

Bisher erschienene Hefte
der
Sammlung Vieweg

- Heft 1. Dr. Robert Pohl und Dr. P. Pringsheim-Berlin: *Die lichtelektrischen Erscheinungen*. Mit 36 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 2. Dr. C. Freiherr von Girsewald-Berlin-Halensee: *Peroxyde und Persalze*. M. 2,40.
- Heft 3. Diplomingenieur Paul Béjeuhr-Charlottenburg: *Der Blériot-Flugapparat und seine Benutzung durch Pégoud vom Standpunkte des Ingenieurs*. Mit 26 Abbildungen. M. 2,—.
- Heft 4. Dr. Stanislaw Loria-Krakau: *Die Lichtbrechung in Gasen als physikalisches und chemisches Problem*. Mit 3 Abbildungen und 1 Tafel. M. 3,—.
- Heft 5. Professor Dr. A. Gockel-Freiburg i. d. Schweiz: *Die Radioaktivität von Boden und Quellen*. Mit 10 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 6. Ingenieur D. Sidersky-Paris: *Brennereifragen: Kontinuierliche Gärung der Rübensäfte. — Kontinuierliche Destillation und Rektifikation*. Mit 24 Abbildungen. M. 1,60.
- Heft 7. Hofrat Professor Dr. Ed. Donath und Dr. A. Gröger-Brünn: *Die flüssigen Brennstoffe, ihre Bedeutung und Beschaffung*. Mit 1 Abbildung. M. 2,—.
- Heft 8. Geh. Reg.-Rat, Professor Dr. Max B. Weinstein-Berlin: *Kräfte und Spannungen. Das Gravitations- und Strahlenfeld*. M. 2,—.
- Heft 9/10. Geh. Reg.-Rat, Professor Dr. O. Lummer-Breslau: *Verflüssigung der Kohle und Herstellung der Sonnentemperatur*. Mit 50 Abbildungen. M. 5,—.
- Heft 11. Dr. E. Przybyllok: *Polhöhen-Schwankungen*. Mit 8 Abbildungen. M. 1,60.
- Heft 12. Professor Dr. Albert Oppel-Halle a. S.: *Gewebekulturen*. Mit 32 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 13. Dr. Wilhelm Foerster-Berlin: *Kalenderwesen und Kalenderreform*. M. 1,60.
- Heft 14. Dr. O. Zoth-Graz: *Über die Natur der Mischfarben auf Grund der Undulationshypothese*. Mit 3 Textfiguren und 10 Kurven tafeln. M. 2,80.
- Heft 15. Dr. Siegfried Valentiner-Clausthal: *Die Grundlagen der Quantentheorie in elementarer Darstellung*. Mit 8 Abbildungen. M. 2,60.

Die
Technischen Grundlagen
der Elektromedizin

Von

Dr. Heinr. Faßbender

Privatdozent an der Technischen Hochschule zu Berlin

Mit 77 Abbildungen



Braunschweig

Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn

1916

ISBN 978-3-663-06134-2 ISBN 978-3-663-07047-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-07047-4

Alle Rechte vorbehalten.

Vorwort.

Die vorliegenden Vorträge über die Technischen Grundlagen der Elektromedizin wurden im Wintersemester 1914/15 in der Technischen Hochschule zu Berlin gehalten. Wenn ich mich dazu entschlossen habe, diese im Druck erscheinen zu lassen, so gehe ich dabei von der Voraussetzung aus, daß das Thema über den Kreis der Zuhörer hinaus Interesse haben dürfte.

Der Standpunkt, den ich der Elektromedizin gegenüber einnehme, ist dadurch gekennzeichnet, daß ich der Technik gegenüber der Physik, die man bei der Behandlung dieser Fragen natürlich nicht vernachlässigen darf, eine besondere Bedeutung zuschreibe. Die Elektromedizin ist auf vielen Gebieten bereits in ein Stadium getreten, wo die technische Ausbildung der Apparatur mehr im Vordergrunde steht, als die Einführung neuer physikalischer Prinzipien.

Ich habe bei der Darstellung die Form von Vorträgen gewählt und wollte mich dadurch gegen den berechtigten Vorwurf schützen, daß der Behandlung des Stoffes an manchen Stellen die Ausführlichkeit fehlt, die man bei einem Leitfaden oder Lehrbuch hätte schlechterdings verlangen können. Vielleicht ist es einer späteren Auflage vorbehalten, das Buch in diesem Sinne auszugestalten.

In dem Buche spricht der Elektrotechniker zum Arzt. In der Elektromedizin finden sich beide Gruppen zu gemeinsamer Arbeit zusammen. Es wäre nur zu begrüßen, wenn sich beide noch enger zusammenschließen würden. Dieser Wunsch ist in letzter Zeit von Ärzten wie von Elektrotechnikern mehrfach ausgesprochen worden.

Zum Schluß möchte ich nicht versäumen, der Siemens & Halske-A.-G., der A.-G. Reiniger, Gebbert & Schall, sowie den Veifa-Werken für die Bereitstellung der Bildstöcke zu danken.

Charlottenburg, im Oktober 1915.

H. Faßbender.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Erstes Kapitel: Die Diathermie	3
1. Die elektrischen Schwingungen und ihre Beziehung zur Diathermie	3
a) Definition der Diathermie. Begriff der Jouleschen Wärme	3
b) Schädlichkeit oder Unschädlichkeit der elektrischen Ströme für den menschlichen Organismus	4
c) Erzeugung hochfrequenter Ströme	6
d) Dämpfung hochfrequenter Ströme	7
e) Allgemeiner Aufbau eines Schwingungskreises und Thomson'sche Formel	9
f) Die Teslaversuche als Ausgangspunkt für die Diathermie .	10
g) Die d'Arsonvalisation und Diathermie in ihren Beziehungen zu den Teslaversuchen	13
h) Impulsfolge und Frequenz.	14
i) Koppelung zweier Schwingungskreise	15
k) Ältere und moderne Funkenstrecken	17
l) Prinzipielle Schaltung der modernen Diathermieapparate .	19
m) Anwendung der Partialentladungen bei den modernen Diathermieapparaten.	21
2. Die speziellen Diathermieinstrumentarien	22
a) Der Apparat der Siemens & Halske-A.-G.	22
b) Apparat der Aktiengesellschaft Reiniger, Gebbert & Schall	22
c) Apparat der Veifa-Werke	23
3. Die Elektroden	26
a) Elektroden für Organdiathermie	27
b) Elektroden für die Diathermie an Gelenken und Weichteilen	28
c) Elektroden für die chirurgische Diathermie	29
4. Verteilung der Diathermieströme im Gewebe.	30
Starkes Wärmegefühl an den Handgelenken, S.30. Spezifischer Widerstand der einzelnen Gewebearten nach Wildermuth, S.31. Longitudinaler und transversaler Stromdurchtritt, S.33. Einfluß von Form und Größe der Elektroden auf die Erwärmung der Gewebe, S.34. Periphere und zentrale Diathermie, S.35. Koagulation des Eiweißes bei der chirurgischen Diathermie, S.36.	
5. Allgemeine Diathermie.	37
Autokonduktion, S. 37. Kondensatorbett, S. 39. Behandlung mit einer inaktiven und vier aktiven Elektroden, S. 40.	
6. Die biologischen Wirkungen der Diathermie	41
Nernst'sche Theorie, S. 41.	
7. Zusatzapparate	44
a) Verwendung des Diathermieapparates zur Fulguration . . .	44
b) Betrieb einer Röntgenröhre mittels eines Diathermieinstrumentariums und Zusatzapparat	45

	Seite
Zweites Kapitel: Die elektrische Temperaturmessung in der Medizin . . .	45
1. Temperaturmessung mit dem Thermoelement	46
2. Temperaturmessung mit dem Widerstandsthermo- meter	49
Drittes Kapitel: Die Röntgentechnik	52
1. Elektrizitätsdurchgang durch Gase. — Entstehung und Natur der Röntgenstrahlen	52
2. Die technische Ausgestaltung der Röntgenröhre.	56
Material der Antikathode, S. 57. Kühlung der Antikathode, S. 58. Intensivröhre von Gundelach, S. 58. Wasserkühlung nach Walter und Albers-Schönberg, S. 58. Veifa- Maximumröhre nach Amrhein, S. 58. Regenerationseinrich- tungen, S. 61. Glimmer-Kohleregenerierung, S. 61. Luft- regenerierung von Heinz Bauer, S. 62. Kondensatorregene- rierung, S. 63. Coolidge-Röhre, S. 63.	
3. Der Betrieb der Röntgenröhren.	64
a) Die Influenzmaschine	64
b) Das Induktorium	65
Kurvenform von Primärstrom und Sekundärspannung, S. 66. Die Ventilröhren, S. 67. Die Unterbrecher, S. 68. Der Weh- nelt-Unterbrecher, S. 68. Der Tesla-Unterbrecher, S. 70. Der Turbinenunterbrecher, S. 71. Der Triplexapparat der Siemens & Halske-A.-G., S. 73.	
c) Betrieb einer Röntgenröhre mit hochfrequenten Strömen	74
d) Die Hochspannungsgleichrichter	75
e) Das Einzelschlagverfahren.	78
Der Blitzapparat der Veifa-Werke, S. 79. Der Uniplus- apparat von Reiniger, Gebbert & Schall, S. 81. Einzel- schlagkommutator der Siemens & Halske-A.-G., S. 81. Einzelschlagapparate zum Anschluß an Wechselstrom, S. 83.	
f) Hochspannungsgleichrichter mit intermittierendem Betriebe. 84 Kritischer Vergleich von Induktor und Hochspannungs- gleichrichter, S. 84. Reformapparat der Veifa-Werke, S. 86. Periodenwähler der Siemens & Halske-A.-G., S. 88.	
4. Die Meßinstrumente der Röntgentechnik	90
a) Die Härtemesser	90
Härtemesser nach Walter, S. 90. Kryptoradiometer nach Wehnelt, S. 91. Härtemesser nach Benoist, S. 92. Abso- luter Härtemesser nach Christen, S. 93. Definition der Halbwertschicht, S. 93. Universalionsometer von Siemens & Halske, S. 95.	
b) Die Dosimeter	96
Orthospektraldosimeter nach Bucky, S. 97. Kienbocksches Quantimeter, S. 98. Universalidosimeter der Siemens & Halske-A.-G., S. 99.	
Viertes Kapitel: Der Elektrokardiograph	99
Definition des Elektrokardiogramms, S. 100. Die Galvano- metersysteme des Elektrokardiographen, S. 101. Einfluß der Dämpfung des Meßsystems auf die Angaben des Instrumentes, S. 103. Elimination des Nullstromes, S. 105.	

Einleitung.

Wenn ich mich entschlossen habe, Vorträge über die technischen Grundlagen der Elektromedizin zu halten, so bin ich hierzu durch die aktuelle Bedeutung dieser Wissenschaft im augenblicklichen Kriegszustande veranlaßt worden.

Hat schon in Friedenszeiten die Elektromedizin eine stets steigende Bedeutung erhalten, so hat gerade der Krieg der Elektromedizin ein neues weites Feld für segensreiches Schaffen gegeben, und zwar liegt dieses sowohl auf dem Gebiete der Diagnostik wie der Therapie.

Wenn ich als Techniker dieses Gebiet behandeln will, so folgt daraus schon von vornherein, daß ich mich auf die technischen Grundlagen beschränken muß. Die Elektromedizin ist eine Grenzwissenschaft, in der sich die Medizin einerseits, die Elektrotechnik und die Physik andererseits, hilfreich die Hand reichen. Wie bei allen Grenzwissenschaften, so auch hier, kann ein eigentlicher Fortschritt nur bei dem zweckmäßigen Zusammenarbeiten beider Gruppen erreicht werden. Beide Gruppen dürfen aber nicht getrennt auf ihr Ziel hinstreben, sondern müssen sich gegenseitig zu ergänzen suchen. Der Techniker bzw. der Physiker muß sich in die Bedürfnisse der Medizin einarbeiten und der Mediziner muß die Physik und Technik seiner Apparate studieren. Man kann nicht über die technischen Grundlagen der Elektromedizin vortragen, ohne die medizinische Anwendung zu streifen. Naturgemäß wird der Techniker dann zum medizinischen Dilettanten, aber diese unbequeme Lage darf er nicht scheuen, nur muß der medizinische Fachmann in diesen Fragen eine schärfere Kritik üben, als es bei technischen Fragen notwendig sein wird.

Wenn ich im folgenden die technischen Grundlagen der Elektromedizin behandeln will, so will ich dabei selbstverständlich nicht den Anspruch erheben, das gesamte Gebiet zu besprechen. Dazu würde die zur Verfügung stehende Zeit nicht ausreichen. Ich will mich vielmehr auf folgende vier Hauptgebiete der Elektromedizin beschränken, und zwar:

1. die Diathermie,
2. die elektrische Temperaturmessung in der Medizin,
3. die Röntgentechnik,
4. den Elektrokardiographen.

Von diesen Kapiteln hat das erste und das dritte eine wesentlich größere Bedeutung als die beiden anderen. Das werde ich dadurch berücksichtigen, daß ich die praktisch weniger wichtigen Kapitel auch weniger ausführlich behandle.

Die technischen Grundlagen der Elektromedizin.

Erstes Kapitel.

Die Diathermie.

1. Die elektrischen Schwingungen und ihre Beziehung zur Diathermie.

a) Definition der Diathermie. Begriff der Jouleschen Wärme.

Unter Diathermie versteht man die Erwärmung des menschlichen Körpers durch Joulesche Wärme. Wir fragen uns, was ist Joulesche Wärme? Schließt man eine elektrische Energiequelle über einen Stromkreis, so fließt in demselben ein elektrischer Strom. Wir haben bekanntlich keinen Sinn, die Elektrizität unmittelbar wahrzunehmen, wir erkennen sie nur in ihren Wirkungen. Die Wirkungen der Elektrizität in und um den Leiter sind sehr mannigfaltig. Wir haben uns zum Verständnis des folgenden nur um eine dieser Wirkungen zu kümmern, nämlich um die im Stromkreis erzeugte Stromwärme, die sogenannte Joulesche Wärme. Ich habe hier einen Versuch aufgebaut, um die Stromwärme zu zeigen. An den positiven und negativen Pol der Hausbatterie ist über einen Regulierwiderstand ein Silitstab eingeschaltet. Der Strom wird durch ein Amperemeter angezeigt; wenn der Strom eine gewisse Höhe erreicht hat, so wird der Silitstab warm und erwärmt sich schließlich bis zur Rotglut. Dieselbe Erscheinung haben wir bekanntlich in unseren elektrischen Glühlampen. Auch dort haben wir einen Leiter, nämlich den Kohlefaden oder Metallfaden, der durch die Joulesche Wärme zum Glühen gebracht wird.

Die lokale oder totale Erhöhung der Körpertemperatur durch Zuführung von Wärme, z. B. durch Dampfbäder oder warme Kompressen, die sogenannte Wärmetherapie, hat

von jeher in der Medizin Anhänger gehabt, die auf Erfolge hinweisen konnten. Die Frage ist die: bietet etwa die Erzeugung der Wärme auf elektrischem Wege für die Wärmetherapie besondere Vorteile? Diese Frage ist unbedingt zu bejahen, und zwar kann man vor allem zwei Vorzüge der elektrischen Methode angeben. Der eine Vorteil liegt in der bequemen Dosierung der elektrischen Wärmetherapie. Die Dosierung kann hier außerordentlich exakt ausgeführt werden, die Regulierung der Stromstärke, von der die erzeugte Stromwärme abhängig ist, ist ein besonders einfaches Problem der Elektrotechnik und auch dem Laien geläufig. Der Hauptvorteil der elektrischen Wärmetherapie besteht aber darin, daß wir bei Anwendung der Stromwärme eine außerordentlich große Tiefenwirkung erzielen können. Wir können tiefer liegende Organe ebenso bequem erwärmen, wie oberflächlich gelegene Organe des menschlichen Körpers. Gerade dieser zweite Vorzug zeichnet die elektrische Wärmetherapie vor den anderen Methoden aus, da bei jenen die Wärme von außen zugeführt wird und daher die wärmeisolierende Haut- und Fettschicht durchdringen muß, während hier die Wärme im Inneren des Körpers selbst entsteht. Wenn nun trotzdem die Anwendung der elektrischen Erwärmung in der Medizin eine Errungenschaft erst der allerneuesten Zeit ist, so liegt das daran, daß man den elektrischen Strom nicht in jeder Form hierzu verwenden kann. Die Elektrizität ist für den menschlichen Körper ein Gift, und es kommt nun darauf an, dieses Gift in einer Form zu reichen, in der es auch in verhältnismäßig großen Dosen für den Organismus unschädlich ist.

b) Schädlichkeit oder Unschädlichkeit der elektrischen Ströme für den menschlichen Organismus.

Die moderne Diathermie hat gelehrt, dem menschlichen Körper die elektrische Wärme als Arznei in einer Form zu bieten, in der man bis zu ganz außerordentlich hohen Dosen gehen kann, ohne auch nur die geringste Befürchtung zu haben, dem Patienten zu schaden.

Daß die Elektrizität ein Gift ist, weiß jeder. Die nicht seltenen Unglücksfälle in elektrischen Betrieben weisen darauf hin. Der Gleichstrom und auch der übliche technische Wechselstrom von 50 Perioden wirkt schon in außerordentlich geringen Dosen auf den menschlichen Körper tödlich, und zwar noch bevor die Stromstärke solche Werte erreicht hat, daß von einer Erwärmung der Organe überhaupt nur die Rede sein kann.

Freilich wendet man, wie Ihnen allen bekannt ist, auch diese Stromarten therapeutisch in der sogenannten Galvanisation und Faradisation an. Es kommt uns aber bei diesen Anwendungsformen, die schon sehr alt sind und auf die ich in diesem Vortragszyklus nicht eingehen will, nur auf die neuromuskulären Reizerscheinungen an. Für die Anwendung der Elektrizität in dieser Form werden die sogenannten Anschlußapparate von den verschiedensten Firmen in verschiedenen Ausführungsformen gebaut. Bei dem konstanten Gleichstrom der Galvanisation darf man bei der Anwendung über einige Milliampere nicht hinausgehen, bei dem Wechselstrom der Faradisation darf man sogar ein Milliampere nicht überschreiten. Geht man mit der Dosis höher, so stellt sich zunächst eine erhöhte Schmerzempfindung und Muskelzuckungen ein, schließlich kann bei zu großen Dosen auch eine dauernd schädliche Wirkung für den Patienten eintreten.

Diese zum Teil unangenehmen, zum Teil sogar schädlichen Begleiterscheinungen der Elektrotherapie bleiben vollkommen aus, wenn man den Strom in der Form von sogenannten hochfrequenten Strömen anwendet. In dieser Anwendungsform der Elektrizität können wir unbedenklich zu Stromstärken übergehen, die tausendmal höher liegen als die oben angegebenen Zahlen, also bis etwa zu 2 bis 3 Amp. Die neuromuskulären Reizerscheinungen, die bei der Galvanisation und Faradisation den Heilfaktor bildeten, fehlen ganz, der Organismus empfindet nur eine äußerst wohltuende Erwärmung, ohne daß irgendwelche schädlichen Folgeerscheinungen eintreten. Wir bieten gewissermaßen dem Patienten die Elektrizität in der Form einer wohl-schmeckenden Medizin.

c) Erzeugung hochfrequenter Ströme

Was verstehen wir nun unter hochfrequenten Strömen?

Wir verstehen darunter solche Ströme, die in der Sekunde sehr häufig etwa 10000 mal oder mehr die Richtung ändern. Solche Ströme kennt man in der Elektrotechnik schon recht lange.

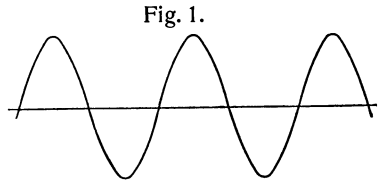
Bereits Nicola Tesla hat solche Ströme erzeugt. Sie sind dem Laien bekannt wegen der außerordentlich wirkungsvollen Experimente, die man mit diesen Strömen vorführen kann. Es sind die hochfrequenten Ströme aber auch dieselben, die den Weg zur drahtlosen Telegraphie gezeigt haben. Es ist ein Zufall, daß die Bedürfnisse der Diathermie und der drahtlosen Telegraphie sich in der Weise decken, daß jeder Fortschritt in der Erzeugung der elektrischen Energien für die drahtlose Telegraphie gleichzeitig einen Fortschritt für die Diathermie bedeutet. Ich sage, es ist dies ein Zufall, denn in der Diathermie und der drahtlosen Telegraphie werden gänzlich verschiedene Eigenschaften dieser hochfrequenten Ströme verwandt. Aber ich möchte doch schon hier auf diesen Zusammenhang hinweisen. Wenn wir deshalb die Entwicklung des Diathermie-instrumentariums betrachten, so ist das gewissermaßen eine Einführung in die Energieerzeugung der drahtlosen Telegraphie.

Solche hochfrequenten Ströme kann man am elementarsten bei der Entladung eines Kondensators, der Ihnen allen z. B. in der Form einer Leidener Flasche bekannt ist, zeigen. Unter einem Kondensator versteht man einen Apparat, der eine gewisse Kapazität hat, d. h. ein gewisses Fassungsvermögen für Elektrizität. Er besteht in der einfachsten Form aus einem Nichtleiter, der auf beiden Seiten von einem Leiter belegt ist. Lädt man einen Kondensator mit einer bestimmten Spannung, z. B. mit einer sogenannten Influenzmaschine, und schaltet parallel zum Kondensator eine Funkenstrecke, so wird bei einer bestimmten Spannung des Kondensators über die Funkenstrecke ein Funke überschlagen.

Die Influenzmaschine lädt den einen Belag positiv, den anderen negativ. Man könnte denken, daß der Funke nichts anderes wäre als eine Vereinigung der beiden Elektrizitäten.

Das ist aber keineswegs der Fall. Vielmehr stellt dieser Funke einen sogenannten hochfrequenten Strom dar. Die Elektrizitäten vereinigen sich nicht, sie tauschen sich nur aus, wir haben nicht nur einen Funken, sondern eine Reihe von ständig aufeinander folgenden Funken. Wir können uns den Entladungsvorgang richtiger so vorstellen, daß die beiden Arten der Elektrizität, die positive und die negative, aneinander vorbeigehen, ohne sich um einander zu kümmern. Unter Richtung des Stromes verstehen wir dabei die Richtung der positiven Elektrizität. Man kann bei diesem Vorgange nach den Momentanwerten der Stromstärken des elektrischen Funkens fragen. Zunächst wissen wir

nur, daß der Strom bei diesem Entladungsvorgange des Kondensators ständig seine Richtung wechselt. Die theoretische und experimentelle Unter-



suchung dieser Frage ergibt jedoch weiter, daß die Stromstärke sinusförmigen Charakter hat. Was verstehen wir unter sinusförmigem Charakter einer Stromstärke? Trägt man die Augenblickswerte einer Stromstärke in senkrechter Richtung als Ordinate und die Zeit in horizontaler Richtung als Abszisse auf, so erhält man für den zeitlichen Verlauf der Stromstärke eine Kurve. Die sinusförmige Kurve hat die bekannte obenstehende Form (vgl. Fig. 1). Man erkennt in dem Kurvenzug Wellenberge und Wellentäler. Ein Wellenberg und ein Wellental zusammengenommen, nennt man eine Periode des hochfrequenten Stromes. Den größten Augenblickswert während jeder Periode nennt man die Amplitude. Es gibt Apparate, mit denen man solche Kurvenformen aufnehmen kann, man nennt sie Oszillographen.

d) Dämpfung hochfrequenter Ströme.

Solche Kurvenzüge für den Entladungsvorgang eines Kondensators weisen keine konstante Amplitude auf, sondern vielmehr wird diese in jeder folgenden Periode kleiner als in der

vorhergehenden, bis schließlich die Amplitude verschwindend klein wird, wie wir dies aus Fig. 2 erkennen. Es entspricht dies dem Abreißen des Funkens. Man sagt in der Elektrotechnik: die elektrische Schwingung, oder, was dasselbe ist, der hochfrequente Strom ist gedämpft. Woher kommt diese Dämpfung? Diese Dämpfung hat ihren Grund darin, daß die elektrische Energie während des Schwingungsvorganges zum Teil in Joulesche Wärme verwandelt wird und damit als elektrische Energie verloren geht. Um einen solchen Schwingungsvorgang anschaulich zu machen, ziehe ich, wie man das gewöhnlich tut, ein Analogon aus der Mechanik heran, die sogenannten mechanischen Schwingungen. Ich habe hier eine Spiralfeder, die vertikal aufgehängt ist und am unteren

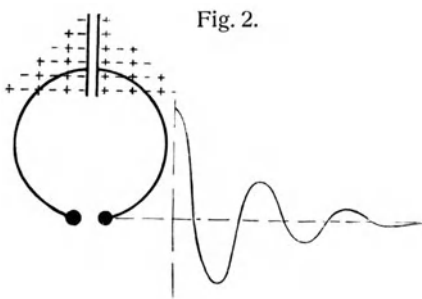


Fig. 2.

Ende mit einem Gewicht belastet wird. Ist sie einmal in Bewegung versetzt, so schwingt sie auf und ab. Wir haben hier eine mechanische Schwingung. Was bei der elektrischen Schwingung der positive und negative Strom ist, das ist hier die

Verlängerung und Verkürzung der Feder, und was dort der Augenblickswert des Stromes war, das ist hier der Augenblickswert der Verlängerung und Verkürzung. Auch hier geht die Schwingung nicht ungedämpft vor sich, sondern sie klingt allmählich ab. Der Grund liegt hier darin, daß die mechanische Energie infolge der Reibung langsam in Wärmeenergie verwandelt wird, also als mechanische Energie verloren geht. Man kann die Reibung, die zunächst nur in der Luftreibung der Feder besteht, leicht dadurch verstärken, daß man die Feder in Petroleum oder einem Öl schwingen läßt. Die Dämpfung wird alsdann größer und die Schwingung klingt schneller ab. Ich führe ihnen auch diesen Versuch vor. In dem elektrischen Falle kann man durch die Versuchsanordnung die Dämpfung ebenfalls verändern, und zwar dadurch, daß man den Widerstand des Stromkreises und damit die Joulesche Wärme er-

höht. Alsdann wird mehr elektrische Energie bei dem Schwingungsvorgang in Wärmeenergie umgewandelt und die elektrische Schwingung klingt hier ebenfalls, wie bei jenem anschaulicheren Versuche, mit der Spiralfeder schneller ab.

e) Allgemeiner Aufbau eines Schwingungskreises
und Thomsonsche Formel.

Wir haben gesehen, daß bei der Entladung eines Kondensators über eine Funkenstrecke elektrische Schwingungen entstehen. Wir haben einen sogenannten elektrischen Schwingungskreis; wir fragen uns jetzt, was sind die typischen Einzelteile eines solchen Schwingungskreises? Die Funkenstrecke ist jedenfalls nicht wesentlich, sie dient hier zur Erzeugung der Schwingungen. Wenn wir die elektrischen Schwingungen auf irgendeine andere Weise als hier erzeugen, dann brauchen wir je nach der Art der Erzeugung keine Funkenstrecke. Wesentlich für einen Schwingungskreis sind zwei Bestandteile: einmal der Kondensator, der eine gewisse Kapazität hat, und zweitens die sogenannte Selbstinduktion. Die Selbstinduktion ist zunächst ein für uns neuer Begriff. Jede Drahtspule besitzt Selbstinduktion. Hier hatten wir keine Drahtspule, sondern nur einen Drahtkreis, der von den Zuleitungsdrähten gebildet wird. Der eigentliche Begriff der Selbstinduktion ist für den Laien schwer zu fassen. Ihre Größe hängt nur von geometrischen Dimensionen des Leiters ab und kann sowohl theoretisch berechnet als auch experimentell gemessen werden.

Wir brauchen hier nur zu wissen: wenn ich einen Kondensator mit einer bestimmten Kapazität über eine Spule, deren Selbstinduktion ich nach den Lehren der Elektrotechnik ebenfalls genau bestimmen kann, entlade, so entstehen Schwingungen von ganz bestimmter Periodenzahl oder Frequenz, wobei ich unter Periodenzahl die Anzahl der Schwingungen in der Zeiteinheit verstehe. Diese Periodenzahl läßt sich verhältnismäßig einfach berechnen. Sie ist gegeben durch die Formel

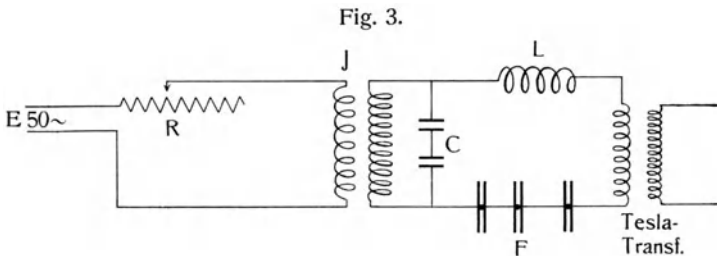
$$\frac{1}{\nu} = 2\pi\sqrt{L.C.}$$

Hierin bedeutet L die Selbstinduktion des Stromkreises, C die Kapazität desselben und π die bekannte Zahl 3,14. Diese Formel ist von Thomson aufgestellt und heißt nach ihm die Thomsonsche Schwingungsformel.

f) Die Teslaversuche als Ausgangspunkt
für die Diathermie.

Nachdem wir einen Schwingungsvorgang einfachster Art, nämlich die Entladung einer Leidener Flasche, behandelt haben, will ich Ihnen einen Teslaversuch zeigen, bei dem Sie sehen, daß die Elektrizität für den menschlichen Körper gänzlich ungefährlich ist, wenn die Frequenz nur hoch genug ist. Die Spannung spielt dabei keine Rolle. Diese Versuche haben naturgemäß, als sie ihrem Wesen nach noch weniger bekannt waren, den Laien stets überrascht. Man sieht außerordentlich lichtstarke und lange Funken, man weiß, daß diese auf eine sehr hohe Spannung schließen lassen, und trotzdem kann man unbedenklich diese Spannung auf den menschlichen Körper überschlagen lassen. Es muß nur eine Bedingung dabei erfüllt sein, von der wir gleich hören werden.

