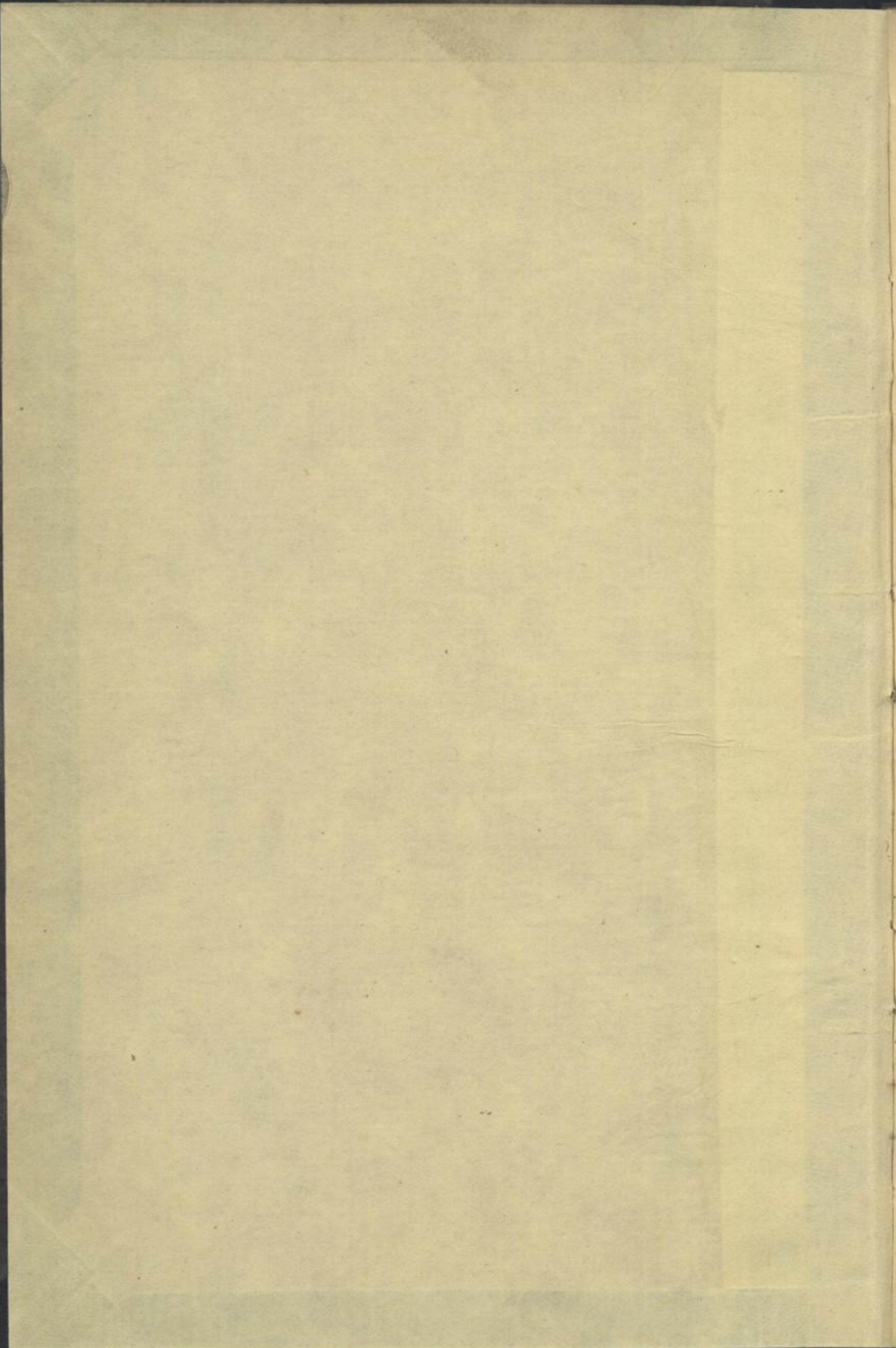


Karten.

Art. plast.

2591 L^p



Karten.

Technik und Verwertung

der

Röntgen'schen Strahlen

im Dienste der

ärztlichen Praxis und Wissenschaft.

Von

Dr. Franz Böttger

Dr. Kurt Müller

Zweite Sonderausgabe mit 200 Tafeln

1928

Verlag von Julius Springer

1928

Technik und Verwertung
der
Röntgen'schen Strahlen

im Dienste der
ärztlichen Praxis und Wissenschaft.

Von

Dr. Oskar Büttner,
Spezialarzt für Nervenkrankheiten
und Elektrotherapie,

und
zu Erfurt.

Dr. Kurt Müller,
Spezialarzt für Chirurgie und
Orthopädie,

Mit 51 in den Text gedruckten Abbildungen und 8 Tafeln.

Zweite verbesserte und vermehrte Auflage.

Halle a. S.
Verlag von Wilhelm Knapp.
1899.

Übersetzungsrecht vorbehalten.



378,11
1925 ID 52

Vorwort zur ersten Auflage.

Ein Buch über die Röntgen'schen Strahlen im Dienste des Arztes zu schreiben, scheint insofern berechtigt, als eine ausführliche Abhandlung bisher noch nicht existirt. Zahlreiche beschäftigte ärztliche Praktiker, welche nicht die Zeit haben, die vielseitigen technischen und wissenschaftlichen Grundlagen der Pyknoskopie aus der Fachlitteratur und den zerstreuten wissenschaftlichen Mitteilungen zusammenzusuchen, erwarten eine kurze zusammenfassende Bearbeitung des dem Arzte vielfach noch recht unbekanntem und fernliegenden Stoffes, um daran einen Führer für ihre ersten praktischen Versuche in der Pyknoskopie zu haben. Für diese ist das Buch zunächst bestimmt, dann aber auch für diejenigen Männer der Wissenschaft und die Beamten, welche, ohne selbst pyknoskopieren zu wollen, sich über die Bedeutung der grossartigen Röntgen'schen Entdeckung für das wissenschaftliche und soziale Leben orientiren müssen. Wir denken hier an die Vertreter der Behörden und Genossenschaften, an die gebildeten Laien, Mechaniker und Photographen, welche mehr oder weniger auf diesem interessanten Gebiete zu arbeiten gezwungen sind.

Der etwaige Nachteil, dass Fachphysiker an dem Buche nicht gearbeitet haben, wird hoffentlich dadurch aufgewogen, dass es gerade Aerzte schrieben, welche an sich erfahren haben, was dem Mediziner zu wissen not thut. Das Buch ist aus eifrigem Mühen in der Praxis und aus der Erfahrung, die wir an unserem klinischen Material gewannen, unter möglichster Berücksichtigung der neuesten Fachlitteratur hervorgegangen. Es soll ausser der Anleitung zur Pyknoskopie eine Uebersicht darüber bringen, was bis jetzt erreicht ist. Möge es die Physiker ebenso wie die Techniker zu thätigem Interesse für die Bedürfnisse des ärztlichen Praktikers anregen, und möge in Rücksicht darauf, dass wir kein Vorbild hatten, die Kritik ebenso nachsichtig als belehrend sein.

Erfurt, im April 1897.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Während wir bei der ersten Auflage dieses Buches hauptsächlich berücksichtigen mussten, dem vielseitig sich regenden Interesse an dem Wesen, der Erzeugung und der in der kurzen Zeit ihrer Anwendung bewiesenen Verwertung der Röntgenschen Strahlen im ärztlichen Dienste Genüge zu thun, blieb uns für die neue Bearbeitung die Aufgabe, die Kritik des Arztes für die Beherrschung der technischen, diagnostischen und sonstigen Aufgaben, welche ihm die Pyknoskopie stellen kann, möglichst zu schärfen. Daraus ergab sich eine wesentliche Vereinfachung des klinischen Theiles insofern, als die einzelne Aufzählung der sämtlichen in der Litteratur berichteten Fälle von nützlicher Bewährung der Röntgen'schen Strahlen unterlassen werden konnte und musste — das Litteraturverzeichnis allein würde einen Band wie den vorliegenden füllen. Wir haben uns vielmehr darauf beschränkt, nach möglichster Kenntnissnahme der Erfolge anderer, aber objektiver Beurteilung derselben nach dem Masse unserer eigenen Erfahrungen, unter einfachen Gesichtspunkten das darzustellen, was sicher für jeden Arzt erreichbar und was dazu nöthig ist. Daher verkleinerte sich der klinische Theil, während der technische vermehrt wurde. In dem technischen Theile wurde einem gewohnten Bedürfnisse des Akademikers damit Rechnung getragen, dass nicht nur jede praktische Frage, sondern auch die theoretischen, welche sich bei der

Ausübung der Pyknoskopie einstellen, nach Möglichkeit berücksichtigt wurden. Denn welcher Arzt, der durch seinen Beruf gewöhnt ist, nach Ursache und Wirkung der Erscheinungen zu forschen, wird nicht an der Erkenntnis des Zusammenhanges der Dinge mindestens ebensolches Interesse haben, wie an der ihrer praktischen Verwendung; und wenn auch in Bezug auf unsern Stoff die Theorie zum Teil noch recht grau ist, so hilft sie doch denken und praktische Probleme leichter überwinden als rein mechanische Gebrauchsanweisungen.

Das Litteraturverzeichnis wurde also nur um die wichtigsten neuen Erscheinungen vermehrt, besonders interessante Hinweise in den Text aufgenommen.

Es sei hier darauf aufmerksam gemacht, dass neben Wiedemann's Annalen vor allem die drei Mitteilungen von Röntgen, welche fast allein die ganze technische Grundlage der Pyknoskopie enthalten, jedem Anfänger zum Studium empfohlen werden müssen. Umfassende Litteraturberichte bringt die Zeitschrift von Albers-Schönberg, Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgen'schen Strahlen. Ein „Lehrbuch der Röntgen-Untersuchung“ schrieb noch H. Gocht-Würzburg, Stuttgart 1898.

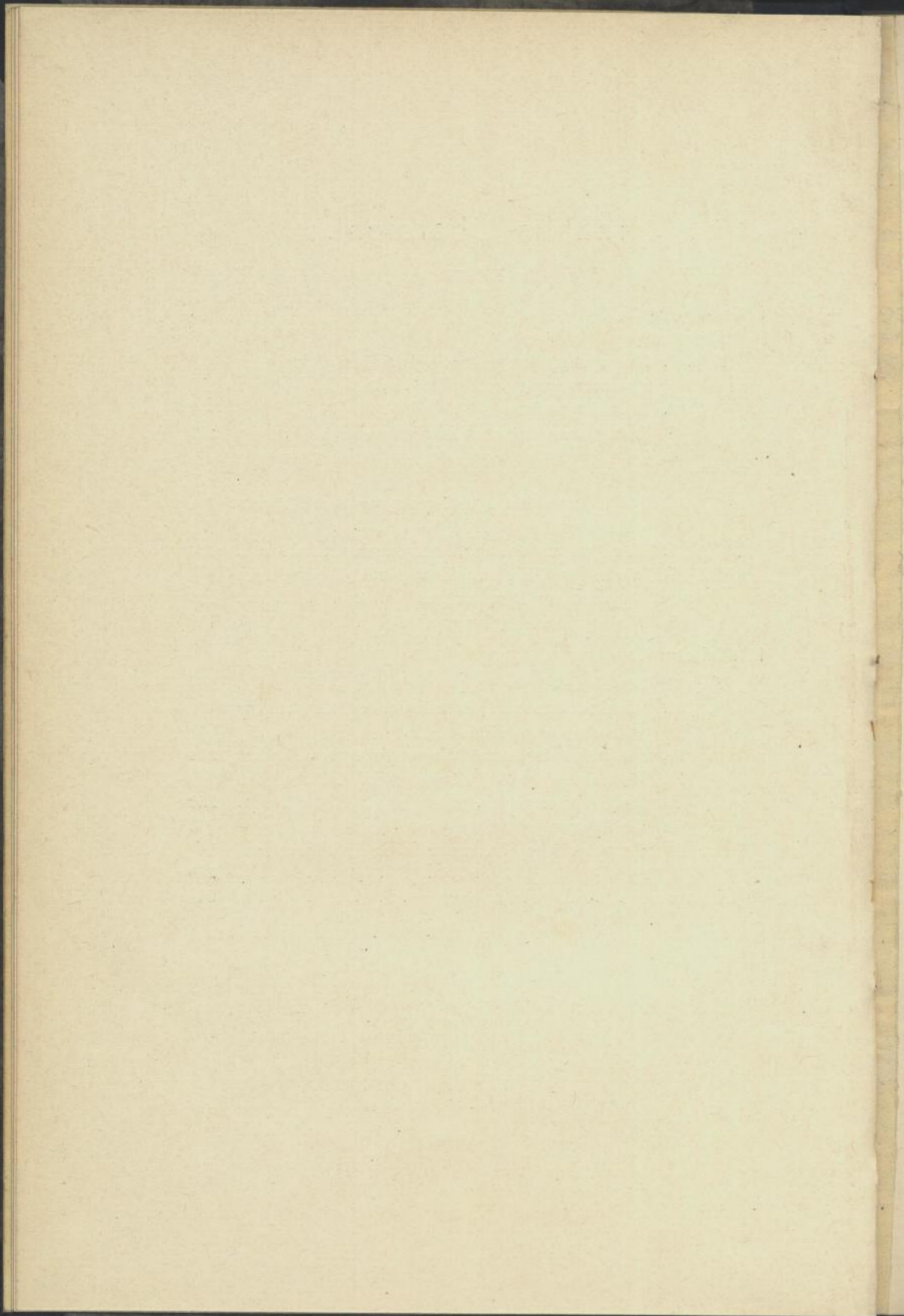
Herrn Telegrapheninspektor Meyl gebührt für hilfsbereite Förderung unserer Arbeiten und des Korrekturlesens unser herzlicher Dank.

Erfurt, im Januar 1899.

Die Verfasser.

Inhalts-Übersicht.

I. Technischer Teil.	Seite
Einleitung	3
Kap. 1. Erzeugung, Gesetze und Wirkungen elektrischer Strombewegung	10
„ 2. Die Akkumulatoren	42
„ 3. Induktionsströme und Induktoren	59
„ 4. Entladungswirkungen der Induktionsströme in der Luft	75
„ 5. Die Vakuumröhren für Erzeugung der Röntgen'schen Strahlen	90
„ 6. Über Photometrie der Röntgen'schen Strahlen	100
„ 7. Winke für Wahl, Anordnung und Gebrauch der Apparate zur Pyknoskopie	116
„ 8. Winke für die Pyknographie	157
II. Klinischer Teil.	
Kap. 9. Die Fremdkörper im pyknoskopischen Bilde	187
„ 10. Die Anatomie und Pathologie der Knochen im pyknoskopischen Bilde	201
„ 11. Die Pyknoskopie im Dienste der innern Medizin	214
„ 12. Versuchsfehler und diagnostische Irrtümer bei der Pyknoskopie	229
„ 13. Die Röntgen'schen Strahlen im Dienste des Staates	234
„ 14. Physiologische Wirkungen der Röntgen'schen Strahlen	239
Litteratur	244



I. Technischer Teil.



Einleitung.

„Ach, wenn es doch ein Mittel gäbe, den Menschen durchsichtig zu machen, wie eine Qualle!“

Philander, Medizinische Märchen 1893.

Was Philander sehnd und ahnend im Märchentraume vom 20. Jahrhundert erschaute, das hat uns nun so bald in Wirklichkeit die wunderthätige Fee Elektra in die Hand gegeben: die magische Büchse, durch deren Strahlen der Mensch durchsichtig wird — beinahe wie eine Qualle. Nicht abgerungen ist es ihr von solchen, die hastend danach jagten, um Ruhm und Geld damit zu erhandeln, sondern freiwillig liess sie in einer glücklichen Stunde ihren würdigen Jünger Röntgen das fertige Modell auf seinem Arbeitstische finden, fertig zur Anwendung im Dienste der Humanität, ohne bis jetzt das Geheimnis des Zusammenhanges seiner Kräfte völlig preiszugeben.

Nicht als ob Röntgen's grosses Verdienst, die Lösung des Problems erfasst zu haben, geschmälert werden könnte. Wer darauf hinauswollte, den müsste Philander's „Kolumbus, Kolumbus“ aus demselben Märchen wohl zum Schweigen bringen. Wie viele hatten nicht schon vorher dieselbe magische Büchse wie ein merkwürdiges Spielzeug in der Hand gehabt, ohne ihre Bedeutung zu erkennen, selbst als sie, wie Lenard 1894, die photographische Wirkung ihrer

Strahlen und die Differenzierung derselben nach der Dichte der durchstrahlten Medien gesehen hatten. Für uns Aerzte ist es keine Frage, dass Röntgen der Dank und Ruhm gebührt, die magischen Strahlen entdeckt und ihre Bedeutung für die ärztliche Praxis erkannt zu haben.

Die Bestrebungen der Aerzte, das Innere des Körpers ohne Trennung der Gewebe zur optischen Wahrnehmung zu bringen, haben bisher in zwei Richtungen Erfolg gehabt. Die Endoskopie hat die Aufgabe gelöst, Oberflächenteile der inneren Körperhöhlen zu beleuchten und das beleuchtete Feld direkt oder durch Spiegelsysteme dem Auge zugänglich zu machen, während die Diaphanoskopie auf die Transparenz der Höhlenwände bei Durchleuchtung mittels eingeführter wasserumspülter Glühlampen die Untersuchung von Form, Lage, Füllung der Höhlen, Gewebsveränderungen der Höhlenwände, Lage von Organen (Arterien im Becken) und Fremdkörpern gegründet hat.

Während indes die Spiegeluntersuchung einen mächtigen Aufschwung der ärztlichen Wissenschaft bedeutete, wird, wie es scheint, der praktische Wert der Durchleuchtung der Highmorshöhlen von Mund oder Nase aus, der Stirnhöhlen vom Orbitalrande, der Gebrauch des Gastrodiaphans (Einhorn) und des Rektovaginaldiaphanoskops sehr verschieden beurteilt. Die geringe Verbreitung dieser Apparate beruht gewiss weniger auf technischen Schwierigkeiten ihrer Anwendung, als auf ihrer seltenen Indikation und der Unsicherheit der Aufschlüsse, welche sie geben.

Gar nicht etwa eine Verbesserung der genannten Methoden, speziell der Diaphanoskopie, sondern eine Ergänzung bedeutet nun die bisher sogenannte Durchleuchtung mit Röntgen's Strahlen. Diese wird weder

der ersten noch der zweiten Untersuchungsmethode das Gebiet streitig machen, da sie in ganz anderer Richtung Aufschluss giebt; denn die Endoskopie bringt in der Hauptsache nur die Differenzierung des Reflexionsvermögens von Oberflächen, die Diaphanoskopie die Differenzierung der optischen Durchlässigkeit, die Röntgen'sche Durchstrahlung die Differenzierung der Dichten oder des spezifischen Gewichts der Körper zur optischen Anschauung. Die Durchleuchtung mit Röntgen's Strahlen, der dieses Buch gewidmet ist, bezeichnen wir daher fortan als Pyknoskopie¹⁾.

Die Endoskopie hat ihr Gebiet für sich, das der Diaphanoskopie deckt sich, abgesehen von seiner Unvollkommenheit, mit dem der Pyknoskopie nur zum kleinen Teile. Denn optisch durchlässige Körper können leicht oder schwer, leichte wie schwere können durchsichtig oder undurchsichtig sein. So wird man die Ureterenmündung nur im endoskopischen, einen leichten (Holz) Fremdkörper eventuell nur im diaphanoskopischen, einen Glassplitter unter Umständen nur im pyknoskopischen Bilde erkennen. Befindet

¹⁾ Der bei den Deutschen so bald populär gewordene Terminus „Röntgenstrahlen“ macht ihrer Pietät gegen grosse Männer mehr Ehre, als derjenigen gegen ihre Muttersprache. Nicht Röntgenstrahlen sind es, sondern Kraftstrahlen oder allenfalls Aetherstrahlen, und zwar Röntgen's oder Röntgen'sche Kraftstrahlen. Noch schlimmer sind die Bildungen „röntgenisieren, röntgenen, röntgoskopieren, Röntgogramm“, welche wenigstens das berechtigte Bedürfnis nach einem kurzen Ausdruck in Substantiv- und Verbalform für „Durchleuchtung mit Röntgen'schen Strahlen“ andeuten. Die hier und da angebotenen Termini „Radioskopie, Ixographie, Diagraphie, Aktionographie, Bioskopie, Skiagraphie“ treffen den Kern der Sache jedenfalls weniger, als unser „Pyknoskopie, Pyknographie“; speziell unter dem Diagramm eines Körpers (z. B. einer Blüte) und unter der Biographie eines Patienten verstehen wir etwas ganz anderes als ein Röntgen'sches Bild derselben. Wir werden daran festhalten, bis uns ein treffenderer angeboten wird.

sich aber das Objekt in einem nicht transparenzfähigen Medium, wie der Knochen im dicken Muskel, so können nur Röntgen's Strahlen helfen, während auch durch diese eine Differenzierung von Muskeln, Nerven, Arterien untereinander bis jetzt nur in beschränktem Masse erreicht wird.

Die Berücksichtigung dieser Grenzen wird vor übertriebenen Hoffnungen bewahren. Trotzdem liegt die enorme Bedeutung der Röntgen'schen Strahlen für die ärztliche Diagnostik schon jetzt so klar auf der Hand, dass es der Wunsch jedes Arztes, vor allem jedes Chirurgen sein muss, die magische Büchse unter seinem Instrumentarium zu besitzen.

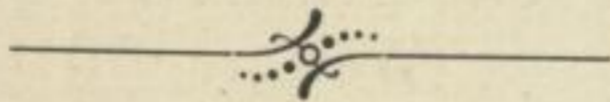
In den drei Jahren, welche seit der Entdeckung der Röntgen'schen Strahlen und ihrer Einführung in die ärztliche Praxis verflossen sind, hat man beobachten können, wie ihre merkwürdigen Eigenschaften und die ungeahnten Vorteile ihrer Anwendung allmählich ihre sensationelle Wirkung auf das öffentliche Interesse eingebüsst haben, so dass kaum eine Verbesserung auf diesem Gebiete, kein noch so frappanter Erfolg, nicht einmal der Nachweis von Muskeltrichinen im lebenden Körper, mehr Aufsehen zu erregen vermag. Wer daraus nun schliessen wollte, die neue Methode sei ein Gemeingut aller Aerzte geworden oder geniesse wenigstens die allgemeine Anerkennung, Würdigung und Berücksichtigung seitens der ärztlichen Praktiker, der befände sich im Irrtum. Wenn auch viele, die anfänglich wie im Märchen die Professoren, Medizinalräte und Obermedizinalräte, kopfschüttelnd geschwiegen hatten, sich dem Drängen nicht mehr verschliessen, so ist doch die Zauberbüchse bis jetzt noch bei verhältnismässig wenigen im Besitz, und durchaus nicht alle, welche sich des Besitzes rühmen können, sind auch

im stande, einen erfolgichern Gebrauch davon zu machen. Recht viele aber, ja die meisten Ärzte noch, verzichten nicht nur überhaupt auf den Besitz, sondern auch auf die konsultative Requisition des Mittels, dessen vielseitiger Wert einem Zweifel bei einem Gebildeten nicht mehr begegnen kann. Dem Ausdruck übertriebener Skepsis begegnet man oft gerade bei solchen, die nur aus Indolenz, ja Inkollegialität unterlassen haben, sich mit dem Gegenstand bekannt zu machen, einer Skepsis, die nur zum allergeringsten Teile durch die üblichen industriösen Übertreibungen und Voreiligkeiten, namentlich in therapeutischer Beziehung, gerechtfertigt erscheint. Mit dem nötigen verhältnismässig hohen Aufwand an Zeit und Geld entschuldigen sich andere und mit dem Vorhalt, dass die Anlage sich nicht bezahlt mache. Auch hierin ist etwas Wahres, aber es ist die Schuld der Ärzte selbst, das Publikum zu der zeitgemässen Anschauung geführt zu haben, dass die Leistungen des Arztes zum Teil geringer bewertet werden müssen als die des Barbiers, und seine technischen Hilfsmittel geringer als die des Handwerkers. Ist es uns doch bekannt geworden, dass ein Arzt einer Berufsgenossenschaft Pyknogramme für 3 Mark anbietet — ein Preis, für den kein Fachphotograph eine Platte anrühren würde. Es ist leicht einzusehen, dass hiermit die wichtigste Standesfrage angeschnitten wird, und dass zwanzig Paragraphen einer Standesordnung überflüssig werden würden durch den einzigen, welcher fehlt — den die wirtschaftliche Frage regelnden. Denn nur durch die Entwertung der Leistungen des Arztes versanden die Quellen seiner gesamten Kräfte, seiner körperlichen, wissenschaftlichen und moralischen, auf denen seine Standeswürde, sein Selbstvertrauen und sein Ansehen beruht.

Wer daher nicht gewöhnt ist, für seine Leistungen entsprechend honoriert zu werden, der unterlasse jedenfalls die Anlage eines pyknoskopischen Laboratoriums, dessen Verwertung ihm andernfalls keine Sorge machen dürfte. Treffend wurde uns die Unentbehrlichkeit der Röntgen'schen Untersuchung in der modernen Praxis durch einen Laien charakterisiert, welcher es als eine Rohheit bezeichnete, eine Verletzung des Skelettes unter den Qualen des Palpierens und Bewegens oder den Gefahren der Narkose mit nicht immer sicherem Erfolge feststellen zu wollen, wo die indifferente und sichere Röntgen'sche Methode zur Verfügung steht. Ein Entschädigungsprozess wegen unterlassener Aufklärung eines Falles durch Röntgen'sche Strahlen hat erst kürzlich einen Arzt zum Selbstmord gebracht. Die Folgerungen für den praktischen Wert der magischen Büchse ergeben sich daraus von selbst.

Aber leider ist es allerdings mit dem Besitze der Büchse allein nicht gethan. Sie erfordert Hilfsapparate, deren Anschaffung, wenn sie gut sein sollen, vor der Hand noch recht kostspielig ist selbst in dem Falle, dass ihr Betrieb durch direkte oder indirekte Benutzung erreichbarer Kraftstromquellen erleichtert ist. Ausserdem aber verlangt ihre Handhabung durchaus vom Arzte, dass er nicht nur ein guter Chirurg, sondern auch ein strebsamer Physiker, ein kluger Elektrotechniker und gewandter Photograph sei. Ohne genügende selbstständige Beherrschung der technischen Probleme würde er nicht nur sehr unbefriedigt neben seinem Apparate stehen, sondern die Abhängigkeit vom Mechaniker und Photographen würde seine Unkosten an Zeit und Geld bedeutend vermehren. Zur wissenschaftlichen Förderung des neuen Gebietes ist zumal eine etwas klarere Einsicht in die technischen Hilfsfächer unerlässlich, als sie von vorn-

herein vom Arzte erwartet werden darf. Und hier liegt allerdings ein anerkennenswerter Grund der geringen Verbreitung der Apparate selbst bei strebsamen Aerzten, denen auch die praxis aurea nicht fehlt. Der Anschauungskreis, den die Elektrotechnik voraussetzt, ist beim Mediziner wenig vorbereitet, weder auf der Schule noch im akademischen Studium. Namentlich lassen ihn in merkwürdig traditioneller Weise die schulmässigen Lehrbücher im Stich in Bezug auf Einführung in die elektrischen Massbegriffe, sodass ihm selbst das Verständnis des einfachen Ohm'schen Gesetzes und seiner grundlegenden Bedeutung für die Stromtechnik recht schwer wird. Diesen Mangel sollen die folgenden Kapitel ausgleichen helfen, in welchen mit möglichster Berücksichtigung von Massen und Zahlen und stetiger Beziehung auf die ärztliche Praxis das Wissensnotwendigste von theoretischem Kalkül und praktischen Anweisungen für Elektrotechnik, Photographie und Pyknoskopie zusammengestellt ist, und zwar in so knapper Form, als unbeschadet des Verständnisses und der Anschaulichkeit angängig war. Wir möchten hoffen, dass der Arzt neben der Würdigung des neuen Gebietes darin auch ausserhalb grossstädtischen Komforts eine genügende Hilfe und Beratung findet, um selbständig seine Apparate zu montieren, zu verstehen, zu gebrauchen und zu erhalten.





1. Kapitel.

Erzeugung, Gesetze und Wirkungen elektrischer Strombewegung.

Die Körper, welche Elektrizität zu leiten vermögen, sind in Bezug auf ihr Verhalten gegen den Strom und gegeneinander während der Stromleitung in drei Klassen zu sondern.

Leiter erster Klasse, die festen, wie Metalle und Kohle, werden durch den Strom erwärmt und mechanisch verändert, gelockert.

Leiter zweiter Klasse, die Flüssigkeiten, werden chemisch verändert, zersetzt.

Leiter dritter Klasse wären folgerichtig die gasförmigen, doch verhalten sich diese dem Strom gegenüber wie schlechte (Nicht-) Leiter. Durch sie dringt die Elektrizität nur unter bedeutendem Druck entweder langsam hindurchsickernd, oder sie werden unter gewaltsamer Trennung ihrer Teile von der Elektrizität in Funkenform durchschlagen. Im festen Isolator (Glas) resultiert an der Durchbruchstelle das Loch, während die getrennten Gas- (Luft) oder Flüssigkeitsteilchen (Wasser, Öl) unter Knallwirkung wie nach Peitschenschlag wieder zusammenfahren. Umsetzung der elektrischen Kraft in Wärme, chemische Wirkung (Ozonbildung, Ätzfiguren auf metallischer Anode) und Licht (Funkenlicht, Farben-

bündel bei verdünnter, Glimm- und Büschellicht bei feuchter Luft oder hoher elektrischer Spannung) findet auch hier statt. Ob dabei die Wärme durch Glühendmachen der Luft und abgerissener Elektrodenteilchen die notwendige Zwischenstufe zwischen Elektrizität und Funkenlicht ist, erscheint zweifelhaft, seitdem wir wissen, dass der scheinbar einheitliche Entladungsfunke eine unendliche, bis zu vielen Millionen per Sekunde zählende Menge von oszillatorischen Entladungsschwankungen repräsentiert, also eine in der Funkenstrecke auf den Äther einwirkende Folge von Bewegungsimpulsen, wodurch Wellen erzeugt werden, welche mit der bekannten Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 300 000 km in der Sekunde bei geringerer Frequenz und grösserer, nach Centimetern und Metern messender Wellenlänge elektrodynamische (Induktions-) Wirkungen, bei grösserer Frequenz und kleinerer Wellenlänge zwischen drei und acht Zehntausendstel eines Millimeters in unserem Auge Lichtwirkungen auslösen (Hertz, Tesla).

Wenn irgend zwei verschiedene isolierte Leiter erster Klasse (Zink- und Kohleplatte) sich berühren, so tritt infolge der gegenseitigen chemischen Einwirkung an der Berührungsstelle eine Kraft auf, welche

erstens die ubiquitäre neutrale Elektrizität jeder der beiden Körper scheidet in positive und negative — daher elektrische Scheidungskraft genannt;

zweitens von dem einen Leiter (Zink) negative Elektrizität durch die Berührungsstelle nach dem andern, zugleich ebensoviele positive Elektrizität von diesem (Kohle) auf den ersten verschiebt, hinüberbewegt (daher elektromotorische Kraft genannt), so dass auf dem ersten (Zink) eine Ansammlung (Ladung) positiver Elektrizität unter einer bestimmten

Spannung (ein positives Potential), auf dem andern eine solche von negativer Elektrizität unter derselben Spannung (ein negatives Potential) zu stande kommt. Masseinheit für die Spannungshöhe ist das Volt.

Drittens hat diese elektrische Scheidungskraft oder elektromotorische Kraft das Bestreben, nicht sowohl die Spannung auf jedem der beiden Leiter, als vielmehr den Spannungsunterschied (die Potentialdifferenz) auf beiden Seiten der Berührungsstelle auf der für je zwei chemisch differente Leiter ein für allemal bestimmten Höhe zu erhalten. Das heisst, sobald durch äussere Einflüsse der Ladungszustand der Platten sich ändert, tritt sofort die elektrische Scheidungskraft in Thätigkeit und entwickelt Elektrizität so lange und in dem Sinne, dass der Spannungsunterschied beider Leiter keine dauernde Veränderung erleiden kann, sondern seinen bestimmten Wert beibehält.

Die z. B. bei der Berührung zwischen Zink und Kohle stets und unabhängig von der Plattengrösse erzeugte Potentialdifferenz ist 1,15 Volt. Trennt man die isolierten Platten nach der Berührung, so zeigt Zink ein positives Potential von 0,575 Volt, Kohle ein negatives von 0,575 Volt. Die Differenz ist 1,15 Volt, welche auch dann unverändert bleibt, wenn die Ladung durch irgendwelche Einflüsse ihre Spannung ändert. Brächte man z. B. das Plattensystem mit dem Konduktor einer Elektrisiermaschine in Berührung, welcher das Potential 2000 Volt hat, so zeigte Kupfer 2000 Volt, Zink 2001,15 Volt; verbinden wir es mit der Erde, welche das Potential 0 hat, so hat Kupfer das Potential 0, Zink aber 1,15 Volt.

Dieselbe elektromotorische Kraft wirkt auch bei der Berührung von Leitern erster mit Leitern zweiter Klasse, also zwischen festen und flüssigen Leitern,

zwischen Metall und Säure. Taucht man einen festen Leiter in eine Flüssigkeit, so wird (fast immer) der feste negativ, der flüssige Leiter positiv elektrisch. Taucht man zwei feste Leiter (Zink und Kupfer, Zink und Kohle) zugleich in eine Flüssigkeit, so wird immer der eine negativ, der andere positiv elektrisch, und zwar hat derjenige das positive Potential, der allein mit der Flüssigkeit berührt am wenigsten negativ sein würde. Die Flüssigkeit bekommt dann von zwei Seiten ein verschiedenes Potential. Da sie aber nicht zwei verschiedene Potentiale zu gleicher Zeit haben kann, so behält sie das aus der algebraischen Summe beider resultierende und lässt die regulierende elektrische Scheidungskraft die gesetzmässige Potentialdifferenz gegen die beiden festen Leiter herstellen. Für die Entwicklung der Potentiale in einem solchen Dreileitersystem ein Beispiel. In Grenet's Flaschenelement taucht Kohle und Zink in Schwefelsäure-Chromsäurelösung. Die Potentialdifferenz zwischen Zink (—) und Lösung (+) ist 1,4 Volt, zwischen Kohle (+) und Lösung (—) 0,6 Volt. Die Flüssigkeit bekommt also durch Zink das positive Potential 0,7, durch Kohle das negative 0,3 Volt, behält daher $0,7 + (-0,3) = 0,4$ Volt.

$$\begin{array}{r}
 \text{Pot.-Diff.} = 1,4 \text{ Volt} \quad 0,6 \text{ Volt} \\
 \text{Zink} \left| \begin{array}{c} H_2SO_4, H_2CrO_4 \\ +0,7 \quad -0,3 \end{array} \right| \text{ Kohle} \\
 -0,7 \quad \underbrace{\quad \quad \quad}_{0,4 \text{ Volt}} \quad +0,3 \text{ Volt}
 \end{array}$$

Da nun für das Zink das Potential der Flüssigkeit hierdurch von 0,7 auf 0,4, also um 0,3 verringert wird, so muss Zink zur Aufrechterhaltung der gefährdeten Potentialdifferenz von 1,4 sein Potential um ebenfalls 0,3 verringern, also das Potential —1 Volt, d. h. eine Ladung negativer Elektrizität unter 1 Volt Spannung annehmen.

Da anderseits für die Kohle das Potential der Säure von $-0,3$ auf $+0,4$, also um $0,7$ gestiegen ist, so erhöht sich zur Herstellung der gesetzmässigen Spannungsdifferenz von $0,6$ Volt das Potential der Kohle um denselben Wert, also auf $+1$ Volt.

1,4 Volt	0,6 Volt	
Zink	Säurelösung	Kohle
$-1,0$	$0,4$	$+1$ Volt.
<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> Potentialdifferenz = 2 Volt.		

Zink ist also mit negativer, Kohle mit positiver Elektrizität, beide auf 1 Volt Spannung geladen, und die Potentialdifferenz des ganzen Systems ist nunmehr 2 Volt.

Die an den Polen aufgestauten Ladungen befinden sich nun zwar im statischen Gleichgewicht, aber in einem Zwangszustande insofern, als ja die Teilchen gleichartiger Ladung sich voneinander zu entfernen und den Teilchen entgegengesetzter Ladung sich zu nähern trachten, soweit sie können, womöglich bis zur Vereinigung und Herstellung des neutralen Zustandes, d. i. der Entladung. Diese Bewegung der Elektrizitäten wird ermöglicht, sobald eine leitende Verbindung ausser oder ausserhalb der Flüssigkeit zwischen den Platten hergestellt ist, wie durch den Schliessungsdraht zwischen den Polen.

Wie das Wasser sich vom höheren zum tieferen Niveau bewegt, und zwar mit um so grösserem Kraftantrieb, je grösser die Niveaudifferenz ist, so fliesst nun positive Elektrizität zum negativen, negative zum positiven Pole mit dem durch die jeweilige Potentialdifferenz („Potentialgefälle“) bestimmten Kraftantrieb. In dem Masse aber, als die Entladung vor sich geht, muss die elektromotorische (Scheidungs-) Kraft für die von den Polen abgeflossenen Elektrizitätsmengen neue Mengen nachschieben, um die ursprüngliche

Potentialdifferenz zu erhalten. So gehen Entladung und Neuladung nebeneinander vor sich, an Stelle des statischen Gleichgewichts ist das dynamische, an Stelle des Ladungszustandes der stationäre Stromzustand getreten und besteht so lange, als der leitende Schliessungsbogen aussen und die elektrochemische Differenz im Element vorhalten.

Da der Spannungsunterschied zwischen den Polen eines Elements oder einer Batterie (Potentialdifferenz, vulgo Spannung, Klemmenspannung) resultiert aus der Summe der in denselben wirksamen elektromotorischen Kräfte, oder da der Kraftantrieb, mit dem die an entgegengesetzten Polen angehäuften Elektrizitäten sich zu vereinigen streben, notwendig genau derselbe sein muss wie der, mit welchem sie dorthin auseinandergetrieben wurden, um die bestimmte Potentialdifferenz zu erzeugen, so ist eben Potentialdifferenz und elektromotorische Kraft praktisch dasselbe. Wir verstehen darunter die Grösse der Druckkraft, unter welcher die Elektrizität durch den Stromkreis getrieben wird, und geben ihr das Mass der Potentialdifferenz, nennen also die elektromotorische Kraft (vulgo Spannung für Spannungsunterschied) unseres Elements = 2 Volt.

Die elektromotorische Kraft hat ihren Ursprung in der chemischen Einwirkung der stromgebenden Leiter aufeinander in ihren Berührungsflächen. Ihre Grösse (Zahl der Volt) ist nur abhängig von der chemischen Natur, nicht von der Grösse der Berührungsflächen. Die letztere bestimmt nur den inneren Widerstand und damit die höchste zu erreichende Stromstärke (s. u.). In einem geschlossenen Kreise von nur festen Leitern ist die Summe der elektromotorischen Kräfte nach Gesetzen der Spannungsreihe = 0, ein solcher giebt also keinen Strom. Nur durch Einfügung eines flüssigen Leiters (der eventuell

wie in den sogenannten Trockenelementen, gelatinisiert sein kann), erzielt man eine stromtreibende Potentialdifferenz. Solche Leitersysteme sind unsere vielfach modifizierten galvanischen Elemente. Wird durch leitende Verbindung ihrer Pole (Schliessungsbogen) der geschlossene Stromkreis hergestellt, so bewegen sich in demselben entgegengesetzte Elektrizitäten in entgegengesetzten Richtungen, da die positive Ladung nach dem negativen, die negative Ladung nach dem positiven Pole zu ihr „Potentialgefälle“ hat. Der positive Strom fliesst von der negativen Platte (Zink) im Element durch die Flüssigkeit zur positiven Platte (Kohle), von dieser im äusseren Schliessungsbogen zum negativen Pol zurück, der negative Strom umgekehrt von der positiven Platte durch Flüssigkeit, negative Platte und Schliessungsbogen zur positiven zurück. Man unterscheidet danach einen inneren und äusseren Teil des Stromkreises, fälschlich inneren und äusseren Stromkreis. Die Stromrichtung wird benannt nach der des positiven Stromes. Die Austrittsstellen desselben aus einem Leiter heissen Anoden, seine Eintrittsstellen, die zugleich Austrittsstellen des negativen Stromes sind, Kathoden. In unserem Element sind also Anoden der äussere Kohlepol und der innere Zinkpol, Kathoden der äussere Zinkpol und der innere Kohlepol. Anode und Kathode schlechtweg bezeichnen äusseren positiven und negativen Pol.

Der in einem Element vorhandene, zur Umwandlung in elektrische Kraft bestimmte Vorrat von chemischer Differenz ist die Kapazität des Elements.

Die Stromstärke, d. i. die während der Zeiteinheit in der Strombahn sich abgleichenden (fliessenden) Elektrizitätsmengen und damit die Beanspruchung der elektrischen Scheidungskraft und die Verringerung des Vorrats an chemischer Differenz hängt ab, ähnlich

wie die durch den Querschnitt eines Rohres strömende Wassermenge, von dem Verhältnis der bewegenden Kraft zum Leitungswiderstande der Strombahn. (Intensität = elektromotorische Kraft : Widerstand.)

Leitungswiderstand ist der reziproke Wert der Leitungsfähigkeit. Entspricht die elektrische Potentialdifferenz oder Spannungshöhe der Niveaudifferenz oder Druckhöhe der Hydrostatik, so ist die Leitungsfähigkeit resp. Widerstand der elektrischen Strombahn der Weite resp. Enge der Wasserröhren analog.

Gesamtwiderstand der elektrischen Strombahn ist die Summe der vom Strome durchflossenen Leiter, setzt sich also zusammen aus dem inneren, wesentlichen Widerstand, d. h. dem der stromgebenden Leiter (Element), und dem äusseren, ausserwesentlichen Widerstand, dem des Schliessungsbogens.

Der Widerstand eines leitenden Körpers hängt ab von seiner chemischen Natur (spezifischer Widerstand), von seiner Länge und seinem Querschnitt. Nach ihrem spezifischen Widerstand, auf den des Quecksilbers = 1 bezogen, ordnen sich einige elektrotechnisch wichtige Körper nach der umstehenden Tabelle.

Der absolute Widerstand eines bestimmten Körpers ist = $\frac{\text{spezifischer Widerstand} \times \text{Länge}}{\text{Querschnitt}}$, d. h. er wird

bei gleichem Material desto grösser, je länger und je dünner der Leiter wird, während der leitende Körper dem Strome geringeren Widerstand entgegensetzt, wenn er kürzer und dicker wird. Ferner ist zu erwähnen, dass der Widerstand der Metalle mit der Temperatur zunimmt, der der Flüssigkeiten und Kohle abnimmt.

Die praktische Einheit für Widerstandsmessung ist das Ohm, nämlich der Widerstand einer Queck-

	Spezifische Leitungs- fähigkeit	Spezifischer Widerstand
Weiches Silber	62	$\frac{1}{62} = 0,016$
Kupfer	57	0,017
Gold	46	0,021
Aluminium	32	0,03
Zink	16	0,06
Platin	14	0,07
Messing	13	0,08
Eisen	9	0,11
Nickel, Zinn	7	0,13
Blei	5	0,2
Neusilber	3	0,31
Nickelin, Manganin	2,5	0,4
Rheotan, Konstantan	2	0,5
Kruppin	1,2	0,85
Quecksilber	1	1
Graphit	0,08	12
Gaskohle	0,02	50
30 prozentige Schwefelsäure	0,00007	14500
Salpetersäure	—	18000
Zinkvitriollösung	—	288000
Kupfervitriol	—	306000
Essigsäure	0,00000015	6000000
Reines Wasser	0,000000008	120000000
Trockene Luft	0	∞

silbersäule von 1 qmm Querschnitt und 106,3 cm Länge und 14,4521 gr Gewicht bei der Temperatur des schmelzenden Eises. (Gesetz, betreffend die elektrischen Masseinheiten vom 1. Juni 1898.)

Ein Ohm aus Kupferdraht hergestellt von demselben Querschnitt müsste also $1,06 \times 57$ oder $\frac{1,06}{0,017} = 60$ m messen, aus Neusilber 3 m, aus Graphit 0,088 m, aus Zinkvitriol 0,004 mm.

Ein Megaohm sind 10^6 Ohm, ein Mikrohm 10^{-6} (ein Milliontel) Ohm. Ein Kubikcentimeter repräsentiert

in Kupfer 1,6 Mikrohmm, in Neusilber 30 Mikrohmm, in Quecksilber 94 Mikrohmm, in Glimmer 84 Millionen Megohmm, in Paraffin $34\,000 \cdot 10^6$ Megohmm, in Glas und trockener Luft unmessbare Widerstände.

Die Beziehung der drei wichtigsten Grössen der Elektrophysik, Stromstärke, Widerstand und elektromotorischer Kraft (Spannung), ist nun die, dass in der Zeiteinheit der Verbrauch von abfliessender Elektrizität in der Strombahn (Stromstärke) um so grösser ist, je weniger die Strombahn Widerstand leistet und je heftiger der Bewegungsantrieb ist. Diese Beziehung ist ausgedrückt in dem Ohm'schen Gesetze:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}}.$$

Die Masseinheit der Stromstärke ist diejenige Stromstärke, welche in einem Stromkreise von 1 Ohm Widerstand unter der Spannung von 1 Volt herrscht, und heisst 1 Ampère. Es besteht also die Gleichung $1 \text{ Ampère} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}$ oder $= \frac{5 \text{ Volt}}{5 \text{ Ohm}}$ u. s. w. Von der

Stromstärke hängt die Arbeitsleistung des Stromes ab. Die elektrolytische Arbeit eines Stromes von 1 Ampère ist z. B. die Abscheidung von 0,173 ccm Knallgas in der Sekunde, 10,5 ccm in der Minute aus Wasser. Nach dem Reichsgesetz vom 1. Juni 1898 wird das Ampère dargestellt durch den unveränderlichen elektrischen Strom, welcher bei dem Durchgang durch eine wässrige Lösung von Silbernitrat in einer Sekunde 0,001 118 g Silber niederschlägt.

Die Masseinheit der elektromotorischen Kraft, das Volt, wird dargestellt durch die elektromotorische Kraft, welche in einem Leiter, dessen Widerstand 1 Ohm beträgt, einen elektrischen Strom von 1 Ampère erzeugt. Es ist ungefähr die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes.

Um die Stromstärke in einem Stromkreise zu vermehren, haben wir also nach dem Ohm'schen Gesetze zwei Mittel an der Hand: Vermehrung der elektromotorischen Kraft und Verminderung des Widerstandes; zur Abschwächung der Stromstärke: Verminderung der elektromotorischen Kraft und Vermehrung des Widerstandes.

Die elektromotorische Kraft eines Elements können wir nicht beliebig durch bessere Auswahl der stromgebenden Körper erhöhen, weil die höchsten Leistungen der bis jetzt konstruierbaren Elemente 2 Volt nicht dauernd erreichen oder überschreiten. Wir können aber die elektromotorischen Kräfte beliebig vieler Elemente in einem Stromkreise summieren, indem wir die Elemente so hintereinander einschalten, dass der Strom, aus dem einen durch das nächste fließend, von jedem einen neuen Bewegungsimpuls in derselben Richtung bekommt. Verbinden wir z. B. zwei unserer Chromsäureelemente so (Fig. 1), dass der Kohlepol (+) des ersten mit dem Zinkpol (—) des nächsten leitend verbunden ist, so gleichen sich die Potentiale dieser Pole +1 Volt und — 1 Volt durch Summierung aus, beide nehmen also das Potential 0 an. Durch Wiederherstellung der ursprünglichen Potentialdifferenz gegen die freien Platten bekommt der Zinkpol des ersten das Potential — 2 Volt, der Kohlepol des zweiten + 2 Volt, die Potentialdifferenz zwischen den beiden freien Polen ist also

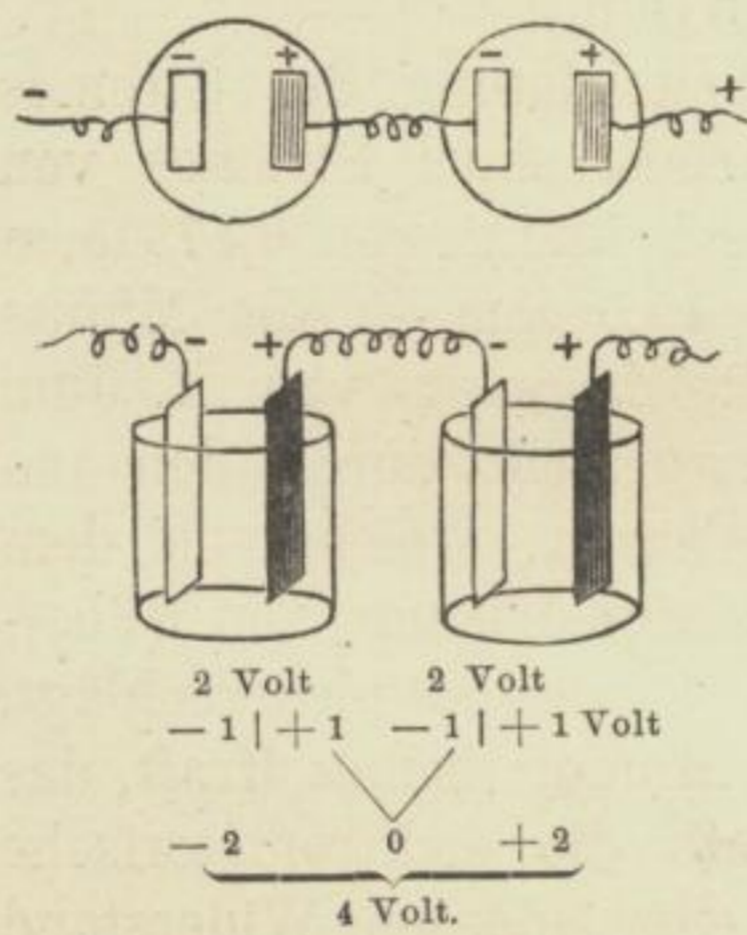


Fig. 1.
Schaltung auf Spannung.

tialdifferenz zwischen den beiden freien Polen ist also

Kohlepol (+) des ersten mit dem Zinkpol (—) des nächsten leitend verbunden ist, so gleichen sich die Potentiale dieser Pole +1 Volt und — 1 Volt durch Summierung aus, beide nehmen also das Potential 0 an. Durch Wiederherstellung der ursprünglichen Potentialdifferenz gegen die freien Platten bekommt der Zinkpol des ersten das Potential — 2 Volt, der Kohlepol des zweiten + 2 Volt, die Potentialdifferenz zwischen den beiden freien Polen ist also

nun 4 Volt. Solche Verbindung beliebig vieler Elemente zu einer Batterie, in der ungleichnamige Pole sich leitend berühren, nennt man ungleichnamige Hintereinanderschaltung, Reihenschaltung oder Schaltung auf Spannung. (Gleichnamige Hintereinanderschaltung von Elementen ist wertlos, da nicht die Summe, sondern die Differenz ihrer elektromotorischen Kräfte wirksam, und diese bei paariger Anzahl gleichkräftiger Elemente = 0, bei unpaarer Anzahl gleich der eines Elementes sein würde.)

In einem Stromkreise von 100 Ohm Widerstand bewirkt ein Element von 2 Volt eine Stromstärke von $\frac{2}{100} = 0,02$ Ampère. Erhöhen wir die elektromotorische Kraft durch Einschaltung eines zweiten Elements auf 4 Volt, so wächst die Stromstärke nunmehr auf $\frac{4}{100} = 0,04$ Ampère, bei drei hintereinander geschalteten Elementen auf 0,06 Ampère. Nicht berücksichtigt ist hier, dass durch die Dazuschaltung eines jeden Elements ausser der elektromotorischen Kraft auch zugleich der Widerstand der Strombahn einen Zuwachs erfährt, nämlich um den inneren Widerstand eines Elements, hier beispielsweise 0,2 Ohm. Dieser Zuwachs ist aber gegenüber dem Gesamtwiderstande von 100 Ohm so unbedeutend, dass er in praxi gestrost vernachlässigt werden kann, indem durch ihn die Stromstärke nur um $\frac{1}{500}$ beeinträchtigt wird.

Ganz beträchtlich wirkt aber solcher Zuwachs an innerem Widerstand beschränkend auf die Stromstärke, wenn derselbe im Verhältnis zum äusseren Widerstand sehr gross ist, z. B. bei der Galvanokaustik. Die galvanokaustische Schlinge repräsentiert einen kleinen Widerstand von beispielsweise 0,02 Ohm.

Wir schalten sie als äusseren Widerstand zwischen die Pole unseres Elements, welches einen inneren Widerstand von 0,2 Ohm hat. Der Gesamtwiderstand der Strombahn ist hier = 0,22 Ohm, die Stromstärke würde sein = 9,09 Ampère. Die Schlinge ist aber noch nicht weissglühend, wozu etwa 16 Ampère erforderlich sind. Schalten wir jetzt zwei Elemente auf Spannung ein, so haben wir nunmehr im Stromkreise einen Gesamtwiderstand von 0,2 + 0,2 + 0,02 Ohm,

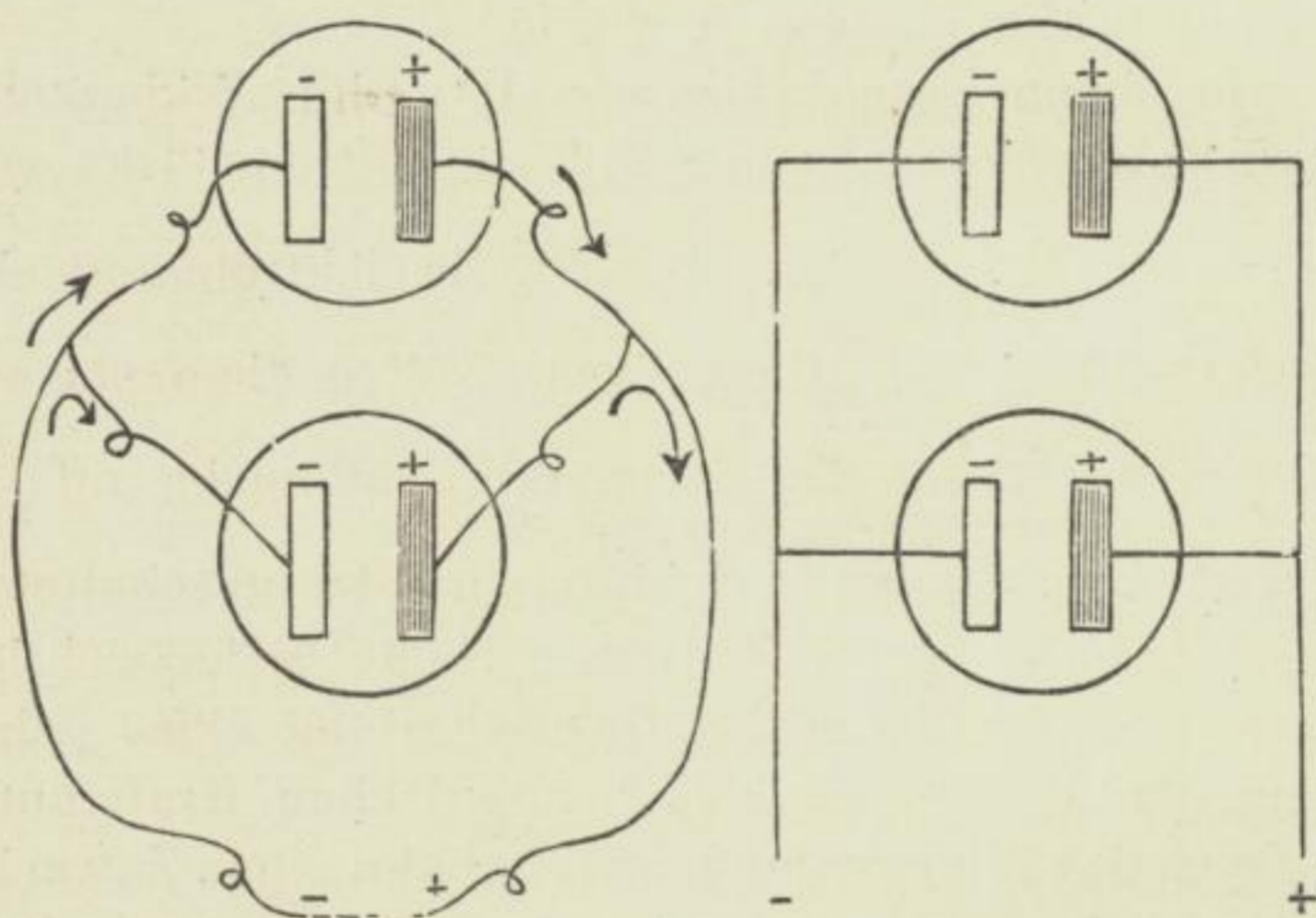


Fig. 2.
Schaltung auf Quantität.

die Stromstärke = $\frac{4 \text{ Volt}}{0,42 \text{ Ohm}} = 9,05 \text{ Ampère}$, also fast dieselbe wie bei der Benutzung nur eines Elements, da der Zuwachs an elektromotorischer Kraft durch den gleichzeitigen Zuwachs an Widerstand aufgewogen wurde. In diesem Falle führt nur das zweite Mittel zum Ziele, nämlich die Verminderung des Widerstandes, und zwar, da der äussere Widerstand, die Glühschlinge, nicht verkleinert werden kann, die des inneren Widerstandes der Strombahn. Dieser besteht hauptsächlich in dem der Elementflüssigkeit,

er wächst mit dem Abstände der Platten in der Flüssigkeit und nimmt ab bei zunehmender Grösse der Berührungsflächen, d. h. des Querschnittes der flüssigen Leitung. Das gewünschte Element von halb so grossem inneren Widerstand als das erste wäre also ein solches mit doppelt so grossen Berührungsflächen zwischen Platten und Flüssigkeit. Hat man aber nur die kleinere Sorte von Platten oder Elementen zur Verfügung, so erreicht man dasselbe Ziel, indem man alle positiven (Kohle-) Platten zu einem gemeinschaftlichen positiven Pole, alle negativen Pole (Zinkplatten) zu einem gemeinschaftlichen negativen Pole verbindet (Fig. 2). Man nennt diese Art der Verbindung beliebig vieler Elemente zu einer Batterie Parallelschaltung, Nebeneinanderschaltung oder Schaltung auf Quantität. In unserem Beispiel ist nach Verkleinerung des inneren Widerstandes um die Hälfte durch Parallelschaltung zweier Elemente die Stromstärke

$$= \frac{2 \text{ Volt}}{0,1 + 0,02 \text{ Ohm}} = \frac{2}{0,12} = 16,6 \text{ Ampère.}$$

Hier hätte der äussere Widerstand von 0,02 Ohm gegenüber dem grösseren inneren vernachlässigt werden können.

Die Reihenschaltung von Elementen bewirkt also im Verhältniss der Zahl derselben Vermehrung der Spannung zugleich mit Vermehrung des inneren Widerstandes, ist daher nur nützlich in solchen Stromkreisen, gegen deren äusseren Widerstand der innere verschwindend klein ist, z. B. bei der Beleuchtung, Telegraphie, Galvanotherapie, Elektrolyse.

Eine parallelgeschaltete Batterie dagegen hat immer nur die elektromotorische Kraft eines Elementes, aber einen sovielman kleineren Widerstand, als die Zahl der parallel geschalteten Elemente beträgt. Sie wirkt wie ein Element mit Platten von der Grösse der Summe der Platten der Batterie und ist behufs

Vermehrung der Stromstärke nur da angebracht, wo der äussere Widerstand gegen den inneren verschwindend klein ist. Bei grossem äusseren Wider-

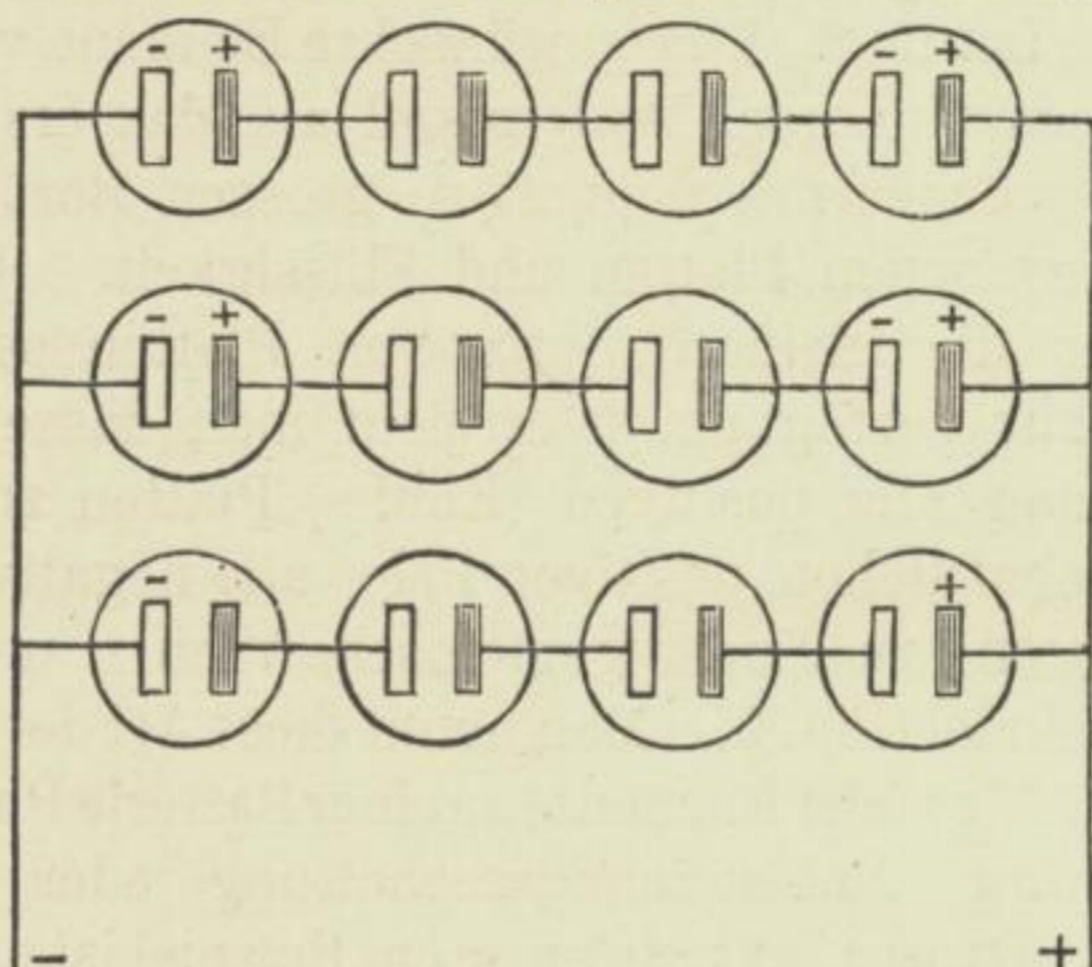


Fig. 3.

Drei ungleichnamige Reihen parallel geschaltet.

stande würde die Parallelschaltung resp. die Vergrösserung der Platten die Stromstärke nicht beein-

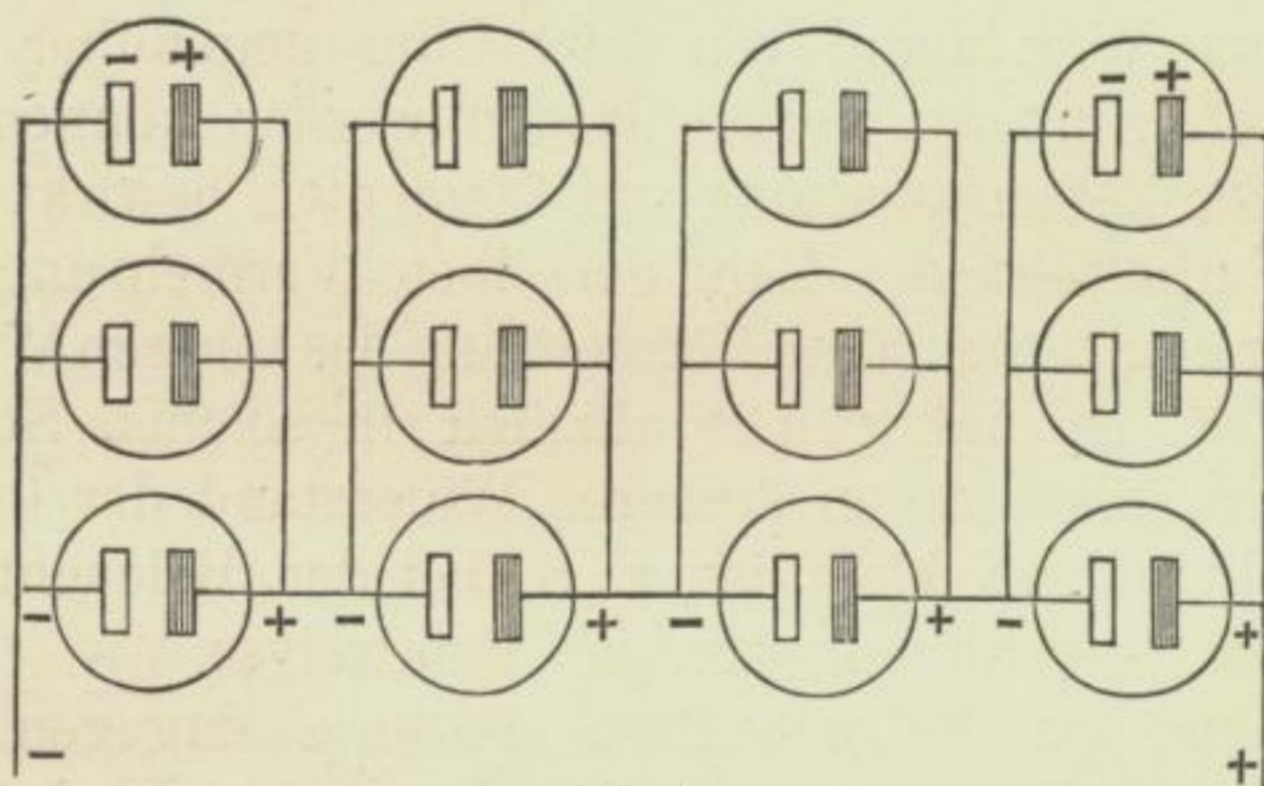


Fig. 4.

Vier Parallelreihen hintereinander geschaltet.

flussen, sondern nur die Kapazität (die Ausdauer) vermehren. Natürlich kann man zweckmässiger Weise nach Erfordernis beliebig viele Reihen hintereinander-

geschalteter Elemente parallel verbinden, wie Fig. 3 zeigt, oder parallel geschaltete Reihen hintereinander, wie in Fig. 4. Hierbei gilt immer die Regel, dass die Schaltung die zweckmässigste ist, bei der der innere Widerstand möglichst gleich dem äusseren oder kleiner ist. Die Spannung einer so geschalteten Batterie ist dann immer gleich der Summe der in einer ungleichnamigen Reihe hintereinander geschalteten Elemente, in Fig. 3 und 4 also, wenn ein Element die Spannung von 2 Volt hat, $4 \times 2 = 8$ Volt. Der innere Widerstand dieser Batterie ist gleich der Summe der Widerstände der in einer Reihe hintereinandergeschalteten Elemente dividiert durch die Zahl solcher parallel geschalteten Reihen. Ist also in Fig. 3 und 4 der innere Widerstand eines Elements $= 3$ Ohm, so repräsentiert jede Reihe von 4 hintereinandergeschalteten Elementen $4 \times 3 = 12$ Ohm, die Batterie von 3 solchen parallel geschalteten Reihen à 12 Ohm nur $\frac{12}{3} = 4$ Ohm.

Die praktische Bedeutung des innern Widerstandes eines Elementes ist die, dass dadurch die Leistung eines Elementes in Bezug auf seine Stromstärke nach oben scharf begrenzt wird. Ist z. B. der innere Widerstand eines Daniell'schen Elements von 1 Volt Spannung 5 Ohm, so kann es eine grössere Stromstärke als $\frac{1}{5}$ Ampère überhaupt nicht abgeben, während ein Chromsäureelement von 1,5 Volt und nur 0,06 Ohm schon $\frac{1,5}{0,06} = 25$ Ampère liefern müsste.

