ganz anders als die Skelettmuskeln, welche z. B. auf einen elektrischen Schlag zucken, auf eine rasche Folge von solchen in Dauerkontraktion geraten (Tetanus). Die Herzmuskeln schwanken zwischen einer erregbaren und einer unerregbaren Phase hin und her, und sie können nicht wie Skelettmuskeln tetanisiert werden. Eine kleine Kontraktion auf einen kleinen Reiz kennt das Herz nicht, entweder ganz oder gar nicht, Totalzusammenziehung oder gar keine (Gesetz von Bowditch). Die erregbare Phase des Herzens beginnt mit der Präsystole (der ein paar Sekunden langen Zeit *vor* der Zusammenziehung), ist zu Beginn der Systole am stärksten und fällt dann gegen Ende derselben auf Null ab und das Herz bleibt unerregbar bis kurz vor der Systole der Vorhöfe, welche dann bald von der Kammersystole gefolgt wird. Die Vorhöfe erhalten und beantworten ihren Nervenimpuls zuerst und dieser springt erst auf die Kammer über, wenn die Welle der Muskelkontraktion die Grenze der Kammermuskulatur erreicht.

Ob das Bowditchsche Gesetz auch für grössere Stromstärken volle Geltung hat, scheint mir zweifelhaft und sollte experimentell geprüft werden. Es wäre denkbar, dass selbst nur wenige heftige Stromschläge im Beginn der Vorhofsystole auch die Kammern zu sofortiger Kontraktion bringen würden, so dass die 2 Kammern gegen die 2 Vorhöfe arbeiten würden, was unter heftigem Reiz zu schwerer Beschädigung führen könnte. Nehmen wir an, das Bowditchsche Gesetz gelte auch bei Einwirkung von Strömen von 100—500 Volt! Dann haben wir 4 Herzphasen für den ersten Einbruch des starken Potentials zu unterscheiden: 1. die Präsystole (Beginn der Zusammenziehung der Vorhöfe, höchste Bereitschaft der Kammern), 2. die Systole (beginnende Erschlaffung der Vorhöfe, zunehmende Kontraktion der Kammern), 3. Diastole (Erschlaffung der Kammern), 4. Ruhepause.

Je nach der Phase wird das Potential verschiedene Wirkung haben. In der Präsystole wird eine sehr heftige Zusammenziehung erfolgen, denn der elektrische Reiz und der natürliche treffen zusammen. Sind die Vorhöfe noch erregbar, so wird das ganze Herz, wie oben bemerkt, zugleich sich heftig kontrahieren. Das Blut wird in die grossen Arterien gedrängt, kann aber nicht schnell genug ausweichen, da durch die Tetanisierung der Brustmuskulatur der intrathorakale Druck hoch ansteigt. Wenn dabei gar noch der Kehlkopf krampfhaft verschlossen wird, so sind alle Bedingungen für das höchste Ansteigen des Blutdruckes gegeben. G. Weiss (Sur les effets physiologiques des Courants Electriques, Paris 1912) hat bei seinen Tierexperimenten öfters diese Blutdrucksteigerung konstatiert. Dasselbe habe ich mehrmals an Kaninchen gesehen.

Es scheint selbstverständlich, dass das Myocard bei heftiger Zusammenziehung gegen hoch ansteigenden Druck beschädigt werden muss. Fällt der Beginn der Elektrisierung in die Systole, so wird diese wohl etwas beschleunigt, aber das Stadium der Unerregbarkeit wird fast sofort eintreten, so dass schwerere Verletzung des Myocards nicht zu erwarten ist. Fällt der Strombeginn in die diastolische Erschlaffung, so wird keine instantale Wirkung eintreten. Fällt sie in die Pause, so wird bald eine vielleicht relativ langsame Systole beginnen und erst gegen Schluss als heftige Kontraktion auftreten. Es wäre unrecht, mit blossen Vermutungen weiter zu gehen. Genaueres kann nur durch Experimente festgestellt werden.

Für Versuche auf diesem Gebiet ist eine teure Laboratoriumseinrichtung notwendig. Man würde bei Versuchstieren von einer in die Carotis eingebundenen Canüle aus die Puls- und Blutdruckschwankungen registrieren und die Atmung aufschreiben. Ausserdem würde man mit empfindlichen Elektrokardiographen die Aktionsströme des Herzens aufnehmen und alle zusammen während der Elektrisierung registrieren. Man müsste zeitlich den Wechselstrom von den Schwankungen des Elektrokardiographen trennen, indem man durch einen mit Wechselstrom synchronen Schaltapparat jeweils dann diese Herzströme erfassen könnte, wenn der Wechselstrom gerade auf Null angelangt ist. Eventuell müsste durch eine besondere

Einrichtung je der zweite oder dritte Schlag des Wechselstromes ausgeschaltet werden, um diesen Moment dann für das Elektrokardiagramm zu benutzen. So könnte man wohl sogar die Zuckungen der Fribillation durch die sie begleitenden elektrischen Vorgänge aufschreiben. Wenn man endlich durch Röntgenstrahlen die Herzbewegungen während der Elektrisierung kinematographisch festhalten könnte, so wäre Klarheit zu gewinnen über das Verhalten des Herzens bei Elektrisierung.

Es scheint mir sicher, dass die Herzbeschädigung besonders dann eintreten wird, wenn der elektrische Reiz mit dem Beginn der Systole zusammenfällt. Die anatomischen Befunde bei solchen Herzen werden in Abschnitt VII besprochen werden. Funktionell zeigen die schwerer beschädigten Herzen das „Herzflimmern", ein unregelmässiges Zucken und Wühlen der einzelnen Faserstränge. Der Rhythmus ist verloren gegangen — die partiellen Zusammenziehungen der Fasern haben keinen Nutzeffekt — die Zirkulation steht still.

Ueber das Herzflimmern ist schon viel geschrieben worden, aber Klarheit herrscht darüber noch nicht. Irgend ein starker Reiz, thermisch, chemisch oder elektrisch kann die Koordination der Herzmuskelfasern stören und jedes Bündel quasi für sich arbeiten lassen. Es gibt offenbar verschiedene Arten dieser Koordinationsstörung, verschieden in ihren Ursachen, verschieden auch in der Erholungsmöglichkeit. Als Heilmittel werden empfohlen: Herabsetzung der Erregbarkeit durch Abkühlung, Chloral (intravenös), Chlorkaliumzusatz zur Herzdurchströmungsflüssigkeit (im Experiment am ausgeschnittenen Herzen), starke elektrische Reize (Verwendung einzelner Induktionsschläge). In vielen Fällen scheint mir das Flimmern eine Absterbeerscheinung zu sein, z. B. nach Unterbindung der Koronararterien.

Aus der Literatur will ich nur die Arbeiten von Prévost und Batelli erwähnen (Journal de Physiologie etc., 1899, p. 339 etc.; 1900, p. 40 und 755, und 1902, p. 12). Sie haben Herzen von Hunden und Katzen durch elektrische Ströme zum Flimmern gebracht und durch ähnliche Ströme wieder zum Rhythmus zurückgeführt. Seither beherrscht der Wunsch, auch beim elektrisch verunfallten Menschen das Herz so retten zu können, die einschlägige Literatur. Es ist aber noch nie geglückt! L. Haberland, der sich viel mit diesen Fragen beschäftigt hat, nahm an, die Nervenzellen, welche den automatischen Reiz liefern (in der Atrioventrikulargegend) geraten durch die Elektrisierung in einen Zustand von Schock, aus dem sie durch erneute, ganz kurze Elektrisierung wieder geweckt werden können. Offenbar gefiel ihm diese Hypothese selber nicht, denn in seinen neuesten Arbeiten (Klin. W. S. 1924, No. 36, 1925 No. 37, 1926 No. 15, Zeitschr. f. Biol. 1925/26, Bd. 82, 83, 84, Wien. kl. W. 1925, No. 48 und auch Pflügers Arch. 1926, Vol. 212, p. 587) greift er zu einer ganz anderen Hypothese, und spricht von einem Erregungsstoff des Herzens, und über Veränderung der Reaktionsfähigkeit einzelner Faserbündel, über Schwächung der Erregbarkeit und der Reizleitung. Mir scheint das Flimmern eine Absterbeerscheinung — manchmal nur einzelner Fasern und dann vielleicht reversibel — manchmal vieler Faserbündel und dann sicher agonal.

