

(Aus dem Gerichtsärztlichen Institut der Universität Breslau. — Direktor: Geh.
Med.-Rat Prof. Dr. *Georg Puppe.*)

Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung mittel- und hochgespannter elektrischer Ströme auf den lebenden Körper.

Von

Priv.-Doz. Dr. **F. Pietrusky,**

I. Assistent am Institut.

Mit 14 Textabbildungen.

In letzter Zeit kamen im hiesigen Gerichtsärztlichen Institut vier Personen zur Obduktion, die durch elektrische Ströme, und zwar durch hochgespannte, wie solche mittlerer Spannung, und durch Blitz getötet waren. Beachtenswerte pathologisch-anatomische Befunde, die erhoben werden konnten, waren die Veranlassung, durch zahlreiche Tierversuche diese Beobachtungen nachzuprüfen. Die Versuche wurden z. T. im Institut, z. T. in der Versuchsstation des Städtischen Elektrizitätswerkes vorgenommen, und zwar sowohl mit Gleichstrom wie mit Wechselströmen verschiedenster Spannung und Stärke, aber mit gleicher Frequenz.

Bei der Auswertung solcher Experimente mit Elektrizität, ebenso wie bei der Begutachtung und wissenschaftlichen Erklärung elektrischer Unfälle werden wir einmal alle Faktoren, die für die Wirkung eines elektrischen Stromes an sich von Bedeutung sind, feststellen, dann aber auch alle die Punkte beachten müssen, die diese Wirkung abzuschwächen oder zu verstärken geeignet sind. Zur ersten Gruppe haben wir — abgesehen von der Stromart — die Stromstärke, die Spannung und bei Wechselstrom die Frequenz zu rechnen, zur zweiten Gruppe den Widerstand, die Kontaktdauer, die Stromdichte in den Organen, die individuelle Disposition und schließlich noch die „psychische Komponente“ zu zählen. Da es sich aber hier vorzugsweise darum handelt, die Veränderungen, die der Strom im tierischen Körper macht, zu zeigen, glaube ich auf die genannten Punkte nur kurz eingehen zu sollen, so wichtig sie in der Gesamtheit wie jeder für sich allein, z. B. für die Folgen eines Unfalles, sind.

Die nicht nur unter Laien, sondern auch bei Technikern und Ärzten noch jetzt weit verbreitete Meinung, daß die Gefährlichkeit eines elek-

trischen Stromes mit der Größe seiner Spannung zunimmt, wurde von *Kratter* zuerst bekämpft. Seitdem ist die Literatur über Todesfälle durch niedrig gespannte Ströme ständig gewachsen. Als niedrigste Spannung, bei der der Tod eintrat, ist bisher 46 Volt beobachtet worden (*Capello* und *Pellegrini*). Dagegen finden wir Veröffentlichungen in großer Zahl, nach denen hochgespannte Ströme bis 25 000 Volt und mehr das Leben nicht gefährdeten, trotz Durchgangs durch den ganzen Körper (*Rumpel*, *Balkhausen*, *Grueter* u. a.) Die Stromstärke wird jetzt als das Ausschlaggebende für die tödliche Wirkung angesehen. Man nimmt an, daß durchschnittlich von 0,1 Ampere ab ein Strom allein tödlich wirken kann. Bei Obduktionen durch Elektrizität Getöteter können, wenn wenigstens diese Stromstärke eingewirkt hat, Krankheiten, wie z. B. Tuberkulose usw., als Nebenfunde gewertet werden (*Boruttan*, *Hapke* u. a.). Diese Ansicht, daß für die tödliche Wirkung eines Stromes die Stromstärke allein verantwortlich zu machen ist, ist m. E. in dieser Fassung nicht richtig.

Zum Beweise bringe ich einige meiner Versuche mit hochgespannten Strömen, bei welchen ich in liebenswürdiger Weise von den Herren der Versuchsanstalt des Städtischen Elektrizitätswerkes, insbesondere von Herrn Ingenieur *Schöler*, unterstützt wurde.

Zwischen 4 Glaswänden wurden 2 Kupferplatten in einer Entfernung von etwa 2 cm voneinander isoliert aufgestellt und mit den beiden Polen einer elektrischen Leitung verbunden. Ein Meerschweinchen wurde auf eine dieser Platten gesetzt und sollte, wenn es hin und her lief und die 2. Platte berührte, den Strom durch den Körper erhalten. Es sollten auf diese Weise möglichst naturgetreue Verhältnisse geschaffen werden. Der Weg, den der Strom nahm, war in allen Fällen von einem oder den beiden Vorderläufen nach den Hinterläufen. War das Tier gefallen, so lagen die beiden Pole auf einer Körperseite.

Beim 1. Versuch ging ein Drehstrom von 2500 Volt, 3 Ampere und 50 Perioden durch die Leitung. Als das Versuchstier die 2. Platte mit den Vorderläufen berührte, fiel es sofort, ohne zu klagen, hin und blieb steif liegen. Nach 13 Sekunden wurde der Strom unterbrochen. Es traten Krämpfe am ganzen Körper auf. Die Atmung war zunächst ganz langsam, besserte sich aber schnell. Nach 3 Minuten hatte sich das Tier völlig erholt.

Ein anderes Meerschweinchen wurde auf die gleiche Weise einem Drehstrom von 5000 Volt, 1,2 Ampere, 50 Perioden ausgesetzt. Als es mit der rechten Vorderpfote die 2. Kupferplatte berührte, schrie es auf und krampfte sich zusammen, ohne zu fallen. Da im Tier der Widerstand zu gering war, flogen die Sicherungen heraus. Sie mußten 5 mal eingesetzt werden, so daß also 5 mal der Strom für ganz kurze Zeit durch das Tier ging, bevor es die Besinnung verlor. Nach einem dauernden Durchgang im Liegen von 15 Sekunden wurde ausgeschaltet. Am Körper traten leichte Zuckungen auf. Die zuerst ganz langsame Atmung besserte sich, und nach 5 Minuten war das Tier völlig munter.

Hervorgehoben sei, daß dieses Meerschweinchen tragend war. Nach dem Versuch konnte an dem rechten Vorderlauf eine etwa linsengroße Stelle, an der die Oberhaut fehlte, festgestellt werden. Blutung war nicht vorhanden. Die Wunde war eine ganz oberflächliche. 10 Tage

nach dem Versuch wurden zwei faultote Früchte geboren. Nach 3 Wochen war der rechte Vorderlauf oberhalb der Wunde abgestoßen. Die Wundfläche war mit einer zarten Haut bedeckt. Das Charakteristische derartiger Verletzungen ist die Schmerzlosigkeit, fehlende Eiterung und fehlendes Fieber. In unserem Falle war der Lauf nach dem Versuch wie gewöhnlich gebraucht worden. Die Haare um die Wunde waren nicht versengt. Auf derartige Verletzungen, die *Jellinek* als erster beschrieb, wird später zurückgekommen.

Ich ging nun dazu über, die Spannung auf 10 000 Volt, mit 1,2 Ampere bei 50 Perioden zu bringen und möglichst lange wirken zu lassen. Durch ein Meerschweinchen wurde der Strom auf die oben angegebene Weise 30 mal zu je 1 Sekunde hintereinander geschickt. Die Beobachtungen waren zunächst die gleichen. Sofortige Bewußtlosigkeit, Krämpfe, Aussetzen der Atmung. Nach dem Versuch wurde das Herz freigelegt. Die Kammern fanden sich ausgesprochen im Zustand des Wühlens. Nach etwa 1 Minute setzten regelmäßige Kontraktionen ein, nach 4 Minuten schlugen die Kammern immer langsamer, die Vorhöfe schneller, bis diese schließlich ganz allein weiterarbeiteten. Beachtenswert ist, daß bei diesem Strom Kammerflimmern auftritt und sich ohne Zutun von selbst verliert.

Wenn diese Versuchsanordnung auch möglichst naturgetreue Verhältnisse bot, so hat sie doch den *Nachteil*, daß nicht mit Sicherheit angegeben werden kann, welche Stromstärke durch den Körper ging. Durch die Haare, wie durch die derbe Haut an den Fußballen ist ja ein sehr wesentlicher Widerstand in den Stromkreis eingeschaltet. Jedenfalls kann mit Bestimmtheit gesagt werden, daß die Amperezahl ganz wesentlich unter 1, sehr wahrscheinlich auch unter 0,1 war.

Um diesem Übelstand abzuhelfen, ging ich so vor, daß ich das Tier fesselte, die Haare an den Läufen, linker Vorder- und rechter Hinterlauf, abschnitt, hier feuchte Leinwand umwickelte und darüber die Drähte anbrachte. Einem Versuchstier wurde auf diese Weise ein Strom von 10 000 Volt, 1,2 Ampere, 50 Perioden in 12 Schlägen zu je $\frac{1}{2}$ Sekunde beigebracht. Schon bei der ersten Einwirkung war es besinnungslos, streckte sich und hatte keine Atmung. 1 Minute nach dem Versuch kommt die Atmung wieder in Gang. Am sofort freigelegten Herzen findet man sehr lebhaft, geordnete Zusammenziehungen von Vorhöfen und Kammern.