Indessen sind diese höchsten möglichen Werte der Stromstärke auch nur bei dem ersten Stromschlusse vorhanden und fallen bei weiterer Benutzung sehr bald auf viel kleinere Werte herab, und zwar theils, weil durch die hohe Beanspruchung die Kapazität (der Vorrat) des Elements zu schnell erschöpft wird,

teils weil durch die chemische Wirkung des starken Stromes seine Konstruktion geschädigt, mindestens aber sein innerer Widerstand infolge elektrolytischer Wirkung (Polarisation s. u.) vermehrt wird.

Die Parallelschaltung von Elementen oder Batterien wird man also da heranziehen, wo man in einen geeigneten äusseren Stromkreis einen stärkeren Strom sich ergiessen lassen will, als ein einzelnes Element (in Rücksicht auf seinen innern Widerstand resp. seine Konstruktion) abgeben resp. passieren lassen kann. Wollten wir z. B. einen Induktor, welcher 5 Ampère verbraucht, mit Daniell'schen Elementen speisen, deren jedes nur 0,2 Ampère liefert, so müssten wir 25 Elemente parallel schalten, um die nötige Stromstärke zu ermöglichen. Da diese Batterie aber nur 1 Volt Spannung hat, wir aber 4 Volt Spannung bedürfen, um diesen Strom durch den Induktor hindurch zu treiben, so müssen wir 4 Gruppen von je 25 parallel geschalteten Elementen hintereinander schalten, brauchen also im ganzen 100 Elemente. Einfacher gestaltet sich der Betrieb z. B. mit Bunsen'schen und Grenet'schen Elementen, jedoch immer noch so umständlich und unwirtschaftlich, dass wir uns notwendig mit dem Betriebe von Akkumulatoren, bis jetzt der idealsten Stromquelle von der Form der Elemente, bekannt machen müssen.

Die Verminderung der elektromotorischen Kraft in einem Stromkreise erreicht man am einfachsten durch Verminderung der Zahl der hintereinandergeschalteten Elemente. Ist die Stromquelle eine Dynamomaschine, so würde eine Verlangsamung der Umdrehungen oder die Erhöhung des Widerstandes in der Nebenschlusswicklung in Frage kommen. Ist die Stromquelle unveränderlich, so bedient man sich zur Verminderung von Spannung sowie Stromstärke der

Vermehrung des Widerstandes der Strombahn. Dies geschieht dadurch, dass man an irgend einer Stelle der Strombahn einen weniger gut leitenden Körper einschaltet, wobei es gleichgültig ist, ob dieser Körper durch grössere Länge oder durch verminderten Querschnitt oder durch seine geringere spezifische Leitungsfähigkeit oder durch gleichzeitiges Zusammenwirken dieser Momente den Gesamtwiderstand der Strombahn vermehrt. Ist die Widerstandsgrösse veränderlich und regulierbar, so nennt man solche Körper Rheostate und unterscheidet Flüssigkeitsrheostate, bei denen der Widerstand durch den veränderlichen Ab-

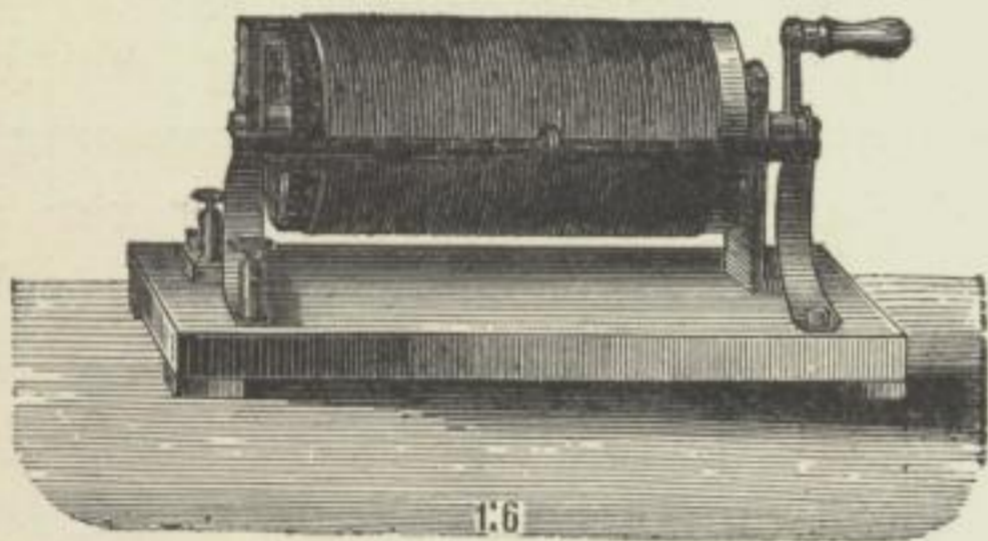


Fig. 5.

Wheatstone's Walzenrheostat von Ernecke.

stand zweier in Flüssigkeit tauchender Metallelektroden reguliert wird, und Metallrheostate, durch welche verschieden lange Drahtstrecken von schlecht leitendem Metalle (Rheotan, Nickelin, Neusilber) in die Strombahn eingeschaltet werden können. Da es sich immer um viele Meter lange Drähte handelt (die Berechnung der Ausdehnung ergibt sich aus der Widerstandstabelle p. 18), so sind dieselben zu Spiralen gewunden, auf deren Windungen entweder ein Schlitten zur Abnahme des Stromes gleitet (Walzenrheostate von Wheatstone, Fig. 5), oder deren Windungen in verschiedenen abgemessenen Gruppen durch eine Kurbel (Kurbelrheostate, Fig. 7a) oder durch

Stöpsel (Stöpselrheostate, Widerstandskasten) ein- und ausgeschaltet werden können. Zur Verminderung von Starkstromspannungen dienen Glühlampen als bequemer Vorschaltwiderstand von bekannter Grösse, welcher durch Parallel- oder Hintereinanderschaltung mehrerer Lampen von verschiedener Kerzenstärke leicht verändert werden kann (Fig. 16).

Dass mit der Verminderung der Stromstärke infolge der Einschaltung eines Widerstandes in den Stromkreis auch eine Verminderung der Spannung bewirkt wird, ergibt sich aus dem Ohm'schen Gesetze $\text{Spannung} = \text{Stromstärke} \times \text{Widerstand}$. Während nämlich die Stromstärke in allen Querschnitten der Strombahn dieselbe ist unabhängig von der Form dieses Querschnitts, so erleidet die Spannung in jedem Teile der Leitung einen Verlust, der von der Form dieses Teiles abhängt. Da in einem geschlossenen Stromkreise die Summe aller Spannungsverluste gleich ist der darin herrschenden elektromotorischen Kraft und diese $= \text{Stromstärke} \times \text{Widerstand}$, so ist auch der in jedem Teile der Leitung, in jedem Drahtstücke zu stande kommende Spannungsverlust gleich dem Produkte aus seinem Widerstande und der ihn durchfliessenden Stromstärke.

Hiermit lässt sich z. B. berechnen, wie gross ein Vorschaltwiderstand gewählt werden muss, welcher die Spannung einer Lichtleitung von 100 Volt zum Betriebe eines Induktors mit 5 Ampère auf 30 Volt vermindern soll, wobei der Widerstand des mit einer gewissen Unterbrechungsfrequenz thätigen Induktors samt seinem induktiven Widerstande (s. Kap. 3) 6 Ohm betrüge. In diesem Falle sollen 70 Volt getilgt werden, und dieser Spannungsverlust wäre $= 5 \text{ Ampère} \times \text{gesuchter Widerstand}$, also Widerstand $= \frac{70}{5} = 14 \text{ Ohm}$. Es lässt sich dann erkennen, dass

der Betrieb $\frac{100 \text{ Volt}}{6+14 \text{ Ohm}}$ dasselbe leistet wie $\frac{30 \text{ Volt}}{6 \text{ Ohm}}$, nämlich 5 Ampère. Bei Bedarf von 10 Ampère würden 7 Ohm, für 20 Ampère 3,5 Ohm nötig sein.

Schaltet man in eine Lichtleitung (Fig. 6) von 100 Volt Spannung einen Induktor von 1 Ohm Widerstand und dazu einen Lampenwiderstand von 8 parallelgeschalteten Lampen à 200 Ohm, welche mit 0,5 Ampère Verbrauch für 100-Voltspannung bestimmt sind, so repräsentieren die

8 parallel geschalteten Lampen einen Widerstand von $\frac{200}{8} = 25 \text{ Ohm}$ (nicht

200×8 , dies würde der Fall sein bei Hintereinanderschaltung), der Gesamtwiderstand des Stromkreises ist also 26 Ohm, der Strom selbst $= \frac{100}{26} = 3,85 \text{ Ampère}$.

Der Induktor stände dann unter einer Spannung von

$1 \text{ Ohm} \times 3,85 \text{ Amp.} = 3,85 \text{ Volt}$, der Lampenrheostat unter $25 \times 3,85 = 96,15 \text{ Volt}$, die in ihm verbraucht werden; $96,15 + 3,85 = 100$. Man kann also sich so ausdrücken, dass jede der 100-Volt-Lampen à 0,5 Ampère dem Induktor ca. 0,5 Ampère zuführt. Schalten wir die doppelte Anzahl Lampen (oder dieselbe Anzahl von doppelter Kerzenstärke) ein, so ist der Rheostatwiderstand $= \frac{200}{16} = 12,5 \text{ Ohm}$, die Stromstärke =

$\frac{100}{1+12,5} = 7,4 \text{ Ampère}$ (jede der Lampen lässt ca. 0,5 Amp. passieren), der Spannungsverlust im Rheo-

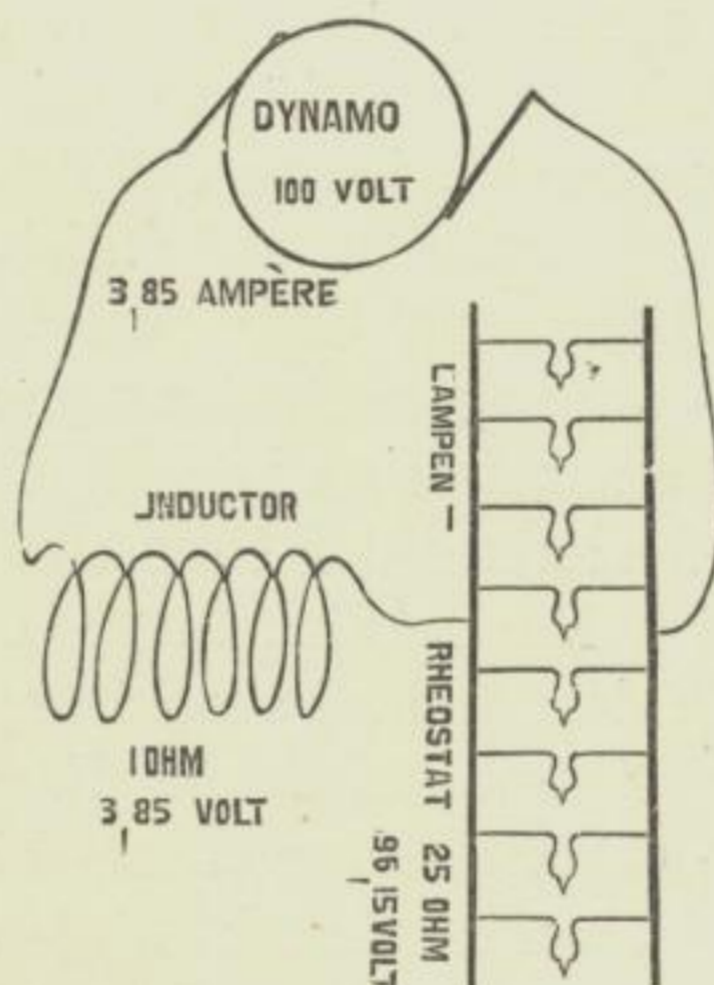


Fig. 6.

staten $= 12,5 \times 7,4 = 92,5$ Volt, während im Induktor $1 \times 7,4 = 7,4$ Volt wirksam sind.

Es wird nun auch verständlich sein, dass die elektromotorische Kraft eines Elementes nicht voll ausnützlich ist, da diese schon durch den inneren Widerstand eines Elementes einen Verlust erfahren hat; der nutzbare Rest, die sogenannte Klemmenspannung, ist als variable Grösse bei allen Stromquellen, auch den Dynamos, = dem Produkte aus äusserem Widerstande und der Stromstärke und natürlich am günstigsten bei den Stromquellen mit dem geringsten inneren Widerstande, den Akkumulatoren.

Ferner ist ersichtlich, dass die Regulierung der Stromstärke und Spannung viel zweckmässiger durch Spannungsveränderung an der Stromquelle (Ein- und Ausschaltung von Elementen, Akkumulatorzellen, Aenderung der Umdrehungen resp. des Widerstandes der Magnetwicklung) als durch Einschaltung von Widerständen geschieht, durch welche nicht nur elektrische Kraft in Form von Wärme nutzlos absorbiert, sondern auch die Entnahme höherer Stromstärken beschränkt wird, weil der Vorschaltwiderstand die Stromquelle gleichsam in eine solche mit grösserem inneren Widerstande und somit geringerer Klemmenspannung verwandelt. Andererseits darf man nicht vergessen, dass ein Widerstand als „Voltschalter“ eine bestimmte Anzahl Volts immer nur für einen bestimmten Fall, nämlich in Beziehung zu einem bestimmten, hinter ihn geschalteten Widerstande und dadurch bestimmter Stromstärke tilgt, nicht aber auch für den Fall, dass dieser andere Widerstand, in unseren Beispielen der Induktor, durch einen anderen Leiter, etwa den menschlichen Körper, ersetzt wird. Wir wissen z. B., dass wir zum Erhitzen einer Glühspirale von 0,1 Ohm durch 20 Ampère eine Spannung

von 2 Volt, die einer Akkumulatorzelle, nötig haben. Wollen wir aber unsere Starkstromlichtleitung zu demselben Zwecke anwenden, so müssen wir 98 Volt tilgen mit dem Widerstande von $W = \frac{98}{20} = 4,9$ Ohm. In dem Stromkreise wäre dann Stromstärke = $\frac{100}{4,9 + 0,1} = 20$ Ampère, der Rheostat verbrauchte $4,9 \cdot 20 = 98$ Volt, die Schlinge stände unter $0,1 \cdot 20 = 2$ Volt Spannung.

Wenn wir nun dächten, dieses Arrangement entspräche dem bei der Akkumulatorzelle und wir könnten unsern Körper von 5000 Ohm mit demselben harmlosen Effekt wie am Akkumulator ($I = \frac{2 \text{ Volt}}{5000 \text{ Ohm}} = 0,0004$ Amp.) an Stelle der Schlinge setzen, so wäre das ein grosser Irrthum. Denn nun wäre die Stromstärke $I = \frac{100}{5004,9} = 0,019$, also 19 Milliampère statt 0,4 Milliampère, das ist fast das 50fache; zugleich stände der Körper in diesem Falle nicht unter einer elektromotorischen Kraft von 2 Volt, sondern $5000 \cdot 0,019 = 95$ Volt, der Rheostat nicht mehr wie vorher unter 98, sondern $4,9 \cdot 0,019 = 0,0931$ Volt.

Die in einem Stromkreise aufgewandte Energie ist das Produkt aus Spannung und Stromstärke; ein Voltampère heisst 1 Watt.

Stromdichte ist das Verhältniss der Stromstärke zum Leitungsquerschnitt. Es ist festzuhalten, dass in einem und demselben Stromkreise zwar die Stromdichte an allen Stellen verschieden ist, welche verschiedenen Querschnitt haben, während jedoch die Stromstärke in einem einfachen Stromkreise an allen Querschnitten dieselbe sein muss. In einem verzweigten Stromkreise ist die Summe der einzelnen Zweigstromstärken gleich der Stromstärke in dem

unverzweigten Teile der Strombahn. Durch Anlegen neuer Zweige (Nebenschlüsse) wird der Gesamtwiderstand der Strombahn vermindert, die Gesamtstromstärke vermehrt. Dies berücksichtige man bei vielseitiger und gleichzeitiger Beanspruchung seiner Stromquelle in verschiedenen parallelen Stromkreisen. Befindet sich ein Widerstand B im Nebenschluss zum Widerstand I , so ist der Widerstand zwischen den Abzweigungspunkten (den gemeinschaftlichen Endpunkten von B und I) kleiner als B und kleiner als I , nämlich $\frac{B \times I}{B + I}$. In den zwischen zwei Abzweigungspunkten der Strombahn liegenden Stromzweigen sind die Spannungen gleich, aber der Gesamtstrom verteilt sich in den Stromzweigen nach Massgabe der Widerstände derselben, d. h. die Stromstärken verhalten sich umgekehrt wie die Widerstände der Stromzweige. Man kann daher auch zur Regulierung der Stromstärke in einem Stromzweige einen Rheostaten im Nebenschluss anwenden. Dies ist der Fall bei dem Abzweigwiderstand von Ernecke, Fig. 7, welcher an den Strom der Centrale D so angeschlossen wird, dass die beiden Rheostate A (mit Widerstandsbereich bis 17 Ohm) und B (bis 5 Ohm) hintereinander, der Induktor I aber zu B parallel geschaltet ist. Sind z. B. von A 10 Ohm eingeschaltet, während bei B alle Widerstandsspiralen ausgeschaltet sind, also der Widerstand im Nebenschluss fast gleich Null ist, so kreist in der Hauptleitung ein Strom von $\frac{110}{10} = 11$ Ampère. Diese 11 Ampère nehmen ihren Weg von einem Abzweigungspunkte zum andern fast ganz durch den Zweig B , fast gar nicht durch den Zweig I , dessen Widerstand von 0,5 Ohm gegen den ersteren unendlich gross ist, während die Spannung an den Abzweigungspunkten, also auch im Induktor, gleich Null ist,

nämlich $= 0 \times 11$ oder $= 0,5 \times 0$. Wird jetzt der Widerstand von B auf $0,1$ Ohm erhöht, (durch Einschaltung einiger Spiralen infolge Drehung der Kurbel

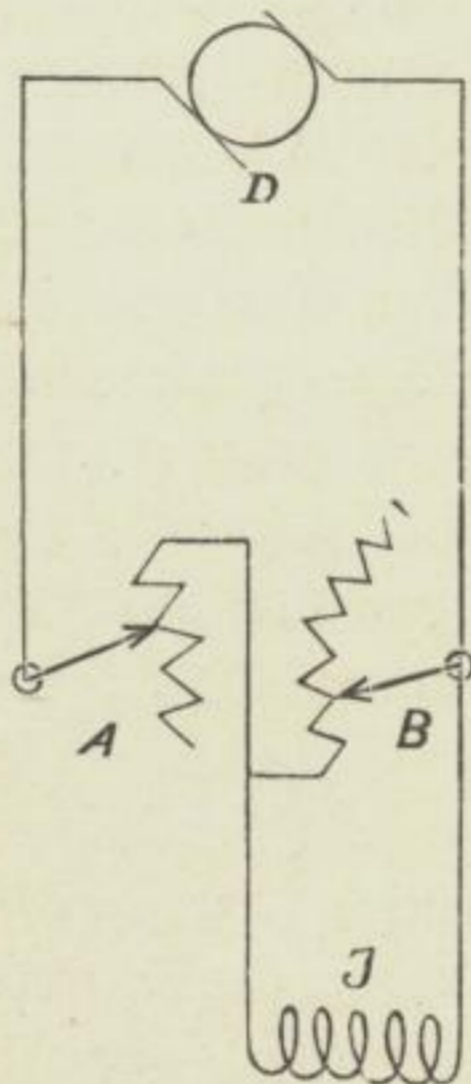
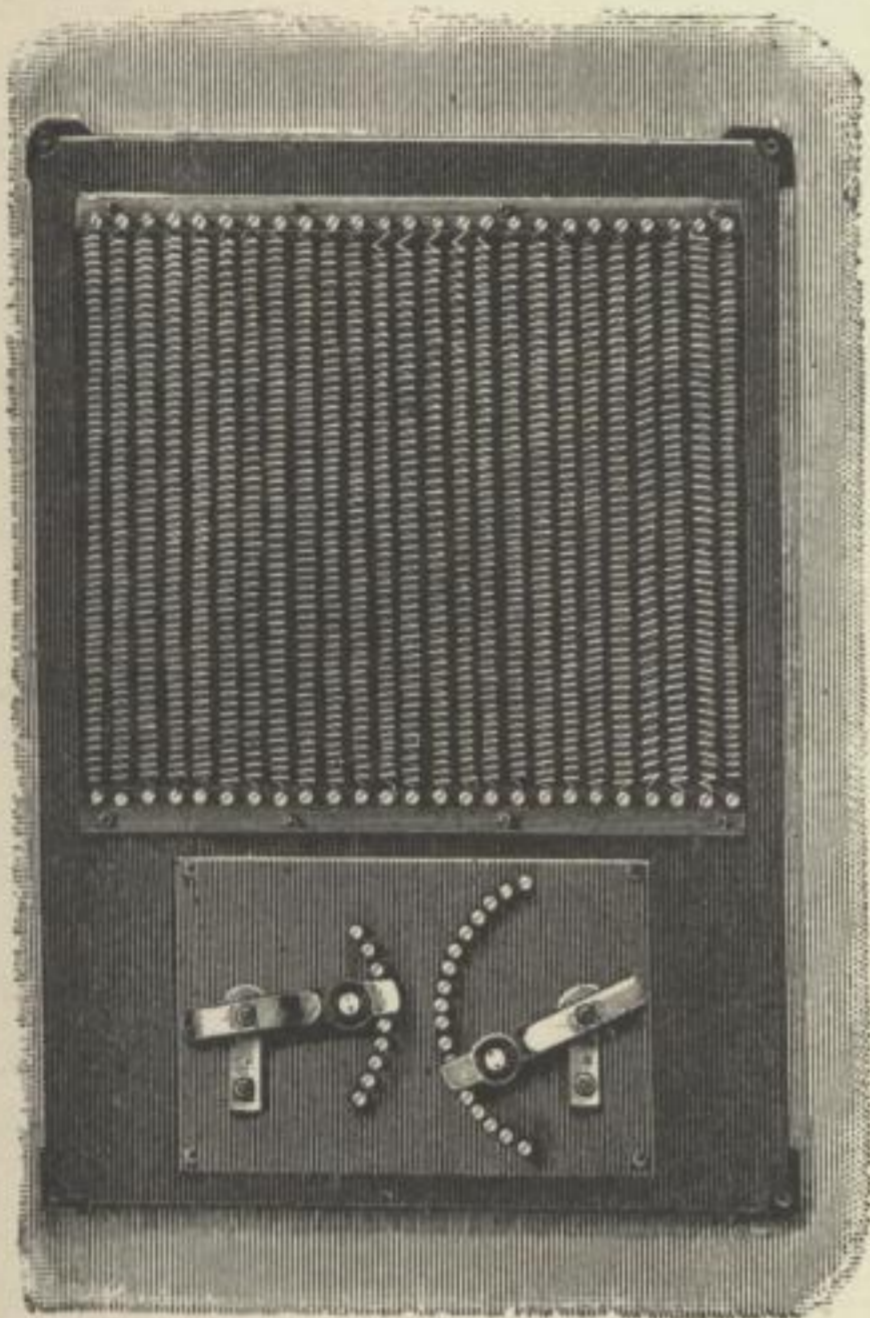


Fig. 7.

Kurbelrheostat (von Ernecke) als Abzweigwiderstand zum Anschluss an Starkstromleitung; rechts Schaltungsskizze dazu.

um einige Knöpfe nach oben), so wächst der Widerstand zwischen den Abzweigungspunkten auf $\frac{0,1 \cdot 0,5}{0,1 + 0,5} = 0,0833$. Der Gesamtwiderstand der Strombahn ist jetzt $10,0833$, die Stromstärke $= \frac{110}{10,0833} = 10,905$ Ampère. Davon geht durch $I \frac{1}{6} = 1,8175$ A. durch B $\frac{5}{6} = 9,0875$ A. Die Spannung in den parallelen Bahnen ist jetzt $0,1 \times 9,0875$ oder $0,5 \times 1,8175 = 0,90875$ oder $0,0833 \cdot 10,905 = 0,90875$ Volt. Werden in B alle 5 Ohm eingeschaltet, so ändert sich die

Gesamtstromstärke unwesentlich in $\frac{110}{10,45} = 10,52 \text{ A.}$,

von denen nun der kleinere Teil mit $\frac{10,52}{11} = 0,96 \text{ A.}$

durch B , der zehnmal grössere mit $9,6 \text{ A.}$ durch I geht. Der Induktor steht nunmehr unter $0,5 \cdot 9,6$ oder $5 \cdot 0,96 = 4,8 \text{ V.}$ Spannung. Beim Bedarf grösserer Stromstärken und Spannungen für den Induktor muss der Widerstand von A verringert werden. Da aber die Spannung für I und B dadurch wächst, dass man den Widerstand von B erhöht, so kann man diesen Nebenschlussrheostaten den Spannungsregulator nennen, während man durch den Rheostaten A , welcher bei gänzlicher Aufhebung des Nebenschlusses B ein gewöhnlicher Vorschaltwiderstand ist, in der Hauptsache die höchste Stromstärke reguliert.

Zum Verständnis der Unterschiede der verschiedenen Stromquellen, der Vorgänge in denselben und ihres Betriebes überhaupt gehört unbedingt ausser den schon entwickelten elektrischen Massbegriffen die Kenntnis von Bau und Gebrauch elektrischer Messinstrumente. Um die für einen bestimmten Stromkreis geltenden 3 Massgrössen (Spannung, Stromstärke, Widerstand) zu bestimmen, braucht man notwendig die Messung von zweien derselben, da sich der dritte aus diesem durch Rechnung nach dem Ohm'schen Gesetze ergibt, und zwar ist ein Instrument für Messung der Stromstärke in Ampère (absolutes Galvanometer, Ampèremeter) und ein zweites zur Messung der Spannung in Volt (Voltmeter) bei keinem rationalen elektrischen Betrieb, auch nicht bei einem Röntgen'schen Instrumentarium zu entbehren. Zur Messung der Stromstärke kann man jede Form der Arbeitsleistungen elektrischer Ströme benutzen, welche in Einwirkungen teils auf die Strombahn, (Wärme,

chemische Wirkung), teils auf die Umgebung derselben (Änderung des elektrischen und magnetischen Zustandes der Umgebung, mechanische Arbeit durch Anziehung und Abstossung) bestehen. Die industriellen Ampèremeter benutzen in der allerverschiedensten Weise das Prinzip der Anziehung resp. Drehung eines mit einem Zeiger versehenen Teiles des Instrumentes durch den Strom, in dessen Bahn das Instrument eingeschaltet wird. Bei dem Federgalvanometer nach Kohlrausch (Fig. 8) bildet die Strombahn eine senkrechte Drahtspule (Solenoid), in welche ein über ihr an einer Feder hängender Eisenkern durch den Strom um so weiter hineingezogen wird, je stärker letzterer ist. Ein an dem Eisenkern befestigter Zeiger bewegt sich mit demselben vor der äusseren nach Ampère geachten Skala. In anderen dosenförmigen Instrumenten (Fig. 9 und 10) wird die Bewegung des Eisenkerns durch Hebelwirkung auf einen drehbaren Zeiger übertragen, bei anderen befindet sich der Zeiger an durch den Strom gedrehten Magneten oder an drehbaren, zwischen Dauermagneten gelagerten Drahtspulen, durch welche der Strom fliesst. Präzisionsinstrumente dieser Art sind sehr teuer, doch genügen die weniger teuren industriellen Ampèremeter für unsere Praxis. Genügend brauchbare Messinstrumente liefert das Elektrotechnische Institut Frankfurt zu dem billigen

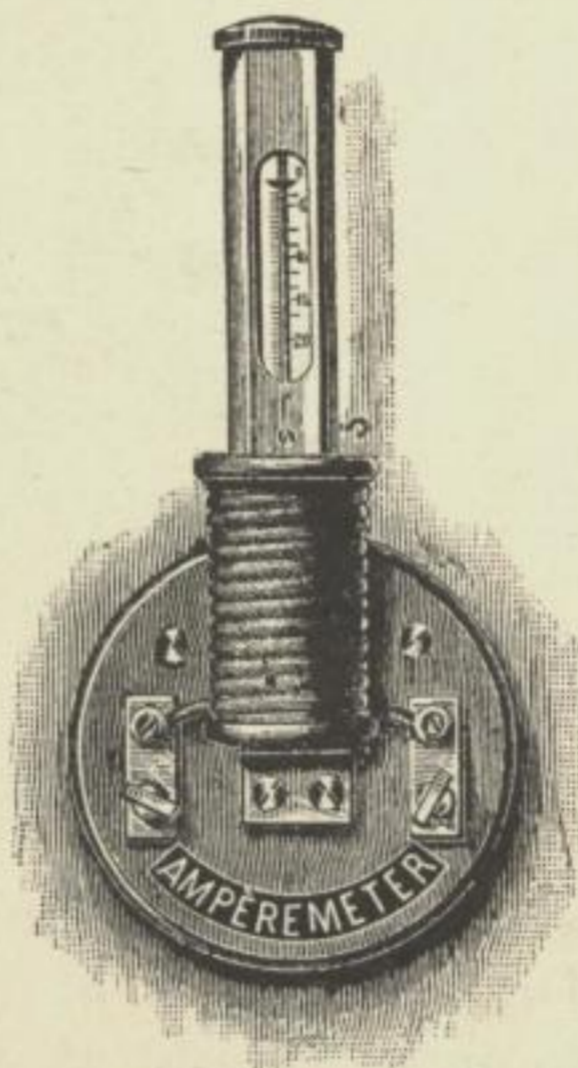
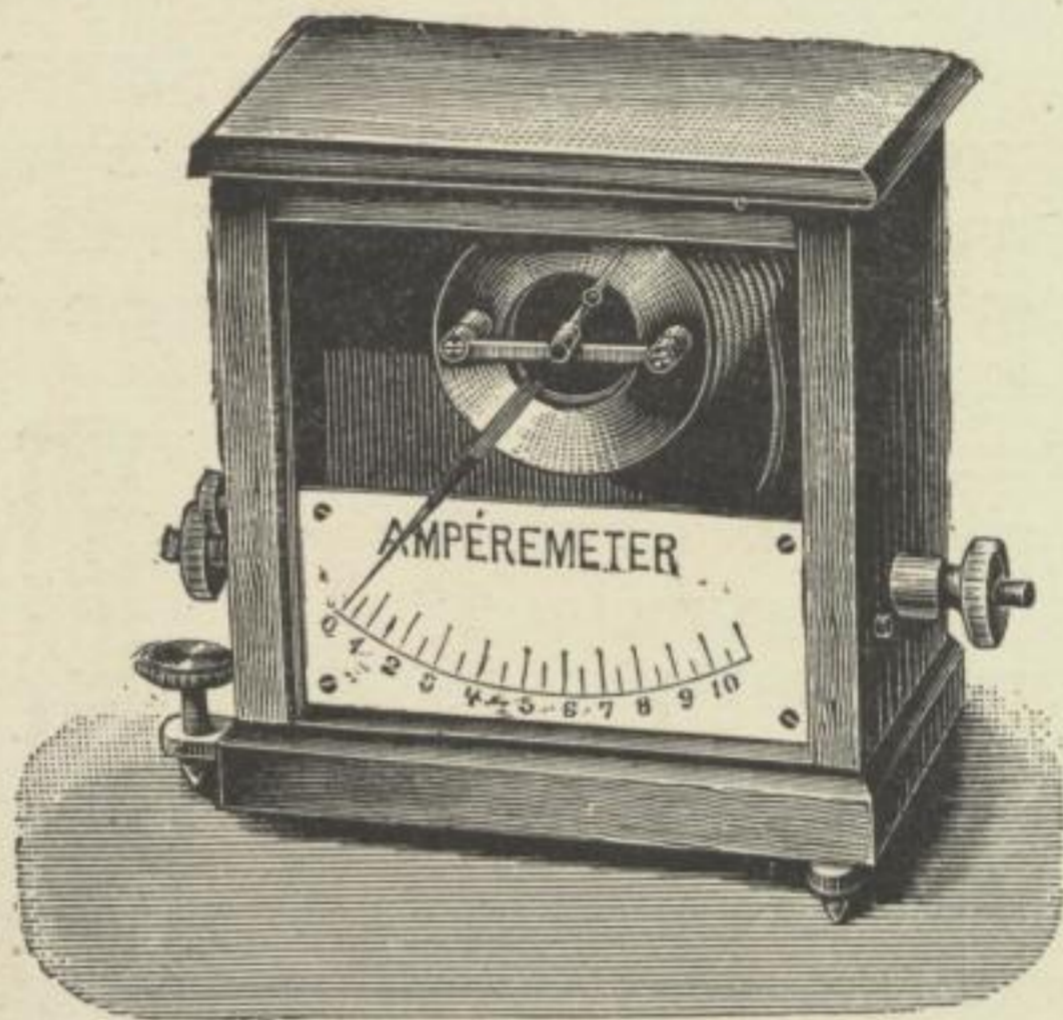


Fig. 8. $\frac{1}{6}$ nat. Gr.
Kohlrausch's
Federgalvanometer
von Ernecke.

Preise von ca. 25 Mark. Die Voltmeter haben im Prinzip denselben Bau wie die Ampèremeter, denn sie sind eigentlich Strommesser wie diese, der Unterschied liegt in ihrer Bewicklung und ihrer Anwendung und ergibt sich aus der Bestimmung. Das Ampèremeter soll in jeden Stromkreis dauernd eingeschaltet werden können, ohne den Gesamtwiderstand desselben merkbar zu vermehren und dadurch die Strom-



ca. $\frac{1}{4}$ NAT. GRÖSSE

Fig. 9.

Ampèremeter von Ernecke.

stärke desselben zu vermindern. Deshalb muss der Drahtweg in dem Instrumente möglichst dick und kurz, d. h. sein Widerstand sehr klein sein, so dass derselbe als Vermehrung des Gesamtwiderstandes der Strombahn gar nicht in Betracht kommt. Das Voltmeter dagegen soll für die verschiedensten Stromkreise mit den verschiedensten Widerständen angeben, welche Spannung nötig ist, um eine bestimmte Stromstärke, d. h. einen bestimmten Zeigerausschlag in ihm zu erzeugen. Dies ist nur dadurch zu er-

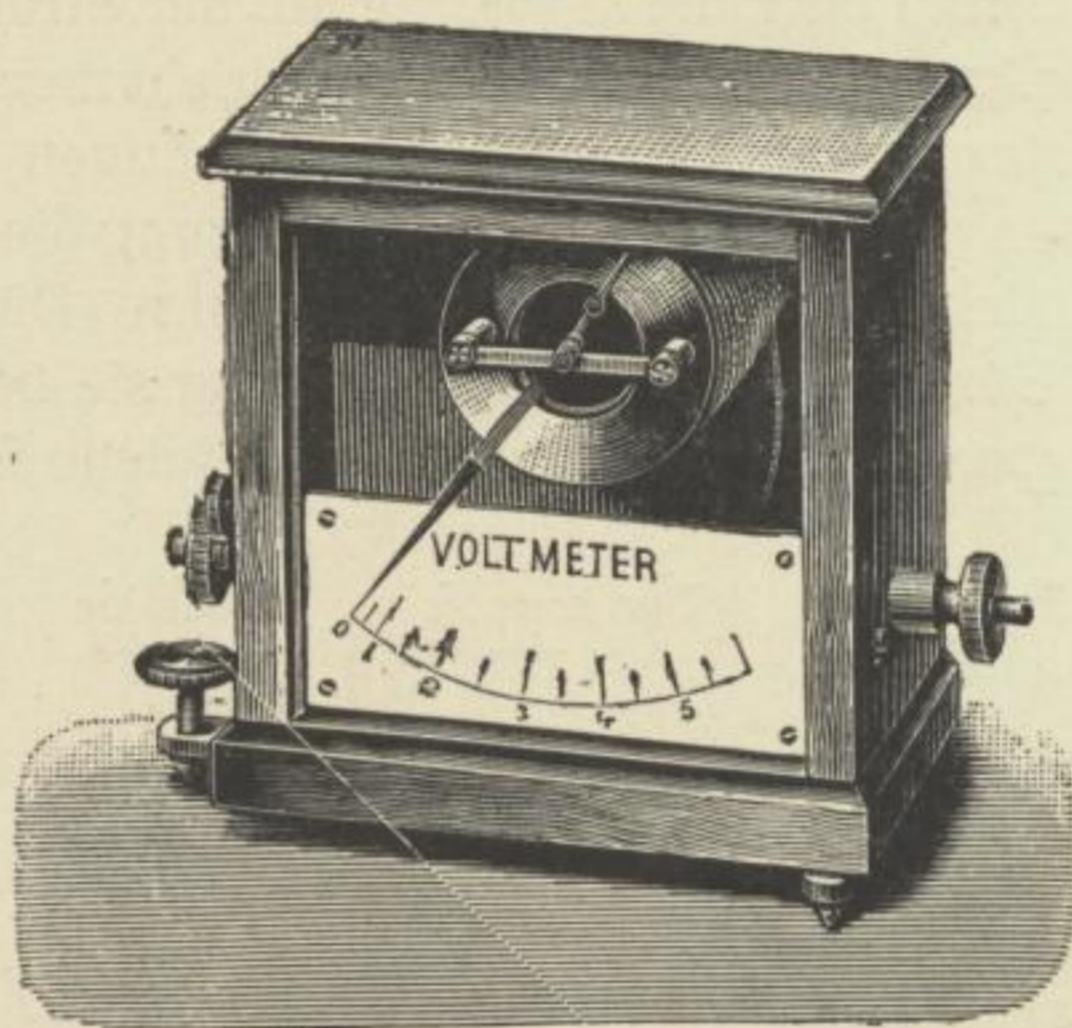
reichen, dass seine Bewicklung so lang und dünn gewählt ist, d. h. einen so grossen Widerstand darstellt, dass dagegen der Widerstand einer jeden Strombahn nicht in Betracht kommt. Da man aber ein Instrument von so hohem Widerstande nicht in die Hauptstrombahn einschalten kann, ohne die Stromstärke desselben fast aufzuheben, so muss das Voltmeter „im Nebenschluss“ angelegt werden. (S. Fig. 40, 41, 50).

Die Verbindung der Apparate mit der Stromquelle zur Herstellung des Stromkreises geschieht meist durch Kupferdrähte. Damit diese nicht unnötigen Widerstand bieten und durch zu starke Erhitzung die Sicherheit des Betriebes gefährden, muss ihre Dicke der höchsten Stromstärke, für deren Leitung sie bestimmt sind, angepasst sein. Zur Orientierung diene folgende Tabelle:

Querschnitt in □ mm	Durchmesser in mm	Zulässige Ampère
0,19	0,5	1
0,44	0,75	2
0,75	1,00	3
1,00	1,2	4
1,7	1,5	7
2,5	1,75	10
5,0	2,5	15
6	3	20
10	3,5	30
15	4,5	40
20	5	50

Von den Arbeitsleistungen des elektrischen Stromes ist hier noch eine erwähnenswert, weil sie für die Konstruktion der gebräuchlichen Elemente praktische Bedeutung hat, nämlich die Elektrolyse, d. h. die chemische Zersetzung des flüssigen Leiters (des Elektrolyten) unter Abscheidung bestimmter Stoffe an bestimmten Polen in demselben, sei er nun im

äusseren oder inneren Stromkreise vom Strome durchflossen. Die abscheidungsfähigen Körper heissen Ionen, und zwar Anionen oder Kationen, je nachdem sie an der Anode oder an der Kathode abgeschieden werden. Anionen sind Sauerstoff, die sauerstoffhaltigen Reste der Säuren und Salze, Chlor, Brom, Jod; Kationen sind Wasserstoff und die Metalle. Darauf beruht die Verwendung von Jodkaliumstärkekleister oder von Phenolphthalein-Papier als Polreagens. Während bei



CA. $\frac{1}{4}$ NAT. GRÖSSE

Fig. 10.
Voltmeter.

dem ersteren dasjenige von beiden daraufgedrückten Poldrahtenden, welches Blaufärbung bewirkt (Jodstärkereaktion), als der positive Pol erkannt wird, färbt beim Phenolphthalein die Kathode rot.

Schaltet man ein Wasservoltmeter, d. h. ein Gefäss mit angesäuertem Wasser und zwei Platinelektroden, in den äusseren Stromkreis einer Batterie, so scheidet sich in demselben an der Anode eine der Stromstärke entsprechende Menge des elektronegativen Sauer-

stoffes, an der Kathode das elektropositive Wasserstoffgas aus. Dadurch aber werden allmählich die beiden Platten, die nun nicht mehr bloss gleichmässig Platin, sondern Platin mit Sauerstoff und Platin mit Wasserstoff repräsentieren, gegeneinander elektromotorisch wirksam („polarisiert“). Die vorher indifferenten Elektroden verhalten sich nun wie zwei verschiedene Körper aus der Spannungsreihe, sie sind chemisch und elektrisch different, aus dem Zersetzungsapparat ist ein Element geworden — Volta'sches oder Sekundärelement. Die Potentialdifferenz der polarisierten Platten wächst bis zu einer gewissen Grenze (höchstens 2,7 Volt) mit der Dauer der Einwirkung des Primärstromes, also mit der Menge der an den Platten angehäuften Zersetzungsprodukte, und liefert so lange einen Strom, als dieser Vorrat an „Ladung“, d. h. chemischer Differenz, reicht. Während bei der Ladung Primär- und Sekundärelement noch miteinander verbunden sind, ist der Sekundärstrom (Polarisationsstrom) dem primären entgegengesetzt (beide Elemente erscheinen gleichnamig hintereinandergeschaltet), und schwächt diesen natürlich um so mehr, je höher seine elektromotorische Kraft durch Fortdauer der Ladung seitens des primären Stromes anwächst, bis die Ladung ihren höchsten Grad erreicht hat. Bleiben dann die Elemente noch verbunden, und hat dann noch der primäre oder Ladestrom ein Uebergewicht über den von ihm erzeugten Sekundärstrom, so entweichen die gasförmigen Zersetzungsprodukte im Sekundärelement aus der Flüssigkeit, ohne sich weiter zu chemischer Differenz an den Platten anzusammeln, das Element „kocht“. Nimmt man jetzt das Sekundärelement aus dem Stromkreise des primären heraus, so liefert es selbständig einen Strom von annähernd ebenso

viel Ampèrestunden, als zu seiner Ladung aufgewendet werden mussten, und zwar ist sein positiver Pol derjenige, der mit dem positiven Pole des Primärelementes (der Primärbatterie) verbunden war.

Eine seltsame, bisher in Lehrbüchern wenig gewürdigte Erscheinung tritt in der Zersetzungszelle (Fig. 11) auf, wenn man einer Elektrode die Form einer kleinen, nach mm messenden Drahtspitze giebt, so dass an dieser der Strom in grosser Dichte übertritt. Steigert man nämlich die Stromspannung über eine gewisse Grenze hinaus, so tritt plötzlich eine sehr starke Polarisierung und dementsprechend eine starke Abnahme des Stromes ein (Stromumschlag). Während bei normalem Stromdurchgange an beiden Elektroden sich Gas in Form eines stetigen Stromes entwickelt,

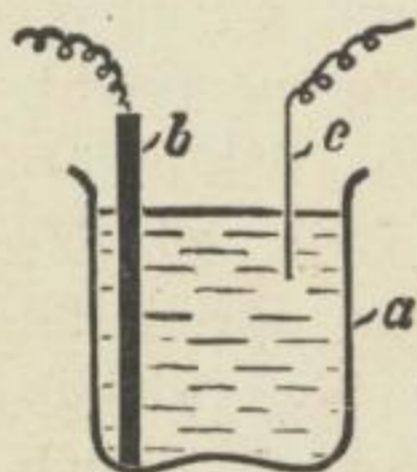


Fig. 11.
Zersetzungszelle
mit ungleichen
Elektroden,
nach Wehnelt.

entwickelt sich nach dem Stromumschlage das Gas an der kleinen Elektrode mit hoher Polarisierung in einzelnen Blasen. Das Entwickeln und Abreissen der Blasen ist stets mit einer Schwankung des Stromes verbunden; der Strom nimmt, während sich die Blase bildet, bis zu dem Momente des Abreissens zu, ist sie abgerissen, so springt der Strom auf den früheren kleinen Wert zurück.

Diese Stromschwankungen sind unter Umständen so frequent, dass sie sich nicht am Galvanometer, wohl aber an dem Sausen eines im Nebenschluss eingeschalteten Telephons erkennen lassen (Koch und Wüllner, Wied. Ann. 1892, H. 3 u. 4). Zugleich tritt an der kleineren („der aktiven“) Elektrode in der Flüssigkeit eine Licht- und Wärmeerscheinung auf, und zwar herrscht an der Kathode als aktiver Elektrode die Erscheinung der Funkenbildung vor, während die

aktive Anode glüht und mechanisch verändert wird. Die Erscheinung hat einen intermittierenden Charakter, wie das Glimmen in den Geissler'schen Röhren und ist von einem laut summenden Geräusche von mehr oder weniger bedeutender Tonhöhe begleitet. (Wehnelt, Elektrotechn. Zeitschrift 1899, H. 4). Ueber die Beziehung dieser Erscheinung zur Praxis s. u. Kap. 6.

Während die elektrolytische Polarisierung willkommen ist als Mittel zu der epochemachenden Konstruktion der höchst kräftigen und konstanten Sekundärelemente, welche wir jetzt Akkumulatoren nennen, so ist sie sehr unwillkommen im inneren Stromkreise der galvanischen Elemente, welche durch den Polarisationsstrom bei anhaltenderem Gebrauche bald schwach und unzuverlässig, „inkonstant“ werden.

Type	Spann.: $i W. = \text{Stromst.}$			Konstruktion
	Volt	Ohm	Ampère	
Siemens . . .	0,9	15	0,06	Kupfer in konzentrierter Kupfervitriollösung, Zink in Wasser, beide durch Pappmasse getrennt.
Meidinger . . .	0,95	4—5	0,2	Zink in Bittersalzlösung, Kupfer oder Blei in Kupfervitriollösung.
Daniell . . .	1,08	5	0,2	Kupfer in konzentriert. Kupfervitriol Zink in verdünnter Schwefelsäure, beide durch Thonzelle getrennt.
Leclanché . . .	1,5	0,5—1,5	1—2,5	Kohle mit Braunstein in Thonzelle, Zink in konzentriert. Salmiaklösung.
Grove . . .	1,9	0,2	9,5	Platin } in Salpetersäure, Zink in verdünnter Schwefelsäure, beide Kohle } durch Thonzelle getrennt.
Bunsen . . .				
Grenet . . .	1,5 anfangs 2	0,06 bis 0,3	5—30	Zink und Kohle in Lösung von Chrom- und Schwefelsäure aa 5 Proz., event. mit Hydrarg. bisulfur. 1 Proz.
Cupronelement	0,85	0,001 bis 0,06	16	Zink und Kupferoxyd in Aetzkali von 20 Grad Bé.
Akkumulatoren	2	0,100 bis 0,1	1—1400	Blei und Bleisuperoxyd in Schwefelsäure.

Bis zu einem gewissen Grade hat man die innere Polarisation der Elemente zu verringern vermocht, entweder durch Anwendung zweier durch eine poröse Scheidewand getrennter Flüssigkeiten, oder durch Einfügung von „depolarisierenden“ Substanzen, welche die elektrolytischen Produkte in statu nascendi unwirksam machen (Braunstein, Chromsäure). Die Leistungen der gebräuchlichen Typen konstanter Elemente in Bezug auf Spannung, je nach der Grösse der Berührungsflächen variablen inneren Widerstand und grösste Stromstärke bei Kurzschluss giebt vorstehende Tabelle an.



2. Kapitel.

Die Akkumulatoren (Sammler).

Als Akkumulatoren bezeichnet man im allgemeinen Batterien von Sekundärelementen, das einzelne Sekundärelement als Akkumulatorzelle oder Akkumulatorelement. Sie zeichnen sich wegen ihrer hohen und konstanten elektromotorischen Kraft bei geringstem inneren Widerstande vor den Primärelementen aus und kommen wegen ihrer Zuverlässigkeit bei selbst stundenlanger Beanspruchung für die Erzeugung von Röntgen'schen Strahlen als Gleichstromquelle hauptsächlich in Betracht. Der Name ist nicht so zu verstehen, als ob Elektrizität selbst in ihnen aufgespeichert würde, etwa wie in den Leydener Flaschen (Kondensatoren), sondern aufgespeichert wird chemische Spannkraft in Form der bei der „Ladung“ gewonnenen elektrolytischen Produkte, und diese wird bei der Entladung als elektrische Energie mit mehr oder weniger hohem Nutzeffekt (85 Proz.) frei.

Unsere modernen Akkumulatoren beruhen im wesentlichen noch wie der erste Planté'sche (1860)

auf der Kombination von Bleiplatten und verdünnter Schwefelsäure. Die elektrochemische Veränderung der von vornherein mit der gewöhnlichen Oxydschicht PbO bedeckt zu denkenden Bleiplatten ist während der Ladung folgende:

Der positive Bleikörper, d. h. derjenige, welcher mit dem positiven Pole des Ladestroms verbunden ist und demnach bei der Entladung selbst den positiven Pol abgibt, bedeckt sich durch die oxydierende Einwirkung der Anionen mit einer braunen Schicht von Bleisuperoxyd PbO_2 , die negative Platte wird durch die Kationen zu reinem metallischen Blei reduziert. Dadurch sind die Platten chemisch different und elektromotorisch wirksam, also geladen worden. Bei der Entladung fließt der Strom entgegengesetzt, die inneren Pole sind umgekehrt als bei der Ladung, die Kationen reduzieren die Bleisuperoxydschicht der positiven Platte wieder zu Bleioxyd, die Anionen oxydieren das metallische Blei der negativen auch wieder zu Bleioxyd, am Ende der Entladung sind also die Platten wieder chemisch gleichartig und der erneuten Ladung bedürftig. Ausserdem wird bei der Ladung Wasser elektrolytisch verbraucht, also die Schwefelsäurelösung konzentrierter, während dieselbe bei der Entladung verdünnter wird.

Durch öfteres Laden und Entladen werden die wirksamen Schichten („die aktive Masse“) dicker und leistungsfähiger, namentlich die negativen Oberflächen werden durch die wiederholte Oxydation und Reduktion rau, porös und zu einer immer tiefer reichenden Schicht von „Bleischwamm“ umgebildet. Mit der Dicke dieser Schichten wächst die elektromotorische Kraft und die Kapazität der Zelle. Das langdauernde elektrolytische Vorbereiten der Schichten ist die „Formierung“ der Platten.

Die höchst mannigfaltigen Verbesserungen der modernen Akkumulatoren beruhen einmal auf dem Verfahren von Faure, zur Abkürzung der Formierung die aktive Masse in Form eines Breies von Bleioxyden, nämlich Mennige = $2(PbO) + PbO_2$ auf die Platten aufzutragen, anderseits auf dem Bestreben, durch gitterförmige, mannigfach durchlöchernte oder geriefte Gestaltung der hauptsächlich noch als Stütze dienen-

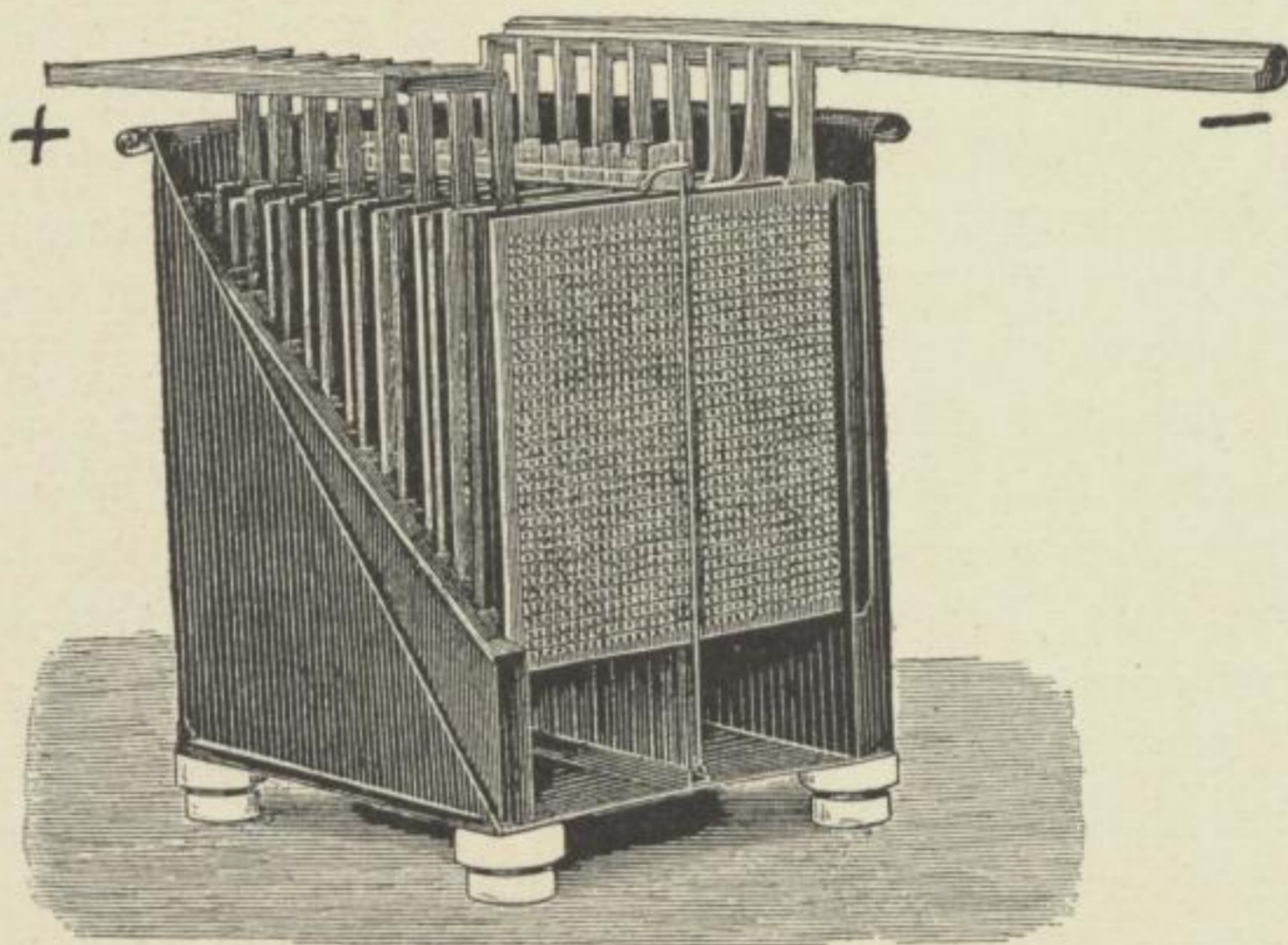


Fig. 12.

Akkumulator, die Anordnung der Platten zeigend.

den Bleiplatten dieser eingepressten aktiven Masse einen möglichst festen Halt zu geben. Die Formierung, welche bei dem Planté'schen Element Monate beanspruchte, ist damit auf Tage oder Stunden abgekürzt.

Während Planté seine beiden durch eine Tuchlage getrennten Bleiplatten zu einer Rolle aufwickelte und in ein cylindrisches Glas stellte, ist durch die jetzige Form der ebenen Platten die viereckige Gestalt der Akkumulatorzellen von heute bedingt. In einem

viereckigen Glasgefässe (Fig. 12) sind die je nach der beabsichtigten Kapazität nach Zahl und Flächengrösse bestimmten Bleiplatten so nebeneinander aufgehängt, dass sie mit ihren vertikalen Kanten in vertikalen Rillen der gegenüberliegenden Glaswände eine feste Führung haben, oder durch zwischen die Platten gestellte Glasrohrstäbe an gegenseitiger Berührung gehindert werden, während sie, um nicht am Boden des Gefässes durch niederfallende Massen Kurzschluss zu bekommen, entweder auf Glasprismen aufstehen oder durch seitlich oben vorspringende Nasen auf einer inneren Randbiegung des Gefässes aufsitzen. Eine negative Platte wechselt in der Reihe mit einer positiven ab, die Gesamtzahl ist unpaar, da die Reihe beiderseits mit einer negativen Platte abschliesst. Auf der einen Kantenseite der Zelle sind die nach oben verlängerten Nasen sämtlicher positiven Platten, auf der entgegengesetzten Seite die aller negativen durch eine aufgelötete horizontale Bleileiste verbunden, so dass die eine Leiste den positiven, die andere den negativen Pol der Zelle vorstellt. Zur Zusammenschaltung der Zellen ist entweder jede Polleiste mit einer Klemmschraube verbunden, oder es sind bei ein für allemal feststehender Reihenschaltung die ungleichnamigen Polleisten zweier benachbarten Elemente zu einer vereinigt. Die Zellen sind entweder offen oder, wie es bei transportablen Akkumulatoren nötig ist, durch Glasdeckel, welche den Nasenfortsätzen nach oben den Durchgang gestatten, verdeckt und auf Papierlagen mit isolierender Pechmasse zugeworfen, während in der Mitte des Deckels ein Loch mit Gummipfropfen das Eingiessen von Flüssigkeit und den Ausgleich von Gasdruck gestattet.

Bei der Auswahl einer Akkumulatorenbatterie

kommen in Betracht Zahl und Grösse (Kapazität) der Zellen.

Für die Zahl der Zellen ist entscheidend die Voltspannung, deren man benötigt, und die sich aus dem Verhältnis von dem gegebenen äusseren Widerstand und der nötigen Stromstärke ergibt. Die Zahl der Zellen ist die Hälfte der benötigten Volt. Zu einer Beleuchtungsanlage mit Lampen von 100 Volt bedürfte man also mindestens 50 Zellen, da jede, auch die kleinste, 2 Volt Spannung liefert. Da die Glühlampen einen verhältnismässig grossen Widerstand repräsentieren, so kann man sich zu dem gedachten Zwecke auch kleiner Zellen bedienen, doch spricht die Grösse derselben insofern mit, als mit derselben die Zahl der zugleich brennenden Lampen (die Stromstärke) und die Brenndauer derselben (Stromdauer, Kapazität) gesteigert werden kann, oder mit anderen Worten, als für jede bestimmte Grösse von Zellen einmal die höchste zulässige Entladungsstromstärke, ausserdem auch die Kapazität eine beschränkte ist.

Ein kleinerer Akkumulator habe z. B. eine Mindestkapazität von 18 Ampèrestunden, d. h. er liefert einen Strom von 1 Ampère 18 Stunden lang, von 2 Amp. 9 Stunden, von 3 Amp. 6 Stunden, aber nicht etwa auch von 18 Amp. 1 Stunde, vielmehr darf er mit mehr als 6 Amp. überhaupt nicht beansprucht werden, dies ist seine höchste zulässige Entladungsstromstärke, durch deren vorschriftswidrige Erhöhung (nämlich durch Verminderung des äusseren Widerstandes unter 0,3 Ohm bei einer Zelle, unter 0,6 bei 2, unter 2,6 bei 8 hintereinandergeschalteten Zellen) die Platten verschlechtert und zerstört werden würden. Doch leistet derselbe Akkumulator etwas mehr als 18 Ampèrestunden, wenn er mit geringerer als der höchsten zulässigen Stromstärke beansprucht wird,

z. B. 22 Ampèrestunden bei 3 Amp. (also 7 Stunden lang statt 6), 24 Ampèrestunden bei 2,4 Amp., also 10 statt 9 Stunden lang. Die grössten Zellen haben eine Kapazität von 4300 Ampèrestunden bei höchst zulässiger Stromstärke von 1425 Ampère, während bei geringerer Beanspruchung mit 578 Ampère ihre Kapazität 5784 Ampèrestunden beträgt. Diese Werte sind bei jeder Konstruktion etwas verschieden und werden zugleich mit der höchsten Ladestromstärke, welche etwa der höchsten zulässigen Entladungsstromstärke gleichkommt oder etwas kleiner ist wie diese, von jeder Fabrik für jede Type angegeben. Im allgemeinen beträgt sie etwa 1 Ampère für jeden Quadratdecimeter Oberfläche des positiven Plattenkörpers einer Zelle.

Für unsere Pyknoskopie brauchen wir einen Strom, der stark genug ist, den Magneten eines grossen Induktionsapparates zu sättigen, aber nicht so stark sein darf, dass er durch Erhitzung der Primärrolle oder durch Ueberspannung des induzierten Stromes die Isolierung der Wickelungen verdirbt. Dieses Höchstmass, das der Apparat verträgt, sei z. B. 6 Ampère, während die Primärspule des Apparates einen Widerstand von 0,5 bis 1 Ohm bietet. Daraus geht hervor, dass wir einer Spannung von $\frac{6}{1} = 6$ Volt bedürfen, also im Minimum drei Akkumulatorzellen. In Rücksicht einerseits darauf, dass die Spannung der Zelle schliesslich auf 1,85 Volt sinkt, anderseits darauf, dass wir bei nicht gar zu geringer Unterbrechungsfrequenz im Betriebe mit dem zu überwindenden induktiven Widerstande (s. u. Kap. 3) rechnen müssen, erhöhen wir die Zahl der Zellen auf 8. In Bezug auf die Grösse wählen wir eine solche Type, welche mindestens eine höchste Entladungsstromstärke von

6 Amp. zulässt, wenn wir nicht in Rücksicht auf Mitbenutzung der Batterie zu Beleuchtungszwecken eine entsprechend grössere Type vorziehen. Hätten wir nur kleinere Typen zur Verfügung, so würden wir uns nach Möglichkeit durch Herstellung parallelgeschalteter Reihen helfen. Ein Vorrat von 8 Zellen mit maximalem Entladungsstrom von 3 Amp. würde uns bei Hintereinanderschaltung nur auf Kosten der Lebensdauer der Zellen einen Strom von mehr als 3 Amp. liefern. Bilden wir aber daraus zwei Reihen

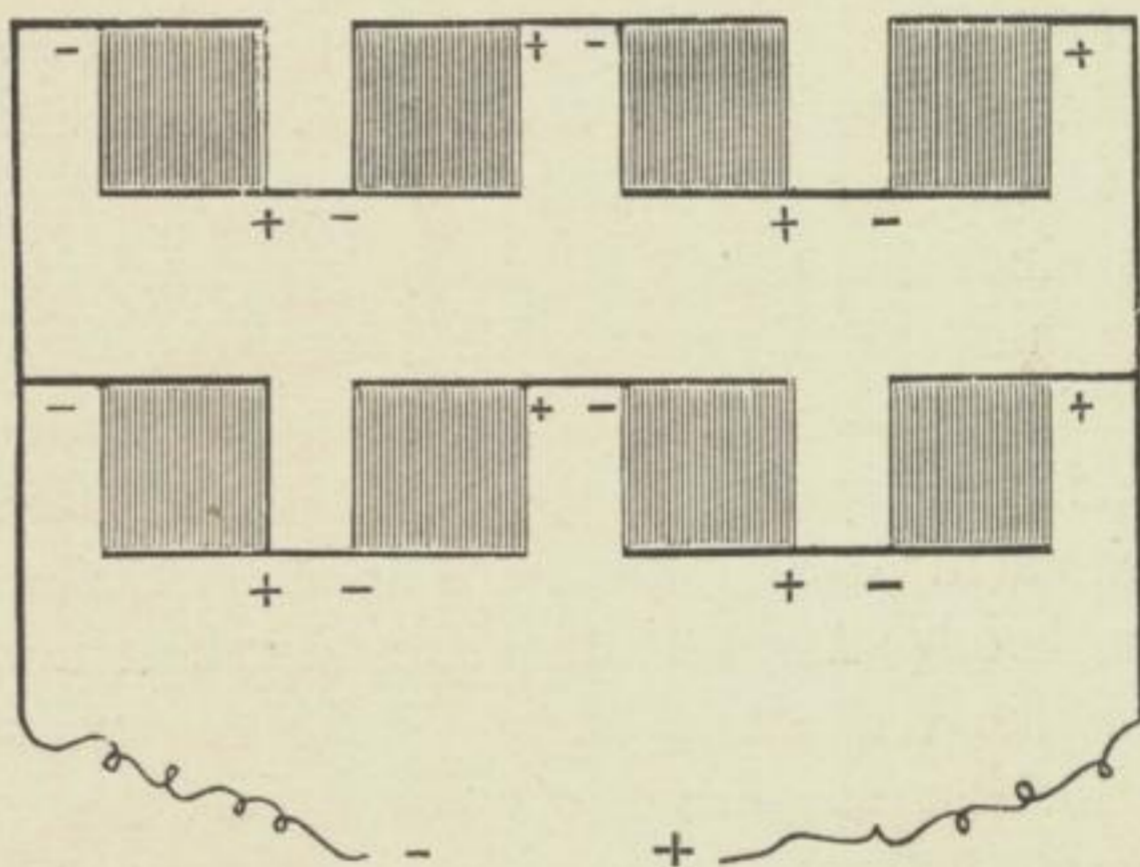


Fig. 13.

von je vier hintereinandergeschalteten Zellen und verbinden diese Reihen parallel (Fig. 13), so hat zwar jetzt die Batterie nur 8 Volt Spannung, aber eine zulässige Entladungsstromstärke von 6 Amp., und wir gewinnen wenigstens einen Strom von $\frac{8 \text{ Volt}}{0,5-1 \text{ Ohm}} = 8 \text{ bis } 16 \text{ Amp.}$, von dem wir 6 Amp. unbedenklich benutzen dürfen. Freilich können wir jetzt die Frequenz des Unterbrechers weniger ausnutzen als vorher wegen Verringerung der Spannung, während wir vorher die Spannung nicht ausnutzen durften wegen

Beschränkung der zulässigen Entladungsstromstärke (3 Amp.).

Wir können für die Auswahl der Typen nur dringend empfehlen, dieselben in jedem Falle lieber etwas zu gross als zu klein zu nehmen. Die kleinen Typen unter 4—6 Amp. Entladung sind leicht verletzlich und sollten nur genommen werden, wo ihre leichte Transportabilität Hauptbedingung ist. Aber es ist widersinnig, von einer Type einen stärkeren Strom zu beanspruchen, als den, für den sie geeignet ist. Dieses rächt sich besonders oft bei den kleinen kaustischen Batterien, welche man thörichter Weise auf 6 Volt hintereinandergeschaltet findet mit viel zu kleiner Stromstärke, statt parallel auf 2 Volt mit der dreifachen Stromstärke. Das ewige Versagen und irreparable Entwertung der Apparate ist die häufige Folge dieser Verkehrtheit, vor welcher man sich nur durch selbständige, den jeweiligen Bedürfnissen angepasste Schaltung sichert.

Die von uns benutzten und in mehrjährigem Gebrauche als vorzüglich erprobten (Boese'schen) Akkumulatoren von Ernecke-Berlin enthalten vier positive und fünf negative Platten von $13,3 \times 16$ cm Grösse und 9 mm Dicke. Ihre höchste zulässige Entladungsstromstärke beträgt 16,8 Amp. mit 84 Ampèrestunden Kapazität, während einer Entnahme von 8,4 oder 6 Amp. eine Kapazität von 150 resp. 180 Ampèrestunden entspricht¹⁾. Ihr innerer Widerstand beträgt 0,005 Ohm. Die Batterie von 16 Zellen dient ausser

¹⁾ Es erscheint nicht überflüssig, ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass eine auf Spannung geschaltete Batterie zwar die im Verhältnis der Zellenzahl erhöhte Spannung, aber nur die Kapazität und höchste Stromstärke einer einzigen Zelle besitzt, wie auch eine auf Quantität (parallel) geschaltete eine entsprechend erhöhte Kapazität und Stromstärke, aber nur die Spannung einer Zelle besitzt.