Der Wechselstrom muss einen Einfluss auf die grossen Arterienstämme des Thorax haben, da diese kontraktile Wandungen besitzen. Um wie viel das Lumen durch die elektrische Reizung verkleinert wird, ist unbekannt, und wäre durch Experimente zu bestimmen. Gleichzeitig sollte die Frage behandelt werden, welchen Einfluss der starke Wechselstrom auf die glatte Muskulatur der Eingeweide und der Arterien im allgemeinen ausgeübt. (Auf mässigen Strom reagieren sie nur wenig.)

8. Die Strombahnen, welche zum Herzen führen, sind nicht genau bestimmbar. Aus der schweizerischen Kasuistik gewinnt man den Eindruck, dass Ströme, die von Arm zu Arm oder vom linken Arm zu den Füssen gehen, das Herz eher beschädigen, als solche, die vom rechten Arm zu den Füssen, oder von Fuss zu Fuss verlaufen. Bei Durchströmung in der Richtung der Längsachse wird die Elektrizität vom linken Arm besonders durch die grossen Gefässe das Herz erreichen. Das Blut leitet weit besser als die Gewebe des menschlichen Körpers.

(Vide Versuche von Dir. Ringwald und F. Schwyzer, Bulletin des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins, No. 5[bis], Juni 1925.) Die untere Kontaktstelle wird vom Herzen aus wieder durch die Blutbahn und durch die vordere Brustwand erreicht werden, wobei ein Teil des Stromes durch das Myocard in die Brust- und Bauchmuskulatur und durch das Zwerchfell, die Leber und die Baucheingeweide fliessen wird.

9. Eine sehr merkwürdige und vorläufig noch unerklärte Tatsache ist das Verhältnis der Spannung zur Herzgefährdung. Ströme von ca. 100 bis gegen 1000 Volt gelten als besonders gefährlich für das Herz. Die Spannung ist aber nicht allein bestimmend, sondern der Ausgang des Unfalles hängt auch ab von der Stromstärke *(I)*, welche den Körper und das Herz effektiv durchfliesst. Da diese bei gleicher Spannung *(V)* umgekehrt proportional ist mit den Widerständen des Stromkreises, so hängt das Resultat ab von der Grösse der Kontaktfläche, dividiert durch die Ohmzahl pro cm^2. Ist die Stromspannung über ca. 1000 Volt, so tritt die quasi selektive Wirkung auf das Herz zurück, ein Strom von 2000/10000 Volt und weit darüber tötet das Herz gewöhnlich nicht. Ich nehme an, der elektrische Herzunfall sei das Resultat einer physiologisch ganz besonders wirksamen Reizung. Vielleicht gehen bei den Strömen von 100—1000 Volt besonders grosse Stromschleifen durch das Herz. Wird bei höherer Spannung der Strom mehr verteilt? Jedenfalls fliessen hochgespannte Ströme mit Vorliebe über die Oberfläche des Körpers. Vielleicht lässt sich eine Parallele ziehen mit sehr hochgespannten Strömen von hoher Frequenz (von 100000 oder mehr Stromwechseln pro Sekunde (nach d'Arsonval). Sie werden vom Menschen kaum gefühlt und scheinen wie Regen über seine Oberfläche zu laufen. Dass sie keine Reizung machen, dürfte nach dem über Ionenschwingungen Gesagten verständlich sein. Bei so hohen Schwingungszahlen wird die Ionenbewegung so klein werden, dass die Oberflächenreizung wegfällt. Wieviel der Anteil des Herznervenapparates an dieser Reizung des Herzens beträgt, und wieviel auf die Muskelelemente selber kommt, liesse sich durch Versuche an solchen Tieren feststellen, deren Nervenapparat durch chemische Mittel gelähmt wäre. Versuche, auch am herausgeschnittenen und künstlich durchströmten Herzen sind dringend nötig, wobei die 2 Hauptfaktoren: Spannung und Periodenzahl, methodisch durchgeprüft werden müssten nach folgendem Schema:

Volt (variabel)	*Periode* (variabel)
20	10
40	20
60	30
80	50
100	100
200	200
300	500
500	1000
1 000	5 000
3 000	10 000
6 000	50 000
10 000	100 000
(bei gleicher Stromstärke und gleicher Periodenzahl)	(bei gleicher Spannung, je eine Serie 50, 100, 250, 500, 1000 Volt).

Ferner sollten alle diese Versuchsreihen auch mit Berücksichtigung der Stromstärke *(I)* durchgeführt werden. Diese lässt sich bekanntlich durch die Grösse der berührenden Elektroden und durch Widerstände in beliebiger Weise beeinflussen. Dabei wird man finden, dass der Herzunfall nicht *nur* von der Spannung abhängt, sondern ebenso sehr von der Stromstärke; dass z. B. ein Strom von 10 Milliampere und 250 Volt Spannung keine Störung verursacht, wohl aber tödlich wirken kann bei 50 oder 100 Milliampere. Damit sollte eine sonderbare Idee, die auch in der

elektro-pathologischen Literatur vorkommt, definitiv widerlegt sein, nämlich, dass der Elektrounfall *nur* eine Funktion der Spannung sei.

VI. Nach dem Gesagten scheint mir die grosse Verschiedenheit der einzelnen Fälle von Herzbeschädigung durch die Elektrizität nicht erstaunlich. Haben wir doch mit einer so grossen Zahl von veränderlichen Faktoren zu rechnen, wie: Spannung des Stromes, Stärke, Dauer der Einwirkung, Zahl der Polwechsel, Beschaffenheit der Zuleitungen, Variabilität der Stromschleifen und der Hautwiderstände, je nach Grösse und Beschaffenheit der Elektroden und der berührten Körperstelle, wobei Nerventätigkeit des Berührten, seine Psyche, alle Faktoren seiner persönlichen Gleichung: Wasseraufnahme, Salzgehalt, Ausscheidung, Resistenz gegen Schädlichkeiten, Arbeitsleistung, Wetter und Temperatur, spezielle Beschaffenheit des Herzens und der Zuleitung zum Herzen (Mediastinum) mit einwirken. Erwähnen wir dazu noch die Phase der Herztätigkeit im Moment der Stromberührung. Das ist freilich viel, und es wird nie gelingen, eine mathematische Formel für den Verlauf eines Elektrounfalles aufzustellen. Aber Aerzte dürfen sich dadurch nicht erschrecken lassen, denn auch die Krankheiten bieten ähnlich komplizierte Verhältnisse. Wir müssen uns mit der Tatsache abfinden und ohne Erstaunen den einen Fall so, den anderen anders verlaufen sehen. Im Gegenteil, nur dann wären wir berechtigt, erstaunt zu zu sein, wenn zwei solche Gleichungen mit x Unbekannten das gleiche Resultat ergeben würden.