Die Versuchsanordnung geht aus dem untenstehenden Schaltbild (Fig. 3) hervor. In der Abbildung bedeutet E den Anschluß der städtischen Zentrale. Sie besitzt eine Spannung



von 120 Volt und liefert Wechselstrom von der Periodenzahl oder Frequenz 50, d. h. die Spannung wechselt in der Sekunde 100mal ihre Richtung. Diese Spannung ist über einen Regulierwiderstand R an ein Induktorium J angelegt. Das Induktorium wird also in unserem Falle mit Wechselstrom gespeist, während,

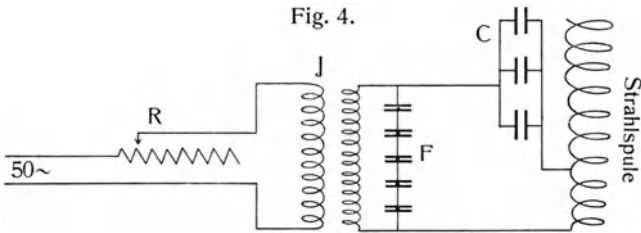
wie Ihnen bekannt ist, die Induktionsapparate in der Regel mit Gleichstrom arbeiten, der durch einen Unterbrecher in pulsierenden Gleichstrom verwandelt wird. Wir gebrauchen hier den Induktionsapparat nicht in der üblichen Weise, sondern vielmehr als Transformator, d. h. als Apparat, der Wechselstrom von bestimmter Spannung in gleichartigen Wechselstrom niederer oder höherer Spannung transformiert. Wir kommen hierauf in dem Kapitel über Röntgentechnik näher zu sprechen. Die im Induktorium hochtransformierte Spannung lädt die Kapazität C auf, die hier aus einer Batterie von Leidener Flaschen besteht. Wenn die Wechselspannung ihren Maximalwert erreicht hat (dies erfolgt in der Sekunde 100mal), dann entlädt sich die Batterie über die Funkenstrecke F , die Selbstinduktion L und die Primärspule des Tesla-transformators. Die Frequenz berechnet sich nach der oben angegebenen Thomsonschen Formel aus der gesamten Kapazität und der gesamten Selbstinduktion des Stromkreises. Im vorliegenden Falle ist sie etwa gleich einer Million. Der Tesla-transformator ist genau so gebaut, wie das zuerst besprochene Induktorium. Wegen der außerordentlich hohen sekundären Spannung ist der Apparat in einer mit Öl gefüllten Wanne aufgebaut. Da durch einen Transformator nur die Spannung verändert wird, so haben wir sekundär die gleiche Frequenz, also ebenfalls etwa eine Million, aber eine außerordentlich hohe Spannung, die große Luftstrecken in einem Funken zu überschlagen vermag. Man kann unbedenklich, wie ich es Ihnen jetzt vorzeige, Funken von respektabler Länge aus den Sekundärklemmen des Teslatransformators mit der Hand herausziehen, nur muß man darauf achten, daß der Funke nicht direkt auf die Haut springt, sondern auf einen fest umfaßten Metallkörper. Ich nehme bei diesem Versuch einen Schlüssel in meine Hand. Beobachtet man diese Vorsichtsmaßregel nicht, so erhält man auf der Haut eine Brandstelle. Während nämlich die Elektrizität an sich in dieser Form für den menschlichen Körper, wie wir oben gesagt hatten, gänzlich ungefährlich ist, entsteht beim Überspringen eines Funkens direkt auf die Haut an dieser Stelle eine außerordentlich hohe lokale Erwärmung, die Verbren-

nungen veranlassen kann. Daß die Elektrizität in der Tat durch den menschlichen Körper hindurchtritt, kann ich Ihnen in einem sehr einfachen Versuch zeigen. Ich trete auf einen isolierenden Schemel und ziehe mit der einen Hand, genau wie vorher, einen Funken aus dem Transformator. Die andere Hand reiche ich einer zweiten Person, die auf dem Fußboden steht, aber nicht direkt, sondern so, daß wir beide je einen Pol einer elektrischen Lampe anfassen. Die Lampe leuchtet auf, ein Beweis dafür, daß ein Strom von der normalen Lampenstromstärke, also etwa 0,5 Amp., meinen Körper durchfließt. Wir werden später eingehend darüber sprechen, daß der Strom wirklich durch das Innere des Körpers tritt und nicht etwa, wie man früher annahm, nur auf der Oberfläche hingeleitet.

Im Anschluß an diesen Versuch zeige ich einen zweiten Versuch, der prinzipiell dem ersten ganz ähnlich ist, der die gleichen brillanten Leuchterscheinungen zeigt und äußerlich von dem ersten kaum zu unterscheiden ist. Trotzdem ist die Elektrizität bei diesem zweiten Versuch außerordentlich gefährlich und kann leicht tödlich wirken. Ich zeige Ihnen diese Versuche deshalb mit dieser Ausführlichkeit, um Sie von vornherein darauf hinzuweisen, daß man es der Elektrizität nicht ansehen kann, ob sie in einer für den menschlichen Organismus tödlichen oder gänzlich ungefährlichen Form geboten wird.

Das Gemeinsame in beiden Versuchen sind die Leuchterscheinungen der Funken einer sehr hohen Wechselspannung, verschieden ist die Frequenz. Im ersten Versuche haben wir, wie ich sagte, eine Frequenz von etwa einer Million, hier haben wir die Frequenz 50. Die Versuchsanordnung ist durch die nebenstehende Schaltskizze (vgl. Fig. 4) angedeutet. Auch hier gehen wir aus von der gleichen Wechselspannung der städtischen Zentrale von 120 Volt und 50 Perioden. Über einen Widerstand ist das gleiche Induktorium wie im ersten Versuch angeschlossen. Die Sekundärspannung lädt über die Spule die Kapazität C auf. Diese ist auch hier durch eine Batterie Leidener Flaschen gebildet. Hat die Spannung ihren Maximalwert erreicht, dann entlädt sich die Kapazität über die parallel

zur Sekundärseite des Induktoriums geschaltete Funkenstrecke F und die Selbstinduktion. Die Frequenz ist auch hier nach der Thomsonschen Formel zu berechnen, und zwar sind L und C , wie oben erwähnt, hier so gewählt, daß die Eigenschwingung gerade gleich 50 ist, also in Resonanz ist mit der Wechselspannung des Stadtnetzes. Wir sagen, wir benutzen das Induktorium als Resonanztransformator. An der Selbstinduktion L ist eine Strahlspule angeschlossen, deren technische



Bedeutung uns zu weit führen würde und die, kurz gesagt, nur den Zweck hat, ein außerordentlich hohes Potential an ihrem freien Ende zu erzeugen. Dieses ist so hoch, daß die umgebende Luft durch blitzartige meterlange Funken durchschlagen wird. Wir haben die gleiche brillante Erscheinung, wie bei dem vorigen Teslaversuche. Wegen der niederen Frequenz ist aber diese Hochspannung äußerst lebensgefährlich, was man leicht an Versuchen mit Tieren zeigen kann.

g) Die d'Arsonvalisation und Diathermie in ihren Beziehungen zu den Teslaversuchen.

Der zuerst gezeigte Teslaversuch stellt den Ausgangspunkt für die moderne Diathermie dar. Durch ihn war zum erstenmal gezeigt, daß man die Elektrizität in einer für den menschlichen Organismus ungefährlichen Form darbieten kann. Der französische Physiologe d'Arsonval hat bereits im Jahre 1892 die Teslaversuche für Heilzwecke empfohlen. Man nannte dieses Heilverfahren nach ihm d'Arsonvalisation. Es wäre aber durchaus den Tatsachen widersprechend, wenn man d'Arsonval als den Schöpfer der Diathermie bezeichnen

wollte. Dies geht mit Sicherheit daraus hervor, daß d'Arsonval die bei seinen Versuchen auftretende Erwärmung des menschlichen Körpers eine lästige Nebenerscheinung nannte.

D'Arsonval hat zwar die Teslaversuche bereits praktisch verwertet, aber ihre eigentlichen Vorteile für die Medizin nicht erkannt. Der, welcher auf die Wärme als Heilfaktor zuerst aufmerksam gemacht hat und dabei ihre volle Tragweite erkannte, war R. v. Zeyneck im Laboratorium von Nernst. Zeyneck interessierte den Arzt v. Preyss für diese Erscheinung, es kam bald zur praktischen Anwendung dieser Methode in der Klinik. Die ersten praktischen Versuche wurden mit einem Instrumentarium ausgeführt, das außerordentlich dem bei dem ersten Versuche gezeigten nahe kam. Dies hatte jedoch zwei Nachteile zur Folge, die in der weiteren Entwicklung der Diathermie beseitigt werden mußten. Es war vor allem die sehr hohe Spannung der Elektrizität, die zwar wegen der hohen Frequenz ungefährlich ist, aber doch vom Patienten unangenehm empfunden wurde. Dann aber war es vor allem die dort angewandte sogenannte offene Funkenstrecke, die aus zwei gegenüber stehenden Kugeln bestand und die wesentliche Nachteile für die medizinische Verwendung dieser Methode bedingte. Eine solche offene Funkenstrecke arbeitet äußerst unregelmäßig. Wenn nun auch der hochfrequente Strom selbst ohne unangenehme Reizwirkung dem menschlichen Organismus appliziert werden kann, so waren es gerade diese Sprünge und Unregelmäßigkeiten in der Schwingungserregung, die Reizwirkungen auf die Nerven ausübten und die, ohne zu nützen, bei empfindlichen Patienten die Applikation erschwerten.

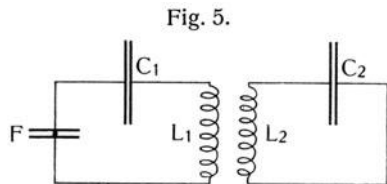
h) Impulsfolge und Frequenz.

Um die modernen Diathermieapparate jedoch zu verstehen, müssen wir unsere Vorstellungen über die elektrischen Schwingungsvorgänge und den Aufbau von Schwingungskreisen erweitern. Wir müssen zunächst uns den Unterschied klarmachen zwischen den beiden Begriffen der Impulsfolge und der Frequenz einer elektrischen Schwingung.

In dem einfachen Versuche der Entladung einer Kondensatorflasche über eine Funkenstrecke hatten wir den Begriff der Frequenz besprochen. Wir verstanden darunter die Anzahl, wie häufig der elektrische Strom in der Sekunde hin und zurück strömt. Die einmal erregte Spannung klingt, wie wir gesehen haben, wegen der Dämpfung allmählich ab. Dieses Abklingen erfolgt in einem Zeitraume, der viel kleiner ist als eine Sekunde. Man muß also die Zahl der Schwingungen während dieser kurzen Zeit auf eine Sekunde umrechnen, um die Frequenz zu erhalten. Nach einer Pause in der elektrischen Schwingung setzt ein neuer Funke ein und erregt die Schwingung von neuem. Die Anzahl dieser Impulse pro Sekunde, welche neue Einzelschwingungszüge erregen, nennt man die Impulsfolge. Es ist einleuchtend, daß die Impulsfolge bei hohen Schwingungen eine sehr viel kleinere Zahl darstellt als die Frequenz oder die Wechselzahl der Schwingungen (Wechselzahl = doppelte Frequenz). Bei dem ersten Teslaversuch war die Impulsfolge 100, entsprechend den 100 Maximalspannungen des 50-Periodenstromes. Die Frequenz der Schwingung war nach der Thomsonschen Formel eine Million. In dem zweiten Versuche, den ich Ihnen vorführte, war die Selbstinduktion und die Kapazität so gewählt, daß die Wechselzahl der elektrischen Schwingungen gleich der Wechselzahl der elektrischen Spannung, d. h. gleich der Impulsfolge war.

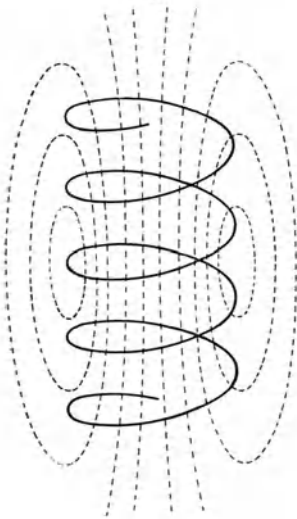
i) Koppelung zweier Schwingungskreise.

Weiter müssen wir den Begriff der Koppelung zweier elektrischer Schwingungskreise erörtern. Stellen wir uns einen elektrischen Stromkreis vor, der durch eine Funkenstrecke erregt wird und der aus einer Kapazität und einer Selbstinduktion zusammengesetzt sein mag. Außer diesem ersten Schwingungskreis haben wir einen zweiten (vgl. Fig. 5), der die gleiche Eigenschwingung wie der erste haben möge, der



also, wie wir sagen, auf den ersten Kreis abgestimmt ist oder sich in Resonanz mit dem ersten Kreise befindet. Falls nun die beiden Kreise in der Art aufeinander einwirken, daß der zweite zum Mitschwingen erregt wird, wenn der erste Kreis schwingt, dann sagt man, die beiden Kreise sind miteinander gekoppelt. Man kann diesen Vorgang sich an einem analogen mechanischen Versuch klarmachen. Ich habe hier zwei Pendel, die nebeneinander aufgehängt und durch einen Bindfaden miteinander verbunden sind. Der Faden ist, wie Sie sehen, durch ein kleines Gewicht straff gezogen.

Fig. 6.



Verschieben der Pendelscheiben kann ich die beiden Pendel auf gleiche Schwingungszeiten abstimmen. Stoße ich jetzt das eine Pendel an, so dauert es nicht lange, so fängt das zweite ebenfalls an zu schwingen. Ich unterbreche den Versuch, da der weitere Verlauf des Schwingungsvorganges uns von der eigentlichen Frage ablenken würde. Verstimme ich andererseits das zweite Pendel gegenüber der Schwingungsdauer des ersten, so wird das zweite nicht zum Mitschwingen veranlaßt.

Die Koppelung war hier mechanisch hergestellt durch den straff gezogenen Bindfaden. Bei der elektrischen Koppelung zweier Schwingungskreise wird die Koppelung der beiden Kreise z. B. dadurch hergestellt, daß man die Selbstinduktionen nahe beieinander aufstellt. Der durch die Selbstinduktion des Primärkreises hindurchfließende hochfrequente Strom erzeugt in ihrem Inneren ein magnetisches Feld. Die magnetischen Induktionslinien schließen sich außerhalb der Spule nach nebenstehender Fig. 6 in bekannter Weise. Einige von diesen Induktionslinien durchschneiden die Selbstinduktion des sekundären Kreises. Entsprechend der sich ständig ändernden Richtung des Stromes ändert sich synchron die Richtung

der magnetischen Induktionslinien. Man hat, wie wir sagen, ein magnetisches Wechselfeld. Ebenso, wie nun der hochfrequente Strom in der Primärspule in ihrem Inneren ein magnetisches Feld erzeugt, so erregt umgekehrt das magnetische Wechselfeld in der Selbstinduktion des Sekundärkreises einen hochfrequenten Strom, der meßbar groß wird, wenn die Eigenschwingungen beider Kreise gleiche Frequenz haben. Wir nennen diese besprochene Art der Koppelung induktiv.

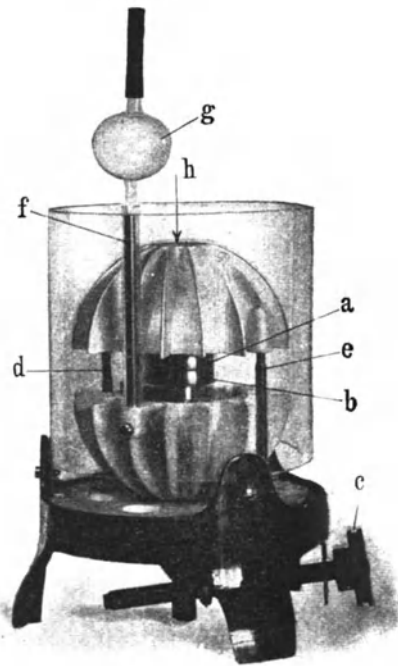
k) Ältere und moderne Funkenstrecken.

Endlich müssen wir über Funkenstrecken einiges vorausschicken, um die modernen Diathermieapparate und ihr Arbeiten verstehen zu können.

Bei diesen werden nicht mehr die offenen sogenannten Knallfunkenstrecken, sondern Zisch- oder Löschfunkenstrecken verwandt. Es sind dies Funkenstrecken, die in der drahtlosen Telegraphie die alten Knallfunkenstrecken gänzlich verdrängt haben.

Die Zischfunkenstrecken werden von den Veifawerken in ihre Apparate eingebaut (vgl. Fig. 7). Die Siemens & Halske-A.-G. verwendet die Wiensche Löschfunkenstrecke. Die Zischfunkenstrecke bildet den Übergang zwischen

Fig. 7.



Zischfunkenstrecke der Veifa-Werke.

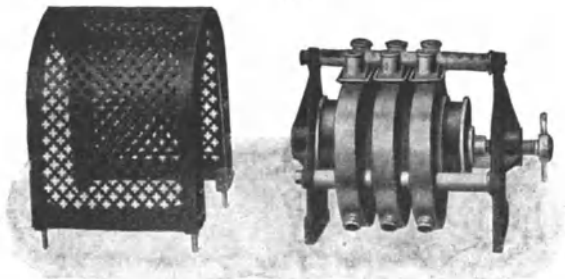
a u. *b* Kupferklötze. *c* Handrad zum Einregulieren der Funkenstrecke. *d* u. *e* Kontaktstifte. *f* Füllröhrchen. *g* Tropfgläschen. *h* Düse zum Abziehen des Alkoholdampfes.

der alten Knallfunkenstrecke und der modernen Löschfunkenstrecke. Wir besprechen ausführlich nur die letztere.

Diese besteht aus zwei Kupferplatten, die durch einen Glimmerring in einem Abstände von 0,1 mm gehalten werden. Statt einer Funkenstrecke werden zur Vermehrung der elektrischen Energie zwei oder drei Funkenstrecken in Reihe geschaltet. Wesentlich für ein gutes und gleichmäßiges Arbeiten dieser Apparate ist eine gute Kühlung. Die Veifawerke verwenden zur Kühlung Dämpfe von Methvlalkohol, Siemens & Halske kühlt durch besondere Gefäße mit Kühlwasser, die zwischen den einzelnen Funkenstrecken eingepreßt sind.

Die untenstehende Fig. 8 zeigt die Löschfunkenstrecken der Siemens & Halske-A.-G. Die Vorteile, welche diese Konstruktion in der drahtlosen Telegraphie gebracht hat, sind

Fig. 8.



Löschfunkenstrecke der Siemens & Halske-A.-G.

sehr mannigfaltig. Der Hauptvorteil liegt dort in einer sehr schwachen Dämpfung der ausgesandten Wellen, so daß man von der Erzeugung wenig gedämpfter Wellen sprechen kann. Hierdurch sind wieder andere Vorteile für die praktische drahtlose Telegraphie bedingt, die ich aber hier nicht zu erwähnen brauche. Man findet nun in der Literatur häufig die Angabe, daß man auch in der modernen Diathermie zu ungedämpften oder weniger gedämpften Schwingungen übergegangen ist. Das ist jedoch ein Fehler. Bei der Diathermie kommt es nur auf die Dämpfung des Schwingungsvorganges

im menschlichen Organismus an. Diese ist aber bedingt durch den Ohmschen Widerstand des Gewebes. Da dieser verhältnismäßig hoch ist, so hat man notwendigerweise ganz unabhängig von der Art der Schwingungserzeugung stark gedämpfte Schwingungszüge.

Exakte Kurvenaufnahmen über die elektrischen Schwingungen im organischen Gewebe liegen noch nicht vor, wie überhaupt auf diesem Gebiete wissenschaftlich noch vieles geklärt werden muß. Man kann aber mit Sicherheit sagen, daß die Vorteile der modernen Funkenstrecken bei ihrer Anwendung in der Diathermie nicht vollzählig zur Geltung kommen. Worauf es hier besonders ankommt, ist nur eine möglichst gleichmäßige Schwingungserzeugung und eine hohe Impulszahl. Wir werden sehen, inwieweit dies mit den erwähnten Funkenstrecken erreicht wird.

1) Prinzipielle Schaltung der modernen Diathermieapparate.

Nach diesen einleitenden Bemerkungen wenden wir uns zur prinzipiellen Schaltung der modernen Diathermieapparate. Ich bespreche die Schaltung an Hand des Siemens & Halske-Apparates (vgl. Fig. 9).

Als Energiequelle dient Wechselstrom von 50 Perioden und, je nach der Ausführung des Apparates, 120, 150 oder 220 Volt Spannung. An der Wand ist eine Sicherung montiert und außerdem ein Hauptschalter. Außer diesem wird häufig ein zweiter Schalter verwendet, der mit dem Fuße bedient werden kann und so dem behandelnden Arzte auch beim Ein- und Ausschalten beide Hände frei läßt. Die Wechselspannung wird über einen weiteren Dosenschalter und einen Regulierwiderstand R^1) an die Primärklemmen eines Transformators geleitet. Der Transformator dient dazu, die Wechselspannung

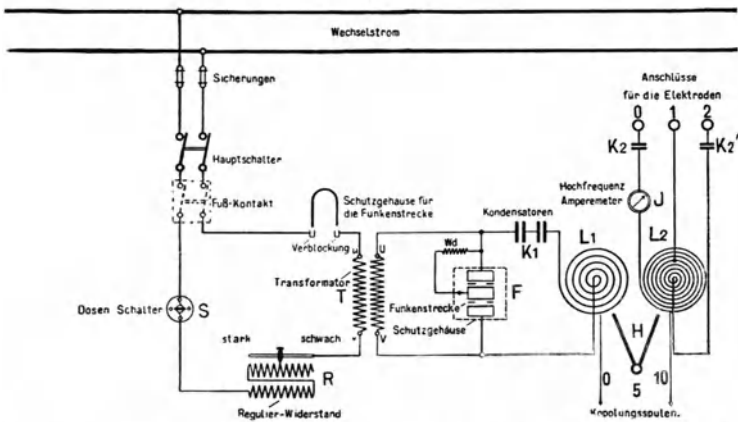
1) Bei den neueren Apparaten ist dieser Widerstand in Wegfall gekommen und durch eine gegenseitige Verschiebung der Spulen des Transformators ersetzt.

so weit zu erhöhen, daß sie in der Lage ist, die Funkenstrecke zu überschlagen.

Siemens & Halske verwendet zwei in Reihe geschaltete Funkenstrecken, von denen jede 600 Volt Spannung beansprucht, insgesamt muß also der Transformator für eine Sekundärspannung von mindestens 1200 Volt gebaut sein. Man baut den Transformator aber so, daß man beim Ausschalten des Widerstandes R auch höhere Spannungen erzielen kann. Den Zweck werden wir später kennen lernen.

Sekundär ist an dem Transformator ein primärer Schwingungskreis angeschlossen, ganz ähnlich wie bei unseren Tesla-versuchen, der aus der Kapazität K_1 und der Selbstinduktion L_1

Fig. 9.



Schaltung des Diathermieapparates der Siemens & Halske-A.-G.

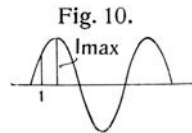
zusammengesetzt ist. Diese sind so gewählt, daß die Frequenz etwa eine Million wird. Mit dem primären Kreise ist ein sekundärer induktiv gekoppelt. Dieser besitzt drei freie Enden, die mit den Ziffern 0, 1 und 2 kenntlich gemacht sind. Der zu behandelnde Organismus wird zwischen die Klemme 0 und 1 oder 0 und 2 geschaltet. Im ersten Falle ist der Stromkreis gebildet aus der Kapazität K_2 und der halben Selbstinduktion, im zweiten Falle aus der Kapazität K_2 , der gesamten Selbstinduktion und der Kapazität K_2' . Diese Kapazitäten und

Selbstinduktionen sind so gewählt, daß die Frequenz des sekundären Kreises in beiden Fällen gleich ist, und zwar gleich der Frequenz des primären Kreises. Nur die Spannung zwischen 0 und 1 ist wesentlich kleiner als die zwischen 0 und 2.

m) Anwendung der Partialentladungen bei den modernen Diathermieapparaten.

Die Impulszahl würde normalerweise bei einem 50periodischen Wechselstrom, wie wir oben gesehen hatten, $2 \times 50 = 100$ sein, d. h. man würde während jeder positiven oder negativen maximalen Spannung einen Funken erhalten. Nun ist aber die Spannung so gewählt, daß ein Funke bereits bei niederen Momentanwerten als der maximalen Spannung überschlägt.

Nebenstehende Kurve (Fig. 10) stelle den zeitlichen Verlauf der Wechselspannung dar, die mit 1 bezeichnete Spannung genüge bereits zum Überschlagen der Funkenstrecke. Es treten dann während jeder Halbperiode nicht nur ein, sondern mehrere Funken auf, und zwar ebenfalls in gleichen Zeitabständen. Man nennt diese Partialfunken. Man erreicht hierdurch eine höhere Impulsfolge, als der Frequenz der Wechselspannung entspricht. Dieses ist sehr wünschenswert, da bei niedriger Impulsfolge die Impulse infolge ihrer muskulären Nervenreizung störend empfunden werden. Ich will erwähnen, ohne auf die technische Begründung näher einzugehen, daß diese Partialfunken nur bei den modernen Konstruktionen der Funkenstrecken voll ausgenutzt werden können. Die Siemens & Halske-A.-G. gibt die Impulsfolge mit 20 000 pro Sekunde an.



Ich habe einen Demonstrationsapparat aus einzelnen Laboratoriumsapparaten zusammengestellt, an dem sich der Aufbau der einzelnen Apparate ganz analog dem eben besprochenen prinzipiellen Schaltbild leichter verfolgen läßt.

Nachdem ich das Prinzipielle der Diathermieapparate besprochen habe, wende ich mich jetzt den speziellen Ausführungsformen zu.

2. Die speziellen Diathermieinstrumentarien.

a) Der Apparat der Siemens & Halske-A.-G.

Den Apparat der Siemens & Halske-A.-G. habe ich stets meinen seitherigen Betrachtungen zugrunde gelegt, brauche

Fig. 11.



Diathermieapparat der Siemens & Halske-A.-G.

ihn also nicht mehr besonders zu beschreiben. Die äußere Ansicht zeigt Fig. 11.

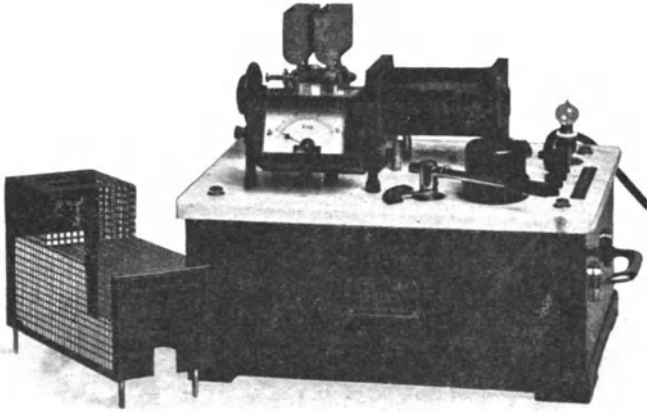
b) Apparat der Aktiengesellschaft Reiniger, Gebbert & Schall.

Diese Gesellschaft baut zwei Apparate, den Thermosapparat und den Thermofluxapparat. Der erste, auf dessen Beschreibung ich mich hier beschränken will, ist ein wohl-

feiler Apparat, der auch als transportabler Apparat gedacht ist und deshalb zur Behandlung am Krankenbett geeignet sein soll.

Die Funkenstrecke besteht aus zwei Silberplatten, die sich automatisch mit Hilfe einer Magnetspule im günstigsten Abstand halten. Die Kühlung derselben wird entweder durch einen Alkoholtropfapparat oder durch Anschluß der Funkenstrecke an die Gasleitung bewerkstelligt. Die Kondensatoren

Fig. 12.



Thermosapparat der Aktiengesellschaft Reiniger, Gebbert & Schall.

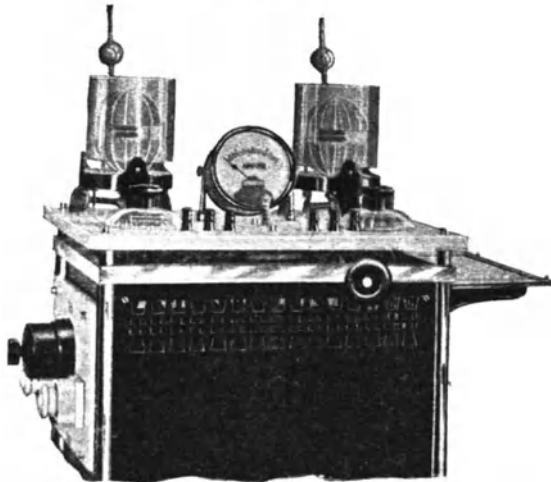
des Schwingungskreises haben Luftkühlung. Ein besonderer Ballastwiderstand, der parallel zu einem Teil der Kondensatorenbatterie geschaltet ist, gewährleistet, daß der Apparat auch bei Dauerbetrieb zuverlässig arbeitet. Der Anschluß des Apparates kann an Gleich- oder Wechselstrom von 110 bis 250 Volt erfolgen. (Die äußere Ansicht des Apparates siehe Fig. 12). Der Thermofluxapparat ähnelt in seiner Leistung und seinem Aufbau den Apparaten der Siemens & Halske-A.-G. und der Veifa-Werke.

c) Apparat der Veifa-Werke.

Der Diathermieapparat der Veifa-Werke (Fig. 13) ist ebenso wie der Apparat der Siemens & Halske-A.-G. zum Anschluß an Wechselstrom gebaut. Steht nur Gleichstrom zur

Verfügung, so muß dieser in einem Einankerumformer zunächst in Wechselstrom transformiert werden. Als Generatorfunkenstrecke dienen zwei sogenannte Zischfunkenstrecken, die in Fig. 7 besonders wiedergegeben sind. Sie bestehen aus zwei Kupferklötzen, zwischen denen der Funke überspringt und die durch Dämpfe von Methylalkohol gekühlt werden. Die übrige Schaltung (Fig. 14) ist ganz ähnlich der der Siemens & Halske-A.-G., jedoch verwenden die Veifa-Werke im sekundären Kreise keine Kondensatoren. Der Sekundärkreis ist hier, wie

Fig. 13.

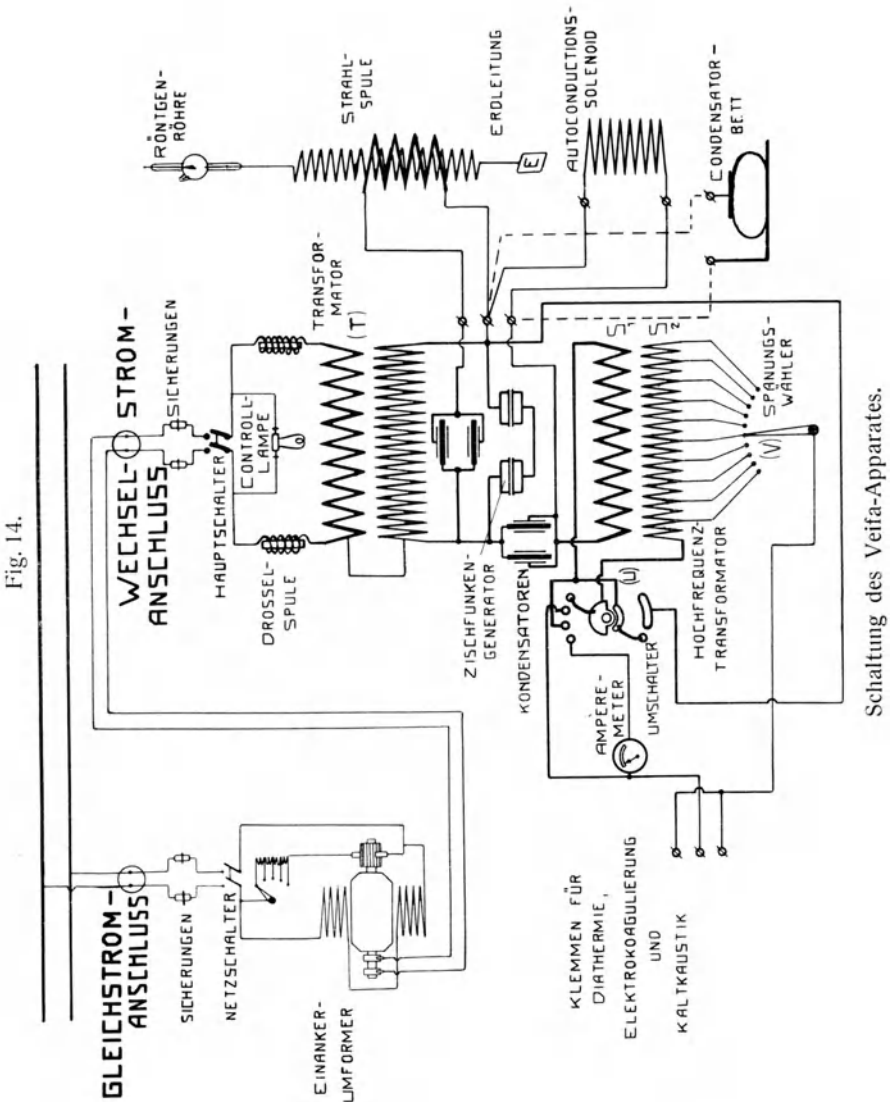


Diathermieapparat der Veifa-Werke.

man sagt, ein aperiodischer Schwingungskreis. Er hat keine Eigenperiode, ist also auf den Primärkreis nicht abgestimmt. Es würde mich zu sehr in das Gebiet der theoretischen Schwingungslehre führen, wenn ich über die Vor- und Nachteile dieser Anordnung besonders sprechen wollte. Die an den Anschlußklemmen des Apparates zur Verfügung stehende Spannung kann durch einen Spannungswähler mit vielen Stufen in weiten Grenzen variiert werden. Besondere Klemmen sind vorgesehen zum Anschluß einer Autokonduktionsspule und des Kondensatorbettes sowie zum Anschluß einer Strahlspule zur Fulguration oder zum Betriebe einer Röntgenröhre.