Durch ein Albino wurde in der erwähnten Anordnung ein Strom von 10 000 Volt 3 Ampere, 50 Perioden geschickt. Es schrie und bewegte sich lebhaft nach 3 maliger Einwirkung zu je $\frac{1}{2}$ Sekunde. Darauf ging der Strom ununterbrochen 10 Sekunden durch das Tier. Der Körper ist steif, die Läufe beginnen zu brennen. Nach Unterbrechung treten nach 1 Minute Zuckungen am ganzen Körper auf, die immer häufiger werden. Es besteht keine Atmung. Nach 3 Minuten sieht man mehrere sehr kräftige Zusammenziehungen des Zwerchfells, nach 6 Minuten treten die ersten regelmäßigen Atemzüge wieder auf, zuerst sehr langsam und tief, bald schneller. Nach 12 Minuten setzt sich das Tier auf und reagiert auf Reize. Es wird, wie die meisten anderen, etwa nach $\frac{1}{2}$ Stunde durch Schlag getötet und untersucht. Auf die Befunde wird später eingegangen.

Den letzten Versuch mit hoher Spannung stellte ich mit 30 000 Volt, 1,5 Ampere und 50 Perioden an einem jungen Meerschweinchen an. Die Versuchsanordnung war dabei die gleiche wie sie zuletzt beschrieben wurde. Die erste Einwirkung

betrug $\frac{1}{2}$ Sekunde. Das Tier lag sofort ohne Atmung steif da. Der Vorderlauf war völlig verkohlt und abgefallen. Nach etwa 10 Sekunden traten die ersten Atemzüge auf, die zuerst langsam waren, dann immer schneller wurden. Nach 5 Minuten hatte sich das Tier erholt, machte aber einen benommenen Eindruck. Darauf wurde erneut der Strom eingeschaltet, nachdem die Verbindung mit dem anderen Vorderlauf hergestellt war. Die Stromeinwirkungsdauer war jetzt 1 Sekunde. An beiden Polen zeigt sich starke Brandwirkung, beide Läufe sind bis hoch herauf verkohlt. Das zuerst ohne Atmung liegende Tier schnappte krampfhaft nach Luft. Die Atmung wird immer schneller, nach 5 Minuten wird sie allmählich langsamer. Das Tier verendet.

Die gelangten Beobachtungen haben erwiesen, daß die genannten hochgespannten Wechselströme von 50 Perioden Meerschweinchen nicht zu töten vermögen. Aus dem letzten Versuch mit 30 000 Volt ist jedenfalls ersichtlich, daß auch dieser Strom nicht sofort tödlich gewirkt hat. Die Todesursache werden wir in diesem Falle mit wenigstens der gleichen Wahrscheinlichkeit auf die völlige Verbrennung dreier Läufe zurückführen können. Die vorhandene Stromstärke war bei den Versuchen z. T. 40 mal größer als die unterste tödliche Grenze, die für den Menschen angenommen wird, z. T. aber auch geringer als diese. Worauf jene Wirkung beruht, ist nicht bekannt. Vielleicht entwickeln sich im Körper Gegenströme, die dem primären Strom einen so großen Widerstand bieten, daß er sich nur in den oberflächlichen Partien fortbewegt. Beachtenswert ist auch, daß in einem Falle der Strom bei einem Meerschweinchen Besinnungslosigkeit nicht sofort hervorgerufen hat. Immerhin wird man diese Wirkung aber für den Menschen in den meisten Fällen annehmen können, nach den Beobachtungen bei den Elektrokutionen in Amerika. Mit dem in der ersten Zeit angewandten Strom von 1600 Volt hatte man schlechte Erfahrungen gemacht, da in einem Falle ein Delinquent nach einer Einwirkungsdauer von einer Minute wieder zum Leben erwachte. Als erneut eingeschaltet werden sollte, versagte die Maschine. Der Mörder erhält die Besinnung zurück, schreit und muß chloroformiert werden. Nach $\frac{3}{4}$ Stunden war der Schaden an dem Apparat behoben und die Vollstreckung des Urteils wurde beendet (*Alvensleben*). Jetzt wird zunächst eine Spannung von etwa 18 000 Volt angewandt, um den Delinquenten zu betäuben, dann geht man zurück auf 150 Volt, um ihn zu töten. Über das Verhalten des Herzens habe ich einwandfreie Beobachtungen nicht machen können, da mir die nötigen Apparate nicht zur Verfügung standen. Es sei aber hervorgehoben, daß an dem sofort freigelegten Herzen Kammerflimmern gesehen wurde, das von selbst schwand. Nach *Battelli* soll im Augenblick des Stromdurchganges das Herz in der Diastole stehen bleiben. Nach Unterbrechung des Stromkreises soll es normal weiter schlagen. Das häufige Auftreten von Krämpfen verdient auch Beachtung. Da es für die Wirkung des Stromes von ausschlaggebender Bedeutung sein soll, daß die Stromdichte im Herzen eine möglichst große ist, habe ich die

Versuche so angeordnet, daß der Weg des Stromes vom linken Vorder- zum rechten Hinterlauf ging. Von *Weiss* wurde experimentell gezeigt, daß 1080 Volt, 0,385 Ampere, 2500 Ohm vorgeschaltet, so angelegt, daß eine Elektrode auf dem Kopfe, die andere unter dem Kinn befestigt war, keine tödliche Wirkung hatten. Der Tod trat ein, als der Strom vom Kinn zum Hinterlauf ging. Es dürfte bei dieser Anordnung zu berücksichtigen sein, daß der Knochen im tierischen Körper den größten Widerstand bietet, der Strom sich also auf ihm unter der Haut zum anderen Pol bewegt. Daß aber auch Stromschleifen das Gehirn getroffen haben, dürfte die sofortige Aussetzung der Atmung beweisen.

Weitere Versuche in der zuletzt angegebenen Anordnung stellte ich mit Wechselstrom von 220—1000 Volt an mit einer Frequenz von 50 Perioden. Der Weg der Elektrizität war auch hier vom linken Vorder- zum rechten Hinterlauf.

220 Volt, 0,05 Ampere, 50 Perioden hatten den Erfolg, daß das Tier ohne zu klagen steif da lag. Nach Aussetzen des Stromes erholte es sich sofort. Als die Stromstärke auf 0,15 Ampere erhöht wurde und ununterbrochen 15 Sekunden lang einwirkte, traten nach etwa 1 Minute nur noch vereinzelte Atemzüge auf, dann war das Tier verendet.

Die doppelte Spannung von 440 Volt, 0,2 Ampere, 50 Perioden hatte nach einer Einwirkung von 5 Sekunden den Erfolg, daß das Meerschweinchen nach $\frac{1}{4}$ Minute zu atmen begann und sich erholte. Erneutes Einschalten für 15 Sekunden hatten zunächst das gleiche Ergebnis, doch traten hier die ersten Atemzüge erst nach $\frac{1}{2}$ Minute auf. Die Atmung war eine äußerst kräftige. Nach etwa 10 Atemzügen streckte sich das Tier im Krampf und verendete.

Die Spannung wurde noch weiter erhöht, so daß 1000 Volt, 0,3 Ampere, 50 Perioden zur Wirkung kamen. Nach einem Durchgang von 3 Sekunden war das Tier sofort wieder munter. Eine erneute Schließung des Stromes hatte den gleichen, wenn auch verzögerten Erfolg. Ein Wiedereinschalten für weitere 10 Sekunden vermochte ebenfalls den Tod nicht herbeizuführen. Nach kurzer Zeit begann die Atmung sich einzustellen. Das Tier erholte sich vollkommen. Als der Strom zum vierten Male für 30 Sekunden wirkte, begann der Vorderlauf zu brennen. Nach Ausschalten traten nach $\frac{1}{4}$ Minute starke krampfartige Atemzüge auf, die etwa 4 Minuten anhielten und allmählich schwächer wurden. Nach etwa 5 Minuten war das Tier ohne Krampf verendet.

Während bei den zuerst angegebenen Versuchen es nicht möglich war, bei über 1 und sogar bei 4 Ampere die Tiere zu töten, wenn der Strom über 2500 Volt gespannt war, gelang es hier leicht bei einer Stärke von 0,15—0,2 Ampere und einer Spannung von 220 bzw. 440 Volt. Schwerer, wenn auch sicher war eine tödliche Wirkung zu erzielen bei einem Strom von 1000 Volt. Die Frequenz betrug in jedem Falle 50 Pe-

rioden. Wird bei einem Strom mittlerer Spannung, wie dem hier gebrauchten, mit der gleichen oder größeren Amperezahl, der tödlich wirkt, die Frequenz erhöht, etwa auf 1 Million, so werden wir die Teslaströme haben, die unschädlich sind. Sie werden zur Diathermie benutzt. Man wird deshalb annehmen können, daß für die tödliche Wirkung eines Wechselstromes an sich — abgesehen von äußeren Umständen — ein bestimmtes Verhältnis von Stromstärke, Spannung und Frequenz notwendig ist.