VII. Worin besteht die Herzbeschädigung? Die pathologische Anatomie lehrt uns darüber nicht viel. Es ist begreiflich, denn die Verletzungen der Zellen, Fasern, Membranen, der Zellkerne, des Protoplasmas, der lebenden Moleküle, sind so fein, dass wir sie mit dem Mikroskop nicht wahrnehmen können. Wir sehen nur das Gröbste, Zerreissungen von Muskelfasern, von Muskelbündeln und von Kittlinien (zwischen einzelnen Faserbündeln). Hie und da erkennen wir die Gewalt, welche eingewirkt hat, daran, dass sogar Kerne quer zerrissen sind. Es wäre sehr interessant, wenn man derartige Herzen nach einigen Tagen mikroskopieren könnte, um dann nach Verletzungen und Heilungsvorgängen suchen zu können. Man müsste zuerst an mehreren Tieren die untere Grenze der gerade tödlichen Ströme herausfinden und dann einige mit Wechselstrom behandeln, welcher 5, 10, 15 % schwächer wäre. Oder man könnte als bestimmenden Faktor die Zeit annehmen, denn ceteris paribus (soweit dies möglich ist) entscheidet die Dauer der Einwirkung, z. B. 0,1, 1, 10, 60 Sekunden usw. So liessen sich, unter Berücksichtigung der Herzphasen, Verletzungen machen, die gerade noch innerhalb der Lebensfähigkeit wären, und bei denen man aus den sichtbaren Heilungsvorgängen und reaktiv entzündlichen Zellwucherungen Schlüsse ziehen könnte. Derlei Experimentalarbeiten wären insofern schwierig, als sie nur bei grösseren Tieren durchgeführt werden können. Denn bei kleineren, z. B. Mäusen, Ratten, auch Kaninchen, habe ich nie Faserzerreissungen konstatieren können, welche bei jedem menschlichen Herzen, das vom elektrischen Strom getötet wurde, leicht zu finden sind. Auch bei Pferde- und Rinderherzen (und öfters bei grösseren Hunden) sollen sie, laut elektro-pathologischer Literatur, als Zeichen des Stromtodes zu finden sein. Bei menschlichen Herzen habe ich sie am häufigsten in den Papillarmuskeln der Bikuspidalklappen und in der Aussenwand des linken Ventrikels getroffen, selten im rechten Herzen und nie in den Vorhöfen. Das letztere wenigstens an einigen Herzen konstatiert, das erstere an vielen. Einzelne Untersucher berichten in den letzten Jahren über Veränderungen im Muskelpigment des elektrisch getöteten Herzens. Ich habe damit keine Erfahrung. Man sollte auch chemische Veränderungen finden in dem erschöpften Myocard, Anhäufung von Fleischmilchsäure, Verlust des Glykogens, Abwesenheit von Zucker, Veränderungen der Wasserstoffionenkonzentration, Anhäufung von Harnstoff, Harnsäure, Purinkörpern. Schmidt (Verhandlung der Deutschen pathologischen Gesellschaft 1910) beschreibt Veränderungen der Querstreifung der Muskelfasern, hyaline Querbänder statt der Streifen, als ob der Sarcoleminhalt in einzelne getrennte Scheiben aufgelöst wäre. Daneben ausgepresstes Sarcoplasma an Stellen extremer

Kontraktion. Auch Aschoff (in Krehl und Marchand, Allg. Pathol., Bd. 1) und Langer (Bruns Beiträge, Bd. 90, 1914) berichten über ähnliches. W. Drasdo (Dissertation, 1922, Basel) erwähnt ähnliche Befunde von Herzen von Menschen, welche 1500, 13 000, 15 000 Volt bekommen hatten. Einer davon überlebte den Unfall und starb erst nach Amputation beider Arme — also war es kein Herztod. Immerhin ist es wichtig, dass feinere Faserbeschädigungen auch durch hochgespannte Ströme verursacht werden, die freilich nicht so grobe Bilder der Fragmentation geben, wie ich sie so oft bei Leichen von Verunglückten gefunden habe, welche bloss 150–500 Volt erhalten hatten.

Es wäre falsch, wenn man das Flimmern und Wühlen einzelner Muskelbündel direkt in Parallele setzen wollte mit dem Vorkommen der Fragmentation. Denn erstens sieht man auch bei kleinen Tieren, wo die Fragmentation zu fehlen scheint, das Flimmern gleich nach der Elektrisierung. Und zweitens sieht man Fragmentation, manchmal noch viel ausgedehnter, bei anderen Formen des akuten Herztodes. Ich fand bei einem innerhalb weniger Minuten gestorbenen Radfahrer, der Tags zuvor bei grosser Hitze etwa 200 km gefahren war, und der unter den Zeichen der Angina pectoris starb, eine Fragmentation, die auch im rechten Herzen und sogar in einzelnen Muskelbündeln der Vorhöfe zu finden war. Die Fragmentation wird in der Herzliteratur vielfach als Absterbeerscheinung aufgefasst. Wahrscheinlich gibt es mehrere Arten dieser Herzbeschädigung. Ich halte aber unbedingt daran fest, dass die Befunde bei elektrischem Herztode *nicht* agonale Erscheinungen sind, sondern verursacht durch die rasche Herzkontraktion gegen zu grosse Widerstände. Auch dieses Gebiet sollte besser abgeklärt werden.

Betrachten wir plötzlich und sehr heftig elektrisierte Muskeln, so können wir auch Zerreissungen finden, besonders wenn man ausgeschnittene Muskeln gestreckt an ihren Ansätzen und Sehnen befestigt, so dass sie sich nicht genügend verkürzen können und stark elektrisiert (150–250 V).

Andere Herzveränderungen sind nicht charakteristisch. Die kleinen Blutungen, die etwa im Epicard vorkommen, können auch Erstickungserscheinungen sein. Die Herzen sind manchmal extrem erschlafft, manchmal in Mittelstellung oder systolisch kontrahiert. Ausser Verbrennungserscheinungen finden sich am übrigen Körper keine sicheren Beweise des Elektrotodes. Ueber die Hirnbefunde lässt sich noch nicht viel sagen. Jellinek beschrieb capillare Blutungen im Hirn und Deformation der Hirnzellen. Die Blutungen können sowohl durch die plötzliche Drucksteigerung als durch kleinste Verletzungen der Capillaren entstehen, wie sie bei Hochspannungsverletzungen zu erwarten sind, wie ich sie an Zellen als Sprengwirkung durch die Schwingung der Grenzflächen zu erklären versucht habe. Auch Jellinek denkt wohl an ähnliches, wenn er von der dynamogenen Komponente der Nervenzellenbeschädigung spricht.

VIII. Betrachten wir die Folgen, welche die Elektrisierung des Herzens für den Körper haben muss. Steht die Zirkulation still, so tritt sofort Bewusstlosigkeit ein. Das Leben zählt dann nur noch nach Minuten.

Vor einigen Jahren ist in Starlings Laboratorium der Nachweis erbracht worden, dass das Gehirn von Hunden den Unterbruch der Zirkulation für einige Minuten erträgt. Der Stillstand des Herzens trifft ausser dem Zentralnervensystem auch die nervösen Elemente der Zirkulationsorgane, die grossen Nervenstämme, die Ganglien aller Art, die reizleitenden Elemente des Myocards selber. Jedenfalls überleben diese alle das Zentralnervensystem nach den bekannten physiologischen Versuchen mit Herzen verschiedener Tierarten. Der Coronarkreislauf hört mit dem Stillstehen des Herzens auf und damit ist das Myocard auf seine Reserven an Nährstoffen und Energiespendern angewiesen. Sind solche noch vorhanden, so ist eine Wiederaufnahme des Rhythmus möglich. Hat die Elektrisierung zu lange gedauert, so dass die Muskelelemente schliesslich aus Erschöpfung stillgestanden sind, so ist Erholung nur möglich nach Zufuhr von Nährstoffen. Ist das Herz sofort gelähmt worden, so werden nicht alle

Reservestoffe verbraucht sein. Dafür aber sind die Beschädigungen um so schwerer, sonst wäre das Herz nicht plötzlich stillgestanden.