Hierauf komme ich bei Erwähnung dieser besonderen Anwendungen des Diathermieapparates zurück.

Auch von anderen Firmen werden Diathermieinstrumentarien gebaut, ich beschränke mich jedoch auf die angegebenen.



Schaltung des Veifa-Apparates.

3. Die Elektroden.

Wir haben die Generatoren für die Diathermieströme besprochen, soweit ich glaube, daß es für Sie Interesse hat. Über das Wesen der Ströme habe ich Ihnen auch das Wesentliche vorgetragen.

Es fragt sich jetzt, wie führt man dem menschlichen Körper diese Ströme zu? Dies könnte natürlich in der einfachsten Weise so geschehen, daß man an die Klemmen des Diathermieapparates z. B. zwei Drähte anschließt und diese dem Patienten in die Hand gibt. Solche Drähte sind Ihnen ja schon von den Anschlußapparaten her bekannt, und zwar wissen Sie, daß man an den freien Enden dieser Drähte vernickelte Metallröhren anschließt, die von der Hand bequem umfaßt werden können, sogenannte Handelektroden. Diese sind zur Demonstration der Diathermieströme am gesunden Menschen besonders geeignet.

Nun wissen Sie aus meinen einleitenden Worten, daß man die Diathermieströme sehr verschiedenartig anwendet. Man will einmal diese, das andere Mal jene Körperpartie den Diathermieströmen aussetzen. Man kann die Anwendungsmöglichkeiten der lokalen Diathermie in drei Gruppen einteilen, die Organdiathermie, die Diathermie an Gelenken und Weichteilen, und endlich kommt noch ein drittes Anwendungsgebiet hinzu, das Gebiet der chirurgischen Diathermie. Bei den verschiedenen Anwendungsarten muß man die Elektroden verschieden gestalten.

Man hat eine außerordentlich große Zahl von verschiedenen Elektrodenkonstruktionen auf den Markt gebracht. Wir fragen uns zunächst nach den allgemeinen Erfordernissen, die man an solche Elektroden stellen muß. Das Haupterfordernis ist ein gutes Aufliegen und deshalb festes Anschmiegen an die Körperform. Sobald diese Bedingung nicht erfüllt ist, springen kleine Fünkchen zwischen den Elektroden und dem Gewebe des Körpers über. Diese kleinen Fünkchen erzeugen einmal eine sehr unangenehme Schmerzempfindung, können aber auch Verbrennungen verursachen. Ich habe dies schon gelegentlich eines Versuches erwähnt, den ich Ihnen

früher vorführte, um Ihnen die Gefahrlosigkeit der hochfrequenten Ströme für den menschlichen Organismus zu zeigen. Aber wir können uns auch vorstellen, daß die Elektroden wohl so gut aufliegen, daß kein Funke übertritt, daß aber doch der Übergangswiderstand nicht überall gleich ist. Der Strom wird sich dann besonders die Stellen geringeren Widerstandes aussuchen, während ein gleichmäßiger Stromeintritt über die ganze Elektrodenfläche gewünscht wird.

Außerdem müssen die Elektroden die fast selbstverständliche Bedingung erfüllen, die der Mediziner an sämtliche Apparate stellt. Sie müssen sich leicht reinigen und desinfizieren lassen.

Endlich müssen die Elektroden aus gut leitendem Material hergestellt sein, anderenfalls erhitzen sie sich selbst zu hoch und können deshalb auf der Haut Verbrennungen hervorrufen, bevor in der Tiefe des Gewebes die gewünschte hinreichende Erwärmung eingetreten ist. Auf den physikalischen Grund kommen wir im nächsten Abschnitt näher zu sprechen.

a) Elektroden für Organdiathermie.

Je nachdem man es mit Organdiathermie, der Diathermie an Gelenken und Weichteilen oder mit der chirurgischen Diathermie zu tun hat, werden die Elektroden besonders geformt sein müssen. Für die Organdiathermie wird man für jede besondere Indikation eine besondere Elektrode brauchen.

Ich erwähne hier die Behandlung der Gonorrhöe¹⁾ mittels Diathermie, wofür naturgemäß besonders geformte Elektroden konstruiert werden mußten.

Auch sind hier z. B. die Kopf- und Augenelektroden zu erwähnen. Man vergleiche hierüber die unten zitierten Abhandlungen²⁾.

¹⁾ Vgl. R. Boerner, Berlin, und Santos, Lissabon: Über eine neue Art von Elektroden zur Behandlung der Gonorrhöe mittels Diathermie. Med. Klinik 1914, Nr. 25.

²⁾ Bucky, Berlin, Kombinierte Augenelektrode und Augenirrigationsgefäß. Münch. med. Wochenschr. 1913, Nr. 4. Qurin, Wiesbaden, Über die Diathermie am Auge, Experimentelles und Klinisches, nebst Beschreibung einer neuen Universal-Augen- und Kopfelektrode. Zeitschr. f. Augenheilkunde, Bd. 31, 1914.

Man könnte die Zahl der aufgeführten Spezialelektroden außerordentlich stark vermehren. Die Firma Siemens & Halske hat sich gerade auf dem Gebiete der Diathermie und speziell bei der Konstruktion geeigneter Elektroden besondere Verdienste erworben. In dem ausführlichen Listen- und Druckschriftenmaterial dieser Firma kann man Näheres über dieses Gebiet nachlesen.

b) Elektroden für die Diathermie an Gelenken
und Weichteilen.

Außer diesen Elektroden bei Anwendung in der Organdiathermie haben gerade die Elektroden bei der Durchwärmung der Weichteile oder Gelenke, z. B. des Kniegelenkes, besonderes

Fig. 15.



Anlegen der Elektroden.

Interesse, da sie in der Praxis der Lazarette sehr häufig gebraucht werden. Auch für solche Zwecke hat man sehr viele Elektroden konstruiert und in den Handel gebracht. Man kann hier wohl sagen, daß die Elektrode den Vorzug verdient, die besonders einfach ist.

Bereits Bergonié verwandte als Elektroden 0,1 bis 0,2 mm dicke Stanniolfolien, welche er ohne Zwischenschaltung eines feuchten Mediums direkt auf die Haut auflegt. Sie werden mittels Binden auf dem Körper befestigt. Neuerdings hat auch Bucky¹⁾ diese Methode besonders empfohlen.

Auf die Stanniolelektroden können z. B. Flächenelektroden nach Fig. 15 aufgelegt und durch Gummibinden mit besonderen Federn festgehalten werden. Fig. 16 zeigt eine Zusammenstellung von verschiedenen Flächenelektroden der Siemens & Halske-A.-G. Die Stanniolblätter sind in Blocks zu 100 Stück im Handel käuflich. Sie werden nach Bucky mit Seifenspiritus abgerieben, wodurch ein besonders inniger Kontakt zwischen Elektrode und Haut gewährleistet wird.



c) Elektroden für die chirurgische Diathermie.

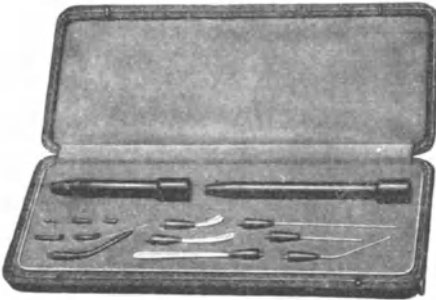
Wir müssen nun noch auf die Elektroden zurückkommen, wie sie bei der chirurgischen Diathermie gebraucht werden.

Was versteht man zunächst unter chirurgischer Diathermie? Man versteht darunter die Anwendung der Diathermie in der Chirurgie, um durch Erhitzung krankhaftes Gewebe bis zur Koagulationsnekrose zu bringen. Es wird hierzu verhältnismäßig viel elektrische Energie verbraucht. Es können also nur größere Diathermieapparate für die chirurgische Diathermie in Anwendung kommen. Eine Angabe der Stromstärke genügt zur Beurteilung der zur Verfügung stehenden Energie nicht, da die Stromstärke sich nur auf einen ganz bestimmten Schließungswiderstand zwischen den Anschlußklemmen des Diathermie-

¹⁾ Bucky, Berlin, Zur Applikationstechnik der Diathermieströme. Berl. klin. Wochenschr. 1914, Nr. 2.

apparates beziehen kann. Gerade im Hinblick auf die verschiedenen Anwendungsgebiete wäre es gut, wenn man von seiten der Industrie für die einzelnen Apparate angeben wollte, welche Leistungen (in Watt anzugeben) ein Apparat herzugeben gestattet.

Fig. 17.



Chirurgisches Besteck
nach Dr. Nagelschmidt.

Es wäre dadurch besonders auch ein Vergleich von Apparaten verschiedener Firmen sehr erleichtert. Als Elektroden verwendet man auch bei der chirurgischen Diathermie verschiedene Formen, ebenso ist die Applikationstechnik eine verschiedene. Ich verweise auf die Spezialliteratur¹⁾, komme aber in einem späteren Abschnitt nochmals hierauf zurück.

Fig. 17 zeigt eine Reihe solcher Elektroden in einem Besteck vereinigt.

Ich verlasse das Gebiet der Elektroden. Gerade auf diesem Gebiete muß jeder Arzt seine eigenen Erfahrungen sammeln und wird sich dann für die eine oder andere Methode der Applikation der Diathermieströme entscheiden.

4. Verteilung der Diathermieströme im Gewebe.

Ich komme nochmals auf die Demonstration der Diathermieströme mittels Handelektroden zurück. Umfaßt man die beiden Elektroden mit der rechten und linken Hand, so hat man je nach der Empfindlichkeit der Person bei einer Stromstärke von ungefähr 0,5 Amp. ein angenehmes Wärmegefühl, das sich besonders in den Handgelenken fühlbar macht.

Woher kommt es nun, daß das Wärmegefühl gerade an den Handgelenken am stärksten auf-

¹⁾ Vgl. z. B. G. Bucky und R. W. Frank in Berlin, Über Operationen im Blaseninneren mit Hilfe von Hochfrequenzströmen. Münch. med. Wochenschr. 1913, Nr. 7.

tritt? Physikalisch ist das die gleiche Erscheinung, die Sie bei dem Aufleuchten der Glühlampen täglich sehen. Die gleiche Stromstärke fließt durch die Leitungsdrähte und durch den Faden der Glühlampe. In den Leitungsdrähten nehmen wir den Durchgang der Elektrizität überhaupt nicht wahr, während der Faden der Glühlampe sich bis zur hellen Weißglut erhitzt. Der Grund hierfür ist Ihnen bekannt: Für die Erwärmung eines Leiters ist nicht der gesamte durch ihn fließende Strom maßgebend, sondern der Strom, der durch die Querschnittseinheit fließt. Bei dem herangezogenen Beispiel ist der Querschnitt der Leitung sehr groß gegenüber dem des Fadens der Lampe. Infolgedessen wird auch in dem Faden eine sehr große Wärme erzeugt, während die Erwärmung der Leitung kaum nachweisbar ist. Ähnlich ist es auch hier. Die Handgelenke stellen eine Einschnürung der Strombahn in dem menschlichen Körper dar, deshalb ist dort die Stromstärke pro Querschnittseinheit oder die Stromdichte am größten und die Erwärmung am stärksten.

Nun ist aber für die Erwärmung eines Leiters durch den elektrischen Strom außer der Stromdichte noch ein anderer Faktor maßgebend, nämlich der spezifische Widerstand des Leiters. Darunter versteht man eine Zahl, welche angibt, wie der elektrische Widerstand eines Leiters bei gegebenen Dimensionen von dem Material abhängt. Der spezifische Widerstand der Metalle ist sehr verschieden, er ist groß für gewisse Legierungen, z. B. Konstantan, Manganin usw., klein z. B. für Kupfer und Silber. Der menschliche Körper besteht nun nicht aus Metallen, sondern aus organischen Geweben. Diese Gewebe haben ebenfalls einen verschiedenen spezifischen Widerstand.

Ich gebe im folgenden eine Tabelle, die von Wildermuth¹⁾ stammt, und die den spezifischen Widerstand der

¹⁾ Vgl. Wildermuth, Experimentelle Untersuchungen über den spezifischen Leitungswiderstand der Gewebe des menschlichen Körpers als Grundlage für die Beurteilung des Weges von Wärme erregenden Hochfrequenzströmen. Mitt. a. d. Grenzg. d. Med. u. Chir., Bd. 22, Heft 4, 1911.

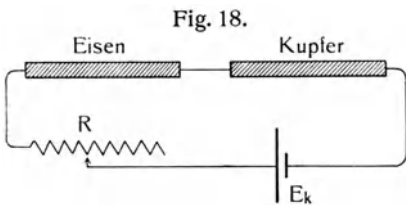
einzelnen Gewebe mit dem gleich 1 gesetzten Widerstand einer 0,5proz. Kochsalzlösung bei 18° vergleicht.

0,5proz. Kochsalzlösung bei 18° C	1
Muskel	1,2—1,5
Haut	2,5—3,0
Leber	2,8—3,3
Lunge	3,5—4,0
Gehirn	5,5—6,8
Fettgewebe	19,4

Knochen hat schätzungsweise einen noch höheren Widerstand als das Fettgewebe.

Wir sehen aus dieser Tabelle, daß die einzelnen Gewebe des menschlichen Körpers einen außerordentlich verschiedenen spezifischen Widerstand besitzen. Welchen Einfluß hat das auf die Erwärmung der einzelnen Gewebe?

Ich habe hier einen Versuch aufgebaut, der zunächst mit einfachsten Mitteln die physikalische Grundlage für diese Frage zeigen soll. Wir sehen (vgl. Fig. 18) einen Kupfer- und einen Eisendraht von gleichem



einen Eisendraht von gleichem Querschnitt in Reihe geschaltet. Über einen Widerstand sind diese beiden Drähte an die Hausbatterie angeschlossen. Man verstärkt den Strom langsam durch Aus-

schalten von Widerstand. Bei einer bestimmten Stromstärke fängt der Eisendraht an zu glühen, während der Kupferdraht noch dunkel bleibt. Bei Reihenschaltung erhitzt sich also zuerst der Eisendraht, d. h. der Draht mit dem höheren spezifischen Widerstand. Man wiederhole den Versuch, schalte jedoch die beiden Drähte nebeneinander. Hier tritt gerade die umgekehrte Erscheinung auf, der Kupferdraht fängt zuerst an zu glühen.

Diese Erscheinung ist sehr einfach zu erklären. Die im Draht erzeugte Wärmemenge ist proportional $i^2 \times r$, wo i die Stromstärke und r den Drahtwiderstand bedeutet. Bei dem ersten Versuch ist die Stromstärke i in beiden Drähten gleich,

der Draht mit dem höheren Widerstand, also der Eisendraht, erwärmt sich stärker.

Bei dem zweiten Versuch bevorzugt der Strom den bequemeren Weg über den kleineren Widerstand des Kupferdrahtes. Der Strom im Kupfer ist im Verhältnis der Widerstände stärker als im Eisendraht. Nehmen wir also an, der Eisendraht hätte infolge des höheren spezifischen Widerstandes des Eisens einen zehnmal so hohen Widerstand als der Kupferdraht. Die im Kupferdraht erzeugte Wärme wäre also aus diesem Grunde $10^2 = 100$ mal so hoch als die im Eisen erzeugte Wärmemenge.

In Wahrheit wird die im Kupferdraht erzeugte Wärme nur etwa zehnmal so groß sein. Wir erkennen das am besten an einem einfachen Rechenbeispiel. Der Widerstand des Kupferdrahtes sei

$$r_{\text{Cu}} = 1 \text{ Ohm,}$$

der Widerstand des Eisendrahtes sei demnach

$$r_{\text{Fe}} = 10 \text{ Ohm,}$$

die Stromstärke im Kupferdraht ist also zehnmal so groß als im Eisendraht. Ist die erste gleich 1 Amp., so ist die letztere gleich 0,1 Amp.

Die im Kupferdraht erzeugte Wärmemenge ist also proportional

$$i^2 r = 1,$$

andererseits ist die im Eisendraht erzeugte Wärme proportional

$$0,1^2 \cdot 10 = 0,1.$$

An diesem einfachen Rechenbeispiel sehen wir unseren zweiten Versuch bestätigt.

Genau so verhält es sich beim Durchgang des Stromes durch die verschiedenen Gewebe des menschlichen Körpers.

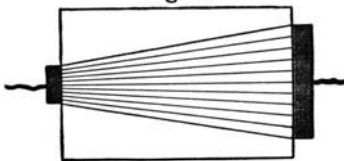
Nehmen wir einmal an, daß der Strom den Arm longitudinal durchläuft, dann liegen die verschiedenen Gewebe: Knochen, Muskel, Fett und Haut nebeneinander, es wird also das Gewebe mit dem geringsten spezifischen Widerstand, also das Muskelgewebe, am stärksten erhitzt werden. Tritt der

Strom transversal durch den Arm, so sind die verschiedenen Gewebe: Haut, Fett, Muskel, Knochen, Muskel, Fett, Haut in Reihe geschaltet. Das Knochengewebe wird am stärksten erwärmt. Diese Annahme ist natürlich nicht exakt richtig, denn weder der Fall der Reihenschaltung, noch der Fall der Nebeneinanderschaltung ist rein erfüllt.

Bei dem Durchtritt des Diathermiestromes longitudinal durch den Arm muß beim Eintritt der Strom das Gewebe zunächst transversal schneiden, um erst dann longitudinal zum Gewebe zu verlaufen. Beim transversalen Durchgang des Diathermiestromes durch den Arm liegen die Verhältnisse noch komplizierter, der Strom tritt in die Haut ein, er hat die Wahl, entweder in der Haut kreisförmig nach der anderen Elektrode zu strömen, oder in das Fettgewebe einzudringen. Auch hier kann er entweder rechts und links durch das Fettgewebe fließen, oder er kann weiter in das Muskelgewebe eindringen usf. Der Strom schlägt in jedem der einzelnen Fälle beide der möglichen Wege ein, worauf in der Literatur meines Wissens noch nicht aufmerksam gemacht wurde. Die Berechnung einer solchen Strombahn ist auch nicht so ganz einfach, allgemein nimmt man jedenfalls an, daß beim longitudinalen Durchgang die Muskelgewebe stärker, beim transversalen Durchgang die Fettgewebe am stärksten erwärmt werden. Auf diesem Gebiete müßten jedoch exakte Versuche angestellt werden, die auch theoretisch gestützt werden sollten.

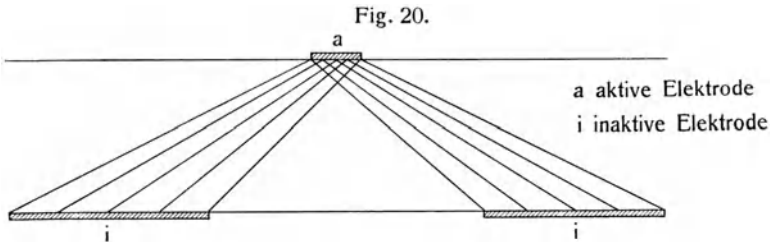
Endlich haben wir noch den Einfluß der Größe und Form der Elektroden auf die Erwärmung des Gewebes zu berücksichtigen. Nehmen wir z. B. einmal an, die

Fig.19.

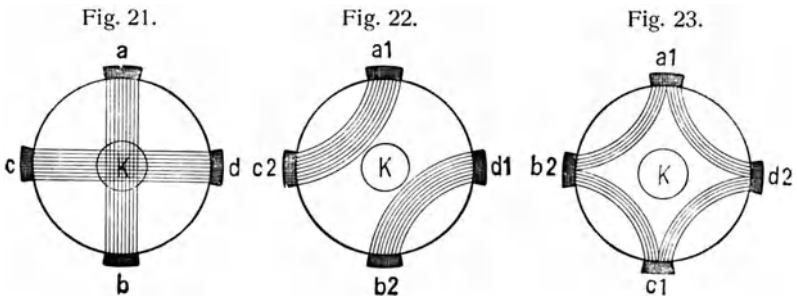


eine Elektrode wäre sehr groß, die andere sehr klein (Fig. 19), dann wäre die Stromstärke zwar auf der ganzen Strombahn konstant, der Widerstand pro Längeneinheit nimmt aber von der großen zur kleinen Elektrode ständig zu, somit ist nach dem oben Angeführten die erzeugte Wärmemenge an der kleinen Elektrode am größten. Die Erscheinung kann man natürlich

nutzbar machen, indem man z. B. eine Elektrode in der Form einer großen Bleiplatte unter den Rücken des Patienten legt. Die andere Elektrode wählt man klein und setzt sie auf die zu behandelnde Körperstelle. Man nennt die eine große Elektrode, die inaktive oder indifferente, während man die andere als aktive bezeichnet. Häufig verwendet man mehrere inaktive und nur eine aktive, vgl. Fig. 20. Man erzielt hierdurch eine



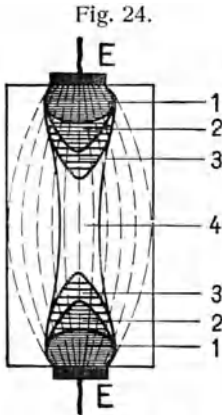
periphere Diathermie, da sich, wie die Figur zeigt, an der Oberfläche des Körpers die einzelnen Strombahnen überlagern, also eine erhöhte Durchwärmung zu erwarten ist. Wünscht man andererseits keine periphere, sondern eine zentrale Diathermie, so schickt man den Strom einmal in einer bestimmten Richtung $a-b$ durch das Gewebe, hierauf in der



Richtung $c-d$, die senkrecht zur ersten liegt (vgl. Fig. 21). Man muß sich hier jedoch vor einem Irrtum hüten, der darin besteht, daß man gleichzeitig die zwei Elektroden 1 und 2 des Diathermieapparates kreuzweise an vier Punkte, entsprechend der Fig. 22 oder 23, anschließt. Die Stromfäden laufen dann von den Elektroden 1 nach den Elektroden 2 längs des Weges, der ihnen am wenigsten Widerstand entgegengesetzt. In beiden

Fällen bleiben aber die mittleren Teile des Gewebes, die man gerade diathermisch behandeln wollte, von den Stromfäden vollkommen frei.

Man muß also, wie oben gesagt, den Strom abwechselnd in der einen oder anderen Richtung durchschicken. Die Umschaltung kann mit Hand erfolgen. Bucky hat bereits auf dem physio-therapeutischen Kongreß im Jahre 1913 hierauf aufmerksam gemacht und auch eine entsprechende Einrichtung angegeben, die das abwechselnde Umschalten der Stromrichtung besonders einfach gestaltet.



Wärmezonen bei gleich großen Elektroden.



Zum Schluß dieses Abschnittes möchte ich Ihnen noch einige Versuche vorführen, welche die Koagulation des Eiweißes bei der chirurgischen Diathermie veranschaulichen sollen.

In einem Glasgefäß habe ich Hühner-eiweiß und stelle in das Gefäß (vgl. Fig. 24) zwei Elektroden in Gestalt dünner Bleche. Die schraffierten Linien zeigen die Bahn der Stromlinien. Die Stromdichte ist hier-nach an den Elektroden am größten, in der Mitte geringer. Dementsprechend tritt die Koagulation an den Elektroden zuerst ein. Wir haben bei diesen Versuchen ange-nommen, daß die Elektroden beide gleich groß sind.

Bei der chirurgischen Diathermie ver-wendet man nun meist eine große Bleiplatte als indifferente oder inaktive Elektrode, als zweite Elektrode dient eine der spatel-förmigen Spezialelektroden, von denen ich früher gesprochen habe. Physikalisch haben wir also die Ver-hältnisse, die in Fig. 25 dargestellt sind. Auch hier sieht man deutlich die Lage der Stromfäden. Die Koagulation setzt nur

an der spatelförmigen Spezialelektrode ein. Ich habe auch hierfür den entsprechenden Versuch mit Hühnereiweiß vorbereitet, an dem Sie deutlich den Vorgang der Koagulation beim Einschalten des Diathermiestromes verfolgen können.

Wir hatten seither die lokale Diathermie, und zwar sowohl die Diathermie an Gelenken und Weichteilen, als auch die Organdiathermie und endlich die chirurgische Diathermie unseren Betrachtungen zugrunde gelegt. Wir wenden uns jetzt der allgemeinen Diathermie zu.

5 Allgemeine Diathermie.

Die allgemeine Diathermie bezweckt, die Körpertemperatur in ihrer Gesamtheit zu erhöhen. Das älteste Verfahren, um diesen Zweck zu erreichen, rührt von d'Arsonval her. Es ist unter dem Namen Autokonduktion bekannt. Es besteht darin, daß man die Diathermieströme durch ein großes Solenoid schickt, innerhalb dessen der Patient auf einem Schemel Platz nimmt. Fig. 26 zeigt einen hierfür konstruierten Apparat. Dabei wird die Autokonduktionsspule direkt an den primären Schwingungskreis geschaltet und bildet dessen Selbstinduktion. Als Kapazität dient entweder der gleiche Kondensator, der auch bei der lokalen Diathermie benutzt wird, oder ein besonderer, wie bei dem Apparat der Siemens & Halske-A.-G. Auf den sekundären Schwingungskreis kann hier besonders deshalb verzichtet werden, da sein Hauptzweck ja darin lag, den Patienten elektrisch von der hohen Spannung niederer Frequenz an der Funkenstrecke zu isolieren. Hier ist der Patient elektrisch überhaupt nicht in die Leitung eingeschaltet. Es ist also schon ohnedies eine hinreichende Isolation vorhanden.

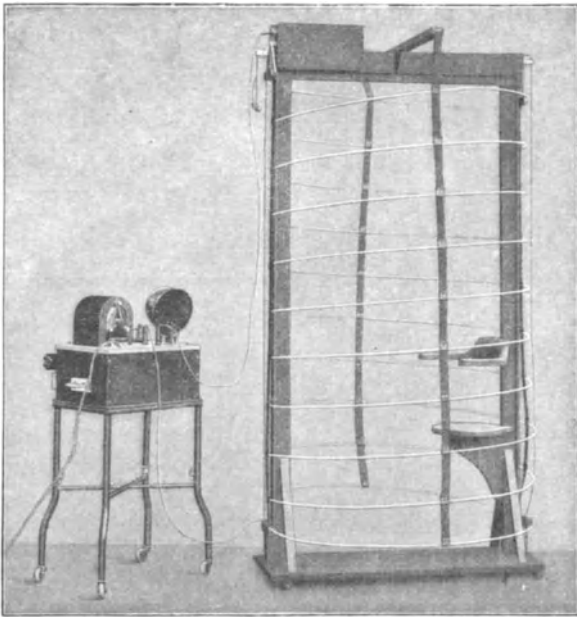
Man war sich über die Wirkung dieser Autokonduktion lange Zeit im unklaren, man nimmt heute wohl allgemein an, daß ihre Wirkung ebenfalls auf die Joulesche Wärme der hochfrequenten Ströme zurückzuführen ist, also tatsächlich in das Gebiet der Diathermie gehört.

Ich lege auch hier besonderen Wert darauf, Ihnen diese Vorstellung durch einen einfachen physikalischen Versuch ver-

ständiglich zu machen. Im Inneren der Spule stelle ich auf den Holzstuhl eine kleinere Spule, deren Enden durch eine Glühlampe kurz geschlossen sind. Setzt man den Apparat in Betrieb, so leuchtet die Glühlampe auf. Woher kommt diese Erscheinung?

Wir haben hier einen sehr einfachen Fall der Induktion, wir können auch sagen, wir haben einen einfachen Transformator, bei dem der Eisenkern fehlt. Die Primärspule des

Fig. 26.



Autokonduktionsspule.

Transformators wird durch das große Solenoid dargestellt. Die Sekundärspule ist das kleine Solenoid im Inneren. Fließt in der Primärspule ein Wechselstrom (unsere Diathermieströme sind ja nichts weiter als Wechselströme hoher Frequenz), dann wird in der sekundären Spule ebenfalls ein Strom induziert. Unter seinem Einfluß leuchtet die Lampe auf. Weniger anschaulich, aber den vorliegenden Verhältnissen besser entsprechend, könnte man den Versuch so anstellen, daß man in

das Innere der großen Spule einen Kern aus Metall bringt (keinen Eisenkern, wie Kowarschik in seinem Buche anführt, bei einem Eisenkern kommen magnetische Erscheinungen hinzu, die hier bei der Autokonduktion ganz fehlen). Der Kern wird meßbar erwärmt, wenn nur die Stromstärke in der Autokonduktionsspule groß genug gewählt wird. Die Erwärmung ist aber verhältnismäßig gering. Auch läßt sie sich einem größeren Auditorium weniger bequem zeigen. Der Grund für die Erwärmung des Metallkernes sind die sogenannten Wirbelströme oder Foucaultströme im Inneren des Metallkernes.

Ähnlich müssen wir uns den Vorgang bei der Behandlung des menschlichen Körpers durch Autokonduktion vorstellen. Die Gewebe des menschlichen Körpers stellen Stromkreise dar, ähnlich wie die einzelnen Parteien des Metallkernes. In diesen werden auch sogenannte Wirbelströme erzeugt und diese erhöhen die Körpertemperatur.

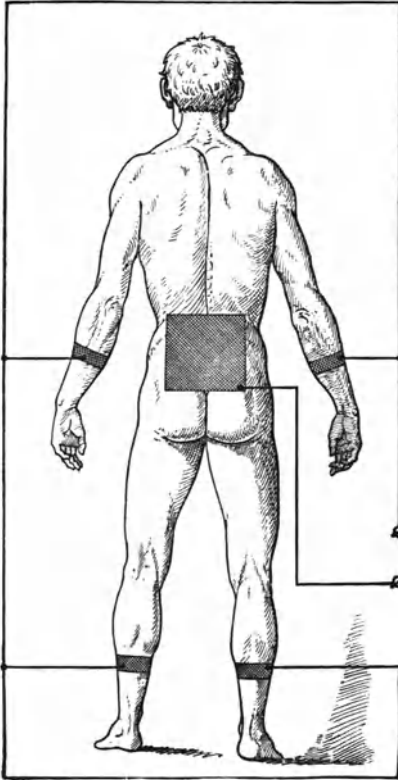
Der Patient hat bei dieser Methode überhaupt keine subjektive Empfindung. Bei den modernen Apparaten verwendet man im äußeren Solenoid einen Strom von 8 bis 9 Amp. Wenn dieser Strom, als Diathermiestrom betrachtet, auch recht groß ist, so muß doch eine Energieübertragung auf das menschliche Gewebe stattfinden. Der Widerstand dieses Gewebes ist aber verhältnismäßig groß und die dort induzierten Ströme sind deshalb sehr schwach. Auch ist der Wirkungsgrad der Energieübertragung von dem Solenoid auf den menschlichen Körper sehr schlecht, d. h. die im Körper erzeugte Wärmeenergie ist nur sehr klein gegenüber der in das Solenoid hineingeschickten Energie. Wegen der außerordentlich geringen, im Körper selbst zur Verfügung stehenden Energie kann man hier wohl mit Recht von einer homöopathischen Anwendung der Diathermieströme sprechen.