Nun sind in der Praxis sehr viele Fälle bekannt, in denen ein hochgespannter Strom tödlich wirkt, während mittlere und niedere Spannung bei einer Amperezahl von über 0,1 keinen Einfluß auf den Menschen ausüben. Die Gründe dafür sind sehr mannigfaltige. Einmal haben wir den Widerstand zu berücksichtigen, der dem Strom beim Eintritt in den Körper entgegensteht. Nach den Untersuchungen von *Jellinek* kann dieser an einer trockenen, schieligen Hand zwischen 100 000 und 1 000 000 Ohm für 1 Quadratcentimeter schwanken. Er wird geringer, je nach dem Feuchtigkeitsgehalt der Haut und der Größe der Berührungsflächen. Von der Größe des Widerstandes ist ja bekanntlich die Stromstärke abhängig. Auf den Streckenwiderstand im Körper braucht hier nicht eingegangen zu werden, da er bei gleichen sonstigen Verhältnissen — Schaltung, Kontaktdauer usw. — etwa immer derselbe bleiben dürfte. Daß er aber nicht gering ist, beweist m. E. folgende Beobachtung: Bei einem der noch später zu beschreibenden Versuche mit Gleichstrom 220 Volt trat nach einer Einwirkungsdauer von 1 Minute eine sehr starke Wärmeentwicklung nicht nur in den oberen Partien, sondern auch in den Körperhöhlen auf. Die Muskulatur der Brust z. B. sah grau, wie gekocht, aus. Warum nicht auch in anderen Fällen eine solche Temperaturerhöhung stattfand, vermag ich nicht anzugeben. Die Anordnung von Kontrollversuchen war nach meiner Ansicht die gleiche. — Bei dem Ausgangswiderstand werden wir die Bedeckung des Körpers, die Art des Fußbodens, den Feuchtigkeitsgehalt u. a. m. zu berücksichtigen haben. Werden an der Stromeintrittsstelle Verbrennungen durch Lichtbogenbildung erzeugt, so wird der Widerstand ganz erheblich vergrößert, entstehen durch Joulesche Wärme teigige Schwellungen und Defekte der Oberhaut, so kann er herabgesetzt werden. Alle hier nur angedeuteten Momente und viele andere können verhindern, daß z. B. ein hochgespannter starker Strom durch den Körper geht. Bildet sich an der Eintrittsstelle ein Lichtbogen, so erfolgt hier ein Spannungsausgleich und ein Strom hoher Spannung soll nach *Boruttau* zu einem solchen mittlerer oder niederer werden und kann dann tödlich wirken. Ob allerdings der Spannungsabfall durch Lichtbogenbildung ein so bedeutender ist, erscheint zweifelhaft. Daß wir etwa gleichviele Todesfälle durch hohe wie durch niedere Spannung

bei einer Amperezahl von über 0,1 sehen, trotzdem letztere dem Menschen viel leichter zugänglich sind, dürfte z. T. darauf zurückzuführen sein, daß trockene Haut einen genügenden Widerstand für niedere Spannung bietet, für hohe aber nicht, diese unter Umständen erst zu einem tödlichen mittleren- oder niedergespannten Strom macht. Nun scheint es, daß hochgespannte Ströme für das Leben weniger gefährlich sind, als solche niederer Spannung. Man wird aber berücksichtigen müssen, daß die angestellten Versuche mit Tieren vorgenommen wurden, die je nach ihrer Art verschieden auf Elektrizität reagieren. Kaninchen und Ratten sind viel schwerer zu töten, als Pferde und Hunde. Ebenso verschieden ist die Wirkung beim Menschen, je nach Alter und Geschlecht, durchgemachte Krankheiten u. a. *Jellinek* spricht von einer „individuellen Disposition“, *Hering* von einem „disponierenden Koeffizienten“, andere von einer „Idiosynkrasie“. Die „psychische Komponente“ *Jellineks* sei hier auch erwähnt, nach der der Grad der Aufmerksamkeit für den Ausgang eines elektrischen Unfalles von Bedeutung sein soll.

Außer den erwähnten Versuchen mit Wechselstrom stellte ich auch solche mit einem Gleichstrom von 220 Volt an. Der Unterschied zwischen Gleich- und Wechselstrom besteht bekanntlich in technischer Beziehung darin, daß beim Gleichstrom die Elektronen sich stets in der gleichen Richtung bewegen, während sie beim Wechselstrom ständig hin- und herschwingen. Entsprechend diesem Verhalten ergibt sich, daß die elektrolytische Wirkung im Körper bei der ersten Stromart erheblich schwächer als bei der zweiten sein wird. Der Mechanismus des Todes ist angeblich hier wie da der gleiche, doch genügt beim Wechselstrom schon der vierte Teil der Stromstärke des Gleichstroms, um den Tod durch Herzkammerflimmern herbeizuführen nach Ansicht von *Prévost* und *Battelli*. Nach *Weiss* soll der Gleichstrom zu unheilbaren Schäden des Zentralnervensystems führen. Es sollen Lähmungen häufiger auftreten und psychische Veränderungen — in einem Falle von *Eulenburg* völlige Verblödung — infolge krankhafter Veränderungen des Gehirns, verursacht durch den Strom, die Folge sein können. Eine Bestätigung, daß die erwähnten Wirkungen für Gleichstrom charakteristisch sind, ist indessen bisher nicht einwandfrei erbracht. Auf Grund eines größeren Beobachtungsmaterials widerspricht *Alvensleben* dieser Angabe. Die Gesundheitsstörungen im oben angegebenen Sinne sind seiner Meinung nach nicht spezifisch für Gleichstrom, sondern werden hier eben so selten wie beim Wechselstrom beobachtet.

Zu meinen Versuchen benutzte ich Ratten, die gegen Elektrizitätswirkung sehr widerstandsfähig sein sollen und Meerschweinchen.

An einer ausgewachsenen kräftigen Ratte wird der negative Pol am rechten Hinterlauf angebracht. Der positive besteht aus einer kleinen Kupferplatte. Als

mit dieser der linke Vorderlauf berührt wird, beißt das Tier in die Platte. Es fällt sofort hin; die Beine sind verkrampft. Atmung besteht nicht. Die Dauer des Stromdurchganges beträgt $\frac{1}{2}$ Minute. Nach der Ausschaltung streckt sich das Tier. Als nach 5 Minuten keine Atmung mehr eintritt, wird das Herz freigelegt. Die Vorhöfe schlagen unregelmäßig, nach 10 Sekunden beginnen die Kammern zu wühlen und schlagen noch weitere 10 Sekunden selten und unabhängig von den Vorhöfen. Die Schlagfolge ist eine Zeitlang von Vorhof : Kammer wie 4 : 1.

Bei einer anderen Ratte ließ ich ebenfalls den Strom vom Kopf zur rechten Hinterpfote fließen. Während der Einwirkungsdauer von 1 Sekunde krampft sich das Tier stark zusammen. Die Atmung steht, die Besinnung fehlt. Nach 2 Minuten treten einige Atemzüge auf. Der Zustand bessert sich schnell. Nach 3 Minuten ist das Tier noch etwas benommen; es setzt sich auf. Man sieht dauernde Zuckungen am rechten Vorderlauf, der vom Strom unberührt war. Darauf erneutes Schließen für 5 Sekunden. Die Atmung steht. Nach 1 Minute 1 Atemzug und geringe Bewegung. Der Strom wird erneut für $\frac{1}{2}$ Minute geschlossen. Als die Atmung nach 4 Minuten nicht mehr einsetzt, wird das Tier geöffnet. Die Vorhöfe schlagen etwa 200 mal in 1 Minute. Die Kammern zunächst wie 4 : 1 und dann 10 : 1, setzen aber bald aus. Die Schlagfolge der Vorhöfe wird seltener. Nun wird der positive Pol an der rechten Vorderpfote angebracht. Sofort schlagen die Vorhöfe kräftig, ebenso die Kammern, doch unkoordiniert. Nach 2 Minuten setzen die Kammern aus. Erneute Stromzufuhr hat keinen Einfluß mehr. Beim 2. Einsetzen des Stromes zog sich das Zwerchfell kräftig zusammen und verblieb in dieser Stellung während der Schließung.

Bei einer weiteren Ratte, die auf die gleiche Weise getötet wurde, war ebenfalls die Zwerchfellzusammenziehung auffallend.

Zahlreiche Meerschweinchen wurden dem Gleichstrom ausgesetzt, der einmal vom linken Vorderlauf zum rechten Hinterlauf, dann vom Rachen zum Rectum ging. In allen Fällen trat sofortige Bewußtlosigkeit ein, bei einigen Tieren auch Zuckungen einzelner Muskelgruppen am ganzen Körper. Nach Unterbrechen und erneutem Schließen des Stromes schwanden diese und das Tier lag steif da. Die Dauer der Einwirkung war in keinem Falle länger als 25 Sekunden. Am Herzen konnte bei der Untersuchung Kammerflimmern gesehen werden, bei anderen Tieren war bis zur Sektion zu lange Zeit vergangen, so daß das Herz nicht mehr schlug.

Die gemachten Beobachtungen konnten einmal beweisen, daß bei Meerschweinchen und Ratten der Gleichstrom von 220 Volt sofortige Bewußtlosigkeit hervorruft, wenn er mit möglichst geringem Widerstand in den Körper eindringt. Die Berührungsstellen der beiden Pole waren auch bei diesen Versuchen angefeuchtet. Sicher war das Aufhören der Atmung festzustellen. Das Herz schlug weiter, wenn auch unkoordiniert. Bei der letzten Beobachtung wird man aber berücksichtigen müssen, daß sie am freigelegten Herzen einige Minuten nach Aussetzen des Stromes gemacht wurde, sie also nicht als einwandfrei angesehen werden kann. Von *Battelli* und *Weiss* wurde bei einer anderen Versuchsanordnung das Herzkammerflimmern bei Strömen mittlerer Spannung genau festgestellt.