Fassen wir zusammen: Beim Herzstillstand nach minutenlanger Elektrisierung ist das Myocard total erschöpft und kann ohne Zufuhr von Energiespendern nicht mehr arbeiten. Das Zentralnervensystem kann noch erregbar sein, da während der Elektrisierung noch eine geringe Zirkulation, vielleicht auch Atmung, bestanden hat. Beim plötzlichen Stillstand kann das Zentralnervensystem noch restitutionsfähig sein, aber das Myocard ist schwer und wohl meist definitiv beschädigt.

Die Rettung des Herzbeschädigten hängt also davon ab, ob in der für das Zentralnervensystem nutzbringenden Zeit die natürliche Zirkulation wieder hergestellt werden kann. Gelingt das nicht, so stirbt das Hirn, und dann nützt eine Wiederbelebung des Herzens nichts mehr. Wie lange überlebt das Hirn das Aussetzen der Zirkulation? Das ist die wichtigste Frage in der Lehre vom Herztod.

IX. Für therapeutische Versuche haben wir keine wissenschaftliche Basis, so lange die Dauer der Erholungsmöglichkeit unbekannt ist. Künstliche Atmung ist zwecklos, wenn das Herz schon eine Viertelstunde still gestanden ist, bevor der Arzt auf der Unfallstelle erscheinen konnte. Aber wann darf man aufgeben, wenn man die wirkliche Lebensdauer des Hirns nicht kennt? — Es gibt mehrere Typen von Herzunfällen:

1. Der Verunfallte bekommt Strom (sagen wir Lichtstrom, durch beide Arme), er kann nicht loslassen, verliert nach 1—2 Minuten die Besinnung und wird durch den Fall vom Kontakte befreit. Nach einigen Minuten, event. nach künstlicher Atmung, erholt er sich.

2. Er wird trotz Ohnmacht nicht stromfrei und stirbt nach einigen weitern Minuten.

3. Beim Berühren der Drähte stürzt das Opfer zusammen, tut noch einige Atemzüge, während das Herz flimmert und bald ganz stillsteht. Solche Unfälle passieren meistens mit Strömen von 250 Volt, oft bei Laien, die mit Motoren oder defekten Lampen, besonders bei Erdung, zu tun haben. (Zum Beispiel: Ein Bauer melkt eine Kuh beim Lichte einer herabhängenden elektrischen Lampe. Man findet ihn nachher tot unter der toten Kuh liegend. Das Tier hatte mit dem Schwanze die Lampe getroffen, Strom bekommen und der melkende Bauer auf dem nassen Stallboden war von einer Schleife des Stromes getroffen worden, welcher die Kuh tötete.)

Stärkere Ströme von 1000 Volt an aufwärts sind für Laien nicht so leicht zugänglich, aber sie treffen neben vielen Monteuren oft Arbeiter in Kraftzentralen. Diese Ströme töten durch Beschädigung des verlängerten Markes. Die Zahl 1000 Volt bedeutet ungefähr die Grenze zwischen Herztod und Hirntod. Die Unsicherheit in solchen Fällen kommt daher, dass die Stromschleifen, welche das Herz oder das Hirn treffen, je nach den Leitungsverhältnissen verschieden stark sind. Treffen z. B. 150 Milliampere das Herz und 850 das Hirn, so ist es genug für beide Organe.

Bei den hochgespannten Strömen (von einigen tausend Volt) gesellt sich zur rein elektrischen Hirnwirkung noch die schwere Verbrennung durch Flammenbogen oder Joulesche Wärme, welche bei ganz starken Strömen die Hauptgefahr bildet. Die Tötung durch Lähmung des Zentralnervensystems oder durch allgemeine Zellähmung ist dabei wahrscheinlich. Beim Blitzschlage kommen neben diesen eben erwähnten Beschädigungen noch eigentliche Sprengwirkungen zur Beobachtung, sei es durch plötzliche Dampfentwicklung oder dadurch, dass im Gewebe brennbare Gase entstehen und explodieren.

X. Es ist begreiflich, dass das *Zentralnervensystem* die *Elektrizität* etwas besser erträgt als das Herz. Für das letztere ist die Elektrizität ein Reiz, der zu unerhörter Anstrengung herausfordert, so dass äusserste Erschöpfung resultieren muss. Das Zentralnervensystem dagegen wird nicht zu aufbrauchenden Kraftleistungen gezwungen. Es ist ausserdem durch seine Lage in dem gut leitenden Liquor cerebrospinalis relativ gut geschützt, der grössere Teil der Stromschleife wird vom Liquor und von den grossen Blutgefässen der Schädelbasis und des Halses aufgenommen werden. Das Herz ist mit der sehr gut leitenden Blutflüssigkeit gefüllt, aber das

gewährt keinen Schutz, denn bei Durchströmung mit Elektrizität in irgend einer Richtung kommen stets mehrere Stellen der Herzwände in die Strombahn. Der hochgespannte Starkstrom vermag durch Schock oder Vibration der Ionen die Nervenzellen direkt zu töten, die Muskelfasern sind widerstandsfähiger. Auch die Zellen des Myocards ertragen diese höheren Spannungen besser, offenbar weil der physiologische Effekt nicht so heftig wie bei geringeren Strömen ist. Für Experimentalforscher liegt die Frage nahe: Verhalten sich auch die Skelettmuskeln in ähnlicher Weise? Sind sie gegenüber einem Strom von 2000 Volt (unter Kautelen wegen der Verbrennungsmöglichkeit) weniger empfindlich als gegenüber 150–500 Volt?

Das wichtigste Zeichen einer Beschädigung oder wenigstens einer Beeinflussung des Zentralnervensystems ist die Lähmung des Atmungszentrums. Ist diese nur Schock, und dauert die Zirkulation an, so ist eine Erholung möglich oder sogar wahrscheinlich, wenn man sofort künstliche Atmung einleitet, so dass sauerstoffhaltiges Blut dem Hirn zuströmt. Steht das Herz auch still, so nützt die künstliche Atmung nichts, ist aber so lange fortzusetzen, bis man die nötige Herzstimulation versucht hat. Gelingt es, das Herz wieder zur Tätigkeit zu bringen, dann ist Erholung möglich, falls das Zentralnervensystem nicht zu sehr beschädigt ist oder zu lange „hat warten müssen".

Wir weisen noch auf einige andere Ausgänge hin: Es kommt vor, dass Elektrisierte durch die Tetanisierung der Bauchmuskulatur Mageninhalt in die Kehle bekommen, diesen aspirieren und ersticken. Auch Zahnprothesen können die Atmungswege verlegen. Schwer Verbrannte sterben manchmal im Schock, obwohl Atmung und Zirkulation bis zum Tode andauern. Stark Verbrannte leben manchmal noch einige Tage und sterben unter zunehmender Schwäche, wie wenn sie einer Vergiftung erliegen würden. Es ist möglich, dass die resorbierten Röstprodukte diesen Ausgang verursachen. Experimentalarbeiten über die Giftwirkung derartiger Verbrennungsprodukte wären sehr erwünscht. Besonders eine Studie über die Giftigkeit der einzelnen Körper, welche bei trockener Destillation von Muskeln entstehen. (Wie z. B. Furfurol, usw. usw.). Delbet (Revue de Chirurgie 1919) konnte bei Tieren den Tod im Schock dadurch hervorrufen, dass er ihnen den Saft von zerquetschten Muskeln einspritzte. Pfeiffer (Zeitschrift für Immunitätsforschung, Vol. 18) und Virchow's Archiv 180 empfiehlt verbrannte Teile sofort abzutrennen, um den Schock zu vermeiden.

XI. *Gegenwärtige Behandlungsmethoden.* Wir wollen kurz die verschiedenen Beschädigungen durch elektrische Unfälle hervorheben und feststellen, welche Behandlung gegenwärtig geübt wird.