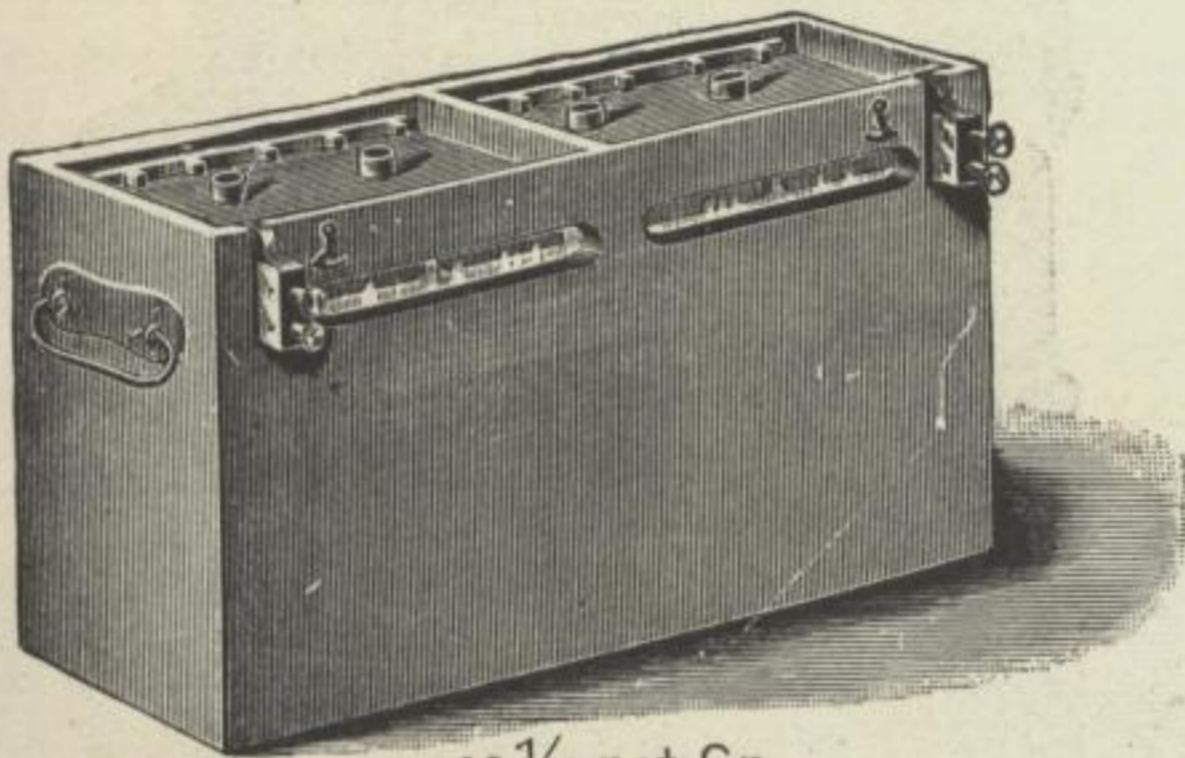
zur Speisung zweier Induktoren noch zur temporären Beleuchtung mit 16- und 32-Volt-Lampen in verschiedenen Räumen sowie für andere ärztliche Zwecke.

Die Akkumulatoren haben gleich nach der Ladung eine Spannung von anfangs 2,5 bis 2,7 Volt, je 8 zusammen also 20 Volt, welche aber schnell auf das Mittel von reichlich 2 Volt, zusammen 16 Volt, sinkt und sich lange auf dieser Höhe hält. Sobald sie langsam auf 1,8 (Sa. 14,4) Volt gesunken ist, muss die Neuladung umgehend geschehen. Unter diese Grenze darf die Entladung auf keinen Fall herabgehen, da sonst Verbiegung der Platten, Herausfallen der aktiven Masse, also Verschlechterung der Batterie die Folge ist.

Die Pflege der Akkumulatoren ist nicht sehr bedeutend. Man hat sie vor Staub und Feuchtigkeit, sowie bei etwaigem Transport vor Erschütterung und Missbrauch durch Stromschluss mit zu kleinem Widerstand (Kurzschluss, unter Entladung mit zu grosser Stromstärke) zu bewahren. Die Säurefüllung soll stets mindestens $\frac{1}{2}$ cm über den oberen Plattenkanten stehen. Steht sie niedriger, so ist nachzufüllen mit chemisch reiner (arsenfreier!) Schwefelsäurelösung von 26 Grad Beaumé oder 1,25 spezifischem Gewicht, wenn der Akkumulator geladen ist, dagegen im Zustande der Entladung mit solcher von 18 Grad Beaumé oder 1,14 spezifischem Gewicht, oder wie es die Vorschrift der Fabrik sonst angiebt. Eine kleine schützende Oelschicht würde nur bei offenen Zellen von Bedeutung sein. Peinliche Vermeidung von Kurzschluss im inneren Stromkreise (Fremdkörper zwischen den Platten) wie im äusseren muss durch solide, sorgfältig isolierte und trockene Aufstellung der Zellen vorgesehen werden. Transportable Akkumulatoren werden gewöhnlich in Holzkästen zu je zwei oder vier

Zellen mit Kolophoniummasse eingegossen (Fig. 14). Leider ist bei solcher Montage die Entfernung einer etwa durch Sprung leck gewordenen Zelle äusserst umständlich. Einstampfen mit Holzwolle oder einem anderen leicht entfernbaren, ein wenig elastischen Isolator würde zweckmässiger erscheinen. Sehr gut bewährten sich unsere Celluloidgefässe statt der Glasgefässe (Fig. 15).

Die Akkumulatoren würden ausser ihrer Bestimmung für die Pyknoskopie sich dem Arzte für



ca. $\frac{1}{10}$ nat. Gr.

Fig. 14.

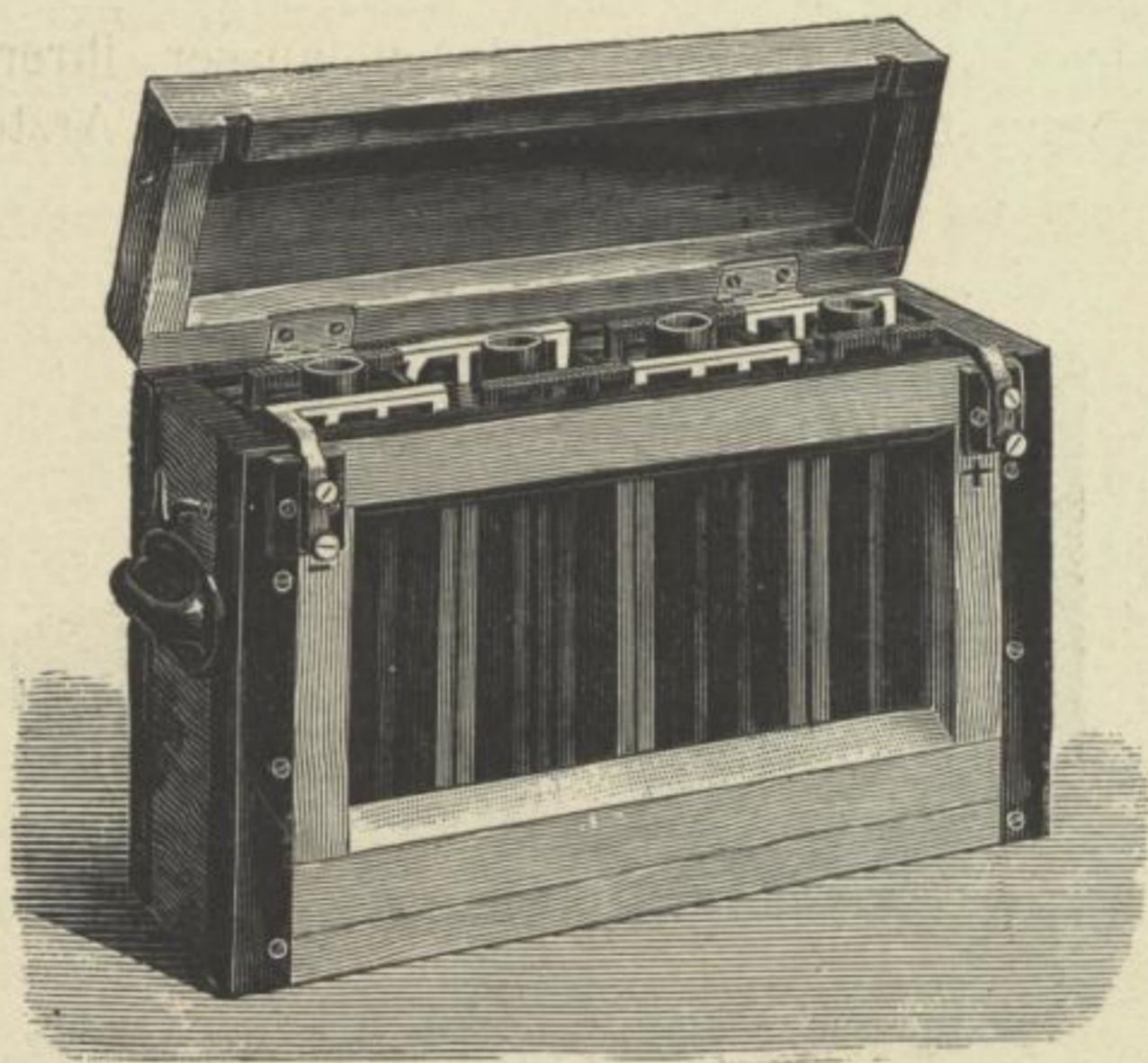
Akkumulator, 4 Zellen in Holzkasten, von Ernecke.

viele andere Zwecke nützlich erweisen: zur Endoskopie, Kaustik, zum Motorenbetrieb für Bohrmaschinen, Massage, innerhalb gewisser Grenzen auch für Zimmerbeleuchtung, Galvanisation und Elektrolyse.

Das Laden der Akkumulatoren besteht darin, dass man einen von einer anderen geeigneten Stromquelle gelieferten Strom (Primärstrom, Ladestrom) von bestimmten Eigenschaften durch den Akkumulator so lange hindurchgehen lässt, dass durch seine elektrolytische Thätigkeit die Platten des Akkumulators den höchsten möglichen Grad von chemischer Ver-

änderung und somit von Potentialdifferenz und Kapazität erreichen.

Zu diesem Zwecke wird der positive Pol des Ladestromes mit dem positiven Pole des Akkumulators, ebenso die beiden negativen Pole miteinander verbunden. Da der Akkumulator, wenn er zur Neuladung kommt, von seiner früheren Ladung immer noch



ca. $\frac{1}{8}$ nat. Gr.

Fig. 15.

Akkumulator, 4 Celluloidzellen in Holzkasten.

eine Potentialdifferenz von mindestens 1,8 Volt pro Zelle besitzt, unter welche er nicht entladen werden durfte, so wirken sich bei der Ladung die elektromotorischen Kräfte beider Stromquellen entgegen und schwächen sich gegenseitig. Würde also z. B. die Spannung des Ladestromes etwa nur gerade so gross sein als die des Sekundärstromes, so würden sich beide vollkommen aufheben und eine Ladung nicht möglich sein. Daraus folgt als notwendige erste

Eigenschaft des Ladestromes, dass seine Spannung jeweilig höher sei als die des allmählich anwachsenden Sekundärstromes und mindestens so hoch, als am Schlusse der Ladung die Spannung der Sekundärbatterie betragen soll, nämlich 2,5 Volt pro Zelle oder 20 Volt bei acht hintereinandergeschalteten Zellen. Die wirksame Ladestromstärke ist dann angegeben durch das Verhältnis des Ueberschusses der Ladestromspannung zum Widerstande der Strombahn.

Die Art der Ladestromquelle ist im Princip gleichgültig, vorausgesetzt, dass der Strom ein Gleichstrom von genügender Spannung und Intensität ist.

Wollen wir eine galvanische Batterie zum Laden unserer auf 14,4 Volt entladenen Akkumulatorenbatterie benutzen, so wäre die Mindestzahl der dazu nötigen Elemente durch die höchste zu erreichende Ladespannung bestimmt, nämlich 20 Volt bei 8 Zellen, 25 Volt bei 10 Zellen. Da in dem Widerstande der Strombahn, welcher sich aus dem inneren Widerstande der galvanischen Elemente, dem der Akkumulatoren und dem der Leitungs- und Messapparate zusammensetzt, derjenige der Elemente der bei weitem grösste ist, gegen den der der Akkumulatoren nicht in Betracht kommt, so kommt es darauf an, eine Elemententype von möglichst geringem inneren Widerstande zu wählen. Ideale Ladeelemente müssten mit geringem inneren Widerstande auch möglichst hohe Spannung und grosse Konstanz vereinigen. In praxi sind diese drei Eigenschaften nicht leicht in einer Type beisammen zu finden, da, wie unsere Tabelle S. 41 zeigt, die konstantesten Elemente die geringste Spannung und grössten Widerstand besitzen. Am ehesten entspräche den Anforderungen neben dem Cupronelement ein grosses Grenet'sches Chromsäureelement von 1,5 Volt Spannung und 0,06 Ohm innerem

Widerstand, dessen Konstanz während längerer Ladungsdauer durch Erneuerung der Flüssigkeit erhalten würde. Um mit einer Batterie aus solchen Elementen unseren Akkumulator auf 20 Volt zu laden, brauchen wir mindestens $\frac{20}{1,5} = 14$ Elemente, welche dann hintereinander geschaltet eine Spannung von 21 Volt und einen inneren Widerstand von $14 \cdot 0,06 = 0,84$ Ohm repräsentieren. Rechnen wir den Gesamtwiderstand der Strombahn rund = 1 Ohm, so ist die Anfangsladestromstärke = $\frac{21-14,4}{1} = \text{ca. } 7$ Amp., am Ende der Ladung = $\frac{21-20}{1} = 1$ Amp. Nehmen wir die mittlere Ladestromstärke = 3 Amp. an, so würde die Ladungsdauer $\frac{180}{3} = 60$ Stunden betragen.

Benutzen wir eine Ladebatterie von 30 Elementen, so ist die Anfangsladestromstärke = $\frac{30 \cdot 1,5 - 14,4}{30 \cdot 0,06} = \frac{30,6}{1,8} = 17$ Amp., welche gegen das Ende der Ladung auf $\frac{45-20}{1,8} = 14$ Amp. sinkt. Die Ladung würde mit diesem stärkeren Strome in $\frac{180}{14 \text{ bis } 17}$, also in 10 bis 12 Stunden beendet sein.

Es liegt nahe, durch Anwendung eines recht starken Ladestromes die Ladezeit noch mehr abzukürzen. Dies ist aber nur bis zu einer gewissen Grenze möglich, da einerseits die elektrolytisch abgeschiedenen Gase zum Eingehen fester chemischer Verbindungen mit den Platten ihre Zeit verlangen und bei zu schneller Entwicklung nutzlos unter Blasenbildung („Kochen der Zellen“) aus der Flüssigkeit entweichen würden, was eine Vergeudung an Kraft, Stoff und Geld bedeutet, andererseits würden die Platten

bei zu grosser Stromstärke leiden. Daher ist eine zweite notwendige Eigenschaft des Ladestromes die, dass er eine gewisse maximale Stärke nicht überschreitet. Die beste Ladestromstärke ist für jede Type von Akkumulatoren nach der Grösse derselben eine bestimmte und wird vom Fabrikanten angegeben. Sie beträgt wie die maximale Entladungsstromstärke etwa 1 Amp. auf jedes Quadratdecimeter der Oberfläche des positiven Plattenkörpers einer Zelle, für unsere Batterie also 16,8 Amp. Jedoch kann im Ausnahmefalle diese Normalladestromstärke um das Doppelte erhöht werden, so lange kein „Kochen“ auftritt. Wenn bei normaler Ladestromstärke starke Gasentwicklung der positiven Platten und milchige Trübung der Säure auftritt, so ist die Ladung als beendet anzusehen, sofern man sich nicht schon vorher am Voltmeter überzeugt hat, dass die Höchstspannung erreicht ist.

Die Ladung grösserer Akkumulatoren durch galvanische Batterien hat hier mehr theoretisches als praktisches Interesse, weil dieselbe zu viel Aufwand entweder an Zeit und Mühe oder an Geld erfordert, also unwirtschaftlich ist. Dagegen lässt sich der Vorschlag hören, den einmal geladenen Akkumulator zur fortwährenden Ergänzung seiner durch den Gebrauch erlittenen Ladungsverluste dauernd mit einer galvanischen Ladebatterie von zwar geringer Stromstärke, aber grosser Konstanz in Parallelschaltung verbunden zu halten. Für diesen Zweck eignen sich die Meidinger'schen Elemente. Ferdinand Ernecke-Berlin empfiehlt solche in zwei Grössen (à 2,50 und 4 Mk.). Da die Spannung dieser Elemente 0,9 Volt beträgt, so braucht man auf jede Akkumulatorzelle mindestens

$$\frac{2,5}{0,9} = 3 \text{ Ladeelemente, für unsere 8 Zellen also etwa 30.}$$

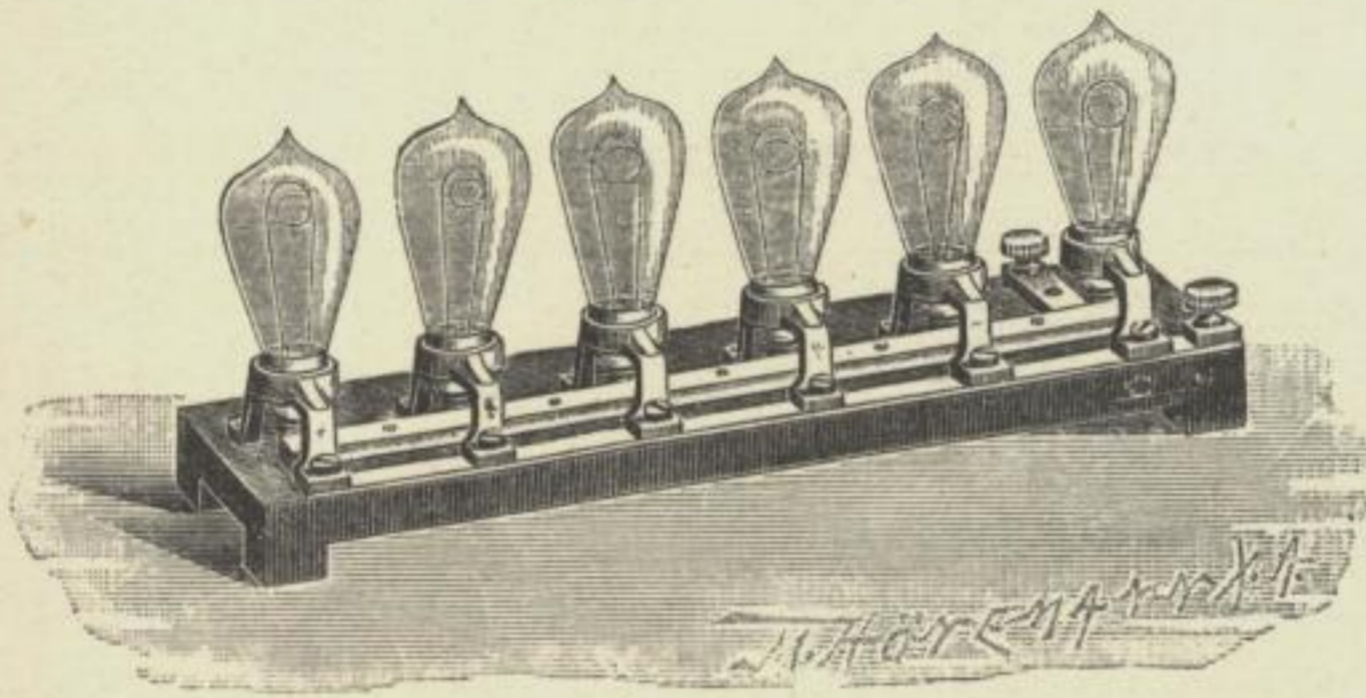
Diese Batterie repräsentiert eine elektromotorische Kraft von 27 Volt und einen inneren Widerstand von 30×4 Ohm, erzeugt also eine Ladestromstärke von $\frac{27-14,4}{120} = 0,1$ Amp., bei vollgeladenem Akkumulator die Hälfte. Zur Neuladung ist natürlich eine so schwache Batterie nicht zu gebrauchen, da sie Monate dauern würde.

Die beste Art der Ladung ist die durch den Starkstrom einer Gleichstromdynamomaschine, und zwar sind dazu die Nebenschlussdynamomaschinen am zweckmässigsten, weil bei diesen eine Umpolarisierung durch Ueberwiegen des Entladungsstromes bei unregelmässigem, verlangsamtem Gange nicht möglich ist. Hat man im Hause Anschluss an eine Lichtcentrale, welche gewöhnlich einen Strom von 110 Volt liefert, so wird man durch Einschalten von geeigneten regulierbaren Widerständen (5 Ohm) die Stromstärke auf etwa 20 Amp. in unserem Falle abschwächen und damit laden können ($\frac{110 - 14,4 \text{ Volt}}{5 \text{ Ohm}} = 19 \text{ Amp.}$).

Andernfalls muss man seinen Akkumulator zur Ladung nach einer Kraftmaschine oder einer Kraftstromleitung transportieren. Zur Vermeidung von Kraftverschwendung kann man vielleicht durch Verlangsamung der Umdrehungen der Maschine die Spannung derselben auf etwa 60 Volt vermindern, so dass nur 2 Ohm im Rheostaten nötig sind, um die niedrigere Ladestromstärke zu erhalten. ($\frac{60-14,4}{2} = 18 \text{ Amp.}$)

Als bekannte Vorschaltwiderstände kann man mit Vorteil Glühlampen benutzen. (Fig. 16.) Um auch einen etwa verfügbaren Wechselstrom zum Laden zu benutzen, muss man sich eines Wechselstrom-Gleichstrom-Umformers bedienen.

Die bisher angenommene Hintereinanderschaltung der Zellen beim Laden ist im Interesse der Zeitersparnis und Gleichmässigkeit der Ladung die beste, ist aber nur möglich, wo ein Ladestrom von mindestens so hoher Spannung zur Verfügung steht, als die der Akkumulatorenbatterie am Schlusse der Ladung sein muss, für 8 Zellen also mindestens 20 Volt. Wo eine so stark gespannte Stromquelle nicht zu haben ist, kann man z. B. mit einer Ladestromspannung von



ca. $\frac{1}{7}$ nat. Gr.

Fig. 16.

Lampenrheostat von Ernecke, mit 6 Lampen, zum Vorschalten beim Laden einer Akkumulatorenbatterie durch eine Dynamo oder eine Centrale.

2,5 bis 3 Volt jedes einzelne Element für sich oder, indem man durch Parallelschaltung der Zellen dem ganzen Akkumulator die Bedeutung einer einzigen grossen Zelle giebt, die ganze parallelgeschaltete Batterie auf einmal laden. Dies würde natürlich für unsere ganze Batterie im ersten Falle das Achtfache an Zeit, im anderen das Achtfache an Stromstärke oder Zeit erfordern. Bei Verfügung über einen Strom von 5 bis 6 Volt wird man je zwei Zellen hintereinander oder die vier parallelgeschalteten Reihen von je zwei auf Spannung verbundenen Zellen auf einmal

laden können, bei 10 bis 12 Volt je vier auf Spannung geschaltete Zellen oder die beiden parallelen Reihen von vier auf Spannung geschalteten Zellen.

Für die Ladung einzelner oder parallelgeschalteter Zellen, die natürlich nach der Ladung wieder auf Spannung verbunden werden müssen, werden für solchen Betrieb, wo Brenngas zur Verfügung steht, Gülcher's Thermosäulen empfohlen. Dieselben bestehen aus vielen Thermoelementen von Nickel und Antimonlegierung, durch deren Erhitzung an der Berührungsstelle der beiden verschiedenen Metalle die elektromotorische Kraft erzeugt wird. Sie werden von Ernecke-Berlin in folgenden drei Grössen und Leistungen angeboten:

Preis in Mark	100	125	250
Zahl der Elemente	26	50	66
Spannung in Volt	1,5	3	4
Innerer Widerstand in Ohm	0,25	0,50	0,65
Stromstärke in Ampère .	3	3	3
Gasverbrauch pro Stunde in Litern	70	130	170
Betriebskosten pro Stunde: Pfennig	1	2	2 ¹ / ₂

Eine Säule der grössten Type entspricht zwei Bunsenelementen. Sie wird als haltbar und praktisch gerühmt. Für die Ladung von Akkumulatoren kann nur die grosse oder etwa zwei hintereinandergeschaltete kleinere oder grosse in Betracht kommen. Bei der geringen Stromstärke würde die Ladung immerhin lange dauern und nur für kleinere Akkumulatoren zu empfehlen sein.



3. Kapitel.

Induktionsströme und Induktoren.

Induktionsströme oder induzierte Ströme sind solche, welche in einem geschlossenen Leiterkreise (einem Drahting) dadurch erzeugt werden, dass in der Nähe desselben magnetische Kraftschwankungen oder elektrische Stromschwankungen stattfinden. Die induzierte elektromotorische Kraft ist um so grösser, je breiter diese Schwankungen sind, und je steiler, d. h. je schneller sie ablaufen. Darum ist die induzierende Kraft eines Magneten oder eines galvanischen Stromes von bestimmter Stärke am grössten, wenn Magnet oder Strom in grösster Nähe des zweiten Leiterkreises entweder plötzlich entstehen oder plötzlich verschwinden.

Bei der Magnetinduktion lässt man daher Magnet und Leiterkreis einander schnell nähern und entfernen, bei der Galvanoinduktion lässt man den primären Strom schliessen und öffnen. Die kräftigste Induktionswirkung ergibt die Kombination beider als elektromagnetische Induktion, wobei der ein Bündel magnetisch isolierter weicher Eisenstäbe umfliessende primäre Strom dieses zum Elektromagneten macht, so dass Stromschluss zugleich Entstehen des Magnetismus, Stromöffnung Vergehen desselben bedeutet, Magnet- und Galvanoinduktion also in demselben Sinne induzierend zusammenwirken.

Da (nach Holborn) der zeitliche Verlauf der magnetischen Induktion durchaus zusammenfällt mit dem des induzierenden Stromes, und der Elektromagnetismus keine Zunahme mehr erfährt, sobald der magnetisierende Strom die volle Stärke erreicht hat, so ist praktisch die Entstehung der elektromotorischen Kraft im zweiten Leiterkreise an die beiden Momente

der Oeffnung und der Schliessung des induzierenden Stromes gebunden. Diesen nennen wir den Primärstrom, seine Bahn, welche in der Hauptsache in dem um den Magneten gewickelten Leitungsdraht besteht, auf dieser Strecke Primärspirale, Primärrolle oder Primärspule, den zweiten Leiterkreis, in welchem ein Strom induziert werden soll, und welcher meist als Leitungsdraht über die Primärspirale gewickelt ist, die Sekundärspirale, den in ihr induzierten Strom den Induktions- oder Sekundärstrom. (Die hier gebrauchten Termini Primär- und Sekundärstrom sind nicht zu konfundieren mit den gleichen Ausdrücken, welche bei der Ladung der Akkumulatoren gebraucht werden und dort Lade- und Entladungsstrom bedeuten). Die Kombination von Magnet, Primär- und Sekundärrolle, sowie event. Unterbrechungsvorrichtung (Wagner-Neefe'scher Hammer) nennt man Induktionsapparat, Induktor oder Transformator.

Die Ansprüche, die man an eine Unterbrechungsvorrichtung stellt, sind ausser später zu erwähnenden die, dass die Unterbrechung plötzlich, vollständig, frequent und gleichmässig geschieht. Das primitivste Mittel wäre die Unterbrechung mit der Hand oder einem Zahnrad. Von den selbstthätigen Unterbrechern ist der gewöhnlichste der Wagner-Neefe'sche Hammer oder Platinunterbrecher (Fig. 17). Derselbe besteht erstens aus einem federnden Stahlblatt, welches den Stiel eines Hammers repräsentiert, dessen Griffende in einem Stativ befestigt mit einem Ende der unterbrochen gedachten Stromleitung verbunden ist und dessen Kopf aus einem eisernen Klotz (Anker) besteht, zweitens aus der in einem leitenden Stativ liegenden Stellschraube mit Platinspitze, welche einem Platinansatz des Federblattes gegenübersteht und mit dem anderen Ende der unterbrochenen Stromleitung leitend verbunden ist. Der Hammer ist so angebracht, dass sein Kopf vor dem Eisenkern des Induktors liegt, während sein Platinansatz gegen die Platinspitze der Stellschraube federt. Da in dieser Lage der Stromkreis geschlossen ist, so wird durch den eingeführten Strom der Eisenkern zum Magneten, zieht den eisernen Hammerkopf an und damit den Platinansatz des Stieles von der Stellschraubenspitze ab. Dadurch wird der Strom

unterbrochen, der Eisenkern unmagnetisch und der Hammerkopf wird losgelassen; dieser federt nun wieder gegen die Stellschraube, wodurch der Strom wieder geschlossen und immer wieder unterbrochen wird. Die Weite und Frequenz der Hammerschwingungen ist durch die Stellschraube in gewissen Grenzen regulierbar.

Grössere Regelmässigkeit und höhere Frequenz der Unterbrechungen erzeugt der Deprez'sche Unterbrecher (Fig. 18), welcher auf demselben Prinzip beruht wie der Platinunterbrecher, aber zur Wiederherstellung des durch die magnetische Anziehung

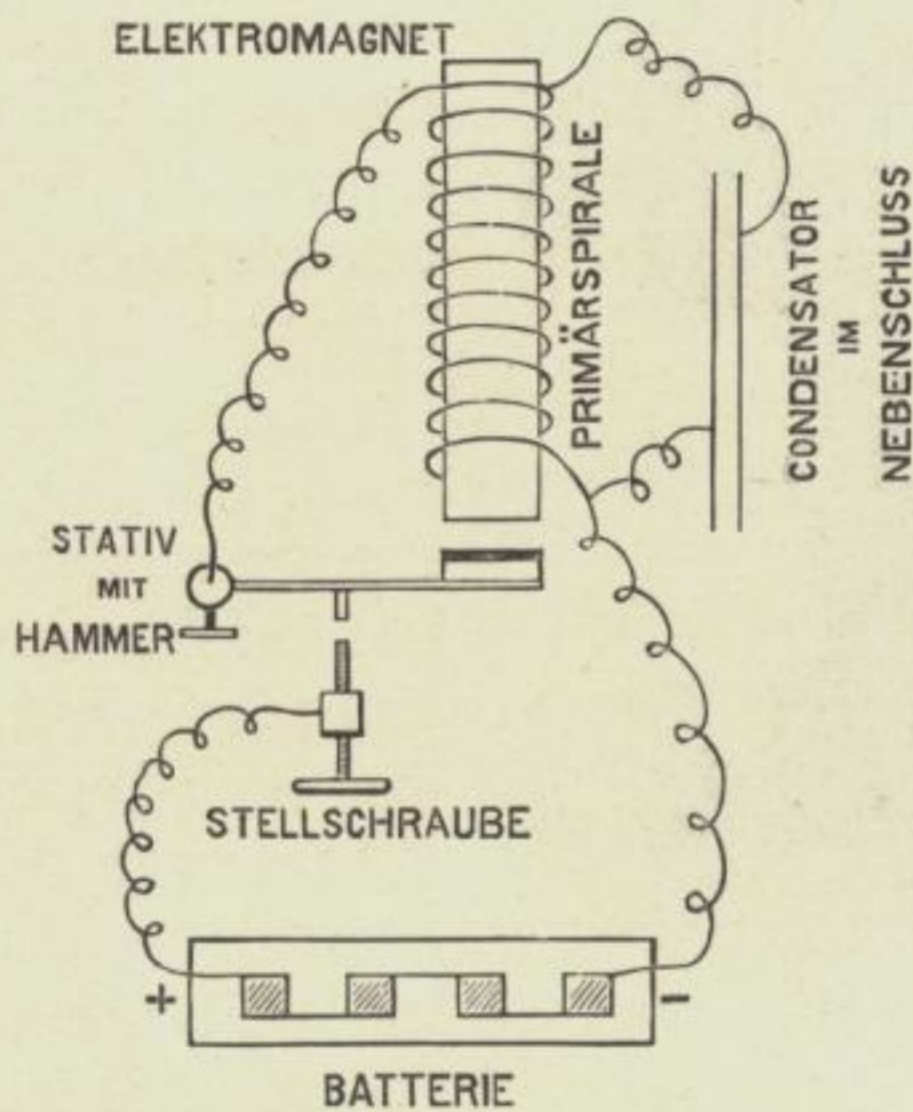


Fig. 17.

Primärstromleitung im Induktor (vgl. Fig. 34).

unterbrochenen Kontaktes eine besondere Feder besitzt. Eine Stellschraube dient auch hier zur Regulierung der Frequenz.

Beim Quecksilberhammerunterbrecher von Foucault taucht eine federnde Stange in ein Gefäss mit Quecksilber und wird zur Unterbrechung des Kontaktes durch magnetische Anziehung selbstthätig aus dem Quecksilber herausgehoben. Er arbeitet langsam und wird durch ein verstellbares Laufgewicht reguliert. Das Quecksilber wird mit einer Schicht isolierenden Alkohols, Petroleums, Terpentins oder Paraffinöls bedeckt, welche statt Luft die Unterbrechungsstrecke ausfüllt.

Ausserdem sind Motorunterbrecher von verschiedener Form (Quecksilberradunterbrecher von Hofmeister) konstruiert worden.

Auf Schwingung durch elektromagnetische Anziehung beruhen auch die mit tönend schwingenden Körpern verbundenen Unterbrechungs-
vorrichtungen als Saitenunterbrecher und Stimmgabelunterbrecher
(Pupin, Biel). Der hochfrequente Unterbrecher von Tesla in ro-
tierender Trommel soll hier nur erwähnt werden. Der Turbinen-
unterbrecher von Boas und der elektrolytische von Wehnelt werden
mit den anderen im 6. Kapitel besprochen werden.

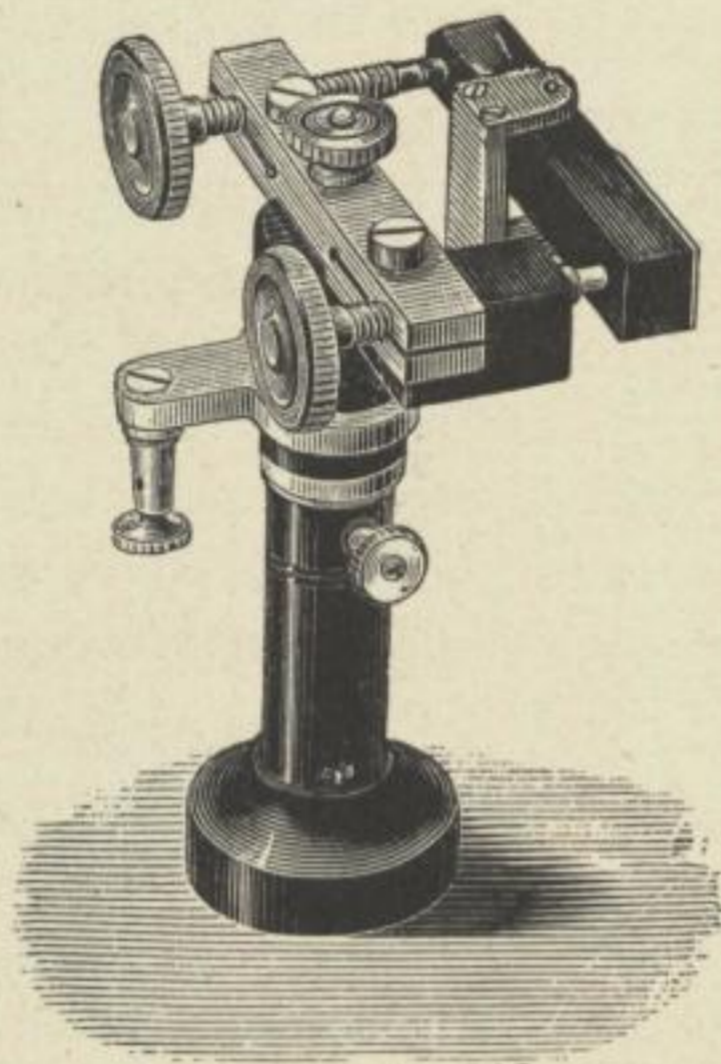


Fig. 18. ca. $\frac{1}{3}$ nat. Gr.
Deprez - Unterbrecher
von Ernecke.

Da die elektromotorische Kraft in der Sekundärrolle nur im Moment und für die Dauer der Stromschwankung des Primärstromes entsteht, so sind die eigentlichen Induktionsströme nur momentane Entladungsschläge, welche in derselben Frequenz aufeinanderfolgen wie Schliessung und Öffnung des primären Stromes. Der im Augenblicke der Schliessung des primären Stromes in der Sekundärrolle induzierte Strom (der sekundäre Schliessungsschlag) ist dem Primärstrom in der Richtung ent-

gegengesetzt, der bei Öffnung des Primärstromes in der Sekundärspirale induzierte (der sekundäre Öffnungsschlag) ist dem Primärstrom gleichgerichtet, also dem ihm in derselben Bahn vorangehenden sekundären Schliessungsschlage entgegengesetzt. Die regelmässige Folge von einander entgegengesetzten sekundären Öffnungs- und Schliessungsschlägen ist der gewöhnlich sogen. Induktionsstrom. Derselbe ist also ein intermittierender, und zwar ein Wechselstrom.

Die Hauptbedeutung der Induktionsapparate liegt aber nicht gerade darin, dass sie Wechselströme erzeugen, sondern dass in ihnen aus dem benutzten Primärstrom durch Induktion ein zweiter von anderer Spannung erzeugt (transformiert) wird. Ist nämlich der Primärstrom ein solcher von geringer Spannung und grosser Intensität (Quantität) und dementsprechend in dickem Kupferdraht von wenig Windungen (zwei Lagen) um den Magneten herumgeführt, während die Sekundärrolle aus vielen Tausend Windungen sehr dünnen Drahtes besteht, so wirkt die induzierende Kraft auf jede einzelne Windung der Sekundärrolle (freilich auch der Primärrolle selbst, s. u.) in gleichem Sinne ein. Die induzierten elektromotorischen Kräfte aller Windungen, die gleichsam hintereinandergeschaltet sind, summieren sich in dem fortlaufenden Drahte, und so entsteht ein Induktionsschlag von einer um so höheren Spannung, je grösser die Zahl der Windungen ist. So kann man bequem aus einem niedrig gespannten Primärstrom von wenigen Volt einen auf mehrere, ja viele Tausend Volt gespannten Wechselstrom gewinnen, der dafür freilich um so geringere Stromstärke besitzt. Das Produkt aus Spannung und Stromstärke muss nämlich bei beiden Strömen annähernd gleich sein. Umgekehrt kann natürlich ein hochgespannter Primärstrom in einen niedrig gespannten sekundären transformiert werden.

Die durch Induktionsapparate erzeugten Wechselströme haben die Eigenthümlichkeit, dass ihre Öffnungs- und Schliessungsschläge keineswegs gleich sind. Dies ist dadurch bedingt, dass auch in der primären Spirale durch induzierende Einwirkung des Magneten und der einzelnen Windungen aufeinander (Selbstinduktion) ein induzierter Strom entsteht, der primäre Induktionsstrom oder Extrastrom. Auch

dieser ist bei der Stromschliessung dem Primärstrom entgegengesetzt, bei der Oeffnung demselben gleichgerichtet. Da Primärstrom und Extrastrom denselben Draht durchfliessen, so wird der Schliessungsextrastrom den Primärstrom schwächen, während der Oeffnungsstrom nicht ganz zur Wirkung kommt, sofern er eben durch die Oeffnung (Unterbrechung) der primären Strombahn im allgemeinen verhindert ist, sich auszugleichen (s. u.).

Das ist aber von Bedeutung für den Ausfall der sekundären Induktionsschläge. Wären nämlich die Stromschwankungen des Primärstromes bei Schliessung und Oeffnung gleich stark und gleich schnell, so wären auch die sekundären Schliessungs- und Oeffnungsschläge gleich hoch gespannt. Da aber der Primärstrom bei der Schliessung wegen des momentan entgegenwirkenden Extrastroms nicht gleich mit voller Intensität einsetzen, sondern erst allmählich von Null zu seiner vollen Stärke anwachsen kann, so ist die induzierende Kraft der Stromschliessung geschwächt, und der sekundäre Schliessungsschlag fällt schwächer aus als der Oeffnungsschlag.

Dieses ist der Grund, weshalb wir bei unseren grossen Induktoren die sekundären Schliessungsschläge als nebensächlich und den Induktionsstrom als hauptsächlich in seinen Oeffnungsschlägen wirksam, also beinahe als intermittierenden Gleichstrom betrachten können. Nur insofern hat es einen Sinn, dass wir die Pole des Induktionsstromes als Anode und Kathode bezeichnen, während streng genommen der Pol, der jetzt bei Stromöffnung Kathode ist, beim nächsten Schliessungsschlag zur Anode wird, falls nämlich der sekundäre Stromkreis geschlossen oder seine Pole nur so kurze Distanz haben, dass die geringere Spannung der sekundären Schliessungsfunken zum Ueberspringen

derselben ausreicht. Durchaus berechtigt ist aber solche Bezeichnung da, wo durch eine grössere in den sekundären Stromkreis eingeschaltete Funkenstrecke oder ein Vakuum, wie das der Röntgen'schen Röhren, die sekundären Schliessungsströme überhaupt nicht zu stande kommen können.

Wenn nun auch der Schliessungsextrastrom keine Bedeutung hat in Beziehung auf die hier gar nicht interessierenden sekundären Schliessungsschläge, so ist er doch sehr zu berücksichtigen für den Ausfall der wichtigen sekundären Öffnungsschläge, deren wir uns zur Erzeugung der Röntgen'schen Strahlen bedienen, und nach deren Spannungshöhe, ausgedrückt durch die grösste sekundäre Funkenlänge oder Schlagweite (d. i. die Strecke, bis auf welche die beiden Polenden genähert werden können, bevor disruptive Entladung in Funkenform durch die Luft erfolgt, s. u.) wir die Leistung unserer grossen Funkeninduktoren vergleichen.

Die sekundäre Funkenlänge ist nämlich (nach den neueren Untersuchungen von B. Walter-Hamburg) u. a. proportional dem maximalen Werte, welchen der eben geschlossene Primärstrom beim Beginne der Öffnung erreicht hat. Wie oben dargestellt wurde, tritt die volle Stärke des Primärstroms infolge des entgegenwirkenden und dann abklingenden Schliessungsextrastroms erst allmählich ein, und es ist klar, dass innerhalb dieser Zeit des Anwachsens des Primärstromes die induzierende Kraft der Öffnung um so schwächer ist, je schneller sie auf die Schliessung folgt. Es wird daraus ferner klar, dass es eventuell unpraktisch sein kann, den Unterbrecher schneller arbeiten zu lassen, als zulässig ist, um dem Primärstrom die nötige Schliessungszeit zu gönnen zur Entwicklung der vollen oder genügenden Stärke.

So bedurfte z. B. Walter's Induktor, dessen Primärrolle einen Widerstand von 0,5 Ohm besass, in derselben eines Stromes von 6 Ampère, um bei Öffnung desselben seine maximale Funkenlänge von 30 cm zu leisten, ganz gleich, durch welche Betriebsspannung diese Stromstärke von 6 Ampère erreicht wurde. Ein Ruhestrom von 4 Volt würde $\frac{4}{0,5} = 8$ Ampère erzielt haben, also mehr als nötig oder dem Apparate dienlich war; dieser Strom brauchte gerade 0,36 Sekunden, um nach der Schliessung auf 6 Amp. anzusteigen, es bedurfte also nicht mehr und nicht weniger als 2 Unterbrechungen in der Sekunde (wobei die zur Öffnung nötige Zeit auf $\frac{1}{3}$ der zur Schliessung nötigen angesetzt ist), um die genannte Schlagweite zu erhalten. Will man in kürzerer Zeit die volle Stromstärke erzielen, also den Extrastrom schneller überwinden, so bedarf man höherer Spannung des Primärstroms, z. B. 12 Volt, um in 0,064 Sek.; also mit 10 Unterbrechungen, 24 Volt, um in 0,03 Sek. mit 25 Unterbrechungen die Schlagweite von 30 cm zu erhalten, wobei eine ratsame kleine Erhöhung des Widerstandes (um 1 resp. 2 Ohm) nicht von Belang war. Weitere Erhöhung der Unterbrechungs-frequenz oder des Widerstandes ohne gleichzeitige Erhöhung der Betriebsspannung verminderte sogleich die sekundäre Funkenlänge. Wir gewinnen also die Anschauung, dass der thätige Unterbrecher bei gegebener Spannung und bei einer Frequenz, welche zur Schliessung des Stromes weniger Zeit gestattet als der Ablauf des Schliessungsextrastroms beansprucht, einen erheblichen Widerstand für den Primärstrom repräsentiert, der mit der Frequenz wächst, und der es gestattet, die höheren Spannungen (bis 110 Volt) ohne Rheostaten direkt für den Betrieb des Induktors anzuwenden und auszunutzen.

Es folgt daraus, dass bei gegebener Spannung die Frequenz der Unterbrechungen nicht übertrieben werden darf, anderseits aber ist sehr darauf zu halten, dass der Unterbrecher auch wirklich die richtige Tourenzahl innehält und nicht durch langsames Arbeiten den Strom zu stark ansteigen lässt; denn „ein einziger in die primäre Rolle hineingesandter Strom von allzu grosser Stärke stellt jedenfalls für die Isolationswiderstände des ganzen Apparates und aller seiner Teile eine weit grössere Gefahr dar, als eine grosse Reihe sehr schnell auf einander folgender Funken von normaler Spannung“ (Walter). Daraus folgt, dass man einen für hochgespannten Strom und frequente Thätigkeit bestimmten Unterbrecher nicht bei vollem Primärstrom aus der Stromschliessenden Lage heraus langsam in Thätigkeit setzen darf; sondern man muss, zumal bei den Unterbrechern, welche durch den Primärstrom selbst betrieben werden, diesen letzteren für den Anfang erst durch Rheostaten möglichst abgeschwächt eintreten lassen, oder man muss, wenn man einen durch eine besondere Stromquelle getriebenen Motorunterbrecher benutzt, diesen erst seine volle Frequenz erreichen lassen, ehe man den Primärstrom schliesst.

Noch eine zweite Gefahr droht der primären Stromöffnung, selbst bei voll erreichter Stromstärke an induzierender Kraft zu verlieren, und zwar durch den primären Öffnungsextrastrom. Nämlich die Spannung des Öffnungsextrastromes in der Primärspirale ist immerhin so stark, dass derselbe durch das Auseinanderweichen der metallenen Kontaktflächen am Unterbrecher bei der Stromöffnung nicht ganz verhindert wird sich auszugleichen, sondern in einem hellen Funken, dem sogen. Öffnungsfunken, durch die entstehende trennende Luftstrecke überspringt.

Auf diese Weise verlangsamt der Oeffnungsfunke das durch die Oeffnung beabsichtigte plötzliche Abfallen des Primärstromes vom vollen Werth auf 0, der sekundäre Oeffnungsschlag würde also an Spannung einbüßen, wenn es nicht gelänge, den Ausgleich des Extrastromes im Oeffnungsfunken mit diesem zu beseitigen.

Bei den medizinischen Induktionsapparaten hat man für den Oeffnungsextrastrom zwischen den beiden Enden der Primärspule eine Nebenschlussleitung angebracht, welche im Apparat selbst nicht vollständig geschlossen ist, sondern in zwei Polklemmen ausläuft, zwischen welchen durch Einschaltung des menschlichen Körpers der Nebenschluss perfekt wird. Ist der primäre Strom geschlossen, so wird sein Ablauf in der Spule durch den Nebenschluss nicht beeinträchtigt, da er den geringen Widerstand der Drahtleitung dem hohen des Körpers vorziehen wird. Bei der Oeffnung aber wird der hochgespannte Extrakurrent den Weg durch den Körper im Nebenschluss dem noch höheren Widerstande der Luftstrecke wenigstens zum Teil vorziehen. Auf diese Weise gewinnt man zum Faradisieren des Körpers einen nur aus gleichgerichteten Oeffnungsschlägen bestehenden Induktionsstrom, gewöhnlich schlechtweg „primärer Induktionsstrom“, oder zum Unterschiede von dem höher gespannten Sekundärstrom „Quantitätsstrom“ genannt.

Es läge nun nahe, in ähnlicher Weise für unsere grossen Induktorien eine Ableitung der Oeffnungsfunken, die man doch nicht wegblasen kann, im Nebenschlusse herbeizuführen. Dieser Nebenschluss müsste entweder einen geringeren Widerstand bieten als die Isolierstrecke am Unterbrecher, aber einen genügend grossen, um die Stromstärke in der Primär-

spule nicht zu beeinträchtigen, oder er müsste mit dem Unterbrecher (Hammer) so in Verbindung stehen, wie in Fig. 19 (durch das zwischen verlängerter Hammerfeder und Leitungsdraht liegende Leitungsstück) darzustellen versucht ist, dass er nur bei Stromöffnung geschlossen, bei Stromschliessung offen wäre.

Eine andere Methode, den Oeffnungsfunken auszuschliessen, wäre die Interposition stärker isolierender

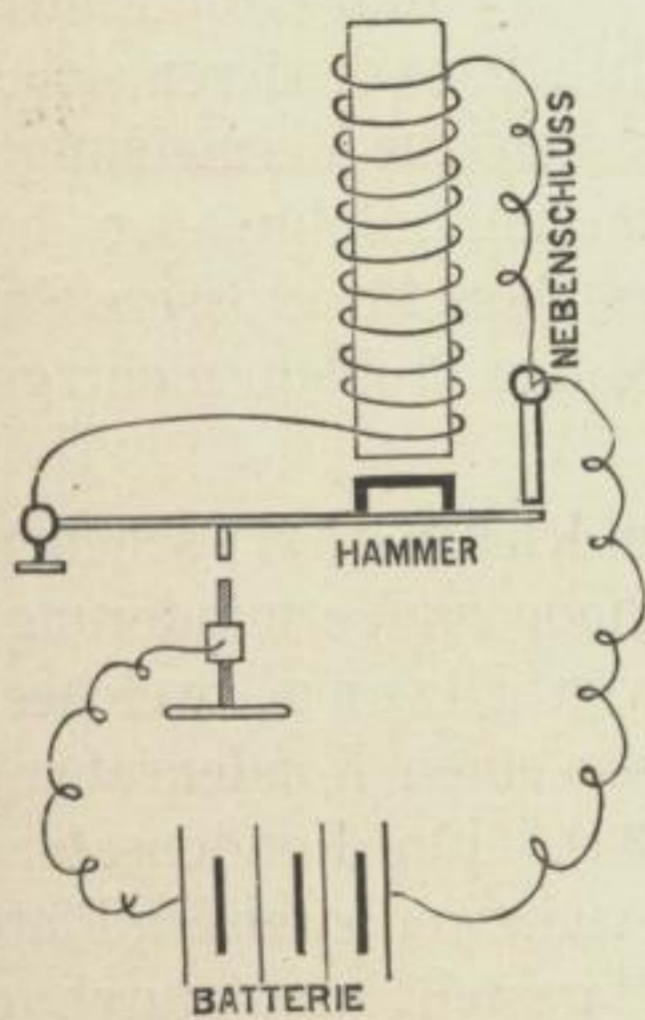


Fig. 19.

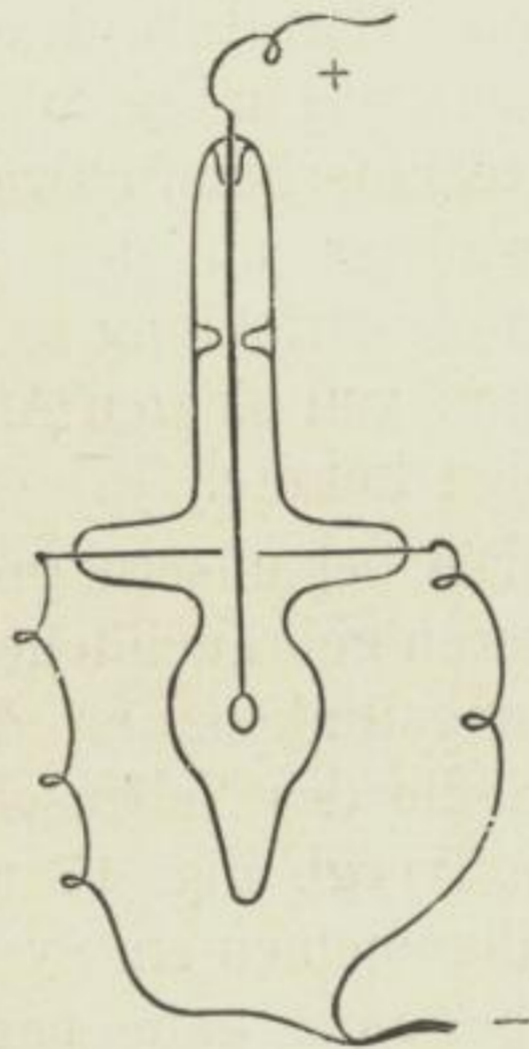


Fig. 20.

Vakuumschüttelunterbrecher
(schematisch).

Medien an Stelle der Luftstrecke. In dieser Beziehung erfüllt der Quecksilberunterbrecher, bei welchem Oel oder Alkohol statt Luft zwischen die metallischen Kontakte tritt, die Erwartungen nur unvollkommen. Der Gedanke, die Unterbrechung im luftleeren Raume vor sich gehen zu lassen, ist für unsere Zwecke noch nicht in befriedigender Weise ins Praktische übersetzt. Mac Farlan Moore konstruierte zur Erregung Geissler'scher Röhren für Lichtzwecke einen Hammerunterbrecher in einer fingerlangen luftleeren Glas-

röhre, auf welchen ein ausserhalb befindlicher Magnet einwirkte, und erzielte damit für kleine Dimensionen eine so vollständige Unterbrechung, dass er den primären Extrastrom selbst benutzen und auf die sekundäre Rolle verzichten konnte. Wir selbst konstruierten einen Vakuumunterbrecher, dessen einer Pol als Federpendel infolge Schüttelns zwischen den Zinken des stimmgabelförmigen anderen Poles schwingen konnte; Gundelach in Gehlberg führte die Konstruktion aus, wie in Fig. 20 ersichtlich, es erwiesen sich aber die technischen Schwierigkeiten zur Vermeidung von Verschleiss an den Kontakten infolge der hohen Wärmeentwicklung so gross, dass für grössere Stromstärken von einigen Ampère das Problem nicht gelöst werden konnte.

Die bei unsern grossen Rühmkorff'schen¹⁾ Induktoren gebräuchliche Methode zur Verminderung des Öffnungsfunkens ist die von Fizeau, welcher an die Stelle des Nebenschlusses einen Kondensator einfügte (vergl. Fig. 17 und 34). Ein Kondensator ist im allgemeinen ein System von zwei leitenden Platten, welche ganz nahe parallel gestellt und durch eine Isolierschicht getrennt sind (Franklin'sche Tafel, Leydener Flasche). Die Bedeutung des Kondensators liegt darin, dass, wenn die eine Platte positiv, die andere negativ geladen wird, die entgegengesetzten Ladungen durch Anziehung sich gegenseitig binden (verdichten) und dadurch ihre Potentialdifferenz vermindern. Bei den Rühmkorff'schen Induktoren besteht der Kondensator aus zwei grossen Stanniolblättern, welche durch dazwischen geklebtes Paraffin-

¹⁾ Rühmkorff war ein Deutscher, der in Paris seinen Namen natürlich Ruhmkorff schreiben liess, um ihn so aussprechen zu lassen wie zu Hause.

papier isoliert sind, und von denen das eine Blatt mit der Eintrittsstelle des Primärstromes in die Primärspule, das andere mit der Austrittsstelle leitend verbunden ist. Die entgegengesetzten Elektrizitätsmengen des Öffnungsextrastromes, welche sich sonst durch den inneren Stromkreis hindurch im Öffnungsfunken ausgleichen, verteilen sich bei Einschaltung eines Kondensators zum grossen Teile je über eine Belegung desselben; indem sie sich hier gegenseitig binden und verdichten, werden sie von der Unterbrechungsstelle abgeleitet (sie fluten zurück), zu deren Überspringung ihre Spannung nun nicht mehr ausreicht. Die während der Stromöffnung im Kondensator gebundenen Ladungen gleichen sich bei der nachfolgenden Schliessung aus. Dieser Kondensator ist vielfach zusammengefaltet meist in einem Kasten des hölzernen Sockels des Induktors angebracht.

Leider führt auch dieses Mittel nicht zur gänzlichen Beseitigung des Öffnungsfunkens, von dessen Ausfall die Leistungsfähigkeit eines Induktors wesentlich mit abhängt. Die Grösse des Kondensators (seine Kapazität) ist nicht gleichgültig für die Wirkung und sollte an jedem grösseren Apparate für Pyknoskopie für jede Stromstärke regulierbar und zur Kontrolle seiner Funktionstüchtigkeit nicht nur teilweise, sondern auch ganz ausschaltbar sein. [Dies Erfordernis ist neuerdings besonders dringlich geworden durch die Erfindung eines Unterbrechers (Wehnelt, s. u.), dessen volle Wirksamkeit eine gewisse Selbstinduktion im Stromkreise voraussetzt, durch den Kondensator also beeinträchtigt wird.] Auch hierüber liegen jetzt Untersuchungen von B. Walter vor, welche zeigen, dass der Kondensator auch zu gross genommen werden kann (Wiedemanns Annal. 1897, H. 10, p. 302), und dass zu verschiedenen Unterbrechungsarten auch verschiedene

Kapazität des Kondensators gehört. Sein Apparat von 30 cm Funkenlänge gab nur 3,5 cm lange Funken ohne Kondensator, die Schlagweite wuchs auf 10 cm bei einer Kapazität des Kondensators von 0,006 Mikrofarad, bei 0,05 M.-F. auf 27 cm, bei 0,2 auf 30 cm, fiel jedoch bei 0,4 M.-F. auf 27 cm, bei 1,2 auf 14,5 cm. Eine Erklärung dieser Erscheinung liegt darin, dass bei der Ladung des Kondensators von einer gewissen Grenze an störende oszillatorische Schwankungen des Ladungszustandes (Schwingungen) auftreten, deren Dauer mit der (Quadratwurzel aus der) Kapazität des Kondensators zunimmt. Durch diese Oszillationen wird der Abfall des primären Stromes bei der Öffnung weniger steil und damit weniger induzierend.

Der Endzweck aller dieser Einrichtungen ist also die Erzielung möglichst hoher Spannung für den sekundären Induktionsstrom, und zwar für die gleichgerichteten Öffnungsschläge desselben. Die Spannung der Induktionsströme liesse sich allenfalls aus der Konstruktion des Apparates in Volt berechnen. Die direkte Messung ist kaum möglich, geschieht aber bei nicht zu hohen Spannungen schätzungsweise nach der grössten Länge der Entladungsfunken durch die Luft.

Nach Walter ist in der That die Schlagweite der sekundären Spannung proportional. Freilich ist sie ausser von der Spannungsdifferenz abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit, Gestalt und Grösse der Elektroden (der Polenden, zwischen denen der Funke überspringt), von der Dichtigkeit und Temperatur der Luft, von magnetischen und Lichteinflüssen. (Die Bestrahlung der Kathode mit ultraviolettem Licht befördert die Entladung.) Entfernt man die Elektroden allmählich von einander, während Funken überspringen, so erhält man eine grössere Funkenstrecke, als wenn man dieselben aus grosser Ent-

fernung nähert, bis Funken entstehen; also die Funkenbahn in der Luft wird durch den Funken selbst besser leitend. Der Funkenentladung geht Büschelentladung voraus und scheint den Weg anzubahnen. Wird die Luft, in welcher der Funke überschlägt, allmählich verdünnt, so nimmt zunächst ihr Isolationswiderstand ab, die Schlagweite zu im Verhältnis der Verdünnung, bis auf 30 cm Quecksilberdruck. Bei weiterer Verdünnung wächst der Widerstand wieder allmählich bis zum völlig unüberwindlichen Entladungshindernis.

Die Verdichtung der Luft bedeutet ebenfalls Vermehrung ihres Widerstandes, welcher bei 50 Atmosphären absolut ist. Man erzielt die längsten Funken bei gegebener Spannung in warmer, trockener, weder zu dichter noch zu dünner Luft unter Anwendung einer in eine Spitze oder kleine Kugel auslaufenden Anode und einer grossen Kugel oder Scheibe als Kathode (Kathodenscheibe), auf welche die Funken, aus der Anode austretend, senkrecht aufschlagen. Die Drahtenden der Sekundärrolle laufen am besten in zwei etwa 20 bis 50 cm hoch über die Rolle hinausragende Polklemmen aus, in welchen sowohl die Schliessungsdrähte für die Vakuumröhre als die zur Regulierung der Distanz horizontal verschieblichen Elektroden befestigt werden können, von denen die eine mit der Kathodenplatte feststeht, während die andere mit Centimeterteilung versehene verschieblich ist (Fig. 21).

Eine Relation von Spannung und Schlagweite der Funken in gewöhnlicher Luft unter Messung mittels des Funkenmikrometers, d. h. zweier verschieblicher kleiner Kugeln als Elektroden, giebt Thompson in folgender gekürzter Tabelle:

Schlagweite:	0,5,	1,	10,	20 mm,
Spannungsdifferenz:	2910,	4830,	25410,	31350 Volt.

Für die grösseren Schlagweiten unserer Induktoren liegen jetzt Untersuchungen von Overbeck, Heydweiller, Thompson und Walter vor. Letzterer berechnet die Spannung 20 cm langer Funken auf 130 000 Volt, bei 1 Meter Länge also 650 000 Volt. (Ein Blitz von 200 Meter Länge hätte danach 130 Millionen Volt.) Es ist klar, dass das Hantieren mit

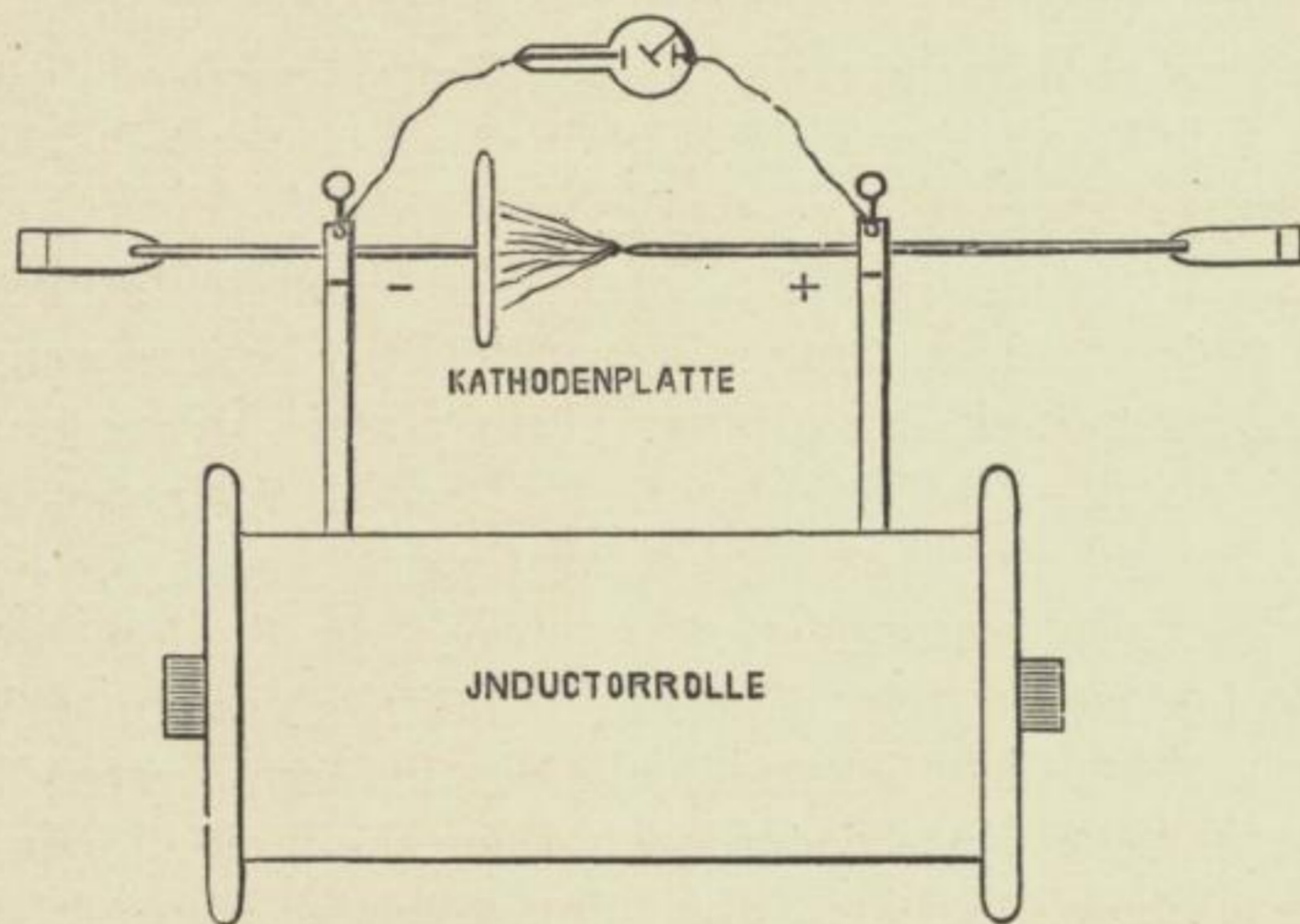


Fig. 21.

Röntgen'sche Röhre und Sicherheitsfunkenstrecke parallel geschaltet.

solchen Strömen mit Gefahr für Leben und Gesundheit verknüpft ist. Da ausserhalb des Apparates die Stromleitung praktisch nur durch trockene Luft isolierbar ist, so darf man während der Thätigkeit des Apparates nie einen Teil der Sekundärleitung berühren, nicht einmal auf Handbreite nahekomen, ohne höchst empfindliche Entladungsfunken durch die Luft (im Nebenschluss) auf den Körper abzuleiten. Sehr heftig wirkt auch der primäre Induktionsstrom

(nach Walter ca. 2000 Volt), den man versehentlich durch den Körper leiten kann, wenn man z. B. gleichzeitig Hammer und Stellschraube des Platinunterbrechers berührt, während der einfache Batteriestrom von 16 bis 20 Volt keine Gefahren bietet.



4. Kapitel.

Entladungswirkungen der Induktionsströme in der Luft.

Wenn die hohen Potentiale der Pole des Induktionsapparates sich in oder durch die Luft entladen, so geben diese Entladungen sich dem Auge als büschelförmiges, punktförmiges (Glimmlicht) oder als Funkenlicht zu erkennen. Je nach der Form der Elektroden, dem Einfluss magnetischer Kräfte und dem Entladungspotential kann Funken-, Büschel- und Glimmentladung in einander übergeführt werden. Nähert man die Elektroden der Sekundärrolle soweit gegeneinander, dass die dazwischenliegende Luftstrecke der hohen Spannung keinen Widerstand leisten kann, so schlagen die Öffnungsfunken in der Form greller klatschender Blitze aus der Anodenspitze auf die Kathodenplatte, wobei sich ein intensiver Ozongeruch bemerkbar macht. Zugleich sieht man, besonders bei geringer Distanz und wenn die beiden Pole die Form von Spitzen oder kleinen Kugeln haben, um die Funkenlinie herum einen weniger hell leuchtenden Mantel von orangefarbenem Licht, die sogen. Aureole, welche am positiven Pole mehr rot (rotviolett), am negativen mehr blau, in der Mitte dunkel ist.

Die Aureole scheint eine von dem Funken unabhängige Entladungsform zu sein. Durch Anblasen

oder Annäherung eines Magneten kann man Funken und Aureole voneinander trennen, man kann beide Erscheinungen auch an getrennten Stellen des Stromkreises auftreten lassen. Die Aureole ist eine mehr langsam kontinuierliche, aber reichliche Entladungsform, die um so grösser wird, je besser der Raum zwischen den Elektroden leitet; in ihr fangen brennbare Stoffe leicht Feuer, während die von der Aureole getrennte disruptive Funkenentladung nicht zündet. Die Aureole hört auf, wenn man an die Sekundärspirale im Nebenschluss eine Batterie Leydener Flaschen anfügt; zugleich werden dann die Funkenentladungen kürzer, aber viel brillanter und knatternder.

Sehr schön und merkwürdig sind diese Entladungserscheinungen, wenn man diese in einer luftdicht abgeschlossenen, etwa cylinder- oder eiförmigen Glasröhre vor sich gehen lässt, in welche die Elektroden eingeschmolzen sind, und zeigen hier eine grosse Mannigfaltigkeit je nach dem Material der Elektroden, der Natur des eingeschlossenen Gases, dem Verdünnungsgrade desselben (Gasdruck), der Form der Röhre und der Stromstärke.