Eine genügende Erklärung für die Gefährlichkeit oder Ungefährlichkeit eines elektrischen Stromes, mit genügender Amperezahl durch den Körper geschickt, haben wir zur Zeit noch nicht. Durch welche Eigentümlichkeiten die mannigfach beobachtete Wirkung hervorgerufen wird, ist uns ebenso wenig bekannt, wie die Veränderungen, die am Körper durch den Strom erzeugt werden und den Tod herbeiführen. Das Ziel zahlreicher Untersuchungen ist es gewesen, etwas objektiv Nachweisbares und Spezifisches an durch Elektrizität getöteten Individuen zu finden, um einmal überhaupt Anhaltspunkte für die Todesart zu haben, dann mit Hilfe solcher Veränderungen den Todesmechanismus zu klären und in das Wesen des elektrischen Stromes tiefer einzudringen.

Kratter sieht als Todesursache eine innere Erstickung, eine zentrale Atemlähmung an. Tierversuche zeigten das gleiche Bild wie bei der gewaltsamen Erstickung. *Jellinek* glaubte ursprünglich, daß pathologisch-anatomische Veränderungen im Gehirn und Rückenmark — kleinste Blutungen in der Gegend der vierten Kammer, Entartung der Zellen, Kernverlagerung u. a. m. — für den Tod verantwortlich zu machen sind. Spätere Nachuntersuchungen durch ihn und andere konnten die erhobenen krankhaften Veränderungen meist nicht bestätigen, und weitere Untersuchungen brachten ihn zur Überzeugung, daß der Mechanismus des Todes ein sehr wechselnder ist. Einmal kann eine anatomische Läsion (z. B. am Herzen oder am Zentralnervensystem) die Ursache sein, ein anderes Mal ist die psychische Komponente als solche anzusehen, die als eine Art Schock zu betrachten ist. In den meisten Fällen ist jedoch nach *Jellinek* der Tod nur ein Scheintod, der, wenn das Individuum sich selbst überlassen bleibt, in den wirklichen Tod übergeht. Scharf bekämpft wird diese Ansicht von *Boruttau*, der den elektrischen Tod stets als einen primären Herztod, hervorgerufen durch irreparables Kammerflimmern, ansieht, eine Meinung, die von *Prévost* und *Battelli* auf Grund ihrer Tierversuche schon vorher ausgesprochen wurde und auch von den meisten anderen Autoren geteilt wird. Da *Boruttau* aber bei Starkstromverletzten energische Wiederbelebungsversuche fordert, die auch seiner Meinung nach häufig von Erfolg sind, dürfte er von dem Vorliegen „irreparablen“ Kammerflimmerns nicht sehr überzeugt sein. Befriedigen können die erwähnten Erklärungen über die Todesursache nicht, weil sie nur Vermutungen enthalten, daß dieses oder jenes Organ versagt hat. Wodurch dies geschehen ist, welcher Art die Schädigungen sind, wird nicht gesagt.

Durch das mir zur Verfügung stehende Material bin ich in der Lage, seltene oder noch gar nicht erhobene Befunde mitzuteilen und dadurch einen kleinen Beitrag zur Erreichung des gesteckten Zieles zu liefern.

Die durch Elektrizität hervorgerufenen pathologisch-anatomischen Veränderungen in der Haut haben die meiste Beachtung erfahren. Wir

können bei diesen *echte Brandwunden* und spezifisch elektrische Veränderungen unterscheiden. An den Brandwunden ist nichts Charakteristisches festzustellen, doch sollen sie sich durch hochgradige Ausdehnung in die Tiefe auszeichnen (*Riehl*). Hierfür geben nebenstehende Abbildungen (Abb. 1 und 2) einen guten Beleg.

Der betreffende Mann wollte wahrscheinlich die Kupferdrähte der Leitung einer Überlandzentrale stehlen und blieb dabei in den Drähten hängen. Durch seinen Körper ging ein Strom von 6000 Volt. Als er aufgefunden wurde, lag etwa die Hälfte des rechten Unterschenkels am Boden. Dicht unterhalb der Kniescheibe des Beines ist die Haut und das darüberliegende Gewebe völlig verkohlt. Doppelt handbreit vom Beginn dieser Zerstörung ist der blanke Knochen sichtbar. Die Trennungsfläche der Tibia ist glatt, wie gesägt, die der Fibula zackig ge-



Abb. 1. Starkstromverletzung 6000 Volt.

brochen. An dem freien Teil des Unterschenkels sind die Verhältnisse ähnlich. Außer leichter Ankohlung sind mit dem bloßen Auge am Knochen keine Veränderungen, insbesondere keine Knochenperlen festzustellen. Infolge der Hitze dürfte der Knochen morsch geworden sein und brach dann durch die Last des Körpers. Neben der Verkohlung waren auch noch andere Grade der Hitzewirkung vorhanden und sind auf der Abbildung teilweise gut sichtbar. Auf der Innenseite und z. T. auch auf der Rückseite des Beines ist die Oberhaut in großen Fetzen abgelöst; hier und da stehen noch große, mit rötlicher Flüssigkeit angefüllte Blasen. Auf der Fußsohle und am Oberschenkel ist die Haut teilweise diffus rosarot gefärbt, eine Beobachtung, die auch bei anderen Getöteten gemacht werden konnte. An einzelnen Stellen sind diese Bezirke zackig und haben Ähnlichkeit mit *Blitzfiguren*, welche wir als charakteristisch für die Einwirkung von Elektrizität ansehen müssen.

Außer den Blitzfiguren finden wir häufiger an der Oberfläche von Getöteten andere Veränderungen, welche auf Elektrizitätswirkung weisen.

Als solche können wir die Verteilung echter Brandwunden ansehen. Die symmetrische Anordnung am Körper des durch Blitz erschlagenen Mannes ist auf die Lage metallischer Gegenstände (Knöpfe, Hosenschnallen u. ä.) zurückzuführen (Abb. 3). In der Sammlung des Instituts findet sich eine Aufnahme, die die Konturen eines Koppelschlusses, in den Körper eingebrannt, bei einem Menschen zeigt.

Als weiteres Merkmal verdient die gelbliche Verfärbung der Haut an einzelnen Stellen hervorgehoben zu werden. Diese war sowohl bei dem oben erwähnten Manne, der durch Starkstrom zu Tode kam, festzustellen, als auch an dem vom Blitz Erschlagenen zu finden. Man sieht etwa 50 runde, teils länglich 1 : 1 mm bis 1,5—0,5 cm große wie ausgestanzt aussehende Defekte der Oberhaut, an deren Rändern z. T.

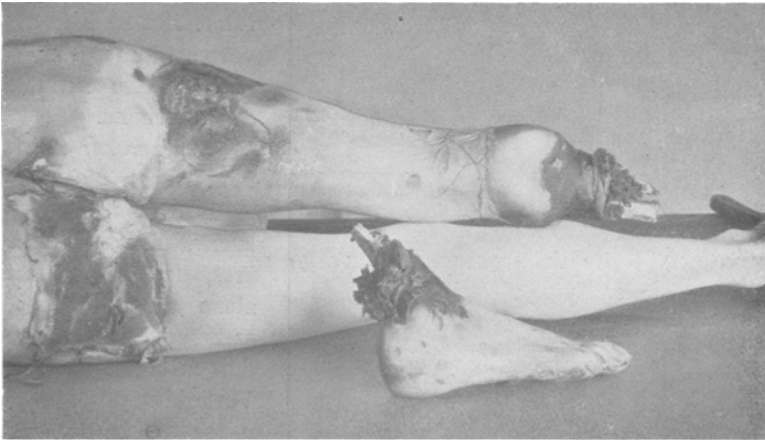


Abb. 2. Starkstromverletzung 6000 Volt.

noch bräunlich verfärbte Epidermisfetzen hängen. Der Untergrund ist gelblich-weiß. Zwischen diesen Verletzungen findet sich an einzelnen Stellen die zart gelbliche Verfärbung, die nach *Jellinek* auf Imprägnieren durch Metalloxyde oder auch auf Zersetzungsprodukte der Luft infolge der Entladung zurückzuführen ist. Am ersten der erwähnten Fälle erstreckt sie sich ahornblattartig über die Kreuzbeingegend in einer Breite von 20 : 15 cm und lief in einem 3 cm breiten Streifen nach der Außenseite des Oberschenkels, hier allmählich verblassend.

Ich verweise weiter auf die in der Abb. 3 auf der linken Schulter gut sichtbaren Verletzungen. Es sind dies zahllose kleine und kleinste, hellbraune bis dunkelbraune, scharf umschriebene Stellen, denen z. T. die Oberhaut fehlt. Einschnitte ergeben hier einen Erguß freien Blutes in das Gewebe. Das Bild hat, worauf *Jellinek* hinweist, große Ähnlichkeit mit einer Verletzung durch Vogeldunst.

Während bei den meisten der erwähnten Veränderungen eine Rötung der Haut in der Umgebung festzustellen war, fehlt sie bei einer anderen Verletzung. Diese wurde zuerst von *Jellinek* als eine leicht erhabene, grauweiße Stelle beschrieben, die zentral eine Delle zeigt. Ich komme später auf sie noch zurück. Neben der fehlenden Rötung in der Umgebung ist die Schmerzlosigkeit solcher Bezirke charakteristisch und weiter, daß die Heilung fast ohne Eiterung und Fieber erfolgt. Es



Abb. 3. Tötung durch Blitz.

bleibt aber durch Zerfall des umgebenden Gewebes ein Substanzverlust zurück, der bis 3 mal so groß sein kann als die ursprüngliche Verletzung. Ich erinnere hier an die vorn erwähnte Abstoßung eines Beines eines Meer-schweinchens.