Eine andere Form der allgemeinen Diathermie stellt das Kondensatorbett dar. Hier bildet der menschliche Körper gewissermaßen den einen Belag eines Kondensators.

Der Patient ruht auf einer Chaiselongue und hat mit beiden Händen einen Metallstab umfaßt, der an die eine Elektrode des Diathermieapparates angeschlossen ist. Die andere Elek-

trode wird dargestellt durch eine Platte aus Zink oder Aluminiumblech, die sich unterhalb des Patienten befindet. Über dieser Platte liegt meist noch eine Hartgummiplatte und hierüber häufig noch eine Matratze. Der Diathermiestrom wird

Fig. 27.



Anlegen der Elektroden bei der allgemeinen Diathermie.

also nicht direkt metallisch in den Körper eingeführt, sondern über einen Kondensator, dessen einer Belag durch das menschliche Gewebe, während der andere Belag durch die Zinkplatte gebildet wird. Das isolierende Medium des Kondensators ist hier die Hartgummiplatte und die häufig vorhandene Matratze. Wir wissen, daß ein Kondensator hochfrequente Ströme leitet und deshalb auch ohne direkte metallische Verbindung die Diathermieströme durch den Körper hindurchfließen können.

Das dritte Verfahren der allgemeinen Diathermie ist vom physikalisch-technischen Standpunkte aus am besten. Fig. 27 veranschaulicht hinreichend genau diese Methode. Man verwendet dabei eine indiffe-

rente oder inaktive Elektrode unter dem Rücken des Patienten und vier kleinere aktive Elektroden an den vier Gliedmaßen. Der Strom fließt zur inaktiven Elektrode in den Körper und verteilt sich von dort nach den vier aktiven Elektroden. Um die einzelnen Ströme verschieden einregulieren zu können, schaltet die Siemens & Halske-A.-G. bei ihren neuesten Diathermie-

apparaten je einen Widerstand in die Zuleitung nach den vier aktiven Elektroden. Die Einregulierung dieser Widerstände erfolgt entweder nach der subjektiven Empfindung des Patienten oder nach einer objektiven Temperaturmessung mittels einer der Methoden, von denen wir später hören werden.

Ich wende mich jetzt einem Kapitel zu, das meinem Arbeitsgebiet fern liegt, das ich aber der Vollständigkeit wegen auch in diesem Vortragszyklus erwähnen muß. Meinen Standpunkt bei der Stellungnahme gegenüber solchen Grenzgebieten habe ich bereits in der Einleitung auseinandergesetzt.

6. Die biologischen Wirkungen der Diathermie.

Die Wirkungen der Diathermie teilt Nagelschmidt folgendermaßen ein:

- 1. die lokale Erwärmung des Gewebes,**
- 2. die hyperämisierenden Wirkungen,**
- 3. die antibakterielle Wirkung,**
- 4. die schmerzstillende Wirkung,**
- 5. die Wirkung auf den lokalen Stoffwechsel,**
- 6. die Wirkungen der allgemeinen Diathermie.**

Ich darf auf die oben angegebene medizinische Literatur verweisen. Ich möchte hier nur die Theorie des Physikers Nernst erwähnen, welche eine Antwort auf die Frage gibt, warum die hochfrequenten Ströme die Eigenschaft des Giftes verlieren und warum ihnen jede physiologische Wirkung fehlt. Man nahm früher an, was ich schon eingangs erwähnt habe, daß die fehlende physiologische Wirkung auf dem sogenannten Hauteffekt beruht. Dieser Hauteffekt tut sich dadurch kund, daß die einzelnen Stromlinien hochfrequenter Ströme beim Durchlaufen der Leiter sich nicht gleichmäßig über ihren Querschnitt verteilen, sondern daß im Zentrum keine Stromlinien vorhanden sind, während der größte Teil der Stromfäden längs der Oberfläche hinzieht. Man darf sich diese Erscheinung nicht so vorstellen, daß die Stromfäden aus dem Inneren nach außen gedrängt werden, sondern vielmehr haben wir auf der

Oberfläche die normale Stromdichte, die man erwarten müßte, wenn man von der Hautwirkung absieht.

Man übertrug diese Erscheinung, die man experimentell leicht nachweisen kann, auch auf Elektrolyte und sagte, die hochfrequenten Ströme gleiten gewissermaßen über die Oberfläche des Gewebes, ohne in das Innere einzudringen. Unter dieser Annahme sind natürlich keine physiologischen Wirkungen zu erwarten. Diese Erklärung ist, wie Nernst zuerst experimentell gezeigt hat, nicht richtig. Wäre die Erklärung stichhaltig, dann könnte von einer Diathermie gar nicht die Rede sein, denn bei der Diathermie sahen wir gerade als Hauptvorteil an, daß die Wärme im Inneren des Gewebes selbst erzeugt wird, die Ströme also auch notwendigerweise tief in das Innere der Gewebe eindringen müssen. Die Experimente von Nernst zeigten, daß eine ungleichmäßige Verteilung der Stromfäden im Elektrolyten gar nicht stattfindet, von einer Hautwirkung bei diesen somit auch gar nicht die Rede sein kann.

Die Nernstsche Theorie geht von der elektrolytischen Zersetzung beim Durchgang des elektrischen Stromes aus. Es ist Ihnen bekannt, daß das Wesen der elektrolytischen Zersetzung in der Wanderung sogenannter Ionen zur Anode und Kathode besteht. Nun haben diese Ionen eine ganz verschiedene Geschwindigkeit. Speziell haben z. B. die Kationen, d. h. die zur Kathode strömenden Ionen, eine andere Geschwindigkeit als die Anionen, welche zur Anode hinströmen. Die Folge ist eine Konzentrationsänderung der Flüssigkeit an den Elektroden. W. Nernst und E. H. Riesenfeld haben nun weiter gezeigt, daß solche Konzentrationsänderungen auch dann beobachtet werden, wenn zwei verschiedene Salzlösungen übereinander gelagert sind und man den Strom durch beide senkrecht zur Trennungsfläche schickt, und daß alsdann auch Konzentrationsänderungen, was uns hier besonders interessiert, an der Trennungsfläche auftreten.

Nach Nernst sind die beiden Elektrolyte im menschlichen Gewebe dargestellt erstens durch die wässrige Lösung des Gewebes und zweitens durch das Protoplasma. Beim Durchgang der Elektrizität tritt also an der Trennungsfläche eine

Konzentrationsänderung ein. Diese ist nach Nernst das erregende Moment für die physiologische Reizwirkung. Die Konzentrationsänderung ist eine positive oder negative, je nachdem die Stromrichtung positiv oder negativ ist. Bei einem gewöhnlichen Wechselstrom haben wir also Konzentrationsänderungen, deren Sinn sich dauernd ändert. Die physiologische Wirkung wird dadurch nicht verringert. Nun haben aber solche Reizwirkungen eine gewisse untere Reizschwelle, d. h. wenn die erregende Ursache kleiner als ein Mindestmaß wird, tritt ein Reiz nicht mehr auf. Bei sehr hohen Frequenzen und den Stromstärken, wie wir sie in der Diathermie haben, liegt nun die während einer Halbwelle erzeugte Konzentrationsänderung unterhalb der Reizschwelle. Die Konzentrationsänderung der nächsten Halbwelle hebt aber die vorhandene in ihrer Wirkung auf. Wir können also den Erfahrungen der Diathermie entsprechend gar keine Reizwirkung erwarten. Nernst gibt für die Reizwirkung einen quantitativen Ausdruck an und setzt

$$\text{Reizwirkung} = \frac{i \text{ (Intensität)}}{\sqrt{n} \text{ (Frequenz)}}$$

Ich komme zum Schluß des Kapitels, in dem ich die Diathermie behandeln wollte. Ich habe bereits im Anfang gesagt, daß ich Ihnen nur einen Einblick in dieses Gebiet geben wollte. Ich konnte mich besonders kurz fassen, wenn ich von rein medizinischen Fragen sprach. Zum Schluß möchte ich Sie aber nochmals auf die außerordentlich segensreiche Anwendung der Diathermie in den Lazaretten hinweisen. Von der Siemens & Halske-A.-G. ist eine kleine Broschüre herausgegeben, „Die Diathermie im Kriege“, in der Sie auch sonst sehr Wissenswertes finden. Am Schluß derselben ist eine Tabelle zusammengestellt, in der 108 im Vereinslazarett in der Siemensstadt behandelte Fälle zusammengestellt sind, aus der man speziell den Heilerfolg der Diathermie bei der Nachbehandlung von Schußverletzungen ohne und mit Nervenverletzungen, bei Frakturen und Luxationen, bei Erguß und Entzündungen im Kniegelenk, bei Erfrierungen, bei Rheumatismus und endlich bei Ischias ersehen kann.

7. Zusatzapparate.

Ich komme jetzt noch auf einige Anwendungsformen des Diathermieinstrumentariums zu sprechen, die mit der Diathermie selbst nichts zu tun haben. Ich meine die Anwendung zur Fulguration und endlich zum Betriebe einer Röntgenröhre.

a) Verwendung des Diathermieapparates zur Fulguration.

Die Fulguration definiert Kowarschik wie folgt: Das Prinzip der Fulguration besteht darin, daß man nach möglichst exakter Entfernung eines neuen Gebildes auf die dadurch entstandene Wunde hochfrequente Funken von sehr hoher Spannung mittels einer geeigneten Elektrode aus einer Entfernung von 8 bis 15 cm überschlagen läßt.

Die Fulguration ist also eine unipolare Methode, bei der der Patient nicht in leitender Verbindung mit dem Apparat selbst steht. Der Versuch, den ich Ihnen eingangs zeigte, als ich aus einem Teslatransformator Funken auf meine Hand überspringen ließ, war technisch identisch mit der Fulguration. Anstatt einer Teslaanordnung kann man, wie wir es hier tun, auch die Generatorfunkenstrecke eines Diathermieapparates verwenden.

Die hohe Spannung wird dabei in einem Teslatransformator erzeugt, dessen eines Ende zweckmäßig geerdet wird. Die Anordnung ist in einem Zusatzapparat untergebracht. An den gleichen Klemmen, die auch zum Anschluß des Auto-konduktionsapparates dienen, wird ein Schwingungskreis angeschlossen, der sich aus der Primärspule P und einem unter der Marmorplatte befindlichen Kondensator zusammensetzt. Die Spule P bildet die Primärspule eines Teslatransformators. Die Eigenschwingung der sekundären Strahlspule S ist in Resonanz mit der Schwingung in der Primärspule. Die Primärspule kann mittels eines Hebels K gehoben und gesenkt werden. Dadurch wird die Koppelung der beiden Kreise fester oder loser und die übertragene Energie größer oder kleiner. Durch einen Schalter können von der Primärspule einige Win-

dungen ab- und zugeschaltet werden. Dadurch kann eine scharfe Einstellung der Resonanz jedesmal vorgenommen werden. Das untere Ende der Strahlspule wird an die Wasserleitung angeschlossen, das obere Ende mittels eines besonderen Kabels an die Fulgurationselektrode. Bei der Vorführung des Versuchs erkennen Sie die Ähnlichkeit mit dem eingangs vorgeführten Teslaversuch.

b) Betrieb einer Röntgenröhre mittels eines Diathermieinstrumentariums und Zusatzapparat.

Die Schaltung ist hierbei genau so wie bei der Fulguration. Auch hier wird in den primären Schwingungskreis zur Erzeugung hoher Spannungen ein Teslatransformator eingeschaltet. Das eine Ende der Strahlspule wird zur Erde abgeleitet, das andere Ende wird mit der Kathode der Röntgenröhre verbunden. Antikathode und Anode bleiben bei dieser Methode frei. Die Röntgenröhre leuchtet mit guter Teilung auf. Über die physikalischen Grundlagen dieses Röntgenbetriebes werden wir uns im dritten Teil unserer Vorträge, der die Röntgentechnik behandelt, näher unterhalten.

Zweites Kapitel.

Die elektrische Temperaturmessung in der Medizin.

In dem ersten Abschnitt unserer Vorträge haben wir die Grundlagen der Diathermie behandelt. Wenn man auch in vielen Fällen, in der gewöhnlichen Praxis sogar meist, bei der Dosierung dieses Verfahrens ganz ohne objektive Temperaturmessung auskommt und sich nur auf die subjektive Empfindung des Patienten verlassen darf, so liegen bei manchen Indikationen die Verhältnisse doch so, daß eine exakte objektive Temperaturmessung durchaus erwünscht oder sogar unbedingt notwendig ist.

Auch hierfür hat uns die Technik Mittel gegeben. Die Temperaturmessung ist gerade ein Gebiet der Meßtechnik, auf dem besonders viel gesündigt wird. Nur zu häufig ist man sich über die erreichte Genauigkeit nicht recht im klaren. Es ist Ihnen allen bekannt, daß man schon bei der Messung von Fiebertemperaturen durch unsachgemäße Handhabung außerordentlich große Fehler machen kann. Wollte man nun bei der Diathermie mit dem gewöhnlichen Quecksilber-Fieberthermometer Messungen ausführen, so würde man alles andere, nur nicht die richtige Temperatur des diathermisch behandelten Gelenkes oder Organes messen. Allerdings sind besondere Quecksilberthermometer (vgl. die oben zitierte Arbeit von Dr. Qurién, Wiesbaden, über seine kombinierte Augen- und Kopfelektrode) auch für diese Zwecke konstruiert, erreichen aber wohl kaum die Genauigkeit der im folgenden besprochenen elektrischen Temperaturmeßmethoden.

Dafür, daß das Quecksilberthermometer im allgemeinen für solche Messungen wenig geeignet ist, sind verschiedene Gründe maßgebend, der Hauptgrund liegt aber darin, daß das gewöhnliche Quecksilberthermometer eine zu große Ausdehnung hat. In vielen Fällen, z. B. bei der Messung der Innentemperatur, versagt das Quecksilberthermometer ganz. Gerade in solchen Fällen leistet nun die elektrische Temperaturmessung außerordentlich gute Dienste. Ich will Ihnen zunächst das physikalische Prinzip dieser Methoden auseinandersetzen. Man unterscheidet zwei Methoden der elektrischen Temperaturmessung, die in der medizinischen Praxis bereits angewandt werden, nämlich die Temperaturmessung mit dem Thermoelement und die Temperaturmessung mit dem Widerstandsthermometer.

1. Temperaturmessung mit dem Thermoelement.

Den Vorgang einer solchen Temperaturmessung zeigt folgender einfacher Versuch. Ich habe hier ein solches Thermoelement: Ein Konstantandraht ist mit seinen beiden Enden an Kupferdrähte angelötet. Die beiden freien Enden der Kupfer-

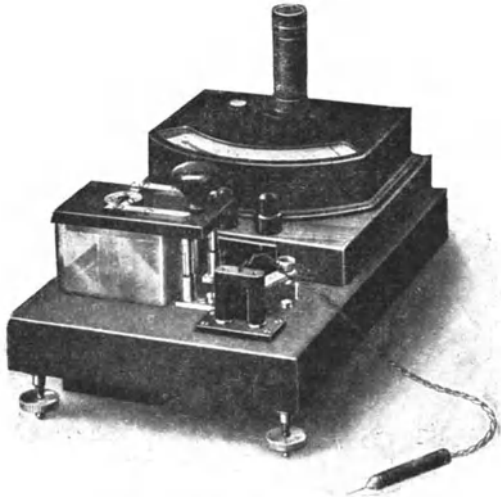
drähte sind an ein empfindliches Spiegelgalvanometer angeschlossen. Zunächst haben beide Lötstellen gleiche Temperatur, und zwar die Temperatur des Zimmers. Fasse ich nun die eine Lötstelle zwischen zwei Finger, so zeigt das Galvanometer einen Ausschlag. Der Ausschlag steht in einem ganz bestimmten Zusammenhang zur Temperaturdifferenz der beiden Lötstellen. Man kann diese Methode sehr leicht zu einer bequemen Temperaturmessung verwenden, wenn man nur dafür sorgt, daß die eine Lötstelle dauernd auf konstanter Temperatur gehalten wird, z. B. dadurch, daß man sie in Eiswasser kühlt. Alsdann kann man das Meßinstrument, in diesem Falle das Spiegelgalvanometer, direkt in Temperaturgrade eichen.

Die Siemens & Halske-A.-G. hat einen handlichen Apparat auf diesem Prinzip aufgebaut. Das Instrument ist in Fig. 28 zu sehen. Das Anzeige-

instrument ist hier kein Spiegelinstrument, wie bei dem vorgeführten Versuche — solche Instrumente sind für die praktische Handhabung zu unbequem —, sondern ein empfindliches Dreprezinstrument mit Bandaufhängung des beweglichen Systems und gewöhnlicher Zeigerablesung. Die Schaltung der ganzen Meßeinrichtung geht aus Fig. 29 hervor.

Die Lötstelle L_1 des Thermoelementes wird in einem mit Eiswasser gefüllten Gefäß (auf Fig. 28 vorn links sichtbar) auf 0°C gehalten. Die andere Lötstelle, L_2 , ist als Meßelektrode ausgebildet. Auf der Fig. 28 sehen wir eine sogenannte Nadel-

Fig. 28.



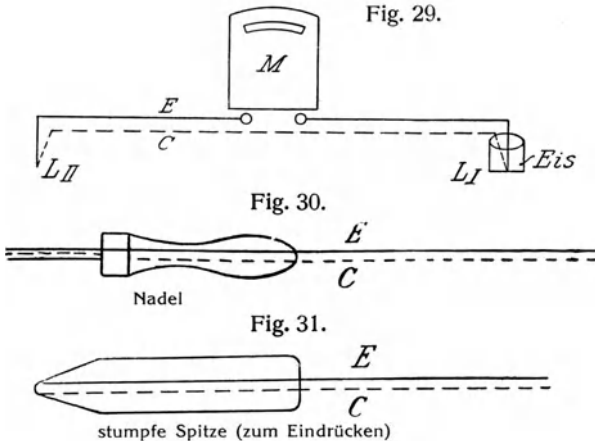
Temperaturmeßeinrichtung
der Siemens & Halske-A.-G.

elektrode. Die Meßelektroden haben je nach der gewünschten Verwendung eine verschiedene Form und können bequem ausgewechselt werden.

Mit der erwähnten Nadelelektrode kann man bei Versuchen an totem Fleisch direkt in das Innere eindringen. Die Meßblötstelle befindet sich an der Spitze der Nadel (vgl. Fig. 30).

Eine andere Elektrode dient während der diathermischen Behandlung zur Messung der Körpertemperatur des Patienten an den verschiedenen Stellen der Haut. Sie ist als stumpfe Spitze ausgebildet (vgl. Fig. 31). Man kann so die Temperatur am Handgelenk, am Ellenbogen

Fig. 32.



und allen anderen Stellen des Körpers verfolgen und wird damit von dem subjektiven Wärmeempfinden des Patienten unabhängig, wenn man dieses auch niemals außer acht lassen darf.

Unentbehrlich ist die Temperatur-Meßeinrichtung bei der von Boerner und Santos angegebenen Behandlung der Gonorrhöe (vgl. S. 27).

Das Thermoelement ist hier in die aktive Elektrode (vgl. Fig. 32) eingebaut. Diese besteht aus einem Metallrohr, das in die Harnröhre eingeführt wird; im Inneren des Rohres ist das Thermoelement verschiebbar angeordnet, so daß die Temperatur an jeder Stelle der Elektrode gemessen werden kann.

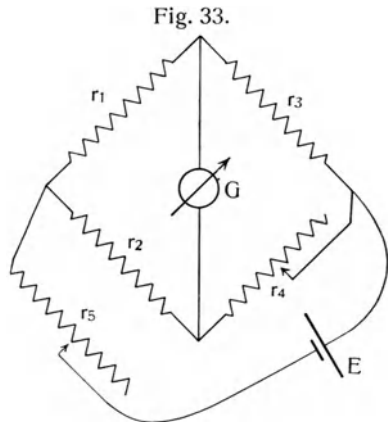
Es liegt auf der Hand, daß nicht jeder Arzt, der sich mit Diathermie beschäftigt, ein solches Temperaturmeßinstrument braucht. Wer sich aber an ein solches gewöhnt hat, der wird es kaum mehr missen wollen und wird die Vorteile der objektiven Temperaturmessung gerade dort schätzen lernen, wo man unabhängig von der subjektiven Temperaturempfindung des Patienten sein will oder muß.

2. Temperaturmessung mit dem Widerstandsthermometer.

Diese Methode wird bei Temperaturregistrierapparaten verwandt, d. h. solchen Apparaten, welche die Temperatur in Kurvenform auf einem Papierstreifen fortlaufend aufzeichnen.

Um Ihnen das Prinzip dieser Methode zu veranschaulichen, habe ich hier eine Wheatstonesche Brücke aufgebaut (vgl. Fig. 33). Vier Widerstände, von denen drei, r_1 , r_2 , r_3 , konstant und einander gleich sind, einer

r_4 bequem variiert werden kann, sind zu einer Brücke zusammengebaut. An zwei diagonal gelegenen Punkten der Brücke ist über einen Regulierwiderstand r_5 ein Akkumulator E angeschlossen. An den beiden anderen, diagonal gelegenen Punkten liegt ein Galvanometer G . Wird der variable Widerstand r_4 gleich den konstanten Widerständen einge-



stellt, so zeigt das Galvanometer keinen Ausschlag. Sobald aber der Widerstand variiert wird, schlägt das Galvanometer aus, und zwar ist dieser Ausschlag in ganz bestimmter Weise von der Widerstandsänderung abhängig. Nun ist Ihnen bekannt, daß der Widerstand der Metalle von ihrer Temperatur abhängt, daß es aber auch Legierungen gibt, deren Widerstand wir praktisch als unabhängig von der Temperatur ansehen können. Wählen wir also für drei Brückenarme eine solche Legierung

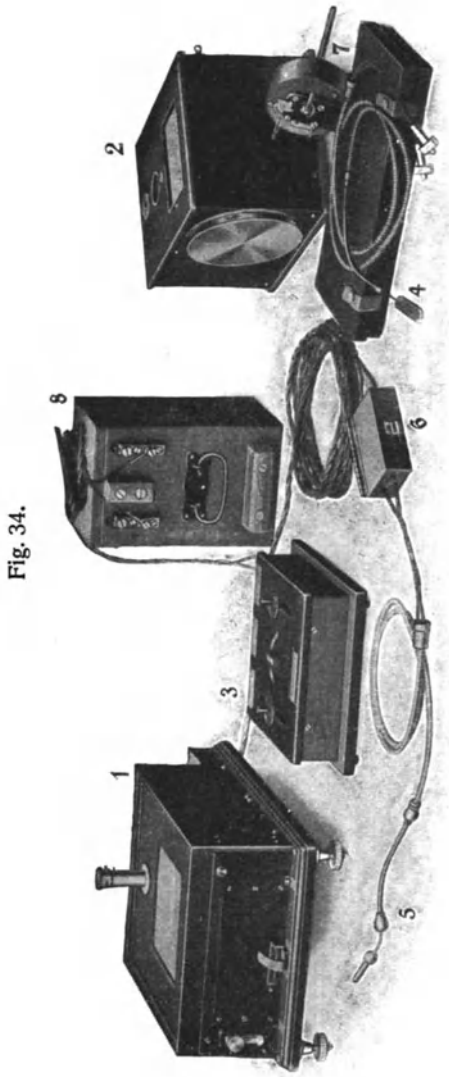


Fig. 34.

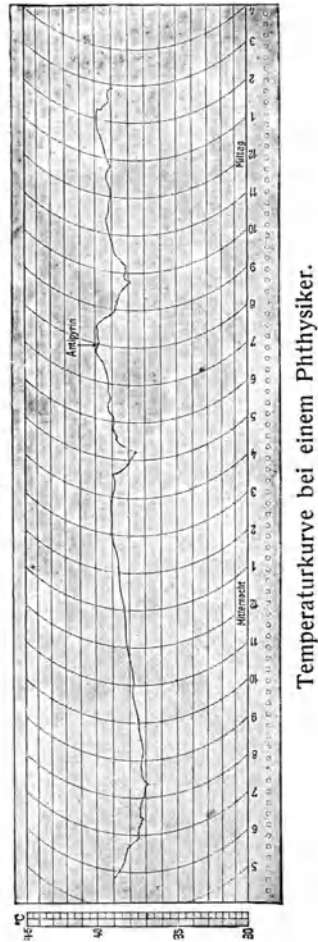
1. Registrierapparat mit ablaufendem Streifen. 2. Trommelregistrierapparat. 3. Brückenschaltung. 4. Widerstandsthermometer für die Achse. 5. Verbindungskapsel und Zuleitung. 6. Auswechselbares Uhrwerk für den Trommelregistrierapparat. 7. 4-Volt-Akkumulator.

1. Registrierapparat mit ablaufendem Streifen. 2. Trommelregistrierapparat. 3. Brückenschaltung. 4. Widerstandsthermometer für die Achse. 5. Verbindungskapsel und Zuleitung. 6. Auswechselbares Uhrwerk für den Trommelregistrierapparat. 7. 4-Volt-Akkumulator.

und verwenden für den vierten Zweig z. B. Platin, so wird der Ausschlag des Galvanometers von der Temperatur des Platins abhängen. Das Galvanometer kann also ein für allemal mit einer Temperaturskala versehen werden, wenn wir nur an der Brücke stets die gleiche Klemmenspannung haben. Falls der Akkumulator seine Spannung ständig behielte, wäre diese Bedingung von vornherein gewährleistet. Nun sinkt aber bekanntlich die Spannung eines Akkumulators während des Gebrauches. Um dieses Sinken auszugleichen, ist der Regulierwiderstand r_5 vor den Akkumulator geschaltet. Dieser wird von Zeit zu Zeit nachreguliert, und zwar in sehr einfacher Weise. An Stelle des Platindrahtes wird ein von der Temperatur unabhängiger Manganinwiderstand geschaltet, dessen Widerstand genau gleich dem Widerstand des Platindrahtes für eine bestimmte Temperatur abgeglichen ist. Falls also der Akkumulator die richtige Spannung hat, muß das Galvanometer diese Temperatur anzeigen, die auf der Skala durch einen roten Strich besonders markiert ist. Schlägt das Galvanometer höher oder niedriger aus, so muß durch den obenerwähnten Regulierwiderstand Widerstand ein- oder ausgeschaltet werden.

Dies ist in kurzen Worten das Prinzip der Methode. Der Platindraht ist in eine Kapsel eingebaut, die zur Einführung in die verschiedenen Körperhöhlen besondere Form hat (vgl. 4 und 5 in Fig. 34).

Fig. 35.



Das Galvanometer ist mit Registriervorrichtung ausgeführt. Ich brauche auf diese Registrierapparate nicht näher einzugehen. Wer mit einem solchen Apparat praktisch zu tun hat, findet alles Nähere in der Gebrauchsanweisung des Apparates. Zwei verschiedene Ausführungsformen sind in Fig. 34, Nr. 1 und 2, abgebildet. Einen Registrierstreifen sehen wir in Fig. 35, der speziell die Temperaturkurve eines Lungenkranken wiedergibt.

Ich möchte zum Schluß noch erwähnen, daß man solche Temperaturmeßapparate, besonders die registrierenden, auch zur Diagnostik verwenden kann. Auf empirischem Wege ergeben sich für die einzelnen Krankheiten ganz bestimmte, ihnen eigentümliche Temperaturkurven, und man kann umgekehrt aus der besonderen Gestaltung einer Temperaturkurve auf die ursächliche Krankheit zurückschließen.

Drittes Kapitel.

Die Röntgentechnik.

1. Elektrizitätsdurchgang durch Gase. — Entstehung und Natur der Röntgenstrahlen.

Wenn wir uns in den folgenden Vorträgen mit der Röntgentechnik beschäftigen wollen, so müssen wir uns zunächst kurz über die Röntgenstrahlen selbst unterhalten. Ich nehme dabei nicht an, daß ich Ihnen viel Neues sage, und kann mich deshalb zunächst kurz fassen.

Wir gehen von folgendem Versuch aus: Ein Entladungsröhre, d. h. eine Glasröhre, in die zwei Elektroden aus Platin eingeschmolzen sind, ist an eine gute Luftpumpe, am besten eine Quecksilber-Gaedepumpe angeschlossen. Der Druck des Gases in der Röhre sei zunächst gleich dem Atmosphärendruck. Schließt man eine solche Röhre über einen Stromzeiger an eine Gleichspannung von 120 Volt oder auch eine höhere Spannung, die man einer Influenzmaschine entnimmt, so schlägt der Stromzeiger nicht aus. Der Widerstand der Luft in der

Röhre ist so hoch, daß ein Strom gar nicht zustande kommt. Pumpt man nun aber die Röhre langsam aus, während sie dauernd an der erregten Influenzmaschine angeschlossen bleibt, so findet von einem bestimmten Vakuum an ein Elektrizitätsübergang im Entladungsrohr in Form von Funken statt. Wir lassen die Pumpe laufen und verfolgen den Vorgang, ohne uns für alle Einzelstadien eingehend zu interessieren. Der Funke wird bald ruhiger und breiter. Wir erhalten eine sogenannte Glimmentladung, die sich zunächst in einem breiten, rotbraunen Bande zu erkennen gibt. Treiben wir die Verdünnung in der Röhre weiter, so tritt eine Differenzierung der Leuchterscheinung längs der Röhre ein. Von den beiden Elektroden bezeichnet man die eine, die an den positiven Pol der Influenzmaschine angeschlossen ist, bekanntlich als Anode, die andere als Kathode. Es treten bald Schichten an der Anode auf, die Anzahl dieser Schichten verringert sich, schließlich wird bei weitergehender Verdünnung die Leuchterscheinung lichtärmer, bis schließlich äußerlich von dem Elektrizitätsdurchgang nichts mehr zu erkennen ist. Der Strom, der durch die Röhre fließt, wird dabei dauernd größer. Bei weiterer Verdünnung leuchtet das Glas, das der Kathode gegenüber sich befindet, in gelbgrünem Fluoreszenzlicht auf. Die Ursache hierfür ist eine besondere Strahlenart, die von der Kathode ausgeht und die man deshalb Kathodenstrahlen nennt. Nähert man der Röhre einen Stabmagneten, so bewegt sich der Fluoreszenzfleck bei der Bewegung des Magneten. Der Grund liegt darin, daß die Kathodenstrahlen von dem Felde des Magneten abgelenkt werden. Die Kathodenstrahlen verhalten sich, was die nähere Untersuchung zeigt, wie ein elektrischer Strom, und zwar sind es negative Elektrizitätsteilchen, die mit außerordentlich hoher Geschwindigkeit die Röhre durchheilen. Diese Geschwindigkeit hängt ab von dem Grade der Gasverdünnung der Röhre. Die Kathodenstrahlen können die Glaswand nicht durchdringen, wir haben es also mit einer Erscheinung zu tun, die sich rein auf das Innere der Röhre beschränkt.