Verbindet man die Röhre mit der Luftpumpe, so wird mit abnehmendem Drucke (zunehmender Luftverdünnung) die Aureole grösser, während der Funke geringer wird und schliesslich aufhört, so dass bei 6 bis 8 mm Quecksilberdruck die Aureole als zartes violettes Lichtband übrig bleibt. Bei 1 bis 2 mm Druck (1 mm Quecksilberdruck bedeutet $\frac{1}{760}$ des ursprünglichen Luftgehaltes) wird das Lichtband breiter und durch Einlagerung dunkler Partien quer geschichtet. Die Kathode erscheint dabei in ein kornblumenblaues Licht gehüllt, von der Anode geht ein geschichteter rotvioletter Lichtstrom aus, der aber nicht bis an das blaue Kathodenlicht heranreicht, sondern von diesem

durch einen dunkeln Raum, den „dunkeln Kathodenraum“, getrennt ist (Geissler'sche Röhren).

Goldstein beschrieb neuerdings in dem blauen Kathodenlichte 3 Schichten, von denen die der Kathode anliegende chamoisgelb, die zweite blau und lichtschwach, die dritte violettblau und helleuchtend ist. Hat die Kathode die Form einer siebartig durchlöcherten Platte, so tritt die gelbe Schicht in Form von Feuersäulen aus der Rückseite der Platte aus ohne Beimischung blauer Kathodenstrahlen. Letztere sind nach vorn (der Anode zu) in demselben Sinne gegen die Axe der Kathode divergent, wie die ersteren gelben nach rückwärts konvergent; Goldstein nannte die gelben nach rückwärts austretenden Strahlen „Kanalstrahlen“.

Bei zunehmender Verdünnung bis auf $\frac{1}{1000}$ mm Druck vergrößert sich entsprechend der dunkle Raum, bis er schliesslich die Röhre fast ganz einnimmt, das Kathodenlicht verschwindet, und das Anodenlicht wird auf einen bei nicht ganz grosser Stromstärke kaum wahrnehmbaren kleinen Rest reduziert.

Unter diesen Verhältnissen, in geringem Grade schon in Geissler'schen Röhren bei 1 bis 2 mm Druck, tritt eine andere Erscheinung auf, nämlich die von Hittorf 1869 entdeckten und von Crookes 1879 behandelten dunklen Kathodenstrahlen. Diese sind unsichtbare, nur im luftverdünnten Raume unter Einwirkung der hochgespannten elektrischen Entladung an der Kathode entstehende Strahlen, welche senkrecht zur Kathodenoberfläche von dieser ausgehen, sich ohne Rücksicht auf die Stellung der Anode und ohne etwaigen Krümmungen der Röhre zu folgen (wie doch z. B. die Aureole) geradlinig unter gegenseitiger Abstossung, wie Crookes meint, durch den Raum fortpflanzen und sich zu-

nächst dadurch zu erkennen geben, dass sie jeden von ihnen getroffenen festen Körper mehr oder minder zur Phosphorescenz¹⁾ oder Fluorescenz erregen.

Die Glaswand der Hittorf'schen Röhren phosphorescirt also da, wo sie von Kathodenstrahlen getroffen wird, und zwar hellgrünlich bei Thüringer Glas, dunkelgrün bei Uranglas, bläulich bei englischem Glas. Im Innern der Röhre befindliche, von den Kathodenstrahlen getroffene Stoffe wie Marmor, Muscheln, Blumen aus verschiedenen Glassorten, Edelsteine und dergl. erstrahlen in einer von der Natur dieser Körper abhängigen Phosphorescenzfarbe und geben prachtvolle Lichteffekte.

Giebt man der Kathode in der Röhre die Form einer Scheibe, so entspricht dem senkrecht zur Fläche von derselben ausgehenden Strahlenbündel ein runder Phosphorescenzfleck an der gegenüberliegenden Glaswand. Die geradlinige Ausbreitung wird durch den Schatten eines zwischen Kathode und Glaswand angebrachten Metallgegenstandes, welcher im Phos-

¹⁾ Phosphorescenz und Fluorescenz, bis jetzt, wie es scheint, in Bezug auf die Vorgänge in der Hittorf'schen (Röntgen'schen) Röhre oft konfundiert, sind Formen der Photoluminescenz, worunter man die Erscheinung versteht, dass ein belichteter Körper infolge der Belichtung ein von dem absorbierten Lichte verschiedenes Eigenlicht aussendet. Die Phosphorescenz wird erst allmählich durch die Strahlenabsorption geweckt und überdauert dieselbe; dies ist bei dem flimmernden Aufleuchten der Hittorf'schen Röhre der Fall. Metalle phosphorescieren nichtleuchtend.

Bei der Fluorescenz handelt es sich um ein für die Dauer der Bestrahlung bestehendes Selbstleuchten, und zwar unter Ausstrahlung eines in Wellenlänge und Brechbarkeit von den absorbierten Strahlen verschiedenen Lichtes. Meist wird die Schwingungszahl vermindert, also die Wellenlänge vergrößert, so dass man durch fluorescierende Substanzen den unsichtbaren ultravioletten Teil des Spektrums sichtbar machen kann.

phorescenzgebiete projiziert erscheint, genügend dargestellt.

Hat die Kathode die Form eines Hohlspiegels, so konvergieren die Kathodenstrahlen nach dem Krümmungscentrum desselben und konzentrieren in demselben ihre Wirkungen, z. B. neben ihrer Phosphorescenzwirkung ihre Wärmewirkung. Befindet sich ein Metallkörper im Fokus der Kathodenstrahlen, so wird er heiss bis zur Weissglut und Schmelzung. Trifft der Fokus gerade die Glaswand, so wird dieselbe weich und vom Druck der Aussenluft leicht durchbrochen. Chemische Wirkung zeigt der Strahlenkegel an einer photographischen Platte, die im Innern der Röhre geschwärzt wird, und an Salzen, welche durch die Kathodenstrahlen braun oder dunkel gefärbt, aber durch Erhitzen wieder entfärbt werden, mechanische an einem darin angebrachten Flügelrädchen; dieses dreht sich unter dem Einfluss der Kathodenstrahlen in dem Sinne eines „Bombardements“ mit kleinsten materiellen Teilchen; Crookes glaubte deshalb in der That, dass in den Strahlen kleinste Teilchen von der Kathode fortgeschleudert würden — eine Ansicht, die neuerdings wieder zu Ehren gekommen ist. Ein von Kathodenstrahlen bestrahlter Körper verhält sich, wie wenn ihm negative Elektrizität zugeführt würde; war derselbe positiv geladen, so wird er entladen. Durch einen Magneten, der ausserhalb der Röhre zur Einwirkung kommt, wird das Bündel der Kathodenstrahlen abgelenkt, was sich z. B. an dem Wandern der Phosphorescenzstelle erkennen lässt.

Dies Verhalten gegen den Magneten gilt als ein charakteristisches Merkmal der Kathodenstrahlen, sowie auch das, dass sie durch die Glaswand nicht hindurchtreten können. Jedoch zeigten Hertz und

Lenard, dass sie durch ein in die Glaswand eingesetztes Fenster aus Aluminiumfolie austreten, ohne in der dichteren Luft ihre Fähigkeit, Phosphoreszenz zu erregen, geradlinig sich fortzupflanzen, durch den Magneten abgelenkt zu werden, einzubüssen. Dabei ergab sich, dass verschiedene Arten Kathodenstrahlen von verschiedener Phosphoreszenzerzeugung, Absorbierbarkeit und magnetischer Ablenkbarkeit in dem Strahlenbündel vorhanden sind. Sie sind keiner regelmässigen Brechung fähig, werden aber von jedem Körper, auf welchen sie treffen, nach allen Seiten hin kräftig diffus reflektiert.

Diese Strahlen entsprechen nach Goldstein den Strahlen der zweiten Schicht des Kathodenlichtes der Geissler'schen Röhren, welche nur geradlinig von der Kathode sich ausbreiten und die dritte Schicht durchdringen. Das Licht der dritten Kathodenschicht, welches sich allein in gekrümmten Röhren um die Ecke fortpflanzt, soll aus den an Gasteilchen diffus reflektierten Strahlen der zweiten Schicht bestehen und also von allen Punkten der Strahlen der zweiten Schicht ausgehen; daraus erklärt sich, dass es nicht beliebig vielen starken Biegungen der Röhre folgt. Diese diffusen (K_3) Strahlen haben in vielen Fällen eine von den erzeugenden (K_2) Strahlen ganz verschiedene Farbe; in Sauerstoff sind die K_2 -Strahlen violett, die K_3 -Strahlen je nach der Gasdichte gelb, grünlich gelb oder grau gefärbt, in Wasserstoff ist K_2 bläulich, K_3 weisslich. Trifft ein K_2 -Bündel auf eine sehr dünne Wand, so verbreitet sich auch von der Rückseite derselben ein diffuses Strahlensystem (Lenard'sche Strahlen).

Die letzte und wichtigste Eigenschaft der Kathodenstrahlen ist die, welche Professor W. K. Röntgen im Dezember 1895 publizierte, dass sie nämlich an der

Stelle, wo sie auf einen anderen Körper auftreffen, und welche nach Thompson die Antikathode genannt wird, sei es die Glaswand oder ein Körper im Innern der Röhre, die Entstehung der neuen Art von unsichtbaren Strahlen bewirken, welche vom Entdecker wegen ihrer rätselhaften Natur vorläufig X-Strahlen, von der erstaunten Mitwelt Röntgen'sche Strahlen genannt wurden.

Die Eigenschaften dieser Strahlen sind zum Teil dieselben oder ähnliche, wie die der Kathodenstrahlen, zum Teil andere. So bewirken sie, wie jene, Aufleuchten fluorescenzfähiger Körper, entfalten chemische Wirkung auf die photographische Platte und breiten sich geradlinig aus, unterscheiden sich aber wesentlich dadurch von den Kathodenstrahlen, dass sie selbst durch den stärksten Magneten nicht abgelenkt werden, dass sie Farbenänderung und Zersetzung von Salzen (wie die Kathodenstrahlen im Entladungsrohr) nicht herbeizuführen vermögen, dass sie auch ohne Aluminiumfenster durch die Glaswand aus der Röhre austreten, und dass für sie die Luft und andere Körper viel durchlässiger sind als für Kathodenstrahlen. Es zeigt sich, dass für sie kein Medium absolut undurchdringlich ist, und dass sie beim Uebergang aus einem in das andere nicht in wahrnehmbarem Grade von ihrer geraden Richtung abgelenkt (gebrochen) werden. Sie zeigen auch keine regelmässige Reflexion, während eine diffuse Reflexion nachgewiesen ist, z. B. durch blanke Platten von Platin, Blei, welches am wenigsten reflektiert, Zinn, schliesslich aber durch alle Körper, auf welche sie treffen, auch durch die Teilchen der Luft, ähnlich wie die Lichtstrahlen vom Rauche reflektiert werden, der in der Luft schwebt. Die Sammlung der Röntgen'schen Strahlen durch Linsen oder Hohl-

spiegel ist infolgedessen unmöglich; doch kann man die geradlinige Verbreitung der Röntgen'schen Strahlen verwerten, um die Teile der Röhre, von welchen sie ausgehen, mittels der Lochkamera (aus Blei mit durch Papier verschlossenem Loch) zu photographieren. Ähnlich wie die Lichtstrahlen (besonders die ultravioletten) vermindern sie die Verzögerung bei der Funkenentladung; doch während die entladungsbefördernde Wirkung des Lichtes auf die Kathode beschränkt ist, beeinflussen die Röntgen'schen Strahlen beide Pole gleichmässig — es müssten denn die auf der Anode durch Reflexion erregten sekundären Röntgen'schen Strahlen auf die Kathode wirken. Indessen hat schon Röntgen gezeigt, dass nicht durch die Strahlen selbst, sondern durch die von ihnen bestrahlte Luft diese elektrostatischen Wirkungen ausgeübt werden, und man glaubt, dass dieselben wie z. B. die elektrische Ladung eines bestrahlten oder durchstrahlten Körpers auf einer Ionisierung der durchstrahlten Luft beruhe, d. h. auf Zerlegung der Luftmoleküle in elektrisch entgegengesetzte, welche dann ihre Ladungen an die nächsten Körper abgeben. Die Röntgen'schen Strahlen wirken ferner kondensierend auf einen Wasserdampfstrahl (Precht) und ändern den Lichtstrahlen ähnlich den elektrischen Leitungswiderstand von Selenzellen um 32%. Wärmewirkung der Strahlen nimmt Röntgen an, da durch die Fluorescenzzeugung ihre Verwandlungsfähigkeit nachgewiesen ist, und da ein Teil von ihnen in dem durchstrahlten Medium absorbiert wird.

Die Absorptionserscheinungen der Röntgen'schen Strahlen sind aber gerade das, was ihren Wert für die ärztliche Diagnostik ausmacht und was am meisten bei ihrer Entdeckung die Welt in Staunen versetzte, weil ein Analogon bisher noch nicht vorhanden zu

sein schien; nicht nur, dass überhaupt jeder Körper unabhängig von seiner optischen Durchlässigkeit mehr oder weniger für die neuen Strahlen sich durchlässig zeigte, sondern vor allem, dass der Grad der Durchlässigkeit verschiedener Medien bei gleicher Schichtendicke wesentlich bedingt ist durch ihre Dichte, „wenigstens keine andere Eigenschaft der Körper sich bei der Absorption der Strahlen so bemerkbar macht als diese“ (Röntgen). Allerdings ist zu bemerken, dass ausser der Dichte und Dicke des Körpers auch seine chemische Beschaffenheit, resp. sein Atomgewicht bei der Absorption wie auch Reflexion der Strahlen eine Rolle spielt. Im allgemeinen kann man aber annehmen, dass unter Körpern von gleicher Dicke diejenigen am wenigsten durchlässig sind, welche das höhere spezifische Gewicht haben, während die spezifisch leichtesten sich am besten durchlässig erweisen, und dass bei bestimmten verschiedenen Körpern die Absorption, resp. die Durchlässigkeit für X-Strahlen annähernd gleich ist, wenn das Produkt aus ihrer spezifischen Dichte und ihrer Dicke, oder das Produkt aus Weglänge der Strahlen im Körper in die spezifische Dichte desselben (d. i. die von einem Strahlenbündel durchsetzte Masse) gleich ist. Allerdings hat Röntgen schon angegeben, dass die Durchlässigkeit in stärkerem Masse zunimmt, als jenes Produkt abnimmt.

Die drei Eigenschaften der Röntgen'schen Strahlen, welche in ihrer geradlinigen Ausbreitung, ihrer Fluoreszenzwirkung (resp. chemischen Wirkung auf die Platte) und in ihren Absorptionsgesetzen ausgesprochen sind, geben uns die Möglichkeit an die Hand, die Unterschiede in der Dichtigkeit eines Körpers mittels eines mit fluorescirender Masse bestrichenen Schirmes zur optischen Wahrnehmung, mittels der photographischen Platte zur graphischen Darstellung

zu bringen, da natürlich der Dichtigkeitsdifferenzierung im Innern eines durchstrahlten Körpers eine Differenzierung der Intensität der austretenden Strahlenbündel und dieser eine solche der fluorescierenden und chemischen Wirkung entspricht. Stellen wir den Fluoreszenzschirm senkrecht zur Strahlenrichtung zwischen unser Auge und die Röhre, die bestrichene Seite dem Auge zugewendet, so sehen wir ihn hell aufleuchten. Stellen wir zwischen ihn und die Strahlenquelle einen Körper von ungleichmässiger Dichtigkeit, so geben die dichten, stärker absorbierenden Partien einen dunkleren, die weniger dichten und durchlässigeren einen helleren Schatten auf der fluorescierenden Fläche, wir erhalten mit einem Worte ein pyknoskopisches Projektionsbild oder, wenn wir die durch Einwickeln in schwarzes Papier gegen profanes Licht geschützte Trockenplatte eine Zeit lang an Stelle des Schirmes exponieren und dieselbe nachher entwickeln, ein Pyknogramm des durchstrahlten Körpers, das heisst, ein direktes optisches Projektionsbild der Dichtigkeitsunterschiede in seinem Innern, ein Abbild der Verteilung der Massen im Raume, wir sehen gleichsam die spezifischen Gewichte. Das Bild auf dem Schirme können wir natürlich nur im dunklen Zimmer wahrnehmen. Zur völligen Ausschliessung störenden Nebenlichtes muss auch die phosphorescierende Glasröhre mit schwarzem Papier oder Tuch abgedeckt werden, durch welches die Röntgen'schen Strahlen ungehindert passieren, nicht aber die Strahlen des Phosphoreszenzlichtes.

Was die Natur dieser neuen Strahlen betrifft, so haben unsere Anschauungen darüber in kurzer Zeit verschiedene Wandlungen durchgemacht; im ganzen ist sie noch heute ein Rätsel. Obgleich sie manche Ähnlichkeit mit den Lichtstrahlen zeigen, so trug

doch Röntgen von Anfang an Bedenken, sie mit diesen als verwandt in eine Reihe zu stellen, und war geneigt, sie als die längst gesuchten longitudinalen Ätherschwingungen aufzufassen. Andererseits lag es nahe, sie auf Grund der vielfach ähnlichen Wirkungen zu den Lichtstrahlen in nahe Beziehung zu stellen, um an der Einheit der strahlenden Kräfte als transversaler, durch ihre Länge in der Wirkung differenzierter Ätherwellen festhalten zu können. Vergewärtigen wir uns die bisher bekannten verschieden wirkenden Wellenlängen des Äthers (Fig. 22), so stehen in der Mitte die von $0,75$ bis $0,4 \mu$ (ein Mikron = 1 Milliontel Meter = $0,001$ Millimeter), deren Ein-

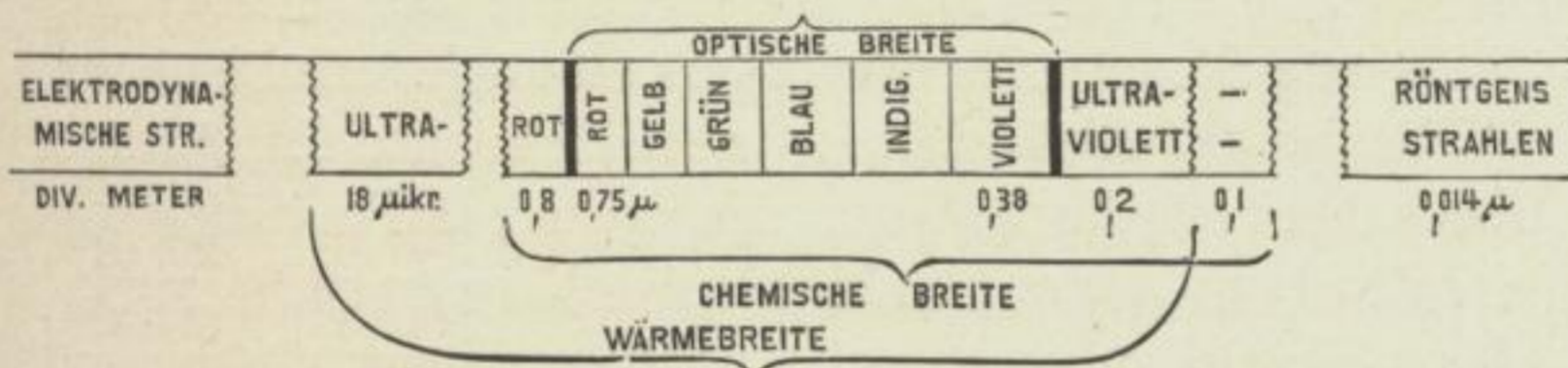


Fig. 22.

wirkung auf unser Auge wir als Licht und Farbe empfinden, nämlich als Rot bei der grösseren, als Violett bei der kleineren Länge. Die Schwingungszahlen pro Sekunde sind für Rot 437 Billionen und wachsen bis Violett auf 700 Billionen, da die für alle Ätherschwingungen gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit 300000 km ist. Von grösserer Wellenlänge bis zu 18μ sind die unsichtbaren ultraroten Strahlen, welche mit den sichtbaren Strahlen des Farbenspektrums die Wärmewirkung gemein haben. Noch grössere Wellen, die nach Metern zählen, sind die Hertz'schen elektrodynamischen mit Induktionswirkungen. Kleinere Wellen als die des sichtbaren Spektrums bis $0,1 \mu$ haben die durch ihre chemische und fluorescenz-erregende Wirkung bekannten unsichtbaren ultra-

violetten Strahlen, welche ausser den genannten Wirkungen auch elektrostatische mit den Röntgen'schen Strahlen gemeinsam haben. Diese, schon im Sonnenspektrum am meisten abgelenkt, sind freilich die brechbareren Strahlen, während die Röntgen'schen Strahlen nicht sicher nachweisbar gebrochen und gebeugt werden können. Der Mangel an Brechbarkeit bei den Röntgen'schen Strahlen wurde aber der Wellentheorie zu Liebe darauf bezogen, dass sehr kleine Wellen zwischen den durch Ätheratome getrennten Molekülen der Körper hindurchschlüpfen könnten, während die grösseren anstossen; hieraus gewann man zugleich mit Berücksichtigung der Thatsache, dass Röntgen'sche Strahlen von verschiedenster Absorptions- resp. Penetrationsfähigkeit, als auch verschiedener Wellenlänge existierten, eine mechanische Erklärung ihrer merkwürdigen Absorptionsgesetze. Polarisierung der Röntgen'schen Strahlen wurde bis jetzt nicht erzielt. Aber die Bedenken, welche noch vorlagen, die neuen Strahlen am ultravioletten Ende des Spektrums einzuordnen, schienen wesentlich verringert, als von verschiedenen Forschern erfolgreiche Interferenzversuche und Bestimmung der Wellenlängen gemeldet wurden.

Indessen wichen die Resultate von Fomm ($0,014 \mu$), Walter ($< 0,001 \mu$), Sagnac ($0,04 \mu$), Voller, Precht ($0,2—0,83 \mu$) und Kümmel (3μ) in so weiten, zum Teil bis über die optische Breite zurückgreifenden Grenzen von einander ab, dass die Methoden wie die Resultate, ja die ganze Wellentheorie wieder unhaltbar erschienen. Das Problem der Entladungsstrahlen im Vakuum wurde weiter (von J. J. Thomson, Des Coudres, Wiechert, W. Wien, Perrin, Lenard, Kaufmann) eifrig bearbeitet und erfuhr vor kurzem eine überraschende Form der Lösung, welche auf die alte Crookes'sche Theorie vom „molekulären Bombarde-

ment“ zurückgreift. Danach soll als erwiesen betrachtet werden, dass die Kathodenstrahlen nichts anderes seien, als eine von der Kathode ausgehende Emission von mit negativer Elektrizität geladenen kleinsten Massenteilchen. Hierzu fügte Goldstein den Nachweis, dass seine übrigens magnetisch auch ablenkbaren Kanalstrahlen entsprechend positiv geladene Teilchen seien, die wie die Kathodenstrahlen sowohl im Kathodenlicht wie im Anodenlicht des Vakuums vorkommen, und B. Walter zog den Schluss, dass die Röntgen'schen Strahlen die von ihrer negativen Ladung befreiten Kathodenstrahlen sein müssten. Über die Natur dieser Teilchen sagt die Theorie nichts aus, doch müssen sie wohl als ponderabel angenommen werden im Gegensatz zum Äther, den wir bisher als imponderable Materie bezeichneten. Die Teilchen müssten trotz ihrer mechanischen Wirkung so klein sein, dass sie ohne Ladung verhältnismässig leicht durch alle Körper zwischen den Atomen desselben hindurchbombardiert würden, während sie im geladenen Zustande als Kathodenstrahlen leicht infolge elektrischer Anziehung von andern Körpern festgehalten, absorbiert oder reflektiert (wie ist das zu erklären?) werden, denen sie dann dabei ihre Ladung abgeben.

Das Kriterium ihrer Ladung ist ihre magnetische resp. elektrostatische Ablenkbarkeit. Danach gelangen sie noch durch das wenig dichte Lenard'sche Aluminium-Fenster mit ihrer Ladung aus dem Vakuum heraus, durch das dichtere Glas der Röhre aber nur als neutrale X-Strahlen, die daher nicht mehr magnetisch ablenkbar sind. Bei der diffusen Reflexion auf der Antikathode könnten dann nicht alle Teilchen entladen gedacht werden, da sonst von derselben nur X-Strahlen ausgehen könnten und keine Kathoden-

strahlen, deren endgültige Entladung an der positiven Elektrizität der Glaswand über dem Horizonte der Antikathode stattfindet und wofür die Phosphoreszenz der Wand ein Kriterium geben soll. Freilich überdauert die Phosphoreszenz die Entladung. Der Umstand, dass sie negative Elektrizität mit sich führen, und zwar selbst durch einen Raum, der vollkommen nichtleitend ist, macht ihre chemischen und ladenresp. entladenden Wirkungen verständlich, während wir für die chemische, ionisierende, fluoreszierende Wirkung der unelektrischen X-Strahlen allein durch ihren Anprall kein Analogon haben. Die übrigen Eigenschaften erklären sich aus der Bewegung, deren Geschwindigkeit von dem Potentialgefälle vor der Kathode abhängig (proportional der Quadratwurzel aus der Potentialdifferenz zwischen Anode und Kathode) ist und aus der Ablenkung durch den Magneten berechnet werden kann. Dieselbe beträgt nach Kaufmann und Walter bei 27000 Volt 23000 km, bei 250000 Volt, der etwa bei der Pyknoskopie gebräuchlichen Spannung, gerade soviel wie die Geschwindigkeit des Lichtes, nämlich 300000 km, und bei höchstem Vakuum das Vierfache.

Da bei jedem noch so kurz dauernden Funken das Entladungspotential kein konstantes ist, so entstehen fast nebeneinander Strahlen von verschiedener Geschwindigkeit, Ablenkbarkeit und Durchdringungskraft. Durch Reflexion (an Metallen) wird die Geschwindigkeit der Strahlen vermindert, weshalb die Strahlen des Fokus weniger Durchdringungskraft haben als wenn sie direkt von der Kathode kommen; im höheren Vakuum wird sie beschleunigt.

Mit dem letzten Punkte steht die neue Korpusculartheorie im Gegensatz zu der Emissionstheorie des Lichtes von Newton, zu der sie im übrigen Be-

ziehung hat; denn nach der Emissionstheorie müsste die Geschwindigkeit im dichteren Medium die grössere sein, während die Beschleunigung im weniger dichten der Undulationstheorie entspräche. Ob die neue Theorie Bestand haben oder gar eine Rückwirkung auf die Theorie des Lichtes haben wird, bleibt zu erwarten; vorläufig wird es uns schwer, sie zu assimilieren. Nach Geitler (Wied. Ann. 98. 9) lässt die Korpusculartheorie den Schluss nicht zu, dass Kathoden- und Röntgenstrahlen identisch seien; nach Precht besteht ein Teil der vom Entladungsapparat ausgehenden Strahlen aus Wellenbewegungen, wahrscheinlich longitudinalen, wie es ausser von Röntgen auch von Zehnder (Mechanik des Weltalls) festgehalten wird.

Hier soll noch die von H. Becquerel gefundene Eigenschaft des Urans und seiner Verbindungen (Uranpecherz von Joachimsthal) erwähnt werden, andauernd Strahlen auszusenden, die ähnlich wie die Röntgen'schen Strahlen photographisch wirksam sind und wie diese der Luft und andern Gasen ein elektrisches Leitungsvermögen erteilen (Becquerel-Strahlen, Uranstrahlen). Ähnlich verhält sich nach W. Arnold das Reten, ein Kohlenwasserstoff, und das Thorium (Thorstrahlen, G. C. Schmidt), während die beschriebenen ähnlichen Wirkungen von Johanniskäferlicht wie die der Dämpfe von allerhand festen oder flüssigen Körpern dadurch vorgetäuscht wurden, dass die Platten unter Vermittlung von Feuchtigkeit durch die Chemikalien des sie einhüllenden Papiers oder anderer Stoffe angeregt wurden (Muraoka u. Kasuya).



5. Kapitel.

Die Vakuumröhren für Erzeugung der Röntgen'schen Strahlen.

Da von der zweckmässigen Anordnung der Teile des pyknoskopischen Instrumentariums und dem Bau der Hittorf'schen Entladungsröhre, von uns kurz Birne genannt, die Deutlichkeit des pyknoskopischen Fluoreszenzbildes, sowie die Expositionszeit für die Erzielung eines detailreichen Pyknogramms auf der photographischen Platte abhängt, so müssen bei Anfertigung und Gebrauch leistungsfähiger Röhren die massgebenden Faktoren möglichst klar sein. In dieser Beziehung sind noch jetzt Röntgens Angaben fast allein massgebend und nicht übertroffen. Im allgemeinen hängt die Intensität der Strahlen ab von dem Verhältnis der benutzten Stromspannung zum Widerstande, den die Röhre bietet, d. h. ihrem Evakuationsgrade. Beide Grössen dürfen ein gewisses Minimum nicht unterschreiten und müssen miteinander wachsen. Die Intensität der Strahlen wächst mit den verbrauchten Energiemengen, soweit die Röhren dieselben vertragen. Der zur Erzeugung von Kathodenstrahlen und Phosphoreszenz der Antikathode eben nötige Grad von Luftverdünnung bedingt noch keineswegs die Erzeugung von Röntgen'schen Strahlen. Diese entstehen erst bei einem unmessbar geringen Drucke, der einen sehr viel höheren Widerstand bedeutet und eine Funkenspannung von mindestens einigen Centimetern erfordert, während die Geissler'schen und Crookes'schen Röhren schon funktionieren und selbst Kathodenstrahlen liefern bei einem Verdünnungsgrade, der eine Schlagweite von nur einigen Millimetern verlangt. Die kleinste den Widerstand der

Röhre überwindende Schlagweite dient überhaupt als Mass des Widerstandes und der Vakuumhöhe der Röhre und lässt sich dadurch finden, dass man ein Funkenmikrometer oder eine andere regulierbare Funkenstrecke (die Metallelektroden des Induktors (Fig. 21) parallel mit der Röhre in den sekundären Stromkreis einschaltet und nun feststellt, bei welcher Maximaldistanz die Funken den Weg durch die Luftstrecke dem durch die Röhre vorziehen.¹⁾ Obgleich man mit einer Röhre von 2 cm Nebenschlussfunkenlänge schon photographieren kann bei Anwendung eines Induktionsstromes von 18 bis 20 cm Schlagweite, so sind doch solche Röhren von 5 bis 6 cm und mehr Nebenschlussfunkenlänge vorzuziehen.

Das hohe Vakuum wird durch die Quecksilberluftpumpe unter Erhitzung der Röhre in siedendem Öl hergestellt. Merkwürdigerweise wird das hierdurch erzielte Vakuum und damit der Widerstand der Röhre durch längeren Gebrauch derselben allmählich höher, zuletzt so hoch, dass die Röhre unbrauchbar wird, da die Funkenentladungen den Weg um die Röhre herum dem durch dieselbe vorziehen. Diese Druckverminderung hat man auf verschiedene Weise zu erklären versucht. Vielleicht ist der Grund der, dass die an der inneren Glaswand haftenden Luftreste, welche durch die Erwärmung beim Gebrauch mobil werden, von den losgerissenen glühenden Metallpartikelchen gebunden und allmählich dem Vakuum entzogen werden. Infolgedessen wirkt auch eine neue Röhre wesentlich anders als eine gebrauchte. Sie verträgt im Anfang der Benutzung nur eine geringere Strom-

¹⁾ Eine regulierbare Funkenstrecke im Nebenschluss, wie sie Fig. 21 zeigt, sollte stets zur Sicherung sowohl des Induktors gegen Durchschlagenwerden, als auch der Röhre gegen Ueberanstrengung bei versehentlich zu starken Strömen vorgesehen sein.

stärke — die Elektroden (Antikathode) glühen leichter, die Intensität der erzeugten Strahlen ist dementsprechend nicht sehr hoch zu steigern. Das Bild einer Hand auf dem Fluoreszenzschirme zeigt z. B. einen guten Kontrast der ziemlich dunkeln Weichteile gegen die tiefdunkeln Knochen und den hellen Schirmhintergrund mit scharfen Konturen, aber wenig Detail innerhalb derselben. Diese Röhren und Bilder sind mit dem nicht ganz passenden Namen „weich“ belegt worden. Sie liefern im photographisch-technischen Sinne auf dem Fluoreszenzschirme ein „hartes“ Bild, auf der Platte, je nach der Zeit der Exposition, ein hartes, kräftiges oder flaves. Der Ausdruck darf sich daher nur auf die Röhre und ihren Widerstand beziehen, nicht auf das Bild.

Ist eine solche Röhre durch längeren Gebrauch luftleerer geworden bis auf eine Nebenschlussfunkenlänge von 8 bis 15 cm, so erfordert und verträgt sie einen stärkeren Strom, ihre intensiveren (dichteren) Strahlen dringen zu einem grösseren Teile durch die Knochen, so dass auch diese „durchleuchtet“ werden und bis zu einem hohen Grade Details erkennen lassen, während die Weichteile im Bilde fast hinweggeleuchtet erscheinen. Die Birne ist „härter“ geworden und erzeugt bei weiterem Gebrauche bald so intensive Strahlen, dass die Unterschiede ihrer Absorption in dichteren und weniger dichten Geweben nicht sehr dicker Körperteile, wie der Hand, gegen die Intensität der nicht absorbierten Strahlen nicht genügend ins Gewicht fallen, um auf dem Schirme sehr kontrastreiche optische Wirkungen hervorzubringen. Das gelieferte Bild ist gleichsam überlichtet und flau. Doch kann man in diesem Anfangsstadium des wachsenden Widerstandes oder des Härterwerdens meist durch Vergrößerung der Distanz der Strahlenquelle von

Objekt und Schirm, oder durch Verminderung der Stromstärke das frühere kontrastreiche Bild der Hand an Stelle des jetzigen flauen wieder erzielen, ein Beweis, dass bis jetzt nur die Quantität der Strahlen die Ursache der Ueberlichtung ist und nicht ihre Qualität.

Dies ist das Stadium der Reife und grössten Leistungsfähigkeit im Lebensalter der Röhren, in welchem sie besonders für die Durchstrahlung von dicken Körperteilen, Brust, Becken und Kopf, am brauchbarsten sind und auch bei kürzester Expositionszeit gute Pyknogramme liefern.

Ist durch häufigen Gebrauch dieses Stadium überschritten, d. h. der Widerstand etwa auf 15 bis 20 cm Nebenschlussfunkenlänge gewachsen, so wird das pyknoskopische Bild flauer, kontrastlos hell und verwaschen und bleibt so auch bei veränderter Röhren-distanz. Es hat also den Anschein, als ob die in dem höheren Vakuum der harten Röhren erzeugten Röntgen'schen Strahlen thatsächlich ein grösseres Penetrationsvermögen haben als die der weicheren Röhren, so dass für die Absorption der Strahlen aus härteren Röhren die Dichtigkeit der durchstrahlten Medien in dem Grade weniger in Betracht kommt, als das Vakuum zunimmt, sie also durch dichtere Medien ebenso unbehindert hindurchtreten als durch weniger dichte. Natürlich sind solche Strahlen für feinere pyknoskopische Untersuchungen am menschlichen Körper unbrauchbar, würden sich aber zur Demonstration grober Massen- und Dichtigkeitsunterschiede, besonders anorganischer Körper noch gut eignen. So erhielt Röntgen mit einer sehr harten Röhre nach verhältnismässig langer Exposition wegen der wenig aktinischen (photographischen) Wirkung der wenig absorbierbaren Strahlen ein vorzügliches Bild eines

Jagdgewehrdoppellaufs mit eingesteckten Patronen, in welchem alle Details, auch die innern Fehler der Damastläufe, scharf erkennbar waren. Bei ganz harten Röhren wird das „Licht“ unregelmässig, unzuverlässig und schwach selbst bei Anwendung stärkster Ströme, die schliesslich ihren Weg lieber um die Röhre herum oder durch die Sicherheitsfunkenstrecke, als durch die Röhre nehmen.

Eine Zeit lang kann man in diesem Altersstadium durch künstliche Reizmittel das Vakuum vorübergehend vermindern. Durch Erwärmen mit einer Spiritus- oder Gasflamme werden noch Luftteilchen aus der Glaswand in die Röhre getrieben und diese dadurch excitiert. Die Erwärmung wirkt viel auffallender, wenn sie am Ansatzrohre der Kathode geschieht als anderswo. Andere (Porter, Berliner) suchen den Grund der Erhöhung des Vakuums in statischer Ladung der Röhre und empfehlen dagegen mit Vorteil, ein innen mit Glycerin befeuchtetes Holzrohr über das Ansatzrohr der Röhre zu schieben, welches die Kathode enthält. Umwicklung desselben mit Wachsleinwand, deren glatte Seite aussen liegt und mit der Kathode leitend verbunden ist, thut ähnliche Dienste. Schliesslich hilft auch das nichts mehr, sondern nur Eröffnung und frische Zufuhr von Luft. Diese Verjüngung ist nur bei solchen alten Röhren lohnend, die nicht an den innern Wänden eine blauschwarze Färbung bekommen haben, und wird in der Fabrik vorgenommen. Zweckmässig wird man sich zur Pyknoskopie junge und reifere Birnen gleichzeitig in Vorrat zu halten suchen. Gerade die jungen Birnen eignen sich für kontrast- und detailreiche Pyknographie am allerbesten, da man für das Bild auf der Platte durch etwas längere Exposition den Mangel an Intensität der Strahlen ersetzen kann, der sich

für das Schirmbild geltend macht. Thöricht wäre es natürlich, bei dem Fabrikanten gleich Birnen mit dem höheren Evakuationsgrade zu verlangen, da man auf diesen leider beim Gebrauch nicht sehr lange zu warten braucht.

Von der Konstruktion der Röhre hängt wesentlich die Bildschärfe ab. Diese leidet bei den älteren Crookes'schen Röhren dadurch, dass die Röntgen'schen Strahlen von jedem Punkte der durch die Kathodenstrahlen phosphoreszierenden Glaswand als Antikathode nach allen Richtungen ausgehen und so wegen der zu grossen strahlenden Fläche das Bild durch Halbschatten unscharf wird. Das veranlasste Röntgen zu der Konstruktion der sogenannten Fokusröhren (Fig. 23). Dieselben sind von cylindrischer oder birnförmiger Gestalt und tragen im Innern die beiden Elektroden aus Aluminium, nämlich die hohlspiegelförmige Kathode bei a und ihr gegenüberstehend die meist tellerförmige Anode bei b , während zwischen beiden im Krümmungsmittelpunkte der Kathode eine plattenförmige Antikathode bei c aus Platin, welches sich nach Röntgen dazu am besten eignet, so angebracht ist, dass sie von dem Kathodenstrahlenkegel mit der Spitze im Winkel von 45 Grad getroffen wird. Dieser linsengrosse nicht-leuchtend phosphoreszierende, nur bei grosser Stromstärke rot- bis weissglühend kaloreszierende „Brennpunkt“ der Kathodenstrahlen auf dem Platinblech sendet nach allen Richtungen gleichmässig Röntgen'sche Strahlen aus, am intensivsten allerdings in die der Kathode zugewandte Hälfte des Raumes, weil die Strahlen, um auf die Anodenseite des Platinbleches zu gelangen, erst dieses durchdringen müssen und dabei geschwächt werden. Die X-Strahlung S ist also in der Figur falsch und unvollständig gezeichnet.

Eine Hinterlegung des Platinspiegels könnte nur den Zweck haben, die Wärmeentwicklung zu verteilen und das erhitzte Platinblech vor Verkrümmung zu schützen, nicht aber den, das Durchtreten der Strahlen abzuschwächen, da ja die hindurchtretenden Strahlen dem Bilde nicht schaden können.

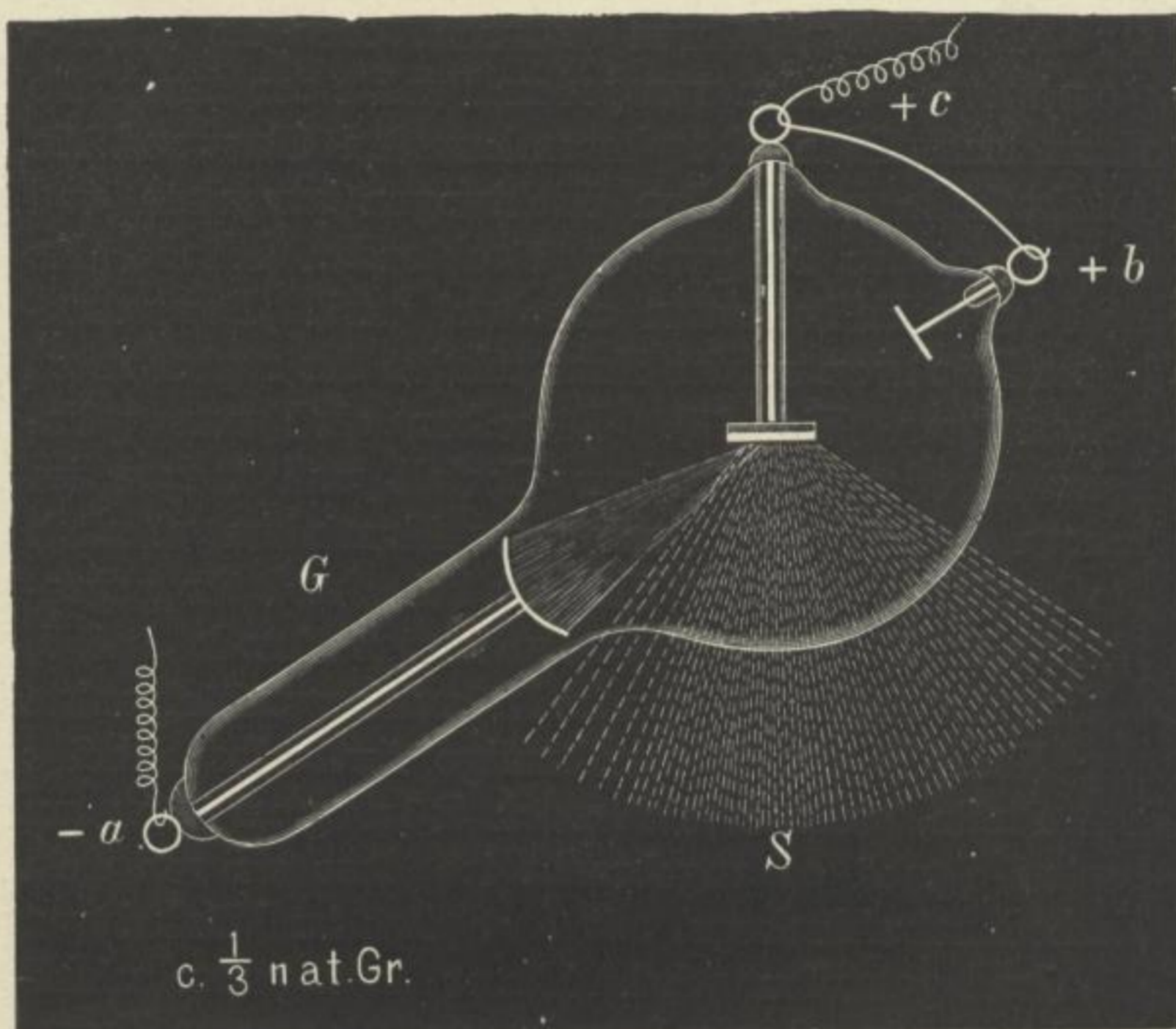


Fig. 23.

Röntgen'sche Fokusröhre von Gündelach.

Die Antikathode ist bei diesen Röhren, wenn sie nicht überhaupt als einzige Anode dient, meist so eingerichtet, dass man sie durch eine leitende Verbindung mit der Anode zur Hilfsanode machen kann. Nach der Korpusculartheorie ist es begreiflich, dass, wenn die Antikathode das positive Potential hat, die negativen Kathodenstrahlen besser auf ihr entladen

werden und also konzentrierter vom Fokus ausgehen, als wenn eine grössere nicht entladene Menge zurückgeworfen wird, und, wie dies leider bei den besten Röhren immer noch zu viel geschieht, erst an der Glaswand über dem Horizonte der Antikathode sich in Röntgen'sche Strahlen verwandeln. Denn von der Röhrenhälfte, deren Wand nun zur sekundären und viel grösseren Antikathode geworden ist und daher scharf begrenzt gegen die dunklere andere Hälfte im grünen Phosphoreszenzlichte erstrahlt, gehen nun auch Röntgen'sche Strahlen aus und stören durch Halbschatten das durch die Fokusstrahlung angestrebte scharfe Bild. Die halbkugelförmige starke Phosphoreszenz der Röhre wäre danach nur indirekt ein Kriterium für die Güte derselben. Glücklicherweise fällt dieser Übelstand für die Praxis nicht allzuviel ins Gewicht, so dass man der zu seiner Abhilfe empfohlenen, vor die Röhre zu stellenden Diaphragmen aus Bleiplatten, deren Oeffnung nur den Fokusstrahlen den Durchtritt zum Objekt gestattet, entraten kann.

Da vom Fokus aus die Röntgen'schen Strahlen ziemlich gleichmässig nach allen Richtungen des vor der Antikathode gelegenen Raumes austreten, dessen scharfe Abgrenzung von dem hinter ihr gelegenen dunkeln Raume man im ganzen Zimmer mit dem Leuchtschirme leicht konstatieren kann, so wird das zu durchstrahlende Objekt am besten da aufgestellt, wo die Durchleuchtung am wenigsten durch die schattengebenden oder eventuell unliebsam funkenspennenden Ansatzrohre gestört wird, also etwa in der Ausfallsrichtung eines fingierten aus der Kathode auf den Platinspiegel auffallenden Lichtstrahls, in Fig. 23 nicht bei *S*, sondern um 22° mehr anodenwärts.

Von der Fülle versuchter Konstruktionsformen von Röhren mag nachstehende Skizze (Fig. 24) einen

Begriff geben. Sie zeigt zuerst die Crookes'sche, zuletzt die von Röntgen anfangs benutzte Form. Eine V-Röhre von Boas soll hier nur erwähnt werden,

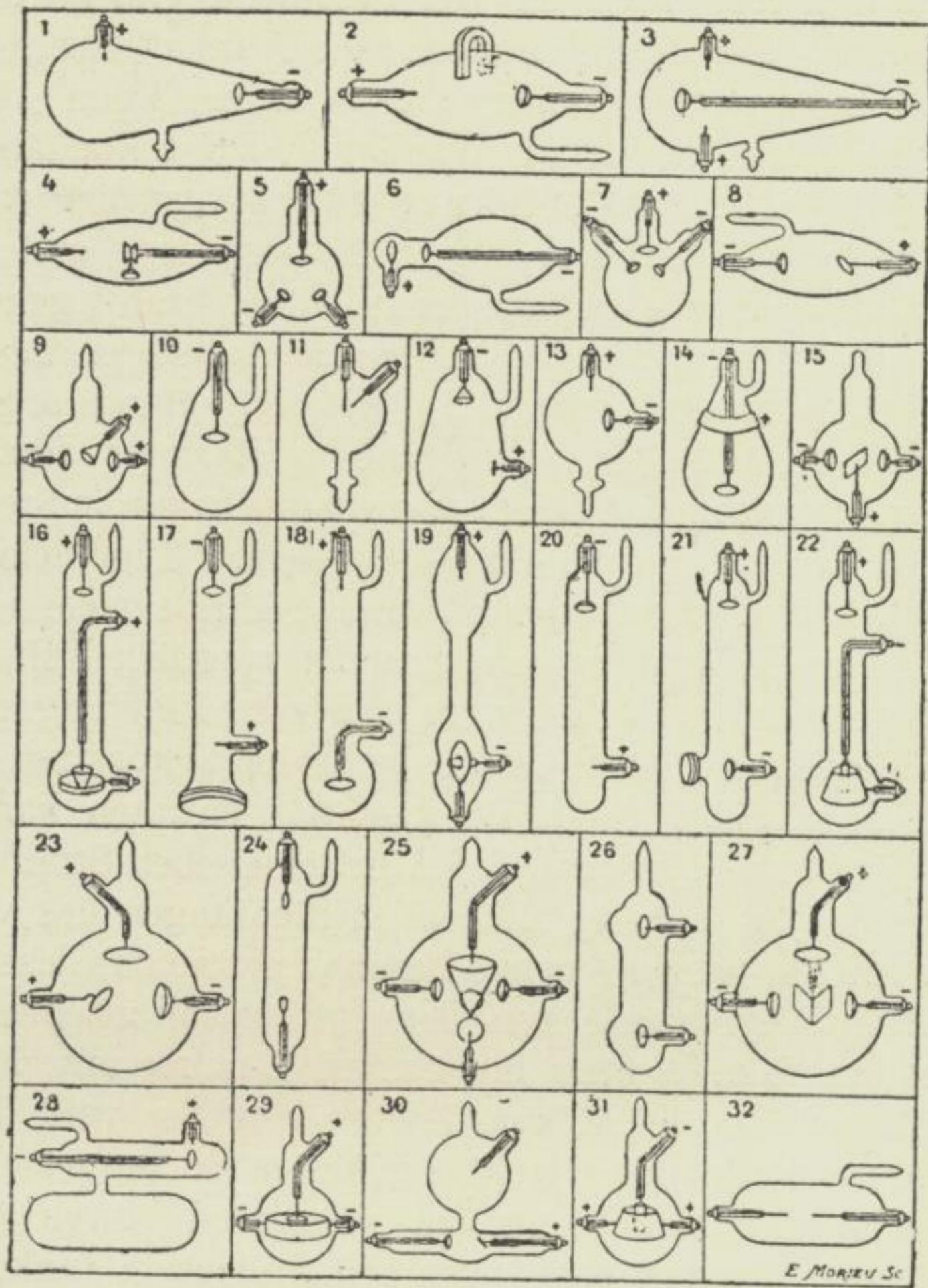


Fig. 24.

Frühere Formen der Entladungsröhren.

weil darin die Konzentrierung der Kathodenstrahlen nicht durch Hohlspiegelform der Kathode, sondern durch Hohlcylinderform erreicht wird, aus welcher die Kathodenstrahlen infolge ihrer gegenseitigen Ab-

stossung in ein dünnes Bündel zusammengedrängt austreten. Antikathode ist hier das Knie der Röhre. Praktische Bedeutung für den Arzt hat diese Form ebenso wenig wie diejenigen anderen Fokusröhren, deren Antikathode die Glaswand ist, da diese zur Vermeidung von Durchschmelzung mit Wasser gekühlt werden müssen. Für Röhren von grossem Widerstande ist eine entsprechend grosse Länge der Ansatzrohre notwendig, damit die Funken den Weg um die Röhre herum nicht zu bequem haben.

Der Widerstand der Röhre hängt natürlich nicht von der Länge oder der Grösse überhaupt ab, sondern ausser ihrer Vakuumhöhe von der Distanz der Anode resp. der positiven Antikathode von der Kathode, also von dem Krümmungsradius des Hohlspiegels der Kathode. Man hat daher versucht, diese Distanz zur Regulierung des Widerstandes veränderlich zu machen; das hätte aber nur Sinn, wenn man auch die Krümmung des Hohlspiegels verändern könnte. Dagegen ist die Einrichtung einer Regulierung des Vakuums nicht unpraktisch und bisher dadurch erzielt, dass in einem kleinen Ansatzrohre eine geeignete Substanz (Phosphor, Lindenkohle, Kaliumpermanganat, Aetzkali) angebracht ist, welche bei Bedarf durch Erhitzung von aussen Gas abgibt oder aufnimmt und damit das Vakuum harter Röhren vorübergehend verringert, resp. das zu weicher Röhren erhöht.

Nach P. Villard lässt sich die Thatsache verwerten, dass reiner Wasserstoff durch erhitztes Platin osmosiert. An die Röntgen'sche Röhre ist ein Platinröhrchen angeschmolzen; durch Erhitzung des Röhrchens mit einer Flamme tritt aus dieser selbst Wasserstoff in die Röhre über. Levi konstruiert eine mechanische Regulierung durch Luftzufuhr mittels eines Hahnes mit kapillarer Oeffnung.

Auch selbstthätig kann diese Regulierung durch eine bei hohem Vakuum durch Funkenübergang sich einschaltende Hilfskathode herbeigeführt werden, deren Strahlen die Erwärmung der Substanz vollziehen. Indessen ist das Problem der Regulierung ohne Luftpumpe bis jetzt noch nicht in einer für die Praxis befriedigenden Weise gelöst; eine zuverlässige Konstanz besitzen diese Röhren nach den ersten Regenerationen meist nicht mehr. Wir benutzen jetzt nur noch die einfachen Röhren von Gundelach in Gehlberg (Thüringen), welche sich in jeder Beziehung gut bewährt und mit denen wir jederzeit unsere besten Resultate erzielt haben. (Fig. 23.) Dieselben sind durch F. Ernecke-Berlin zu beziehen.



6. Kapitel.

Photometrie der Röntgen'schen Strahlen.

An dieser Stelle wollen wir noch unsere Anschauungen wiedergeben über photometrische Bestrebungen, deren Wert etwa darin bestehen könnte, die Leistungen verschiedener Röhren oder verschiedener Stadien ihrer Veränderung nach einem einheitlichen Masse vergleichen oder womöglich die beste Expositionszeit für die Pyknographie eines bestimmten Gegenstandes mit einer bestimmten Röhre festsetzen zu können. Diese Frage ist bisher von den Praktikern recht einseitig und kritiklos behandelt worden, was in Anbetracht der Schwierigkeit derselben auch nicht zu verwundern ist. Wir selbst glauben auch keineswegs, darüber eine einwandfreie Darstellung geben zu können, doch möge das Gegebene einstweilen ge-

nügen, um in den Anschauungskreis einzuführen und zu weiterer Klärung anzuregen.

Wir haben oben die Leistungen der Röhre und ihre Veränderung so dargestellt, wie es sich unmittelbar aus der Beobachtung in der Praxis ergibt. Es ist nun näher auseinanderzusetzen, welche Qualitäten der Bilder zu Form und Wirkungsweise der Röhre, von deren Strahlen sie erzeugt wurden, Beziehung haben.

Unser Bestreben bei graphischer Darstellung, deren Zweck nicht künstlerische Befriedigung und Anregung der Phantasie, sondern nüchterne Aufklärung ist, besteht in Deutlichkeit der Wahrnehmung für das Auge. Die Deutlichkeit eines Bildes wird erzielt einmal durch die Schärfe der Konturen, d. h. die möglichst lineäre Abgrenzung seiner Teile, zweitens durch möglichsten Gegensatz der Farbe, resp. der Helligkeit dieser Teile.

Ein Bild, welches der ersten Anforderung genügt, indem die Grenzen seiner Teile sich auf unmessbarer Linienbreite bestimmen lassen, nennen wir ein scharfes, ein solches, welches hierin nicht genügt, wo die Grenzen in breiterem Raume allmählich (unscharf) in einander übergehen, ein weiches Bild (neuerdings in der Porträtphotographie beliebt), resp. bei höheren Graden ein unscharfes. Die Schärfe des pyknoskopischen Schirmbildes hängt hauptsächlich davon ab, dass die Strahlen möglichst von einem Punkte der Antikathode ausgehen, während die vom Glase ausgehenden abgeblendet werden, ferner von dem „Korn“ der fluoreszierenden Schicht, welches recht fein sein muss, und vom annähernden Parallelismus der Strahlen, den man durch möglichst grosse Entfernung der Strahlenquelle zu erreichen sucht.

Die zweite Anforderung wird dann erfüllt sein, wenn die hellsten Details des Bildes auch wirklich im reinsten Weiss oder seinem Surrogat (gelbgrün

auf dem Schirm), die dunkelsten Teile im tiefsten Schwarz dargestellt sind, damit für die Differenzierung der übrigen Details eine möglichst grosse Auswahl von verschiedenen Mitteltönen zur Verfügung steht. Ein Bild, in welchem diese Kontrastfülle mit möglichstem Detailreichtum erzielt ist, heisst ein kräftiges oder brillantes Bild. Bietet es zwar den äussersten Kontrast vom hellsten Weiss und dem tiefsten Schwarz, aber dazwischen keine oder ungenügende Mitteltöne für die Details, so heisst ein solches Bild „hart“; es entsteht in der Photographie durch Unterexposition. Fehlen trotz reichlicher Details die hellsten und namentlich die dunkelsten Töne, bewegt sich die Zeichnung also gleichsam grau in grau, so nennt man das Bild flau; es entsteht photographisch durch Ueberexposition.

Wir sahen nun, dass die junge Röhre ein hartes, dunkles, detailarmes, die reife ein brillantes, die alte ein flaueres Bild lieferte. Daraus, dass das erste und das letzte Bild durch Veränderung der Distanz den Charakter ihrer mangelhaften Kontraste nicht verlieren, lässt sich schliessen, dass nicht die Intensität der Strahlen (Unterbelichtung, Ueberbelichtung), sondern ihre Qualität, nämlich das Verhältnis ihrer Penetrationsfähigkeit zu der durchschnittlichen Dichtigkeit des Körpers bei beiden Röhren ein verschiedenes ist; in der jungen Röhre werden Strahlen erzeugt, die nur zum geringen Teile und in geringem Grade fähig sind, die Körperschichten zu durchdringen, sie werden fast alle und trotz ungleichmässiger Dichte des Körpers annähernd gleichmässig absorbiert, die Strahlen der harten Röhre dringen fast alle und annähernd gleichmässig durch den Körper, während nur wenige absorbiert werden. Nach der Wellentheorie könnte man sagen, die Wellen der jungen Röhre seien zum grossen Teile zu gross, als dass für ihre Absorption die Dichtig-

keitsunterschiede des Körperteils in Betracht kämen, die der harten seien zu klein, als dass sie von den dichteren Partien beträchtlich stärker absorbiert werden könnten als von den weniger dichten; nach der Emissionstheorie wären die Strahlen der weichen Röhre von zu geringer Geschwindigkeit, die der harten von zu grosser Geschwindigkeit, als dass die gerade in dem Körperteile vorliegenden Dichtigkeitsunterschiede einen entsprechenden Unterschied in ihrer Absorption bedingen könnten. In den Röhren von mittlerem Vakuum, unsern reifen Birnen, wäre dagegen die Wellenlänge resp. die Geschwindigkeit der Strahlen gerade so bemessen, dass der Unterschied der Dichten des Körperteils auch gerade für ihre Absorptionsfähigkeit den grössten Unterschied bedeutet. Wir haben uns gewöhnt, solche Strahlen kurz als kritische Strahlen zu bezeichnen, die der harten Röhre als unkritische. Mit der harten Röhre kann man überhaupt kein kontrastreiches Bild weder auf dem Schirme noch auf der Platte erzielen, die reife Röhre eignet sich für beide Zwecke am besten, die ganz weiche Birne aber giebt zwar auf dem Schirme ein hartes, detailarmes Bild, auf der photographischen Platte aber bei längerer Exposition erfahrungsgemäss auch ein kontrast- und detailreiches, woraus man schliessen muss, dass sie sehr wohl kritische Strahlen aussendet, aber in so geringer Menge, dass dieselben längere Zeit einwirken müssen als in der reifen Birne, um die Platte an den geringer Dichte entsprechenden Stellen anzuregen, während die dichteren Partien überhaupt fast keine dieser Strahlen durchlassen.

Wir wollen mit dieser Auseinandersetzung nur darlegen, dass es verkehrt ist, die Leistung einer Röhre einseitig nach der Intensität ihrer Strahlen zu beurteilen; denn diese kommt zur Bemessung der

Expositionszeit nur da in Betracht, wo es sich um die bildliche Differenzierung nebeneinander liegender verschieden dicker, sonst aber annähernd homogener Körper handelt; für die Fähigkeit, verschieden dichte Körper möglichst kontrastreich bildlich zu differenzieren, kommt eben nur das Vorhandensein entsprechend kritischer Strahlen, für die Photographie allenfalls im Gemisch mit solchen unkritischen Strahlen in Betracht, welche absorptionsfähiger sind als diese — sie erhöhen den Kontrast im Bilde — aber nicht mit solchen, welche penetrationsfähiger sind. Die bei der Absorption für bestimmte Körper kritischen Strahlen sind für die verschiedenen Körper verschieden, insofern nämlich die Unterschiede geringer Dichten durch Strahlen aus niedrigem Vakuum die Unterschiede grösserer Dichten durch Strahlen aus höherem Vakuum am kontrastreichsten dargestellt werden; die Strahlen, welche für Knochendetails kritisch sind, sind für Weichteildetails unkritisch und umgekehrt.

Wir sind jetzt in der Lage zu verstehen, inwiefern die Darstellung der Absorptionserscheinungen der Röntgen'schen Strahlen, welche im 4. Kapitel in grossen Zügen gegeben wurde, eine Einschränkung und Erklärung bedarf. Wir sahen, dass ausser dem spezifischen Gewichte der Körper auch ihr Volumen die Absorption beeinflusst, so dass die Absorption der Strahlen in homogenen Körpern mit der Dicke derselben zunimmt. Wäre dies nicht so, so könnten wir nicht einen Holzstab hinter einem Holzbrett, einen Eisenstab nicht hinter einem Eisenblech im Röntgen'schen Bilde wahrnehmen. Daraus liesse sich schliessen, dass die Strahlen an sich absorbierbar sind auf jeden Fall, und dass sie selbst nach ungehindertem Durchtritt durch eine Molekülgruppe (resp. Atomgruppe nach Walther) von bestimmter Anordnung in

der nächsten ganz gleichen Gruppe angehalten werden können, dass also von der Zahl der passierten Moleküle ihre Absorption abhängt.

Man könnte nun meinen, dass auch die Differenzierung der Dichte der Körper, welche durch die Röntgenschen Strahlen erzielt wird, nichts weiter sei als eine Differenzierung der Massenverteilung im Raume insofern, als ja die dichteren Körper solche von grösserer Masse in gleichem Raume darstellen; dass also nur die Menge der Molekel (oder Atome), welche Gelegenheit zum Anstossen geben, die Absorption bedingt, ganz gleich ob diese Menge auf grösseren oder kleineren Raum verteilt sei, also grössere oder kleinere intermolekuläre Zwischenräume den Strahlen zum Durchgang biete. Dem widerspricht aber die Thatsache, dass sich im Röntgen'schen Bilde auch solche Körper differenzieren, deren Produkt aus Dicke und Dichte gleich sind; dass sie dies umso weniger thun, wenn die Strahlen erst durch einen dichteren Körper, als den zu differenzierenden hindurchgegangen sind, und dass das Produkt aus Dicke und Dichte bei demjenigen von zwei Körpern von gleicher Durchlässigkeit das grössere ist, welcher weniger dicht ist, d. h. ein weniger dichter Körper ist selbst dann noch durchlässiger als ein dichter, wenn bei beiden Körpern das Produkt aus Dicke und Dichte gleich ist. Dem entspricht auch die Thatsache, dass in einem Körper von bestimmter Dichte jede Schicht für eindringende Strahlen durchlässiger ist als die gleich dicke vorhergehende.

Eine Erklärung dafür ist leicht zu finden. Die Absorption hängt eben von 2 Momenten ab: 1. von dem Produkte aus Dicke und Dichte, d. h. der Zahl der hindernden Molekel, 2. von der Dichte allein, d. h. von der Distanz der Molekel.

Das will sagen, dass ein Körper von bestimmter gleichmässiger Dichte, also bestimmter Distanz der Molekel ein absolutes Schwingungshindernis (nur der Anschaulichkeit halber sei die Wellentheorie herangezogen) darstellt für alle diejenigen Wellen, welche grösser sind als der zwischen den Molekülen des Körpers zur Verfügung stehende Raum. Dadurch werden bestimmte Arten von Strahlen, nämlich die mit grösseren Wellen von einer bestimmten Grenze ab, gleich bei ihrem Eintritt in den Körper ein für allemal quasi abfiltriert, in irgend einer Form absorbiert oder reflektiert, während die mit kleineren Wellen in den Körper eintreten und erst hier im Verhältnis der Länge ihrer Wegstrecken nach und nach absorbiert werden.

So erklärt es sich, dass die Strahlen, einmal eingetreten in den Körper, jede folgende Schicht durchlässiger finden, richtiger gesagt, dass, da die absorptionsfähigsten Strahlen zuerst absorbiert werden, für jede folgende Schicht penetrationsfähigerer Strahlen übrig bleiben. Wir kommen also auf diesem Wege zu dem Schlusse, dass in Bezug auf das Differenzierungsvermögen der Strahlen einer Röhre für Dichtigkeitsunterschiede auch der Umstand von Bedeutung ist, dass sie Strahlen von verschiedenster Absorptionsfähigkeit in reicher Mischung enthalte. Die Zusammensetzung dieses Gemisches möchten wir unter Beziehung zu optischen Anschauungen die „Sättigung“ nennen; dieselbe ist (s. o.) wesentlich von dem Schwanken der Entladungsspannung abhängig, aber doch auch von der Konstruktion der Röhre insofern, als die für die Sättigung sehr wichtigen absorptionsfähigeren Strahlen schon in der Glaswand des Entladungsapparates um so mehr absorbiert werden, je dicker und dichter dieselbe ist.

Das Vorwiegen einer bestimmten Qualität von Strahlen, welche gerade für eine gewisse engere Breite von Dichtigkeiten kontrastreiche Absorptionsunterschiede zeigen, in unserm Sinne also in Bezug auf ein bestimmtes Objekt „kritisch“ sind, können wir die „Kritik“ der Strahlen nennen (Beziehung: Farbenart, Tonhöhe). Dieselbe ist von der Vakuums-höhe abhängig und wird nur wenig durch die Veränderung der Stromstärke beeinflusst. Kritische Strahlen für die Details eines Metallkörpers (s. o. Gewehrläufe) erfordern ein höheres Vakuum als die für einen Holzkörper; die Darstellung der Knochenstruktur erfordert andere kritische Strahlen als die der Weichteile, letztere nämlich die Strahlen einer jungen Röhre. Die Strahlen, welche Dichtigkeitsunterschiede innerhalb grösserer Breiten kontrastreich darzustellen vermögen, z. B. Knochendetails neben Weichteilzeichnung, sind solche grosser Sättigung, während die für die Weichteile allein kritischen Strahlen den Knochen hart und detaillos, die für den Knochen allein kritischen die Weichteile flau darstellen.

Die Intensität der Strahlen endlich (Beziehung: Lichtstärke) ist innerhalb gewisser Grenzen der Stärke des Primärstroms proportional, natürlich auch (unter Vernachlässigung der Absorption durch die Luft) umgekehrt proportional dem Quadrate ihrer Weglänge.

Es ist nun klar, dass den Praktiker bei der Auswahl einer Röhre für ein gutes Bild alle andern Eigenschaften mehr interessieren als die Intensität, nämlich zuerst die Fokusschärfe, dann die Qualität (Kritik) und die Sättigung, schliesslich die Intensität. Diese letztere unter verschiedenen Bedingungen zu vergleichen, interessiert vor allem den Physiker. Röntgen benutzte als Intensitätsmesser eine Vorrichtung, welche

dem Bouguerschen Photometer nachgebildet ist. Eine Bleiwand steht längs der Mitte eines langen Tisches. Auf beiden Seiten der Wand stehen verschiebbare Röhren, an der einen Stirnseite des Tisches ein Fluoreszenzschirm so vor der Bleiwand, dass je eine seiner Hälften von einer Röhre senkrecht bestrahlt wird. Bei Messungen wird durch Verschiebung einer der Strahlenquellen auf gleich helle Fluoreszenz beider Hälften eingestellt. Es wurde festgestellt, dass diese Helligkeit abhängt 1. von der Intensität der Strahlung, die von der Antikathode ausgeht; 2. von der Art der den Schirm treffenden Strahlen — denn nicht jede Strahlenart braucht in gleichem Masse fluoreszenzerregend zu wirken; 3. von der Absorption, welche die Strahlen auf ihrem Wege (auch durch die Glaswand der Röhre und durch die Luft) erleiden; 4. von der Frequenz der Entladungen; 5. von der Dauer derselben; 6. von der Dauer und Stärke des Nachleuchtens des Baryumplatincyans; 7. von der Bestrahlung des Schirmes durch die die Röhre umgebenden Körper. Ferner stellte Röntgen fest, dass die Intensität der Strahlung nach allen Richtungen über dem Horizonte der Antikathode gleich ist, nur in dem letzten Horizontwinkel von 10° ist eine geringe Abnahme, eine deutlichere erst in dem letzten Winkel von 1° . Sodann bestimmte Röntgen mit dem Apparate die Durchlässigkeit der Körper, d. h. das Verhältnis der Helligkeit des Schirmes vor und nach der Einschaltung des betreffenden Körpers in den Strahlenweg, und fasste die Durchlässigkeit auf als das Verhältnis der Quadrate der Entfernungen der Antikathode vom Schirme vor und nach der Verschiebung der Röhre.