Kawamura, *Mieremet* u. a. haben diese Stellen mikroskopisch untersucht. Ersterer fand zuerst, daß in diesem Bezirke die Oberhaut zusammengesintert ist, und daß alle Zeichen einer Verkohlung fehlen. Darunter zeigen sich kleine Höhlen. Die Basalzellen des Rete Malpighii sind zu langen Fäden ausgezogen, parallel- und büschelförmig angeordnet. Diesen Befunden spricht *Kawamura* pathognostische Bedeutung zu. Er

führt sie zurück außer auf Joulesche Wärme und elektrolytische Wirkung auf rein elektrische Kräfte, durch die seiner Meinung nach jede Zelle zum Angriffspunkt elektrischer Kraftlinien wird. Nach den Untersuchungen verbrannter Haut durch *Schridde*, *Unna* u. a. dürfte aber der Befund *Kawamuras* nicht mehr als charakteristisch für die Einwirkung von Elektrizität angesehen werden. Ganz ähnliche Bilder, insbesondere die lang ausgezogenen Basalzellen des Rete Malpighii wurden auch nach Einwirkung hoher Temperatur gesehen.

Ein von Herrn Geheimrat *Puppe* und mir sezierter Mann war dadurch zu Tode gekommen, daß er eine Türklinke berührte, die zur Sicherung gegen Diebe mit einem Wechselstrom von 220 Volt, 50 Perioden verbunden war. Bei der Berührung stand er im Wasser, die



Abb. 4. Tötung durch Wechselstrom, 220 Volt.

Klinke war feucht, es war also ein sehr geringer Widerstand dem Strom entgegengesetzt. Neben Verbrennungen an der Hand und charakteristischen Zeichen elektrischer Einwirkung war hier auffallend, daß sich die Füße noch bei der Sektion (Abb. 4) in Equino-varus-Stellung fanden. Das Verbleiben in dieser abnormen Stellung dürfte durch kataleptische Totenstarre bedingt sein. Nebenbei sei erwähnt, daß bei manchem meiner Tierversuche ein auffallend schnelles Eintreten der Totenstarre — nach 10 Minuten — zu beobachten war. Eine Veränderung in der Haut, die zu sehen war, und meines Wissens noch nicht beobachtet wurde, verdient hervorgehoben zu werden. Auf dem Rücken der rechten Hand, wie in der Gegend des inneren

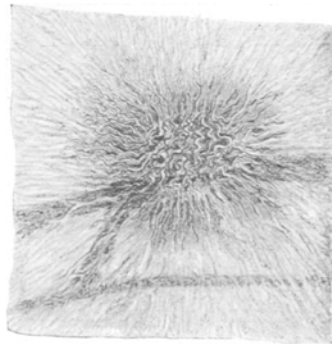


Abb. 5. Stromaustrittsstelle in der Haut (Unfall). 220 Volt Wechselstrom. Normale Größe.

Knöchels des linken Fußes fand man etwa markstückgroße Marken von grauem Aussehen, die vertrocknet sind, aber keine Verletzungen der Oberhaut haben und eine deutliche rosettenförmige Zeichnung bieten. Die Umgebung ist gerötet. Nach Präparation und Aufhellen in Xylol habe ich vorstehende Zeichnung (Abb. 5) anfertigen lassen. Besonders auffallend ist die starke Zusammenziehung des Gefäßes in der Gegend des Zentrums der Hautveränderung. Erwähnen möchte ich noch, daß diese beiden Strommarken sich an der Austrittsstelle der Elektrizität fanden.

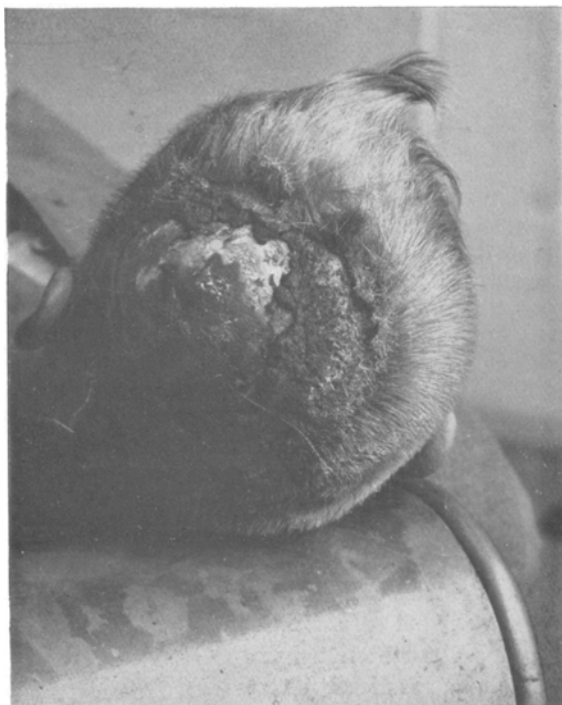


Abb. 6. Starkstromverletzung, 6000 Volt.

Die Zahl der Merkmale in der Haut, die als spezifisch für die Einwirkung der Elektrizität angesehen werden und an der Leiche noch vorhanden sind, ist, wie ersichtlich, ziemlich groß. Am *Knochen* können wir, wenn auch selten, einen charakteristischen Befund erheben, der zuerst von *Reuter* beschrieben und später noch einmal von *Ziemke* beobachtet wurde, die Knochenperlen. *Reuter* beschreibt sie als blasige Gebilde, die teilweise einen innigen Zusammenhang mit der Diploe des Schädelknochens erkennen lassen. Durch die hohe Temperatur bei Lichtbogenbildung verdampft die im spongiösen Teil des Knochens

enthaltene Flüssigkeit und dehnt die geschmolzenen Knochenpartien aus. Hierdurch entstehen die beobachteten Gebilde. Chemisch handelt es sich bei ihnen um phosphorsauren Kalk. Daß aber dieser Befund nicht immer trotz sehr hoher Temperatur zu erheben ist, beweist vorliegender Fall. Durch die Hitze des Lichtbogens waren die Mütze, die Kopfschwarte und der Knochen des Schädels in etwa Talergröße durchgebrannt. Abb. 6 zeigt die Veränderungen, wie sie sich uns bei der Sektion boten.

Auf die Verletzungen, welche wir am Lebenden sehen und die unter Umständen bald verschwinden können, wie die von *Jellinek* beschriebenen Angiospasmen der Haut, will ich hier nicht eingehen, auch die Augenverletzungen nicht erwähnen, weil ich sie nicht sah. Doch sei kurz auf das *elektrische Ödem* hingewiesen, da eine Beobachtung mir seine Entstehung zu erklären scheint. Charakteristisch bei dieser Schwellung ist, daß sie kurze Zeit, häufig auch sofort nach der Stromeinwirkung auftritt. *Jäger* führt sie auf eine Thrombose zurück. Nach *Haberda* ist sie die Folge einer lokalen Gefäßparalyse. Ich glaube, daß dafür ein hochgradiger lokaler Spasmus der Gefäße verantwortlich zu machen ist, neben einer abnormen Durchlässigkeit der Gefäßwandung. Bei der Beobachtung lebender Bauchhaut und des Peritoneums eines Meerschweinchens unter dem Mikroskop konnte ich feststellen, daß bei Durchleitung eines elektrischen Stromes (Gleichstrom 220 Volt) an einer bestimmten Stelle die Venen sich extrem verengten, so daß ein Durchgang des Blutes nicht mehr möglich war. Die Zusammenziehung ließ auch nicht nach, nachdem der Strom ausgeschaltet war. Es liegt nahe, diese Beobachtung für die Erklärung des elektrischen Ödems heranzuziehen.

Viel wichtiger als die Veränderungen an der Haut sind solche an den *inneren Organen*. Die Zahl der bisher gemachten Beobachtungen ist klein und bedarf der Bestätigung. Um eine Vorstellung von der Art der Verletzungen durch Elektrizität an Muskeln und Nerven zu erhalten, habe ich bei einem lebenden, narkotisierten Tiere einen Gleichstrom von 220 Volt durch isolierte Muskelbündel und Nerven gehen lassen, ebenso auch durch einzelne Organe. Abb. 7 des N. femoralis nach der Behandlung gibt ein Bild von den Veränderungen. Die Nervenzellen sind zu einer homogenen Masse verschmolzen, in der zusammengeflossene Kerne liegen.

Die Verhältnisse an den Muskelbündeln waren ähnlich, aber nicht so ausgesprochen. Auch hier war die Struktur der Fibrillen verwaschen. An den Kernen, die sich gut färben, konnte kein krankhafter Befund erhoben werden.

An den Nieren war, abgesehen von Zeichen der Brandwirkung, die Schnittfläche an den Polen leicht getrübt und geschwollen. Im Mikroskop

waren die Capillaren extrem erweitert, in den Glomeruli fand sich frei ausgetretenes Blut. Die Epithelien hatten in den äußeren Abschnitten in der Gegend der Ansatzstellen der Pole an Färbbarkeit eingebüßt.

Die Leber bot, außer einer sehr starken Erweiterung der Capillaren und dem Austritt freien Blutes keinen pathologischen Befund.

Die Abbildung (8) der Milz zeigt herausgerissenes Gewebe. Außerdem fanden sich hochgradige Hyperämie und kleine Blutungen.