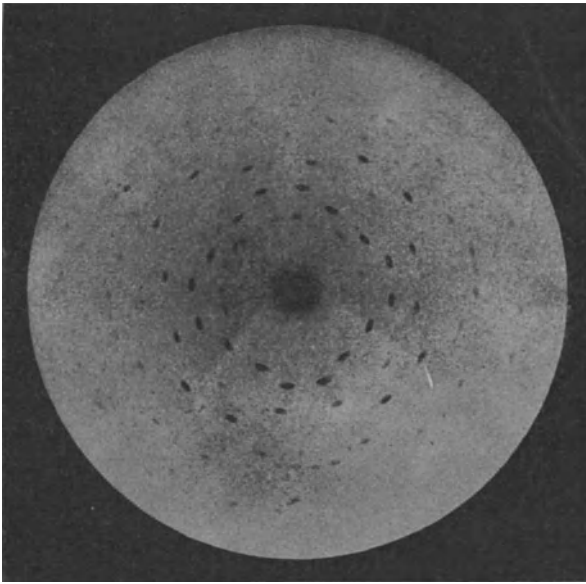
Bei weiterer Erhöhung des Vakuums tritt nun eine neue Strahlenart auf, die sogenannten Röntgenstrahlen. Sie

entstehen stets da, wo Kathodenstrahlen bei genügend hohem Vakuum auf feste Körper auftreffen. Diese Röntgenstrahlen durchdringen die Glaswand und alle festen Körper. Dichte Körper, z. B. Blei in genügender Stärke, absorbieren jedoch die Röntgenstrahlen vollkommen. Äußerlich sind die Röntgenstrahlen nicht sichtbar, können aber dadurch in ihrer Wirkung kenntlich gemacht werden, daß sie Baryum-Platin-Cyanür zur Fluoreszenz erregen und auch die photographische Platte schwärzen. Halte ich z. B. in den Strahlengang eine Börse und hinter diese einen mit dem erwähnten Doppelsalz bestrichenen Schirm, so sieht man auf diesem das Leder der Börse als schwachen Schatten, während sich das Geld in der Börse tief-schwarz abhebt. Das Metall selbst läßt die Strahlen kaum hindurchtreten, während sie das Leder fast ungeschwächt passieren. Bringe ich die Hand in den Strahlengang, so heben sich die Muskeln, die Knochen und der Ring am Finger als Schattenbild deutlich von dem hellen Schirm ab.

Über die Natur der Strahlen möchte ich noch einige Worte sagen, da die Wissenschaft in den letzten Jahren gerade auf diesem Gebiete einen bedeutenden Schritt vorwärts gekommen ist. Die Haupteigenschaften der Strahlen hat Röntgen in seinen berühmten Arbeiten bereits festgelegt. Man war sich aber lange Zeit darüber nicht im klaren, ob man bei diesen Strahlen Wellencharakter annehmen darf von der Art der Lichtstrahlen oder der elektrischen Wellen, oder ob es Korpuskularstrahlen, ähnlich den Kathodenstrahlen, sind. Wenn man den Wellencharakter von Strahlen experimentell zeigen will, so sucht man eine Beugungserscheinung, die Ihnen vom Lichte her bekannt ist, nachzuweisen. Diese tritt beim Lichte z. B. beim Passieren eines Strahlenbündels durch einen schmalen Spalt auf. Der Spalt bildet sich auf einem gegenüber liegenden Schirm nicht mit der ihm nach den Gesetzen der geometrischen Optik zukommenden Breite ab, sondern man erhält ein verbreitertes Bild oder gar bei Verwendung eines Gitters an Stelle des Spaltes ein sogenanntes Beugungsspektrum, bestehend aus dunklen und hellen Streifen. Auf das Wesen dieser Beugungserscheinung will ich hier natürlich nicht eingehen. Bei den

Röntgenstrahlen schlugen zunächst alle Versuche zum Nachweis der Beugung fehl. Der Grund hierfür liegt darin, daß die Spaltbreite in einem bestimmten Verhältnis zur Wellenlänge der Strahlen stehen muß, und zwar erhält man die Erscheinung am besten, wenn die Spaltbreite etwa 100mal so groß ist wie die Wellenlänge. Nun konnte man mechanisch keine Spalte herstellen, die der Wellenlänge der Röntgenstrahlen entsprechend fein genug waren. Der Physiker v. Laue

Fig. 36.



Beugungsbilder der Röntgenstrahlen bei einer vierzähligen Kristallachse.

kam jedoch auf den Gedanken, die Struktur der Kristalle als Gitter zu verwenden. Die Versuche, die er in Gemeinschaft mit Friedrich und Knipping¹⁾ ausführte, zeigten als erwartetes Ergebnis eine deutliche Beugungserscheinung auf der photographischen Platte. Die Beschaffenheit und Lage der

¹⁾ Laue, Friedrich und Knipping, Interferenzerscheinungen bei Röntgenstrahlen. Sitzungsber. d. Königl. Bayer. Akad. d. Wissensch. München 1912.

erhaltenen Raumgitter stimmte mit den theoretisch berechneten gut überein. In Fig. 36 ist ein solches Beugungsbild wiedergegeben.

2. Die technische Ausgestaltung der Röntgenröhren.

Bei unseren seitherigen Betrachtungen hatten wir die Erzeugung von Röntgenstrahlen nur insoweit besprochen, als wir sagten, daß sie in jedem Entladungsrohre bei genügend hohem Vakuum dort entstehen, wo die Kathodenstrahlen auf einen festen Körper, z. B. die Glaswand, auftreffen.

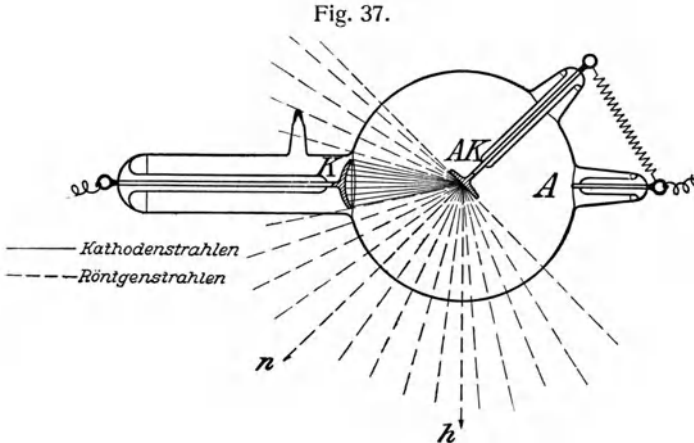
Kann man also auch jedes Entladungsrohr zur Erzeugung von Röntgenstrahlen benutzen, so haben doch die Röntgenröhren im Laufe der Zeit eine Gestaltung angenommen, die sich ihrem Spezialzweck besonders anpaßt.

Die Kathodenstrahlen haben eine sehr hohe Geschwindigkeit, die je nach dem Vakuum verschieden ist, die wir aber für unsere Betrachtungen z. B. mit einem Viertel Lichtgeschwindigkeit einsetzen können. Ihrer hohen Geschwindigkeit entspricht eine hohe kinetische Energie, die beim Auftreffen der Strahlen auf feste Körper sich in Wärmeenergie umsetzt. Das hat zur Folge, daß ein gewöhnliches Entladungsrohr an der Auffallstelle der Kathodenstrahlen zum Schmelzen gebracht wird. Bei hinreichend langsamen Kathodenstrahlen ist das zwar nicht mehr zu befürchten, aber dann sind diese auch praktisch nicht mehr fähig, Röntgenstrahlen zu erzeugen. Diesem Übelstande begegnet man nun so, daß man der Kathode gegenüber eine sogenannte Antikathode aufstellt, die zweckmäßig mit der Anode leitend verbunden wird. In Fig. 37 bedeutet *K* die Kathode, *AK* die Antikathode und *A* die Anode.

Die Röntgenbilder sind ihrer Entstehung nach Schattenbilder. Diese können aber nur scharf sein, wenn die Lichtquelle punktförmig ist. Die Ausgangsstelle für alle Röntgenstrahlen muß also nach Möglichkeit ein einziger Punkt sein, oder doch wenigstens keine große Ausdehnung besitzen. Man erreicht das so, daß man, wie in der Fig. 37 deutlich zu sehen ist, die Kathode in der Form eines Hohlspiegels ausbildet,

dessen Brennpunkt auf der Antikathode liegt. Stellt man den Brennpunkt aber sehr scharf ein, so ist die dort erzeugte Wärmemenge so groß, daß die Antikathode auch bei Auswahl geeigneten Materials bald kleine Brandstellen zeigt, d. h. verdirbt. Man verzichtet daher lieber auf die außerordentliche Schärfe und erhält dadurch eine längere Lebensdauer der Röhre.

Die Anforderungen an eine Röhre sind je nach ihrem Zweck verschieden. Bei manchen Anwendungen kommt es auf einen besonders scharfen Brennpunkt an, bei anderen wieder auf eine besonders hohe Belastbarkeit. Je nach diesem Anwendungszweck wird man eine verschiedene Röhre für die Versuche



auswählen. Man baut für den ersten Zweck sogenannte Präzisionsröhren mit besonders scharfem Brennpunkt, die aber naturgemäß bei Einzelschlagaufnahmen, bei denen es auf eine hohe Belastbarkeit ankommt, weniger geeignet sind.

Das Material der Antikathode muß also einen hohen Schmelzpunkt haben, außerdem muß die Antikathode nach Möglichkeit so beschaffen sein, daß die erzeugte Wärme leicht abgeleitet wird. Man hat früher als Antikathodenmaterial Platin verwandt und benutzt dieses Material auch heute noch sehr häufig. Platin hat einen hohen Schmelzpunkt (1750°), ist aber andererseits sehr teuer, so daß man mit diesem Material sehr sparsam umgehen muß. Neben Platin hat man Versuche

mit Iridium gemacht, dessen Schmelzpunkt bei 2000° liegt. Schließlich hat die Technik der Glühlampen, bei der auch für den Leuchtfaden ein Material von möglichst hohem Schmelzpunkt gefordert wird, indirekt auch die Technik der Röntgenröhren gefördert. Mit dem Aufkommen der Tantallampe hat man Versuche mit diesem Material angestellt, dessen Schmelzpunkt bei 2300° liegt. Da man nun, wie Ihnen bekannt sein wird, in der modernen Röntgentechnik die Röhre immer stärker belastet, besonders bei den Einzelschlagaufnahmen, so hat man nach einem Material gesucht, das einen noch höheren Schmelzpunkt hat, und dies in dem Wolfram gefunden (Schmelzpunkt 3000°).

Fig. 38.



Antikathode aus
Wolfram.

Dieses Material ist auch wesentlich billiger, so daß man den Antikathodenklotz verhältnismäßig groß bauen kann und so günstige Abkühlungsverhältnisse erzielt. Fig. 38 zeigt eine solche Antikathode.

Um die Lebensdauer der Antikathode und damit der Röhre weiter zu erhöhen, hat man für eine besonders gute Kühlung der Antikathode gesorgt. Die einzelnen Firmen benutzen verschiedene Kühlvorrichtungen. Ich kann mich hier nur auf die Anführung von Beispielen beschränken.

Die bekannte Firma Gundelach baut z. B. eine sogenannte Intensivröhre, deren Antikathode aus einem Kupferklotz besteht, auf dem ein Platinspiegel aufgelötet ist. Kupfer leitet die Wärme sehr gut. Der Kupferklotz ist auf einem Kupferstabe befestigt, der aus der Röhre herausgeführt ist und einen Rippenkörper zur weiteren besseren Kühlung trägt (vgl. Fig. 39).

Die Hamburger Röhrenfirma Müller baut Röhren mit Wasserkühlung nach Walter und Albers-Schönberg (vgl. Fig. 40). Auch andere Firmen bauen solche wassergekühlten Röhren. Ich will hier die Veifa-Maximum-Röntgenröhre nach Amrhein (D. R.-P.) erwähnen (vgl. Fig. 41). Diese Röhre besitzt eine außerordentlich wirksame Kühlung der Antikathode durch Wasserzerstäubung. Es wird

die Verdampfungswärme des Wassers zur Kühlung der Antikathode ausgenutzt, indem das zerstäubte Wasser an der heißen Antikathode verdampft und hierbei Wärme absorbiert wird¹⁾.

Das Durchdringungsvermögen der Röntgenstrahlen ist nicht für alle Strahlen das gleiche. Je nachdem sie ein großes

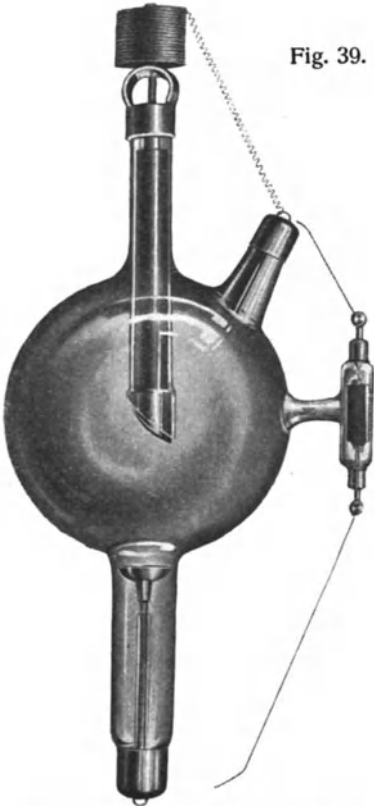


Fig. 39.

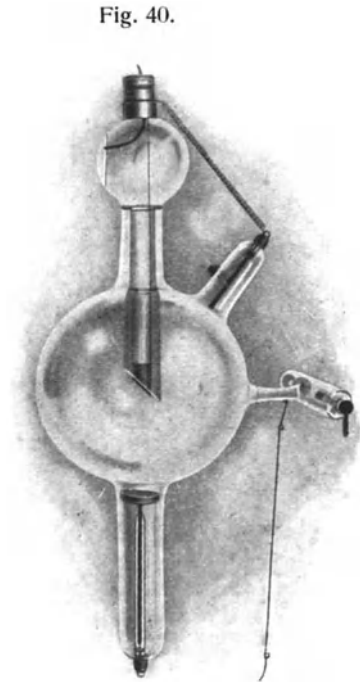


Fig. 40.

Intensivröhre von Gundelach
mit Rippenkörper zur Kühlung.

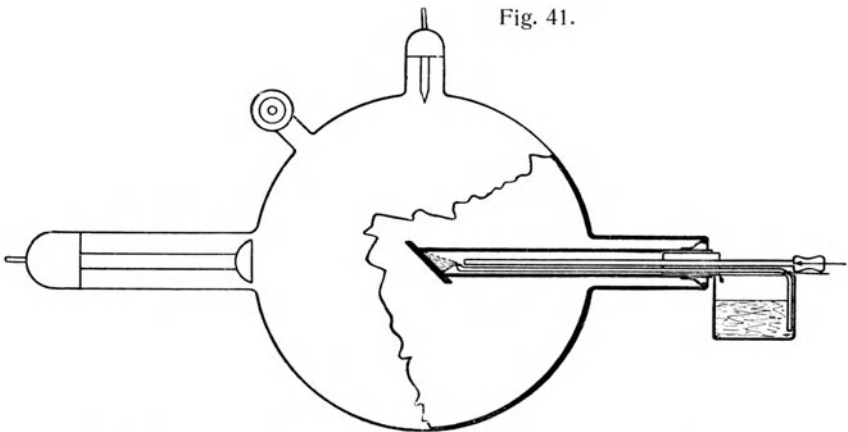
Müller-Röhre mit Wasserkühlung
nach Walter u. Albers-Schönberg.

oder kleines Durchdringungsvermögen haben, unterscheidet man harte und weiche Strahlen. Die Erfahrung lehrt, daß das Durchdringungsvermögen um so größer ist, je höher

¹⁾ Ganz hervorragende Erfolge erzielte Bucky durch Kühlung mit siedendem Wasser, vgl. Münch. med. Wochenschr. 34, 1145 u. 1146, 1915.

die Spannung an der Röhre ist. Diese hängt nun wiederum von dem inneren Widerstand der Röhre ab. Je höher der Widerstand, um so höher ist bei gleichbleibendem Strom die Spannung.

Nun hatten wir in der Einleitung davon gesprochen, daß mit zunehmendem Vakuum der Widerstand einer Luftstrecke abnimmt. Das gilt aber nur bis zu einer gewissen Höhe des Vakuums, alsdann nimmt der Widerstand wieder zu. In dem Bereich, in dem Röntgenstrahlen erzeugt werden, nimmt der Widerstand mit zunehmendem Vakuum zu. Man kann also auch sagen, die Strahlen sind um so härter, je besser das Vakuum ist. Wir werden später sehen, daß man für die Diagnostik



Veifa-Maximumröhre nach Amrhein mit Wasserzerstäubung.

und für die verschiedene Anwendung in der Therapie einen verschiedenen Härtegrad der Strahlen, oder, wie man auch sagen kann, der Röhren braucht.

Man muß also die Möglichkeit haben, den Härtegrad der Röhren beliebig verstellen zu können.

Das ist um so notwendiger, als der Härtegrad einer Röhre nicht konstant ist, sondern sich während des Gebrauches ändert. Überlastet man nämlich eine Röhre, d. h. schickt man durch dieselbe einen zu starken Strom, so wird die Röhre weicher. Man hat sich das so vorzustellen, daß durch die Überlastung eine sehr starke Temperaturerhöhung auftritt. Da-

durch werden die von der Antikathode okkludierten Gasreste frei und verschlechtern das Vakuum. Dieses Weichwerden infolge der Überlastung ist um so bedenklicher, als nach unseren obigen Überlegungen dadurch der Widerstand der Röhre geringer wird, die Röhre also noch mehr Strom aufnimmt und deshalb wiederum weicher wird. Sobald also ein Weicherwerden der Röhre eintritt, muß man durch ein Verringern der angelegten Spannung sofort mit der Belastung heruntergehen, wenn man ein vollständiges Verderben der Röhre vermeiden will.

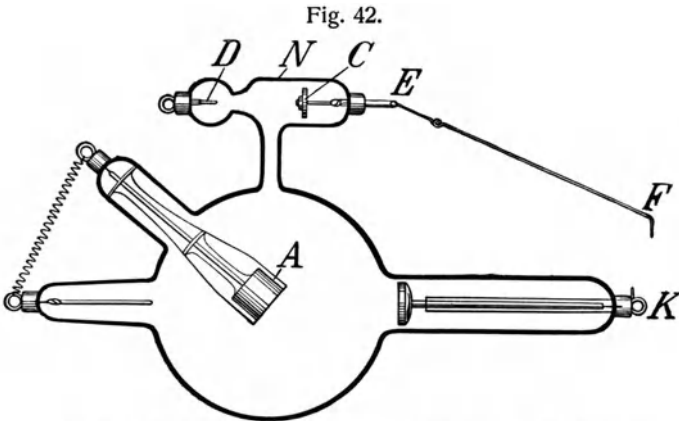
Während also die Röhre bei Überlastung weicher wird, tritt bei normaler Belastung die umgekehrte Erscheinung auf. Der Härtegrad der Röhre wird ständig größer. Der physikalische Grund hierfür liegt in der Zerstäubung des Kathodenmaterials. Die Kathodenstrahlen reißen Metallstäubchen mit sich fort. Treffen diese auf ihrer Bahn auf Gasmoleküle, so lagern sich diese an und werden mitgerissen, bis sich das Metallteilchen mit angelagerten Gasmolekeln auf der Glaswand festsetzt. Die Metalle zerstäuben verschieden leicht, Aluminium zerstäubt besonders wenig. Man stellt aus diesem Grunde die Kathode aus Aluminium her.

Um nun diese ungewollte Veränderung des Härtegrades einer Röhre während des Gebrauches wieder aufzuheben, oder auch um einen anderen gewünschten Härtegrad für einen besonderen Zweck einstellen zu können, hat man besondere Einrichtungen erdnen, die man als Regenerationseinrichtungen bezeichnet. Die Zahl der hierzu angegebenen Methoden ist sehr groß, und ich will mich darauf beschränken, einige Beispiele anzugeben.

Die einfachste Art ist wohl die von der Firma Müller verwandte Glimmer-Kohle-Regenerierung (vgl. Fig. 42).

In einer besonderen Nebenröhre *N* ist eine Glimmer- oder Kohleelektrode *C* und eine Platinelektrode *D* eingeschmolzen. Man kann mit dieser Regenerationsvorrichtung die Röhre sowohl härter als auch weicher machen. Glimmer oder Kohle okkludiert große Mengen von Gas. Will man die Röhre weicher machen, so schließt man sie normal an. Der Draht *F* wird der Kathode genähert, so daß Funken über-

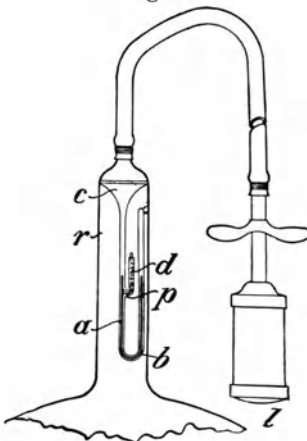
springen. In der Röhre haben wir jetzt einen Strom auf dem Wege *ACEFK*. Der Glimmer bzw. die Kohle erwärmt sich beim Stromdurchgang und Gase werden frei.



Glimmer-Kohle-Regenerierung der Firma Müller.

Will man die Röhre härter machen, so verbindet man *D* mit dem Pluspol und *K* mit dem Minuspol der Speisespannung.

Fig. 43.



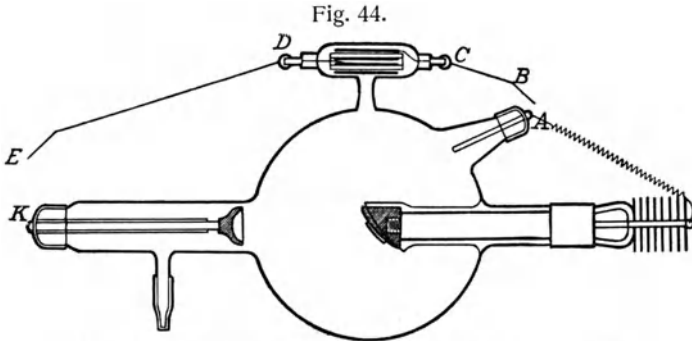
Luftregenerierung
nach Heinz Bauer.

Der Draht *F* wird abgebogen. Wir haben jetzt einen Stromübergang auf dem Wege *DK* innerhalb der Röhre. Die Platinspirale *D* zerstäubt, die zerstäubten Metallteilchen okkludieren das Gas und die Röhre wird härter.

Die bekannte Röhrenfirma Heinz Bauer verwendet eine sogenannte Luftregenerierung, vgl. Fig. 43. Auch hier haben wir eine Nebenröhre, das U-förmige Röhrrchen in dieser kommuniziert mit seinem Ende *c* mit einer kleinen Druckpumpe *l*, das andere Ende ist zugeschmolzen und enthält Luft. An dem Schenkel *a* ist ein kleines Röhrrchen *d* angeschmolzen, das durch ein Plättchen *p* von dem Schenkel *a* getrennt ist. Das Plättchen *p* läßt Luft durch, während es für Quecksilber

undurchlässig ist. Drückt man auf die kleine Pumpe *l*, so wird das Quecksilber niedergedrückt und das Plättchen *p* wird frei. Das Innere der Röhre kommuniziert also über *p* und *d* mit dem freien Ende *c* des Röhrchens. Es strömt Luft in das Innere der Röhre ein. Dadurch wird der Druck in der Pumpenleitung wieder geringer. Unter dem Druck der Luft in dem geschlossenen Ende des Röhrchens nimmt das Quecksilber wieder seinen alten Stand ein und das Innere der Röhre ist wieder abgesperrt, bis von neuem auf die Druckpumpe *l* ein Druck ausgeübt wird.

Endlich bespreche ich die Kondensatorregenerier-
vorrichtung von Gundelach. Sie ist in der Fig. 44 wieder-
gegeben. Sie besteht, was schon der Name sagt, aus einem



Kondensatorregeneriervorrichtung von Gundelach.

kleinen Kondensator, der in einer Nebenröhre eingeschmolzen ist. Die beiden Kondensatorbleche sind durch imprägniertes Papier voneinander isoliert und bei *C* und *D* herausgeführt. Wird der Draht *E* an *K* und der Draht *B* an *A* herangebogen, so lädt sich der Kondensator auf. Ein Isolationsstrom geht durch das imprägnierte Papier und erwärmt dieses. Dadurch wird Gas frei, wodurch die Röhre weicher wird.

Eine wesentliche Neuerung in der Röhrentechnik stellt die Coolidgeöhre¹⁾ dar. Bei dieser Röhre kann die Kathode, die als ebene Spirale aus Wolfram hergestellt ist, durch einen Hilfsstrom niederer Spannung bis zur Weißglut erhitzt werden.

¹⁾ Vgl. W. D. Coolidge, General Electric Review **17**, 104, 1914.

An den einen Zuführungsdraht für den Heizstrom ist gleichzeitig der negative Pol der Hochspannung angelegt. Die Antikathode, die auch als Anode dient, wird durch ein abgeschrägtes massives Stück Wolfram dargestellt, an dem der positive Pol der Hochspannung angelegt ist.

Durch den Glühzustand der Kathode wird erreicht, daß praktisch bei jedem noch so hohen Vakuum die Entladung einsetzen kann, während andere Röhren, wie wir gesehen hatten, beim Gebrauch immer härter wurden, bis schließlich auch sehr hohe Spannungen keine Entladung mehr auslösen können. Die Coolidgeöhre stellt gewissermaßen die Einführung der Wehneltkathode in die Röntgenröhre dar. Sie hat den weiteren Vorzug, daß sie für sehr hohe Energien geeignet ist.

3. Der Betrieb der Röntgenröhren.

a) Die Influenzmaschine.

Aus dem vorhergehenden Abschnitt wissen wir, daß man zum Betriebe einer Röntgenröhre eine Gleichspannung braucht, und zwar muß diese eine beträchtliche Höhe haben. Würde man eine Wechselspannung verwenden, so würde sich während jeder Halbperiode die Richtung des Stromes ändern. Die Kathode würde zur Anode und umgekehrt. Einmal würde bei diesem Betriebe die Röhre selbst sehr bald verderben, denn die Elektroden, speziell die Antikathode, ist für ihre Spezialzwecke besonders hergerichtet und kann nicht durch irgend einen anderen Teil der Röhre willkürlich ersetzt werden. Dann aber auch würden die Röntgenstrahlen während der einen Halbperiode zwar von dem Antikathodenspiegel, wie beabsichtigt, ihren Ausgang nehmen, während der anderen Halbperiode aber von irgend einer anderen Stelle der Röhre. In beiden Fällen erhalten wir verschiedene Schattenbilder, die sich gegenseitig überlagern.

Die bei dem Betriebe der Röhre in umgekehrtem Sinne austretenden Strahlen bezeichnet man als Schließungslicht. Den Grund für diesen Namen werden wir bei der Besprechung des Betriebes der Röhren mit einem Induktorium kennen lernen.

Äußerlich sieht man das Vorhandensein des Schließungslichtes der Röhre ohne weiteres an. Man erkennt es an der schlechten „Teilung“. Bei richtigem Betriebe der Röhre treffen alle Kathodenstrahlen im Brennpunkt auf dem Antikathodenspiegel zusammen. Von dort aus werden die Röntgenstrahlen ausgesandt. Die Strahlen treffen nur die eine Halbkugel (vgl. Fig. 37) der Röhre, und diese leuchtet in einem grünlichen Fluoreszenzlicht auf, während die andere Hälfte dunkel bleibt. Die scharfe Trennung dieser beiden Halbkugeln der Röhre bezeichnet man in der Röhrentechnik als gute Teilung.

Der einfachste Betrieb einer Röntgenröhre wäre nun fraglos der, daß man eine hochgespannte Gleichspannung verwendet, also z. B. eine Influenzmaschine. Die Firmen Wommelsdorf und Wehrsen bauen Maschinen, die zu solchem Zweck verwendbar sind. Solche Influenzmaschinen geben aber eine beschränkte Energie. Andererseits ist Ihnen bekannt, daß man gerade in den letzten Jahren in der Röntgentechnik, und zwar sowohl in der Diagnostik wie in der Therapie, zu besonders hohen Intensitäten der Strahlung übergegangen ist. Influenzmaschinen genügen daher den modernen Ansprüchen der Röntgentechnik nicht mehr.

b) Das Induktorium.

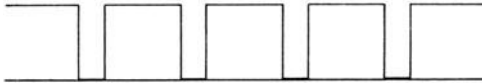
Der Betrieb der Röntgenröhre mit dem Induktorium ist schon sehr lange bekannt und wird noch heute in vielen Fällen als beste Methode empfohlen, wenn auch in den letzten Jahren eine andere Methode, von der wir später hören werden, besonderen Eingang in die Praxis gefunden hat.

Das Induktorium in seiner einfachsten Form ist Ihnen bekannt. Es besteht aus einem Eisenkern, der sich aus einem Bündel Drähten zusammensetzt. Um diesen Kern ist eine Primärspule aus wenigen Windungen dicken Drahtes gewickelt und hierüber eine sekundäre Spule, die viele Windungen sehr dünnen Drahtes besitzt. Die Enden der Sekundärspule sind an zwei gut isolierenden Klemmen herausgeführt. Die Speisung des Induktoriums erfolgt durch Gleichstrom. Zum Betriebe eines

solchen Induktoriums ist nun notwendigerweise ein Unterbrecher erforderlich, den wir uns zunächst ganz beliebig vorstellen können. Infolge des Unterbrechers fließt in der Primärspule des Induktoriums ein sogenannter pulsierender Gleichstrom. Dieser induziert, was Ihnen bekannt ist, in der Sekundärspule eine ebenfalls pulsierende Spannung.

Wir müssen uns nun etwas eingehender mit der Kurvenform des Primärstromes und der Sekundärspannung unterhalten. Man versteht dabei unter Kurvenform die graphische Darstellung der Momentanwerte.

Fig. 45.

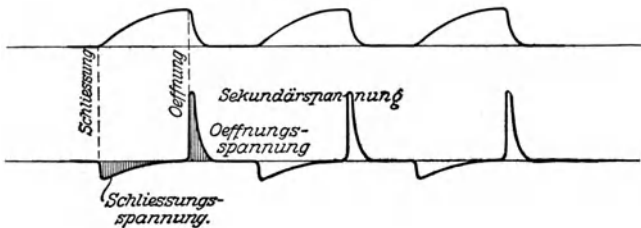


Der Primärstrom wird regelmäßig geschlossen und geöffnet. Der Primärstrom müßte also die in Fig. 45 dargestellte Kurvenform zeigen. Infolge der Selbstinduktion der Primärspule findet das Ansteigen des Primärstromes aber nur allmählich statt. Auch kann der Strom nicht plötzlich unterbrochen werden. Wir erhalten infolgedessen praktisch die nebenstehende Kurvenform (vgl. Fig. 46, obere Kurve).

Unter dem Einfluß dieses Primärstromes wird eine sekundäre Spannung erzeugt, deren zeitlicher Verlauf aus Fig. 46,

Fig. 46.