Er bestimmte damit ferner, dass zwei verschiedene Körper von gleicher Durchlässigkeit nicht gleich

durchlässig bleiben, wenn man ihre Dicke in demselben Verhältnis und sonst nichts ändert. War z. B. eine einfache Platinschicht so durchlässig wie eine gewisse sechsfache Aluminiumschicht, so war eine zweifache Platinschicht nicht so durchlässig wie eine zwölffache, sondern wie eine 16fache Aluminiumschicht. Bei einer andern Röhre war 1 Platin = 8 Aluminium, aber 8 Platin nicht = 64, sondern = 90 Aluminium. Es ist oben erklärt worden, dass die Strahlen, die einen homogenen Körper durchdringen, jede folgende Schicht desselben durchlässiger finden als die vorhergehende. Hier sehen wir die Anwendung auf Körper verschiedener Dichte, aber gleicher Durchlässigkeit, deren Dickenunterschied im Verhältnis um so grösser wird, je dicker die Körper oder je weniger absorbierbar (je penetrationsfähiger, je höher kritisch, aus je höherem Vakuum stammend) die Strahlen sind.

Dieses nun wohl verständliche Verhalten der Durchlässigkeit der Körper veranlasste Röntgen zur Konstruktion eines einfachen Apparates, welcher gerade zur Bestimmung derjenigen Eigenschaft der Strahlen, welche für uns am wichtigsten ist, der Kritik derselben, das vorbildliche Messinstrument ist, sein „Platin-Aluminiumfenster“. Dasselbe besteht aus einem auf einem dünnen Papierschirm aufgeklebten rechteckigen (4 cm \times 6,5 cm) Stück Platinfolie von 0,0026 mm Dicke, das mittels eines Durchschlags mit 15 auf drei Reihen verteilten runden Löchern von 0,7 cm Durchmesser versehen ist. Diese Fensterchen sind verdeckt mit genau passenden und sorgfältig über einander geschichteten Scheibchen aus 0,0299 mm dicker Aluminiumfolie, und zwar so, dass in dem ersten Fensterchen ein, im zweiten zwei u. s. w., schliesslich im fünfzehnten 15 Scheibchen liegen. Bringt man diese Vorrichtung vor den Fluoreszenzschirm, so

erkennt man namentlich bei nicht zu harten Röhren sehr deutlich, wieviel Aluminiumblättchen gleich durchlässig sind wie die Platinfolie. Diese Anzahl soll kurz die „Fenster­nummer“ genannt werden. Als Fenster­nummer ergab sich in einem Falle bei direkter Bestrahlung die Zahl 5; wurde dann eine 2 mm dicke Platte aus gewöhnlichem Natronglas vorgehalten, so ergab sich die Fenster­nummer 10. Das Produkt aus Dicke und Dichte der Platinfolie ist = 0,0559, der Aluminiumschicht bei Fenster­nummer 5 = 0,388, bei Nummer 10 sogar 0,777, es sind also die betr. Produkte nicht einmal annähernd gleich. Weniger ungleich scheinen freilich die Produkte, wenn wir bei Nummer 10 das Produkt aus Dicke und Dichte der Glasplatte ($2,5 \times 2 = 5$) beiderseits addieren, und auch im ersten Falle bei Nummer 5 wird der Unterschied erklärlicher, wenn wir bedenken, dass auch hier eigentlich das Produkt aus Dicke und Dichte der Glaswand der Röhre addiert werden muss. Wurde das Fenster auf ein Päckchen von 12 photographischen Films gelegt, diese dann belichtet und entwickelt, so zeigte das erste Blatt die Fenster­nummer 10, das zwölfte 13, die übrigen die Uebergänge von 10 zu 13. Einer Erklärung bedarf dieses Resultat nach dem oben Gesagten nicht mehr. Zusammengefasst liegt die Bedeutung des Platin-Aluminiumfensters darin, dass eine niedrigere Fenster­nummer eine Röhre als weicher, ihre Strahlen als stärker absorbierbar, ihre Differenzierungskraft als für leichtere Körper am passendsten charakterisiert; eine hohe Fenster­nummer zeigt weniger absorbierbare, also penetrationsfähigere Strahlen an, und zwar entweder infolge höheren Vakuums bei direkter Bestrahlung, oder durch stattgehabte Absorption absorbierbarer Strahlen infolge Einschaltung eines andern Körpers in den Strahlenweg. Im letzteren

Falle würden die Strahlen eine Einbusse an Sättigung, das Bild eine Einbusse an Kontrast erfahren.

Wichtig erscheint indes für die pyknoskopische Technik das Resultat, dass zwei Körper von verschiedener Dichte, die bei Durchleuchtung mit Strahlen einer bestimmten Röhre gleich durchlässig erscheinen, sich also nicht differenzieren lassen, nicht mehr gleich durchlässig erscheinen, wenn man sie mit Strahlen einer höher evakuierten Röhre durchleuchtet oder mit solchen, die schon einen andern Körper passiert haben. In diesem Falle muss die Dicke des leichteren Körpers vermehrt werden, um die Durchlässigkeit wieder gleich zu machen; nahm man eine jüngere Röhre, so musste der leichtere Körper geringere Dicke annehmen, um gleich durchlässig zu werden, oder in beiden Fällen muss die Dicke des dichteren Körpers je die entgegengesetzte Aenderung erfahren.

Daraus folgt nämlich für den Pyknographen, dass er zwei verschieden dichte Körper, die bei der Durchleuchtung miteinander bestimmten Birne sich nicht differenzieren, unter Umständen dadurch sichtbar machen kann, dass er Strahlen von anderer Kritik wählt; nämlich solche einer weniger evakuierten Röhre, wenn der leichtere Körper verhältnismässig dick ist, dagegen solche einer höher evakuierten oder solche, die schon durch einen andern Körper hindurchgegangen (filtriert) sind, wenn der leichtere Körper verhältnismässig dünn ist.

Das Platin-Aluminiumfenster dürfte sich indes nicht unbedingt zur Prüfung der in der ärztlichen Praxis gebrauchten Röhren eignen, weil dasselbe nichts sagt über das Vorhandensein und das Verhalten derjenigen Strahlen, welche für die im Vergleich zum Aluminium weniger dichten Gewebe des Körpers kritisch sind. Dazu bedarf es solcher Vergleichs-

objekte, deren spezifische Gewichte innerhalb derselben Breite liegen wie die der Gewebe, nämlich von 2,0 (Elfenbein = 1,9) bis etwa 0,5¹⁾. Wir haben versucht, eine Skala solcher Körper in Stabform dadurch herzustellen, dass sämtliche parallelipedischen Körper gleiche Grundfläche und gleiches absolutes Gewicht, also auch gleiches Produkt aus Dicke und Dichte erhalten und so in einer Reihe zusammengefügt werden, dass ihre gleichen Grundflächen sich zu einer vereinigen. Legt man diese auf die Rückseite des Schirmes, so differieren die Helligkeiten vor einer reifen Röhre am schärfsten bei den höheren, vor einer jungen am schärfsten bei den niedrigeren Dichten. Durch ein zweites Exemplar solches Stabes, welcher an dem ersten parallel verschoben wird, kann man die Differenzierung solcher Körper prüfen, welche nicht in der Reihe neben einander liegen. Indessen sind die technischen Schwierigkeiten der Beschaffung eines befriedigenden Apparates dieser Art wegen mangelhafter Auswahl wirklich homogener Körper gerade in dieser Dichtigkeitsbreite so gross, dass auch mit diesem Instrument praktisch nicht viel mehr gedient ist als mit dem seither allgemein gebrauchten Testobjekt, der Hand. Der geübte Pyknograph wird hieran immerhin die Leistung einer Röhre, namentlich ihre Differenzierungskraft, genügend beurteilen können. Uebrigens gewinnt er ja an der Nebenschlussfunkenlänge ein Kriterium des Widerstandes der Röhre, damit auch ihres Vakuums und der Qualität ihrer Strahlen. Die Beziehung zwischen Nebenschlussfunkenlänge und Fensternummer zeigte sich uns bei einem mit gewöhnlicher Brieflochstanze hergestellten Qualitätsfenster aus Blei- und Messingfolie so:

¹⁾ Alumin. 2,5, Elfenbein 1,9, Buchsbaum 1,3, Eiche 1,1, Mahagoni 1, Wachs 0,9, Pappel 0,3.

Nebenschlussfunkenlänge: 3 7 11 12 17 22.

Fensternummer: 1 8 10 11 12 13.

Das Aktinometer nach Bose besteht aus einer in quadrierter Fläche reihenmässig angeordneten Skala von quadratischen Stanniolblättchen, deren Anzahl je um eins steigt und auf jedem Quadrat durch eine daraufgelegte Ziffer aus biegsamem Metalldraht angegeben ist. Legt man diese Skala hinter den fluoreszierenden Schirm, so erkennt man einen Teil der dunkeln Ziffern auf hellem Grunde bis zu einer nicht ganz scharfen Zahlengrenze, den Rest der Ziffern nicht. Diese naheliegende Idee ist von vielen Seiten in mehr oder weniger ähnlicher Form, auch von uns (s. u.) gleich in der ersten Zeit unserer pyknoskopischen Thätigkeit ausgeführt; ebenso verschieden resp. unklar ist aber meist die Auskunft darüber, was man eigentlich damit will oder erreichen zu können glaubt. Auch da, wo Metalle von verschiedener Dichte zu den Blättchen und Ziffern verwendet sind, liegen dieselben doch hintereinander, nicht nebeneinander und können so nur als verschiedene Massen, nicht als verschiedene Dichten von den Strahlen differenziert werden. Sie können daher nur (mit Beziehung auf eine bestimmte Distanz der Strahlenquellen) über die Intensität einer bestimmten X-Strahlung etwas angeben und sonst nichts, speciell gar nichts über das Differenzierungsvermögen für die Dichten, nicht einmal etwas Sicheres über das photographische Differenzierungsvermögen der Strahlung für Massenunterschiede selbst homogener Körper, da die photographische Platte bei geeigneter Exposition auch Lichtunterschiede darstellen kann, die unser Auge auf den gleichmässig dunkel erscheinenden Quadraten des Schirmbildes nicht mehr wahrnimmt. Überhaupt entspricht nicht einer gleiche Fluorescenz

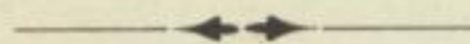
erregenden Intensität auch eine gleiche photographisch wirkende; die höhere Fluorescenz bei härteren Röhren entspricht sogar einer geringeren photographischen Wirkung.

Und angenommen, die Bestimmung der Kritik der Röhre wäre auf andere Weise geschehen, so fehlte doch dem Instrumente die Relation zu der durch ein bestimmtes Objekt hindurch auf die Platte wirkenden durchschnittlichen Strahlenintensität, von welcher allerdings die Expositionszeit zum Teil abhinge. Es würde also etwas gewonnen sein, wenn es möglich wäre, mittels des Instrumentes die durchschnittliche Helligkeit der Details des Schirmbildes eines zu pyknographierenden Körperteiles zum Vergleiche zu bringen, etwa durch gleichzeitige Einschaltung des Intensitätsmessers mit dem Untersuchungsobjekt in den Strahlenweg. Diese Aufgabe wäre aber so heikel, dass sie nur ein akademisches Interesse haben kann. Wir sind eben da in derselben Lage wie der Amateur-Photograph vor der Aufnahme mit der Kamera. Die ihm von der kritiklosen Industrie in die Hand gegebenen Photometer sagen ihm zwar, welche Lichtintensität auf das Photometer gerade einwirkt, aber nicht, welche Lichtintensität von den aufzunehmenden Gegenständen her sein Objektiv trifft, ganz abgesehen davon, dass er die Expositionszeit verschieden nehmen muss, je nachdem er auf die Deutlichkeit ganz bestimmter Details oder auf eine gleichmässige Verteilung der Kontraste im ganzen Wert legt. Er wird sich daher nie nach einem Photometer richten, sondern nach seiner Erfahrung in der Beurteilung der Helligkeitsverhältnisse des eingestellten Bildes auf der Mattscheibe, welche dem Leuchtschirm des Pyknographen einigermaßen entspricht. So wird auch als bestes Photometer des Pyknographen die fleissige Übung

im Sehen auf dem Leuchtschirme und im Vergleich der Schirmbilder mit den entsprechenden Plattenbildern sich bewähren, welche ihm auch sonst nichts schaden kann, und worin wir schliesslich auch den einzigen Zweck der als Skiameter, Aktinometer und dergl. benannten Vorrichtungen erkennen. Freilich bieten dazu die bisher veröffentlichten Konstruktionen wenig Mannigfaltigkeit. Wir möchten hier eine Übungstafel bekannt geben, die von uns schon vor 2 Jahren benutzt und nach unsern Angaben vom Buchbinder Schnell hieselbst mittels Stanzen mühsam ausgeführt wurde. Tafel I giebt ein Pyknogramm derselben auf Bromsilberpapier wieder. Sie soll eine möglichst umfassende Mannigfaltigkeit von Dicken und Dickenunterschieden bieten, um auf dem Schirme die Grade von Helligkeitsunterschieden zu erzeugen, welche den bei der Pyknoskopie menschlicher Körper in Betracht kommenden entsprechen.

Sie umfasst (in der Idee) hundert Horizontalreihen von je hundert Quadraten; jede Horizontalreihe hat eine bestimmte Anzahl von Stanniolstreifen als Grundlage, jede tieferliegende einen mehr als die vorhergehende. In der ersten hellen Vertikalreihe von fortlaufenden Zahlen ist jede Ziffer der Index für die Anzahl der zur Grundlage der betreffenden Horizontalreihe verwendeten Stanniolstreifen. Im übrigen bedeutet jede Ziffer die Zahl der zu ihr selbst verwendeten Stanniollagen, aus denen sie herausgestanzt ist. Die liegende Null bedeutet 100, und zwar bedeutet die Null am Ende der Horizontalreihe, welche den Index 20 hat, dass sie selbst aus hundert Schichten Stanniol gestanzt ist und auf einem Quadrate von 20 Schichten ruht; die Ziffer 85 vor der (zufällig verschobenen) Null rechts oben in der ersten Horizontalreihe, welche keinen Index hat, ist aus 85 Schichten

gestanzt und direkt auf das Papier ohne Stanniolunterlage aufgeklebt. Die Ziffern links von der vertikalen Indexreihe sind aus den Schichten der Unterlage ausgespart. So bedeutet die zweite 8 vorn links (Indexreihe 9), dass ihr Quadrat 9 Stanniollagen hat, von denen 8 in der Form der Acht durchbrochen sind. Es ist hierdurch erreicht, alle möglichen Kombinationen von Massen und Massenverhältnissen in der Tafel zu vereinigen, von denen die dicksten und grössten denen des menschlichen Körpers in Bezug auf praktisch schwierige Differenzierung im pyknoskopischen Bilde nahe kommen dürften. Besonders eignet sich diese Tafel zur Uebung kontrastreicher Entwicklung von Platten, welche durch dieselbe hindurch belichtet wurden. Das Bild ist in vier getrennten Teilen entwickelt, um die Zusammensetzung übersichtlich zu machen; bei einer Aufnahme im Ganzen würde ein kleinerer Teil von Details erkennbar sein.



7. Kapitel.

Winke für Wahl, Anordnung und Gebrauch der Apparate zur Pyknoskopie.

Über die Wahl und Benutzung des Hauptinstrumentes der Pyknoskopie, der Vakuumröhre, ist dem in den vorigen Kapiteln Ausgeführten wenig hinzuzufügen. Man achte auf Fokusschärfe, nicht zu kurzen Bau, damit der Funkenweg nicht von vorn herein um die Röhre herumgeht, solide Befestigung der Elektroden und der äusseren Oesen für die Poldrähte. Man kaufe nur junge Birnen von nicht über

5—6 cm Nebenschlussfunkenlänge, welche anfangs am besten zum Pyknographieren, nach einigem Gebrauch auch zum Sehen auf dem Leuchtschirm verwendet werden. Der Anfänger kontrolliere zur Übung seines Urteils vor und nach jeder Benutzung die Veränderung der Nebenschlussfunkenlänge, die Veränderung der Kontraste seines Handbildes resp. seines Qualitätsfensters oder dergl., sowie die Veränderungen von Farbe und Form der Röhrenteile, z. B. der Platinantikathode. Trockne und staubfreie Aufbewahrung ist ratsam, ebenso Vorsicht beim Anfassen und Hinlegen, da zarte Röhren namentlich an dem meist mit einer Gummischutzhülse versehenen Abschmelzrohr sehr verletzlich sind. Im übrigen sind z. B. die Gundelach'schen Röhren ziemlich kompakt und widerstandsfähig.

Alle jetzt gebräuchlichen Vakuumröhren sind für solche hochgespannte Wechselströme berechnet, welche möglichst grosse Energiemengen bewegen und in einer Richtung kräftiger sind als in der entgegengesetzten, also einem intermittierenden Gleichstrom ähneln. Mit kontinuierlichen Gleichströmen ist noch kein Erfolg erreicht, weil es wirtschaftlich kaum auszuführen ist, dabei die nötigen hohen Spannungen zu erreichen. Die Verwertung der hochgespannten Entladungsfunken von Influenz- und andern Elektrifiziermaschinen ist nicht nur deshalb undankbar, weil dieselben zu geringe Stromquantität liefern, sondern auch wegen der Unzuverlässigkeit der Apparate für statische Elektrizität infolge ihrer Abhängigkeit von Temperatur und Feuchtigkeit der Luft. Auch die hochgespannten Teslaströme, welche immerhin billiger zu erzeugen und ausserdem gefahrlos sind, erzielen nicht die den Ansprüchen des Arztes genügende Wirkung in den Röhren, so dass vorläufig die Röhren-

korffschen Induktorien nicht entbehrt werden können, und zwar sind solche von weniger als 25 bis 30 cm Schlagweite kaum für alle ärztlichen Zwecke ausreichend. Die höhere Funkenlänge bis 50 cm ist namentlich zur bessern Ausnutzung und zur längeren Gebrauchsfähigkeit der Röhren im Stadium ihres sehr vermehrten Widerstandes wünschenswert. Ausserdem ist natürlich der grössere Induktor viel weniger gefährdet bei Beanspruchung mit 30 cm Funkenlänge oder kleinen zufälligen Überschreitungen derselben als ein kleiner, der damit ev. überlastet und zerstört wird.

Als primärer Strom für die Induktorien ist der selbstthätig unterbrochene Gleichstrom aus Akkumulatoren oder der einer Gleichstrommaschine, vorausgesetzt, dass die Stärke desselben dem Induktorium angepasst wird, unübertroffen. Wollte man den einer Unterbrechung nicht mehr bedürfenden eigentlichen Wechselstrom einer Wechselstromdynamo direkt anwenden, so würde der Induktionsstrom auch ein gleichmässiger Wechselstrom und für die jetzt gebräuchlichen Röhren nicht anwendbar sein. Freilich ist noch gar nicht ausgemacht, ob nicht eine für solchen Wechselstrom geeignete Vakuumröhre sich konstruieren liesse. Bei Anwendung des elektrolytischen Unterbrechers von Wehnelt arbeitet übrigens nach d'Arsonval der Induktor und die gewöhnliche Röhre mit Wechselstrom (110 Volt) gerade so wie mit Gleichstrom. Zur Benutzung des Gleichstroms einer Licht- oder andern Kraftleitung (110—220 Volt und mehr) müsste man entweder einen regulierbaren Vorschaltwiderstand aus Glühlampen (Fig. 16) oder Drahtspiralen benutzen, mit welchem die Spannung und Stromstärke im Hauptschluss auf kleinere Werte herabgesetzt werden kann, oder ausserdem einen

zweiten Regulierwiderstand, der mit der Primärspule des Induktors parallel geschaltet wird (Abzweigwiderstand Fig. 7). Beansprucht man zu gleicher Zeit mehrere parallel liegende Stromabzweigungen, z. B. ausser der für den Induktor eine für den Motorunterbrecher, so muss natürlich jeder Stromzweig seinen besonderen Rheostaten und Ausschalter haben.

Die Wahl unter Induktoren verschiedener Konstruktion und besonders die Wahl unter den Unterbrechern ist jetzt keineswegs so einfach als früher, da allem Anschein nach die Konstruktionstechnik wie der Erfindungsgeist sich gerade in einem Übergang zu grosser Vervollkommung und ungeahnten Erfolgen befindet. Hängt schon die Wahl des Induktors von den Geldmitteln und der zur Verfügung stehenden Stromspannung ab, so richtet sich die Wahl des Unterbrechers nach der Grösse des Induktors und der verfügbaren Stromspannung, sowie nach dem Zweck der Anwendung, je nachdem man mehr Wert legt auf die Intensität der Strahlen, wie beim Pyknographieren, oder auf gleichmässig schnelle Stromstösse, wie beim Pyknoskopieren, oder auf beides vereint. Im allgemeinen kann man wohl sagen, dass der praktische Wert der einzelnen Unterbrecher, vorausgesetzt, dass sie sonst tadellos funktionieren, in der von ihnen erreichbaren Frequenz liegt. Denn je öfter in der Sekunde die Röntgen'sche Röhre aufleuchtet, desto ruhiger und weniger flackernd erscheint das Schirmbild, und desto kürzer ist die Expositionszeit der pyknographischen Platte. Es ist aber bereits besprochen, dass der Frequenz der Unterbrechungen bei jeder Anlage eine obere Grenze gesetzt ist durch die höchste verfügbare Spannung des Primärstromes insofern, als von der höhern oder geringeren Spannung des Primärstromes der mehr oder weniger schnelle

zeitliche Verlauf des Schliessungsextrastromes abhängt und damit auch der kleinere oder grössere Bruchteil der Sekunde, in welchem der Strom mindestens geschlossen bleiben muss, um auf die bei der Oeffnung zur vollen Induktionswirkung nötige Stärke anzuwachsen. Für einen bestimmten Induktor schliesst also eine bestimmte höchste verfügbare Stromspannung eine höhere Frequenz von einer bestimmten Grenze ab als unvorteilhaft für die Intensität der Strahlen aus. Andererseits schliesst eine bestimmte höhere Stromspannung, welche nur während der Dauer des Schliessungsextrastroms unter Voraussetzung schneller Unterbrechung eine genügend gemässigte Stromstärke aufkommen lässt, eine geringere Frequenz von einer bestimmten Grenze ab als gefährlich für die Isolationswiderstände des Induktors aus. Von diesem Standpunkte aus ist die Nutzbarkeit der einzelnen Unterbrecher in jedem Falle zu betrachten.

Der Platinhammerunterbrecher ist entschieden der einfachste, bequemste, billigste und fast allen Zwecken durchschnittlich genügende; er sollte an keinem Induktor bis 35 cm Funkenlänge fehlen und von jedem Anfänger zunächst erprobt werden (Fig. 25). Seine Frequenz ist 3—20 in der Sekunde. Dieselbe ist von der Schwingungsweite des Hammers abhängig und diese durch die Stellschraube, welche mit dem Platinansatz des Federblattes in Kontakt tritt, in den angegebenen Grenzen regulierbar. Die Stellschraube muss durch eine besondere Schraube in ihrem Lager sehr fest gespannt gehalten werden, damit sie durch die Hammerschläge nicht allmählich zurückgedrängt wird. Die Federkraft des Hammers und damit wahrscheinlich auch die Dauer des Stromschlusses ist noch besonders regulierbar durch die Spannschraube, welche sich im Hammerstativ be-

findet. Wenn nach Stromschluss der Hammer nicht sofort in Thätigkeit tritt, so muss er angestossen und durch die Stellschraube reguliert werden. Es

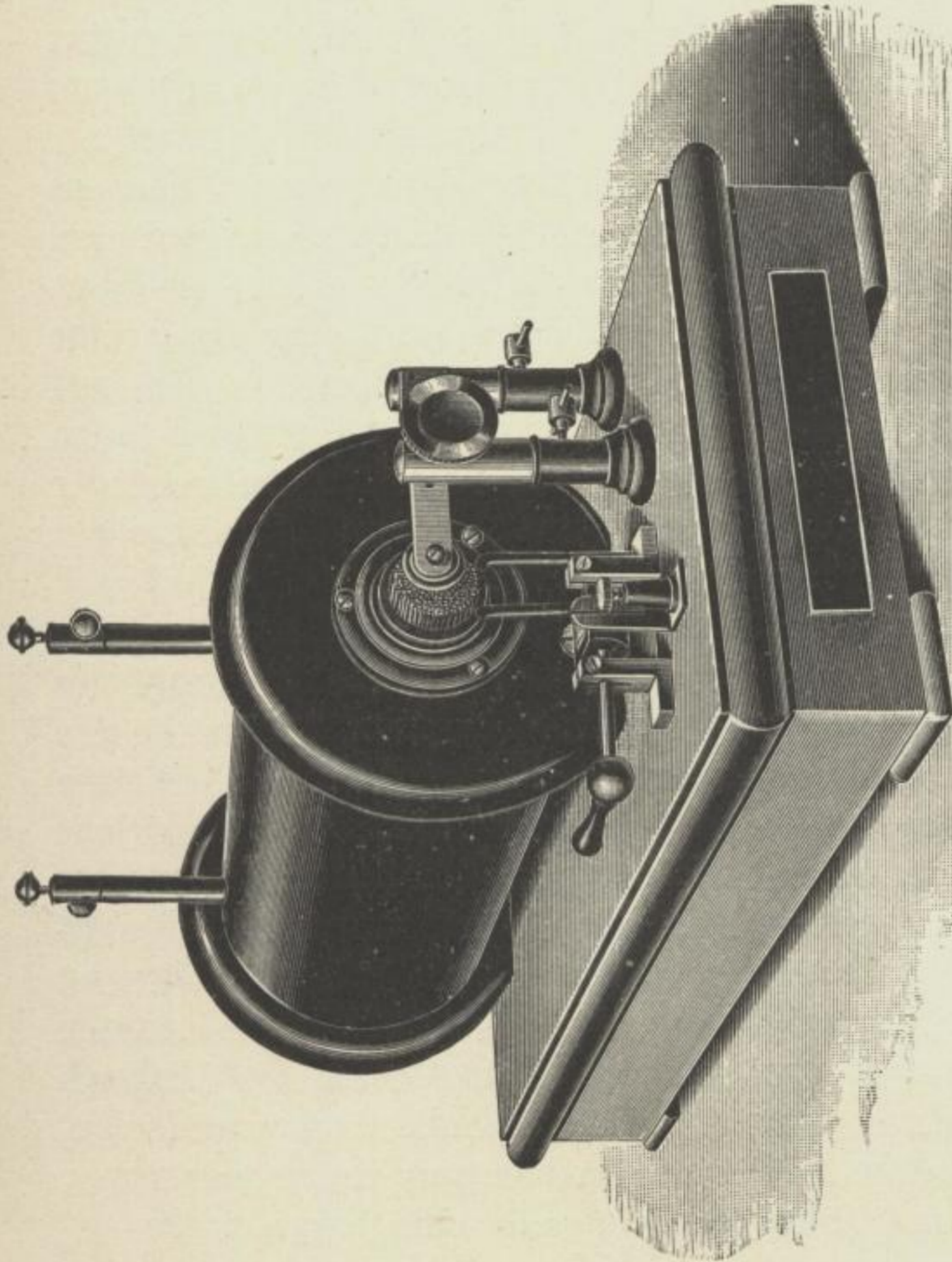


Fig. 25. Induktor mit Platinhammerunterbrecher,

sei hier gleich darauf hingewiesen, dass das Ampèremeter während der Thätigkeit der Unterbrecher eine gewisse mittlere Stromstärke anzeigt, z. B. 4 Ampère bei rarer, 7 Ampère bei frequenter Unterbrechung eines und desselben Primärstroms, der als Ruhestrom

vielleicht 20 Ampère anzeigen und also eventuell die Batterie, bei nachfolgender Stromöffnung den Induktor überanstrengen könnte. Man soll daher zur Erhöhung der Primärstromstärke erst dann allmählich den Rheostaten ausschalten, wenn der Unterbrecher sicher in Gang gesetzt ist. Über die bei frequenter Unterbrechung vor der Öffnung erreichte Stromstärke sagt das Ampèremeter nichts. Diese liesse sich aber aus der Funkenlänge während der Thätigkeit beurteilen, wenn man nachher feststellt, welche Stärke ein Ruhestrom haben muss, um bei der Öffnung die gleiche Funkenlänge zu induzieren; wir massen 6, 6,5 und 7,5 Amp. Öffnungsstromstärke bei 15, 20 und 25 cm Funkenlänge. Über die Strommessung während der Thätigkeit des Apparates wäre eine Äusserung der Physiker jedenfalls erwünscht.

Nachteile des Platinhammers sind ausser seinem geräuschvollen Arbeiten, welches durch Resonanz des Sockels und des Tisches sehr unangenehm werden kann, die Begünstigung der Entstehung des widrigen Öffnungsfunkens zwischen den Platinkontakten, welche sich teils durch Erhitzung, teils durch die starke mechanische Beanspruchung bald abnutzen und öfter sorgfältig gerade geschliffen werden müssen. Dies ist besonders nötig, wenn der Hammer „klebt“, d. h. mitten in der Thätigkeit einhält. Entweder ist dies dadurch veranlasst, dass schlecht leitende Partikelchen oder Unebenheiten die Kontaktflächen trennen, so dass der zu geringe Strom keine ausreichende magnetische Anziehung erzeugt — dann zeigt das Ampèremeter den Stromausfall an; oder die Kontakte sind infolge von Unebenheiten und Erhitzung so angeschweisst, dass der Elektromagnet sie nicht zu trennen vermag — dann zeigt der Strommesser ein gefährliches Anwachsen des Stromes an. In diesem Falle darf man

vorsichtigerweise die Kontakte nicht eher trennen, resp. den Strom nicht eher plötzlich öffnen, als bis man denselben durch Einschaltung des Rheostaten gehörig abgeschwächt hat. Dies gilt natürlich für alle Unterbrecher, welche etwa „kleben“, hauptsächlich bei hohen Betriebsspannungen.

Es lässt sich nicht verkennen, dass von allen Unterbrechern der Platinhammer am meisten die Neigung hat, ungleichmässige Frequenz und Intensität der einzelnen Lichtblitze der Röhre zu erzeugen. Man kann sich aber so auf ihn einüben, dass man in der That für jeden Fall ein durchaus befriedigendes Resultat erzielen kann.

Regulierbare Hammerunterbrecher von einer Frequenz bis 50 per Sek., sind von der Allg. Elektr.-Ges. angekündigt. Der Präzisionsunterbrecher von Levi wird durch einen gesonderten Elektromagneten betrieben und gestattet durch einen federnden Kontakt einen möglichst langen Stromschluss und rapide Unterbrechung, aber nur geringe Frequenz.

Für die Betrachtung des Schirmbildes bietet der Deprez'sche Hammer (Fig. 18 und Fig. 26) bei ziemlicher Frequenz eine angenehme ruhige Gleichmässigkeit der Unterbrechungen, allerdings auf Kosten der Funkenlänge und Lichtintensität infolge ungenügend langen Stromschlusses. Er ist demnach zur Pykno-graphie weniger brauchbar als zur Pyknoskopie, aber angenehm wegen seines leiseren Ganges.

Für höhere Stromspannungen als 30 Volt dürften die Platinhämmer aber sämtlich nicht gut zu benutzen sein. Die Quecksilberunterbrecher, von denen der Quecksilberhammerunterbrecher wie die vorher genannten in den Primärstrom eingeschaltet und von diesem selbst automatisch „betrieben“ wird, während die Quecksilbermotorunterbrecher einen gesonderten

Stromkreis beanspruchen, beruhen auf dem Prinzip, dass ein Platinstift als der eine Pol durch Eintauchen in Quecksilber als andern Pol den Stromschluss, durch Heraustauschen aus demselben die Stromöffnung bewirkt. Über der Quecksilberoberfläche in dem Glase befindet sich eine isolierende Flüssigkeit, als welche Petroleum, Wasser, Terpentinöl, 80 % oder absoluter

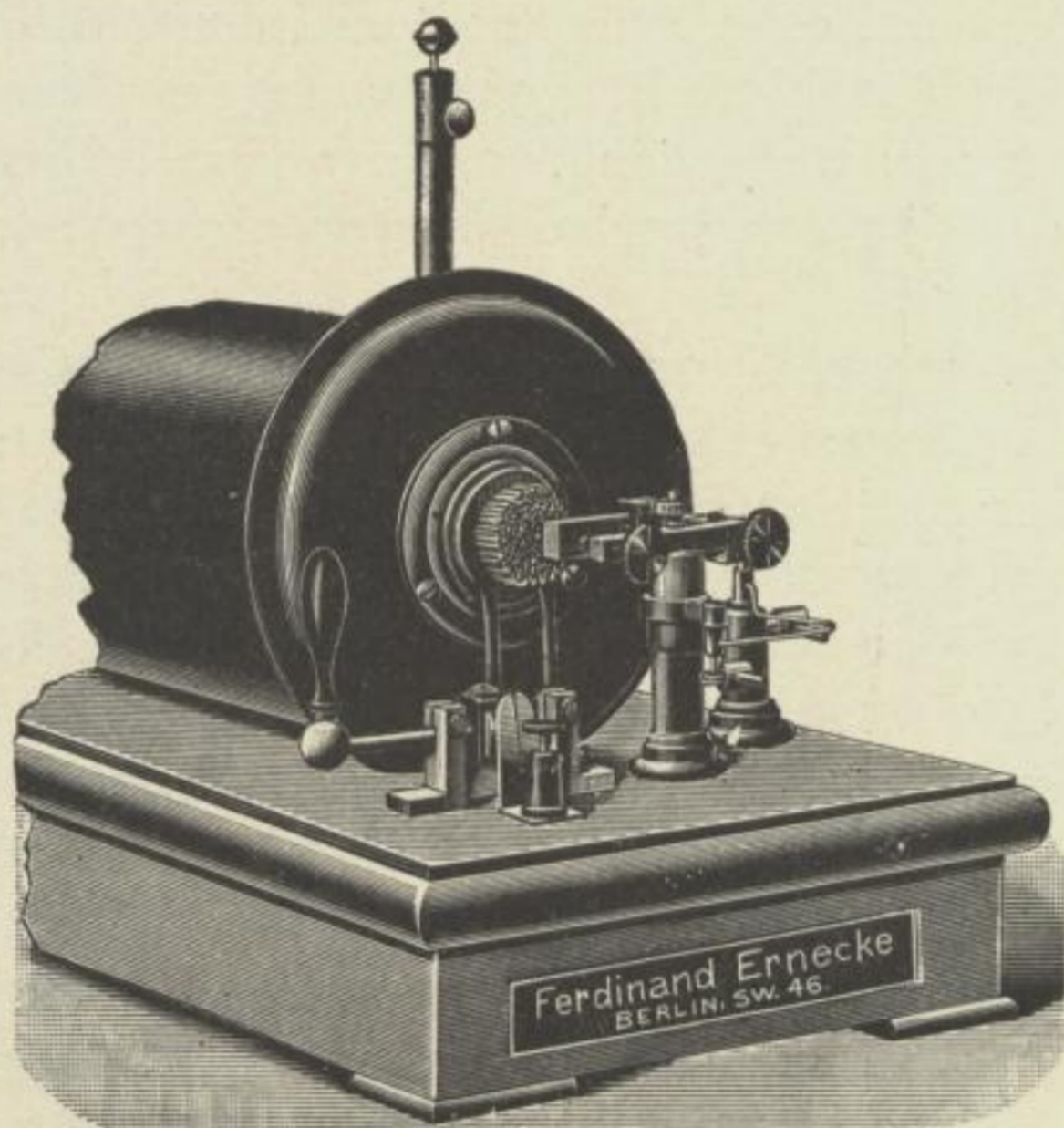


Fig. 26.

Induktor mit Deprez'schem Unterbrecher.

Alkohol, Glycerin und Paraffin empfohlen sind. Diese Flüssigkeit soll nach dem Heraustreten des Stiftes aus dem Quecksilber an Stelle von Luft die beiden Pole isolieren. Theoretisch ergeben sich hieraus die Vorteile eines langen, innigen und gleichmässigen Stromschlusses und als weitere Bedingung kräftigerer Induktionswirkung die Verminderung des Oeffnungsfunkens, d. h. steilerer Abfall des Stromes bei der

Oeffnung, während ausserdem das Verhältnis der Schliessungszeit zur Oeffnungszeit durch höheren oder tieferen Stand der Quecksilberoberfläche unter dem höchsten Stande der Platinspitze, die Schliessungszeit an sich übrigens durch die Frequenz der Unterbrechungen reguliert werden kann.

Beim Quecksilberhammerunterbrecher wird der Kontaktstift durch magnetische Anziehung eines eisernen Hammers, mit dessen Stiele er in hebelartiger Verbindung steht, aus dem Quecksilber herausgehoben. Seine Frequenz ist sehr gering, ca. 3 bis höchstens 15 in der Sekunde. Er eignet sich daher vorzüglich zur Ausnutzung niederer Spannungen für die Intensität der Strahlen beim Pyknographieren, wegen der geringen Frequenz aber nicht für höhere Spannungen. Für das Schirmbild würde er ein Notbehelf sein, da das Verschwinden des Bildes während des langen Stromschlusses die Perzeption desselben beeinträchtigt und überdies die Augen angreift. Der Öffnungsfunke ist aber keineswegs zu vermeiden, derselbe macht sich durch ein erträgliches Knacken oder Glucksen in dem Quecksilbergläse bemerkbar. Die hierbei auftretenden kleinen Explosionen sind schuld an einer gewissen Unreinlichkeit des Betriebes, welche uns das Arbeiten mit den Quecksilberunterbrechern etwas verleidet. Die Deckflüssigkeit spritzt gern selbst durch das kleine Loch des Deckels, durch welches der Stift in das Glas tritt, was bei den Ölen auch wegen des Geruchs fatal ist, während Alkohol sogar sich gelegentlich einmal entzünden kann, so dass dieser Unterbrecher ebensolche Aufsicht beansprucht als die vorhergehenden. Unangenehm ist ferner, dass das Quecksilber und Oxydationsprodukte desselben sich in der Deckflüssigkeit allmählich emulgieren. Dadurch wird sowohl die Isolierfähigkeit der Deckflüs-

sigkeit herabgesetzt, als auch der Kontakt beim Eintauchen beeinträchtigt, indem die Spitze einen Trichter von der Emulsionsschicht mit in das Quecksilber hinunterreisst. Es muss daher öfter eine Reinigung des Quecksilbers stattfinden, durch Waschen mit Wasser und Filtration des Schlammes durch einige Mullschichten oder ein Handtuch, durch welches man das reine Metall hindurchpresst, während der Schmutz zurückbleibt. Grössere Ruhe der durch die Kontaktunterbrechung leicht schwankenden Quecksilber-

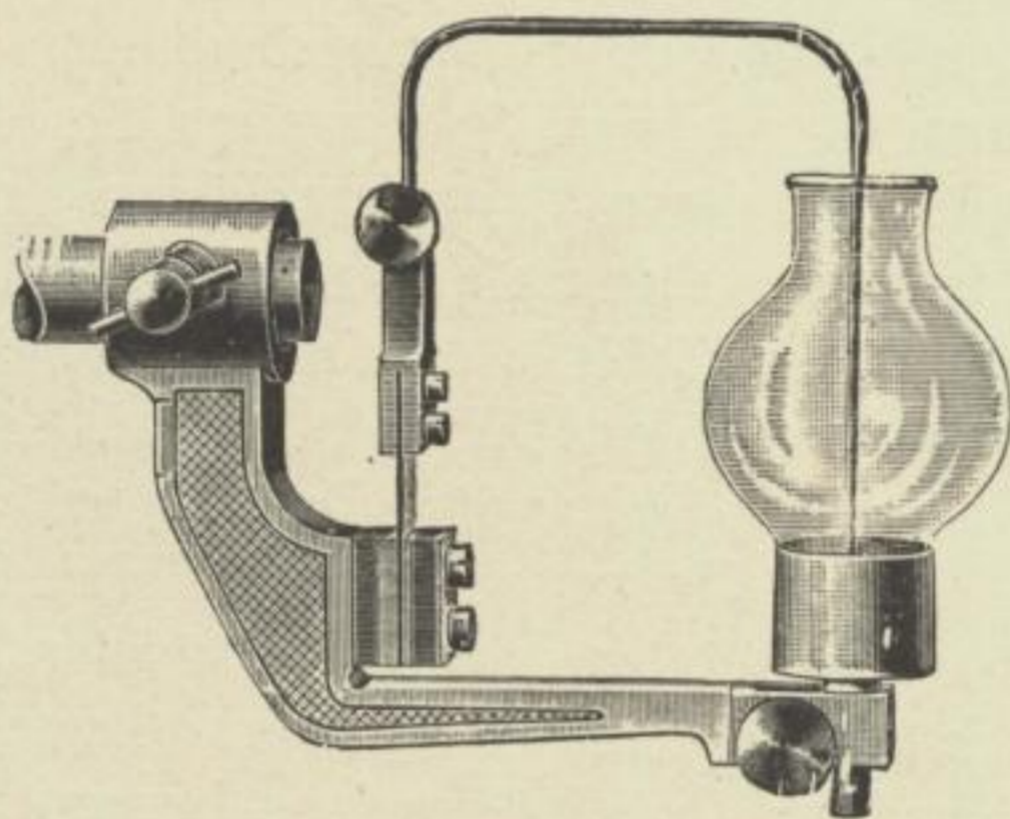


Fig. 27.

Quecksilberhammerunterbrecher der Allg. Elektr.-Gesellschaft.

oberfläche wird erreicht durch möglichst kleine Gestaltung derselben, die Ableitung der Schlammsschicht durch Einbringung des engen bis an den Rand gefüllten Quecksilbergefässes in ein grösseres mit der Isolierflüssigkeit gefülltes, in welchem die Emulsion sich verteilt und senkt. Fig. 27 zeigt einen einfachen Quecksilberhammer der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft zu Berlin.

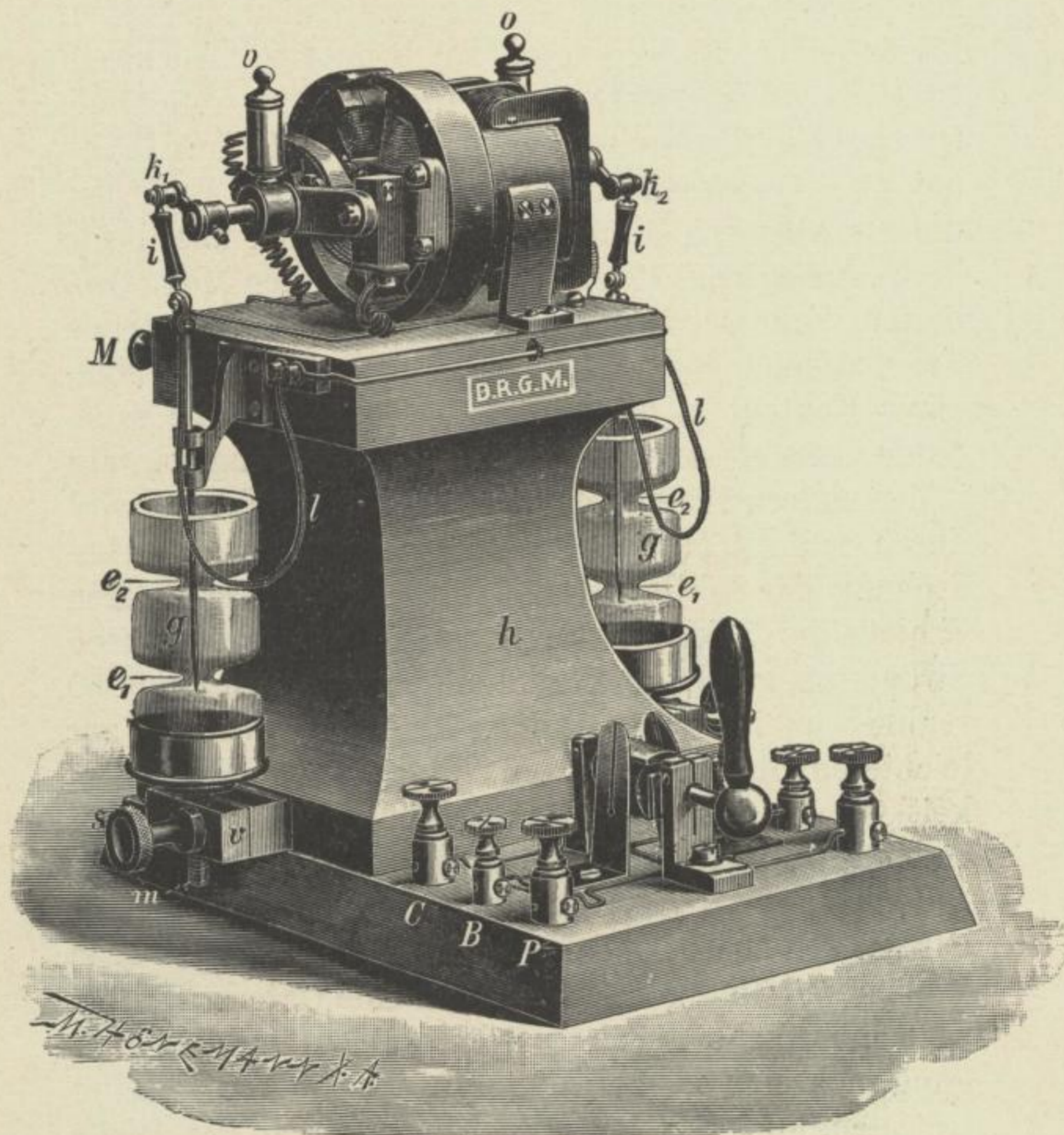
Um die Vorzüge des Foucault'schen Prinzips mit grösserer Frequenz zu vereinigen und damit dasselbe auch auf höhere Betriebsspannungen anwenden zu

können, baut man die Quecksilber-Motorunterbrecher, bei denen die Bewegung des Kontaktstiftes einer unabhängig vom Primärstrom arbeitenden besondern Maschine überlassen ist. Es lag natürlich am nächsten, hierzu einen Elektromotor zu benutzen. Auch ein Uhrwerk könnte statt dessen dienen. Der rotierende Quecksilber-Motorunterbrecher von F. Hofmeister hat zwei Quecksilbertröge, deren jeder ein Ende der unterbrochenen Leitung darstellt. Von der über beide hinweggelegten leitenden, aber gegen den Motor isolierten Welle des Motors geht je ein Kontakt in jeden Trog, nämlich eine rotierende Kupferscheibe als ständiger Kontakt in den einen, drei quirlständige rotierende Stifte als abwechselnder Unterbrechungskontakt in den andern Trog. Das Spritzen aus den Trögen wird durch radkastenartige Deckel verhindert. Jede Umdrehung der Welle liefert 3 Unterbrechungen, deren Zahl in der Sekunde durch den in den gesonderten Stromkreis geschalteten Rheostaten zwischen 5 und 60 regulierbar ist. Die runden Quirläste wurden zur leichteren Überwindung des Widerstandes der Flüssigkeit von Hauswaldt als knieförmig gebogene, breit endende Messer aus Silber ersetzt.

Bei andern Konstruktionen ist der Kontaktstift excentrisch an der rotierenden Welle befestigt. Jede Wellenumdrehung liefert hier nur eine Unterbrechung. Eine mehrfache Leistung wird erzielt durch Anbringung mehrerer solcher Kontakte, welche abwechselnd eintreten, infolge Versetzung ihrer Arme an der Welle um den ihrer Zahl entsprechenden Bruchteil von 360° .

Der Quecksilber-Motorunterbrecher (Fig. 28 u. 29) mit Doppel-Wechsel-Kontakt (Rapid-Unterbrecher) für sämtliche Induktoren, konstruiert von Ferdinand Ernecke, hat einen präzis gearbeiteten, gleichmässig laufenden, auf einem vertikal stehenden Eichenblock

montierten Motor für 6 Volt Betriebsspannung, der an den beiden Enden seiner Axe Kurbeln k_1 k_2 trägt, die um 180° gegen einander versetzt sind. Diese



ca. $\frac{1}{4}$ nat. Grösse.

Fig. 28.

Quecksilber-Motorunterbrecher mit Doppel-Wechselkontakt von Ernecke.

Kurbeln bringen bei ihrer Bewegung 2 Kupferstifte zum abwechselnden Eintauchen in entsprechende Quecksilbergefässe gg , sodass bei einmaliger Um-

drehung des Motors der Strom zweimal geschlossen und unterbrochen wird; es erfolgt also bei einer

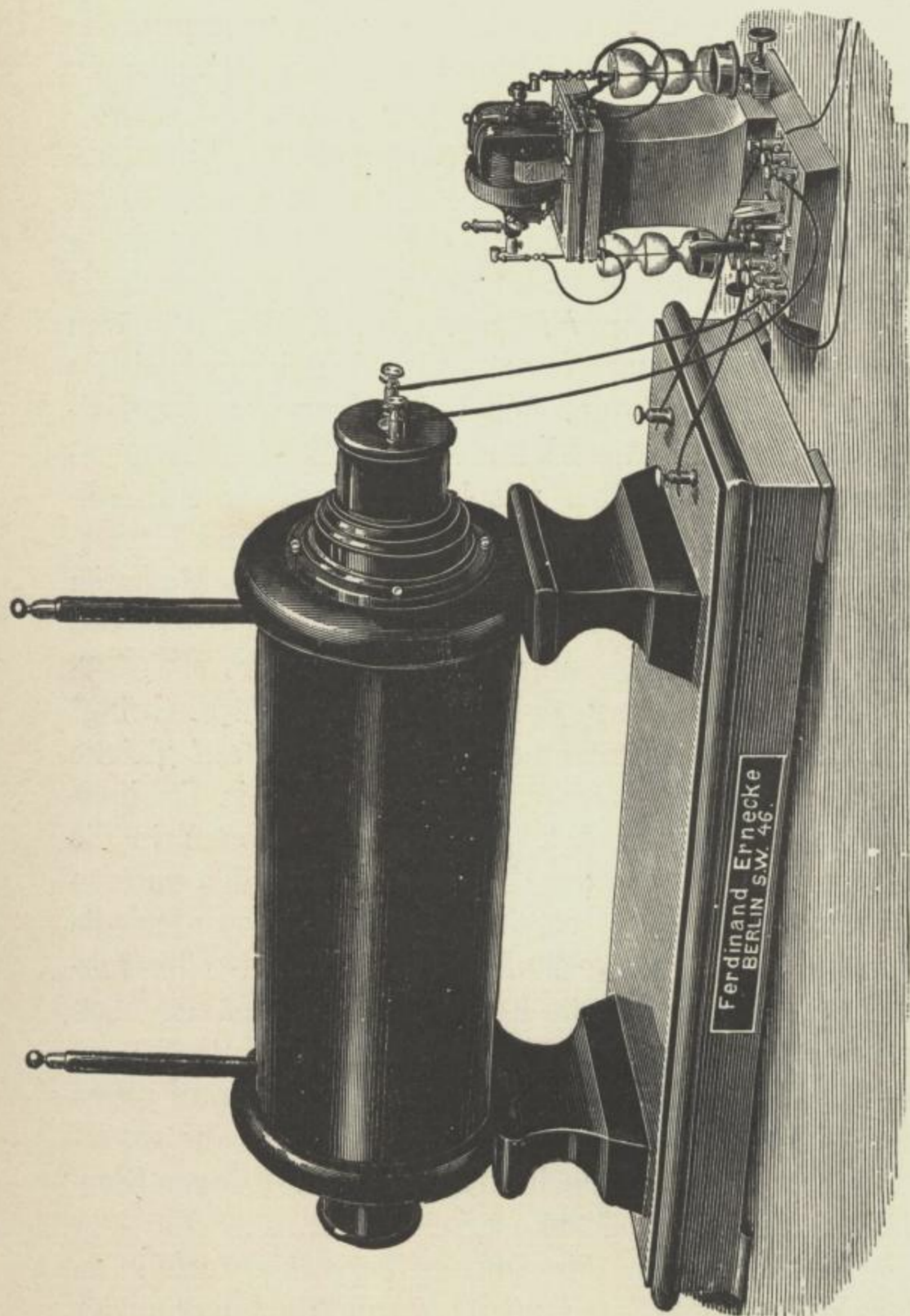


Fig. 29. Grosser Induktor mit Erneckes Quecksilber-Motorunterbrecher.
ca. $\frac{1}{10}$ nat. Grösse.

gewissen Tourenzahl die doppelte Anzahl von Unterbrechungen. Dies hat, abgesehen von der Häufigkeit

der Unterbrechungen, den Vorteil, dass zur Erreichung einer hohen Unterbrechungszahl der Motor verhältnismässig langsamer laufen darf, wodurch der einzelne Kontaktstift längere Zeit im Quecksilber bleiben kann. Zwei an der oberen Kante des Eichenblocks befindliche Klemmen (*M*) vermitteln die Stromzuführung zum Motor, während auf dem Grundbrett des ganzen Apparates die Anschlussvorrichtung, die in 6 Klemmen und einem Stromwender besteht, montiert ist. Die Klemmen *PP* werden mit der primären Spule des in Gang zu setzenden Induktors und die Klemmen *BB* mit der den Induktor speisenden Batterie verbunden, die Klemmen *CC* mit dem Kondensator, wenn derselbe, wie bei den grösseren Induktoren, nicht in dauernder Verbindung mit der Primärleitung steht, sondern besondere Anschlussklemmen besitzt. Ueber die Schaltung zu den Induktoren mit festliegender Verbindung des Kondensators s. S. 140.

Zwecks Füllung der Quecksilbergefässe bringt man die unteren Spitzen der Kontaktstifte auf gleiche Höhe, was durch Drehen beider Kurbeln in die horizontale Stellung erfolgt. Sodann giesst man in die Glasgefässe Quecksilber, bis es die Mitte der unteren Einschnürung $e_1 e_1$ erreicht hat, dann werden die Quecksilbergefässe vorläufig soweit herauf- oder herunterschraubt, bis die Kontaktspitzen (bei der oben angegebenen horizontalen Stellung der Kurbeln) ca. 3—4 mm über dem Quecksilber stehen. Darauf giesst man auf das Quecksilber Petroleum, bis es die unterhalb der oberen Einschnürung $e_2 e_2$ auf dem Glasgefässe eingeritzte Marke erreicht hat.

Das Entleeren der Quecksilbergefässe erfolgt in der Weise, dass man zuerst durch Hochdrehen der über dem betreffenden Quecksilbergefässe befindlichen Kurbel dem Kupferstifte seine höchste Lage giebt, so-

dann schraubt man die untere vordere grosse Kordelschraube *s* vollständig heraus, nimmt die Messingplatte *v* ab und zieht, während man das Glasgefäss etwas gegen den Holzblock neigt und den Gewindestift *m* der Fassung des Quecksilbergefässes aus der Hälfte der durchschnittenen Schraubenmutter herausnimmt, das Quecksilbergefäss schräg nach unten fort. Das Einsetzen des Gefässes erfolgt in umgekehrter Reihenfolge.

Nach Ingangsetzung des Motors stellt man durch Auf- und Abwärtsschrauben der Quecksilbergefässe dieselben so ein, dass die Unterbrechungen gleichmässig kräftig werden. Es ist darauf zu achten, dass die Gefässe nicht zu hoch stehen, da sonst statt der doppelten Unterbrechungen nur einfache entstehen, weil, noch ehe der eine Kontaktstift die Quecksilberfläche verlassen hat, der andere Kontaktstift bereits eintaucht. Bei Veränderung der Geschwindigkeit muss auch die Stellung der Quecksilbergefässe verändert werden, wenigstens sobald diese Geschwindigkeitsänderung eine wesentliche ist. Im allgemeinen müssen beim Schnellerlaufen des Motors die Gefässe aufwärts, beim Langsamerlaufen des Motors die Gefässe abwärts geschraubt werden. Die Baumwolle in den Oelern *o o* auf den Motorlagern muss nach Abnehmen der kleinen Messingdeckelchen öfter mit Oel getränkt werden, auch müssen alle reibenden Teile (Kurbelgelenke oben und unten, Führungslager der Kontaktstifte etc.) öfter geölt werden. *i i* sind Isolationsstücke, die die Motoraxe von den Kontaktstiften isolieren, *ll* stromführende Drahtlitzen. Empfohlen sei hier ein nach Kohl an der Motoraxe anzubringendes Tachometer, welches durch einen Zeiger die jeweilige Zahl der Umdrehungen derselben anzeigt.

Die Konstruktionen mit hin- und hergehenden Teilen scheinen eine immerhin noch enge Grenze der

Frequenz (30 bis 50 per Sek.) zu finden, so dass ihnen die mit rein rotierender Bewegung, wie bei dem von Hofmeister, überlegen sind. Ein eigenartiges Unterbrechungsprinzip mit rotierender Bewegung hat der Turbinen-Unterbrecher der Allg. Elektrizitäts-Gesellschaft (Topfunterbrecher, von Boas, Fig. 30), welcher als erster eine so hohe Frequenz der Unterbrechungen ermöglicht, dass er die direkte Benutzung höherer

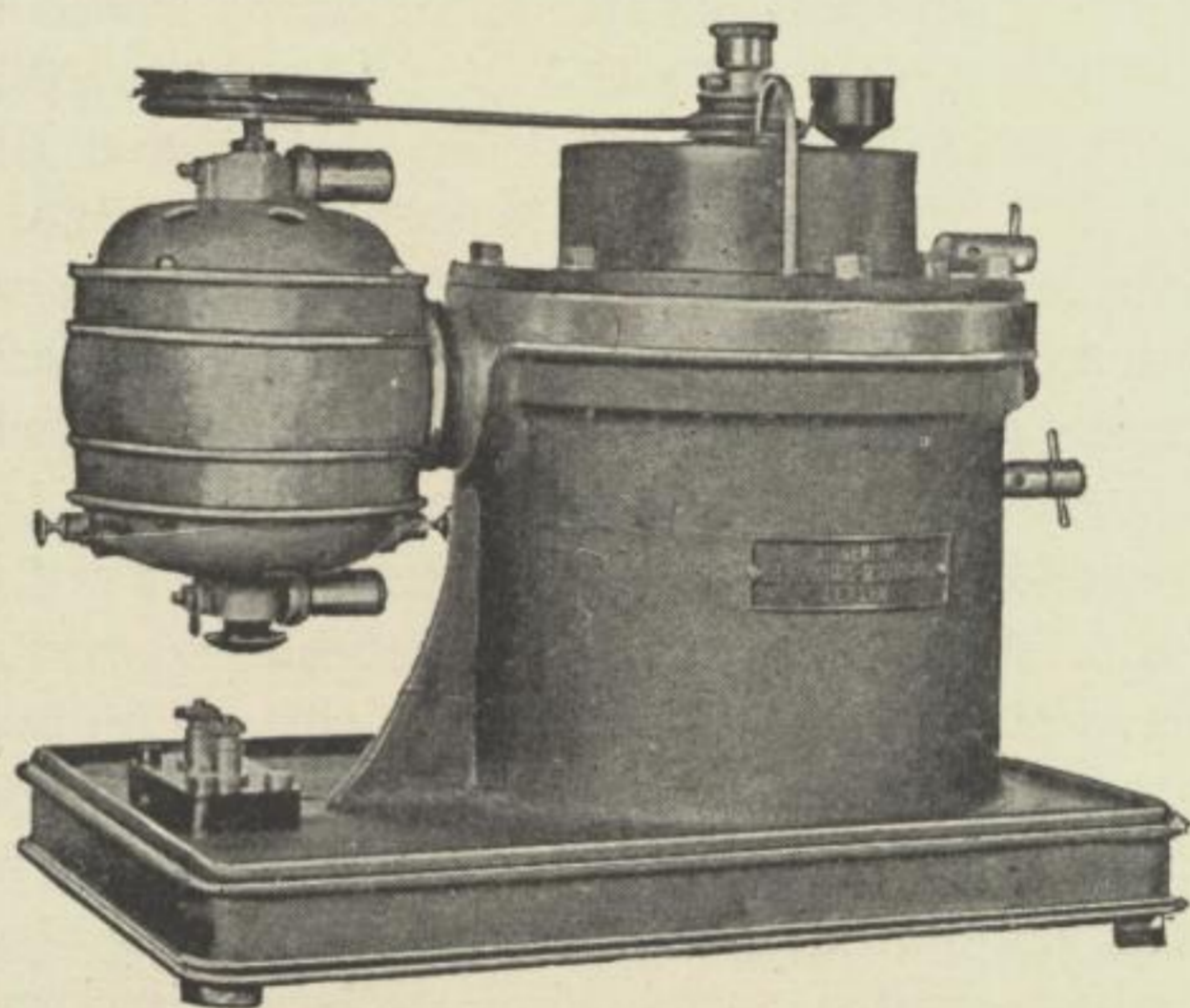


Fig. 30.

Turbinenunterbrecher der Allg. Elektr.-Ges., von Boas.

Spannungen (110 Volt) auch für kleinere Induktoren gestattet. Ein rechtwinklig gebogenes Metallrohr taucht mit seinem vertikal stehenden Teile in Quecksilber, das mit einer schlechtleitenden Flüssigkeit so hoch bedeckt ist, dass auch der horizontale Teil sich innerhalb dieser Flüssigkeit befindet. Wird das Rohr in schnelle Rotation um seinen vertikalen Schenkel versetzt, so wird das Quecksilber durch die Centrifugalkraft angesaugt und aus dem horizontalen Schenkel in Form eines kräftigen Strahles herausgeschleudert. Umgibt man eine

solche Turbine mit einem mit Aussparungen versehenen Metallringe, so wird der Quecksilberstrahl abwechselnd auf den Metallring auftreffen und durch die Aussparung hindurchspritzen. Wenn der Ring und das in schnelle Drehung versetzte Metallrohr in den Primärstromkreis eines Induktors eingeschaltet werden, so wird der Strom geschlossen, sobald der Quecksilberstrahl auf den Metallring trifft, und geöffnet, sobald der Strahl durch eine Aussparung hindurchspritzt. Je nach der Zahl der Umdrehungen der Turbine und der Zahl der Aussparungen in dem konzentrischen Ringe lässt sich die Anzahl der Unterbrechungen mit Leichtigkeit zwischen 10 und 1500 pro Sekunde variieren. Für Beobachtungen am Fluoreszenzschirme eignet sich am besten eine Unterbrechungszahl von 100 pro Sekunde (6000 pro Minute), während höhere Unterbrechungszahlen bei Versuchen mit Teslaströmen, Hertz'schen Schwingungen, zur Ozonerzeugung und für ähnliche Arbeiten von Nutzen sind.

Der bei den sonstigen Unterbrechern auftretende Lärm ist durch ein gleichmässiges Summen ersetzt. Von Funkenbildung ist nichts zu bemerken, ebenso ist das Herausspritzen von Quecksilber oder Alkohol ausgeschlossen. Bei täglich mehrstündigem forciertem Betriebe erfordert der Unterbrecher etwa einmal monatlich eine gründliche Reinigung, die nach Abnehmen des Deckels einfach durch Ausspülen mit Wasser bewirkt wird. Im übrigen bedarf er keiner Wartung. Zur Füllung des Unterbrechers sind 140 ccm (ca. 1800 g) Quecksilber und ca. 1300 ccm Alkohol (nicht denaturiert) erforderlich. Der Apparat wird in der Regel so ausgeführt, dass bei normaler Tourenzahl ungefähr 100 Unterbrechungen pro Sekunde stattfinden. Werden mehr Unterbrechungen gewünscht, so ist der innere Segmentring gegen einen

anderen auszuwechseln, der entsprechend mehr Einschnitte besitzt.

Die Einschnitte des Segmentringes sind in der Regel so dimensioniert, dass die Dauer des Stromschlusses gleich der Dauer der Stromöffnung ist. Für manche Induktoren ist es bei niedriger Betriebsspannung notwendig, die Dauer des Stromschlusses länger zu wählen wie die Dauer der Stromöffnung; für solche Fälle werden Ringe geliefert, bei denen die Segmente breiter sind als die Aussparungen. Bei Bestellungen ist die Angabe der Grösse und Herkunft des Induktors, der zur Verfügung stehenden Spannung, sowie der bisher gebrauchten und der in Zukunft gewünschten Unterbrechungszahl zu machen.

Die Elektromotoren für den Unterbrecher werden für die Spannungen 32, 65, 110 und 220 Volt geliefert. Die Motoraxe steht mit der Turbinenaxe durch Transmission in Verbindung.

Noch überraschender in Bezug auf Prinzip und Wirkung ist der kürzlich von Dr. Wehnelt veröffentlichte elektrolytische Stromunterbrecher. Er gründet sich auf die im Kap. 1 berichteten Polarisationserscheinungen in einer Zersetzungszelle, deren eine Elektrode recht klein ist (Fig. 11 und 31). In einem Gefässe (*a*) mit Schwefelsäure von 20—25° Bé. steht als Kathode eine Bleiplatte (*b*), dieser gegenüber als Anode eine Platinspitze (*c*), welche in eine Glasröhre (*d*), eingeschmolzen ist, so dass sie nur wenige Millimeter daraus in die Flüssigkeit hervorragt, während in der Glasröhre sich Quecksilber befindet zur Zu- leitung des Stromes. Wird diese Zelle in den Stromkreis eines Induktors eingeschaltet, so tritt schon bei Anwendung geringer Spannung an der aktiven Elektrode die Leuchterscheinung auf, und zugleich zeigt sich am Induktor zwischen Kathodenplatte und Anoden-

spitze ein Funkenstrom, der bei 80—90 Volt und ca. 3 Amp. in einen Gleichstromlichtbogen übergeht, welcher ein pfeifend hohes Geräusch von sich giebt von einer Tonhöhe, welche 1000 Schwingungen entspricht. Die Unterbrechungen sind so exakt, dass der Kondensator am Induktorium vollständig überflüssig, ja sogar hinderlich ist in sofern, als das Phänomen der Stromunterbrechung schon bei viel geringerer Betriebsspannung auftritt, wenn eine gewisse Selbstinduktion in dem Stromkreise vorhanden, als wenn dieselbe durch den Kondensator reduziert ist. Man schaltet daher diesen Unterbrecher ohne Kondensator an irgend einer Stelle der von der Batterie zu den Induktorklemmen führenden Leitung ein; bei den für Hammerunterbrechung mit festliegendem Kondensator eingerichteten kleineren Induktoren muss dann die Unterbrechungsstelle leitend geschlossen werden durch Andrücken des Hammers an die Stellenschraube oder besser durch Verbindung der beiden Stative (Hammer- und Schraubenstativ) durch einen Bügel, wodurch zugleich der Kondensator kurz geschlossen und unwirksam gemacht wird.

Die Stromstärke nimmt mit der Oberfläche der aktiven Elektrode (*c*) zu; damit sinkt zugleich die Unterbrechungsfrequenz. Die Zahl der Unterbrechungen steigt mit zunehmender Betriebsspannung; die niedrigste Spannung, bei welcher dieselben überhaupt auftreten, hängt von der Beschaffenheit der Elektroden, des Elektrolyten, der Grösse des Widerstandes und der Selbstinduktion ab, braucht aber unter Umständen nur 12 Volt zu betragen. Die

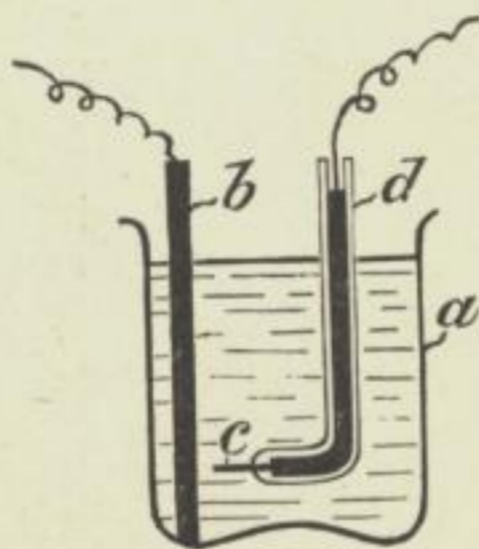


Fig. 31.
Wehnelts elektrolyt.
Unterbrecher.