1. *Verbrennungen und Verletzungen* durch Sturz infolge Berührung mit elektrischen Strömen gehören ins Gebiet der Chirurgie und werden nach modernen chirurgischen Prinzipien behandelt. Wir überlassen allfällige Kritik an diesen Methoden den Chirurgen. Unter den Verbrennungen gibt es zwei Typen: die Verbrennung durch den Lichtbogen und die Verbrennung durch die Joulesche Wärme von einem berührenden Drahte oder spitzen Gegenstand her. Die ersteren sind oft sehr ausgedehnt und bleiben flächenhaft, oberflächlich, wenn der Flammenbogen nur ein Bruchteil von einer Sekunde gewirkt hat. Die anderen Verbrennungen sind meist anscheinend klein, oft nur streifen- oder punktförmig. Aber während die berührte Hautstelle verkohlt, werden die tieferen Partien in Abstufungen erhitzt, auf mehrere hundert Grad, dann nur gekocht, dann nur coaguliert. Je weiter die Joulesche Wärme sich ausdehnt, um so schwächer wird der Effekt. Dadurch kann ein grosses kegelförmiges Gewebestück betroffen werden und die Umgebung dieses Bezirkes wird in ihrer Heiltendenz beschädigt sein, so dass die Abstossung oder Resorption des Schorfes lange Zeit beanspruchen kann. Es ist sehr wichtig, diese nekrotische Substanz, und die mehr oder weniger beschädigten Gewebeteile ringsum vor sekundärer Infektion zu schützen. Auch die mehr oberflächlichen Brandbezirke der Flammenbogenverletzung müssen geschützt werden. Statt auf Details einzugehen will ich hier die Methode erwähnen, welche im Betriebe der General Electric Co. (Schenectady,

New York) jetzt üblich ist. Ich verdanke diese Angaben einer brieflichen Mitteilung, welche ich vor einigen Wochen von dem Chefarzt in Schenectady, Dr. D. Glen Smith, erhalten habe:

„Die Wunde wird sofort in kaltes steriles Wasser eingetaucht oder damit bedeckt. Das erleichtert den Wundschmerz. Ist die Verbrennung beträchtlich, oder kann die erste Linderung mit kaltem Wasser nicht gemacht werden, so wird gleich eine Morphineinspritzung gegeben. Nun wird die verletzte Stelle mit sterilen Kompressen bedeckt, welche in $2\,^1/_2\,\%$ Tanninlösung eingetaucht worden sind. Das Tannin wirkt schmerzstillend und astringierend. Es verbindet sich mit den Proteinen des nekrotischen Gewebes, so dass sie im Brandgebiete zurückgehalten und nicht direkt resorbiert werden, und keine Giftwirkung entfalten können. Hat die Tanninlösung eingewirkt, vielleicht nach 12—24 Stunden, so wird die Brandstelle einfach trocken aseptisch verbunden, zum Schutze gegen mechanische Beschädigungen, aber ohne dass der Luft der Zutritt verwehrt wäre. Das nekrotische Gebiet löst sich dann allmählich los. War die Verbrennung sehr gross, so folgen dann Hauttransplantationen, sonst lässt man einfach unter leichtem Verbande heilen. Gegen die gefährlichen sekundären Blutungen schützt man die Verletzungen in allen Fällen, wo die Möglichkeit vorliegt, dass in der Tiefe ein grösseres Gefäss beschädigt sein könnte, indem man sie in der gefährlichen Zeit, etwa vom fünften bis zehnten Tage an, ein Tourinquet lose tragen lässt, welches sofort angezogen werden kann, wenn es bluten sollte."

Ob Tannin allein genügend desinfizierend ist für die Haut, oder ob nicht vorher ein Jodanstrich, wenigstens bei kleineren Verbrennungen, eventuell Zusatz einer geringen Menge eines desinfizierenden Mittels zu der Tanninlösung bei grossen Verbrennungen von Vorteil wäre, überlasse ich dem Urteil der medizinischen Leser.

Wichtig scheint mir die amerikanische Methode besonders dadurch zu sein, dass unter dem Tanninverbande die Säfte der Wunde kolloidal ausgefällt werden, und dadurch die Wunde gegen Infektion verschlossen wird. Wenn dann eine Demarkationsfläche entstanden ist, so ist auch darin ein Verschluss gegen Infektion vorhanden. Der direkte Koagulationsverschluss einer Wunde ist an sich nicht gerade erwünscht, denn die allfälligen Wundsekrete sollten Abfluss haben. Aber man bedenke, dass eine elektrische Verbrennung total bakterienfrei wird durch die Hitze und dass die oberste Schicht meistens verkohlt oder sonst trocken ist. Dabei wird eine tiefer dringende Koagulation kaum schaden. Und bei flächenhaften Lichtbogenverbrennungen wird das Tannin einen trockenen Schorf bilden helfen, denn Brandblasen kommen da weniger vor als bei gewöhnlichen Verbrennungen.

2. In seinem Briefe sagt Dr. D. G. Smith: Es ist gut, wenn der Arzt sobald als möglich den Verunfallten über seinen Fall soweit beruhigt, als er es der Wahrheit gemäss tun kann". In vielen Fällen kann dadurch einer *psychischen Beschädigung*, wie *traumatischer Hysterie,* vorgebeugt werden. Gerade die elektrischen Arbeiter, welche immer und immer auf die Gefahr einer Berührung mit dem Strome aufmerksam gemacht worden sind, können sehr unter psychogenen Störungen leiden, wenn das gefürchtete Ereignis nun wirklich eingetreten ist. Einige taktvolle Worte können sehr viel Unheil verhüten. In einzelnen Fällen zeigen sich nach Beschädigung des Zentralnervensystems Aufregungszustände, die bis zur Tobsucht gehen können. Es ist klar, dass solche Fälle sehr bald ein starkes Beruhigungsmittel haben müssen (Scopolamin, Luminal natrium, oder Somnifen, alles per Injektion).

3. Ohnmacht, Schock und Herzbeschädigung sind im ersten Momente schwer zu unterscheiden. Der Arzt wird Ohnmacht diagnostizieren, wenn Atmung und Puls nicht unterbrochen sind, und die entsprechende Therapie anwenden. Schock kann eventuell das Herz für einen kleinen Augenblick zum Stillstand bringen, wie der Goltzsche Klopfversuch zeigt. Solche Zustände würden durch jede therapeutische Bestrebung leichter behoben, als wirkliche Herzbeschädigungen. Wenn das Herz von stärkeren Stromschleifen getroffen wird, so wird es stets beträchtlich verletzt. Es schlägt nur schwach, es flimmert, oder es steht, für das Ohr wenigstens, ganz still.

XII. Diagnostisch ist die theoretische Einteilung in Ohnmacht, Schock, Herzverletzung, nicht glücklich. Es gibt Ohnmachtsfälle, die so schwer sind, dass man die Herztöne kaum noch hört. Für praktische Zwecke unterscheiden wir besser:

a) Verunfallte mit erhaltener Respiration und Zirkulation.
b) Solche mit unterbrochener Atmung aber funktionierender Zirkulation.
c) Solche mit schwer gestörter oder fehlender Zirkulation, wobei die Respiration vielleicht noch eine Minute fortdauert, aber dann aufhört.
d) Fälle, bei denen die Respiration durch Hirnbeschädigung gelähmt ist, das Herz aber nicht. Dieses sind Hochspannungsverletzte, die Ströme von tausend Volt erhalten haben.

Die Behandlungsarten gruppieren sich sehr gut in diese Einteilung.

Die erste Gruppe *a*, die zwar ohnmächtig sein können, aber atmen und Puls haben, werden wie andere Ohmächtige horizontal gelagert. Man versucht sie durch Hautreize zu wecken und macht subkutane Einspritzungen von Kampferäther, Adrenalin, Camphemol u. ähnl.; manchmal wird man finden, dass das Herz doch beschädigt war, und wird Digalen einspritzen. Warme Umschläge, besonders auf das Herz, können von Vorteil sein.