Die beschriebenen Veränderungen lassen sich zwanglos als Folge

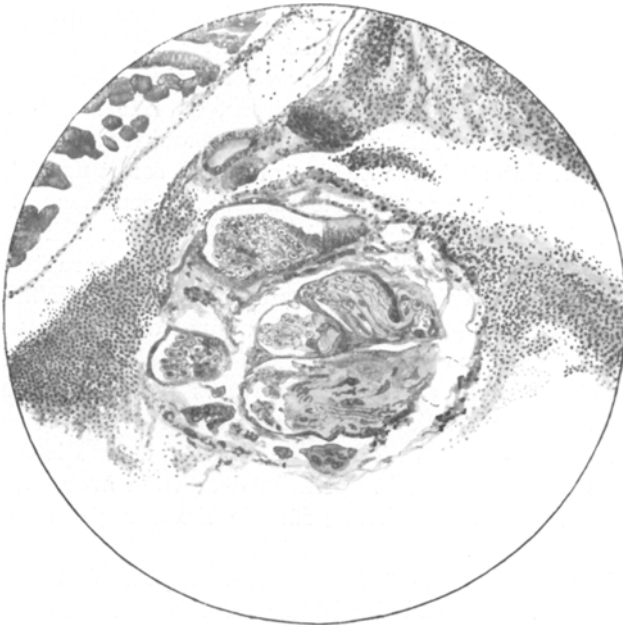


Abb. 7. Meerschweinchen. Nerv nach direkter Einwirkung von 220 Volt Gleichstrom. Seibert Mikr. Oc. 4. Obj. 2.

der Jouleschen Wärme ansehen. An den Nerven dürfte aber wohl eine elektrolytische Wirkung nicht auszuschließen sein.

In diesem Zusammenhang möchte ich die Veränderungen im Gehirn des Mannes geben, dem, wie oben erwähnt, das Schädeldach durchbrannte. Auch hier dürfte der Strom (Wechselstrom 6000 Volt) nach der völligen Verkohlung des Knochens das Gehirn berührt haben. Allerdings ist es zweifelhaft, ob der Mensch zu dieser Zeit noch lebte. Es fanden sich makroskopisch in der Hirnrinde etwa $\frac{1}{2}$ cm unter der Oberfläche längs verlaufende Blutungen. Das mikroskopische Bild ließ solche in großer Zahl und Ausdehnung auch in den obersten Partien sehen. Trotz dieser starken direkten Einwirkung waren Zellverände-

rungen mit Sicherheit nicht zu finden, abgesehen von solchen, die wir wenige Stunden nach dem Tode als Zeichen der Leichenzersetzung zu finden gewohnt sind. Die Obduktion fand am zweiten Tage nach dem Tode statt.

Die vier durch Elektrizität getöteten Menschen hatten alle einen Status lymphaticus. Aus den Sektionsprotokollen will ich nur den Blutreichtum der Organe und die Blutungen erwähnen.

1. Der durch Starkstrom getötete Mann (6000 Volt) hatte sehr stark geblähte Lungen, deren Gefäße leer waren. In der Herzmuskulatur fanden sich sehr zahl-



Abb. 8. Meerschweinchen. Milz nach direkter Einwirkung von 220 Volt Gleichstrom. Seibert Mikr. Oc. 4. Obj. 2.

reiche Blutpunkte. Die Milz, Leber und Nieren waren sehr blutreich. Das Gehirn zeigte im Bereiche der Verletzung die oben erwähnte Blutung, war auch sonst auffallend blutreich.

2. Bei dem vom Blitz erschlagenen Manne ergab die Sektion blutreiche Lungen, starke Stauungsnieren, wenig blutreiche Milz und Leber, doch starken Blutreichtum des Gehirns.

3. Der durch Gleichstrom von 220 Volt Getötete hatte sehr blutreiche Lungen, Nieren und Leber, Blutungen in der Herzmuskulatur, mäßigen Blutreichtum der Milz. Die Gehirngefäße sind strotzend gefüllt.

4. Bei dem durch Wechselstrom (220 Volt) zu Tode Gekommenen bot die Sektion an der Vorder- und Hinterseite des Herzens wenige punktförmige Blut-austretungen, die auch unter der Pleura der sehr blutreichen Lungen sich fanden.

Ebenso wie an der Innenseite des Kehldeckels in etwa Stecknadelkopfgröße waren solche am Giesbeckenknorpel wie an der Außenseite der Luftröhre zu finden. Milz, Leber und Nieren hatten keinen auffallenden Blutgehalt. In der Magenschleimhaut, besonders am Pfortner, waren einige Blutaustretungen vorhanden. Unter dem Bauchfellüberzug des Mastdarmes ebenso wie hinter dem letzteren fand sich ein flächenhafter Bluterguß. Die Piagefäße waren strotzend gefüllt. Auf der Schnittfläche des Gehirns zeigten sich sehr viel abspülbare Blutpunkte.

Diese Beobachtungen über den Blutgehalt der Organe konnten durch Versuche bestätigt werden. Auch bei den Tieren waren besonders Nieren und Milz hyperämisch, sehr häufig auch Leber und Lungen. Dagegen konnte nicht festgestellt werden, daß Wechselstrom mittlerer Spannung immer so zahlreiche Blutaustretungen, wie in dem oben beschriebenen Falle, verursachte, im Gegensatz zum Gleichstrom gleicher Spannung. Die mikroskopische Untersuchung ergab an den Organen mit Ausnahme des Herzens außer der Hyperämie und hier und da kleinen Blutaustretungen nichts besonderes. Die erwähnten Befunde haben wir in vielen Fällen gewaltsamer Erstickung, hin und wieder, wenn auch nicht in so hohem Maße, bei anderen Todesarten.

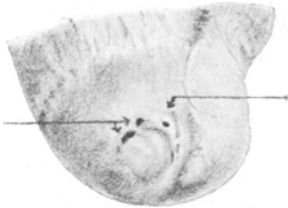


Abb. 9. Meerschweinchenherz. Getötet durch 220 Volt Gleichstrom. Doppelte Vergrößerung.

Besonders eingehend wurde bei den obduzierten Menschen, wie auch bei den Versuchstieren, das Herz untersucht. Nach den bisher erhobenen Befunden soll das Herzfleisch durch Elektrizität Getöteter brüchig sein, eine Beobachtung, die mir nicht aufgefallen ist. Andere Veränderungen, abgesehen von den später zu erwähnenden

mikroskopischen, sind bisher nicht gesehen worden. In den meisten Fällen habe auch ich nichts Verdächtiges feststellen können, dagegen war an vier Herzen von Meerschweinchen, die durch Gleichstrom von 220 Volt (Stromdurchgang Rachen—Rectum) getötet waren, eine auffallende Beobachtung zu machen. In der Gegend der Herzspitze fanden sich in diesen Fällen zwei Arten von Veränderungen. Die eine bestand in einer 3 : 1 mm langen, braunroten Verfärbung (Blutung) unter dem Epikard, das hier einen kleinstecknadelkopfgroßen Defekt zeigte. Die zweite hatte große Ähnlichkeit mit der von *Jellinek* beschriebenen Strommarke in der Haut. Sie bestand aus einer streifenförmigen, leichten Erhebung von grauweißer Farbe, war derb und zeigte in der Mitte eine rundliche Einkerbung mit dunkelbraunem Grunde (Abb. 9). Die Beschreibung lehnt sich mit Absicht an die von *Jellinek* gegebene an. Diese Befunde konnten aber nicht in allen Fällen bei Einwirkung des gleichen Stroms und bei derselben Versuchsanordnung erhoben werden.

Eine andere makroskopisch feststellbare Veränderung am Herzen, die zahlreichen Blutungen in die Muskulatur, konnte häufig gesehen werden, sowohl bei den seziierten Menschen, wie bei den Versuchstieren nach Anwendung von Gleich- und Wechselstrom. Nach Einwirkung hochgespannter, nicht tödlich wirkender Ströme fand ich sie nur in einem Falle, dessen mikroskopisches Bild ich später bringe. Auffallend war, daß bei dem durch Wechselstrom, 220 Volt, wie bei dem durch Gleichstrom gleicher Spannung zu Tode gekommenen sich im Bereich der unteren Ansatzstelle der hinteren Aortenklappe Blutungen von

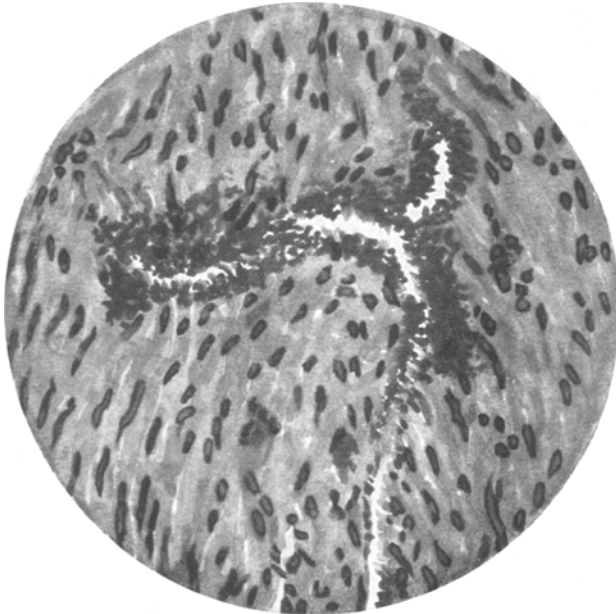


Abb. 10. Herzmuskel. Meerschweinchen, getötet durch 220 Volt Wechselstrom. Seibert Mikr. Oc. 4. Obj. 5.