Primärstrom



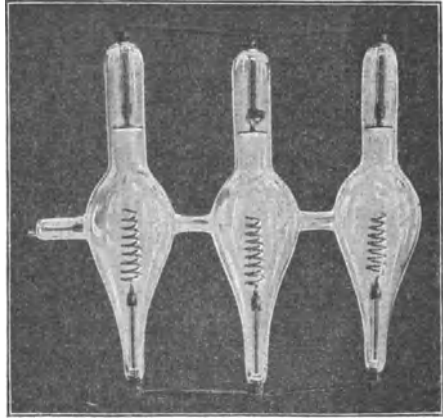
untere Kurve, erkenntlich ist. Der Schließungsstrom induziert also eine verhältnismäßig niedrige Spannung, die sogenannte Schließungsspannung, während der Öffnungsstrom, d. h. der Strom, der beim Öffnen des Primärstromkreises fließt, eine

hohe sekundäre Spannung hervorruft. Wir müssen für den Röntgenbetrieb eine stets gleich gerichtete Spannung erhalten. Die Schließungsspannung stört uns also und würde, wenn wir sie nicht irgendwie beseitigen können, die Röhre mit umgekehrt gerichtetem Strome beschicken, der das sogenannte Schließungslicht erzeugt. — Einmal ist nun die Schließungsspannung ihrem absoluten Werte nach kleiner als die Öffnungsspannung. Dann aber hat man auch Mittel erdosen, um sie in ihrer Wirkung zu unterdrücken.

Die Ventilröhren.

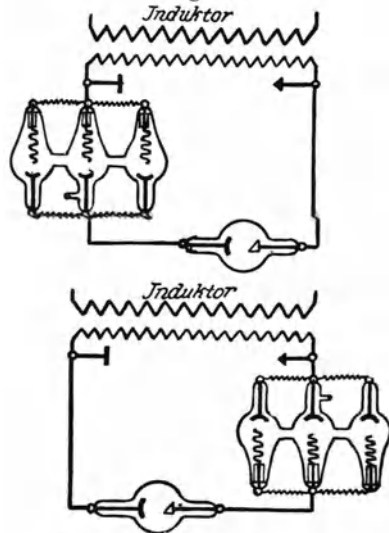
Die Beseitigung des Schließungslichtes geschieht dadurch, daß man den Röntgenröhren sogenannte Ventilröhren vorschaltet. Sie bestehen aus einem Vakuumrohr mit zwei Elektroden (vgl. Fig. 47); in der Figur sind drei solche Röhren parallel geschaltet, um den Spannungsverlust möglichst zu verringern. Die eine Elektrode trägt einen Aluminiumteller, die andere eine Spirale. Solche Röhren haben die Eigenschaft, daß sie den negativen Strom (nur dieser interessiert uns hier, da wir den Strom der negativen Elektroden betrachten,

Fig. 47.



Ventilröhre.

Fig. 48.



Schaltung der Ventilröhren.

hier, da wir den Strom der negativen Elektroden betrachten,

der von der Kathode ausgeht) in der Richtung Spirale—Platte bequem durchlassen, in der umgekehrten Richtung aber sperren. Schaltet man also die Röhre in einer der beiden Arten, die in Fig. 48 wiedergegeben sind, so wird die Schließungsspannung hierdurch unterdrückt.

Andere Vorrichtungen erreichen den gleichen Zweck, doch will ich mich auf die erwähnte beschränken.

Die Unterbrecher. Ich komme jetzt auf die technische Ausgestaltung der Unterbrecher zu sprechen.

Der einfachste Unterbrecher ist der sogenannte Wagner-sche Hammer, der jedem von der elektrischen Klingel her bekannt ist und der auch an kleinen Induktorien angewandt wird. Er kommt zum Betriebe bei Röntgeninstrumentarien praktisch kaum in Frage.

Ich bespreche die Quecksilberunterbrecher und den elektrolytischen oder Wehneltunterbrecher.

Der Wehneltunterbrecher. Fig. 49 zeigt seine äußere Ansicht. Ein Glasgefäß ist mit verdünnter Schwefelsäure von dem spez. Gew. 1,2 gefüllt. In das Gefäß ragen zwei Elektroden, die eine ist eine plattenförmige Bleielektrode. Die andere besteht aus einem Platinstift von 1 oder 3 mm Dicke, der in einem Porzellanrohr verschiebbar angebracht ist. Der Stift ragt nur ein kurzes Ende aus dem Porzellanrohr heraus.

Fig. 49.



Einteiliger Wehneltunterbrecher.

Der Unterbrecher wird so in den Primärkreis des Induktoriums eingeschaltet, daß die Platinelektrode Anode, die Bleielektrode Kathode wird. Hat der durch den Unterbrecher fließende Strom eine bestimmte Stärke, dann kann man an der Platinspitze infolge der Zersetzung des Elektrolyten eine starke Gasentwicklung wahrnehmen. Durch Verstärken des Stromes kann die Gasentwicklung so gesteigert werden, daß die entstehenden Gasblasen den Strom unterbrechen. Vielleicht kann man sich den Vorgang auch so vorstellen, daß die Stromdichte an der Platinspitze äußerst groß ist, deshalb dort die

Flüssigkeit ganz unabhängig von der elektrolytischen Zersetzung zum Sieden gebracht wird und sich eine isolierende Dampfschicht um die Platinspitze lagert.

Beim Öffnen des Stromes entsteht unter dem Einfluß der Induktion der Primärspule eine sehr hohe Spannung, die in Gestalt eines Funkens die Dampfhülle durchschlägt. Man darf annehmen, daß

Fig. 50.

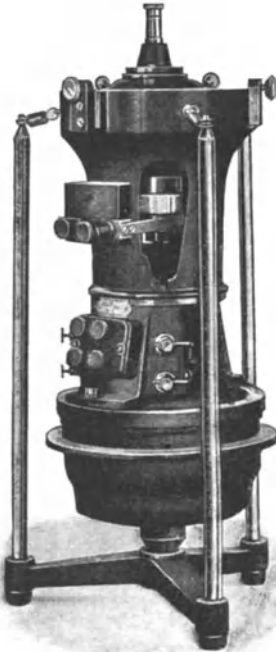
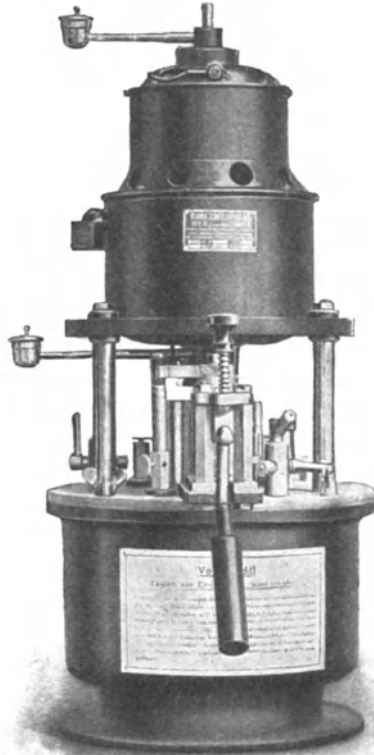


Fig. 51.



Tesla-Unterbrecher der Veifa-Werke, Apex-Gasunterbrecher der Gesellschaft
sog. Deviationsunterbrecher. Reiniger, Gebbert & Schall.

infolge der hohen Temperatur die Dampfhülle in Wasserstoff und Sauerstoff dissoziiert ist. Dieses explosive Gemisch wird durch den Funken zur Explosion gebracht und vereinigt sich wieder zu Wasser. Die Verbindung zwischen dem Platinstift und dem Elektrolyten ist wieder hergestellt, der Stromkreis

wieder geschlossen. Der Vorgang beginnt von neuem. Die einzelnen Explosionen hört man deutlich in dem knatternden Geräusch beim Arbeiten des Unterbrechers. Die Unterbrecherzahl kann bis zu mehreren Hunderten pro Sekunde gesteigert werden.

Außer dem Wehneltunterbrecher mit einer aktiven Spitze werden auch solche mit mehreren Platinspitzen gebaut. Die nähere technische Anweisung findet man in den Gebrauchsanweisungen.

Die Quecksilberunterbrecher. Von den Quecksilberunterbrechern erwähne ich nur die, welche auch heute noch in der Praxis viel gebraucht werden. Dieselben werden von allen

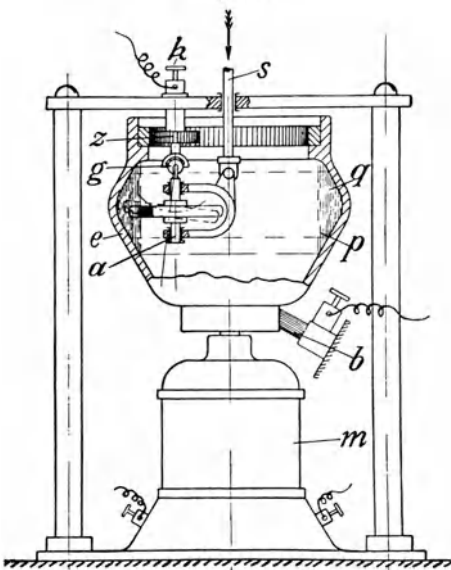
Firmen gebaut, die sich mit der Röntgentechnik beschäftigen.

Die Apparate der Siemens & Halske-A.-G., der Veifa-Werke und der Aktiengesellschaft Reiniger, Gebbert & Schall zeigen im wesentlichen nur zwei verschiedene Typen dieser Unterbrecher. Die eine Ausführungsart wird nach seinem Erfinder als Tesla-Unterbrecher bezeichnet und ist dadurch kenntlich, daß sie zentrifugiertes Quecksilber als Füllung verwendet. Die andere ist

ebenfalls von Tesla ersonnen und wird als Turbinenunterbrecher, häufig auch als Gasunterbrecher in den Listen geführt. Fig. 50 und 51 zeigen zwei Modelle dieser Typen.

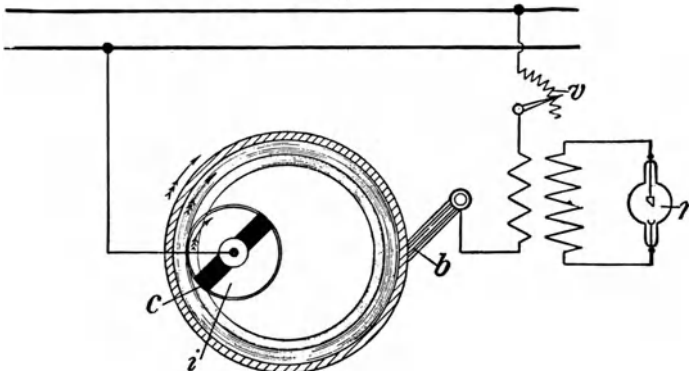
Das Prinzip der ersten Unterbrecherart geht am besten aus Fig. 52 und 53 hervor. Das Quecksilber befindet sich in einem birnenförmigen Metallgefäß, das durch einen kleinen

Fig. 52.



Motor m um die Achse s in Rotation versetzt wird. Das Quecksilber sammelt sich infolge der Zentrifugalkraft in Form eines Ringes im mittleren weiten Teil des Gefäßes an. Exzentrisch im Gefäß gelagert befindet sich, um eine vertikale Achse drehbar, eine Scheibe i aus Isolationsmaterial, in die ein in der Fig. 53 kenntlicher Metallbügel c eingefügt ist. Die beiden Pole des Unterbrechers sind einmal die Achse der kleinen Scheibe und zweitens das Quecksilber, das über das Gefäß und Schleiffedern mit der Klemme b verbunden ist. Das Gefäß e ist innen mit einer Verzahnung versehen, die in ein Zahnrad z eingreift. Dadurch werden die Achse k und die Scheibe i in schnelle

Fig. 53.



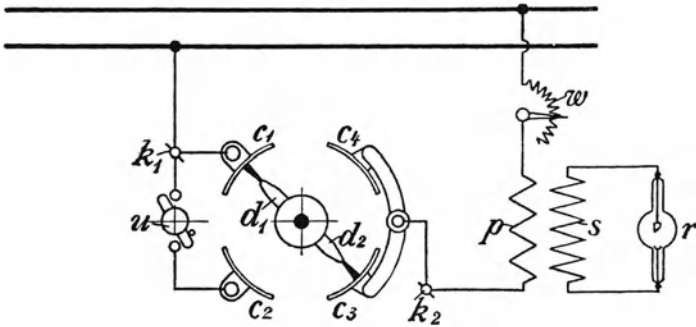
Rotation versetzt. Wenn der Bügel c in das Quecksilber eintaucht, ist der Stromkreis geschlossen. Der beim Öffnen des Stromes gebildete Öffnungsfunke wird durch Petroleum gelöscht. Dieses Petroleum befindet sich bei stillstehendem Unterbrecher über dem Quecksilber, bei seiner Rotation lagert es sich wegen seines geringeren spezifischen Gewichtes als Ring p innerhalb des schwereren Quecksilberringes q .

Die andere Ausführungsart des Quecksilberunterbrechers, der sogenannte Turbinenunterbrecher, benutzt neuerdings keine Löschflüssigkeit, sondern man verwendet nach dem Vorschlage von Tesla fast allgemein ein indifferentes Gas, so daß infolge des Löschfunkens keine Oxydation oder andere chemische Verunreinigung des Quecksilbers eintreten kann.

Man kann hierzu den Unterbrecher an die Leuchtgasleitung anschließen. Ich erkläre das Prinzip an Hand der Fig. 54.

Das Quecksilber befindet sich in einem Gefäß aus Isolationsmaterial. In der Mitte des Gefäßes taucht eine kleine Turbine in das Quecksilber ein, hebt dasselbe in einem Rohre hoch und schleudert es aus zwei seitlich angebrachten Düsen d_1 und d_2 gegen einen Metallring, der verschiedene Ausschnitte

Fig. 54.



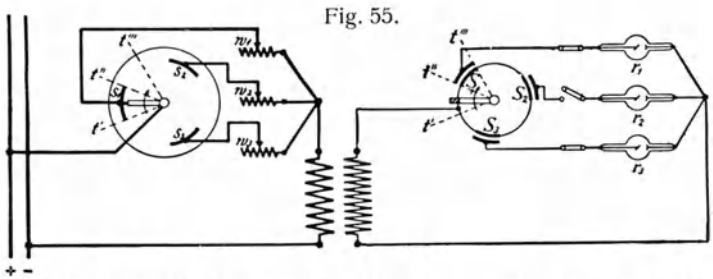
hat. Wie die Figur zeigt, sind die Segmente c_1, c_2, c_3, c_4 des Metallringes mit den Klemmen k_1 und k_2 des Unterbrechers verbunden. Der Quecksilberstrahl stellt die leitende Verbindung zwischen je zwei Segmenten her. Aus der Figur erkennt man weiter, daß, je nachdem der Schalter u geöffnet oder geschlossen ist, zwei oder vier Stromschließungen pro Umdrehung stattfinden.

Ich möchte kurz die besprochenen Unterbrechertypen hinsichtlich ihres praktischen Wertes miteinander vergleichen. Die elektrolytischen Unterbrecher werden zweckmäßig bei hoher Belastung kurzer Dauer, also besonders bei Momentaufnahmen verwandt. Bei rationellem Dauerbetrieb, also bei der Tiefentherapie, setzen sie leicht aus und sind deshalb weniger zu empfehlen. Hier kommen die Quecksilberunterbrecher in Frage. Von beiden ist aber der Turbinenunterbrecher mit Gasfüllung wiederum durchaus zuverlässiger, da er die geringste Wartung auch bei Dauerbetrieb beansprucht. Bei dem Quecksilberringunterbrecher, der Petroleum als Löschflüssigkeit verwendet, tritt erfahrungsgemäß nach längerem Gebrauch ein

Verschlammen des Quecksilbers ein, das auf eine Oxydbildung des Quecksilbers bei der Funkenbildung zurückzuführen ist. Dieses Quecksilberoxyd bildet zusammen mit der Löschflüssigkeit einen dicken Schlamm, der ein Reinigen des ganzen Apparates notwendig macht.

Der Triplexapparat. Bevor ich mich zu den anderen Arten des Betriebes der Röntgenröhren wende, will ich Ihnen noch einen Apparat vorführen, der von der Siemens & Halske-A.-G. konstruiert worden ist und als Triplexapparat bezeichnet wird, da er neben seinen anderen Vorzügen den gleichzeitigen Betrieb von drei Röntgenröhren gestattet.

Der Induktorbetrieb hat auch gegenüber den modernen Hochspannungsgleichrichtern Vorteile, die ihn, wie wir später



Schaltung des Triplexapparates der Siemens & Halske-A.-G.

eingehender besprechen werden, besonders bei der Tiefentherapie den anderen Methoden überlegen zeigen. Um so mehr war es wünschenswert, den theoretischen Nachteil, der allen Induktorien im Schließungslicht anhaftet, gänzlich zu beseitigen. Dies wurde in vollkommenster Weise durch den Triplexapparat dadurch erreicht, daß durch einen rotierenden Umschalter die Röntgenröhre erst in dem Moment eingeschaltet wird, in dem der primäre Strom bereits geöffnet ist. Die Konstruktion im einzelnen geht aus Fig. 55 hervor. Zur Speisung des Instrumentariums wird Gleichstrom benutzt. Als Unterbrecher wird keine der besprochenen Typen verwandt, sondern ein rotierender Unterbrecher oder Umschalter, der durch einen besonderen Elektromotor angetrieben wird und den Stromkreis mechanisch unterbricht.

Aus der Figur ist nun weiter zu ersehen, daß dieser Umschalter drei feste Außenpole s_1, s_2, s_3 besitzt, die über getrennte Widerstände w_1, w_2, w_3 mit dem Induktorium verbunden sind. Über diese Außenpole schleift bei der Rotation ein gemeinsamer Innenpol.

Auf der Hochspannungsseite haben wir einen ganz ähnlichen Umschalter, der ebenfalls auf der Achse des gleichen Antriebmotors sitzt und daher mit dem primären Schalter synchron läuft. Der rotierende Innenpol ist mit der einen Hochspannungsklemme des Induktoriums verbunden. Die drei Außenpole sind getrennt über drei Röntgenröhren an die zweite Hochspannungsklemme angelegt.

Das Wesentliche der neuen Schaltung liegt nun darin, daß der Strom sekundär gerade in dem Moment t'' geschlossen wird, in dem auf der primären Seite der Strom geöffnet wird. Der sekundäre Stromkreis bleibt nur bis zur Zeit t''' geschlossen. Diese Zeit liegt vor dem Moment, in dem der Primärstrom geschlossen wird. Es ist also zwangsläufig gewährleistet, daß nur die Öffnungsspannung an die Röntgenröhre angelegt wird. In der Figur sind sekundär drei verschiedene Röhren angelegt. Man hat dadurch den Vorteil, gleichzeitig drei Patienten behandeln zu können, und kann dabei durch die drei getrennten Widerstände w_1, w_2, w_3 jede der einzelnen Röhren ganz nach Willkür regulieren. Natürlich kann man auch die drei Außenpole des Umschalters gemeinsam an nur eine Röhre legen, wodurch diese während einer einzigen Umdrehung des Schalters nicht nur einmal, sondern dreimal aufleuchtet. Man erhält alsdann ein ruhigeres Licht und eine intensivere Bestrahlung.

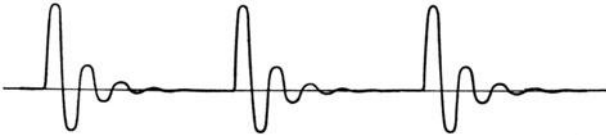
c) Betrieb einer Röntgenröhre mit hochgespannten hochfrequenten Strömen.

Am Ende des Kapitels über die Diathermie habe ich Ihnen einen Zusatzapparat zum gewöhnlichen Diathermieapparat gezeigt und beschrieben, der zum Betriebe einer Röntgenröhre geeignet war. Diese Anwendung der Diathermieströme erscheint zunächst auffallend, da wir doch gesehen haben, daß

diese als Wechselströme höherer Frequenz anzusehen sind, während wir beim Betriebe einer Röntgenröhre Gleichspannung notwendig haben.

In der Einleitung zur Diathermie hatte ich von der Dämpfung hochfrequenter Ströme gesprochen. Wir hatten gesehen, daß die Schwingung nicht bis in alle Ewigkeit fortgeht, sondern je nach der Dämpfung des Stromkreises früher oder später abklingt. Der Verlauf einer solchen gedämpften Schwingung ist in Fig. 56 wiedergegeben. Bei dem Zusatzinstrumentarium zum Diathermieapparat wird der sekundäre Schwingungskreis gebildet durch die Selbstinduktion und die Eigenkapazität

Fig. 56.



der Strahlspule, den Röhrenwiderstand und endlich die kapazitive Erdrückleitung zum anderen Pol der Strahlspule. Dieser Kreis hat eine sehr starke Dämpfung, die im wesentlichen in dem hohen Widerstande der Röhre begründet ist. Die Schwingung ist praktisch schon nach einer halben Periode abgeklungen, nach einer Pause tritt ein neuer Schwingungsimpuls ein, der in demselben Richtungssinne wie der erste einsetzt und ebenfalls nach einer halben Periode bereits abgeklungen ist. Wir erhalten also in der Tat infolge der außerordentlich starken Dämpfung einen pulsierenden Gleichstrom sehr hoher Frequenz. Es braucht uns also auch nicht wunderzunehmen, wenn wir bei dieser Betriebsart der Röntgenröhre eine sehr gute Teilung der Röhre erkennen.

d) Die Hochspannungsgleichrichter.

Der Hochspannungsgleichrichter hat sich in den letzten 6 Jahren immer mehr in der Röntgentechnik eingebürgert. Die Induktoren verlangen Gleichstrom zur Speisung, außerdem bedürfen sie eines Unterbrechers, der früher noch häufiger als heute unzuverlässig arbeitete und Reparaturen erforderlich

machte. Endlich verlangen neuerdings gerade die kürzesten Momentaufnahmen sehr hohe Energien, für die das Induktorium mit Quecksilberunterbrecher weniger geeignet ist.

Die Hochspannungsgleichrichter gehen von Wechselstrom aus, der durch einen normalen eisengeschlossenen Transformator auf die erforderliche Hochspannung transformiert wird. Dieser hochgespannte Wechselstrom muß aber, um zum Röntgenbetrieb geeignet zu sein, erst in Gleichstrom umgewandelt werden. Das geschieht durch einen synchron zur Periode des Wechselstromes laufenden mechanischen Umschalter, von dem wir im folgenden eingehender hören werden.

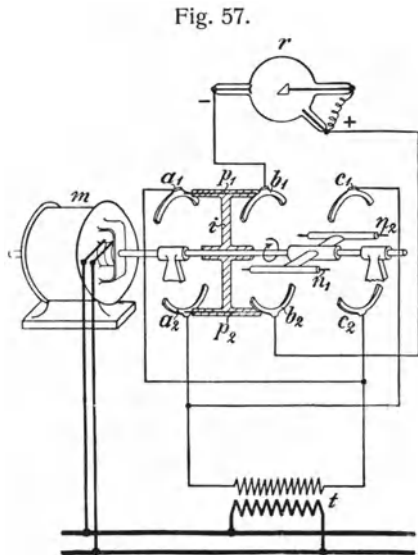
Ich habe gesagt, daß wir hier zur Erzeugung hoher Spannungen keinen Induktor, sondern einen Transformator verwenden. Ein wesentlicher Unterschied besteht zwischen beiden Apparaten nicht. Der Induktor ist der historisch ältere Typ. Der Transformator unterscheidet sich von diesem prinzipiell nur dadurch, daß er einen geschlossenen Eisenkern hat, während man bei dem Induktor einen offenen Eisenkern, der aus einzelnen Drähten zusammengesetzt ist, verwendet. In der Elektrotechnik hat man zur Transformation der Spannung den Induktor schon sehr bald verlassen, da er im Vergleich zum Transformator viel weniger wirtschaftlich arbeitet.

Bei einem solchen Transformator verhält sich die sekundäre Spannung zur primären wie die Windungszahl der sekundären Spule zur primären Windungszahl. Man kann also durch besondere Konstruktion des Transformators sekundär gerade die zum Betriebe der Röntgenröhre gewünschte Spannung bei einer gegebenen primären Netzspannung erhalten. Das Problem der Umformung des hochgespannten Wechselstromes in Gleichstrom bietet prinzipiell gar keine Schwierigkeiten, nur die praktische Ausführung wurde erst in den letzten Jahren voll gelöst. Heutzutage sind technische Schwierigkeiten nicht mehr vorhanden. Die verschiedenen Firmen bauen sämtlich Hochspannungsgleichrichter, die alle in ihrer Art einwandfrei arbeiten.

Ich hatte eingangs angedeutet, daß man die Wechselspannung dadurch in eine Gleichspannung verwandelt, daß man den während der einen Halbperiode umgekehrt gerichteten

Strom durch einen Stromschalter umkehrt. Der hierzu verwandte Umschalter wird durch Fig. 57 veranschaulicht. Diese Figur gibt eine Schaltung der Siemens & Halske-A.-G. wieder, die ich als Beispiel hier anführen will. Von dem gleichen Wechselstromnetz wird einmal der Wechselstromtransformator t gespeist und außerdem ein sogenannter Synchronmotor m . Dieser Motor kann kurz dadurch gekennzeichnet werden, daß seine Umdrehung zeitlich zwangsläufig mit der Periode des Wechselstromes verbunden ist, d. h. während einer Periode des Wechselstromes macht der Motor genau eine ganze, eine halbe, eine drittel usf. Umdrehung, je nach dem speziellen Bau des Motors. In der Figur ist ein sogenannter vierpoliger Synchronmotor zugrunde gelegt, bei dem während einer Umdrehung gerade zwei volle Perioden ablaufen.

Der Umschalter hat sechs feste Pole, $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$. Von diesen führen b_1 und b_2 nach der Röntgenröhre. a_1 und c_2 sind mit dem einen Pol des Transformators verbunden, während a_2 und c_1 nach dem anderen Pol führen. Auf der Achse des Synchronmotors sitzen zwei um 90° gegeneinander gedrehte Bügel p und n aus Isolationsmaterial. Diese tragen wiederum je zwei in der Figur deutlich sichtbare Metallstäbe parallel zur Achse. Durch diese Metallstäbe wird während jeder vollen Umdrehung je zweimal eine metallische Verbindung hergestellt zwischen a_1 und b_1 bzw. a_2 und b_2 , oder zwischen b_1 und c_1 bzw. b_2 und c_2 . Jede dieser Verbindungen wird durch den einen Bügel hergestellt, während der andere Bügel sich frei in der Zwischenstellung befindet. Aus der Figur ist leicht zu ersehen,



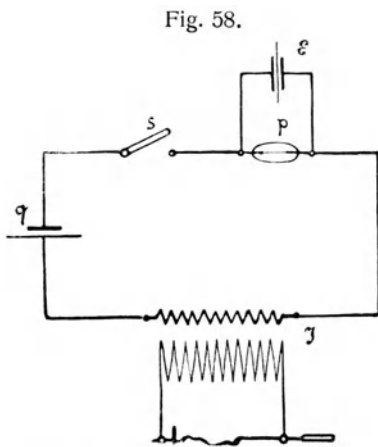
Hochspannungsgleichrichter
der Siemens & Halske-A.-G.

Der Umschalter hat sechs feste Pole, $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$. Von diesen führen b_1 und b_2 nach der Röntgenröhre. a_1 und c_2 sind mit dem einen Pol des Transformators verbunden, während a_2 und c_1 nach dem anderen Pol führen. Auf der Achse des Synchronmotors sitzen zwei um 90° gegeneinander gedrehte Bügel p und n aus Isolationsmaterial. Diese tragen wiederum je zwei in der Figur deutlich sichtbare Metallstäbe parallel zur Achse. Durch diese Metallstäbe wird während jeder vollen Umdrehung je zweimal eine metallische Verbindung hergestellt zwischen a_1 und b_1 bzw. a_2 und b_2 , oder zwischen b_1 und c_1 bzw. b_2 und c_2 . Jede dieser Verbindungen wird durch den einen Bügel hergestellt, während der andere Bügel sich frei in der Zwischenstellung befindet. Aus der Figur ist leicht zu ersehen,

daß dadurch die Röntgenröhre zuerst in einem, dann in umgekehrtem Sinne an den Transformator angelegt wird. Die Verbindung zwischen den erwähnten Metallstäben und den festen Polen wird durch überspringende Funken hergestellt. Prinzipiell ist damit die Aufgabe der Gleichrichtung des hochgespannten Wechselstromes gelöst. Natürlich muß der Umschalter so auf die Achse des Motors aufgesetzt sein, daß der Moment der Umschaltung gerade zusammenfällt mit dem Moment, in welchem die Wechselspannung von einem negativen Werte zu einem positiven Werte übergeht und umgekehrt.

e) Das Einzelschlagverfahren.

Wir wenden uns jetzt einem Kapitel zu, das uns zu den modernsten Erfolgen der Röntgentechnik führt, nämlich den sogenannten Einzelschlagaufnahmen. Unter diesem Namen bezeichnet man kurze Momentaufnahmen, deren Zeitdauer der



Schaltung des Blitzapparates.

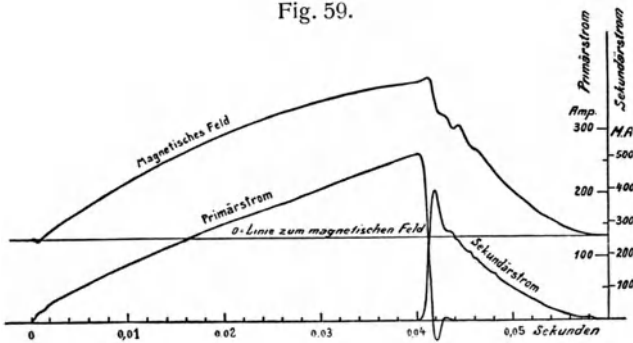
Größenordnung nach etwa $\frac{1}{100}$ Sekunde beträgt. So kurze Aufnahmen sind in sehr verschiedenen Fällen praktisch notwendig geworden. Ich erwähne hier die Herzaufnahmen, bei denen man z. B. die Konturen des schnell bewegten Herzrandes mit Sicherheit aufnehmen will. Solche Momentaufnahmen außerordentlich kurzer Belichtungszeit sind technisch einmal so ausführbar, daß die Röhre dauernd in Betrieb ist und etwa durch

einen Jalousieverschluß das Licht der Röhre nur während äußerst kurzer Zeit frei auf die Kassette fallen kann. Der zweite Weg ist der, daß man die Röhre nur blitzartig aufleuchten läßt. Die zweite Möglichkeit ist in verschiedener Weise praktisch zur Ausführung gekommen.

Begrifflich am einfachsten ist die dem Blitzapparat der Veifa-Werke zugrunde liegende Methode, die von Dessauer¹⁾ herrührt. Das Prinzip dieser Methode ist in Fig. 58 wiedergegeben. Auch habe ich einen entsprechenden Versuch vorbereitet. Ein Induktorium J ist über einen Schalter s an eine Gleichstromspannung von 110 Volt angelegt. In den Stromkreis ist außerdem eine sogenannte Patrone p eingeschaltet. Parallel zu ihr liegt eine Kapazität E . Der physikalische Vorgang bei einer Einzelschlagsaufnahme mit einem solchen Apparat ist kurz folgender:

Wird der Schalter S geschlossen, so fließt ein Strom durch die Leitung und die Primärspule des Induktoriums, der aber infolge der Selbstinduktion des Induktors nicht momentan seinen maximalen Wert annimmt, sondern nur ganz allmählich ansteigt²⁾, bis er nach Ablauf von etwa 0,04 Sekunden seinen

Fig. 59.



maximalen Wert von etwa 240 Amp. erreicht. Wegen des langsamen Anstiegs kann die hierbei sekundär induzierte Spannung praktisch vernachlässigt werden. In diesem Moment tritt die Patrone p in Funktion. Sie besteht aus einem feinen Schmelzdraht von 0,3 bis 0,5 mm Stärke, der in eine feinkörnige Masse eingehüllt und von einem Glasröhrchen umschlossen ist.

¹⁾ Dessauer und Wiesner, Ein neues Röntgenaufnahmeverfahren. Münch. med. Wochenschr. 1909.