Die Gruppe *b* bedarf sofortiger künstlicher Atmung, wobei eventuelle Hindernisse der Atmung vorher zu beseitigen sind. Sie werden auf Injektion von Hirnstimulantien, wie Lobelin, Coffein, intramuskulär oder intravenös, gut reagieren, wenn das Atemzentrum nicht schwer beschädigt ist.

Die Gruppe *c*, wo hauptsächlich die Zirkulation beschädigt ist, wird heute vor allem mit künstlicher Atmung behandelt, mit Reizung der Herzgegend, oft mit subkutanen Injektionen von Herzstimulantien, oder besser mit intravenösen Einspritzungen. In einigen Fällen sind intrakardiale Einspritzungen von Digitalis usw. gemacht worden.

Die Gruppe *d*, bei der Zirkulation noch besteht, aber die Atmung aufgehört hat, weil das Atmungszentrum gelähmt ist, ist wohl meist unrettbar verloren. Es kommen aber Grenzfälle vor, bei denen das verlängerte Mark vielleicht durch Schock beeinflusst ausser Funktion, aber nicht definitiv gelähmt oder getötet ist. In diesen Fällen ist durch intravenöse Einspritzung von Nervenreizmitteln vielleicht etwas zu erreichen.

XIII. Sehen wir nun, *ob* diese *Behandlungsweisen verbessert* werden könnten. Zuerst die Atemlähmung: Wir können durch künstliche Atmung den Tod durch Atemlähmung hinausschieben. Solange das Herz schlägt, besteht die Möglichkeit der Erholung. Wir spritzen spezifische Reizmittel in die Venen ein, so dass sie ins Hirn gelangen können. Man kann, während die künstliche Atmung andauert, eine Carotis blosslegen und durch Einstich mit feiner Kanüle direkt gegen das Hirn hin einspritzen (Lobelin, Coffein, Strychnin). Diese gleiche Stimulation wäre erwünscht auch in Fällen, wo das Herz erlahmt oder still zu stehen droht. Aber, wenn die Zirkulation unzuverlässig ist, so würde ich eine Einspritzung in den Liquor cerebrospinalis machen. Man sollte in der zu schaffenden Hülfskiste geeignete Kanülen und Ampullen mit den erwähnten Mitteln bereit haben für die Einspritzung in die Cysterna magna. Technik: Der Kopf des Verunfallten wird nach vorne gebeugt. Am unteren Rande des Epistrophüsdornes, genau in der Mittellinie, wird mit ca. 8 cm langer Injektionsnadel nach dem Occiput gestochen. Diesem entlang gleitet die Nadel nach aufwärts und trifft, wo der Knochen aufhört, auf die Membrana atlantooccipitalis. Diese wird durchstossen, wodurch die Spitze in die Cysterna magna gelangt (4—7 cm von der Hautoberfläche). Man spritzt nun 1 cm^3 Lobelin ein und 1—2 cm^3 einer 10% Lösung von Coffeincitrat (nach Rudolf Stahl, Zentralblatt f. Innere Medizin, No. 31, 2. August 1924). Die Zysternenpunktion ist nach A. von Sarbo (Klinische Wochenschrift 1926, No. 19) ganz leicht. Ob die Medikamente vom Liquor Cerebrospinalis aus rasch wirken, ist zuerst durch Versuche zu prüfen. Am besten wirken sie vom zirkulierenden Blute aus oder vielleicht nach Einspritzung in die Carotis. Dann wäre es wohl günstig, die Medikamente in mindestens 10 cm^3 Lösungsmittel einzuspritzen, damit sie infolge des grösseren Volumens wirklich ins

Zentralnervensystem gelangen (natürlich ist dabei der zentrale Teil der Carotis abzuklemmen, sonst könnte die Injektionsflüssigkeit gegen das Herz hin verloren gehen). Der Herzstillstand setzt fast sofort das Zentralnervensystem ausser Tätigkeit und das Schicksal des Verletzten ist innerhalb weniger Minuten erfüllt. Wäre auch die Herzverletzung selbst reversibel, so stirbt der Verletzte an Lähmung des verlängerten Markes. Das unbeschädigte Herz an sich würde die Unterbrechung der Zirkulation wohl viele Minuten ertragen, auch beim Menschen.

XIV. Für die schweren Fälle brauchen wir neben der künstlichen Atmung auch eine *künstliche Zirkulation.* Ist es möglich diese zu schaffen? An sich wären die Schwierigkeiten nicht unüberwindlich, wenn nicht die Gerinnbarkeit des Blutes mit der Gefahr von Thrombose und Embolie, und die technischen Schwierigkeiten der Verstopfung von Kanülen und Röhren, die mit Blut in Berührung kommen, derartigen Versuchen entgegenstünden. Die Gerinnbarkeit des ganzen Blutes muss aufgehoben werden, oder zum mindesten in *den* Blutgefässen, welche in Betracht kommen. Kann man ohne definitiv zu schaden das Blut ungerinnbar machen? Wir haben dafür zwei Wege. Den ersten, Einspritzungen von Blutegelkopfextrakt in genügender Menge, um die ganze Blutmenge ungerinnbar zu machen, würde ich zu gefährlich halten[1]). Wohl aber dürfte man die Einspritzung von Na.citratlösung oder von Magnesiumsulfat versuchen, das letztere allerdings nur mit grosser Vorsicht. Experimentalarbeiten über die Möglichkeit der Aufhebung der Blutgerinnungsfähigkeit und deren Gefahren sind notwendig. Gelingt die Aufhebung der Blutgerinnung, dann kann man ohne Schwierigkeit eine Blutpumpe konstruieren und damit, wenn nötig, stundenlang neben der künstlichen Atmung eine künstliche Zirkulation unterhalten. Vielleicht würde auch die blosse Herabsetzung der Gerinnbarkeit auf die doppelte oder dreifache Gerinnungszeit genügen. Die Röhren und Kanülen, welche bei dem künstlichen Kreislauf nötig sind, sollten solid und haltbar paraffiniert werden, oder sie müssten aus einem Material hergestellt sein, welches weniger gerinnungsbefördernd wirkt als Stahl, Nickel oder irgend ein anderes Metall. Schon Hartgummi wäre günstiger; vielleicht ein Kautschukersatz (wie Formalinderivate) noch besser. Man könnte Kanülen aus irgend einer Masse machen, welche Zitratpulver enthält und so für einige Stunden antikoagulativ wirken würde. Ich denke z. B. an Schläuche aus gehärteter wasserunlöslicher Gelatine oder ähnlichem Material, in welchem Zitratkörnchen eingeknetet wären. Erst wenn man solche Kanülen und Schläuche besitzt, wird die künstliche Zirkulation gefahrlos sein. Wer das erreicht, wird der medizinischen Wissenschaft neue Möglichkeiten eröffnen und ein Wohltäter der Menschheit sein.

XV. Neulich hat Dr. R. Eisenmenger (Wien) einen Wiederbelebungsapparat beschrieben (Umschau, 18. IX. 1926, andere Literaturangaben fehlen leider), der nicht nur die künstliche Atmung, sondern auch künstliche Zirkulation herstellen will. Thorax und Abdomen werden von einem Schild umfasst, der an seinem Rande eine Dichtung (welcher Art, ob Heftpflasterplatten?) trägt und dadurch luftdicht abschliesst. Durch komprimierte Luft wird der Raum zwischen dem Schild und der Haut gefüllt, so dass die Lunge ausgedrückt wird. Nun lässt man die Luft in einem leergepumpten Windkessel abströmen, so dass die Thoraxwand gedehnt und an den Schild hingesogen wird. Bei jeder dieser Atembewegungen wird das Blut entweder aus dem Herzen in die Gefässe gepresst (Expirium) oder ins Herz eingesogen (Inspirium). Ein Elektromotor besorgt die Pumparbeit.