Unterbrechungsfrequenz wurde stroboskopisch auf 200—1500 per Sek. gemessen, während sie darüber hinaus durch Vergleichung der Tonhöhe mit Stimmgabeln auf 1700 und mehr geschätzt wurde. Der geradezu erstaunlichen Leistung dieses Unterbrechers, welcher überdies als einziger auch einen Wechsel-

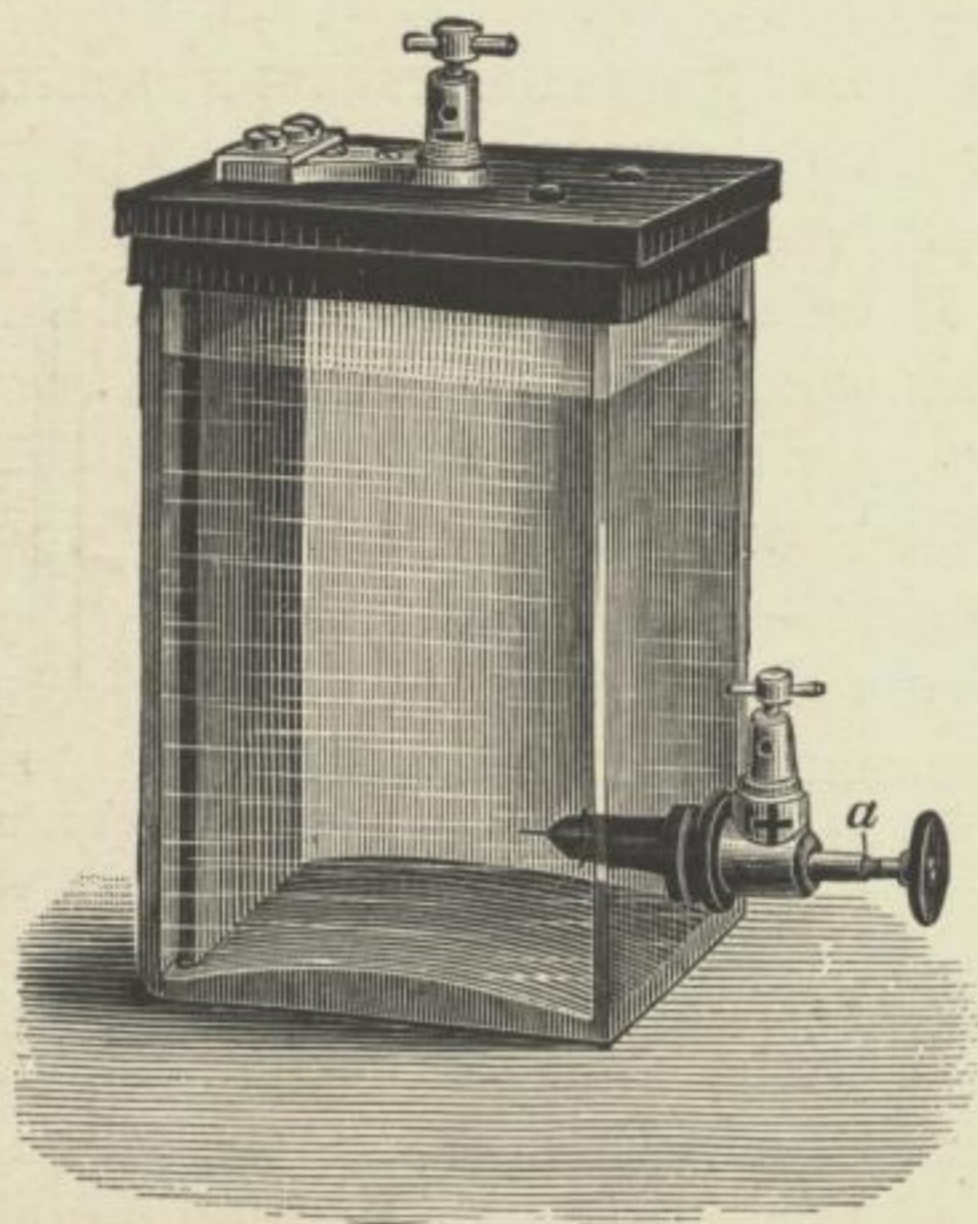


Fig. 32.

Erneckes elektrolytischer Unterbrecher nach Wehnelt,
mit regulierbarer positiver Elektrode.

strom anstelle des Gleichstroms für den Betrieb des Induktors zu pyknoskopischen Zwecken nutzbar macht, steht ein verhältnismässig billiger Anschaffungspreis gegenüber. Die Fabrikation hat Ferdinand Ernecke in Berlin. Die äussere Form des käuflichen, mit regulierbarer positiver Elektrode versehenen Unterbrechers zeigt Fig. 32.

Da für diesen Unterbrecher, wie schon erwähnt (vergl. Wehnelt, Elektrotechn. Zeitschrift vom 26. Jan.

1899 Heft 4) eine gewisse Selbstinduktion im Kreise nicht nur nicht schädlich, sondern sogar unbedingt erforderlich ist, so empfiehlt es sich noch für verschiedene Induktorien, hauptsächlich für solche, bei denen die primäre Spule eine verhältnismässig niedere Selbstinduktion hat, einen

Regulierwiderstand mit hoher Selbstinduktion vorzuschalten. Man erzielt mit diesem häufig gute Wirkungen bei Induktorien, bei denen diese sonst ausbleiben würden. Ernecke baut deshalb einen

Regulierwiderstand, bei dem auf hohe Selbstinduktion sowohl mit Bezug auf das Material als auch auf die Wickelung Bedacht genommen ist (Fig. 33). Derselbe ist ein Kurbelwiderstand, bei dem die Kurbel über 23 Kontaktknöpfe hin fortbewegt wird, so dass man von einer geringen Funkenlänge bis zur maximalen Wirkung des Induktors fortschreiten kann, und dessen letzte Drahtspiralen fast gar keinen Widerstand mehr bedeuten, aber durch Einführung von Eisenkernen stark induktiv gestaltet sind.

Zu bemerken ist, dass die Überlegenheit des neuen Unterbrechers über den Deprez-Unterbrecher und auch über die anderen schnellwirkenden Unterbrecher erst

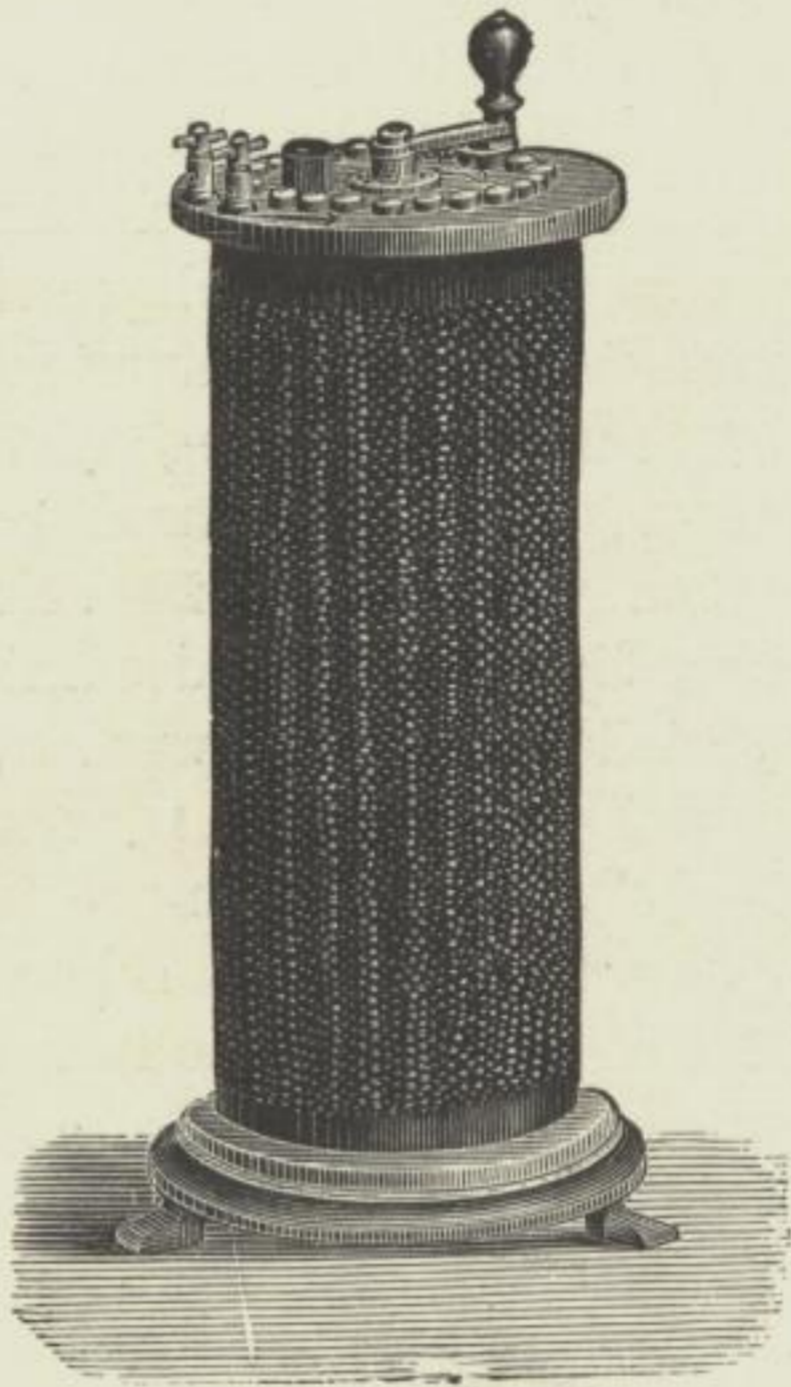


Fig. 33.

Ernecke's Regulierwiderstand mit hoher Selbstinduktion für den elektrolytischen Unterbrecher.

bei ca. 65 Volt beginnt, wie denn dieser Unterbrecher speziell für Spannungen von 75—110 Volt geeignet ist, wenigstens soweit es Versuche resp. Arbeiten mit Funkeninduktoren zum Zwecke der Erzeugung von Röntgen'schen Strahlen angeht. Dann aber ist die Überlegenheit der totalen Leistung eine ganz bedeutende, trotzdem die Funkenlänge sinkt. Für physikalische Demonstrationsversuche (in obigem Artikel angeführte hochinteressante Transformationsversuche) ist im allgemeinen eine Spannung von mindestens 30 Volt hinreichend; die eigentliche Unterbrechungserscheinung tritt allerdings bei recht niederem Widerstande und recht hoher Selbstinduktion schon bei ca. 12—20 Volt ein. Genauere Angaben über die Eigenheiten des Unterbrechers sowie besondere Vorteile desselben werden, wie uns der Fabrikant schreibt, in Wiedemanns Annalen dargelegt werden. Nach Wehnelt ist man im stande, bei Anwendung dieses Unterbrechers schon mit kleineren Induktoren dieselben Effekte, wie früher nur mit grösseren Apparaten zu erzielen. So gestattete z. B. ein 2 cm-Induktor mit einer Röhre, die für 12—15 cm bestimmt war, schon eine Durchleuchtung der Extremitäten eines Erwachsenen. Für grössere Induktoren würden die Röhren dauerhafter konstruiert werden müssen, da die Antikathoden sehr schnell bis zum Schmelzen erhitzt würden. Wir haben uns bei Betrieb mit 32 Volt, welche uns nur zur Verfügung stehen, von der spielend leichten Anwendung des sensationellen Unterbrechers überzeugt.

Bei dem Gebrauche der nicht vom Primärstrom selbst automatisch betriebenen Unterbrecher wird gewöhnlich erst das Interesse an der Schaltung des Kondensators zum Unterbrecher und zur Stromleitung im Sockel des Induktors aktuell, weshalb dieselbe

hier besprochen werden soll. In Fig. 17 ist der Kondensator parallel zur Primärspule geschaltet. Diese Schaltung gewährt den Vorteil, dass man an jeder beliebigen Stelle des Stromkreises ausserhalb der Spule die Unterbrechung anbringen kann, wenn man nur die bestehende zwischen Hammer und Schraube leitend überbrückt; sie hat aber den Nachteil, dass sie nicht erlaubt, den Kondensator durch Kurzschluss auszuschalten, da hierbei auch die Spule kurz geschlossen würde.

Die brauchbarste Einrichtung ist entschieden die, bei welcher der Kondensator vollständig isoliert liegt und mit Hilfe von eigenen Klemmen (Fig. 29) in jede gewünschte Schaltung gebracht werden kann; ein weiterer Wunsch, den wir allerdings noch nicht erfüllt gesehen haben, wäre die teilweise Ein- und Ausschaltung des Kondensators an jedem Induktor. Die gebräuchlichsten für Hammerunterbrechung bestimmten Induktoren (Fig. 25, 26) haben die feste Anordnung, welche in Fig. 34 schematisch dargestellt ist. Der Neefe'sche Hammer, der zwischen A und B unterbricht, kann an derselben Stelle mit dem Deprez'schen, an den entsprechend leitend verbundenen Stellen A_1 und B_1 , mit dem Foucault'schen Hammer ausgewechselt werden. In jedem Falle liegt der Kondensator $C C$ parallel zur Unterbrechungsstrecke (Funkenstrecke). $P P_1$ sind die Klemmen des Induktors, an welche die Stromquelle angeschlossen wird, während durch das liegende Kreuz (Stromschlüssel und Stromwender) angedeutet wird, dass die Fortsetzungen der Strombahnen von P und P_1 über W und W_1 , je nach der Lage des Stromwenders, vertauscht werden können.

Es ist klar, dass man bei dieser gegebenen festen Schaltung jede andere Unterbrechungsvorrichtung,

welche man anwenden will, z. B. Motorunterbrecher, zwischen *A* und *B* einschalten muss, wenn dabei der Kondensator zur Wirkung kommen soll. Wenn man

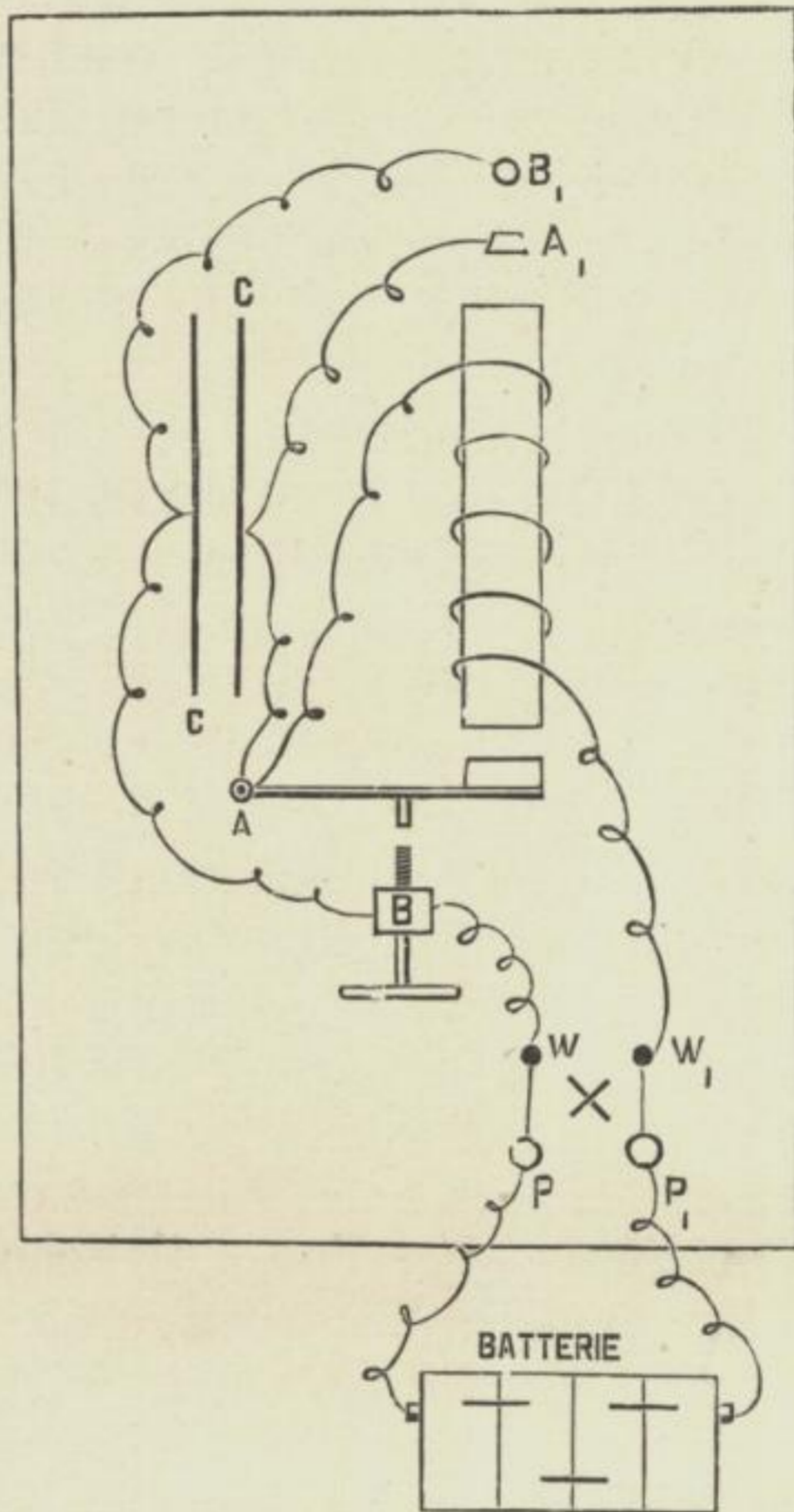


Fig. 34.

Leitung für den Primärstrom im Induktor, Kondensator parallel zur Funkenstrecke geschaltet.

dann in diesen Teil des Stromkreises zweckmässigerweise auch die andern hinter der Unterbrechung liegenden Teile, Batterie, Rheostat, Ampèremeter einfügt, so müssen wenigstens die beiden Induktor-

klemmen PP_1 durch einen Draht leitend verbunden und ausserdem der Stromschliesser umgelegt werden. Es ergibt sich nun auch, dass bei dem Rapidunterbrecher (Fig. 28) die Klemmen CC unberücksichtigt bleiben müssen, wenn der Unterbrecher an Induktoren mit festliegender Kondensatorschaltung wie in Fig. 34, 25, 26, in A und B statt in PP eingefügt wird.

Anders ist es bei Gebrauch des elektrolytischen Unterbrechers, bei dem die Wirkung des Kondensators ausgeschlossen werden soll. Er wird an irgend einer Stelle des Stromkreises ausserhalb PP eingeschaltet, während A und B leitend verbunden werden.

Zur Messung der Stromstärke schaltet man ein Ampèremeter dauernd in den primären Stromkreis ein. Dasselbe muss mindestens für die Stromstärken passend sein, welche in Rücksicht auf Batterie und Induktor verwendet werden dürfen, also mindestens bis 10 Amp.; es eignen sich ev. auch solche von einem Messbereich bis 20—30 Amp. Vorzuziehen sind die freilich recht teuren aperiodischen Ampèremeter, bei denen sich die durch den Strom abgelenkte Nadel schon beim ersten Ausschlag fest einstellt, ohne weitere Schwingungen auszuführen. Die Federampèremeter wie die dosenförmigen Messinstrumente werden zum Aufstellen oder zum Hinhängen geliefert. Dass das Ampèremeter bei frequenten Unterbrechungen nichts aussagt über die vor der Stromöffnung erreichte Stromstärke, ist schon erwähnt. Die Fabrikanten pflegten bisher die während der Thätigkeit des Unterbrechers am Zeiger abzulesende höchste Stromstärke anzugeben. Dass die Einhaltung dieser Angabe nicht für jedes Arrangement den Induktor vor Überanstrengung schützen kann, ist nach den früheren Ausführungen erklärlich. Wichtiger ist die Einfügung einer entsprechend gewählten Ab-

schmelzsicherung von Blei oder Stanniol in den primären Stromkreis (Fig. 35), welche sofort durchschmilzt, sowie durch Kurzschluss oder Kleben des Unterbrechers die Stromstärke einen höheren als den von der Sicherung vertragenen Wert erreicht. Das Abschmelzen giebt keine zur Induktionswirkung genügende rapide Unterbrechung, wenigstens haben wir in solchem Falle beim Kleben des Induktors den gefürchteten starken sekundären Oeffnungsschlag nie auftreten sehen.



ca. $\frac{1}{6}$ nat. Grösse.

Fig. 35.

Stanniolsicherung.

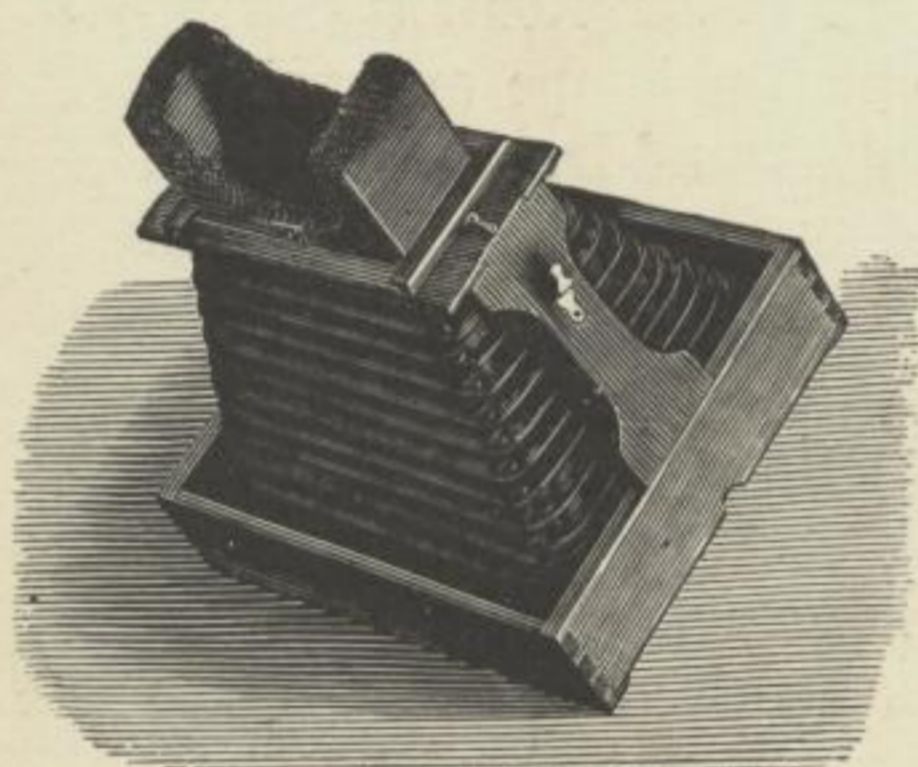
Die besten Chancen, den Induktor gegen Ueberanstrengungen zu schützen, gewähren die höheren Betriebsspannungen (110 Volt) unter dauernder Vorschaltung eines entsprechenden Ballastwiderstandes, welcher so bemessen ist, dass er die Oeffnungsstromstärke überhaupt über den höchsten nötigen Wert nicht anwachsen lässt (B. Walter). Dies ist insofern viel günstiger für Betrieb und Lebensdauer der Induktoren, als bei einer gewissen durchschnittlichen Unterbrechungsfrequenz von ca. 30 in der Sekunde diese höchste Stromstärke infolge der höheren Spannung immer erreicht wird, aber nie überschritten werden kann, während bei der geringeren Betriebsspannung mit einigen Akkumulatorenzellen, bei der zur Erzielung

der nötigen Stromstärke die Rheostaten ausgeschaltet werden müssen, jede Unterschreitung der Frequenz (Kleben des Unterbrechers, Versagen einer Unterbrechung durch Schwanken der Quecksilberoberfläche) stets Ueberschreitung der Oeffnungsstromstärke und damit über kurz oder lang eine Vernichtung des Induktors zur Folge haben muss.

Als kleiner Regulierwiderstand eignet sich ein Walzenrheostat von 1—2 Ohm. Zweckmässig bringt man in der Nähe des Induktors den Kontakt (Stromschlüssel) für eine elektrische Glühlampe an, um den nötigen Wechsel von Helligkeit und Dunkelheit beim Experimentieren mit dem Fluoreszenzschirme bequem auszuführen.

Der Leuchtschirm, welcher wenigstens 30×40 cm gross sein sollte, ist ein mit fluoreszenzfähiger Masse bestrichener Karton, welcher entweder in einem Rahmen aufgespannt oder für besondere Zwecke biegsam gelassen ist. Zur Einführung in Körperhöhlen, Ecken und Nischen dienen gelegentlich entsprechend zugeschnittene Streifen. Als Fluoreszenzmasse wird jetzt allgemein das gelbgrün leuchtende Baryumplatincyannür vorgezogen. Ferner sind der Reihe nach für den Leuchtschirm brauchbar: Calcium, -Magnesium, -Natrium, -Kaliumplatincyannür, Uranylfluoridfluorammonium, Urannitrat; weniger Schwefelstrontium mit Kupfer, Scheelit, wolframsaures Calcium (künstliches Scheelit), Schwefelcalcium mit Wismut, Flussspat. Die Brauchbarkeit der Schirme hängt auch ab von der Feinheit des Korns, der Dicke der Schicht und der Herkunft der Präparate. (Vergl. Arnold, Über Luminiscenz, Wied. Annalen 1897, 61.) Ein Schirm mit Schwefelzink phosphoresciert und lässt das Bild minutenlang nachleuchten. Scheelit und einige andere leuchten blau, eignen sich daher besser für die aktinische

Wirkung des Verstärkungsschirmes (s. u.), während die gelbleuchtenden für den Beobachtungsschirm geeigneter sind. Auf die lackierte Leuchtmasse kann man Pauspapier zum Nachzeichnen des Bildes auflegen. Ein festes Stativ für den Schirm wäre für diesen Fall wünschenswert, während man denselben sonst mit der Hand dirigiert. Zur Pyknoskopie im nicht verdunkelten Zimmer wird der Leuchtschirm mit einem kastenartigen Rahmengeräte verbunden, in



$\frac{1}{8}$ nat. Grösse.

Fig. 36.

Kryptoskop.

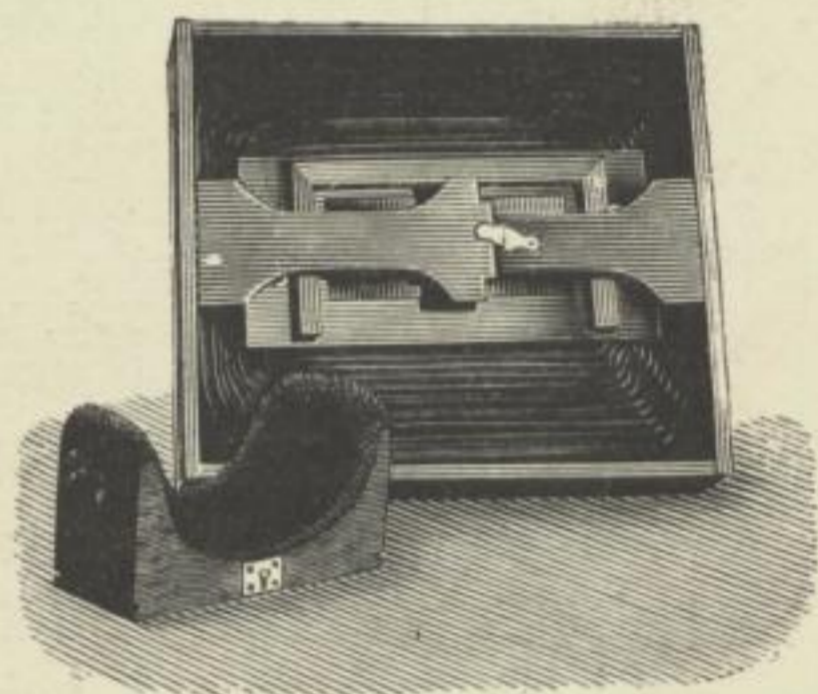


Fig. 37.

Kryptoskop, zusammengelegt.

dessen hintere Wand das Gesicht lichtdicht dem Leuchtschirme gegenüber angelegt werden kann (Kryptoskop, Fluoroskop, Fig. 36 und 37).

Eine kleine Fluoreszenzfläche ist zweckmässig bei der Untersuchung kleiner Körperteile oder dunkler Schattenbilder mit wenig Kontrast, da das Auge in der feineren Perzeption der Details beeinträchtigt wird durch die blendende Helle einer grossen, nicht beschatteten Schirmfläche.

Zur vollständigen Ausrüstung des pyknoskopischen Zimmers gehört noch ein Stativ für die Röhre und event. ein Lagerungstisch für die zu untersuchende

Person. Das Stativ ist am besten von Holz oder Hartgummi und muss die Röhre an einem ihrer Ansatzrohre sicher durch eine mit Kork oder Gummi gefütterte Klammer (Muffe) umgreifen und dieselbe nach allen Richtungen hin drehen und verschieben lassen können. Sehr gut bewähren sich unsere

Stative von Böhme - Dippoldiswalde (Fig. 38), zu beziehen durch F. Ernecke-Berlin. Be-

sondere Lagerungstische sind meist entbehrlich und lassen sich improvisieren. Zweckmässig sind für manche Fälle solche von Ernecke, wie in Fig. 39 dargestellt. Die mit

Röntgen'schen Strahlen direkt zu beobachtende oder zu photographierende Person ruht auf ganz dünnem (ca. 1 mm starkem), leicht strahlendurchlässigem Leder, welches straff auf einem Rahmen aufgezogen und zur Sicherheit mit 2 feinen, ebenfalls leicht strahlendurchlässigen Unterzügen aus Hanf versehen ist. Die ebenso hergestellte

Rückenlehne ist vermittelt zweier verschiebbaren Stützen in jede Lage verstellbar. Die Strahlenquelle kann eventuell unter dem Tische Platz finden. Die Herstellung des jeweiligen besten Arrangements bei



Fig. 38.

Röhrenstativ von Böhme.

einer liegenden, sitzenden oder stehenden Person muss natürlich je nach Art des Falles und der Verhältnisse der Urteilskraft des Experimentators überlassen bleiben.

Zur Abdeckung des störenden Phosphoreszenzlichtes der Röhrenwandungen, welches die Augen bei der Betrachtung des Schirmbildes stören würde, ferner

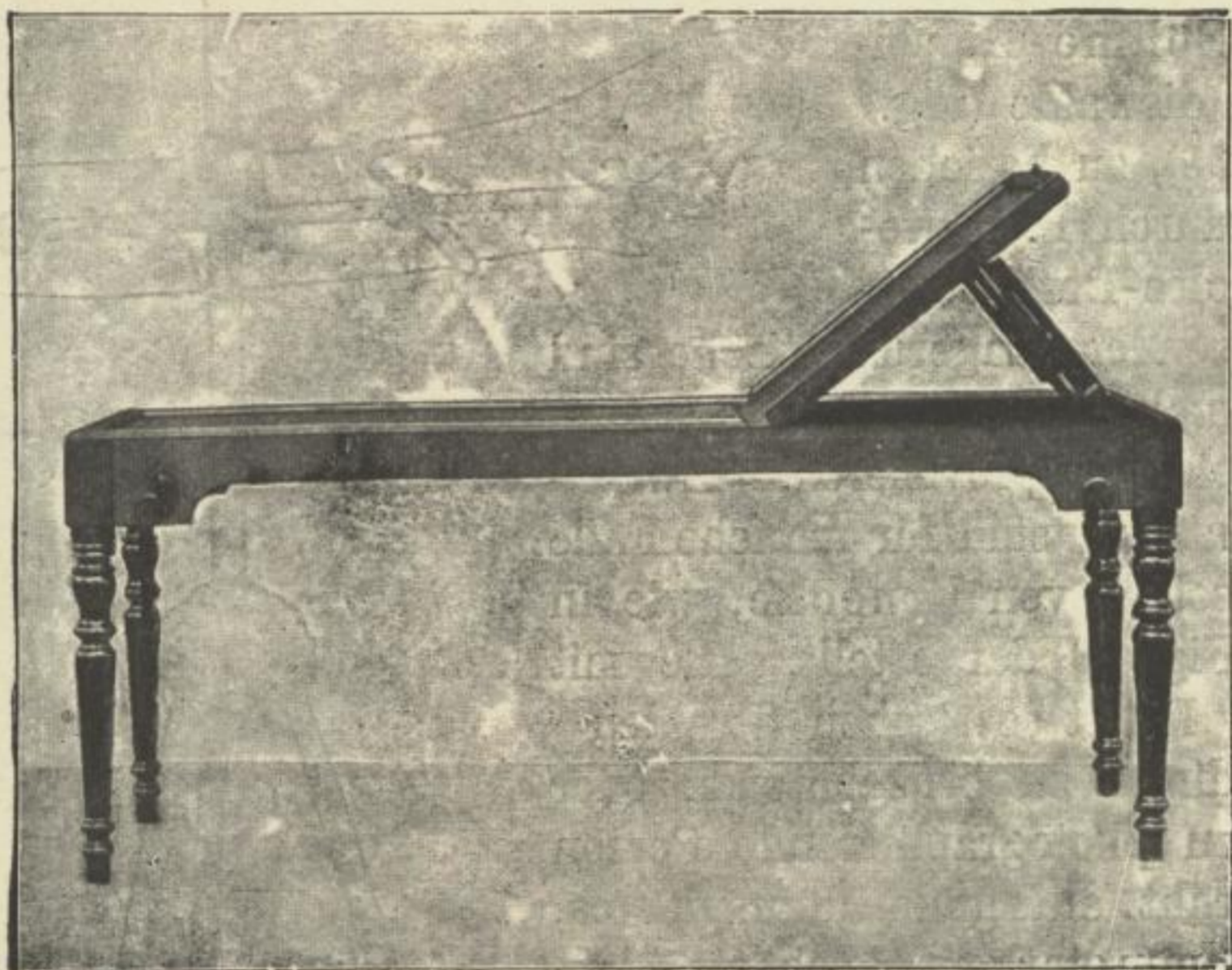


Fig. 39.

Durchleuchtungstisch.

zur Abschliessung der falschen Strahlungsherde der Röhre, welche die Schärfe des Bildes, und zur Verhinderung der an der Umgebung im ganzen Zimmer (Luft, Metallteile) durch Reflexion entstehenden, welche die Kraft des Bildes beeinträchtigen würden, sind logischer Weise cylinderförmige Umhüllungen der Röhre aus Bleiblech von mindestens 2 mm Stärke (Blei soll, abgesehen von seiner starken Absorptionskraft, Röntgen'sche Strahlen am wenigsten reflek-

tieren) angegeben, welche durch ein Loch nur den Fokusstrahlen den Durchgang gestatten. Unbedingt nötig ist diese Einrichtung nicht. Eine angemessene Entfernung der Bleiteile von der sekundären Stromleitung muss immer eingehalten werden. Walter empfahl auch eine grosse Bleikiste zur Umhüllung des Objektes; wir haben darüber keine Erfahrung.

Zur möglichsten Vermeidung von Verzerrungen und Missdeutungen des Projektionsbildes versäume vor allen Dingen der Anfänger nie, in jedem Falle die mathematischen Verhältnisse des Arrangements zu überlegen. Da die Strahlen divergierend von dem Fokus ausgehen und auf ihrem Wege durch den Raum der Reihe nach erst das Untersuchungsobjekt passieren, dann den Karton des Schirmes, dann die Schichtseite desselben, welcher das Auge des Untersuchers zugewendet ist, so ist es leicht einzusehen, dass die Divergenz der Strahlen, welche einen bestimmten Körper projizieren, viel grösser ist bei geringer Entfernung der Strahlenquelle als bei grösserer, und dass infolge dessen das Hintereinander der Details im Objekt ein ganz anderes Nebeneinander im Projektionsbilde ergibt bei geringer Distanz der Strahlenquelle als bei grosser.

Es können z. B. bei einer bestimmten festen Anordnung von Schirm und Objekt gelegentlich zwei Punkte desselben, von denen einer der Strahlenquelle näher liegt, und welche sich bei weiter Distanz der Röhre in bestimmter Richtung und Reihenfolge nebeneinander projizieren, bei Annäherung der Röhre auf dem Bilde zur Deckung kommen, bei weiterer Annäherung aber in umgekehrter Reihenfolge nebeneinander projiziert werden.

Als senkrecht zur Schirmfläche hintereinanderliegend dürfen daher zwei im Schirmbilde zur Deckung

gebrachte Details nur dann gelten, wenn auf der gemeinschaftlichen Senkrechten auch die Strahlenquelle liegt. Ist dies der Fall, so decken sich die beiden Punkte im Schirmbilde immer, mag man nun den Schirm senkrecht zu der Richtung des betreffenden Strahlenbündels halten oder nicht; durch schräge Haltung des Schirmes wird nicht die Ordnung, sondern die Form der Details geändert, so dass z. B. eine bei senkrechter Schirmhaltung kreisrunde Kontur durch schräge Haltung zu einem grösseren Oval ausgezogen wird. Auf einem grösseren Schirme muss man in dieser Beziehung etwas Verzeichnung in Kauf nehmen, da die Distanz der Strahlenquelle wegen Abnahme der Intensität praktisch nicht gut über ein Meter ausgedehnt werden kann und wegen der hier noch immer merklichen Divergenz der Strahlen nur ein bestimmter Teil der Bildfläche senkrecht zur Strahlenrichtung steht; doch soll man sich bei der Untersuchung gewöhnen, den Schirm so zu dirigieren, dass gerade immer das fixierte Detail diesen Teil einnimmt. Es könnte sonst z. B. ein normal gekrümmter Knochen, besonders wenn er auf dem Schirme (oder der photographischen Platte) „hohl“ liegt, leicht eine überraschende pathologische Kurvatur vortäuschen. Das Objekt soll der Rückseite des Schirms möglichst dicht anliegen. Zum aufmerksamen und gründlichen Studium des Schirmbildes gönne man sich Zeit und Ruhe, namentlich auch körperliche durch einen guten Stand oder Sitz, da körperliche Abspannung die bei der Untersuchung schon so vielseitig beanspruchte Aufmerksamkeit und Sammlung erst recht beeinträchtigt.

Als pyknoskopisches Zimmer wähle man ein nicht zu kleines, trockenes und heizbares Zimmer, welches leicht durch dicht schliessende Läden oder Fenster-

vorhänge in ein Dunkelzimmer verwandelt werden kann, und möglichst in der Nähe des chirurgischen Operationszimmers liegt. Am besten gelingen die Untersuchungen in recht warmer, trockener Luft, während der kalten Monate im überheizten Zimmer.

Besonders trockene Aufstellung erfordert die Akkumulatorenbatterie. Zweckmässig stellt man diese auf einen ihrem erheblichen Gewicht gewachsenen festen Tisch, welcher hinter dem Induktortische steht und bequemen Zugang zur Prüfung der Flüssigkeitshöhe (durch Ableuchten) und zum Nachfüllen gestattet. Die Holzkästen, in welchen die Zellen stehen, stellt man auf gläserne Füße. Als Polklemmen wähle man nur Einsteckklemmen, keine gewöhnlichen Klemmschrauben, in denen sich die Drähte leicht lockern. Der Induktortisch mag beweglich und mit Rollen versehen sein.

Was nun die Schaltung der verschiedenen vom Strome zu durchlaufenden Apparate betrifft, so kann dem Anfänger nicht genug empfohlen werden, sich darum von Anfang an selbst zu kümmern und sich ganz damit vertraut zu machen, um jede kleine Störung unabhängig vom Mechaniker selbst beurteilen und beseitigen zu können. Alles, was zum Verständnis von Konstruktion und Zweck der Apparate nötig ist, wurde in den einleitenden Kapiteln behandelt, so dass die Schaltung sich eigentlich von selbst ergibt. Indes macht die Schaltung dem Anfänger manchmal dadurch Schwierigkeiten, dass die Stromleitung in den käuflichen Apparaten zwischen den Polklemmen meist den Augen entzogen und nicht ohne weiteres verständlich ist. So wäre es z. B. oft bequemer, wenn ein Regulier-Rheostat nur 2 Polklemmen hätte statt 4, von denen man die beiden entbehrlichen erst ermitteln muss. So sind auch die mit Rheostaten und verborgenen Lei-

tungen fest montierten Batterien der technischen Selbstständigkeit des Anfängers nicht förderlich; ferner ist z. B. der richtige Anschluss der modernen Quecksilbermotorunterbrecher von wechselnder Konstruktion nicht immer leicht ersichtlich. Getrennte und leicht demontierbare Apparate, offene oder deutlich markierte Leitungen sind immer da vorzuziehen, wo es nicht gerade auf bequeme Transportabilität in erster Linie ankommt. In jedem Falle erbitte man sich zur Vermeidung von Missverständnissen und Fehlern eine Skizze über Konstruktion und Schaltung der Apparate von ihrem Fabrikanten, sowie auch Angaben über ihren Betrieb in Bezug auf Spannung und Stromstärke.

Der technisch Erfahrene und physikalisch Gebildete wird natürlich sich nicht an kategorische Imperative binden, sondern je nach vorhandenen Verhältnissen, Zweckmässigkeit und Bequemlichkeit seine Anschlüsse selbständig wählen. Wir verzichten daher auf die Wiedergabe eines komplizierteren Schaltbrettes, wie wir es uns selbst eingerichtet haben, durch welches in bequemer Weise die Benutzung und Schaltung einer Batterie von 32 Volt für die verschiedensten ärztlichen und häuslichen Zwecke, nämlich für zwei Induktorien, Motorunterbrecher und chirurgischen Motor, Endoskopie, Kaustik, Zimmer-, Treppen-, Dunkelkammerlicht sowie verschiedene Schwachstromzwecke (Galvanisation und Elektrolyse, Hausteleskop und Wecker) bequem vermittelt wird. Wer dasselbe versteht, wird es auch leicht selbst konstruieren können. Hier kommen nur Angaben für den pyknoskopischen Betrieb des Neulings in Betracht, und zwar unter Annahme einer aus Akkumulatoren gewonnenen, für den Induktor passenden Betriebsspannung (16—32 Volt).

Es sind von den Polklemmen der Batterie mindestens zwei gesonderte Stromkreise abzuzweigen: einer für den Induktor mit den Apparaten zum Messen, Regulieren und Sichern, einer für das Voltmeter, s. Fig. 40; ausserdem empfiehlt sich ein dritter für das Glühlämpchen, s. Fig. 41 und 50; für jedes fernere Lämpchen ist ein neuer Stromkreis (Nebenschluss) nötig (Fig. 50). Diese drei Stromkreise sind also parallel geschaltet, in dem ersten sind Induktor,

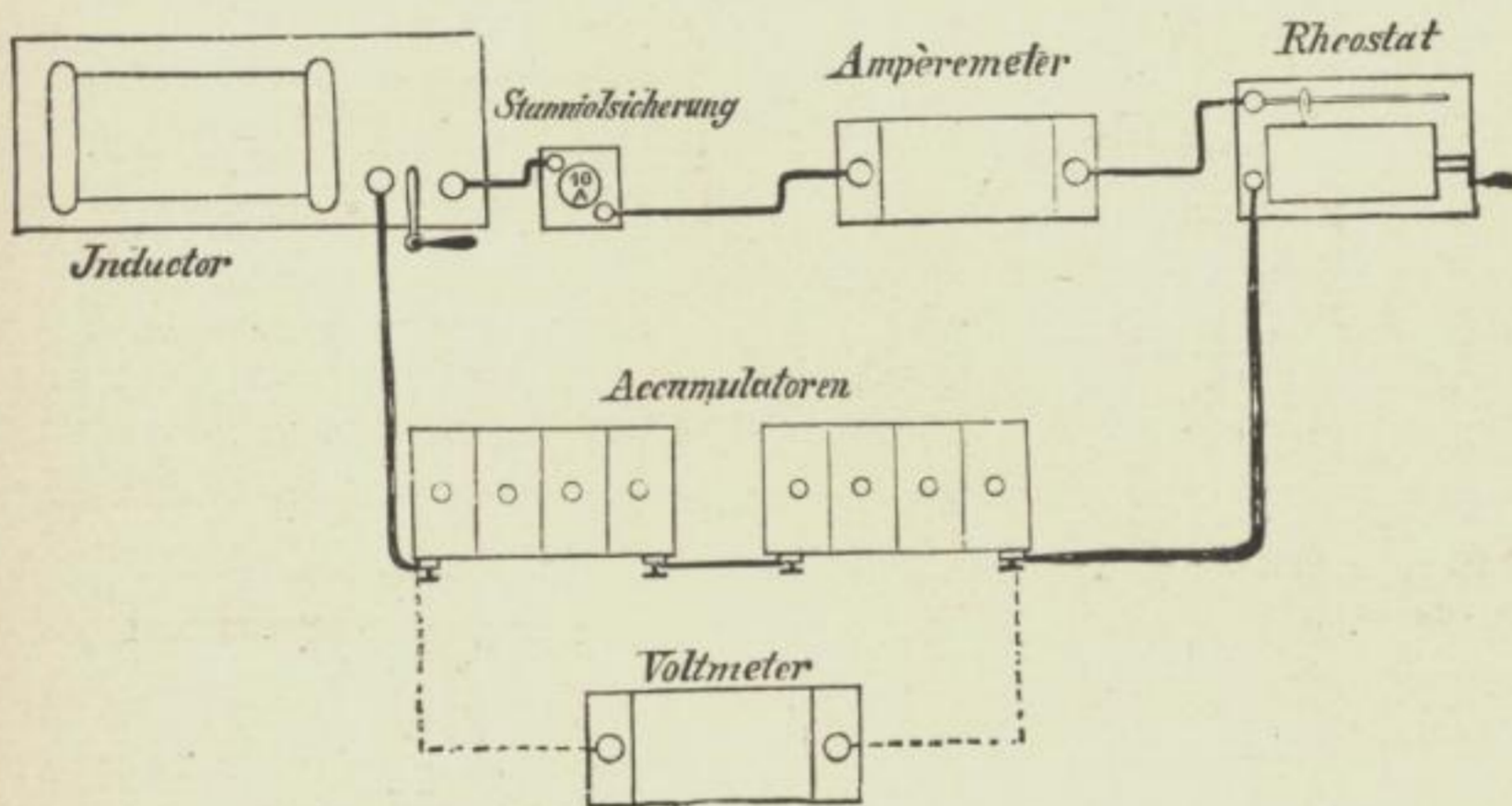


Fig. 40.
Schaltskizze.

Stanniolsicherung, Ampèremeter und Rheostat hintereinandergeschaltet. In jedem Stromkreise befindet sich an irgend einer leicht erreichbaren Stelle ein Kontakt (Stromschlüssel, Ausschalter, Schalthebel), um den Strom mit einem Griffe zu schliessen oder zu öffnen. Die Sicherung kann in dem Ausschalter selbst enthalten sein. Zur Vermeidung überflüssiger Drähte werden wir die beiden von den Polen kommenden als verlängerte Polklemmen für jeden der drei Stromkreise, soweit es angeht, gemeinsam benutzen, etwa wie nach Fig. 41.

Von einem Pole des Akkumulators, sagen wir vom positiven, führt ein starkes, gut isoliertes Leitungskabel zu der einen Klemme des Stromschliessers des

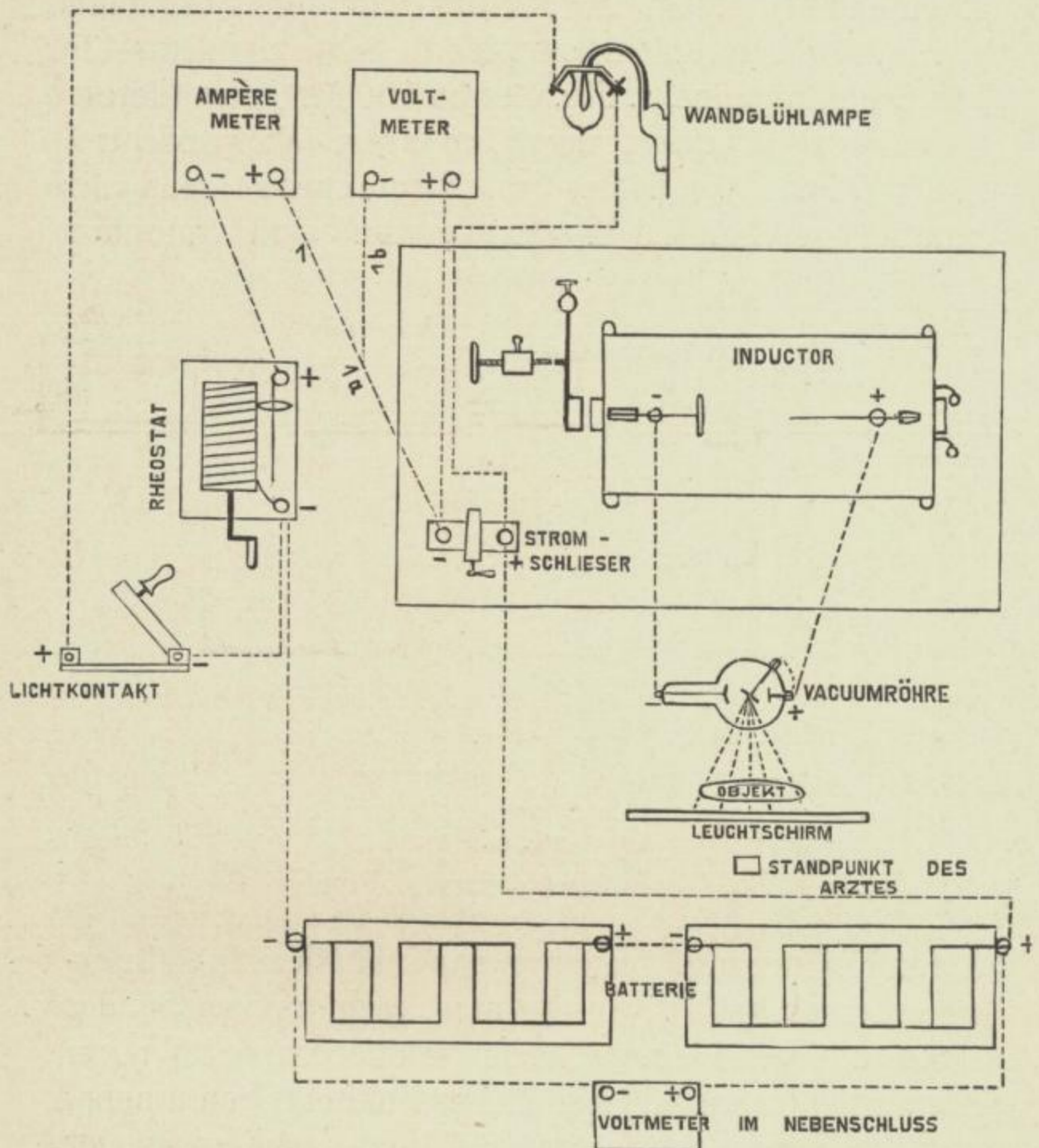


Fig. 41.

Schaltskizze.

Induktors. Dieser Stromschliesser ist zugleich Stromwender und funktioniert nach Fertigstellung der Stromleitung so, dass bei (vertikaler) Mittelstellung seines Hebelgriffes die Zuleitung des Batteriestromes zum

Induktor unterbrochen ist, durch Umlegen des Griffes nach der einen oder anderen Seite der Strom in der einen oder der umgekehrten Richtung durch den Induktor hindurchgeschickt wird, wobei der selbstthätige Unterbrecher (Hammer) in Thätigkeit tritt. Zwischen den beiden Polklemmen des Stromschliessers liegt also im Innern des Induktors die ganze primäre Strombahn desselben eingeschaltet. Das andere Leitungskabel vom negativen Pole der Batterie würde man direkt zu der anderen Polklemme des Stromschliessers führen, wenn man sicher wäre, dass der Strom nicht zu stark, Batterie und Induktor nicht gefährdet wären. Wir müssen es aber, zumal bei Verwendung von Akkumulatoren, unbedingt vorziehen, zur Messung und Regulierung der Stromstärke zwischen Batterie- und Induktorpol den Rheostat und das Ampèremeter einzuschalten. Wir führen daher das zweite Leitungskabel zunächst zu der nächstliegenden Polklemme des Rheostaten, welcher neben dem Induktor auf dem Tische sich befindet. Von der anderen Klemme des Rheostaten führen wir einen starken Draht zu einer Klemme des Ampèremeters, von der anderen Klemme des Ampèremeters einen solchen zu der noch freien Polklemme des Stromschliessers am Induktor. Damit ist der erste Stromkreis geschlossen. Die Stanniolsicherung kann an irgend einer Stelle desselben eingefügt werden, etwa zwischen Ampèremeter und der letzten Induktorklemme. Mit dieser Klemme des Stromschliessers ist auch zur zeitweiligen Bildung des dritten Stromkreises für das Voltmeter eine Klemme des Voltmeters dauernd durch einen Draht verbunden, welcher bei der vorher angegebenen Schaltung stromlos ist, da während der Thätigkeit des Induktors das Voltmeter ausgeschaltet bleiben soll. Will man die Spannung des Akkumulators messen, so nimmt man

den vom Ampèremeter kommenden Draht (Lage 1a) aus der Klemme des Stromschliessers am Induktor heraus und legt ihn dafür in die freie Klemme des Voltmeters (Lage 1 b), wobei die Thätigkeit des Unterbrechers am Induktor (Hammer u. s. w.) durch Festlegung des Kontaktes zu verhindern ist, indem man etwa durch ein zwischen den Anker (Hammerkopf) und Magnet eingeklemmtes Pappstückchen den Federkontakt gegen die Stellschraube drückt. Legt man jetzt den Hebel des Stromschliessers um, so schlägt das Voltmeter aus, nicht aber oder kaum merklich das Ampèremeter, weil wegen des grossen Widerstandes im Voltmeter der den Kreis durchfliessende Strom für dessen Messbereich zu klein ist. So benutzen wir bequem den ersten Stromkreis vorübergehend gleich als dritten, müssen aber zum Betrieb des Induktors das erste Arrangement wiederherstellen. Besser wird man freilich für das Voltmeter einen besonderen zweiten temporären Nebenschluss zwischen den Polklemmen des Akkumulators anlegen, wie in Fig. 40 und 41 unten angegeben ist, und zwar mit Ausschalter, wenn man nicht immer die Polklemmen lösen will.

Die elektrische Glühlampe befindet sich über dem Induktortische auf einem Stativ oder an der Wand. Die Zuleitung als dritter Stromkreis geht entweder in besonderen Drähten von den Polklemmen des Akkumulators aus, oder man benutzt die Leitungskabel desselben bis zur ersten Klemme des Induktors und des Rheostaten und führt erst von diesen beiden Punkten eine besondere Lichtleitung zur Lampe unter Einschaltung eines Kontakts, welcher etwa am Induktortische angebracht wird. Stromschliesser, Rheostat und Lichtkontakt müssen nahe bei einander und leicht erreichbar sein, da sie bei jeder Durchleuchtung fortwährend den Assistenten beschäftigen, während

der Untersuchende mit dem Schirme und dem Objekt zu thun hat.

Fig. 42 zeigt eine Glühlampe mit Tischstativ und Ausschalter an der Edisonfassung. Die Montierung mit einfachem Edisongewinde versteht sich für den Neuling aus der Betrachtung der Teile von selbst.

Dass für den Antrieb eines Motorunterbrechers am besten eine gesonderte Stromquelle (beim Rapidunterbrecher also drei Zellen an die Klemmen *M M* anzuschliessen) von einer bestimmten Spannung benutzt wird, ist schon erwähnt. Verfügt man aber nicht über eine solche, so muss man von der den Induktor speisenden Batterie einen vierten Parallelstromkreis für den Motor abzweigen, falls die Typen gross genug sind, um diese höhere Be-

anspruchung (ca. 1 Ampère) zu vertragen. Um nicht einen zu grossen Widerstand einschalten zu müssen, legt man diesen Stromkreis nicht an die ganze Batterie an, sondern nur an soviel Zellen, als der benötigten Spannung entsprechen.

Auf der Induktorrolle sind an Stativen die Polklemmen des sekundären Induktionsstromes angebracht, welche man zur Sicherung immer mit den S. 73 erwähnten Metallektroden armiert lässt. Sie dienen zur Aufnahme der zu der Vakuumröhre führenden dünnen Drähte.



ca. $\frac{1}{6}$ nat. Grösse.

Fig. 42.

Tischglühlampe mit Ausschalter.

Welche von beiden Polklemmen Kathode ist, in welche sowohl die Kathodenplatte als auch der zur Kathode der Röhre führende Draht befestigt wird, hängt davon ab, nach welcher Seite man den Stromschliesser als Stromwender umlegt. Man sucht also festzustellen, nach welcher Seite man den Hebel umlegen muss, um bei der einmal festgelegten Schaltung der primären Leitungen und der sekundären Metall-
elektroden die längsten Entladungsfunken zu erzielen. Ist dies z. B. beim Umlegen des Hebels nach rechts der Fall, so ist die Kathodenplatte bei dieser Hebelstellung am richtigen Platze; man verbindet dann erst ihre Klemme mit der Kathode der Glasbirne, die andere Klemme als Anode mit der Anoden- und Antikathodenöse der Glasbirne, und legt dann immer künftig beim Gebrauche nach rechts um. Hat man versehentlich die Birne falsch verbunden, was man an der mangelnden Phosphorescenz des Glases erkennt, so muss man sofort durch Hochstellung des Hebels den Strom unterbrechen oder durch entgegengesetztes Umlegen wenden.

Es sei daran erinnert, dass beim Beginn des Experimentes der Regulierwiderstand ganz eingeschaltet sein soll, dass, wenn beim Stromschluss der automatische Unterbrecher (Hammer) nicht sofort schnurrt, er angestossen und reguliert werden muss, und erst, wenn seine Thätigkeit tadellos vor sich geht, der Widerstand allmählich nach Bedürfnis ausgeschaltet werden darf.

Wegen der Dicke der zu verwendenden Leitungsdrähte sei auf die Tabelle S. 37 verwiesen. Man vergesse nicht, dass bei der Verzweigung des Stromes in verschiedene Stromkreise die etwa gemeinschaftlichen, den Polen zunächst liegenden Drahtabschnitte eine Stromstärke führen, welche sich aus der Summe

der in den einzelnen Zweigen wirksamen Stromstärke ergibt. Für die Verbindung der Röhre mit den sekundären Induktorklemmen genügen die feinsten Drähte, doch hantiert es sich besser mit stärkeren Guttaperchadrähten. Wir führen dieselben von den Klemmen des Induktors über eine in Manneshöhe über den Apparaten angebrachte und durch übergeschobene Glaszylinder isolierte Stange, von denen sie herunterhängend leicht und sicher aufgehoben und bequem zu erreichen sind. Der Strombedarf der Glühlampen ist je nach der gewählten Kerzenstärke verschieden und an denselben angegeben, durchschnittlich 1 Amp. Für die Lichtleitung wie für die stärkeren Batteriekabel ist gute Guttapercha-Umhüllung notwendig.



8. Kapitel.

Winke für die Pyknographie.

Die chemische Einwirkung der Röntgen'schen Strahlen auf die lichtempfindliche Bromsilbergelatineschicht der photographischen Trockenplatten ist analog der des Lichtes eine Zersetzung des Bromsilbers in Subbromid und Brom im Verhältnis der auf die einzelnen Stellen der Platte einwirkenden Lichtmenge, d. h. Lichtstärke und Dauer der Einwirkung. Diese chemische „Anregung“ wird erst zur optischen Wahrnehmung gebracht durch künstliche Fortführung der Zersetzung mittels einer sogenannten Entwicklerflüssigkeit, welche das Subbromid zu schwarzem metallischen Silber reduziert, während es das nicht angeregte (unbelichtete) Bromsilber weiss lässt. Die Einzelheiten der Entwicklung sind die-

selben wie bei der gewöhnlichen Photographie, auf deren Lehrbücher wir den Anfänger verweisen wollen. (Pizzighelli, Anleitung zur Photographie, 3 Mk.; Praktikum der wissenschaftlichen Photographie von Kaiserling, 8 Mark.) Trotzdem kommen manche Eigentümlichkeiten der Pyknographie in Betracht, die nachher erwähnt werden sollen. Die Uebung und Erfahrung, welche die gewöhnliche Landschafts- und Porträt-Photographie mit der Kamera in der Bearbeitung der Platten und Bilder verschafft, kommen dem pyknographierenden Arzte in hohem Masse zu gute, und es soll daher die Kamera, abgesehen von ihrer gelegentlichen Verwendung im ärztlichen Dienste, dem Pyknographen dringend empfohlen werden. Für die Pyknographie selbst brauchen wir — selbst bei Aerzten begegneten wir hierüber Unklarheiten — absolut keine Kamera, da hier die Platte kein Linsenbild, sondern ein Schattenbild empfangen soll. Die Platte wird einfach vor dem Gebrauche im Dunkelzimmer mit einigen Lagen schwarzen Nadelpapieres, wie es bei jedem Photographen zu haben ist, lichtdicht umwickelt und zum Zwecke der Pyknographie so auf der der Vakuumröhre abgewandten Seite des Objektes an Stelle des Fluoreszenzschirmes fixiert, dass die Schichtseite der Strahlenquelle zugewandt ist und man sich durch die Platte hindurch mittels des Fluoreszenzschirmes überzeugen kann, was auf die Platte kommt. Nach einer unten zu besprechenden genügenden Zeit der Einwirkung der Röntgen'schen Strahlen auf die Platte (Belichtungszeit, Expositionszeit) wird die Platte wie eine mit der Kamera belichtete bearbeitet und verwertet. Dem Anfänger sei hierüber das Wichtigste kurz angegeben.

Die Trockenplatten kauft man in verschiedenen bestimmten Grössen von 6 : 9, 9 : 12, 13 : 18, 18 : 24,

24:30, 30:40 cm und grösser zu 3—12 Stück in lichtdichten Pappkästen. Die Platten dürfen nur bei rubinrotem Licht, welches die geringste chemische Wirkung hat, von ihrer lichtdichten Umhüllung befreit, gesehen, umgepackt und entwickelt werden. Die Aufbewahrung der Trockenplatten in einem Hause, in welchem Pyknoskopie getrieben wird, erfordert aber noch besondere Vorsicht, da selbst durch dicke Wände und selbstverständlich durch die Pappverpackung hindurch bei genügend langer Einwirkung Röntgen'sche Strahlen die Platten zur chemischen Anregung bringen. Natürlich darf man im pyknoskopischen Zimmer nirgends auch nur auf Augenblicke eine eingewickelte Platte während der Thätigkeit des Apparates dulden, ausser für die Zeit der Aufnahme an dem dafür bestimmten Orte hinter dem Objekte. Das für die Aufbewahrung und Bearbeitung der Platten bestimmte Zimmer muss daher nicht nur vollständig dunkel, sondern auch von dem pyknoskopischen Zimmer möglichst weit entfernt und womöglich nach der Anodenseite desselben (unter dem Horizonte der Antikathode) gelegen sein. Andernfalls ist die Aufbewahrung der Platten in Bleikisten rationell, sonst „verschleiern“ dieselben. Beim Hantieren mit den unfertigen Platten darf in das Dunkelzimmer auch nicht das geringste Tages- oder Lampenlicht von aussen (Schlüsselloch!) eindringen. Die Vornahme der Manipulationen bei Nacht ist daher am sichersten. Zur Erzeugung des roten Lichtes dient eine Dunkelkammerlampe mit rotem Cylinder und Lichtfang am Brenner wie am obern Ende des Cylinders, damit weder weisses Licht an die Decke geworfen werden noch unter dem Cylinder hervordringen kann. Über den Ersatz der Lampe durch elektrisches Licht siehe unten.

Die Entwicklung der belichteten Platte besteht im Baden derselben in einer Entwicklerflüssigkeit (s. u.). Man giesst davon in eine der Plattengrösse entsprechende Schale eine entsprechende Menge Entwickler, z. B. 30 ccm bei 6:9, 50 ccm bei 9:12, 100 ccm bei 13:18, und zwar entweder erst in die Schale, in welcher man dann die Platte mit der Schicht nach oben untertaucht, oder über die vorher ebenso hineingelegte Platte hinweg. Der Entwickler muss mit einem Guss über die Platte fließen und darf dabei auf derselben keine Strassen bilden, wodurch infolge ungleichmässiger Schwärzung störende Streifen und Flecken in das Bild kommen würden. Dieselben werden auch vom Ungeübten sicher vermieden, wenn er die noch ganz trockne Platte vorher in reines Wasser taucht.

Durch fortwährendes Schaukeln der Schale lässt man die Flüssigkeit über die Platte gleichmässig hin- und herfliessen, während man das rote Licht durch einen über die Schale gelegten Pappdeckel abhält, den man nur ab und zu zur Kontrolle des sich entwickelnden Bildes lüftet. Bei einer gut belichteten Platte erscheinen die ersten Konturen des Bildes in $\frac{1}{2}$ —2 Minuten; allmählich kommt Detail heraus, dasselbe wird dichter, die Platte wird allmählich schwarz und lässt nur noch auf der Glasseite Details des Bildes erkennen. Solange muss man die pyknographischen Platten meist entwickeln, da sie sich nachher wieder aufhellen. Man nimmt jetzt die Platte heraus, spült sie in reinem Wasser ab und legt sie in eine andere Schale, welche das Fixierbad enthält. Dasselbe besteht aus 1 Teil unterschwefligsaurem Natron („Fixiernatron“) in 5 Teilen Wasser; zweckmässig nimmt man ausserdem auf 1 Liter Fixierbad ca. 30—40 g saure Natriumsulfitlauge (Natrium-

bisulfidlösung) oder statt dessen saures schwefligsaures Kali zur Klärung. In diesem Fixierbade bleibt die Platte 5—25 Minuten, d. h. so lange, bis von der Glasseite aus kein „Milchschleier“ mehr zu sehen ist. Die Platte kann jetzt an das Licht gebracht und braucht nur noch abgespült und mehrere Stunden in öfter gewechseltem oder fließendem Wasser gewässert zu werden. Sie sieht jetzt viel heller (dünner) aus als vor dem Fixierbad; die Bestimmung des Zeitpunktes für die richtige „Dichte“ der Entwicklung erlangt man nur durch reiche Übung mit bestimmten Platten und Entwicklern. Nach dem Waschen stellt man die Platte zum Trocknen auf, am besten auf einen Trockenständer, aber nicht etwa am Ofen oder an der Sonne, da sonst die Gelatine abschmelzen würde. Die Platte muss sich selbst überlassen bleiben durch mehrere Stunden; Platten mit dicker Schicht brauchen 12 und mehr Stunden zum Trocknen. Meist wird man morgens die am Tage vorher aufgestellten Platten trocken finden. In dringenden Fällen kann man die Platte nach gründlicher oder flüchtiger Wässerung durch ein Alkoholbad schnell entwässern und dann in wenigen Minuten trocknen. War die Wässerung flüchtig, so kann und muss dieselbe später nachgeholt werden, wenn man auf die Erhaltung der Platte Wert legt.

Die fertige Platte, das sog. Negativ, zeigt die weniger durchlässigen Körperteile (Knochen) hell gegenüber den dunkleren Details, welche den durchlässigeren Körperteilen entsprechen. Das Negativ kann bei Betrachtung in der Durchsicht gegen das Licht schon allein den Zweck der Aufnahme für den Arzt erfüllen. Ausserdem dient es aber für die Vervielfältigung und Übertragung des Bildes auf Papier als Matrize zur Erzeugung der positiven Bilder, indem man ein lichtempfindliches Papier (Kopier-

papier) Schicht gegen Schicht mit dem Negativ durch Rahmen oder Brett mit Klammern in festen Kontakt bringt und das Ganze so vor einem Fenster dem diffusen Lichte aussetzt, dass dasselbe durch die Platte auf das Papier wirkt. Nur sehr dichte Negative setzt man direkt der Sonne aus. Nach kurzer Zeit wird das Papier unter den helleren Stellen des Negativs geschwärzt, während es unter den schwarzen weiss bleibt. Durch Abheben eines Teils des Rahmens lässt sich durch zeitweises Nachsehen kontrollieren, wann das „Positiv“ die nötige Kraft der Kontraste gewonnen hat. Das sekundenlange Offenhalten des Kopierpapiers erfordert kein rotes Dunkelkammerlicht, soll aber nicht gerade am Fenster geschehen, wo die „Weissen“ doch etwas leiden würden. Ist das Bild fertig kopiert, und zwar viel dunkler, als man es zu haben wünscht, da es sich in dem nachfolgenden Bade aufhellt, so legt man es in eine reine Schale und giesst soviel „Tonfixierbad“ darüber, bis es vollständig bedeckt ist. Die Schale bewege man fleissig hin und her und achte darauf, dass das Bild nicht schwimmt, sondern untertaucht. Es geht langsam in Gelb, dann in Braun und schliesslich in Violett über, den angenehmsten Ton. Darüber hinaus würde es schmutzig grau werden. Man nimmt es aber heraus und wässert mehrere Stunden, wobei man öfter das Wasser wechselt und die Bilder sanft mit weichem Schwamm oder Wattebausch abwischt. Schliesslich trocknet man das Bild und klebt es ev. auf Karton. Das Tonfixierbad kann sehr oft wieder benutzt und durch Fixiernatron und etwas Chlorgoldlösung aufgefrischt werden. Fixierbad und Tonfixierbad sind unbegrenzt lange haltbar, gebrauchter Entwickler nur in vollen und gut verkorkten Flaschen. Für jede Flüssigkeit müssen durchaus gesonderte Gefässe dienen.