Linsengröße fanden, die als braunrote Bezirke unter dem Endokard hervorschimmerten.

Von pathologisch-anatomischen Befunden, die mit Hilfe des Mikroskops am Herzen zu sehen waren, sind spaltförmige Kontinuitätstrennungen in der Muskulatur und Blutungsherde zu nennen (*Kawamura* u. a.). Diese Beobachtungen kann ich auf Grund meiner Untersuchungen bestätigen. Abb. 10 zeigt einen solchen Riß in der Herzkammerwandung eines Meerschweinchen, das durch einen Wechselstrom von 220 Volt, 50 Perioden getötet wurde. Die Enden der Muskelfasern sind zackig, wie gerissen. Ähnliche Verhältnisse zeigt die nächste Abbildung (11). Hier fand sich die Blutung im Septum.

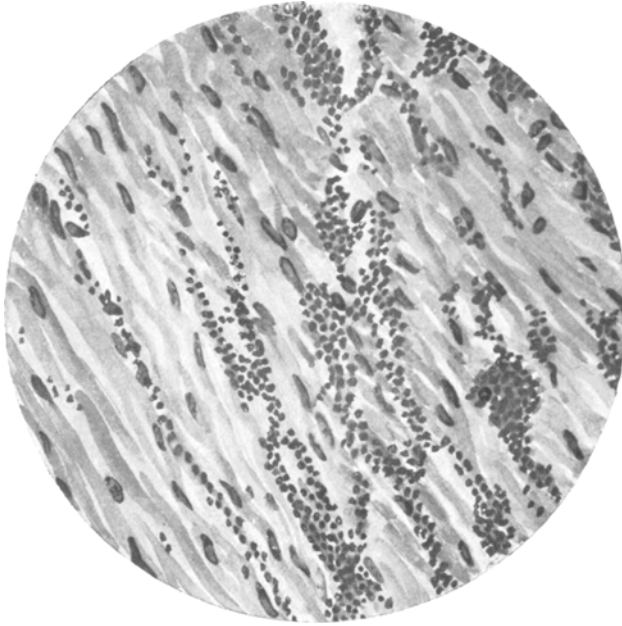


Abb. 11. Meerschweinchen. Herzmuskel nach Durchleitung von 3000 Volt Wechselstrom 50 Perioden. Seibert Mikr. Oc. 4. Obj. 5.



Abb. 12. Herzmuskel. Unfall 220 Volt Gleichstrom. Seibert Mikr. Oc. 4. Obj. 5.

Wie ersichtlich, liegen die Blutkörperchen nur z. T. in der Richtung zwischen den Muskelfasern, z. T. im spitzen Winkel zu ihnen. An einem Ende des Blickfeldes sind die Fasern auseinandergesprengt. Das Tier war mit einem Wechselstrom von 2500 Volt, wie oben erwähnt, behandelt worden, an dem es nicht zugrunde ging. Es wurde erst etwa $\frac{1}{2}$ Stunde später, nachdem es sich völlig erholt hatte, getötet. Diese Kontinuitätstrennungen fanden sich häufiger in der Herzmuskulatur, sowohl nach Einwirkung von Gleich- wie Wechselstrom. Ich sah sie aber nicht bei Tieren, die durch die hochgespannten Ströme nicht getötet worden waren, mit Ausnahme des einen eben erwähnten Falles.

Am Herzen des Mannes, der durch Gleichstrom 220 Volt zu Tode kam, war, wie erwähnt, an der unteren Ansatzstelle der hinteren Aortenklappe ein braunroter Herd zu sehen. Mikroskopisch bot sich nebenstehendes Bild (Abb. 12). Irgendwelche Struktur oder Körnelung in diesem Bezirk ist nicht zu sehen. Das Gewebe nimmt mit der van Gieson-Färbung den Farbenton des Muskels an. Die Kerne sind z. T. gequollen. Einen solchen Befund konnte ich an dieser Stelle nur in diesem einzigen Falle erheben. An der gleichen Stelle anderer Herzen war hin und wieder geringe Blutung vorhanden. Nur am Herzen des durch Wechselstrom 220 Volt getöteten Mannes war die Blutung ganz auffallend groß. Diese „elektrische Nekrose“, welche als eine Colliquationsnekrose anzusehen ist, konnte auch experimentell erzeugt werden. Das mikroskopische Bild der oben erwähnten „Strommarke“ am Herzen läßt deutlich erkennen, daß die grauweißen Erhebungen durch große Hohlräume in der Muskulatur, angefüllt mit Serum und Blutkörperchen, entstanden sind. Die zentrale Eindellung zeigt, von der Oberfläche beginnend, ganz deutlich zusammengeflossene Muskelzüge, bei denen jede Struktur fehlt. In dieser Masse finden sich Hohlräume und hier und da, undeutlich hervortretend, zerstörte Kerne (Abb. 13).

Von *Kawamura* wird die Umwandlung des Blutes in den Gefäßen in eine homogene Masse erwähnt. Diese Beobachtung vermochte auch ich in vielen Fällen zu machen, aber nicht an allen Stellen des Präparates, sondern nur an kleinen Gefäßen, sowohl des Herzens, wie im Gehirn und in den Nieren. Große Blutbezirke, etwa in einem ganzen Ventrikel, ließen eine solche Veränderung nicht erkennen. Dagegen bot sich hier ein anderer auffallender Befund. Das Herz einer Ratte, die durch Gleichstrom 220 Volt getötet war, zeigte in den Kammern keine Blutkörperchen, dafür aber ein ganz feines Netzwerk, das sich mit Eosin zart rötlich färbte. In ihm fanden sich braunrote, nadelförmige Gebilde, die z. T. in Büscheln angeordnet waren (Abb. 14). Es dürfte sich um Krystalle des Blutfarbstoffes handeln. Das Herz war, ebenso wie die meisten anderen, in 10proz. Formalin fixiert und in der üblichen Weise in Paraffin eingebettet worden. Auch dieser Befund konnte nur bei

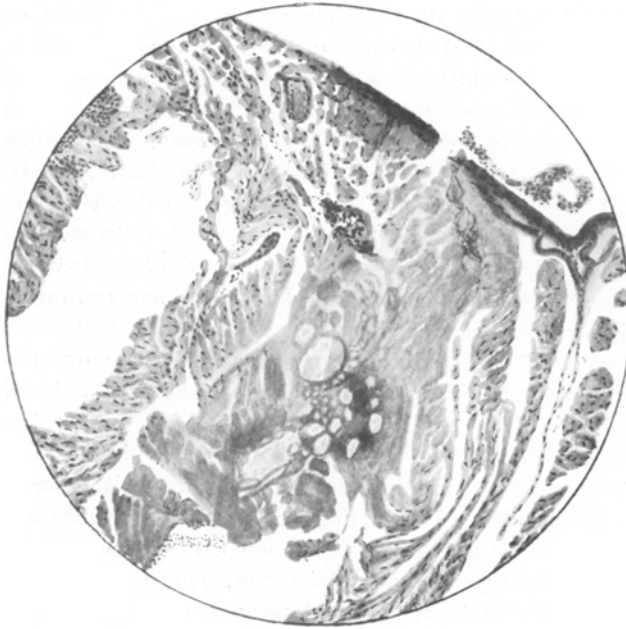


Abb. 13. Meerschweinchen. Herzmuskel nach Tötung durch 220 Volt Gleichstrom. Seibert Mikr. Oc. 4. Obj. 2.

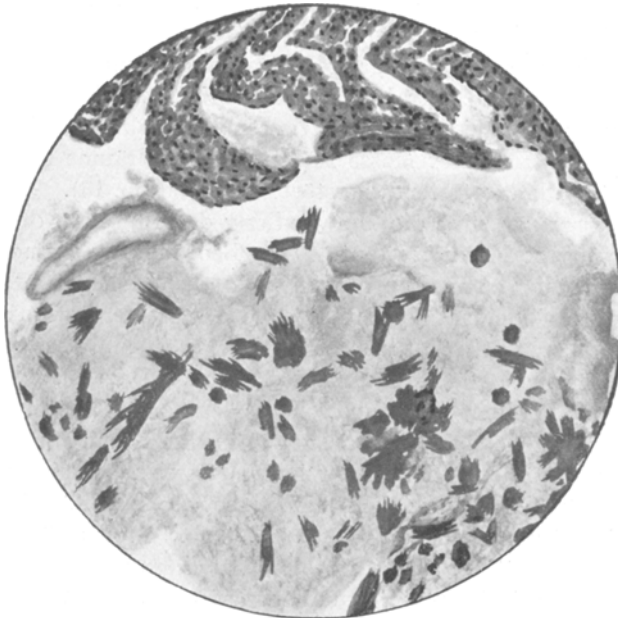


Abb. 14. Ratte. Herzkammerinhalt nach Tötung mit 220 Volt Gleichstrom. Seibert Mikr. Oc. 4. Obj. 2.

einem Tier gesehen werden, trotzdem mehrere Tiere derselben Art, durch denselben Strom getötet, untersucht wurden.