Leider scheint unmöglich, dass dadurch eine wirkliche und erfolgreiche Zirkulation des Blutes entstehe. Es wird nur ein hin- und herfliessen erreichbar sein, denn solange die Muskeln nicht arbeiten, werden die Herzklappen ihr Schliessen und Oeffnen nicht besorgen, und damit fällt das den Blutstrom richtende Element weg. Auch ist es nicht möglich, einen solchen starren Schild zu bauen, der bei

[1]) Es wird neuerdings empfohlen, nach der Hirudineinspritzung dieses Mittel durch Dialyse wieder zu entfernen (siehe Klinische Wochenschrift 1925, No. 1, pag. 13, Georg Haas). Wenn das ginge, wäre eine Blutpumpe leicht anwendbar, da man nachher die schädliche Wirkung wieder aufheben könnte.

jedem Thorax so passt, dass er luftdicht anschliesst. Das ginge ja nicht einmal mit einer Klebemasse.

XVI. Man kann das Hirn einige Zeit lang ernährt halten, indem man nach raschem, geschickten Schnitt bis auf die Carotis in diese eine Kanüle einsticht oder einbindet und gegen das Hirn hin Ringerlösung mit Zitrat einspritzt. Nachdem einige Spritzen voll eingelaufen sind, lässt man aus der Vena Jugularis Blut abfliessen, welches dann schon mit Ringerlösung gemischt sein wird und spritzt diese Mischung nach Schütteln mit Luft wieder in das Hirn (Vorsicht wegen Luftembolie!). Ein Teil der eingespritzten Ringerlösung wird durch die V. Jugularis der anderen Seite zufliessen und so wird allmählich die ganze Blutmenge Zitrat enthalten. Dann kann man direkt aus dem gegen das Herz hin gelegenen Teil der Carotis Blut mit der Spritze ansaugen und weiter pumpen.

Alle diese Versuche sind vom „Faktor *t*", der Zeit, beherrscht und können nur bei bester Technik Erfolg haben. Deshalb muss eine Reihe von Versuchen durchgeführt werden, welche die Zahl von Minuten bestimmt, welche bis zum Eingreifen der Hülfszirkulation verstreichen darf. Wahrscheinlich werden es kaum 2 Minuten sein. Wer kann die notwendigen Eingriffe in dieser Zeit machen?

XVII. Es wäre sehr zu begrüssen, wenn die Physiologen die *Kriterien des eingetretenen Todes* genauer präzisieren könnten. Das Herz, wenn es nicht sehr grob beschädigt ist, würde sich durch künstlichen Coronarkreislauf viel eher wiederbeleben lassen, auch nach ziemlich vielen Minuten, als das Zentralnervensystem. Wann ist dieses definitiv tot? Können wir uns nach der Reflexerregbarkeit richten? Welches ist der zäheste Reflex, d. h. derjenige, der zuletzt verschwindet? Und wie lange darnach bleibt das Hirn noch belebungsfähig durch plötzlich retablierenden Kreislauf? Genügt Ringerlösung mit Glucose (?) und Sauerstoffgehalt, um die Nervenzentren vor dem definitiven Tode zu bewahren?

Blosslegen des flimmernden Herzens, Durchspülen des Coronarkreislaufes mit Ringerlösung, würde wohl in vielen Fällen das Herz retten. Aber was nützt das, wenn unterdessen das Zentralnervensystem abgestorben ist. Der Tod des Körpers ist ja nicht ein gleichzeitiger Tod aller Zellen, aber das Ueberleben der meisten Zellgruppen hilft nichts, wenn *ein* wichtiges Organ definitiv auf Abbau übergegangen ist. So lange wir nichts genaues wissen, müssen wir doch z. B. die künstliche Atmung viel länger als bloss einige Minuten fortsetzen über den Moment des Herzstillstandes hinaus.

XVIII. Eine viel empfohlene Methode der Herzstimulation ist die Elektrisierung. Bei Hunden ist es verschiedenen Experimentatoren gelungen, durch kurze Schläge des gleichen Stromes, der es stillgestellt hat, das Herz wieder in Gang zu setzen. Ein Herz, welches reflektorisch oder durch Ermüdung (nach länger dauernder mässiger Reizung) stillgestanden ist, kann wohl durch einen Induktionsschlag oder mehrere Stromwechsel von Lichtstrom wieder belebt werden. Wenn aber die Muskelfasern stark beschädigt sind, dann wird weitere Reizung höchstens die Fibrillation anfachen, aber keine rhythmische Arbeit. Da man von aussen den genauen Zustand des Myocardes nicht beurteilen kann, so ist es gut, diese Art der Reizung als ultima ratio zu versuchen. Die Reizung darf nicht lange dauern; ein kleiner, abgleitender Schlag mit einem Drahte der Lichtleitung (nicht über 200 Volt) auf die Thoraxhaut, während der andere Draht ein auf die Brust gelegtes nasses Handtuch berührt, kann nicht viel schaden, wenn der Strom nicht länger als etwa $^1/_{10}$ Sekunde dauert. Auch faradischer Strom könnte verwendet werden. Das rationellste Vorgehen ist, dem flimmernden Herzen durch Einspritzung in den linken Ventrikel diejenigen Medikamente usw. zuzuführen, von denen man Erfolg erhoffen kann, und dann von der Kanüle aus zu elektrisieren. Diese wird im linken 4. Interkostalraum am Rande des Sternums durch Stich senkrecht zur Frontalebene eingestossen. Sie ist 7—8 cm lang, scharf, aber nicht zu spitz geschliffen, damit sich die Spitze nicht umbiegen kann. Sonst würde sie beim herausziehen die Herzwand verletzen, was eine Blutung ins Pericard veranlassen könnte. Man fühlt deutlich, wenn man die Ventrikelwand durch-

stossen hat, dass die Spitze wieder frei wird. Durch Anziehen des Stempels der Spritze aspiriert man etwas Blut, um sich zu versichern, dass die Spitze im Ventrikel ist. Die Kanüle muss aus bestem Stahl bestehen und richtig gehärtet sein, damit sie ja nicht abbrechen kann. Sie darf etwas elastisch sein, muss aber doch gut stechen. Es wird praktisch sein, am Sockel einen kleinen Hahn anzubringen, damit man die mit Ringerlösung gefüllte Kanüle und die halbgefüllte Spritze ganz luftfrei halten kann. Nachteile der Herzinjektionen: Man kann das Septum ventriculorum treffen (was unbedeutend wäre). Man könnte zufällig ein Coronargefäss anstechen und eine Blutung ins Pericard könnte daraus entstehen. Man wird gut tun, nach erfolgreicher Wiederbelebung des Herzens die Grösse der Herzdämpfung festzustellen und auch die Herztöne zu beurteilen. Sollte nachher der Patient kollabieren, so könnte man leichter ein Haematopericard feststellen. Dann müsste man die Blutung chirurgisch stillen. Ein solcher Zufall wäre jedenfalls sehr selten. Steriles Arbeiten wird eine Infektionsmöglichkeit vermeiden. Ich würde vorschlagen, die Kanüle in steriler Pergamentpapierhülle in der Unfallkiste vorrätig zu haben, so dass man die Hülle in Jodtinktur tauchen, auf die Haut bringen und die Kanüle direkt durchstechen kann. Die Spritze mit Injektionsflüssigkeit halb gefüllt, würde vor dem Einstich noch aufgesetzt, die Luft aus der Kanüle verdrängt und dann der Hahn geschlossen. Nach der Injektion kann man, wie bemerkt, die Kanüle noch einen Moment stecken lassen und als Elektrode benützen. Die andere Elektrode würde in nassem Tuch auf die Brust gelegt. Der Arzt sehe sich aber dabei vor, dass er nicht Opfer No. 2 wird, indem er an den Drähten kleben bleibt oder mit feuchten Schuhen Erdschluss bekommt.