Einige Fehler der Prozeduren seien noch besprochen. Wird die Platte ganz oder teilweise schwarz, so hatte sie Licht bekommen; man prüfe die Lampe, die Thüren und Fenster, die Papierumhüllung, resp. Kasette der Platte auf ihre Lichtdichtigkeit. Wirkt der Entwickler zu langsam, so war die Platte entweder nicht lange genug exponiert (unterbelichtet), oder der Entwickler zu schwach oder zu kalt; derselbe soll 15° R. haben. Kommt das Bild sehr schnell und verschwindet dann wieder, so ist die Platte zu lange belichtet (überexponiert) und giebt ein flaes Bild. Der Anfänger glaubt gern, je länger er belichte, desto besser müsse das Bild werden; dies ist jedoch grundfalsch. Löst sich im Bade die Gelatineschicht unter Kräuseln von der Platte, so ist die Flüssigkeit zu warm. Ein eingeschobenes Alaunbad (4% , 10 Minuten) beseitigt den Schaden. Milchschleier auf der Glasseite bleibt nach zu kurzem Fixieren zurück, Verdopplung der Konturen nach Verschiebung von Platte, Objekt oder Röhre während der Aufnahme. Eine „dünne“, flae, verschleierte Platte entsteht durch zu kurze Entwicklung, Ueberbelichtung und Nebenlicht. Dünne Platten kann man „verstärken“, zu dichte abschwächen, doch vergesse man nie, vor der Verstärkung erst einige Probeabzüge zu machen, da man häufig bei Fehlern des Verfahrens den Verlust der Platte zu beklagen hat. Klebt das Kopierpapier an der Platte an, so war letztere nicht ordentlich getrocknet. Man prüfe daraufhin die Platte vor dem Gebrauch immer mit Auge und Finger. Werden die Kopien nach einiger Zeit gelb, so waren sie nicht genügend gewässert.

Wem das Aufziehen der Bilder zu lästig ist, der kopiere gleich auf empfindlichen Karton (Celloidin-karton, Aristokarton bei Berner-Erfurt). Die Aristo-

papiere kopieren im allgemeinen kontrastreicher als die Celloidinpapiere und sind daher bei flauen Platten vorzuziehen. Matte Papiere eignen sich im allgemeinen besser zur Pyknographie als die glänzenden, bei welchen die ruhige Betrachtung des Bildes durch Reflexe gestört wird.

Was die Wahl der Plattensorte für die Pyknographie betrifft, so ist gewiss jede für die Kamera brauchbare auch hier anwendbar. Die im Handel befindlichen unterscheiden sich durch die Reinheit des Glases, den Silbergehalt der Schicht, also die Feinheit des Kornes und die Lichtempfindlichkeit, und durch die Dicke der Schicht, ferner durch ihre Farbenempfindlichkeit. Die Reinheit des Glases und seine sonstigen Eigenschaften kommen nur beim Positivprozess in Betracht. Dünnes Glas ist bei grossen, also schweren Platten unpraktischer als dickes. Es kann durch Celluloid, welches rein, leicht und unzerbrechlich ist, und durch Negativpapier (von O. Moh-Görlitz) ersetzt werden. Das letztere ist aber umständlich, die Celluloidfolien (Films) sind wegen des darin enthaltenen Kamphers weniger lange haltbar. Da hochempfindliche Platten im allgemeinen geringere Kontraste geben (David), als weniger empfindliche, so erscheinen solche nicht viel vorteilhafter für das Pyknogramm, bei dem es auf Kontraste ankommt. In dieser Hinsicht scheint vielmehr vor allem eine gehörige Dicke der lichtempfindlichen Schicht für die Ausnutzung der Strahlen massgebend zu sein, da dieselben in um so höherem Masse unwirksam durch die Schicht hindurchgehen, je dünner dieselbe ist. Eine möglichst dicke Schicht der lichtempfindlichen Substanz ist also bei Verwendung der penetrationsfähigeren Strahlen von harten Röhren erst recht wünschenswert. Schon lange benutzen wir nur Platten mit extra dickem Guss

(Westendorp & Wehner-Köln). Natürlich hat die Verdickung der Schicht und die Bearbeitung derselben ihre gewisse technische Grenze. Die in demselben Sinne nach Levy doppelseitig begossenen Platten und namentlich Films sind umständlich zu behandeln, da dieselben nicht mit der Unterseite auf dem Boden der Schale liegen dürfen, und liefern ausserdem wegen der lichtbrechenden Zwischenschicht unscharfe Konturen im Positiv.

Zur besseren Ausnutzung der Strahlen und Abkürzung der Expositionszeit wurden noch zwei Mittel empfohlen: die Beimengung pulverförmiger fluoreszierender Substanzen unter die Gelatineschicht der Platte, und die Bedeckung derselben mit einem fluoreszierenden Schirme, dem sog. Verstärkungsschirme während der Aufnahme. Das gelbgrüne Licht unserer Leuchtschirme ist hier als weniger aktinisch schlecht geeignet. Eine absteigende Skala der zur Verstärkung brauchbaren Substanzen ist nach J. Precht folgende: Kaliumplatincyranür (leuchtet violett), Flussspat, Scheelit und Calciumwolframat (blau, am besten das Kahlbaumsche Salz), Calcium- und Magnesium-Platincyranür, Uranylfluorid, Baryumplatincyranür, Urannitrat, Schwefelcalcium mit Wismut. Die Verstärkungsschirme müssen nicht fest eingespannt, sondern lose und biegsam sein, um der Plattenschicht fest angepresst werden zu können. Dies ist besonders der Thatsache gegenüber zu beherzigen, dass die Platten, namentlich die grossen, keineswegs genau plan, sondern etwas gebogen sind, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man auf den Kanten derselben entlang sieht. Aber selbst unter der Voraussetzung innigen Anliegens der Schichten ist leicht einzusehen, dass die Negative unter Anwendung des Verstärkungsschirms zwar kontrastreicher, aber auch

unscharf werden müssen, da Schicht wie Glas optisch durchlässig ist und jedes leuchtende Körnchen des Verstärkungsschirmes nicht nur Strahlen senkrecht in Schicht und Platte, sondern auch divergierend aussendet; man muss sich vorstellen, dass die ganze Platte beim Aufleuchten des Verstärkungsschirmes mitleuchtet. Das ist aber erst recht der Fall, wenn die beiden Flächen hohl liegen. Scharfe und deutliche Bilder wird man am besten durch genügend lange Einwirkung der Röntgen'schen Strahlen allein erzielen. Freilich hat man oft, namentlich bei der Pyknographie von Kindern, mit der Thatsache zu rechnen, dass mit der Expositionszeit die Chancen für Fehlerquellen wachsen und wird in solchen Fällen die Schirme gern anwenden. Mässige Erwärmung der Platten während der Aufnahme erhöht ihre Empfindlichkeit. Für die Benutzung mit dem Verstärkungsschirm hält Gaedicke die Perutz'schen Eosinsilberplatten für die erfolgreichsten.

Die Aufbewahrung der Platten geschieht am besten in ihrer Originalverpackung. Hier liegen dieselben zu je 2, Schicht gegen Schicht gepackt, mit oder ohne isolierende Luftschicht durch Zwischenlage kleiner, chemisch indifferenter Pappstückchen an den Ecken. Erst kurz vor dem Gebrauche lege man die betreffende Platte in ein Couvert von doppeltem Nadelpapier oder in die Kasette Fig. 43 auf S. 169. Lässt man sie länger zum Zweck der Aufbewahrung darin liegen, bezieht man wohl gar die Platten schon einzeln im schwarzen Couvert verpackt, so hat man oft über Verschleierung zu klagen, deren Grund in der chemischen Einwirkung des Papieres zu suchen ist. Ähnlich wirken harziges Holz und viele andere, scheinbar indifferente Stoffe. (Vergl. Muraoka u. Kasuya, Wied. Ann. 1898, p. 186.)

Die Grösse der Platten wählt man natürlich so klein als möglich, je nach dem Umfang des darzustellenden Körpergebietes. Je grösser die Platte ist, desto aufmerksamer muss man Sorge tragen, dass alle ihre Teile im Bereiche der Röntgen'schen Fokusstrahlen, also über dem Horizonte der Antikathode sich befinden. Zu dem Zwecke ist die Distanz der letzteren von der Platte desto grösser zu nehmen, je grösser die Platte ist; dies ist schon deshalb nötig, weil das Objekt, das eine grosse Platte erfordert, meist auch dick ist und wegen der unverhältnismässig vergrösserten Projektion seiner der Röhre zugewandten Hälfte durch die stark divergenten Strahlen bei naher Distanz eine dasselbe weit überragende Platte verlangen und darauf noch stark verzeichnet werden würde.

Unumgänglich notwendig ist in jedem Falle darauf zu achten, dass die Mitte der Platte senkrecht zur Strahlenrichtung, d. h. dass der Fokus in der auf der Platte errichteten Mittelsenkrechten steht, und dass der am meisten interessierende Teil des Objekts in dieser Mittelsenkrechten, sein Projektionsbild also in der Mitte der Platte liegt. Im übrigen erscheint es unnütz, bestimmte Regeln über die Anordnung aufzustellen; man brauche seinen gesunden Menschenverstand und wird damit in jedem Falle weiter kommen als mit vielen Vorschriften. Die vielen kleinen Einzelheiten, auf welche man zu achten hat, ergeben sich ganz von selbst. Wichtig ist noch einigermaßen, eine Verschiebung in der Anordnung der drei Dinge: Röhre, Objekt, Platte, während der Aufnahme zu verhindern. Die Röhre darf nicht wackeln, dem Stativ keine Erschütterung durch die starke Bewegung des Unterbrechers oder durch das Gehen auf dem Fussboden mitgeteilt werden können. Die zu untersuchende

Person muss so bequem und ungezwungen gestützt oder gelagert sein, dass jede Anspannung der Muskeln mit nachfolgender Ermüdung und Verschiebung ausgeschlossen ist. Die vor Verschiebung und Druck gesicherte Anbringung der Platte macht manchmal Mühe. Legt man eine grosse Platte z. B. bei Beckenaufnahmen einer Person auf einem Tische unter das Kreuz, so dass die Last des Körpers unmittelbar darauf ruht, so hört man oft selbst noch beim Schluss der wohlgelungenen Aufnahme das ominöse Knacken des Glases vom Zerspringen desselben, sobald die Person sich rührt. Der Grund liegt in der schon erwähnten Wölbung der spröden Platten. Man kann eine solche Platte, wenn sie nicht geradezu eine Komminutivfraktur erlitten hat, und besonders wenn, wie meist der Fall, die etwas elastische Gelatineschicht nicht durchrissen ist, noch immer zu retten versuchen, indem man den ganzen Negativprozess in ein und derselben Schale, auf deren Boden die Glasseite der Platte haftet, durch Ab- und Aufgiessen der verschiedenen Bäder vornimmt, trocknet und schliesslich die Sprünge mit Hilfe von Objektträgern, welche an den Rändern auf der Glasseite mit Canadabalsam aufge kittet und durch Kopierklammern befestigt werden, vorsichtig schient. Durch recht diffuses Licht kann dann sogar ohne Sprunglinie kopiert werden. Zur Vermeidung eines solchen Ereignisses sind aber die licht- und ziemlich drucksicheren Kassetten von Böhme-Dippoldiswalde (Fig. 43), zu beziehen durch Ernecke, am Platze, zumal da die Absorptionskraft des Spandekels gegenüber der dicken Körpermasse nach den früher besprochenen Gesetzen nicht mehr ins Gewicht fällt. Dies würde allerdings der Fall bleiben bei der Durchstrahlung dünnerer Gebilde. Die Kasette kann den Verstärkungsschirm mit auf-

nehmen. Die Strahlen würden dann auf ihrem Wege vom Fokus aus der Reihe nach zu durchsetzen haben: Körper, Kassettenwand, Karton des Verstärkungsschirms, Schicht des Verstärkungsschirms, Schicht der Platte, Glas, eventuell noch Unterlage und Leuchtschirm. Um für andere Körperteile das Arrangement bequemer zu gestalten, empfiehlt Ernecke sein Platten- resp. Kassettenstativ von Böhme (Fig. 44). Die Arrangierung desselben zeigen die Fig. 45, 46, 47.

Eine ebenso wichtige als schwierige Frage ist die nach der Expositionszeit. Dieselbe hängt von so vielen komplizierten Bedingungen ab, dass wir noch nicht im stande sind, dieselbe in einer jede Kritik vertragenden Weise nach Mass und Zahl zu analysieren. Die Beschaffenheit und Funktion des Instrumentariums (Röhre, Unterbrechungsfrequenz), Alter und Konstitution

der Personen, Art des Körperteils resp. des darin hauptsächlich interessierenden Objektes und schliesslich die Aufnahmedistanz, Dinge übrigens, die wir schon oben gewürdigt haben, bestimmen die Intensität, mit welcher die nicht absorbierten Strahlen auf die Platte wirken. Wählen wir die Distanz innerhalb der Grenzen von 25 cm für die Hand und 1 Meter für den Rumpf eines Erwachsenen, eine reife Röhre und die Unterbrechungsfrequenz eines Hammers von 15 in der Sekunde, im übrigen volle Ausnutzung der Röhre und gewöhnliche Platten ohne Verstärkungsschirm, so kann man annähernd eine Expositionszeit von $\frac{1}{2}$ Minute für die Hand, 1 Minute für Vorderarm und Fuss, 2 Minuten für Oberarm und Unterschenkel,

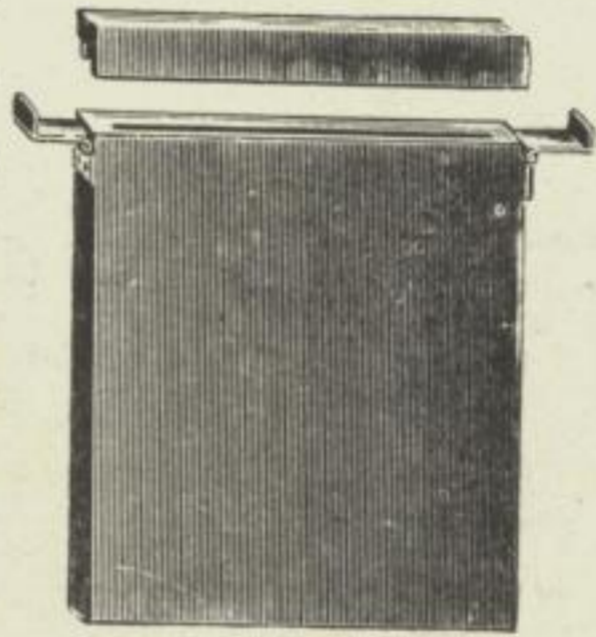


Fig. 43.

Kassette für pyknographische Platten.

3 Minuten für Schulter und Oberschenkel, 4 Minuten für Brust und Kopf, 5—10 Minuten für Bauch und Becken vorschlagen. Indes muss vorläufig jeder Anfänger durch Kontrollversuche an seinem Instru-

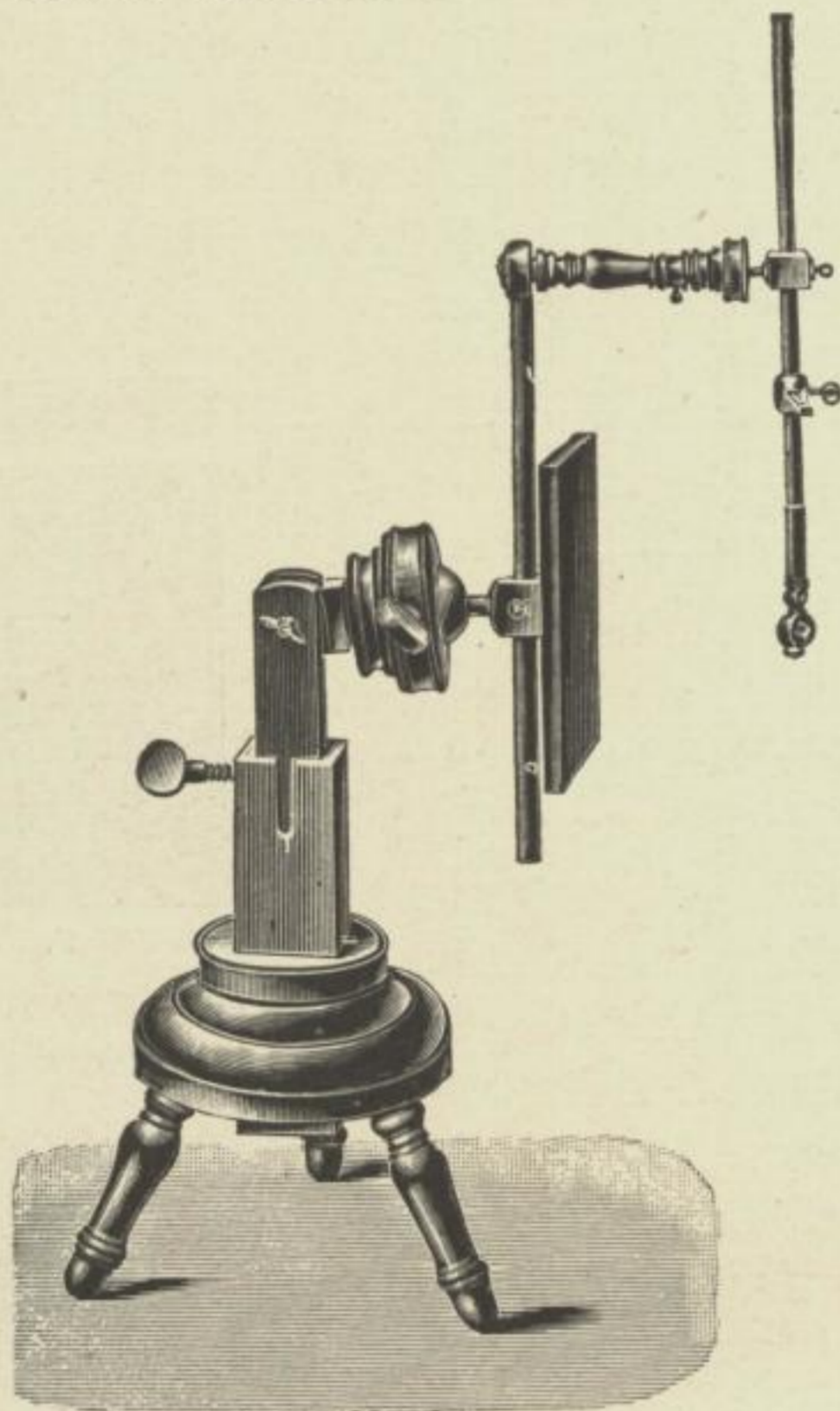


Fig. 44.

Universal-Durchleuchtungsstativ mit Kassette (Böhme).

mentarium erst einiges Material opfern, um die für ihn geltenden Normen zu gewinnen. Dass die Normen einmal die Form von Formeln gewinnen können, ist nicht ausgeschlossen.

Das Kriterium für die stattgehabte Belichtungszeit giebt das fertige Negativ. Die richtig belichtete und bis zum Verdunkeln der Details auf der Schicht-

seite entwickelte Platte zeigt tiefschwarze, die Konturen des Körperteils begrenzende Ränder, innerhalb derselben kontrastreiche Abstufung der Detailzeichnung, so dass die hellsten Details fast glasklar oder wenig-

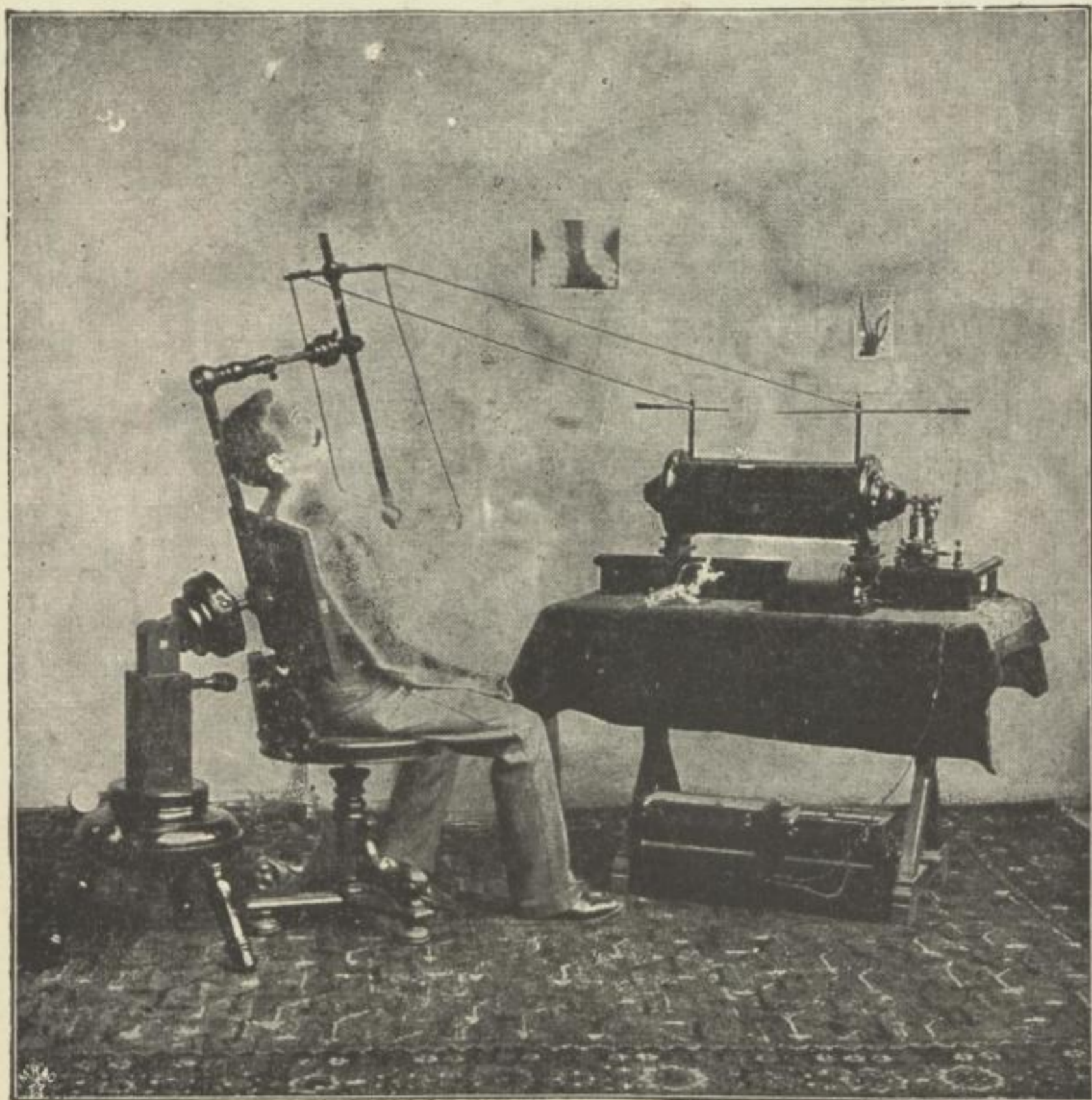


Fig. 45.
Thoraxaufnahme.

stens durchsichtig sind. Eine unterbelichtete Platte hat zwar den schwarzen Rand, aber darin sieht man trotz lang ausgedehnter Entwicklung nur wenig skizzenhaft hartes, im allgemeinen zu helles Detail, namentlich von Knochenstruktur keine Spur. Die überlichtete Platte dagegen musste so bald aus dem

Bade genommen werden, um die sich grau verwis-
chenen Details zu retten, dass der Rand nicht Zeit hatte,
sich mit gehöriger Schwärze zu bedecken; die ganze
Platte ist dünn und flau. Der Anfänger belichtet

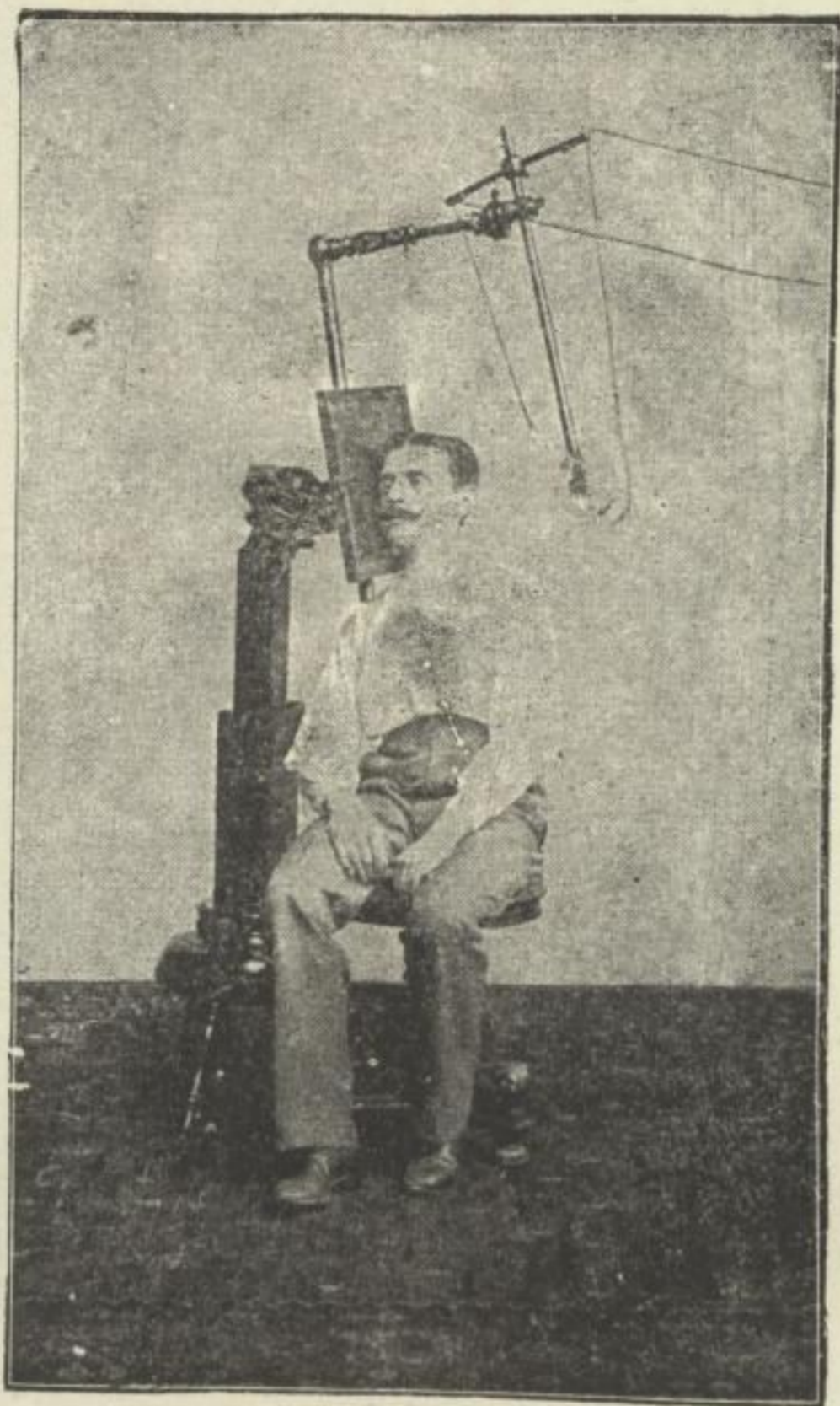


Fig. 46.

Kopfaufnahme.

meist zu lange; es ist aber nach dem im 6. Kapitel
Gesagten klar, dass Kontraste, die nicht in der Ab-
sorption der Strahlen gegeben sind, durch grössere
Intensität der Strahlen, resp. durch verlängerte Ex-
position nicht gehoben, sondern eher verflaut werden
können. Die Massnahmen zur Rettung falsch belich-

teter Platten lernt man am besten durch viele Übung nach Anleitung der Spezialbücher an Landschafts- und Porträtnegativen.



Fig. 47.
Armaufnahme.

Als Entwickler eignen sich sämtliche in der Photographie gebräuchlichen. Man vermeidet natürlich gern die umständlich frisch zu bereitlegenden, die giftigen und die fleckenden. Beliebte sind beim Anfänger der Hydrochinon-Entwickler, welcher gebrauchsfertig oder nur mit Wasser zu verdünnen käuflich ist, ferner

Eikonogen, Metol, Amidol, Rodinal, Glycin. Wir selbst haben als rapid und detailliert entwickelnd, dabei bequem und haltbar, den Brillantentwickler schätzen gelernt. Er ist reinlich und wird durch Mischung mit gleichen Teilen 10%iger Pottaschelösung gebrauchsfertig. Auch Mischungen der organischen alkalischen Entwickler können angewandt werden; am besten macht man sich mit einem bestimmten durch stetigen Gebrauch vertraut.

Bei der pyknographischen Darstellung konisch geformter Körperteile, z. B. des Oberschenkels, des Fusses, wird die übersichtliche Deutlichkeit des Bildes leicht dadurch gestört, dass infolge der stärkeren Absorption in den dickeren Massen die Platte an der entsprechenden Seite schwächer belichtet ist als an der dem dünneren Ende des Gliedes entsprechenden, so dass die erstere noch ganz dünn entwickelt erscheint, wenn die andere schon fast zu dicht ist. Die Folge davon ist, dass das Positiv die dickeren Teile überkopiert (zu dunkel und undeutlich) bringt, während die den weniger dicken entsprechenden Stellen noch nicht auskopiert sind. Man muss daher schon bei der Entwicklung hierauf Rücksicht nehmen und durch Neigen der Schale die Entwicklung der stärker belichteten Seite verzögern. Ferner muss man beim Kopieren die Lichtwirkung an der dünn entwickelten Seite der Platte dadurch zurückhalten, dass man die Platte (nach Art der Vignetten) mit einem Pappdeckel überdacht, so dass die Unterseite desselben mit der horizontal liegenden zu kopierenden Platte einen nach der Lichtseite zu offenen Winkel bildet, in dessen dunklerem Scheitel der zurückzuhaltende dünn entwickelte Teil der Platte liegt. Zu demselben Zwecke legten wir statt dessen auf die Platte ein Prisma, welches aus zwei verkitteten Glasplatten her-

gestellt ist, deren Zwischenraum mit rötlich gefärbter Gelatine ausgegossen wurde. Es wäre ganz praktisch, wenn die Industrie solche „prismatischen Lichtdämpfer“ aus Glas oder Celluloid herstellen wollte.

Es ist manchmal wünschenswert, aber recht schwierig, aus einem Pyknogramm das Arrangement bei der Aufnahme zu rekonstruieren, um z. B. bei einer Beckenaufnahme jederzeit zu erkennen, welche Seite der rechten oder linken Körperseite entspricht. Dies ist namentlich dann schwer, wenn man nicht weiss, ob die Platte der Rücken- oder Bauchseite angelegen hat, oder ob die Platte mit der Röhre zugewandter Schichtseite oder versehentlich falsch exponiert war. Es ist daher ratsam, bei der Aufnahme einen nicht in Betracht kommenden Rand der Platte mit kleinen auf dem Papier oder Kassettendeckel angeklebten Testmarken von Blech in Buchstabenform zu belichten, welche andeuten, ob der betreffende Rand der rechten oder linken Körperseite entspricht, ob Rücken- oder Bauchseite der Platte anlag. Im übrigen erinnere man sich daran, dass, vorausgesetzt, dass die Platte richtig lag, diese auf der Schichtseite betrachtet das Bild des pyknographierten Körpers so wiedergibt, wie derselbe von der Röhre aus betrachtet aussehen würde, während das Positiv dem Schirmbilde entspricht. Durchleuchtet man z. B. einen Kopf, dessen Augen der Röhre zugewandt sind, so hat man auf dem Positiv wie auf dem Leuchtschirme das rechte Ohr rechts, auf der Platte links. Sars die Person umgekehrt, oder lag die Platte falsch, so ist das Bild entsprechend umgekehrt. Bei Durchmusterung des Negativs vergesse man nicht, dass dichtere Teile heller, z. B. Geschosse weiss aussehen müssen, während rarefizierte Knochenteile dunkler erscheinen.

Stereoskopische Aufnahmen zur körperlichen Betrachtung lassen sich ähnlich wie bei der gewöhnlichen Photographie auch durch Pyknographie herstellen. Das körperliche Sehen mit Auffassung der Entfernung der Gegenstände hintereinander oder der Tiefe des Raumes ist bekanntlich nur durch binokuläres Sehen möglich und beruht auf dem Vergleiche der beiden je von einem Auge gewonnenen Bilder, welche wegen der verschiedenen Standpunkte der beiden Augen eine perspektivische Verschiedenheit, eine verschiedene Projektion der Gegenstände auf den Hintergrund aufweisen, während zugleich das Innervationsgefühl der Augenmuskeln aus dem Konvergenzgrade der Sehachsen die Entfernung der gemeinsam fixierten Punkte ermessen lässt. Ein stereoskopisches Bild (Stereo-gramm) besteht daher aus zwei neben einander liegenden Bildern, von denen jedes das Objekt in der zu je einem Auge gehörigen perspektivischen Projektion darstellt, und wird photographisch dadurch gewonnen, dass man entweder zugleich oder nach einander zwei Kameraaufnahmen macht, bei denen die Objektive einen um dieselbe horizontale Distanz verschiedenen Standpunkt einnehmen, wie die Augen, also ca. 70 mm. Diese beiden Bilder kann man bei einiger Übung durch unmittelbare Betrachtung zu einem körperlichen Eindruck vereinigen, doch bedient man sich besser zu ihrer Betrachtung eines Stereokopes, das ist einer Einrichtung, welche entweder durch winklig mit dem Scheitel gegen das Auge gestellte Spiegel (Wheatstone) oder durch vor die Augen mit der Basis nach aussen gesetzte Prismen (gewöhnlich 10 bis 12°), besser noch durch die prismenartigen excentrischen Teile einer Konvexlinse (Brewster) das Bild unter Konvergenz der Sehachsen und eventuell vergrössert zu betrachten erlauben und

dadurch die Illusion des räumlichen Sehens erleichtern. Unpraktisch sind die verbreiteten kastenförmigen Stereoskope, bei denen die Distanz des eingesetzten Bildes nicht regulierbar ist, praktisch und billig (2 bis 3 Mk.) die jetzt käuflichen sogenannten amerikanischen, besonders das „The Stereo-Graphoskop“ genannte, welches sich leicht demontieren lässt und so zur Betrachtung der in Büchern reproduzierten Stereogramme gewöhnlichen Formates eignet (13 × 18 cm). Stereogramme von grösserem Format erfordern für die Betrachtung entweder die Anwendung entsprechend anders gewählter Linsen oder des Spiegelstereoskopes, oder aber die photographische Verkleinerung für die Dimensionen der gewöhnlichen Apparate. Zur Anregung und Förderung des Verständnisses der hier in Betracht kommenden Fragen seien ausser dem Studium der Physiologie folgende Bücher empfohlen: G. Hirth, Das plastische Sehen, Stoltze, Die Stereoskopie und das Stereoskop, Steinhäuser, Die theoretische Grundlage für die Herstellung der Stereoskopbilder.

Die Herstellung guter pyknostereoskopischer Bilder ist ungleich schwieriger als die der Kamerastereogramme, aber unter Umständen nützlich und immer höchst interessant; dieselben fesseln noch durch den besondern Reiz der scheinbaren Durchsichtigkeit der dargestellten Objekte und erfüllen damit mehr als die gewöhnlichen Pyknogramme die märchenhafte Verheissung der Röntgen'schen Strahlen, den Menschen durchsichtig zu zeigen wie eine Qualle. Dem sehenden Auge entspricht bei der Pyknostereoskopie der strahlende Fokus auf der Antikathode, von dessen Standpunkte aus eine bestimmte perspektivische Projektion der Details eines Körpers auf dem Schirme oder der Platte entworfen

wird, und zugleich entspricht er einem Objektiv, welches diese Projektion graphisch festhält; eine zweite pyknographische Aufnahme mit der dem Standpunkte eines zweiten Auges entsprechenden perspektivischen Verschiebung muss also zusammen mit der ersten ein Pyknostereogramm ergeben. Auf Tafel II und III geben wir ein ohne grosse Mühe hergestelltes Pyknostereogramm einer skelettierten rechten Hand, welches mit einem gewöhnlichen amerikanischen Apparate zu betrachten ist. Die Hand wurde mit dem Rücken nach oben in einen Pappkasten für Trockenplatten (9 : 12 cm) mit Watte fest eingepackt, nachdem um den dritten Metakarpus eine Drahtschlinge mit einem Knoten nach der Rücken-
seite zu gelegt war; in den Boden und in den Deckel des Kästchens wurde von innen je eine Nadel eingespiessst, sodass nach Schluss des Deckels die beiden Nadelköpfe etwa zwischen den Metakarpen lagen. Dieser Kasten wurde erst auf der einen, dann auf der andern Hälfte einer 13/18-Platte unter einer feststehenden Röhre bei 30 cm Distanz derselben je 3 Sekunden belichtet, während die jeweilig freie Hälfte durch eine dicke Metallplatte geschützt wurde. Tafel II zeigt das Positiv dieser Doppelaufnahme, bei dem nur durch Beschneiden in der Mitte die korrespondierenden Punkte auf 7 bis 8,5 cm aneinander gerückt wurden. Bei der stereoskopischen Betrachtung erkennen wir die rechte Hand von der Volarseite gesehen, den Knoten der Drahtschlinge hinter dem von ihr umschlungenen Knochen liegend, die rechte ein wenig verbogene Nadel vor demselben schwebend mit der Spitze auf uns zu gerichtet, die linke Nadel umgekehrt; die uns zugewandte Konkavität der Metakarpen, das Hintereinander und die durchsichtige Struktur der Handwurzelknochen, namentlich bei den

sich durchsichtig deckenden triquetrum und pisiforme, auch die Plastik des Kahnbeins gewähren namentlich im Celloidinabzug eine überraschende Wahrnehmung der Tiefendimension, von deren Betrachtung man sich ungern losreisst, wenn man sie einmal erfasst hat. Schneidet man die Bilder auseinander und vertauscht ihre Plätze, so sieht man die Hand vom Dorsum aus, aber es ist nicht mehr die rechte, sondern die linke Hand. In dieser Anordnung ist der Eindruck noch plastischer und ruhiger als vorher, selbst an den kleinen Phalangen und besonders schön an den Gelenkköpfchen der Metakarpi. Leider ist durch die Verkleinerung und durch das „Korn“ der Reproduktion, welches letztere überhaupt bei stereoskopischer Betrachtung sehr störend wirkt, das brillante Detail der Knochenstruktur fast verloren gegangen. Tafel III bringt das Negativ nach einem Diapositiv gedruckt. Die plastische Darstellung der zarten Knochenstruktur wie in weissem Krystall gewährt einen entzückenden Anblick. Dies Bild entspricht in seiner natürlichen Anordnung der linken Hand von der Volarseite gesehen, durchgeschnitten und umgestellt dagegen dem Anblick der rechten Hand vom Dorsum.

Wie die Stereoskopie überhaupt, so gewährt auch die Pyknostereographie in erster Linie eine hohe ästhetische Befriedigung. Aber auch in der Praxis kann sie sich zur Ortsbestimmung von Fremdkörpern nützlich erweisen, vorausgesetzt, dass man für diese merkwürdig wenig bekannte Methode genügend Zeit und Erfahrung hat, um auf grund sorgfältigen und planmässigen Vorgehens Fehlerquellen und Missdeutungen auszuschliessen.

Eine originelle Methode, auf einmal beliebig viele Negative zu belichten, ist gleich am Anfang der

Experimente mit Röntgen'schen Strahlen von vielen Experimentatoren, auch von uns, mit Erfolg ausgeführt worden, nämlich die Verwendung von Bromsilberpapier statt der Trockenplatte. Von diesem lichtempfindlichen Papier kann man viele Lagen zu gleicher Zeit durchstrahlen lassen und wie Trockenplatten entwickeln. Leider giebt Bromsilberpapier nicht so scharfe und detaillierte Bilder wie die Trockenplatte. Vor allem muss beim Bromsilberpapier die Entwicklung sogleich abgebrochen werden, wenn das Bild am deutlichsten erscheint, da es im Fixierbade eher nachdunkelt als aufhellt.

Aus leicht erklärbaren Gründen gelingt die direkte Photographie des auf dem Fluoreszenzschirme gesehenen pyknoskopischen Bildes mit der Kamera nicht. Es wird dabei nicht das optische Bild vom Fluoreszenzschirme, sondern das pyknoskopische Bild der Kamerateile auf der Platte wirksam. Wir erzielten bei unseren Versuchen auch dann kein brauchbares Resultat, wenn wir das Objektiv statt gegen den Fluoreszenzschirm gegen das durch einen Spiegel reflektierte Bild desselben richteten und dabei im stande waren, die Kamera durch dicke Metallplatten gegen die von der Röhre direkt ausgehenden Röntgen'schen Strahlen relativ zu schützen. Die vom Spiegel ausgehenden und durch die Linse und Kamerawand hindurch auf die Platte einwirkenden Röntgen'schen Strahlen haben also immer noch stärkere chemische Kraft als die Strahlen des Fluoreszenzlichtes, zumal des gelbgrünen des Leuchtschirms.

Einen Vorteil wird sich der Besitzer eines pyknoskopischen Instrumentariums für sein Dunkelzimmer nicht entgehen lassen, nämlich die Ausrüstung desselben mit zwei auswechselbaren elektrischen Glühlampen; von denen die eine weiss, die andere in

einem hängenden lichtdichten Kästchen mit rubinrotem Fenster untergebracht ist, im Leitungsanschluss an die Stromquelle des Primärstroms. Die mit rot gefärbtem Lack oder Gelatine überzogenen, ja selbst die aus rotem Glas geblasenen schützen nicht sicher

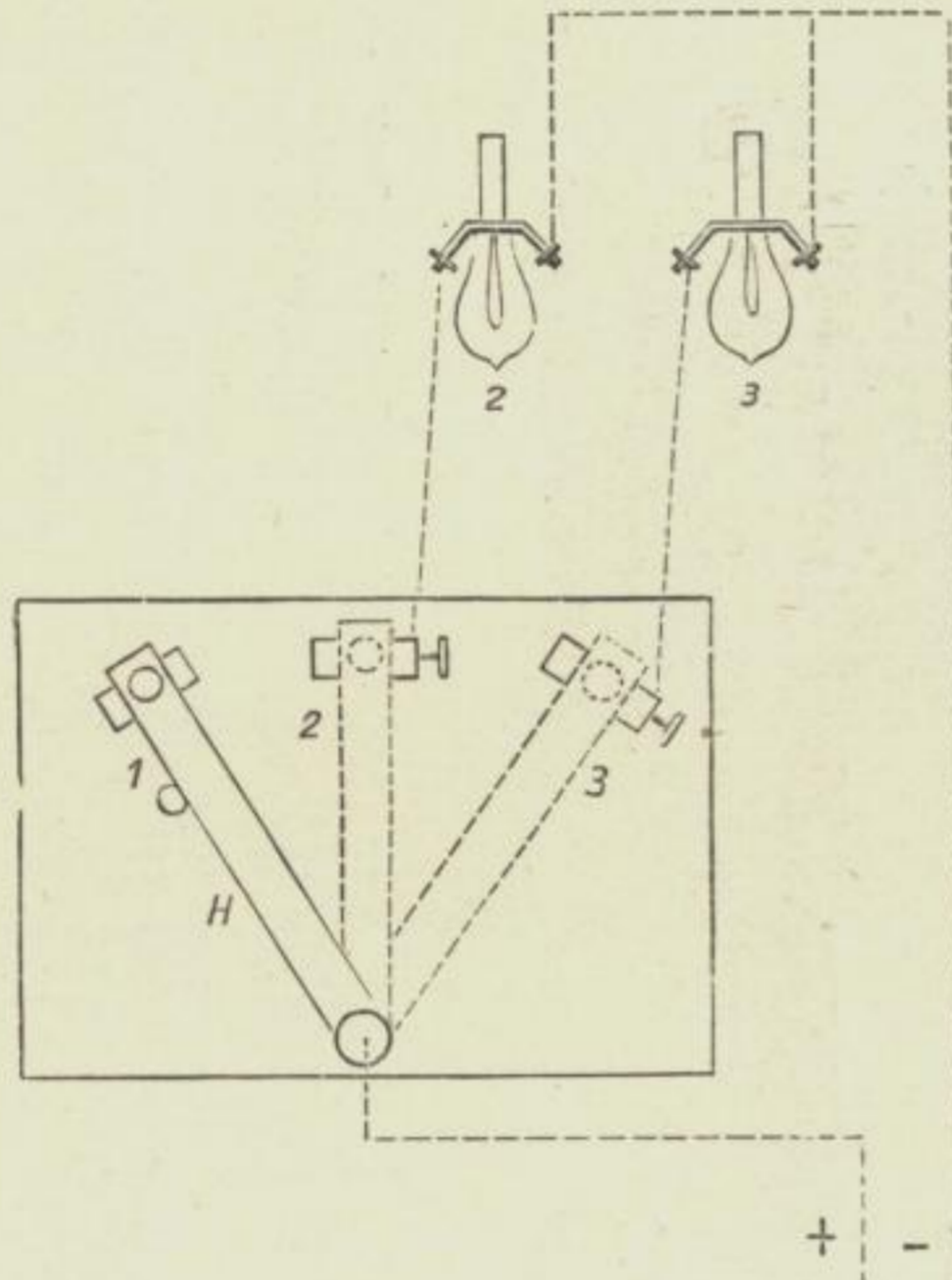
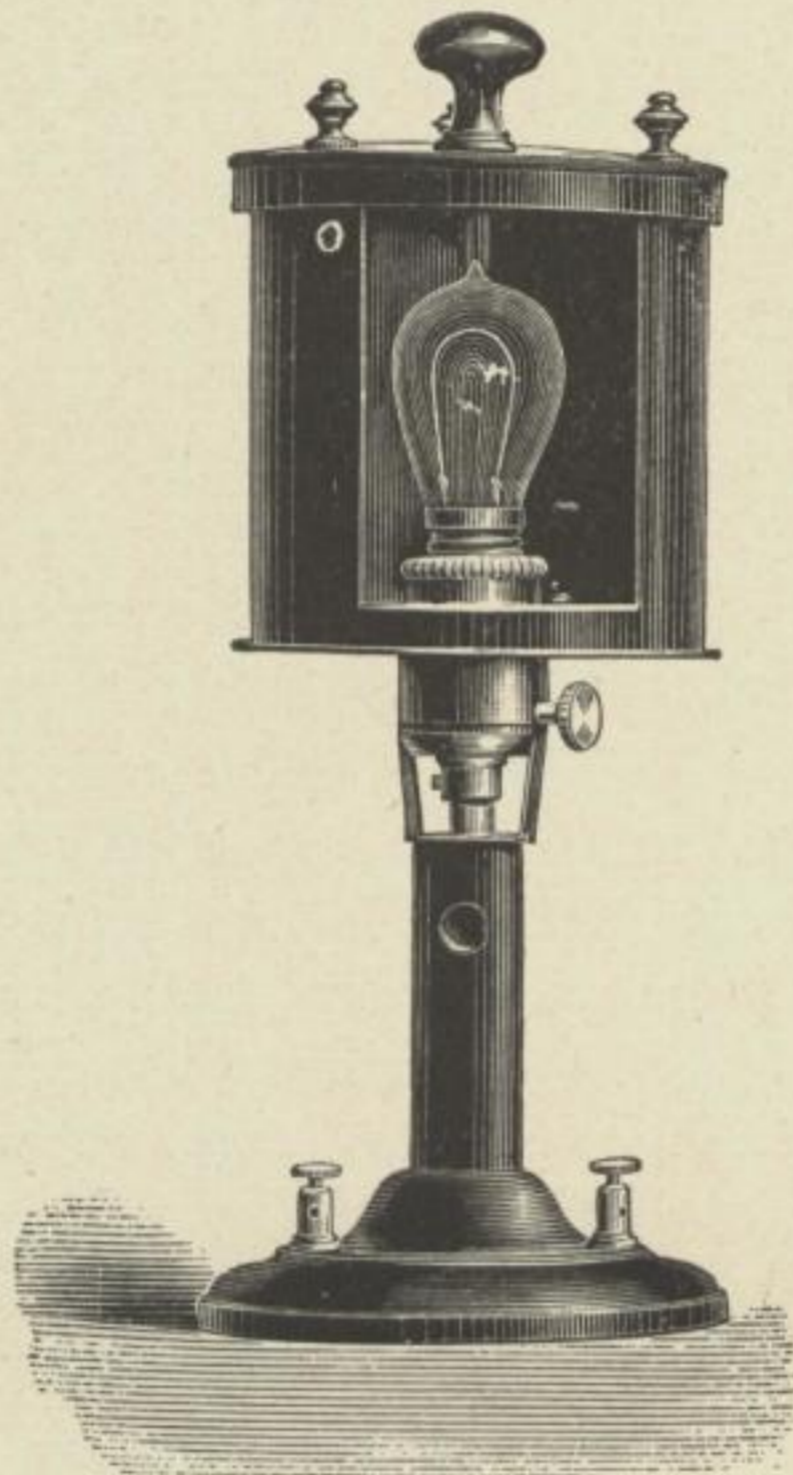


Fig. 48.

Wechselkontakt für Dunkelzimmerlampen.

gegen weisses Licht. Die Lampen müssen zur Spannung des Akkumulators passend gewählt und durch einen am Entwicklungstisch angebrachten Wechselkontakt leicht einzustellen und auszuwechseln sein. Man vergesse nicht, jede rote Dunkelzimmerlampe auf ihre Sicherheit zu prüfen, indem man eine zur Hälfte bedeckte Trockenplatte ihrem Lichte etwa 10 Minuten aussetzt und dann lange entwickelt. Wird die belichtete Hälfte wesentlich geschwärzt, so verwerfe man die betreffende Lampe.

Fig. 48 zeigt die Einrichtung und Schaltung dieses Wechselkontaktes im Dunkelzimmer, wobei der Schalthebel *H* bei 1 in Ruhestellung und stromlos ist, während er in Stellung 2 die rote, in Stellung 3 die weisse Lampe einschaltet. Freilich darf man nicht



ca. $\frac{1}{6}$ nat. Grösse.

Fig. 49.

Ernecke's Dunkelzimmerlampe.

vergessen, beim Verlassen des Dunkelzimmers die Lampen auszuschalten. Den Kontakt bringe man so an, dass ein daran entstehender Öffnungsfunke nicht auf die

Platten wirken kann. Ersetzt werden alle beide Lampen durch Ernecke's Dunkelkammerlaterne mit elektrischer Glühlampe (Fig. 49).

Diese Laterne ist so eingerichtet, dass beim Drehen eines centralen

Knopfes die vordere Öffnung der runden Kapsel 1. durch eine rote massive Rubinglasscheibe, 2. durch eine orangegelbe Glasscheibe, 3. durch eine farblose Glasscheibe geschlossen wird. Letztere (farblose)

Glasscheibe dient zur gewöhnlichen helleren Beleuchtung des Dunkelraumes. Die Laterne trägt ausserdem einen Hahn zum Ein- und Ausschalten. Bei Bestellung ist Angabe der Spannung nötig, für welche die Lampe bestimmt sein soll.

Fig. 50 zeigt die Anschliessung der sämtlichen Apparate in Reihen- und Parallelschaltung an den Akkumulator unter Berücksichtigung der Lichtleitung für eine Anzahl von Glühlampen zur temporären Beleuchtung. Es soll hier noch darauf hingewiesen werden, dass man nicht Glühlampen von geringerer

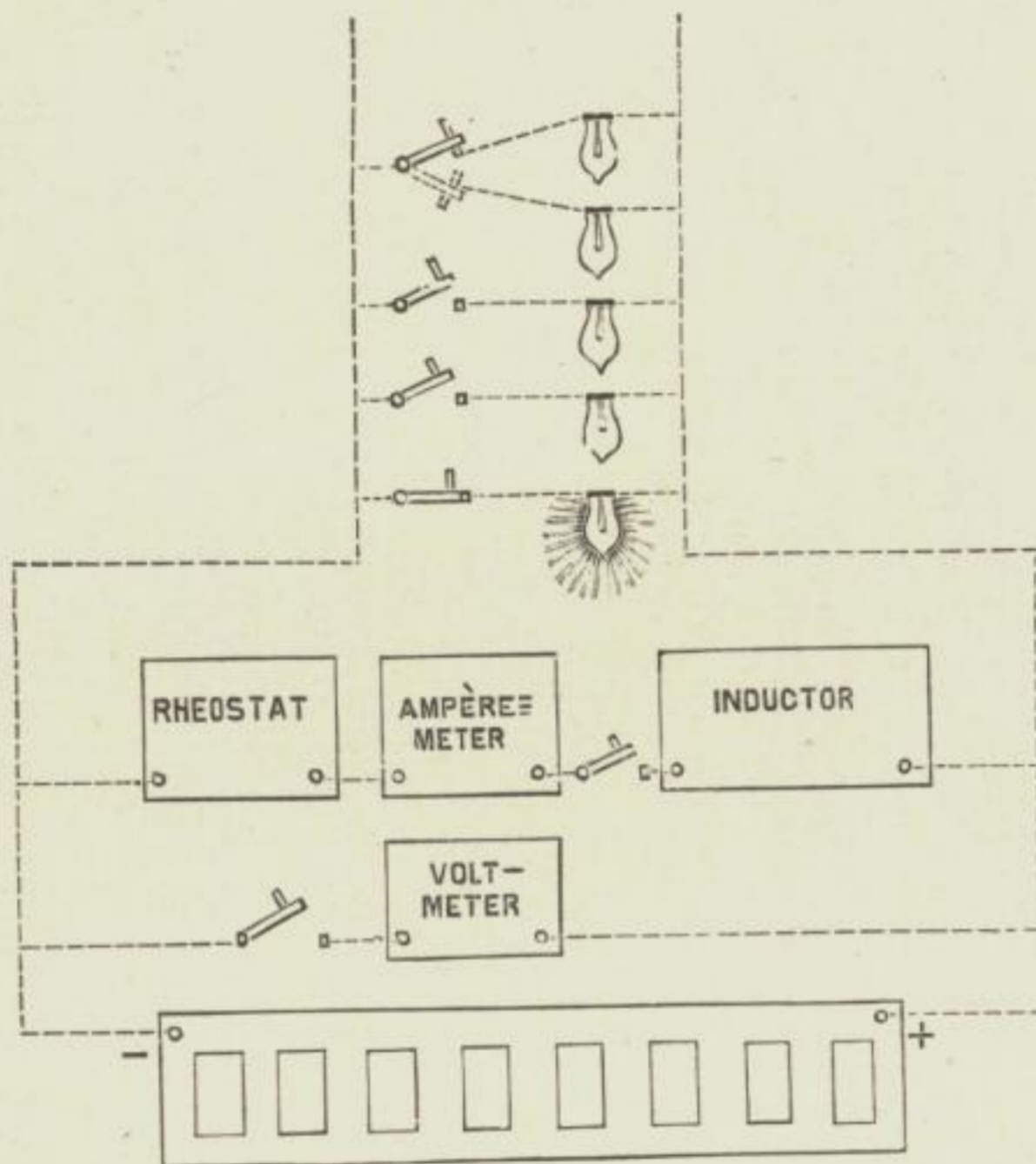


Fig. 50.
Schaltskizze.

Voltspannung verwenden darf, als die des benutzten Akkumulators ist, da dieselben sonst schnell durchbrennen, während sie, wenn sie für höhere Spannung konstruiert sind, nicht zum vollständigen Glühen kommen. Es ist ratsam, den Lichtverbrauch im Interesse des Ladungsvorrates im Akkumulator möglichst zu beschränken.



II. Klinischer Teil.



9. Kapitel.

Die Fremdkörper im pyknoskopischen Bilde.

Dasjenige Gebiet, welches hauptsächlich durch die Röntgen'schen Strahlen in vollständig ungeahnter Weise erschlossen wurde, stellt die Aufsuchung im Körper verschwundener Fremdkörper dar.

Was selbst bei einer minutiös gemachten Leichenöffnung nicht zu entdecken war, findet heute der mit dem Pyknoskop bewaffnete Arzt im lebenden Körper mit Leichtigkeit. Geradezu staunenswert sind die Aufschlüsse über die Anwesenheit von Fremdkörpern, ihre Form, Zahl (Bruchstücke), sowie über den Sitz derselben, also gerade über die wichtigsten Punkte, welche für den chirurgischen Eingriff massgebend sind, während allerdings über das Material derselben nur annähernd geschlossen werden kann. Von diesem letzteren hängt es überhaupt zum Teil ab, ob ein Fremdkörper gesehen werden kann oder nicht.

Es ist nach dem im I. Teil Gesagten klar, dass jeder Körper gesehen werden kann, der eine grössere Dichte als die ihn umgebenden Gewebe hat, und zwar muss nicht nur die Dichte eine verschiedene sein, sondern auch die Dicke (Ausdehnung) der beiden im Bilde zu differenzierenden Körper, nämlich die des

Körperteils und des in ihm gesuchten Fremdkörpers, muss in einem gewissen begrenzten, günstigen Verhältnis stehen. Z. B. wird man eine feine Nadel im Quadriceps eines Kindes mit Leichtigkeit differenzieren können, während dieselbe Nadel im Quadriceps eines muskulösen Mannes dem Auge auf dem Fluoreszenzschirm entgehen kann, jedoch auf der photographischen Platte, die gewissermassen ein verfeinertes Auge darstellt, vielleicht noch sichtbar ist. Mit anderen Worten ausgedrückt bedeutet dies: nicht nur das spezifische Gewicht eines Körpers, sondern das Produkt aus spezifischem Gewicht und Ausdehnung, d. h. das absolute Gewicht oder die Masse der in einem bestimmten Querschnitt durchstrahlten Schichten muss eine gewisse Minimaldifferenz gegen den Fremdkörper zeigen. In den Fällen, wo das menschliche Auge vermöge seiner Unvollkommenheit Unterschiede im Detail des Schirmbildes nicht mehr wahrnimmt, kann die photographische Platte infolge ihrer Fähigkeit, selbst lichtschwache, aber einigermaßen kontrastierte Eindrücke bei längerer Exposition zu einem lichtstarken zu sammeln, ferner wegen ihres feineren Kornes und der Möglichkeit ruhiger Betrachtung Unterschiede noch erkennen lassen,

Kugeln in der Hand und in dem Arme findet man selbst dann, wie unsere eigenen Beobachtungen beweisen, wenn das Kaliber ein sehr kleines ist. Schwieriger gestaltet sich die Sache, wenn wir etwa den Oberschenkel absuchen sollen. Aber auch hier glückte die Auffindung eines 6 mm-Projektils am Oberschenkelknochen eines 19jährigen, sehr muskulösen Menschen auf dem Leuchtschirm ohne jede Schwierigkeit, und es gelang die Darstellung im Pyknogramm mit erstaunlicher Schärfe. Die Kanüle einer Pravaz-

schen Spritze, welche sich jemand im abusus morphii in den Oberschenkel eingestossen hatte, sahen wir genügend klar auf dem Schirme erscheinen, so dass sie sofort ohne jede Schwierigkeit entfernt werden konnte.

In der Brust sind die Fremdkörper nicht allein von Weichteilen, sondern teilweise auch noch von den Rippen, der Wirbelsäule und den Schulterblättern verdeckt. Aber auch diese schützenden Decken hindern den Durchtritt von Röntgen'schen Strahlen und die Entstehung eines gut differenzierten Bildes nicht. Ohne jede Anstrengung sieht man auf dem Leuchtschirm eine Kugel, eine Stecknadel u. dergl. stecken. Von einer scheibenförmigen Vogelpfeife, die einem Kinde in der Höhe der Incisura jugularis in der Speiseröhre stecken geblieben war, sahen wir deutlich selbst auf dem Schirme ausser ihrer Form das in ihrer Mitte befindliche kleine Loch.

Aber auch der vollkommen knöchern umgebene Schädel wird durchsichtig, und Fremdkörper werden darin erkennbar. Die Kugel, welche ein 14jähriger Schüler sich in den Kopf geschossen und die nach den gesetzten Erscheinungen zu einer Zerstörung des Chiasma geführt hatte, konnten wir mit dem Leuchtschirm bei seitlicher Durchleuchtung mit vollkommener Deutlichkeit sehen, während sie bei Durchleuchtung von hinten nach vorn immerhin in solcher Differenzierung auf dem Schirme erschien, dass ihr Sitz genau bestimmt werden konnte. Das Photogramm bestätigte das bereits auf dem Leuchtschirm Gesehene vollkommen (s. Tafel IV).

Wie Kugeln kann man natürlich auch Splitter von genügendem Gewicht erkennen. Die Zahl der Nadeln und Metallsplitter, welche wir in ihrer Lage zu bestimmen und zu entfernen Gelegenheit hatten,

ist eine sehr grosse. Selbst sehr minimale Splitterchen wurden anstandslos gefunden. Ein Mann trug seit 19 Jahren angeblich ein Stück einer Nadel im Vorderarm; die Pyknoskopie bewies, dass nicht ein, sondern drei Splitter vorlagen, die, trotzdem sie durch den Radius verdeckt wurden und nur $\frac{1}{2}$ mm lang waren, vollkommen deutlich auf der Platte zum Vorschein kamen (s. Tafel V). Solche kleine Splitter auf dem Leuchtschirm zu sehen, verlangt freilich Übung, wie das Sehen durch das Mikroskop, und darum wird der weniger Geübte gut thun, sein Auge durch das Photogramm zu kontrollieren. Ebenso wie metallische Körper von genügender Schwere sind uns auch Glassplitter von ganz geringer Grösse sichtbar geworden. Auch Holzsplitter von dichtem Holze, z. B. Buchenholz, sind durch die photographische Platte in den dünneren Weichteilen nachweisbar.

Dass man im Auffinden von Fremdkörpern tatsächlich Ungeahntes leisten kann, das beweisen die Befunde von Nägeln, Nadeln und ähnlichen Dingen in Speise- und Luftröhre, Brust, Bauch, Tonsille, und von Haarnadeln besonders in der weiblichen Blase, von Nägeln und ähnlichem im Kopfe. Derartige Bilder eines Kopfes, in dessen Schwarte ein Kranker sich zahlreiche Nadeln eingestochen hatte, zeigte auf dem 26. Chirurgenkongress Kümmel.

Besonders deutlich sahen wir auf dem Leuchtschirm einen verschluckten Nagel innerhalb des Magens eines Kindes. Derselbe liess sich auf der Platte leicht fixieren, und zwar nicht nur in der Rückenlage, wo die Strahlen den Körper von vorn nach hinten zu durchdringen hatten, sondern auch in linker Seitenlage, wo sie die letzten Rippen und die Leber in ihrer ganzen Breite durchstrahlen mussten. Auch in diesem Bilde erscheint der Nagel mit voll-

kommener Deutlichkeit, d. h. soweit man solche überhaupt auf der Platte verlangen kann, denn nicht immer sieht man den Fremdkörper im Pyknogramm so deutlich wie auf dem Schirme. Sehr häufig, und so war es hier in diesem Falle, werden die irgendwo festgespiessten Körper eine respiratorische Verschiebung zeigen. Man darf deshalb nicht ein scharfes Bild verlangen, sondern eine nebeneinander gelagerte Reihe von Bildern. Der Nagel erscheint infolgedessen nicht in natürlicher Stärke, sondern etwa 10 bis 20 Mal so stark, und zwar um so stärker an den Stellen, welche der respiratorischen Verschiebung am meisten unterworfen waren, also fächerförmig. Die Kenntnis dieser Erscheinung ist deshalb sehr wichtig, um einmal das Bild auf der Platte deuten zu können, und dann auch, weil wir aus der Grösse dieser respiratorischen Verschiebung auf die Lage des Fremdkörpers zur Frontal- oder Sagittalebene schliessen können. Oft werden wir aber, wie in dieser unserer Beobachtung, die Patienten zum Stillliegen auch für Sekunden nicht veranlassen können und deshalb unklare Bilder erhalten.

Einen sehr interessanten Vorgang konnten wir an einem sechsjährigen Kinde beobachten, welches ein 2 cm langes Stückchen einer Nähnadel verschluckt hatte und unmittelbar nach dem Verschlucken zu uns gebracht wurde. Wir durchleuchteten in Pausen von je 1 Stunde dreimal und konnten auf diese Weise eine lebhaftere Darmperistaltik konstatieren, indem wir die Nadel zuerst in der Magengegend, dann in der Nähe des Nabels und zuletzt tief im Becken photographieren konnten.

Die exakte Bestimmung der Lage eines Fremdkörpers wird je nach dem gegebenen Falle auf ver-

schiedene Weise zu erreichen sein und fordert oft vom Arzte einen grossen Aufwand an Scharfsinn, Mühe und Zeit. Wer sich dies nicht ein für allemal einschärft, sieht oft erst während der Operation die Notwendigkeit des vorher verschmähten mathematischen Durchdenkens der Verhältnisse ein. Selbst eine scheinbar genaue mathematische Ortsbestimmung lässt den Operateur oft noch genug technische Schwierigkeiten finden.

Die Auffindung des Fremdkörpers im pyknoskopischen Bilde genügt in den meisten Fällen keineswegs, um darauf einen Operationsplan zu gründen. Denn dieses ist ja nur eine Schattenprojektion ohne Tiefenzeichnung, welche die Dinge nur nebeneinander in einer Ebene, aber nicht hintereinander darstellt.

Zur Ortsbestimmung eines punktförmig gedachten Fremdkörpers bedürfen wir aber der Kenntnis dreier etwa senkrecht aufeinander stehender Ebenen, in deren gemeinschaftlichem Schnittpunkte der Fremdkörper liegt. Nehmen wir der Einfachheit der Darstellung wegen die zu durchsuchenden Körperteile als senkrecht gestellte cylindrische Formen an, so benutzen wir als gegebene feste Orte, von denen aus wir die gesuchten konstruieren, die Tangentialebenen dieser Cylinder von sagittaler und frontaler Richtung, von denen uns je zwei zur Verfügung und Auswahl stehen, während eine geeignete Horizontalebene sich aus der Höhenmessung ergibt oder dadurch bestimmt wird, dass man um das betreffende Glied in der Höhe des Fremdkörpers einen Drahting legt und denselben so zurechtschiebt, dass er im Schirmbilde als einfache Linie erscheint, welche durch den Fremdkörper geht. Auch Tangentialebenen der in den Weichteilen fühlbaren und pyknoskopisch sichtbaren Knochen können zur Orientierung dienen.