²⁾ Die Kurven der Ströme sind in Fig. 59 wiedergegeben. Die Kurventafel ist den Druckschriften der Firma entnommen.

Bei der sehr hohen primären Grenzstromstärke von 240 Amp. kommt das Drähtchen zur Explosion und vergast. Dieses Gas steht naturgemäß unter einem sehr hohen Druck und reißt den Öffnungsfunken ab. Dieses ist sehr wichtig, um ein plötzliches Unterbrechen des primären Stromes zu gewährleisten. Nach den Angaben der Firma dauert die Unterbrechung des Stromes nur $\frac{2}{1000}$ Sekunde. Infolge dieser sehr schnellen Unterbrechung entsteht sekundär ein beträchtlicher Induktionsstoß, der wegen der im Eisenkern aufgespeicherten magnetischen Energie zwar nicht sofort, aber doch innerhalb $\frac{1}{100}$

Fig. 60.



Herzaufnahme mit Blitzapparat.

bis $\frac{1}{300}$ Sekunde vollständig abklingt. Während also die Unterbrechung außerordentlich plötzlich, explosionsartig erfolgt, ist es für den schließungslichtfreien Betrieb unbedingt erforderlich, daß beim Schließen der primäre Strom nur allmählich ansteigt. Das ist auch, wie ich oben schon sagte, in der Tat der Fall; der während des Ansteigens der Primärstromstärke induzierte Strom kann nach den Angaben der Firma praktisch vernachlässigt werden. Durch Vorschalten von Ventilröhren kann man die Schließungsspannung gänzlich unterdrücken. Fig. 60 zeigt

eine Herzaufnahme die mit diesem Apparat bei einer Belichtungszeit von etwa $\frac{1}{300}$ Sekunde angefertigt ist.

Der Einzelschlagapparat der Firma Reiniger, Gebbert & Schall wird unter dem Namen Uniplusapparat in den Handel gebracht. Die notwendige äußerst schnelle Unterbrechung des Primärstromes wird hier dadurch erzielt, daß ein amalgamierter Kupferstab schnell aus flüssigem Quecksilber herausgerissen wird.

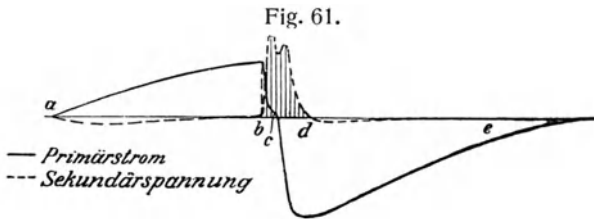
Ohne besondere Mittel würde diese Art der Stromunterbrechung aber keineswegs dazu genügen, den Strom hinreichend schnell zu unterbrechen. Es würde vielmehr ein Öffnungsfunken entstehen, der ein nur verhältnismäßig langsames Abklingen des Stromes bedingen würde. Die Gesellschaft hat deshalb die Konstruktion so ausgeführt, daß der starke Kupferstift in einer Hülle aus isolierendem Material leicht auf- und abgleiten kann. Über dem Quecksilber befindet sich als Löschflüssigkeit Petroleum. Der Spiegel des Quecksilbers liegt ungefähr in der Mitte der isolierenden Hülle. Wird jetzt der Bolzen hochgezogen, so zieht er zunächst einen Quecksilberfaden aus dem Quecksilberspiegel heraus. In diesem Faden wird die Stromdichte so groß, daß das Quecksilber explosionsartig verdampft und dabei das flüssige Quecksilber in der Hülle nach unten stößt. Dadurch wird der Öffnungsfunke kurz nach seinem Entstehen abgerissen und der Strom äußerst schnell unterbrochen. Die sekundär induzierte Spannung ist der Größe nach von der Schnelligkeit des Abreißens des primären Stromes abhängig. Diese hängt nun bei dieser Konstruktion nicht, wie man zunächst annehmen könnte, von der mehr oder weniger schnellen Handhabung ab, mit der der Kupferbolzen herausgezogen wird, sondern die Schnelligkeit des Stromunterbrechens ist nach den Angaben der Firma praktisch nur von der Heftigkeit der Explosion bestimmt. Nur darf man den Kupferstift nicht so langsam herausziehen, daß das zurückpendelnde Quecksilber den Kupferbolzen noch einmal erreicht und dadurch der Stromkreis zum zweitenmal geschlossen wird.

Das Verfahren des Einzelschlages, das die Siemens & Halske-A.-G. verwendet, unterscheidet sich prinzipiell da-

durch von den besprochenen, daß es nicht den Induktionsstoß, der beim Öffnen, sondern beim Kommutieren des Primärstromes entsteht, benutzt. Die sekundär induzierte Spannung hängt von der Geschwindigkeit des Schaltvorganges ab. Der Schaltvorgang veranlaßt im wesentlichen eine Veränderung der Magnetisierung des Eisenkerns. Außer der Schnelligkeit, mit der diese Veränderung vor sich geht, ist auch ihre absolute Größe für den Induktionsstoß maßgebend. Die Magnetisierung oder die magnetische Induktion des Eisenkerns ist bekanntlich um so höher, je höher der erregende Primärstrom ist. Hat der Strom einen bestimmten Wert und öffne ich, so sinkt die Induktion von einem gewissen Betrage auf einen kleineren Betrag herunter. Das Kommutieren des Stromes setzt sich nun zusammen aus Öffnen und Schließen in umgekehrter Richtung. Schließt man den Strom in umgekehrter Richtung, so erhält man eine ebenfalls umgekehrt gerichtete Induktion, die man also mit einem negativen Betrage einsetzen kann. Beim Kommutieren des Primärstromes gehen wir also von einem positiv angesetzten Betrage der Induktion aus, dann über den Wert Null zu einem negativen Betrage derselben. Man kann also auch sagen, die Induktion nimmt dauernd ab. Dieser ständigen Abnahme der Induktion beim Öffnen und Schließen entspricht ein ständig gleichgerichteter Induktionsstoß in der sekundären Spule. Man kann jedenfalls sagen, daß man beim Kommutieren des Primärstromes in der sekundären Spule einen größeren Induktionsstoß erhält als beim bloßen Öffnen des Primärstromes. Im einzelnen liegen diese Verhältnisse nicht ganz einfach. Der Grund liegt in den magnetischen Eigenschaften des Eisenkernes, die ich im Rahmen dieser Vorträge natürlich nicht ausführlich behandeln kann. Beim Kommutieren haben wir zwei Vorgänge unterschieden, das Öffnen und das Schließen des Primärstromes. Bei beiden erhalten wir, der ständigen Abnahme der Induktion entsprechend, sekundär eine ständig gleichgerichtete Spannung, eine sogenannte Öffnungsspannung und eine Schließungsspannung. Diese Ausdrücke kennen wir von der Besprechung des Induktatoriums her. Wir haben dort gesehen, daß die Öffnungsspannung zwar leicht hinreichend große

Werte annehmen kann, daß aber die Schließungsspannung demgegenüber klein bleibt, und zwar deshalb, weil der primäre Strom infolge der Selbstinduktion der primären Spule nur langsam ansteigt. Die bei der praktischen Ausnutzung der Schließungsspannung auftretende Schwierigkeit ist nun von Siemens & Halske so behoben, daß man während des Schließungsstadiums des Kommutierens die Selbstinduktion des Stromkreises, die an der geringen Schließungsspannung schuld ist, künstlich verkleinert, indem einige Windungen der Primärspule kurz geschlossen werden.

Bevor der Strom kommutiert werden kann, muß er naturgemäß zunächst geschlossen werden. Während dieses Schließens soll aber sekundär überhaupt kein Strom induziert werden. Das setzt voraus, daß der Vorgang nur allmählich vor sich geht.



Um dies sicher zu gewährleisten, dient bei den Siemens & Halske-Apparaten ein Stufenschalter, der beim Ein- und Ausschalten der ganzen Apparatur vor und nach dem Kommutieren betätigt wird. Der zeitliche Verlauf des Primärstromes und der Sekundärspannung ist durch Fig. 61 wiedergegeben.

Die besprochenen Verfahren der Einzelschlagaufnahmen setzen Gleichstromanschluß voraus. Dies hat gewisse Nachteile, da der Wechselstrom heutzutage immer mehr in den Stadtnetzen verwandt wird. Man kann in solchen Fällen natürlich Gleichstrom-Wechselstromumformer aufstellen, die aber recht teuer sind, auch Platz beanspruchen und endlich niemals vollkommen geräuschlos arbeiten. Um diesem Mangel abzuhelpen, hat die Siemens & Halske-A.-G. einen Einzelschlagapparat konstruiert, der an Wechselstrom direkt angeschlossen werden kann. Prinzipiell wäre dieses Problem

schon gelöst, wenn man einen Schalter konstruiert, der den Transformator eines Hochspannungsgleichrichters nur während einer Halbwelle, also während einer hundertstel Sekunde, einschaltet. Die sekundär induzierte Spannung würde durch den Hochspannungsgleichrichter gleichgerichtet und wäre somit für den Röntgenbetrieb geeignet. Nun kommt es aber bei Wechselstrom nicht nur auf die Zeitdauer an, während welcher der Transformator eingeschaltet bleibt, sondern es spielt auch die Phase der Spannung im Moment des Einschaltens eine Rolle, d. h. es kommt darauf an, welchen Momentanwert gerade die Spannungskurve hat.

Der von Siemens & Halske ersonnene Apparat löst auch dieses Problem in sehr vollkommener Weise, so daß man in ihm auch einen zuverlässigen Einzelschlagapparat für Wechselstromanschluß besitzt.

f) Hochspannungsgleichrichter mit intermittierendem Betriebe.

Der Hochspannungsgleichrichter hat sich in den letzten Jahren außerordentlich schnell in der Praxis eingeführt. Stellt man nun die Frage auf, welcher Apparatetyp der zweckmäßigere ist, der Induktor oder der Gleichrichter, so muß man diese Frage nach verschiedener Richtung hin entscheiden. Der Hochspannungsgleichrichter hat dem älteren Induktor gegenüber sicherlich den Vorteil eines besseren Wirkungsgrades. Dann ist der Gleichrichter immer dort im Vorteil, wo Wechselstrom zur Verfügung steht.

Vergleicht man nun aber einmal die Kurvenform der Spannung, die bei beiden Betriebsarten der Röntgenröhre aufgedrückt wird, so erkennt man zwischen beiden Kurven einen prinzipiellen Unterschied.

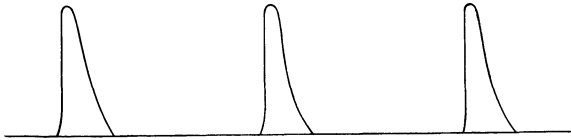


Die Kurve des Hochspannungsgleichrichters hat die obenstehende Form, vgl. Fig. 62, wobei angenommen ist, daß die Wechselspannung des Stadtnetzes sinusförmig ist. Praktisch

ist das auch stets der Fall. Die Kurve des Induktors ist in Fig. 63 abgebildet. Bei dem Induktorium haben wir, wie aus der Figur deutlich zu erkennen ist, einen sehr schnellen Anstieg der Spannung auf einen hohen Wert und einen ebenso schnellen Abfall. Die Kurve des Gleichrichters zeigt demgegenüber einen langsamen Anstieg und langsamen Abfall, der nach dem bekannten Sinusgesetz verläuft.

Nun haben wir früher gehört, daß der Härtegrad der Strahlen um so größer ist, je höher die angelegte Spannung ist. Einen konstanten Härtegrad der Röntgenstrahlen kann man also nur dann erwarten, wenn die Klemmenspannung der Röhre konstant bleibt. Beim Induktor und beim Gleichrichter wird der Härtegrad der Röhre entsprechend dem zeitlichen Verlauf der Spannungskurve ein variabler sein. Aus den beiden Kurven geht aber andererseits mit Sicherheit hervor, daß der Gehalt

Fig. 63.



an harten Strahlen prozentig bei dem Induktorium größer sein wird, als beim Gleichrichter. Nun kommt es gerade in der Therapie, und besonders in der Tiefentherapie, auf eine harte Strahlung an. Man hat nun deshalb nicht mit Unrecht die Behauptung aufgestellt, daß der Induktor bei der Tiefentherapie gegenüber dem Gleichrichter Vorteile hat. Nun hat man dem Induktorium noch einen anderen Vorteil nachgerühmt, der ihm auch sicherlich zukommt und der wiederum in der Eigentümlichkeit seiner Kurvenform bedingt ist. Bei dem Induktorium ist nur die Öffnungsspannung wirksam und diese dauert nur eine kurze Zeit. Zwischen je zwei solchen Öffnungsspannungen liegen verhältnismäßig große Pausen, das ist für einen guten Röntgenbetrieb von besonderem Vorteil, wie wir aus dem Folgenden erkennen werden.

Beim Durchgang der Röntgenstrahlen durch das Vakuum werden die Gasreste ionisiert. Die Gasmoleküle und die Atome

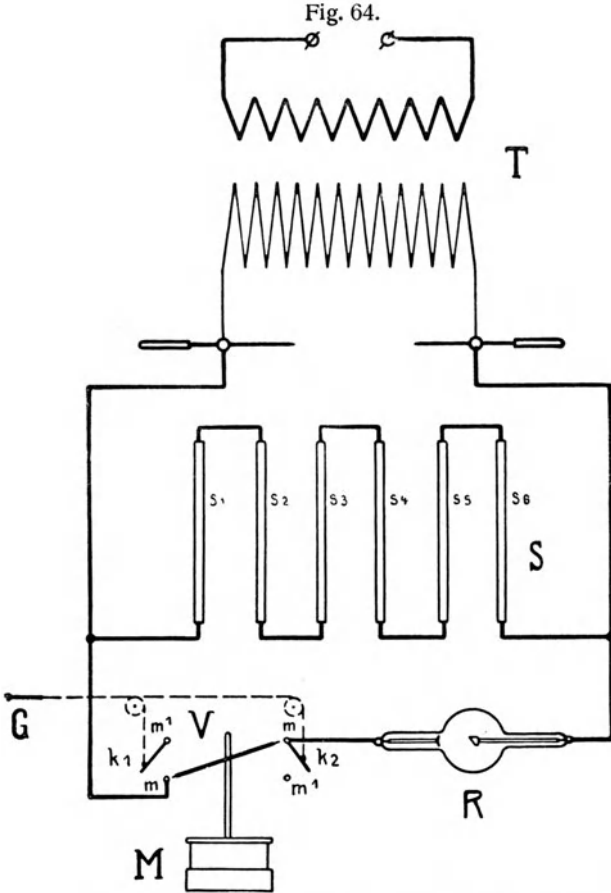
werden in ihre elektrischen Bausteine zerlegt und setzen alsdann dem Elektrizitätsdurchgang einen geringeren Widerstand entgegen. Es ist also eine geringere Anfangsspannung erforderlich und die Strahlen werden dementsprechend weicher, oder richtiger gesagt, der prozentige Gehalt an weichen Strahlen wird größer. Während längerer Betriebspausen nimmt die Röhre ihren alten Zustand wieder an. Hierzu sind gerade die Pausen, die, wie oben erwähnt, bei dem Induktorbetrieb auftreten, gut geeignet, während bei dem normalen Gleichrichterbetrieb die Röhre sich zwischen zwei Impulsen nicht erholen kann und deshalb eine weichere Strahlung liefert. Außer der erwähnten Ionisierung kann natürlich auch die Erwärmung der Antikathode eine Rolle spielen. Bei größeren Pausen zwischen zwei Impulsen kann die Abkühlungsvorrichtung der Röhre besser in Wirkung treten.

Nachdem man einmal diesen Nachteil des Gleichrichterbetriebes erkannt hatte, war es nicht schwer, diesem Mangel abzuhelpfen. Die Veifa-Werke z. B. haben hierzu in ihrem Reformapparat folgenden Weg eingeschlagen. Die Schaltung des Apparates ist in Fig. 64 dargestellt.

Auch hier wird der Wechselstrom in einem Transformator T auf die erforderliche Spannung transformiert. Von der Hochspannungsseite des Transformators haben wir zwei Stromwege. Auf dem einen Wege wird der Röhre gleichgerichteter Strom zugeführt, und zwar bei dem üblichen Wechselstrom von 50 Perioden je nach Wunsch während einer Sekunde 50 oder 25 Impulse, während man bei normalem Gleichrichterbetriebe zweimal $50 = 100$ Impulse pro Sekunde erhalten würde.

Von den Hochspannungsklemmen des Transformators führt ein anderer Weg über die Hochspannungswiderstände $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6$, die zur Aufnahme der von der Röhre nicht aufgenommenen Stromimpulse bestimmt sind. Um die Röhre im richtigen Moment an den Transformator zu schalten, dient ein Schalter V , der von einem Synchronmotor angetrieben wird. Dieser Motor macht während zwei voller Perioden des Wechselstromes eine Umdrehung. Der Schalter V hat vier

Segmente, m , m , m_1 und m_1 , von denen je zwei, der Figur entsprechend, senkrecht übereinander angeordnet sind. Die beiden Segmentpaare stehen diametral gegenüber, sind also um 180° gegeneinander verschoben. Auf der Achse des Synchron-

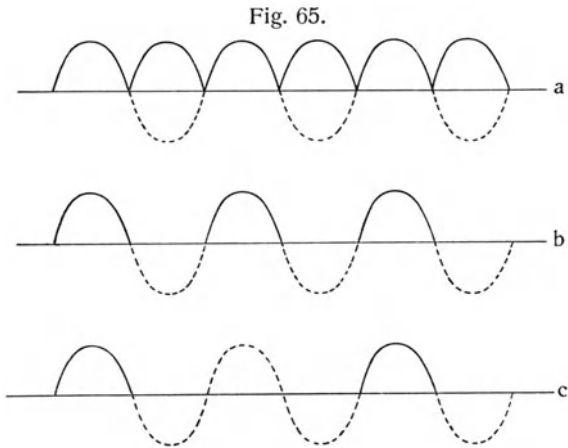


Schaltung des Reformapparates der Veifa-Werke.

motors sitzt eine Nadel schräg auf, wie die Figur zeigt. Durch einen Handgriff können die Segmente m m_1 rechts und links miteinander verbunden werden. Ist diese Verbindung zunächst noch nicht hergestellt, dann wird durch die Nadel während jeder vollen Umdrehung des Motors die Röhre einmal an den

Transformator angelegt. Nach einer Umdrehung von 180° verbindet zwar die Nadel die Segmente $m_1 m_1$, diese liegen aber frei. Sobald nun m mit m_1 rechts und links verbunden ist, wird die Röhre während einer Umdrehung zweimal an den Transformator angelegt. Der Schalter wird natürlich so eingestellt, daß während dieser Schaltmomente die Spannung für die Röhre richtig gepolt ist. Den Erfolg dieser Konstruktion erkennt man am besten aus Fig. 65.

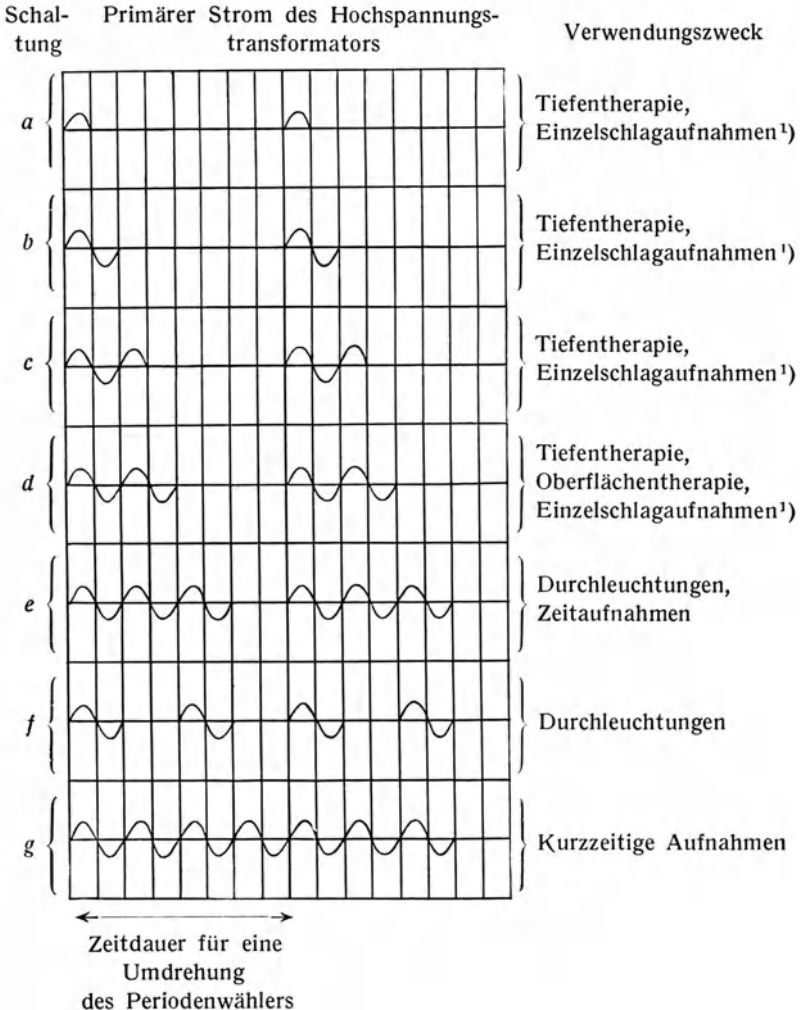
Während die ausgezogene Kurve *a* die gleichgerichtete Kurve bei dem normalen Gleichrichterverfahren zeigt, veranschaulicht die ausgezogene Kurve *b* den Fall, daß bei dem



Veifa-Apparat die Bügel $m m_1$ nicht miteinander verbunden werden. Die Kurve *c* zeigt endlich den Fall, daß diese Verbindungen hergestellt sind. Im Falle *c* ist also die Pause zwischen zwei Impulsen dreimal so groß wie im Falle *b*, während im Falle *a*, also beim normalen Gleichrichter, überhaupt keine Pausen zwischen zwei Impulsen vorhanden sind.

Zur gleichen Gruppe gehört auch der neue Periodenwähler der Siemens & Halske-A.-G., der den gleichen Zweck verfolgt wie der Reformapparat und eine außerordentlich große Mannigfaltigkeit in der Wahl des Verhältnisses zwischen der Impulszeit und Dauer einer Pause zuläßt.

Er besteht im wesentlichen aus einem normalen Gleichrichterapparat und einem Zusatzapparat. Dieser ist ähnlich



gebaut wie der besprochene Gasturbinenunterbrecher. Er wird von einem Synchronmotor angetrieben. Dadurch kann er

¹⁾ Für Einzelschlagaufnahmen wird der primäre Strom nur bei einer einzigen der Umdrehungen des Periodenwählers eingeschaltet.

reicht werden, daß der Primärstrom während einer ganz bestimmten Phase eingeschaltet wird. Es ist bei dieser Konstruktion außerdem möglich, sehr verschiedene Periodengruppen herauszugreifen. Vorstehende Tabelle veranschaulicht die verschiedenen Möglichkeiten.

Die Spannungskurve an der Röntgenröhre unterscheidet sich von der abgebildeten Kurve des Primärstromes im wesentlichen nur dadurch, daß die negativen Halbwellen nach der positiven Seite umgeklappt sind. Wird entsprechend Kurve *a—d* der Apparat zu Einzelschlagaufnahmen verwandt, so muß man sich in der Tafel die Kurvenzüge während der zweiten Umdrehung fortdenken. Der primäre Strom ist dann nur während einer Umdrehung des Periodenschalters eingeschaltet.

Einen Betrieb ohne Pausen benutzt man nur bei kurzzeitigen Aufnahmen, während man in der Tiefentherapie besonders große Pausen wählen muß.

4. Die Meßinstrumente der Röntgentechnik.

Ich wende mich jetzt einem letzten Kapitel zu, das die Meßinstrumente der Röntgentechnik behandeln soll. Gerade dieses Kapitel hat in der Röntgentherapie und vor allem in der Tiefentherapie eine ständig zunehmende Bedeutung erlangt.

Im Rahmen dieser Vorträge möchte ich mich auf die Beschreibung der Härtemesser und der Dosimeter beschränken.

a) Die Härtemesser.

Es sind außerordentlich viele Härtemesser vorgeschlagen und auch konstruiert worden. Einer der gebräuchlichsten Härtemesser ist der von Walter. Fig. 66 zeigt seine äußere Ansicht. Er besteht aus einer Bleiplatte, in die acht kreisrunde Löcher eingeschnitten sind. Aus Fig. 67 ist die Lage dieser Löcher zu erkennen. Die Löcher sind mit Platinblechen bedeckt, deren Dicke in geometrischer Progression

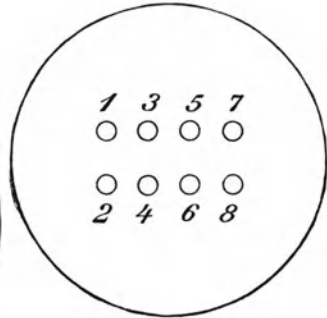
zunimmt und 0,005, 0,01, 0,02, 0,04 usf. bis 0,64 mm beträgt. Hinter den Platinfeldern ist ein Fluoreszenzschirm angebracht, darüber zum Schutz der Augen eine dicke Bleiglasplatte. Betrachtet man durch die Schutzplatte den Fluoreszenzschirm, während auf die Platinbleche Röntgenstrahlen auffallen, so wird die fluoreszierende Schicht verschieden hell aufleuchten, da die starken Bleche die Strahlen stärker absorbieren als die schwachen; einige Felder werden sogar ganz dunkel bleiben. Die Nummer des letzten sichtbaren Platinfeldes gibt die Härte der Strahlen in Walter-Einheiten an.

Fig. 66.



Walter-Härtemesser.

Fig. 67.



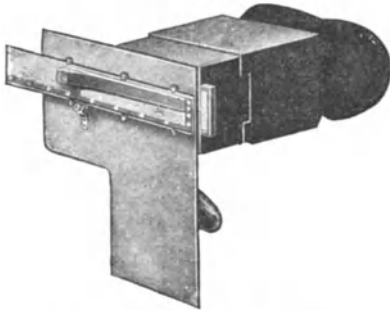
Der Fehler, der dieser Methode zugrunde liegt, besteht darin, daß das Resultat außer von der Härte der Strahlen auch

von ihrer Intensität abhängt. Diese nun ist stark abhängig von der Entfernung der Röhre vom Härtemesser. Walter gibt an, man solle den Härtemesser von der Röhre nur wenige Centimeter entfernen.

Ebenfalls sehr viel im Gebrauch sind zwei Härtemesser, die auf gleichem Prinzip beruhen, der Härtemesser nach Wehnelt und der Härtemesser nach Benoist. Fig. 68 zeigt den Härtemesser nach Wehnelt, der im Handel auch als Kryptoradiometer bezeichnet wird. Das Gesichtsfeld, das 5 mm breit und 20 mm lang ist, ist in zwei Hälften geteilt.

Die untere Hälfte ist von einer Silberfolie von 0,09 mm Dicke bedeckt, vor der oberen Hälfte läßt sich ein 16 cm langer Aluminiumkeil leicht hin und her bewegen. Seine Dicke variiert zwischen 1 und 11 mm. Vor dem Gesichtsfelde befindet sich auch hier ein Fluoreszenzschirm und eine Bleiglasplatte. Bei der Messung verschiebt man den Aluminiumkeil, bis beide Hälften des Gesichtsfeldes gleich hell erscheinen.

Fig. 68.



Härtemesser nach Wehnelt.

Je nachdem man es mit harten oder weichen Strahlen zu tun hat, muß man den Keil nach seinem dicken oder dünnen Ende bewegen. Dies beruht darauf, daß Stoffe von hohem Atomgewicht, wie z. B. das Silber, harte und weiche Strahlen fast gleich stark absorbieren, während bei Stoffen von kleinem Atomgewicht, also z. B. Aluminium, das Absorptionsvermögen sehr stark von dem Härtegrad der Strahlen abhängt. Die Verschiebung des Aluminiumkeiles gibt ein Maß für die Härte der Strahlen.

Während der Wehnelt-Härtemesser jeden Grad der Härte zwischen zwei Endwerten zu messen gestattet, beschränkt sich der auf dem gleichen Prinzip beruhende Härtemesser nach Benoist auf zwölf willkürlich herausgegriffene Grade. Im mittleren Gesichtsfelde befindet sich ein rundes Silberblech. Um dieses herum sind zwölf ebenfalls runde Aluminiumbleche symmetrisch angeordnet. Die Handhabung dieses Apparates ist genau wie bei dem Wehnelt-Härtemesser. Man sucht bei der Messung das Aluminiumblech aus, das die gleiche Helligkeit zeigt, wie das in der Mitte befindliche Silberblech. Die verschiedenen Aluminiumbleche tragen Nummern, die den Härtegrad nach Benoist angeben.

Prinzipiell sind diese beiden zuletzt besprochenen Härtemesser der Walterskala überlegen, da ihre Angaben von der Intensität der Strahlung unabhängig sind. Auch sie sind von

der subjektiven Einstellung des Beobachters und dessen Fehlern abhängig. Besondere Schwierigkeiten ergeben sich bei inhomogener Strahlung, mit der man praktisch stets zu rechnen hat. Ich will jedoch auf diesen Punkt nicht eingehen.

Vergleichstabelle der konventionellen Härteskalen mit dem absoluten Maß der Halbwertschicht.

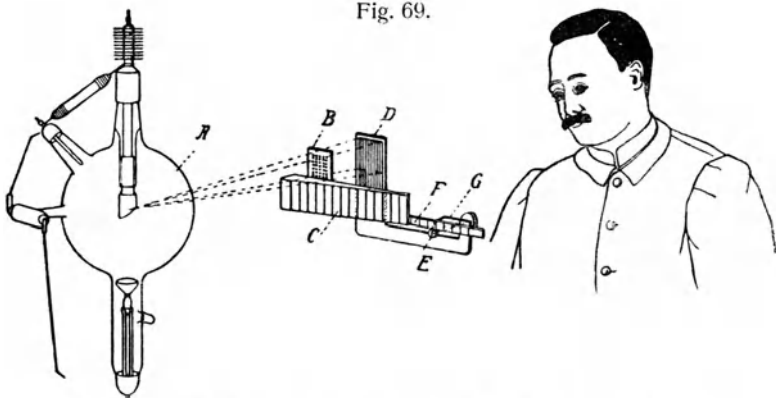
Halbwertschicht in cm	Härtebezeichnung	Weh- nelt- Einh.	Benoist- Einh.	Walter- Einh.	Benoist- Walter	Bauer Qualim.	Beez Anzahl der Buchst.
		We.	B.	W.	B.-W.	Grade	
0,2	sehr weich	1,3	2—	—	1—	0,8	1—
0,4	„ „	2,9	2+	3—	2—	2,0	1+
0,6	weich	5,6	3+	5	3+	3,7	2+
0,8	mittel	8,3	6+	7—	5+	5,6	4—
1,0	hart	10,0	8+	8—	6+	6,4	5+
1,2	sehr hart	11,2	—	—	—	7,5	—
1,4	„ „	12,3	—	—	—	8,1	—
1,6	„ „	13,2	—	—	—	8,7	—
1,8	„ „	14,0	—	—	—	9,3	—
2,0	„ „	14,8	—	—	—	9,9	—

Ein weiterer Nachteil der sämtlichen seither besprochenen Skalen besteht darin, daß sie willkürlich gewählte Einheiten zugrunde legen, die natürlich nicht übereinstimmen können. Die Tabelle zeigt einen Vergleich der verschiedenen Einheiten. Es sind darin der Vollständigkeit wegen auch andere gebräuchliche Einheiten als die besprochenen zum Vergleich herangezogen.