Für Herzinjektionen [2]) kommen in Betracht: Digitalispräparate, Digalen, Strophantin, Coffein, Adrenalin, wasserlösliche Kampferpräparate, Cardiazol, Coramin. Vielleicht versprechen sie mehr Erfolg, wenn sie im Momente der beginnenden Wirkung durch einen weiteren Reiz, wie elektrische Schläge, unterstützt werden. Ich würde zur Injektion stets Ringerlösung verwenden und vor grösseren Flüssigkeitsmengen, 100 – 200 cm^3, nicht zurückschrecken. Ein Zusatz von 5 – 20 g Glukose zu einer Einspritzung, als Energiestoff für den Herzmuskel, wird von Vorteil sein. Die Chemie sollte einen Sauerstoffträger als Ersatz für das Haemoglobin liefern, wodurch die künstliche Zirkulation erleichtert würde. Feinste Kolloidkörner, die O_2 leicht aufnehmen und leicht abgeben würden, wären das Ideal.

In neuester Zeit ist darauf aufmerksam gemacht worden, dass das schwach radioaktive Kalium sehr viel zu tun habe mit der Entstehung des Herzrhythmus. Könnte dieser Effekt durch den Wechselstrom gestört worden sein? Wenn ja, so müsste man vielleicht etwas mehr Kalium der Ringerlösung zufügen oder einen andern radioaktiven Körper. Da der Ringerlösung auch Adrenalin zugefügt würde für die Herzinjektion, so ist die nach Zwaardemaker nötige Kombination für Herzanregung vorhanden. Es ist nicht ganz unmöglich, dass die starke Elektrisierung die Ladung mit Alpha- und Betastrahlen irgendwie beeinflusst hat. Untersuchungen auch in diesem Punkte wären wichtig.

Wenn sich die Entdeckung Haberlandts bestätigt, der ein Hormon der Herzbewegung beschreibt, so wäre dieses Hormon durch Herzinjektion in das Herz einzuspritzen und würde nach Haberlandts Angaben die rhythmische Tätigkeit am ehesten anfachen.

Ein ärztliches Komitee studiert im Auftrage des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke jetzt die Wiederbelebungsmethoden und wird in einiger Zeit seine Beschlüsse publizieren. Diese Zeilen sind als Einleitung für die Arbeit des erwähnten Komitees geschrieben worden.

Ich habe mehrmals auf eine zu schaffende Hilfskiste für elektrische Unfälle hingewiesen. Diese wird nach Angaben der erwähnten ärztlichen Studienkommission zusammengestellt werden.

[2]) Diese Methode der Herzstimulation ist für Aerzte leicht, selbstverständlich und schon so oft ausgeführt worden, dass ich darauf verzichten kann, Autoren zu nennen.

Ich bitte, noch eine Schlussbemerkung machen zu dürfen. Ich habe absichtlich fast ganz auf Literaturzitate verzichtet, denn derartige Verzeichnisse sind in vielen Arbeiten der letzten 15 Jahre enthalten und bilden manchmal fast deren einzigen Inhalt. Mancher Leser dieser kleinen Abhandlung wird vielleicht bemerken, der Schreibende habe mehr *Vorschläge* für Experimentalarbeiten gebracht, als Berichte über seine eigenen. Darüber bin ich mir selbst klar, und ich schreibe hauptsächlich deshalb, weil ich einsehe, dass ich von den geplanten Arbeiten selber nur noch wenige werde in Angriff nehmen können und weil ich hoffe, jüngere Biologen für dieses oder jenes Thema begeistern zu können. – Die Theorie über die Wirkung elektrischer Potentiale auf Zellen und Kolloide ist das Resultat langjähriger Beschäftigung mit elektrophysiologischen Problemen im Tier- und Pflanzenreich (letztere noch nicht publiziert, erstere Pflügers Archiv, Bd. 53, pag. 494; ferner Pflügers Archiv 55, Biochem. Zeitschrift, Vol. 60,4 do. 5 und 6).

Betriebszuverlässigkeit von Stromerzeugern.

Von *H. Puppikofer,* dipl. Ing., Baden.

621.312(0065)

Der Autor berichtet über die statistischen Ergebnisse von Erhebungen, die von der Vereinigung der nordamerikanischen Elektrizitätswerke über die Zuverlässigkeit von Maschinengruppen in Elektrizitätswerken angestellt wurden. Diese Erhebungen erstrecken sich sowohl auf thermische, wie auf Wasserkraftwerke, und auch auf die Antriebsmaschinen. Aus den Erhebungen kann der Schluss gezogen werden, dass die Zuverlässigkeit der Maschinen in Elektrizitätswerken absolut eine sehr hohe ist, und dass dieselbe für Wasserturbinenaggregate eine höhere ist als für thermische Aggregate.

L'auteur réfère sur les résultats d'une enquête statistique relative à la stabilité de fonctionnement de groupes de machines dans les centrales, organisée par l'association des centrales d'électricité de l'Amerique du Nord. Cette enquête s'étend aux usines thermiques comme aux usines hydrauliques, et embrasse aussi les moteurs entraînant les génératrices. Elle conduit à la conclusion que la sécurité de fonctionnement des machines dans les centrales électriques est très élevée, et qu'elle est supérieure pour les aggrégats hydrauliques que pour les aggrégats thermiques.

Die Statistik erfasst heute stets weitere Gebiete; sie ist bei weiser Verwendung offenbar auch in der Lage, gute Dienste zu leisten. Das Hydraulic Power Committee der National Electric Light Association hat der Konferenz vom März 1926 in Atlantic City einen Bericht vorgelegt, in dem die Betriebszuverlässigkeit von 56 hydroelektrischen Stromerzeugergruppen untersucht und verglichen wurde mit der Zuverlässigkeit von 87 kalorischen Gruppen. Die Untersuchung erstreckte sich auf Einheiten mit einer Leistung von 2500 PS und mehr bei einem Gefälle von 50 Fuss und darüber, sowie auf Einheiten, die mit einem Gefälle unter 50 Fuss laufen, aber Wassermengen von mehr als 500 Kubikfuss verarbeiten. Der Wert einer Statistik wächst natürlich mit der Anzahl der davon erfassten gleichartigen Gegenstände. Es muss daher die Anzahl speziell der hier untersuchten Freistrahl-Turbinen als etwas klein bezeichnet werden. Die Ergebnisse gestatten immerhin verschiedene Schlüsse zu ziehen und scheinen mir wert, unsern schweizerischen Werksleitern zur Kenntnis gebracht zu werden. Die ganze Arbeit ist in mustergültig knapper Weise in zwei Tabellen zusammengefasst, deren Zahlen in Prozenten ausgedrückt sind, so dass der unmittelbare Vergleich sehr erleichtert wird.

Bei der Schwierigkeit, für die einzelnen Begriffe eindeutig zutreffende Bezeichnungen zu finden, wird es angezeigt sein, einige Erläuterungen zu geben. Während unter der Nichtbetriebszeit die Zeit zu verstehen ist, während welcher die Einheit aus irgend einem Grunde, sei es Reparatur, sei es Reservehaltung usw. von den Sammelschienen abgeschaltet werden muss, ist unter Ausfallzeit nur die Zeit der Abschaltung wegen Störungen, Reparaturen, Reinigung usw. gemeint. Die Zeit des Stillstandes wegen Wassermangel ist in der Reservezeit inbegriffen. Unter Reservezeit ist also die Zeit zu verstehen, während welcher die Einheit still steht, aber