Die Veränderungen an den anderen Organen seien nur kurz erwähnt. Außer dem hier und da vorhandenen homogenisierten Gefäßinhalt fand sich neben einer Hyperämie und kleinen Blutaustretungen nichts Krankhaftes. Zerreißen, wie sie *Kawamura* in der Leber sah, konnte ich nicht feststellen. Auch an den Organen von Feten waren solche nicht zu sehen, nachdem das Muttertier durch Gleichstrom getötet worden war. Die Vermutung, an unausgetragenen lebenden Früchten durch direkte Stromeinwirkung (Gleichstrom 220 Volt) pathologische Veränderungen zu finden, hat sich nicht bestätigt. Die Feten wurden in den narkotisierten Muttertieren freigelegt, in der Verbindung mit der Placenta belassen und dem genannten Strom 5 Sekunden lang ausgesetzt. Abgesehen von Brandwirkung an den Ansatzstellen der Pole und hier und da kleinsten Blutungen war nichts Auffallendes zu finden.

Trotzdem von vielen Seiten das Vorhandensein pathologisch-anatomischer Veränderungen an den inneren Organen, besonders am Herzen, bei Verletzungen durch Elektrizität abgelehnt wird, hat die systematische Untersuchung größeren Materials in vielen, wenn auch nicht in allen Fällen, die wenigen bisher gemachten Beobachtungen teilweise bestätigt und neue, beachtenswerte und für Elektrizitätswirkung charakteristische Befunde geliefert.

Die Schädigungen an den Organen werden wir z. T. auf Brandwirkung und auf Joulesche Wärme zurückführen können, z. T. als die Folge der Elektrolyse und der Wirkung mechanischer Kräfte ansehen müssen.

Was nun die Ursache des Todes durch Elektrizität anbetrifft, so können einige der erhobenen Befunde, insbesondere die Colliquationsnekrose und die größeren Blutungen, wenn sie sich z. B. im Bereiche des Reizleitungssystems befinden, als solche angesehen werden, ebenso wie die Zersetzung des Blutes (etwa im Gehirn oder in den Kranzgefäßen) und unter Umständen auch die Zerreißen, falls sie an lebenswichtigen Stellen auftreten. Doch muß berücksichtigt werden, daß diese Zerstörungen nicht in allen Fällen gefunden wurden und daß Blutungen und kleine Risse im Herzen — wie z. B. in dem einen der erwähnten Fälle — keine tödliche Wirkung zu haben brauchen. Daß solche Tiere bei rechtzeitig eingeleiteten und richtig durchgeführten Wiederbelebungsversuchen hätten gerettet werden können, ist nicht unwahrscheinlich. Die von *Jellinek* vertretene Ansicht vom Scheintod wird durch die Beobachtungen also gar nicht berührt. Doch kann man in den Ergebnissen einen Beweis dafür sehen, daß nicht in jedem Falle zunächst ein Scheintod eintritt, sondern daß manches Individuum von vornherein verloren ist. Das würde auch die Ergebnislosigkeit der

Wiederbelebungsversuche bei manchen Verunglückten erklären. Da es aber nicht festzustellen ist, ob und welche Verletzungen vorliegen, so muß unbedingt gefordert werden, jeden durch Elektrizität Verunglückten als Scheintoten zu behandeln und Wiederbelebungsversuche so lange anzustellen, bis die Atmung auftritt oder Totenflecke sich zeigen.

Auf die einzuschlagende Methode der künstlichen Atmung sei noch kurz eingegangen. *Alvensleben* hat festgestellt, daß die Verwendung von Sauerstoffapparaten in keinem Falle Erfolg hatte, wenn es sich um elektrische Unfälle handelte, während sie in anderen Fällen Gutes leistete. Bei der künstlichen Atmung nach *Sylvester* konnte er dagegen in 17 Fällen ein Wiedererwachen des Lebens sehen. Diese Beobachtung läßt m. E. den Schluß zu, daß der bei der Sylvesterschen Methode gleichzeitig geübten Herzmassage vor allem der Erfolg zuzuschreiben ist.

Zusammenfassung.

Meerschweinchen und Ratten wurden einem Gleichstrom von 220 Volt und Wechselströmen von 220—30 000 Volt und 50 Perioden ausgesetzt. Die Versuche ergaben, daß Gleich- wie Wechselströme mittlerer Spannung bei einer Amperezahl von über 0,1 tödlich wirkten, dagegen Wechselströme hoher Spannung von 4 Ampere und weniger den Tod der Tiere nicht herbeiführten. Für die tödliche Wirkung eines Wechselstromes an sich ist — abgesehen von äußeren Umständen — das Verhältnis von Spannung, Stromstärke und Frequenz maßgebend.

Es werden die an den Versuchstieren und an vier durch Elektrizität getöteten Menschen erhobenen pathologisch-anatomischen Befunde beschrieben. Neben zahlreichen mehr oder weniger häufig gesehenen Bildern an der Haut wird eine bisher nicht beobachtete rosettenförmige Veränderung an der Stromaustrittsstelle erwähnt, in deren Bereich sich das sie durchziehende Blutgefäß stark verengt.

Am lebenden Gewebe (Bauchfell und Netz) konnte bei Durchleitung eines Gleichstromes 220 Volt an umschriebener Stelle eine hochgradige Verengung der Gefäße festgestellt werden, die auch nach Stromunterbrechung nicht schwand. Diese Beobachtung wird zur Erklärung der Entstehung des elektrischen Ödems herangezogen, welche als die Folge eines lokal begrenzten Spasmus und einer abnormen Durchlässigkeit der Gefäßwandung angesehen wird.

An den inneren Organen wurden eine Hyperämie festgestellt und häufig vereinzelt kleine Blutungen, die z. T. auch makroskopisch zu sehen waren. In 4 Fällen war nach der Einwirkung eines Gleichstromes (Rachen—Rectum) von 220 Volt mit bloßem Auge in der Gegend der Herzspitze eine Blutung mit stecknadelkopfgroßem, rundem Epicarddefekt zu finden, und weiter eine Veränderung, die große Ähnlichkeit mit der „Strommarke“ *Jellineks* hatte.

Mikroskopisch werden als auffallende Befunde beschrieben: eine Colliquationsnekrose an der unteren Ansatzstelle der hinteren Aortenklappe, an welcher Stelle in einem anderen Falle sehr ausgedehnte Blutungen sich fanden, die gleiche Nekrose an der Stelle des Herzens, die Ähnlichkeit mit einer „Strommarke“ hatte; Blutfarbstoff-Krystallbildung in den Herzkammern, homogener Inhalt einzelner kleiner Blutgefäße, Zerreißung der Herzmuskulatur.

Bei direkter Einwirkung eines Gleichstromes von 220 Volt fand sich im Nerv ein Zusammenfließen der Kerne und der Fasern, am Muskel der Muskelzüge, an der Milz Herausreißen des Gewebes.

Literaturverzeichnis.

Alvensleben, Elektrotechnische Zeitschr. 1915, S. 381. — *Balkhausen* und *Grueter*, Dtsch. Zeitschr. f. d. ges. gerichtl. Med. 1924, H. 5. — *Battelli*, Im Handbuch der gesamten medizinischen Anwendungen der Elektrizität, von Boruttan, Mann, Levy-Dorn, Krause. Bd. I. Tit. 2. — *Boruttan*, Dtsch. med. Wochenschr. 1917, S. 808; Vierteljahrsschr. f. gerichtl. Med. **55**, 1. 1918. **58**, 91. 1919. — *Bucky*, Elektrotechnische Zeitschr. 1915, S. 673. — *Capello* und *Pellegrini*, Monatsschr. f. Unfallheilk. u. Invalidenw. 1917, Nr. 7. — *Hapke*, Zeitschr. f. Medizinalbeamte u. Krankenhausärzte 1919, S. 329. — *Hering*, Münch. med. Wochenschr. 1917, S. 1033. — *Jäger*, Veröff. a. d. Geb. d. Medizinalverw. 1922. — *Jellinek*, Atlas der Elektro-Pathologie. — *Jellinek*, Beitr. z. gerichtl. Med. **2**. 1914; Elektrotechnische Zeitschr. 1917, S. 361; Vierteljahrsschr. f. gerichtl. Med. **56**, 221. 1918; Wien. klin. Wochenschr. 1918, S. 1292; Nr. 44, S. 1945; Zeitschr. f. d. ges. gerichtl. Med. 1922, S. 596. — *Jellinek*, Der elektrische Unfall. Leipzig 1925. — *Kratter*, Vierteljahrsschr. f. gerichtl. Med. **31**, 2. 3. Folge. — *Mieremet*, Klin. Wochenschr. 1923, S. 1362. — *Reuter*, Zeitschr. f. d. ges. gerichtl. Med. 1922, S. 362. — *Riehl*, Münch. med. Wochenschr. 1922, S. 101; Klin. Wochenschr. 1923, S. 1334. — *Rodenwaldt*, Vierteljahrsschr. f. gerichtl. Med. **37**. — *Schridde* und *Beekmann*, Virch. Arch. 1924, 252. — *Ziemke*, Monatsschr. f. Unfallheilk. u. Versicherungsmedizin **30**, 107. 1923.

Berichtigung.

Bei der Abbildung des Stirnschusses auf Seite 556 Bd. V sind infolge der Verkleinerung des ursprünglichen Lichtbildes und der Übertragung in Autotypie leider die von mir im Text erwähnten Abdrücke der Rückstoßführung nicht mehr sichtbar geworden, so daß die irrige Meinung entstehen könnte, ich hätte die zahlreichen kleinen unregelmäßigen Hautrisse, die am oberen Rande der Wunde allein zum Abdruck gelangt sind, als Spuren von Mündungsstellen aufgefaßt.

Berg, Düsseldorf.