Th. Christen in Bern hat einen Härtemesser konstruiert, den man als absoluten Härtemesser bezeichnen darf. Dieser Härtemesser benutzt den von Christen eingeführten Begriff der sogenannten Halbwertschicht. Man versteht unter Halbwertschicht diejenige Schichtdicke einer bestimmten Substanz, gemessen in Centimetern, welche von der einfallenden Strahlung gerade die Hälfte absorbiert und die andere Hälfte durchläßt. Da die Halbwertschicht des destillierten Wassers praktisch mit der Halbwertschicht des menschlichen Gewebes

übereinstimmt, so bezieht man die Werte im allgemeinen auf Wasser, wenn nicht eine andere Substanz besonders erwähnt wird. Nun ergibt die Theorie, was für die Vorstellung auch ohne weiteres verständlich ist, daß die Halbwertschicht von der Härte der Strahlen abhängt; und zwar ist sie um so größer, je härter die Strahlen sind.

Der absolute Härtemesser von Christen¹⁾ ist ein Apparat zur Messung dieser Halbwertschicht. Bei ihm ist das Wasser ersetzt durch einen festen Körper, der natürlich für alle Strahlenqualitäten praktisch das gleiche Absorptionsvermögen haben muß wie das Wasser. Ein solcher Körper ist das Bakelit.



Schematische Darstellung der Messung der Halbwertschicht.

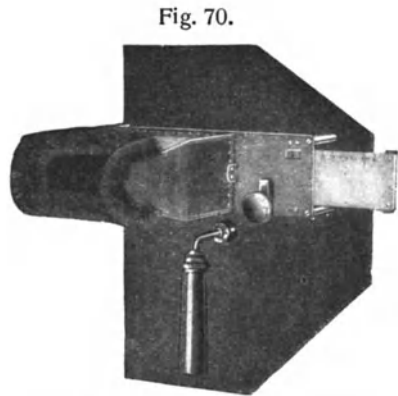
Es kam also bei der Konstruktion eines solchen Apparates darauf an, Röntgenlicht beliebiger Qualität genau auf die Hälfte seiner Intensität zu reduzieren. Hat man eine Vorrichtung ersonnen, welche dies erreicht, so braucht man nur ein Bakelitstück von geeigneter Dicke auszuwählen, welches für die speziellen Strahlen das gleiche erreicht. Die Dicke der Bakelitschicht ist dann die gesuchte Halbwertschicht und ein Maß für die Härte der Strahlen.

Christen benutzt eine Scheibe mit regelmäßig verteilten Löchern, deren Durchmesser und gegenseitige Abstände so

¹⁾ Dr. med. u. phil. Th. Christen, Strahlentherapie, Bd. 1, Heft 3, 1912.

berechnet sind, daß die Summe aller Löcher gerade halb so groß ist wie die Fläche der ganzen Scheibe. Die Scheibe muß aus solchem Material bestehen, daß auch die härtesten Strahlen praktisch völlig absorbiert werden. Eine Platte, die diese Bedingungen erfüllt, nennt Christen Halbwertplatte. Auf die Schwierigkeit, die darin besteht, daß Röntgenstrahlen schräg durch die Löcher treten könnten, und darauf, wie diese Schwierigkeit behoben wird, will ich nicht eingehen. Der Fluoreszenzschirm ist von der Halbwertplatte so weit entfernt, daß sich die einzelnen Löcher auf dem Fluoreszenzschirm nicht mehr getrennt abzeichnen,

sondern daß der Schirm hinter der Platte in einem gleichmäßigen Lichte aufleuchtet. Alsdann sucht man ein Bakelitstück geeigneter Dicke, hinter dem der Schirm gerade so hell aufleuchtet, wie hinter der Halbwertplatte. Fig. 69 zeigt die Konstruktion des Apparates. Auch hier ist das Gesichtsfeld in zwei Teile geteilt, vor dem einen liegt die Halbwertplatte, vor dem anderen kann eine treppenförmige Bakelitplatte von bekannter Stufenstärke bewegt werden. Bei der Messung wird die Treppe hin und her bewegt, bis das Gesichtsfeld gleichmäßig aufleuchtet. Die Dicke der verwandten Stufe ist die gesuchte Halbwertschicht. Den fertigen Apparat zeigt Fig. 70.



Absoluter Härtemesser nach Christen.

Bei der Messung wird die Treppe hin und her bewegt, bis das Gesichtsfeld gleichmäßig aufleuchtet. Die Dicke der verwandten Stufe ist die gesuchte Halbwertschicht. Den fertigen Apparat zeigt Fig. 70.

Endlich möchte ich noch das Universalionometer von Siemens & Halske erwähnen, bei dem das Meßresultat von eventuellen subjektiven Fehlern beim Vergleich der Helligkeit verschiedener Felder unabhängig wird und bei dem man den Härtegrad an einem elektrischen Meßapparat bequem ablesen kann. Wir kommen auf diesen Apparat nochmals bei den Dosimetern zu sprechen.

b) Die Dosimeter.

Zum Schluß meiner Vorträge wende ich mich der Besprechung der Dosimeter zu. Die Zahl der konstruierten Apparate ist auch hier sehr groß, so daß ich nur eine kleine Auswahl herausgreifen kann.

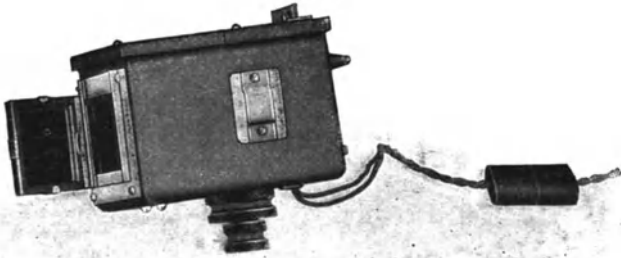
Man versteht unter Röntgendosis diejenige gesamte Röntgenstrahlenenergiemenge, welche die Volumeinheit des bestrahlten Körpers während der Bestrahlungsdauer empfängt. Zu den Dosimetern rechnet man dem allgemeinen Sprachgebrauch nach erstens Apparate, welche die Flächenenergie der Röntgenstrahlen zu messen gestatten. Unter Flächenenergie versteht man nach Christen diejenige Röntgenstrahlenenergiemenge, welche ein Flächenstück von 1 qcm während der Bestrahlungsdauer durchströmt. Zweitens rechnet man zu diesen Apparaten die Dosismesser im engeren Sinne, welche die von einer dünnen Schicht absorbierte Energiemenge zu ermitteln gestatten.

Bevor ich mich jedoch den eigentlichen Apparaten zuwendè, will ich noch einige Worte über eine Methode sagen, welche als Maß der Dosis den elektrischen Strom, der durch die Röntgenröhre fließt, zugrunde legt. Dieses Verfahren ist prinzipiell sehr einfach. Man mißt den Strom, der durch die Röhre fließt, mit einem Stromzeiger und außerdem die Bestrahlungsdauer mit der Taschenuhr. Jedoch haften dieser Methode der Dosismessung schwere Fehler an. Der Betriebsstrom der Röntgenröhre stellt, wie wir gesehen haben, stets einen pulsierenden Gleichstrom hoher Frequenz dar, der meist sehr kleine Werte hat. Um wirkliche Vergleichswerte für die Stromstärke zu erhalten, muß man Meßinstrumente benutzen, die den galvanometrischen Mittelwert des pulsierenden Stromes richtig anzeigen. Meßtechnisch ist das Problem nicht ganz einfach. Weitere Fehlerquellen liegen in dem eventuell vorhandenen Schließungsstrom, der für die Erzeugung der Röntgenstrahlen gar nicht in Frage kommt, den Ausschlag des Instrumentes aber beeinflußt. Endlich hängt natürlich die erzeugte Röntgenstrahlenenergie nicht nur von dem Speise-

strome der Röhre, sondern auch von der Röhre selbst ab, so von der Beschaffenheit ihrer Antikathode und vor allem von dem Absorptionskoeffizienten und der Dicke des Glases. Zuverlässig ist also eine solche Dosierung sicher nicht.

Die besonderen Apparate, die man zur Dosismessung konstruiert hat, beruhen teils auf der chemischen Wirkung der Röntgenstrahlen, teils auf ihrer ionisierenden Wirkung. Zu der ersten Gruppe gehört das Orthospektraldosimeter nach Dr. Bucky. In Fig. 71 ist der Apparat wiedergegeben. Er baut sich auf den älteren Apparaten nach Salbouraud und Noiré auf. Diese verwenden als Reagenzkörper Baryum-Platincyanür, dessen Farbe sich von dem ursprünglichen hellgrünen Ton unter dem Einfluß der Röntgenstrahlen allmählich in Hellgelb, Gelbbraun und endlich Rotbraun

Fig. 71.



Orthospektraldosimeter nach Dr. Bucky.

verfärbt. Der Reagenzkörper hat die Form einer Pastille. Der Farbton dieser Pastille wird verglichen mit zwei Normalfarben *A* und *B*. *A* ist die Farbe des Baryum-Platincyanürs vor der Bestrahlung, *B* ist der Ton dieses Salzes, den es nach Erhalt der Erythemdosis annimmt, d. h. derjenigen Dosis, welche auf der Haut bereits ein Erythem und Haarausfall erzeugt. Bei der Bestrahlung soll die Pastille im halben Fokus-Hautabstand gehalten werden.

Die Schwierigkeit dieser Messung liegt nun darin, daß der Grad der Verfärbung sich nicht sicher erkennen läßt, und vor allem für den Anfänger sich häufig Zweifel ergeben. Bucky hat deswegen vorgeschlagen, Testplättchen, welche bei seinem

Apparat der Pastille entsprechen, durch ein grünes Filter zu betrachten, das praktisch nur Licht von dem Farbton *A* durchläßt. Der Farbton *B* sondert so gut wie gar keine grünen Strahlen vom Farbton *A* aus, die allein von dem Filter durchgelassen werden. Nimmt das Testplättchen also den Erythemton *B* an, so erscheint es bei Betrachtung mit dem Buckyschen Dosimeter fast schwarz.

Ebenfalls auf der chemischen Wirkung der Röntgenstrahlen beruht das Kienbocksche Quantimeter. Als Reagenzkörper werden hier Chlorbromsilberstreifen verwandt, die gegen das Tageslicht durch schwarze Papierumhüllung geschützt sind. Die Streifen werden nach der Bestrahlung entwickelt und fixiert und sodann mit einer Normalskala mit acht Vergleichstönen verglichen. Naturgemäß erfordert das Verfahren beim Entwickeln große Vorsicht, um Fehler zu vermeiden.

Dieses Verfahren eignet sich besonders zur Messung der Tiefendosis. Die Erfahrung hat gezeigt, daß ein 1 mm dickes Aluminiumplättchen bei mittelweichen Strahlen ebensoviel Röntgenstrahlenenergie absorbiert, wie eine 1 cm dicke Muskelparenchymschicht. Je nachdem man also ein oder mehrere solcher Aluminiumplättchen bei der Belichtung auf das Reagenzpapier auflegt, erhält man einen Aufschluß über die 1, 2, 3 . . . cm Gewebstiefendosen.

Auch eignen sich die Quantimeterstreifen gut zum Unterlegen unter die bestrahlten Körperteile und zum Einführen in Körperhöhlen.

Ein Fehler, der sämtlichen besprochenen Dosimetern anhaftet, beruht darauf, daß die menschliche Haut oder das menschliche Gewebe ganz verschiedene Dosen bei der Bestrahlung absorbiert, als z. B. die Pastille, das Testplättchen oder das Chromsilberpapier. Wäre das Verhältnis der von der Haut aufgenommenen Dosis zur Dosis, welche der Testkörper absorbiert, konstant, so würde daraus kein Fehler folgern. Das ist aber keineswegs der Fall, sondern dieses Verhältnis hängt nicht unwesentlich von der Qualität der Strahlen ab. Je nach der Halbwertschicht der Strahlen erhalten wir also

einen verschiedenen Wert. Praktisch zeigen die Dosimeter für härtere Strahlen eine zu große Dosis an, umgekehrt bei weichen Strahlen eine zu geringe Dosis.

Zu einer anderen Gruppe von Dosimetern gehört das Universaldosimeter der Siemens & Halske-A.-G., das ich bereits gelegentlich der Härtemesser erwähnt habe und das vor allem von subjektiven Fehlern des Beobachters frei ist. Unter dem Einfluß von Röntgenstrahlen werden Gase ionisiert, d. h. die Atome werden in ihre elektrischen Bausteine, die negativen Elektronen und die positiven Anionen zerlegt. Auf dieser Erscheinung beruhen alle Ionometer. Das Siemenssche Instrument, auf dessen nähere Beschreibung ich jedoch hier verzichten muß, hat den besonderen Vorteil, daß man außer der Röntgendosis auch die Härte der Strahlen bequem messen kann.

Viertes Kapitel.

Der Elektrokardiograph¹⁾.

Zum Schluß meiner Vorträge möchte ich Sie noch mit einem Apparat vertraut machen, der gerade besonders gut zeigt, was die Elektrotechnik in der Hand des Mediziners zu leisten vermag.

Ich will zunächst kurz sagen, welchen Zweck der Elektrokardiograph verfolgt:

Wie der Name sagt, gestattet das Instrument die Aufnahme des Elektrokardiogramms. Darunter versteht man, wie Ihnen bekannt ist, eine graphische Aufnahme der Aktionsströme des Herzmuskels während des Herzschlages. Diese Aktionsströme, hervorgerufen durch die Erregungsvorgänge im Herzmuskel, haben beim gesunden Menschen einen ganz bestimmten Verlauf.

¹⁾ Vgl. auch Rautenkranz, Johannes: Die Technik des Elektrokardiographen. Helios 1914, Nr. 20. Aus dieser Arbeit sind die Fig. 72 bis 77 entnommen.

Beim kranken Menschen sind die Erregungsvorgänge im Gewebe andere und deshalb auch die Aktionsströme. Es fragt sich nun, wie kann man diese Aktionsströme am lebenden Menschen messen? Man kann so verfahren, daß man nicht die einzelnen Aktionsströme, sondern nur den resultierenden Strom zwischen zwei geeignet herausgewählten Körperstellen aufnimmt.

Der resultierende Strom ändert sich, sobald unter dem Einfluß irgendwelcher Herzkrankheit die einzelnen Aktionsströme anderen Verlauf nehmen. Auf empirisch-statistischem Wege hat man nun für die einzelnen Herzkrankheiten ein typisches Elektrokardiogramm des resultierenden Stromes aufgestellt. Man ist deshalb umgekehrt in der Lage, aus einem mit dem Elektrokardiographen aufgenommenen anormalen Elektrokardiogramm eine zuverlässige Herzdiagnose zu stellen.

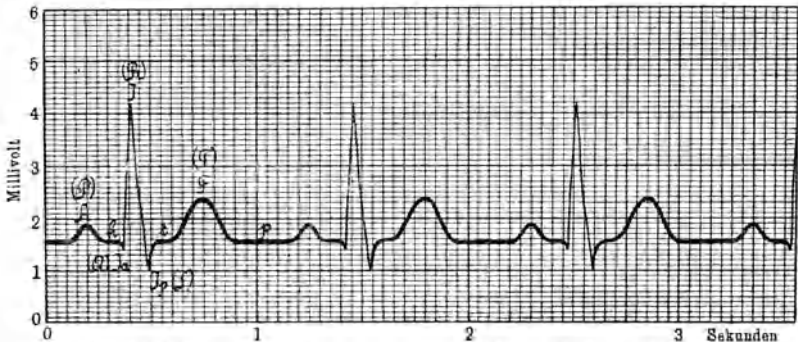
Die Aufnahme der resultierenden Aktionsströme geschieht in der Praxis mit Hilfe eines Vierzellenbades, z. B. in der Weise, daß man das Elektrokardiogramm aus den resultierenden Strömen zwischen den beiden Armen aufnimmt. Ein so aufgenommenes Elektrokardiogramm läßt weitgehende Schlüsse auf die Gesamttätigkeit des Herzens zu. Ich möchte aber auf diese Fragen nicht näher eingehen, da sie allzusehr in das Gebiet der Physiologie hinüberleiten. Ich verweise auf die unten angegebene Schrift¹⁾.

Da, wie Ihnen bekannt ist, die Aktionsströme selbst außerordentlich schwache Ströme sind, so werden an das Instrument außerordentlich hohe Anforderungen gestellt. Außer, daß diese Ströme sehr schwach sind, liegt aber noch eine sehr erhebliche Schwierigkeit darin, daß wir es mit außerordentlich schnell veränderlichen Strömen zu tun haben. Da es endlich darauf ankommt, die Momentanwerte in einer Kurve vereinigt zu sehen, so muß das Instrument mit einer Registriervorrichtung versehen sein. Wir erhalten naturgemäß einen verhältnismäßig komplizierten Apparat, dessen Handhabung

¹⁾ Fr. Kraus und G. Nikolai, Das Elektrokardiogramm des gesunden und kranken Menschen. Leipzig 1910.

aber bei einiger Übung recht bequem und vor allem sehr sicher ist. Fig. 72 zeigt eine solche Kurve, oder, wie man sagt, ein Elektrokardiogramm, das mit dem Elektrokardiographen der Siemens & Halske-A.-G. aufgenommen ist. Wie wir sehen, zeigt das Elektrokardiogramm sehr scharfe Zacken. Gerade diese Zacken sind es, die bei der klinischen Deutung dieser Kurven besonders benutzt werden. Hierin liegt für den Meßtechniker eine besondere Schwierigkeit. Es sind nämlich gerade die schnell veränderlichen Vorgänge, die hier als Zacken in der Kurve auftreten, die durch das schwingende System des Galvanometers leicht gefälscht werden können.

Fig. 72.



Elektrokardiogramm, aufgenommen mit dem Elektrokardiographen der Siemens & Halske-A.-G.

Man muß sich vor allem davor hüten, zu glauben, es käme nur auf die Empfindlichkeit des Galvanometers an. Das ist grundfalsch. Das Galvanometer kann eine Empfindlichkeit haben, die viel größer ist, als die beanspruchte, und das Kardiogramm kann, wie wir unten sehen, doch vollkommen verzeichnet sein.

Man hat mit sehr verschiedenen Systemen Versuche angestellt. Es sind zwei Systeme, die ich hier besonders erwähnen will. Es ist einmal das Saitengalvanometer von Eindhoven, das aus einem einzigen dünnen Faden, einer sogenannten Saite, besteht. Dieser ist zwischen den Polen eines kräftigen Magneten ausgespannt. Beim Durchgang des Stromes durch

die Saite wird diese abgelenkt. Durch ein optisches System wird der Schatten der Saite auf einen stetig ablaufenden Streifen photographischen Papiers geworfen, man erhält so eine Kurve für die zeitliche Ablenkung der Saite. Man hat mit Benutzung solcher Systeme brauchbare Elektrokardiographen konstruiert. Der Hauptnachteil dieser Systeme besteht jedoch in einer hohen Temperaturabhängigkeit. Temperaturschwankungen sind aber vor allem wegen der bei der Projektion des Fadenbildes notwendigen Bogenlampe und ihrer Wärmeausstrahlung unvermeidlich.

Am zuverlässigsten ist die Verwendung eines Drehspulgalvanometers, das die Siemens & Halske-A.-G. für diese Spezialzwecke zu hoher Vollkommenheit ausgebildet hat. Das

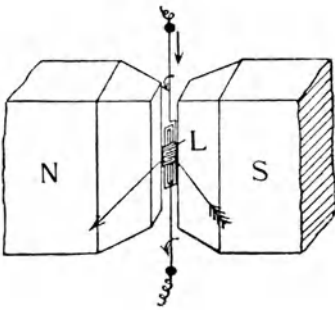
Prinzip eines solchen Instrumentes, das Ihnen nicht unbekannt sein dürfte, erkennen Sie aus nebenstehender Fig. 73. Zwischen den Polen eines kräftigen Magneten befindet sich eine kleine Spule, die mittels Spiralfedern aufgehängt ist und sich um eine vertikale Achse dreht. Fließt ein Strom durch die Spule, so wird sie proportional der Stromstärke um ihre vertikale

Achse gedreht. Vor der Bogenlampe befindet sich ein Spalt, der durch ein optisches System zum Zwecke der Registrierung auf einen Streifen photographisches Papier geworfen oder zur direkten Beobachtung auf einer Mattscheibe abgebildet wird. In beiden Fällen erhält man die gleiche Kurve des Elektrokardiogramms.

Die Optik der Registrierung erkennen wir aus Fig. 74. Ich möchte auf diese jedoch nicht näher eingehen.

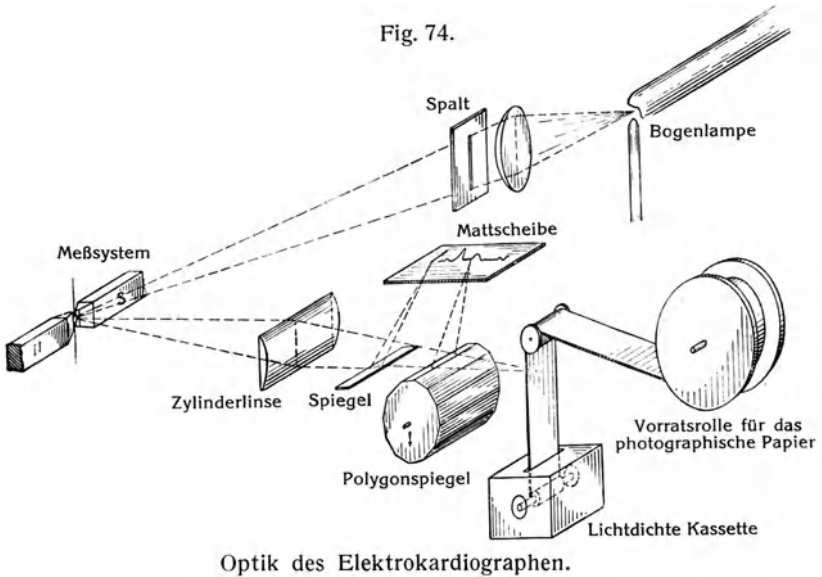
Ich will noch einiges über die Forderung bezüglich der Empfindlichkeit und der Dämpfung sagen, die wir an das elektrische Meßsystem stellen müssen. Die Einregulierung der gewünschten Empfindlichkeit geschieht in sehr einfacher Weise dadurch, daß man einen Teil des Stromes durch einen regulier-

Fig. 73.



baren Widerstand schickt, der parallel zum Meßsystem geschaltet ist. Diese Einregulierung wird so ausgeführt, daß man das System an eine bekannte Spannung legt und den Regulierwiderstand auf eine bestimmte Ablenkung des beweglichen Systems einreguliert.

Viel größere Schwierigkeit, als die Einstellung der Empfindlichkeit macht für den Konstrukteur die Forderung der richtigen Dämpfung. Wir haben diesen Begriff bei der Einleitung zur Diathermie bereits kennen gelernt.



Wir wünschen, daß das bewegliche System während der äußerst schnellen Stromschwankung den Momentanwerten des Stromes folgt. Es darf nicht kriechen, d. h. so langsam in seine neue Lage schwingen, daß es zeitlich nachhinkt und ein kräftiger äußerer Impuls es bereits neu beeinflussen kann, bevor es die vorhergehenden Momentanwerte richtig aufgezeichnet hat. Es darf aber auch nicht durch einen äußeren Impuls in Eigenschwingungen versetzt werden, die sich dann dem aufzunehmenden Vorgang überlagern würden. Beide Fehler sind gleich schädlich und nehmen dem Elektrokardiogramm jeden kli-

nischen Wert. Den richtigen Dämpfungszustand bezeichnet man in der Meßtechnik als aperiodischen Zustand. In der Fig. 75 sind drei Elektrokardiogramme wiedergegeben, die am

Fig. 75.



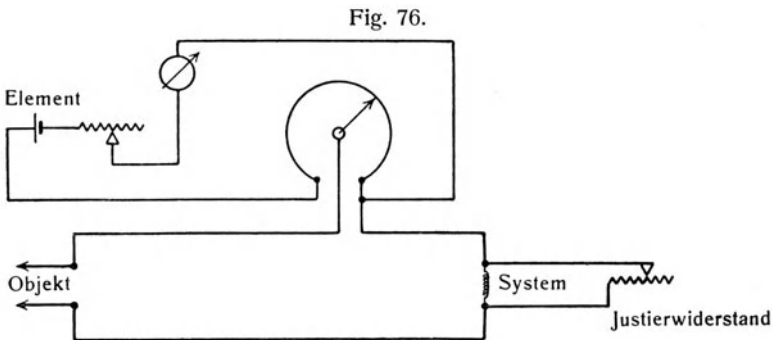
gleichen Patienten aufgenommen sind. Der Unterschied liegt nur darin, daß die Dämpfung des elektrischen Systems absichtlich verstellt ist. Würde man das nicht, so würde man in der ersten und dritten Figur auf starke organische Fehler des Herzens schließen. Die mittlere Figur zeigt das richtige Elektrokardiogramm, die obere das gleiche Diagramm bei ungenügender Dämpfung. Es überlagern sich die Eigenschwingungen des schwingenden Systems, was man an dem Kurvenzug deutlich erkennt. Die untere Figur ist bei übermäßiger Dämpfung aufgenommen, das System kriecht und zeichnet deshalb nicht alle Feinheiten der Kurve richtig auf. Die Einstellung der richtigen Dämpfung geschieht durch Veränderung der Stärke des magnetischen Feldes, von dem wir oben bei der kurzen Besprechung des Deprezsystems bereits gesprochen haben. Der Magnet ist hier kein permanenter Stahlmagnet,

sondern ein Elektromagnet, der durch Gleichstrom mehr oder weniger stark erregt werden kann. Die Verhältnisse sind so gewählt, daß bei Veränderung der Dämpfung die Empfind-

lichkeit so gut wie nicht geändert wird und umgekehrt, bei Veränderung der Empfindlichkeit die Dämpfung dadurch praktisch unbeeinflusst bleibt. Dieses ist von vornherein nicht selbstverständlich, sondern kann nur durch besonders geschickte Konstruktion des ganzen Systems erreicht werden.

Ich will also nochmals hervorheben: An einer richtigen Konstruktion des Systems liegt beim Elektrokardiographen alles, Aufnahmen mit einem unzuverlässigen Apparat geben ein falsches Elektrokardiogramm und verleiten nur zu Trugschlüssen.

Ich muß noch auf den sogenannten Nullstrom zu sprechen kommen, der sich bei Aufnahme mit dem Elektrokardiographen dem resultierenden Aktionsstrom überlagert. Während die Aktionsströme undulierende Natur haben, geht außer ihnen

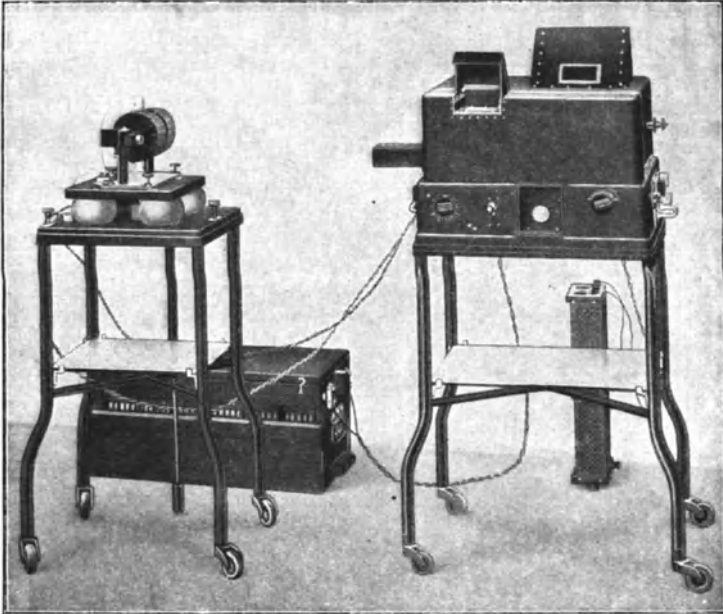


vom menschlichen Organismus ein Polarisationsstrom aus, der sogenannte Nullstrom. Dieser ist seinem Charakter nach ein Gleichstrom.

Er würde das Meßsystem dauernd konstant ablenken. Außer dieser konstanten Ablenkung würde sich zwar der undulierende Strom abbilden, aber das Bild des Spaltes würde unter dem Einfluß des Nullstromes aus dem Gesichtsfelde des Apparates wandern. Man muß also darauf bedacht sein, den Nullstrom zu eliminieren. Es kann dies in einwandfreier Weise dadurch geschehen, daß man eine konstante elektromotorische Kraft entgeschaltet, die einen Strom erzeugt, gleich dem Polarisationsstrom, aber von umgekehrtem Vorzeichen. Die Schaltung erkennen Sie aus Fig. 76.

Fig. 77 zeigt die äußere Ansicht des Elektrokardiographen der Siemens & Halske-A.-G. Wir haben gesehen, daß die Technik des Elektrokardiographen verhältnismäßig kompliziert ist. Nur eine äußerst hochentwickelte Industrie kann auf dieser

Fig. 77.



Elektrokardiograph der Siemens & Halske-A.-G.

Grundlage einen Apparat schaffen, der in der Hand des praktischen Mediziners zuverlässig arbeitet. Gerade der Elektrokardiograph ist ein deutlicher Beweis dafür, welche Vorteile erreicht werden können, wenn Wissenschaft und Technik mit der dem Deutschen besonders eigentümlichen Gründlichkeit zusammen arbeiten.



Die „Sammlung Vieweg“ hat sich die Aufgabe gestellt, Wissens- und Forschungsgebiete, Theorien, chemisch-technische Verfahren usw., die im Stadium der Entwicklung stehen durch zusammenfassende Behandlung unter Beifügung der wichtigsten Literaturangaben weiteren Kreisen bekanntzumachen und ihren **augenblicklichen Entwicklungsstand zu beleuchten**. Sie will dadurch die Orientierung erleichtern und die Richtung zu zeigen suchen, welche die weitere Forschung einzuschlagen hat.

Verzeichnis der bisher erschienenen Hefte siehe 3. und 4. Umschlagseite.

Als Herausgeber der einzelnen Gebiete, auf welche sich die Sammlung Vieweg zunächst erstreckt, sind tätig und zwar für:

Physik (theoretische und praktische, und mathematische Probleme):

Herr Professor **Dr. Karl Scheel**, Physikal.-Techn. Reichsanstalt, Charlottenburg;

Kosmische Physik (Astrophysik, Meteorologie und wissenschaftliche Luftfahrt — Aerologie — Geophysik):

Herr Geh. Ober-Reg.-Rat Professor **Dr. med. et phil. R. Assmann** in Gießen;

Chemie (Allgemeine, Organische und Anorganische Chemie, Physikal. Chemie, Elektrochemie, Technische Chemie, Chemie in ihrer Anwendung auf Künste und Gewerbe, Photochemie, Metallurgie, Bergbau):

Herr Professor **Dr. B. Neumann**, Techn. Hochschule, Breslau;

Technik (Elektro-, Maschinen-, Schiffbautechnik, Flugtechnik, Motoren, Brückenbau):

Herr Professor **Dr.-Ing. h. c. Fritz Emde**, Techn. Hochschule, Stuttgart;

Biologie (Allgemeine Biologie der Tiere und Pflanzen, Biophysik, Biochemie, Immunitätsforschung, Pharmakodynamik, Chemotherapie):

Herr Professor **Dr. phil. et med. Carl Oppenheimer**, Berlin-Grünewald.