Das pyknoskopische Bild lässt jedesmal zwei Ebenen erkennen, in denen der Fremdkörper liegen muss, nämlich die Horizontalebene und als zweite entweder die Sagittalebene bei sagittaler Durchstrahlung und frontaler Haltung des Schirmes, oder die frontale Ebene bei frontaler Durchstrahlung und sagittaler Haltung der Schirmfläche. Im ersten Falle kann man dann etwa sagen: der Fremdkörper liegt in der

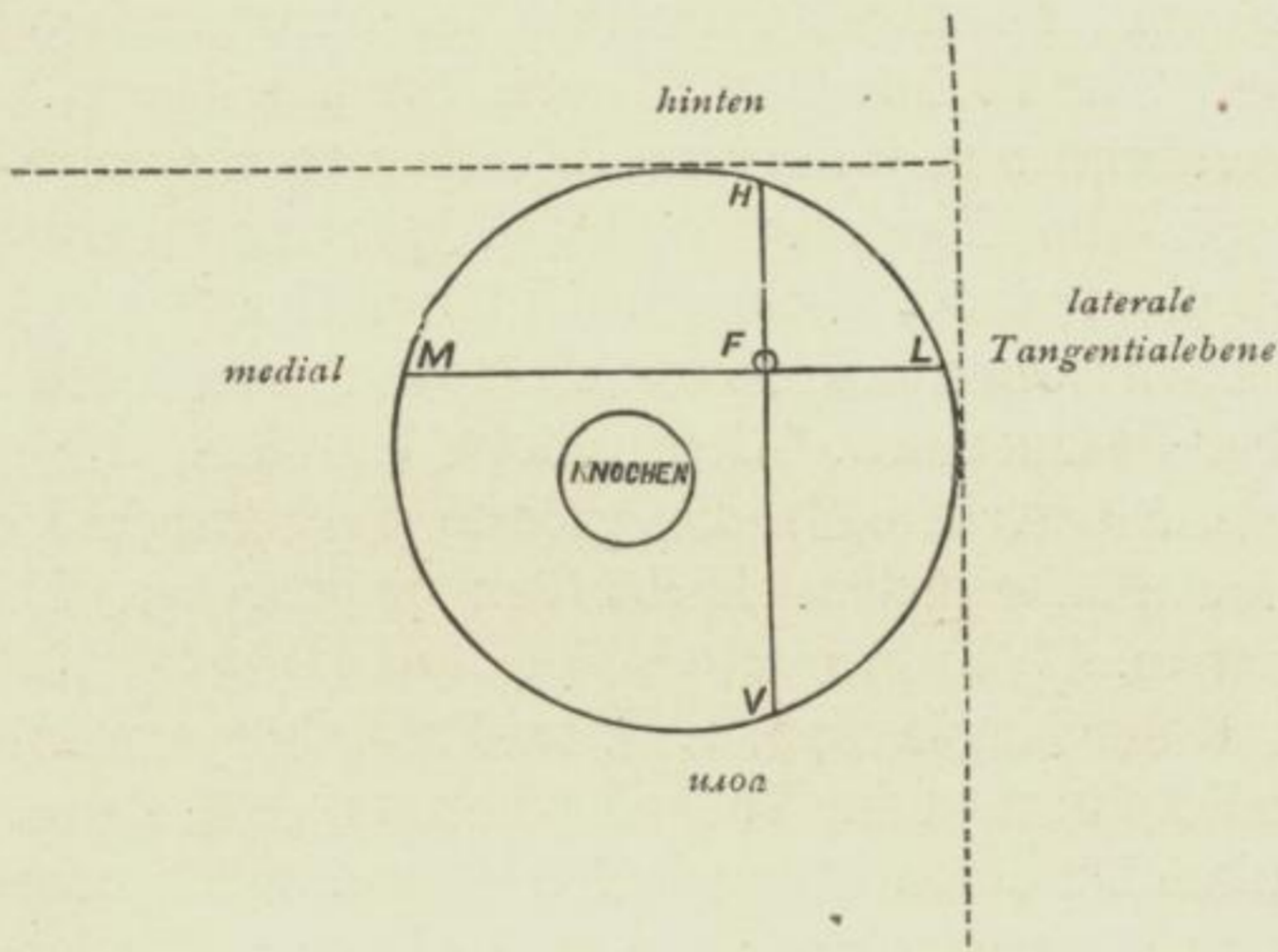


Fig. 51.

Bestimmung der Lage eines Fremdkörpers.

markierten oder gemessenen Querschnittshöhe und in einer Sagittalebene, welche von der sagittalen (lateralen oder medialen) Tangentialebene eine bestimmte Paralleldistanz hat. Diese Paralleldistanz misst man entweder auf dem Schirme nach Centimetern oder berechnet dieselbe, wenn man bei Anwendung zu divergenter Strahlen (bei zu grosser Nähe der Strahlenquelle) vergrösserte Projektion fürchtet, nach dem Verhältnis zum Glieddurchmesser. Es ist dadurch eine sagittal im Gliede liegende Linie bestimmt, auf

welcher der Fremdkörper liegen muss, nämlich die Schnittlinie VH der Sagittalebene in der Horizontal- (Querschnitts-) Ebene (Fig. 51). Ob der Fremdkörper auf dieser im vorderen oder hinteren Abschnitte liegt, entscheidet eine zweite frontale Durchleuchtung, welche den Abstand der betreffenden Frontalebene von der vorderen oder hinteren Tangentialebene und damit in der Horizontalebene eine frontale Schnittlinie ML bestimmt, deren Schnittpunkt mit der zuerst gefundenen Sagittallinie der Sitz des Fremdkörpers F ist. Es erübrigt nun immer noch, diesen mathematischen Riss in die Topographie des Gliedes zu übertragen und die radiale Distanz des Fremdkörpers von dem nächsten Oberflächenpunkte, sowie den letzteren selbst festzustellen. Hierin liegt bei dicken Weichteilen (Oberschenkel) die grösste Schwierigkeit, da kleine Fehlerquellen leicht den praktischen Erfolg vereiteln.

Unter Umständen, z. B. bei Fremdkörpern in der Hand, kann man zur Tiefenbestimmung auf die zweite frontale Durchleuchtung, welche hier ohnehin misslich ist, zu Gunsten eines anderen einfachen Mittels verzichten, welches Aufschluss giebt, ob der Fremdkörper auf der der Röhre oder der dem Schirme zugewendeten Seite liegt. Verschiebt man nämlich die Hand seitlich hinter dem Schirme, so scheint sich der Fremdkörper innerhalb der Details des Handbildes im Sinne der Handbewegung zu verschieben, wenn er der Strahlenquelle näher liegt als die Knochen, während diese Verschiebung der Handbewegung entgegengesetzt ist, wenn er dem Schirme näher liegt als die Knochen. Dieses Verfahren bewirkt eine plastische Auffassung des Bildes durch Aufeinanderfolge derselben Eindrücke, welche beim Betrachten der stereoskopischen Aufnahme nebeneinander wirken.

Auch durch Rotation eines Gliedes kann man feststellen, ob ein Fremdkörper vor oder hinter der Rotationsachse liegt, da sein Bild im ersten Falle sich im Sinne der Bewegung der Vorderfläche des Gliedes mit bewegt, im letzten Falle umgekehrt. Aus der Grösse der Verschiebung bei der Rotation kann man auf seine Entfernung von der Drehungsachse schliessen.

Schliesslich kann man auch zwei Linien in der Horizontalebene als geometrische Orte für den Fremdkörper dadurch finden, dass man bei der Durchleuchtung in einer Richtung je einen Metallknopf auf der abgewendeten und der zugewendeten Seite des Gliedes so anklebt, dass beide mit dem Fremdkörper im Projektionsbilde sich decken, und dasselbe in einer zweiten Richtung wiederholt. Den nächsten Oberflächenpunkt und seine radiale Distanz vom Fremdkörper kann man dadurch feststellen, dass man mit einem plastischen Drahte den Umfang des Gliedes in der betreffenden Horizontalebene nachbildet, die Knöpfe daran markiert, den Draht dann abnimmt und auf einer Papierzeichnung den gesuchten Punkt konstruiert, diesen an dem Drahttring und mit Hilfe desselben an dem Gliede markiert. Besondere Methoden der Fremdkörperbestimmung haben in neuerer Zeit Angerer und Levy-Dorn angegeben. In dem einen Falle wird dieses, in einem anderen ein anderes Verfahren, in allen Fällen aber ruhige Überlegung und Geschick von seiten des Arztes nötig sein.

Oftmals aber lassen sich die beschriebenen Hilfsmittel überhaupt nicht ohne weiteres in Anwendung bringen, weil wir die erkrankten Glieder, z. B. in der Gegend des Rumpfes, oder weil Kontrakturen vorhanden sind, gar nicht in die gewünschte Lage bringen können. Nachdem wir alle diese üblen Erfahrungen beim Aufsuchen von Fremdkörpern in dichten Weich-

teilmassen durchgemacht hatten, blieb nur noch die Möglichkeit übrig, das Röntgenkabinett mit dem Operationszimmer zu kombinieren. Bei einer solchen Kombination, die natürlich an das Geschick des Arztes hohe Anforderungen stellt, wird das Verfehlen eines Fremdkörpers auf das geringste Mass zurückgeführt. Dass wir den Leuchtschirm nicht zu desinfizieren imstande sind, das bleibt natürlich, ebenso wie das Tappen im Dunkeln, was sich allenfalls durch Verwendung des Kryptoskops abwenden liesse, ein grosser Nachteil der Methode. Wer aber je den Versuch gemacht hat, schwieriger zu findende Fremdkörper zu extrahieren, wird wissen, dass in manchen Fällen ein anderer Ausweg nicht übrig bleibt, und auch nur für diese seltenen Fälle möchten wir unseren Vorschlag verwendet wissen.

Einen exquisit beweisenden Fall dieser Art haben wir erst kürzlich behandelt. Ein 12jähriges Mädchen hatte sich eine Häkelnadel in die Gegend des rechten Kniegelenks eingestossen; die Nadel war abgebrochen und verschwunden. Die exakte Durchleuchtung bewies, dass die Nadel in der Nähe des inneren Höckers des Oberschenkels sitzen musste; naturgemäss war es aber unmöglich mit Sicherheit zu bestimmen, ob die Nadel die Kapsel durchdrungen hatte und im Gelenk sass, oder nicht. Wir hüteten uns zunächst wohl das Gelenk zu eröffnen; trotz exakter Ortsbestimmung war es uns jedoch nicht möglich die Nadel zu finden. Wir verbanden deshalb die Wunde provisorisch und durchleuchteten nochmals. Da zeigte sich denn, was uns vorher nicht möglich war zu erkennen, nämlich, dass die etwa $\frac{3}{4}$ cm lange Nadel im Gelenk sass und bei Bewegungen desselben ihren Ort wechselte. Wir konnten schliesslich die Nadel nicht anders auffinden und entfernen, als dass wir im

Dunklen unter Anwendung der Röntgen'schen Strahlen mit dem Finger suchten und, als wir sie gefunden hatten, fixierten. Jetzt gelang die Extraktion leicht, und wir hatten die grosse Freude, 3 Wochen später, nach vollkommen aseptischem Verlauf, das Kind munter mit gesundem und voll beweglichem Knie umherspringen zu sehen.

Eine Warnung wollen wir jedoch ausdrücklich nicht unterlassen: nämlich die vor unnötigen therapeutischen Eingriffen. Fremdkörper dürfen nur dann entfernt werden, wenn sie Beschwerden machen. Besonders instruktiv hat sich die Pyknoskopie in diesem Punkte bei Schussverletzungen erwiesen und die Richtigkeit des Vorgehens derer, welche möglichst konservative Therapie empfehlen, insofern bestätigt, als die Schusskanäle von Weichmantelgeschossen im pyknoskopischen Bilde mit Geschossstückchen wie austapeziert erkannt wurden. Wir werden überhaupt selten in der Lage sein alle Stücke zu entfernen.

Nachdem wir trotz dieser Bedenken oft Gelegenheit gehabt haben Fremdkörper, Kugeln, eingestochene Splitter, Nadeln u. dergl., zu entfernen, halten wir das folgende Verfahren für das Beste. Wir werden jedem Anfänger raten, in der folgenden Weise vorzugehen, denn selbst die Extraktion eines Splitters aus der Hand, dem dünnsten Organ, ist noch schwierig genug, wenn man nicht durch grosse Schnitte den Kranken schädigen will. In erster Linie wird das Organ, z. B. die Hand oder der Fuss — Glieder, die bei weitem am häufigsten in Frage kommen — in einer Richtung, z. B. mit aufgelegter Beugeseite, durchleuchtet. Wir sehen dann den Fremdkörper etwa an der lateralen Seite des dritten Metatarsus dicht am proximalen Gelenkende. Nun wissen wir natürlich noch nicht, ob der Körper auf der Streck- oder Beugeseite liegt. Ist diese Ent-

scheidung bei der Hand auch nicht so notwendig, so ist sie es desto mehr beim Fuss. Dazu müssen wir rechtwinklig zur ersten Durchleuchtungsebene pyknoskopieren; wir werden deshalb den Fuss nun mit dem äusseren Fussrande auf den Schirm legen, so dass wir jetzt die Sagittalebene des Fremdkörpers bestimmen, während wir zuerst die Frontalebene bestimmten, in welcher er liegt. Wir sehen nun, wollen wir annehmen, den Fremdkörper 1 cm plantarwärts von demselben Metatarsus und wissen damit, dass derselbe sitzen muss: auf der Plantarseite, und zwar 1 cm vom Knochen an der lateralen Seite des dritten Metatarsus in der Gegend seines proximalen Gelenkendes. Wir empfehlen nach dieser Prüfung jedesmal die Herstellung wenigstens eines Photogramms, d. h. die Herstellung des pyknoskopischen Bildes der Sagittal- oder der Frontalebene. Nur so gelang uns die Lagebestimmung des früher erwähnten Nagels im Magen. Wie der Geübtere auch ohne die Photographie imstande ist, Fremdkörper zu finden, das haben wir des Genaueren oben geschildert und wollen deshalb nur darauf zurückverweisen.

Eine weitere Berücksichtigung muss die Aufstellung der Strahlenquelle finden, wenn wir nicht zu starke Verzerrungen im Bilde erhalten wollen. Es ist klar, dass wir desto genauer dem Original entsprechende Schattenrisse erhalten werden, je weniger divergent die Strahlen das zu besichtigende Objekt durchdringen. Um dies zu erreichen, bedarf es einer möglichst weiten Entfernung der Strahlenquelle von dem Objekt. Da nun aber auch die Intensität der Röntgen'schen Strahlen mit Zunahme der Entfernung abnimmt, und zwar in ziemlich hohem Masse, so wird man diese Forderung einschränken müssen. Wir haben gefunden, dass bei Entfernung der Röhre von

der Platte oder dem Schirme um $\frac{3}{4}$ bis 1 m ganz vorzügliche pyknoskopische Bilder zu erhalten waren. Ein weiteres Abgehen von der Lichtquelle würde in den meisten Fällen nichts weiter als eine Stromverschwendung bedeuten.

Schliesslich hätten wir noch auf die Expositionszeiten für photographische Aufnahmen zurückzukommen, da diese gewisse Vorkenntnisse verlangen. Es kann leicht vorkommen, dass wir durch zu lange Exposition einen Fremdkörper, z. B. eine Nadel, aus einer Hand vollkommen weglichten. So wird eine feine Nadel im Daumenballen einer Frau, die wir auf dem Leuchtschirm vollkommen deutlich sehen, auf der Platte fast unsichtbar, wenn wir die Hand, statt vielleicht 20 Sekunden, bei derselben Stromstärke 2 Minuten belichten, eine Zeitdauer, bei der bereits die Knochen infolge Durchleuchtung wieder undeutlicher werden. Diese Gefahr, durch zu lange Exposition zu schaden, wird fortgesetzt geringer, je dicker die abzusuchenden Körperstellen sind, so beim Aufsuchen von Geschossen, Splintern und Ähnlichem im Brustkorb, im Oberschenkel, Kopf und im Bauch. Eine Überlichtung ist wohl hier überhaupt nicht leicht zu befürchten. Eine genaue Regel schliesslich, oder gar Zeitangaben über die Dauer der Exposition zu machen, ist ebenso unmöglich, wie bei der Photographie mit Linsen. Auch hier muss bedacht werden, dass die Stärke der Lichtquelle, ihre Entfernung, die Empfindlichkeit der Platte und die technische Geschicklichkeit in der Ausarbeitung der belichteten Platte massgebend sind.

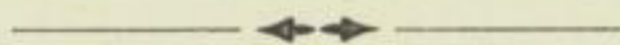
Das in jeder Hinsicht schwierigste Durchleuchtungsgebiet bildet die Bauchhöhle mit der Menge ihrer dichten Organe und den kotgefüllten Darmschlingen. Trotz der grossen Schwierigkeiten ist es jedoch bereits gelungen, das Dunkel zu lichten und Fremdkörper in

der Bauchhöhle mit Sicherheit zur Anschauung zu bringen. Den Murphy'schen Knopf, verschiedene Münzen, eine Brotmarke und ähnliche Gegenstände hat man durch den Darm wandern sehen; Nägel fanden wir selbst im Magen und Dickdarm. Das Abdomen ist also bereits die reine Fundgrube für die Forscher gewesen, und nur der Kuriosität halber sei noch die Entdeckung eines künstlichen Gebisses tief in der Speiseröhre erwähnt.

Eine besondere Rolle endlich spielen die Fremdkörper in den Medien, die für gewöhnliches Licht durchgängig sind, also im Auge. Im allgemeinen wird man diese nach wie vor mit dem Augenspiegel suchen; findet man sie so nicht, so mag der Vorschlag von Lewkowitsch noch erwähnt werden, der die photographische Platte zwischen Bulbus und Thränenbein brachte und dann pyknoskopierte. Natürlich ist hierdurch nur der vorderste Teil des Auges durchforschbar.

Mancher, der diese Zeilen durchliest, welche zeigen, dass einer guten Aufnahme nur noch ausnahmsweise ein grösserer Fremdkörper, sagen wir ein solcher etwa von Pfenniggrösse an, entgehen kann, mag in einer gewissen Beschämung über mangelndes Gelingen seiner Versuche an der Brauchbarkeit der pyknoskopischen Methode in der Praxis verzagen. Nicht jeder ist so glücklich, sich einen Induktor von etwa 25 bis 40 cm halten zu können, denn ein solcher gehört im allgemeinen in erster Linie dazu, um die geschilderten Erfolge bei kurzen Belichtungszeiten zu erzielen. Das zweite Erfordernis sind leistungsfähige Vakuumröhren, welche den Gebrauch so grosser Funkenlängen gestatten. Hat man beides, dazu das nötige Geschick und die nötige Zeit zur Übung, so gehören allerdings Beckenaufnahmen von

erwachsenen muskulösen Menschen bei 3 Minuten und noch kürzerer Expositionszeit nicht zu dem Aussergewöhnlichen. Aber auch für denjenigen, der eine Beckenaufnahme mit einem Induktor von nur 12 bis 15 cm Funkenlänge plant, ist ein befriedigendes Resultat nicht unerreichbar. Was er an elektromotorischer Kraft zu wenig hat, das muss er durch geeignete Röhren und durch die Dauer der Expositionszeit ersetzen, ein Nachteil, der oft von den Patienten gar nicht so schwer empfunden wird, da man ja die Aufnahme im Bett machen kann. Allerdings müssen bei so geringen Funkenlängen die Expositionszeiten auf das Drei- bis Vierfache der angegebenen verlängert werden, um für das Becken des Erwachsenen einigermaßen brauchbare Bilder zu liefern. Aber es sind selbst weniger scharfe Bilder für diagnostische Zwecke manchmal ausserordentlich wertvoll. Geeignet sind, wie wir schon früher erwähnten, für solche Aufnahmen mit kleinen Induktoren lediglich solche Röhren, welche wir als reife bezeichnet haben, die bekanntlich die kritischsten Strahlen liefern.



10. Kapitel.

Die Anatomie und Pathologie der Knochen im pyknoskopischen Bilde.

Eins der vorzüglichsten Mittel, die Anatomie und die Pathologie der Knochen zu studieren, bildet jetzt die Pyknoskopie. Was uns früher nur das Skelett und Schnitte durch den Knochen zu zeigen im stande war, das sehen wir heute selbst an den verborgensten lebenden Knochen durch die Pyknoskopie mit erheblicher Schärfe.

Die von dünnen Weichteilmassen bedeckten Knochenpartien, d. h. die Hand, der Vorderarm, das Ellenbogengelenk, der Oberarm bis in die Schultergegend, der Fuss, der Unterschenkel und das Kniegelenk bieten der Technik heutzutage so wenig Schwierigkeiten, dass wir nicht nur jede gröbere Strukturveränderung ohne weiteres sehen, sondern selbst den architektonischen Aufbau der Hand- und der Fussknochen, die zarte, durch die Knochenbälkchen am Knochen hervorgebrachte Faserung erkennen können. Der dicke Calcaneus erscheint so zart gefasert, dass man einen Knochenschliff vor sich zu haben glaubt. Leicht erscheint auch die Knochenstruktur an dem Vorderarm und an den Unterschenkelknochen auf dem pyknoskopischen Bilde; die Epiphysenlinien und die Knochenkerne springen selbstverständlich ohne weiteres ins Auge. Auch die tiefer bedeckt liegenden Knochen des Oberarms und Oberschenkels liefern gute Strukturbilder.

Schwieriger darzustellen sind das Schulter- und das Hüftgelenk, doch ist die deutliche Abbildung beider selbst bei Erwachsenen mit Induktorien von nur 15 bis 20 cm Schlagweite auf der photographischen Platte leicht, während allerdings günstigere Momente dazu gehören, um auf dem Leuchtschirm, besonders für das Hüftgelenk, einen deutlichen Schattenriss zu erhalten. Am Erwachsenen ist uns bei Durchleuchtung des Hüftgelenks nur einmal auf dem Schirm ein völlig klares Bild eines enorm abgemagerten 40jährigen Mannes bei 25 cm Schlagweite geglückt; bei Kindern ist man natürlich sicherer. Das Schultergelenk hat uns jedoch nur bei sehr muskulösen und sehr starken Leuten grössere Schwierigkeiten verursacht. In der Mehrzahl der Fälle sieht man auf dem Schirm ausserordentlich scharf das Acromion und die

Modellierung des Schulterblattes, während die Pfanne bei nicht ganz geeigneter Einstellung unter normalen Verhältnissen durch den Humeruskopf verdeckt und durch die dichte Knochenmasse desselben unsichtbar werden kann.

Will man feinere Knochenstrukturen beobachten, so kann nur die photographische Aufnahme empfohlen werden. Mit Induktorien von etwa 25 cm Schlagweite gelingt es, so fein ausgearbeitete Schattenbilder darzustellen, dass man die Struktur selbst des Kreuzbeins, seine Löcher, die Leisten, die von ihm ausgehenden Bändermassen, desgleichen die Struktur der Darmbeinschaufeln gut sehen kann. Am Schädel wirken die einzelnen dichteren und dünneren Stellen des Knochens und die in ihm enthaltenen Höhlen so ausserordentlich plastisch, dass man bei einer einigermaßen guten Aufnahme einen skelettierten Schädel vor sich zu haben glaubt.

Sehr schöne Bilder gewinnt man von der gesamten Wirbelsäule und dem Brustkorb. Ja, letztere Aufnahmen müssen wir als besonders leichte bezeichnen, an denen auch der mit kleinerem Induktor Ausgerüstete Vergnügen und Genugthuung empfinden wird.

Doch nicht nur den fertigen Knochen können wir bis in die Details hinein durch die Pyknoskopie in seinem Aufbau verfolgen, wir können direkt den Knochen wachsen und sich bilden sehen. Die Pyknoskopie ist deshalb, was für forensische Zwecke in Frage kommen könnte, ein Mittel, das Alter jugendlicher Personen zu ermitteln. Die Möglichkeit, gerade die Knochenbildung verfolgen zu können, dürfte für die Folgezeit ein Hauptgebiet der pyknoskopischen Forschung werden, da hier ja noch zahlreiche Fragen der Lösung harren.

Gehen wir nun zu den pathologischen Verhältnissen über, so ist uns nach den bisherigen Resultaten sowohl die Erkennung von Verletzungen, als auch spontaner Krankheiten möglich.

Beginnen wir mit den ersteren zunächst, so müssen wir bemerken, dass sowohl Frakturen als Luxationen selbst an den tiefen Gelenken sich leicht photographieren lassen. Der Wert der Methode ist in dieser Hinsicht ein geradezu eminenten. Gerade da, wo uns das Bild auf dem Leuchtschirm leicht im Stich lässt, d. h. am Hüftgelenk und am Becken, ist die Pyknographie ausgezeichnet im stande, die Lücke auszufüllen. Die schwere Beweglichkeit der Verletzten verbietet ja bereits an und für sich oft die Besichtigung mit dem Schirm, da wegen der Schmerzhaftigkeit mit ihnen nicht bequem umgegangen werden kann. Wir sind in diesen Fällen auf die Ergebnisse der Photographie angewiesen. Das pyknoskopische Bild seinerseits lässt sich aber ebenso einfach wie schmerzlos für den Kranken herstellen. Wir empfehlen für solche Fälle, die photographische Platte verschlossen in ein Papierfutteral oder in eine Kassette, wie sie Ferd. Ernecke, Berlin, liefert, einfach dem im Bette oder auf dem Tisch liegenden Kranken unter das Gesäss unterzuschieben und die Röhre leuchten zu lassen, indem wir sie in genügender Entfernung — wir benützen die eines halben bis ganzen Meters — von der Platte anbringen. Natürlich muss die Platte gut vor Bruch durch ein eventuell untergelegtes Brett oder durch eine tragfähige Kassette geschützt werden. Die Expositionszeit darf man, um gute Bilder zu liefern, nicht zu kurz bemessen. Wir halten je nach der Stärke des Körpers eine solche von drei bis sechs, höchstens zehn Minuten beim Erwachsenen für sehr wünschenswert. Auf diese Weise

gelingt es aber selbst bei sehr starken Personen und bei Induktorien von nur 20 cm Schlagweite mit Sicherheit die Beckenknochen und das Hüftgelenk zur Anschauung zu bringen. Bei der Bequemlichkeit, die man dem Patienten während der Belichtung bieten kann, fällt unseres Erachtens die lange Dauer der Exposition nicht so schwer ins Gewicht. Es ist stets erreichbar, dass man bei diesem Verfahren sowohl Brüche am Becken und Hüftgelenk, als auch Luxationen zur Ansicht bringen kann. Auch die Geburtshelfer werden auf ihre Rechnung kommen, denn difformierte Becken wird man regelrecht erkennen können.

Brüche und Verrenkungen an den oberflächlicher liegenden Knochen selbst auf dem Leuchtschirm zu übersehen, gehört heute zu den Unmöglichkeiten. Allenfalls könnte das Schultergelenk noch Schwierigkeiten bieten; doch ist es uns stets gelungen, bei richtiger Direktion des Schirmes gute Schattenrisse zu erhalten. Auf der Platte sieht man alle Details.

Wir geben hier das Pyknogramm eines Bruches des Oberarmknochens im anatomischen Halse wieder (s. Tafel VI), und zwar vier Wochen nach erfolgter Verletzung. Man sieht in demselben deutlich die Konturen der Knochen, des Acromions, der Pfanne, des Schulterblattes, der Rippen und des Oberarmes. Wir sehen, wie die Gelenkfläche des Kopfes lateral verschoben ist. Eine Periostbrücke, die von der Diaphyse des Oberarmes sich mit losgelöst hat, hat bereits Knochen produziert und erscheint deshalb als Schatten. Am Oberarmknochen ist Mark und Rindensubstanz ausserordentlich scharf unterschieden. Ein ganz wesentlicher Vorzug des pyknographischen Bildes ist es, dass wir den Heilungsvorgang von Tag zu Tag verfolgen können. Was Julius Wolff für das

Wachstum der Knochen der Methode nachgerühmt hat, das müssen wir ihr bei der Beobachtung der Heilungsvorgänge nachsagen: was wir in früheren Zeiten mühsam an zufällig erlangten Präparaten studieren mussten, das können wir jetzt Fall für Fall mit eigenen Augen am lebenden Körper sehen.

Da selbst Gips- und Schienenverbände ein Hindernis für die Röntgen'schen Strahlen nur in sehr geringem Grade bedeuten, so kann man verfolgen, ob die Reposition der Bruchenden oder der Luxation richtig erfolgt, ob sie während der Behandlung eine ideale geblieben ist, und ob die Bildung des Callus, dessen Ausbildung zu Knochen sich durch Verminderung der Durchlässigkeit zu erkennen giebt, in normaler Weise erfolgt. Pseudarthrosen werden sich auf diese Weise mehr und mehr vermeiden lassen. Derjenige, der sich gewöhnt, jede Fraktur nach mehreren Richtungen zu durchleuchten und womöglich auf der Platte darzustellen, der wird erstaunt sein, wie mangelhaft selbst die bisher als ideal geheilt angesehenen Brüche geheilt sind. Es ist gar keine Frage, dass die Pyknoskopie speziell dazu berufen ist, im Gebiet der Heilung der Extremitätenverletzungen ganz neue und ungeahnte Verbesserungen und damit die Beseitigung zahlloser Unfallschäden hervorzurufen. Es erscheint uns nach unseren Beobachtungen gar nicht selten, dass eine mangelhafte Reposition durch Interposition zwischengelagerter, abgesprengter Knochenstückchen bedingt ist.

Bei den frischen Verletzungen, besonders bei den Gelenkverletzungen, kann unter Umständen der Bluterguss das Sehen auf dem Leuchtschirm erschweren. Die Photographie stört derselbe aber in keinem Falle. Wir behandeln seit langer Zeit überhaupt keinen Knochenbruch mehr ohne fortgesetzte Kontrolle mittels

der Röntgen'schen Strahlen und verfügen deshalb thatsächlich über geradezu ideale Resultate. Speziell durchleuchten wir stets während des Gebrauchs unsere Gehverbände und verdanken den Röntgen'schen Strahlen manche Warnung.

Wir stehen nicht an, die Röntgen'sche Durchleuchtung zu denjenigen Hilfsmitteln bei Behandlung von Knochenbrüchen zu rechnen, deren Ausserachtlassung den Arzt in schwere Konflikte mit den Gesetzen bringen kann. Leider haben wir gar nicht selten den Fall erlebt, dass Röntgen'sche Aufnahmen von Kranken nur dazu verlangt wurden, um den Arzt, der den Bruch „falsch“ geheilt hatte, zu verklagen. Ja, wir hörten neulich einen öffentlichen Vortrag, in dem dieses Mittel angepriesen und von der Verurteilung eines Arztes gesprochen wurde, der einen Unterschenkelbruch nicht gerade geheilt hatte. Wir können jedem Kollegen deshalb nicht genug dazu raten, jeden Knochenbruch während der Heilung durchleuchten zu lassen, damit ihm nicht unangenehme Folgen entstehen.

Während für die grosse Mehrzahl der Knochen bereits ein erdrückendes Material von Beobachtungen über Verletzungen im pyknoskopischen Bilde vorliegt, haben wir exacte Befunde von Schädelverletzungen in der Litteratur nicht finden können, und es scheint ja wohl auch höchst wahrscheinlich, dass hier die Methode ihr Ende haben wird. Verletzungen der Wirbelsäule sind bei Kindern stets, bei Erwachsenen natürlich schwieriger mit dem Pyknoskop zu konstatieren. Dass die Methode Enormes leistet, erkannten wir, als wir den difform geheilten Wirbelbruch eines geradezu hünenhaften Mannes am sechsten Halswirbel deutlich auf dem Leuchtschirm sahen und auch photographieren konnten.

Ein besonders günstiges Beobachtungsobjekt geben die Gelenkbrüche und diejenigen selteneren Frakturen ab, die den bisherigen diagnostischen Hilfsmitteln grosse, ja unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenbrachten, und bei deren Erkennung wir mehr oder weniger auf Vermutungen angewiesen waren, wie bei den Frakturen von Hand- und Fusswurzelknochen, von Sesambeinen, besonders auch bei Brüchen an der Pfanne des Schulter- und des Hüftgelenkes. In jedem Gelenke können wir selbst sehr kleine abgesprengte Knochenstückchen erkennen und zu deren Entfernung schreiten, falls es sich nötig erweist. Aber nicht nur diese Arten von Gelenkmäusen, also solche, die einen Knochenkern besitzen, vermögen wir zu sehen und ihren Sitz zu bestimmen, sondern sogar, wenn nicht besonders ungünstige Verhältnisse vorliegen, wie uns die Beobachtung gelehrt hat, rein knorpelige. Gelingt es, dieselben für die photographische Aufnahme in den Gelenkspalt einzustellen, was fast immer möglich sein dürfte, so ist ein Übersehen unmöglich. Was diese Erkenntnis für die chirurgische Technik bedeutet, was es heisst, bei difform geheilten Frakturen nicht allein auf die Abtastung für den operativen Eingriff angewiesen zu sein, das brauchen wir nur anzudeuten. Für die operative Technik werden gerade die Gelenkverletzungen, die mit erheblichen Bewegungsstörungen geheilt sind, ein grosses Kontingent stellen, weil wir durch die Pyknoskopie in die Lage versetzt sind, die Bewegungshemmnisse direkt zu sehen und nun unser Handeln dem Befunde anzupassen.

Wie für die Knochenverletzungen, ist auch, und zwar fast in noch höherem Grade, für Knochenkrankheiten die Pyknoskopie seit der kurzen Zeit ihrer Entdeckung zu einem diagnostischen Hilfsmittel

ersten Ranges geworden. Weniger den Leuchtschirm, als die photographische Platte möchten wir jedoch zur Erkennung der oftmals zarten Veränderungen empfehlen, und auf die durch Verwendung der Photographie gewonnenen Resultate beziehen wir uns im folgenden.

Zu den häufigsten Knochenerkrankungen gehört die Tuberkulose. Ist es in der Regel auch für den Spezialarzt nicht so schwierig, diese Erkrankung zu diagnostizieren, so wissen wir dennoch, dass der praktische Arzt, der die Fälle in ihrer Entstehung und in weniger ausgebildeten Stadien sieht und damit wesentlich ungünstiger dasteht, wie der Spezialist, dem in der Regel der ausgebildete Prozess zugeht, über die Natur der Erkrankung nicht klar wird.

Gerade aber bei der Tuberkulose, das haben uns unsere Erfahrungen bewiesen, sind die Röntgenstrahlen zu diagnostischen Zwecken sehr wertvoll. Die Möglichkeit, tuberkulöse Herde im Knochen durch das pyknoskopische Bild zur Anschauung zu bringen, ergibt sich aus der charakteristischen Wirkung des tuberkulösen Prozesses, dass er die Dichtigkeit und Struktur des Knochens vernichtet. Demgemäss sehen wir im Bilde an den entsprechenden Stellen hellere verwaschene Flecke und namentlich die scharfen Konturen der kompakten Substanz unscharf werden und verschwinden. So war uns in einem diagnostisch sehr schwierigen Falle der Nachweis tuberkulöser Granulationen am Darmbein möglich. Sie hatten thatsächlich den Knochen an der Stelle zerfressen, wo wir ihn bei der nachfolgenden Darmbeinresektion freilegten. Noble Smith beobachtete zuerst eine Wirbelkaries bei einem 27jährigen Mädchen an der Halswirbelsäule. Wir selbst sahen den processus spinosus des fünften Halswirbels bei

einem Mädchen zerfressen. Aber auch im Brust- und Lendenteile konnten wir die tuberkulösen Herde von kaum mehr als Haselnussgrösse zur Anschauung bringen und sahen ähnliche Bilder bei der Ausstellung des 26. Kongresses der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie vertreten.

Die Auftreibung des Knochens bei der Spina ventosa ist im pyknoskopischen Bilde ausserordentlich scharf erkennbar. Bei einer tuberkulösen Zerstörung der Fusswurzelknochen erhielten wir ein vollkommen verschwommenes Bild. Diese so verschwommenen Stellen erwiesen sich bei der Operation als Knochengrus, der mit tuberkulösen Granulationen durchsetzt war. Bei einem stark geschwollenen Ellenbogengelenk sahen wir den eigentlichen Gelenkteil vollkommen verwaschen, ja fast fehlend, da der tuberkulöse Eiter den Rest von Knochenstruktur verdeckte.

Wie wir die durch Dichtigkeitsveränderungen bedingten Differenzen im pyknoskopischen Bilde bei der Tuberkulose wahrnehmen können, so wird es natürlich möglich sein, auch solche festzuhalten, die durch Neubildungen entstanden sind. König konnte z. B. ein Enchondrom im Schattenriss differenzieren, welches die Tibia stark zerstört hatte; wir selbst waren imstande, ganz ähnliche Befunde bei einem mehrere Mannsköpfe grossen Enchondrom des Beckens zu erheben. Andere sahen das Hineinwachsen von Sarkomen in den Knochen und konnten so die Indikation zum Eingriff leicht bestimmen.

Das Pyknogramm eines kinderfaustgrossen Gumma der Clavicula zeigt diese, die bei der Palpation sehr verdickt, wie durch einen Tumor aufgetrieben schien, nur leicht verbreitert, aber stark ausgefressen.

Bei einem Oberkiefersarkom, welches zu einer starken Auftreibung des Oberkiefers geführt hatte und

bei dem am vorgewölbten harten Gaumen deutliches Pergamentknittern zu konstatieren war, erhielten wir, im Gegensatz zur anderen Seite, eine für Röntgen'sche Strahlen fast vollkommen durchlässige Stelle, wie wenn ein Loch dagewesen wäre. Bei solchen Versuchen erscheint es uns ratsam, in folgender Weise vorzugehen. Nachdem man durch Schädeldurchleuchtung derart, dass die Röhre auf die Dorsalseite gestellt, der Leuchtschirm auf die Frontalseite gehalten wird, konstatiert hat, ob bereits so die beiden Oberkiefergegenden Dichtigkeitsdifferenzen zeigen, macht man von jeder Kieferseite ein Photogramm. Wir legen dazu den Kranken auf die Seite, lassen den Mund öffnen und halten denselben durch einen zwischen die Zähne gelegten Pfropfen offen. Unsere Röhre stellen wir so, dass die Strahlen nur zum geringen Teil durch den ganzen Schädel, meistens dagegen in die geöffnete Mundhöhle fallen. Durch Vergleichung der beiden so erhaltenen Photographien lassen sich die Dichtigkeitsdifferenzen nach unserer Beobachtung leicht erkennen. Gerade hier werden für die Zukunft die Röntgen'schen Strahlen vor diagnostischen Irrtümern bewahren können. Während früher Zahncysten infolge Retention von Zähnen in der Regel erst bei der Operation erkannt wurden, wird man heute das Bild der im Kiefer verborgenen Zähne auf der Platte hervorrufen können. Einige diesbezügliche Mitteilungen haben wir in der Litteratur gefunden.

Noch auf einem Gebiet werden die Röntgen'schen Strahlen bei genauerer Kenntnis der Erscheinungen Hervorragendes leisten können, zur Erkennung der akuten infektiösen Osteomyelitis. Nicht jedem Praktiker ist das Bild dieser Erkrankung so geläufig, dass er es ohne jeden Zweifel feststellen kann,

und er wird dem Pyknoskop Dank wissen, wenn es ihm Aufschluss geben kann. Während nämlich die Tuberkulose den Knochen erweichend und rarefizierend als Dichtigkeitsverminderung sich zu erkennen giebt, pflegen die späteren Stadien der akuten infektiösen Osteomyelitis von Knochenneubildung und Dichtigkeitsvermehrung begleitet zu sein, welche im pyknoskopischen Bilde deutlich zum Ausdruck kommen. Weniger dankbar, aber immerhin manchmal wertvoll ist die Durchleuchtung im Beginne der Krankheit.

Wir geben hier die Abbildung einer akuten infektiösen Osteomyelitis bei einem 13jährigen Mädchen an der Tibia wieder (s. Tafel VII).

Wir sehen deutlich das Kniegelenk, die Gelenkflächen und die Epiphysenlinie der Tibia. Dicht unterhalb der Epiphysenlinie wird an der frontalen Seite die Corticalis der Tibia, welche in ihren unteren Teilen sehr scharf hervortritt, verwischt. Etwas tiefer sieht man auch die Markhöhle heller werden, und noch weiter, da, wo die Corticalis wieder deutlich wird, sehen wir einen eigentümlichen spinnwebartigen Schatten dem Tibiaknochen aufliegen. Die Operation ergab nun, dass das Periost im oberen Drittel der Tibia abgehoben war wovon im Bilde nichts zu sehen ist. Da, wo die Corticalis verwaschen erscheint, war dieselbe vollkommen blutleer, und nach Freilegung der Markhöhle zeigte sich das Mark an der im Bilde heller erscheinenden Stelle zu Eiter verwandelt, während im übrigen Teil der Markhöhle nur kleinere Herde eingesprengt waren. Man sieht also, wie unter Umständen die Röntgenstrahlen gerade bei der Knochenmarkvereiterung Hervorragendes zu leisten im stande sind. Von ganz besonderer Wichtigkeit ist aber die durch die Pyknoskopie ermöglichte Kenntnis, ob ein Sequester vor-

handen und ob derselbe gelöst ist oder nicht. In der That genügt bereits heute die Pyknoskopie zu diesem schwierigen Nachweis. Wir sahen im Oberschenkel, in einer helleren Stelle — einer Granulationshöhle des Knochens — einen etwas dunkleren Schatten, den Sequester, liegen, dessen brückenförmiger Zusammenhang mit dem übrigen Knochen sich deutlich erkennen liess. Allerdings erfordert die Anfertigung derartiger Bilder Geschick und Sorgfalt; aber je grösser der Herd und je dünner der Knochen, um so leichter ist der Nachweis und umgekehrt.

Auch Knochenabscesse sieht man, falls die umgebende Knochenschale nicht zu dicht ist. So wiesen wir eine Reihe einzelner Abscesse in den Vorderarmknochen eines Mannes nach, die nicht mehr als die Grösse einer Haselnuss erreichten.

Wie für die grobe Anatomie der Knochen die Pyknoskopie ein wertvolles Erkennungsmittel darstellt, so auch für die feinere. Ein Knochenschliff, auch der best angefertigte, kann niemals die zarte bälkchenartige Anordnung, die wunderbare architektonische Gliederung so wiedergeben, wie das Pyknogramm des skelettierten Knochens. Anatomische Präparate von Knochentumoren haben sich erst durch die Pyknoskopie in ihrem Bau mit Leichtigkeit zur Anschauung bringen lassen. Wie an Weichteilpräparaten gelingt es an solchen des Knochens durch Injektion der Gefässe mit Quecksilber oder mit Jodoform diese bis in ihre feineren Verzweigungen hinein zu verfolgen.

Wie auf diesem Gebiete der Folgezeit noch zahlreiche Entdeckungen durch die Pyknoskopie vorbehalten sind, ist sie dazu berufen, an einem der wichtigsten Kapitel in der Leidensgeschichte der Menschheit aufklärend und fördernd zu wirken, an dem

Kapitel, welches das Gesprächsthema der ganzen letzten Jahre gewesen ist: in der Behandlung der angeborenen Hüftgelenkverrenkung und ihrer Unterscheidung von der Coxa vara.

Schon heute hat die Möglichkeit, die veränderten Gelenke, die Beschaffenheit der Pfanne, des Kopfes, die Biegung des Schenkelhalses bildlich darzustellen, zu einem hohen Grad von Sicherheit in dem einzuschlagenden Verfahren geführt; doch wollen wir eine nähere Erörterung unterlassen, da die Frage noch sehr im Fluss ist und nicht völlig in unseren Rahmen hineingehört.

Es ist kein Zweifel, unendlich viel segensreicher wird die Pyknoskopie auf dem eben genannten Gebiete wirken, als in dem im vorigen Kapitel besprochenen. Während die relativ leichte Auffindbarkeit der Fremdkörper im Körper des Menschen zu einem furor operativus geführt hat, der nicht zum Segen der Menschheit gereicht, dient die genauere Erkennung des Sitzes von Knochenkrankheiten dazu, die Diagnose zu ermöglichen, die Indikation zum Eingriff zu erleichtern, sowie diesen auf das geringste Mass zu beschränken.



11. Kapitel.

Die Pyknoskopie im Dienste der inneren Medizin.

Während für die chirurgische Verwertung der Röntgen'schen Strahlen sich die Ansichten bereits so geklärt haben, dass eine fertige Methode der Verwendung besteht, hat die interne Medizin nicht in gleicher Weise Schritt gehalten, und sind zur Zeit die Meinungen über den Wert des Röntgen'schen

Verfahrens für Diagnose und Behandlung noch sehr geteilt. Vielleicht tragen unsere Zeilen dazu bei, die Internisten daran zu mahnen, sich der Röntgen'schen Strahlen mehr und mehr zum Segen der Menschheit zu bedienen.

Die für die interne Medizin zumeist in Frage kommenden Körperteile sind die Brust- und die Bauchhöhle. Gleich der Chirurgie, welche bisher bei der Durchleuchtung der Bauchhöhle die geringsten Vorteile gesehen hat, hat allerdings auch die interne Medizin bisher nur wenig Nutzen aus ihr gezogen.

Unsere eigenen Versuche haben, wie anderen Ortes bereits angedeutet wurde, bewiesen, dass man von den Organen der Bauchhöhle die Leber, die Nieren und die Milz in geeigneten Fällen auf dem Schirme sehen und diese Organe auch zu Papier bringen kann. Bei stärkeren Erwachsenen gelingt dies jedoch niemals; die Dichtigkeitsdifferenzen sind eben in der Bauchhöhle zu geringe, um deutliche Differenzierung zu bewirken. Trotzdem hat die Röntgen'sche Methode nicht vollständig im Stich gelassen. So sehen wir den erweiterten Magen oftmals als grossen hellen Fleck, selbst bei fettleibigen Personen. Die Durchleuchtung hat also hierfür immerhin einen gewissen Wert. Natürlich wollen wir solchen Untersuchungen nicht das Wort reden und müssen erklären, dass uns andere Methoden zur Untersuchung der Magenerweiterung wesentlich rationeller dünken als diese. Als Ausnahmen muss man Photogramme betrachten, welche wie die von Pösch Januar 1897 der Gesellschaft der Ärzte in Wien vorgelegten, „Details an den Darmschlingen“ zeigten. Auch hier waren jedoch die Nieren nicht sichtbar. Kümmel betonte auf dem Chirurgenkongress 1897 die Seltenheit solcher Befunde wie bei dem Photogramm eines Fötus, an

dem man zahlreiche Darmschlingen erkennen konnte. Was bisher vorgeschlagen ist, die Pyknoskopie für die Diagnose der Bauchkrankheiten nutzbarer zu machen, ist vorläufig für die Praxis undurchführbar. So schlägt Becker vor, die Hohlorgane bis zur prallen Spannung mit Lösungen von solchen Metallsalzen zu füllen, welche die Röntgen'schen Strahlen schlecht durchlassen. Sicher sind die Resultate dieser Methode nicht, und deshalb wird der humane Arzt kaum jemals hierzu überreden. Gelangen auch die Versuche, bei denen Becker dem Meerschweinchen ausgeschnittene Darmstücke mit Lösungen von Plumbum subaceticum angefüllt hatte, derart, dass man die Konturen sehen konnte, so erscheint trotzdem die Methode für den menschlichen Organismus zu qualvoll und wenig geeignet, sich Eingang zu verschaffen.

Weniger unsympathisch, aber wohl noch unsicherer, will uns der Versuch von René du Bois-Reymond scheinen, der die Hohlorgane durch Luft aufblies und einigermaßen deutliche Bilder des Magens und des Dickdarms beim Menschen erhielt; wir glauben, dass auch diese Versuche gegenüber den bisherigen Palpationsbefunden eine Verbesserung nicht bedeuten. Auch die Anwendung von Wismutsalzen erscheint uns zu irrationell, um ihr das Wort zu reden, jedenfalls möchten wir sie nur für den Notfall verwenden wissen.

Als einen geradezu abenteuerlichen Vorschlag muss man die sogen. „Kryptomercurialmethode“ von Kronberg bezeichnen, welche uns ebenso schrecklich scheint, wie der ihr von dem Erfinder gegebene Name. Kronberg macht den Vorschlag, bei Darmverengerungen dem Kranken metallisches Quecksilber einzugeben. Das flüssige Metall soll sich an der stenosierten Stelle stauen und nun leicht zu sehen

sein. Zugegeben auch, dass dies gelänge, möchten wir daran zweifeln, dass man nun den Sitz der Verengerung kenne. Leider ist eben der Darm keine einfach bogenförmig verlaufende Schlinge, sondern ein Gewirr von Schlingen, und es würde deshalb die Ortsbestimmung ebenso schwierig bleiben, wie ohne das immerhin nicht gleichgültige Eingiessen von Quecksilber.

Obwohl es nicht gerade in dies Kapitel hineingehört, wollen wir seinen weiteren Vorschlag, auch Abscesse und Fistelgänge nach der „Kryptomercurialmethode“ aufgesucht zu sehen, wenigstens erwähnen und nicht verfehlen, vor demselben zu warnen. Hat man wirklich das Bedürfnis, einen Fistelgang in Röntgen'scher Beleuchtung zu sehen, so möchten wir stets Sondierung durch eine mit Metallspänen gefüllte oder eine metallische Sonde und nachheriges Pyknoskopieren empfehlen. Nach unseren Erfahrungen sind Zinnsonden selbst in den dicksten Weichteilen, wie der Oberschenkelmuskulatur, vollkommen deutlich sichtbar. Auch Hartgummi und geflochtene Bougies wird man sehen. Zur Konstatierung von Erweiterungen der Speiseröhre und des Magens ist dieser Weg zweifellos der zweckmässigste.

Um zur Pyknoskopie des Bauches zurückzukommen, so fanden wir über thatsächliche Befunde bisher nur wenig berichtet. Unsere eigenen Untersuchungen liessen uns bei Erwachsenen in der Regel so im Stich, dass wir nur Fremdkörper, wie Knöpfe, Münzen, Bruchbänder und ähnliches, durch den Bauch hindurch zu erkennen vermochten. Anders ist es bei Kindern. Wir sahen in einem Falle deutlich eine fast kindskopfgrosse Geschwulst, welche von der Leber ausging und einen Echinococcus darstellte; in einem anderen Falle konnten wir Leber

und Milz eines $2\frac{1}{2}$ jährigen Kindes genau erkennen. Während sonst bei Erwachsenen die Differenzierung der Organe in der Regel unmöglich war, sahen wir bei einer Frau, welche an einem grossen Tumor der linken Bauchseite litt, diesen als tiefschwarzen Schatten in dem sonst homogenen, lichterem Schatten der Baucheingeweide liegen. Die Feststellung, woher der Tumor ausging, war auch mittels der Röntgen'schen Strahlen nicht möglich. Als besonders erschwerendes Moment tritt bei derartigen Untersuchungen noch die Verschiebung hinzu, welche schwerere Geschwülste zeigen, wenn man die Kranken in die für die Pyknoskopie geeignetste Lage bringt. Den eben geschilderten Tumor, den wir nach der manuellen Untersuchung als Geschwulst der Niere ansehen mussten, fanden wir beim Stehen der Frau zum Zweck der Durchleuchtung in der Mitte des Bauches. Auch aus diesem Grunde glauben wir nicht, dass in absehbarer Zeit die Pyknoskopie die bisherigen Untersuchungsmethoden der Bauchorgane ersetzen oder gar verdrängen wird.

Wesentlich zahlreicher und ermutigender dagegen sind die Mitteilungen über pyknoskopische Befunde bei Erkrankungen der Brustorgane, so dass die pyknoskopische Methode neben den anderen Untersuchungsmethoden nicht nur in grösseren Krankenhäusern, sondern auch beim praktischen Arzte Eingang gefunden hat. Die Durchleuchtung der Brust gelingt recht leicht auch mit kleineren Induktorien. Die besten Resultate liefern natürlich auch hier grössere von 20 bis 40 cm Schlagweite.

Da wir das schlagende Herz direkt beobachten können, so gelingt es, über die Qualität des Herzschlages uns mit dem Auge zu unterrichten und uns über die Energie der Herzthätigkeit ein Bild zu machen.

Es ist gar keine Frage, dass ein guter Beobachter, der genügend Herzen gesehen hat, aber auch nur ein solcher, aus der Energie der Herzthätigkeit Schlüsse auf Hypertrophie der einen oder der anderen Herzhöhle ziehen kann, selbst wenn eine Vergrößerung des Herzvolumens fehlt. Natürlich ist bei solchen Schlüssen die grösste Vorsicht am Platz. Stellen wir den Kranken etwa sehr nahe an der Röhre auf, so dass die Strahlen sehr divergent den Körper durchdringen, so wird der Herzschatten ungleich grösser, als wenn die Strahlen parallel — so weit dies überhaupt möglich ist — durch den Körper gehen. Man muss bei solchen Beobachtungen deshalb folgende Punkte beachten:

1. Die Strahlenquelle muss in mittlerer Höhe des zu durchleuchtenden Organes stehen.

2. Dieselbe muss ein halbes Meter von der ihr zugewendeten Körperfläche entfernt sein. Das Mass eines halben Meters ist einmal nicht so weit, dass die Strahlen an Intensität sehr erheblich einbüssen, anderseits ist es immerhin so gross, dass wir dabei die Röntgen'schen Strahlen als nahezu parallel ansehen können.

3. Der Leuchtschirm muss der abgewendeten Körperseite möglichst dicht angepresst werden. Auch hierin sind so viel individuelle Unterschiede vorhanden, dass jede Massangabe unsicher ist. Am besten scheint es immer noch, sich die Herzgrenzen durch biegsame Metalldrähte auf der der Vakuumröhre zugewendeten Seite zu markieren und sich in der Massangabe nach den bereits eingeführten Linien (Axillarlinie, Mammillarlinie, Sternallinie u. s. w.) zu richten. Der zur Markierung verwendete Draht, am besten von Blei, muss so dick sein, dass er deutlich durch die Brust hindurch erkannt werden kann.

Dass bei Beachtung dieser subtilen Vorsichtsmassregeln wir vor der Stufe zu einer ganz neuen Herzphysiologie und zu neuen Begriffen in der Herzpathologie stehen, das beweisen bereits heute die Beobachtungen von Moritz Benedikt zur Genüge. Unserer Ansicht nach sind die Perspektiven, welche das pyknoskopische Verfahren gerade auf diesem Gebiete eröffnet hat, vorläufig noch unabsehbare, und wird allerdings erst nach jahrelangen Erfahrungen die Pyknoskopie einen Platz in Beobachtung und Behandlung der Herzkrankheiten einnehmen, wie die bisherigen Methoden. Wir wollen nur in Rücksicht auf letzteren Punkt anführen, dass es Grummach gelang, die Wirkung der Digitalis am lebenden Menschenherz zu verfolgen. Aus den zahlreichen exakten Beobachtungen von Moritz Benedikt scheint weiterhin schon jetzt zur Genüge hervorzugehen, dass die derzeitige Methode der Herzbehorchung in bezug auf Lokalisation das Richtige nicht trifft. Der Spitzenstoss findet sich sehr häufig an einer ganz anderen Stelle, als man nach der Lage der Herzspitze im pyknoskopischen Bilde annehmen muss. Wichtig ist weiterhin zur Dickenbestimmung des Herzens die seitliche Durchleuchtung der Brust. Eine Erweiterung des Herzbeutels durch Flüssigkeitsansammlung giebt sich durch eine Zone von mittlerer Helligkeit zwischen dem dunklen Herzschatten und dem hellen Lungenschatten zu erkennen. Eine Verlagerung des Herzens springt nach der neuen Methode geradezu in die Augen; ein sehr schönes Bild einer Dextrocardie veröffentlichte Vehsemeyer.

Wie uns für die Chirurgie im allgemeinen die Verwendung der Photographie empfehlenswert scheint, so wichtig ist es für die geschilderten Leiden, die

Beobachtung mit dem Leuchtschirm zu lernen, da wir es hier mit der Beobachtung arbeitender Organe zu thun haben. Wir können uns nicht damit einverstanden erklären, dass der Leuchtschirm vorläufig zur Beobachtung noch nicht genügend brauchbar sei. Wir haben stets bei Einhaltung penibler Vorsichtsmassregeln deutliche und ruhige Bilder erhalten, die wir in aller Musse beobachten und einem grösseren Zuhörerkerise demonstrieren konnten. Sie erschienen uns in gewissen Fällen der Photographie überlegen, allerdings nur dann, wenn man die Beobachtung mit dem Schirm gelernt hat.

Gehen wir vom Herzen zu den grossen Gefässen über, so gilt auch hier das bereits vom Herzen Gesagte. Wir haben nach Ansicht verschiedener Autoren auch auf diesem Gebiete noch lange nicht das ausgenutzt, was mit unseren jetzigen Hilfsmitteln bereits möglich ist. Nur die gröberen Veränderungen haben bisher das Auge der Beobachter gefesselt. So sahen verschiedene Forscher Erweiterungen der grossen Gefässe, Aneurysmen der Aorta und Arteriosklerose derselben, Beobachtungen, die wir bisher allerdings niemals bestätigen konnten. Eine grosse differentialdiagnostische Bedeutung soll nach Ansicht einiger Autoren der Pyknoskopie zukommen, wenn ein Tumor erkannt ist, der als Mediastinaltumor oder als Aortenaneurysma gedeutet werden könnte, da die mit dem Auge erkennbare Pulsation auf dem Leuchtschirm die Entscheidung ermögliche. Wir möchten vor solchen Schlüssen nach unseren eigenen Untersuchungen warnen, da wir leicht durch mitgeteilte Pulsation getäuscht werden können. Seitliche Durchleuchtung kann uns darüber unterrichten, in wie weit ein Tumor auf Trachea und grosse Gefässe drückt. Leichter ist dieser Nachweis natürlich am Halse,

wo wir in mehreren Fällen die zur Säbelscheide zusammengepresste Luftröhre sehen konnten.

Dass die bildliche Darstellung arteriosklerotischer Stellen der Aorta gelungen sei, ist uns nicht bekannt geworden; dagegen zeigte Kümmerl auf dem 1897er Chirurgenkongress geradezu verblüffend deutliche Bilder von Arteriosklerose der Beckenarterien; an den Extremitäten, besonders dem Arm und dem Fuss, hatten wir selbst mehrfach Gelegenheit, dieselbe zu beobachten und bildlich darzustellen. Röntgenstrahlen zur Erforschung der Bewegungen des Gaumensegels und der Stimmbänder beim Sprechen hat besonders Scheier verwendet.

Auch für die Lungendiagnostik wird die Pyknoskopie bald ein wertvolles Hilfsmittel darstellen, da sie die Resultate der Perkussion und Auskultation prüfen und präzisieren kann. Bouchard und Benedikt, die sich auf diesem Gebiete besondere Verdienste erworben, haben es anscheinend zu bedeutender Technik in der Erkennung des pyknoskopischen Bildes gebracht. Denn gerade hier gilt das Wort des letzteren: „Das Röntgensehen muss im Schweisse des Angesichts erworben werden“. Sie berichten, dass sie Spitzenaffektionen der Lunge auf dem Leuchtschirm als Schatten erscheinen sahen. Ist unserer Meinung nach ein solcher Nachweis sehr schwierig, so scheint uns doch die Pyknographie der Lungenspitzen geeignet, gute diagnostische Resultate zu geben, da sie sehr leicht und sehr vollkommen gelingt.

Bei exsudativer Pleuritis sahen dieselben Forscher die rechte, vom Exsudat eingenommene Seite als dunkleren, zur anderen Seite lebhaft kontrastierenden Schatten. Das sonst unsichtbare Mediastinum erschien links von der Wirbelsäule infolge Verdrängung durch

den Erguss als Schatten. Der gesehene Schatten stimmte mit dem durch Perkussion festgestellten Dämpfungsbereich überein. Auch Grummach konnte bei eitriger Pleuritis die Ausdehnung des Ergusses durch die benachbarte komprimierte Lunge und durch das an abnormer Stelle schlagende Herz hindurch erkennen; eine ähnliche Beobachtung bei einem Mediastinaltumor machte Straus.

Bei Emphysem und verwandten Zuständen lässt sich mit keiner der bisherigen Untersuchungsmethoden so genau und sicher die Lage, sowie die Exkursionsbreite des Zwerchfelles bei gleicher Beweglichkeit beiderseits oder bei Verschiedenheit auf beiden Seiten beurteilen, als mit der Pyknoskopie. Bei dem Volumen pulmonum auctum, wo sich die Grenzen des in hohem Grade von der Lunge überlagerten Herzens mit unseren bisherigen Hilfsmitteln überhaupt nicht feststellen lassen, hat sich die Pyknoskopie nach Grummach's Ansicht als die allein sichere Methode zur Bestimmung der Lage und Grösse des Herzens bewährt.

Derselbe Forscher berichtet weiterhin, dass er zwei grosse Tumoren der Lunge im pyknoskopischen Bilde differenziert sah, und dass ihm die Erkennung mehr oder weniger grosser Verdichtungen und Verkalkungen bei chronischen Pneumonien oftmals gelang. Unsere eigenen Beobachtungen, welche uns öfters dunklere Stellen im Lungenparenchym wahrnehmen liessen, scheinen diese Mitteilungen zu bestätigen. Wassermann wies eine nahe der vorderen Brustwand gelegene Kaverne des rechten unteren Lungenlappens durch Pyknoskopie nach, die der perkutorischen Untersuchung vollkommen entgangen war. Es zeigte sich innerhalb einer dunklen, dem verdichteten Lungengewebe, resp. einer pleuritischen Schwarte entsprechenden Partie ein sehr heller Fleck

bei Durchleuchtung von der Brust sowohl, wie vom Rücken her. Wassermann erhofft nach diesem Befunde von der Pyknoskopie wertvolle lokaldia-
gnostische Aufschlüsse bei Lungenkavernen und Abscessen. Wir möchten nur für die Lungenabscesse bemerken, dass es uns sehr fraglich erscheint, ob dieselben als heller Fleck erscheinen werden. Unsere Ansicht neigt dahin, dass wir von Lungengewebe umgebene Abscesse entweder überhaupt nicht oder nur sehr selten werden sehen können, weil die Dichtigkeitsunterschiede den zur Hervorbringung eines differenzierten Bildes notwendigen Anforderungen nicht genügen.

Interessant ist die Beobachtung von Levy-Dorn, der bei einer 28jährigen Frau mit Bronchitis sicca und Lungenblähung einen asthmatischen Anfall beobachtete. Das Herz war nach rechts verschoben. Im Anfalle zeigten die beiden Zwerchfellhälften verschiedene Grade der expiratorischen Dyspnoe. Die Expiration war links mit Mühe noch ausführbar, rechts war sie überhaupt nicht möglich. Diese Beobachtung widerspricht der Theorie eines Diaphragmakrampfes, welcher die Ursache des Asthma bronchiale sein soll. Es scheint sich vielmehr bei gewissen asthmatischen Anfällen um einen passiven Tiefstand, um eine Verdrängung des Zwerchfelles durch Lungenblähung zu handeln.

Das Zwerchfell ist überhaupt eines der günstigsten Beobachtungsobjekte. Verwachsungen desselben sind durch die Behinderung der Beweglichkeit zu erkennen; ebenso sind Lähmungen sichtbar. Verwachsungen des Herzbeutels mit dem Zwerchfell beobachtete Benedikt häufiger, ohne dass die Klagen des Patienten auf eine durchgemachte Krankheit gedeutet hätten. Besonders interessant ist auf diesem Gebiet eine seiner

Beobachtungen, wo sich innerhalb der Verwachsung von Zwerchfell und Herzbeutel ein Exsudat als heller Fleck nachweisen liess. Die von Rumpf auf der 69. Versammlung der Naturforscher und Ärzte in Braunschweig aufgestellte Behauptung, dass man mittels der Röntgen'schen Strahlen auch Blutergüsse in den Rückenmarkskanal und das Rückenmark würde erkennen können, möchten wir ernstlich bezweifeln.

Eine genauere Besprechung erfordern schliesslich noch die Ablagerungen im menschlichen Körper, die Steinbildungen und Gichtknoten.

Huber konnte an gichtischen Gelenken erkennen, dass, neben einer Zerstörung der Gelenkenden, die Phalangen zum Teil aufgezehrt und durch das für Röntgen'sche Strahlen durchlässigere harnsaure Salz ersetzt waren. Unsere eigenen Beobachtungen, welche sich auf weniger grosse Zerstörungen beziehen, dürften dies bestätigen, indem von den gichtischen Ablagerungen im pyknoskopischen Bilde nichts zu erkennen war. Man sieht eben nur die thatsächlichen Zerstörungen und bei sehr erheblichen Ablagerungen hellere Stellen. So fanden Potain und Serbanesco, welche die Hände und Füsse Gichtkranker mit Röntgen'schen Strahlen untersuchten, an den Enden der difformen Extremitäten helle Flecke, welche an diesen Stellen eine grössere Durchlässigkeit des Knochens für Röntgen'sche Strahlen bedeuten, während an der Peripherie dieser Stellen ein dunkler feiner Saum wieder grössere Dichtigkeit anzeigte. Da bei Knochen an chronischem Rheumatismus Leidender solches sich nicht beobachten liess, so ist die Pyknoskopie ihrer Ansicht nach hierfür ein wertvolles differentialdiagnostisches Hilfsmittel.

Gehen wir nun zu den eigentlichen Konkrementen über, den Gallen-, den Nieren- und den Blasensteinen.

Da die Gallensteine im ganzen wenig dichte Körper darstellen, wird die Hoffnung, dieselben im pyknoskopischen Bilde erkennen zu können, schon aus diesen theoretischen Erwägungen nicht zu gross sein dürfen. Zu dieser Anschauung gelangte auch Neusser, welcher die Leber und manche Arten von Gallensteinen für Röntgen'sche Strahlen durchgängig fand. Morris, der eine grössere Zahl von Durchleuchtungen Steinkranker machte, konnte weder Konkreme der Gallenblase noch der Niere beim Lebenden sehen. Dieselben Steine zeigten je nach der Zusammensetzung nach ihrer Entfernung aus dem Körper verschieden deutliche Schattenbilder. Auch andere Forscher, die solche Untersuchungen vornahmen, kamen nicht zu deutlichen Resultaten. In gleicher Weise fielen unsere Untersuchungen aus; wie gesagt, wir zweifeln daran, dass die Methode je zu höherer Geltung kommen wird, und können sie nur für Ausnahmen gelten lassen. Diese wenigen Fälle werden wir dann vor uns haben, wenn einmal die Konkreme sehr dicht und nicht zu klein, und wenn zweitens die Personen sehr mager sind, so dass günstige Dichtigkeitsdifferenzen sich gegenüberstehen. Dass aber auch diese Aussichten nur geringe sind, geht aus Prüfungen hervor, die wir mit einer grossen Zahl von Gallensteinen vornahmen. Bedeckten wir dieselben mit der flachen Hand und durchleuchteten dann, so waren wir nur selten im stande, durch die dünne Weichteilmasse der Hand hindurch die Steine zu sehen. Ebenso konnten wir dieselben nicht erkennen, als wir sie in einem amputierten Beine versenkten.

Etwas günstiger liegen nach den neuesten Mitteilungen (Kümmel, Chirurgenkongress 1897) die Chancen für die Nierensteine. Es gelang, Nieren-

steine bei der Leiche auf der Platte zur Darstellung zu bringen; die Versuche, das Gleiche am lebenden Menschen zu erreichen, sind bisher misslungen.

Blasensteine dagegen lassen sich in der Regel nach Kümmel so sicher photographieren, dass die Methode nicht nur als eine diagnostisch sehr wertvolle, sondern auch als eine für den Kranken ungefährliche und ihn schonende empfohlen werden muss. Immerhin ist sie aber recht schwierig und lässt nicht selten im Stich. Dass, wie vorauszusehen, bei Myositis ossificans die Röntgen'schen Strahlen Aufklärung schaffen können, hat de la Camp mitgeteilt. Auch verkalkte Trichinen will man pyknographiert haben.

Betrachten wir das Kapitel nochmals kurz, so sehen wir, dass die Pyknoskopie in der internen Medizin, besonders im Verein mit den bisherigen Untersuchungsmethoden, immerhin Bedeutendes leisten kann; was alles zur Zeit im Röntgenbilde zu sehen ist, fasst Levy-Dorn treffend im folgenden zusammen: Verdichtungen der Lungen aller Art (Infiltrate, Verkalkungen, Tumoren); Kavernen, Retraktionen und Erweiterungen der Lunge; Mediastinaltumoren, wie Aortenaneurysmen; Anomalien der Grösse, Lage, Stellung und Bewegung des Herzens; abnormer Stand des Zwerchfelles und abnorme Bewegung desselben. Besonders wichtig scheinen uns seine Anschauungen über die Konstitutionskrankheiten, die er in folgenden Worten kundgibt:

„Die innere Medizin sollte vom Studium der Knochenerkrankungen mit X-Strahlen mehr Gebrauch machen, als bisher geschehen. Es kann sich das neue Verfahren nicht nur bei Arthritis und Gicht bewähren, wo wir die für die Prognose nicht unerhebliche Entscheidung zu treffen vermögen, ob es bereits zu Ablagerungen von Kalksalzen gekommen,

sondern wir können auch manche andere überraschende Auskunft erhalten. Bei einem jungen Manne mit multiplen Exostosen z. B. zeigte sich mir das typische Bild einer Rhachitis, an welche vorher niemand von den vielen konsultierten Ärzten gedacht hatte. Ich möchte auch aus anderen Erfahrungen befürworten, die Untersuchung des Knochensystems besonders in den Entwicklungsjahren nicht zu vernachlässigen. Das Kapitel der Spätrhachitis bedarf einer dringenden Revision. Ob sich eine Hypertrophie und Atrophie auf die Knochen fortsetzt, lässt sich heute leicht entscheiden.“

Können wir auch nicht alle diese Beobachtungen bestätigen, so möchten wir jedoch bitten, die magische Büchse, welche die Fee Elektra uns jetzt in die Hand gab, öfter zu gebrauchen. Denn eine ganze Fülle anderer Perspektiven eröffnet das pyknoskopische Verfahren noch; vielleicht lernen wir hier die rätselhafte Entstehung der Osteomalacie endlich erkennen; vielleicht ist auch die Zeit nicht mehr so fern, wo wir aus der pyknoskopischen Beobachtung der Entwicklung des Fötus im Mutterleibe wertvolle Schlüsse ziehen können, wenn jetzt die Hoffnungen auch noch geringe sind. Der gravide Uterus lebender Frauen ist bisher anscheinend seltener Versuchsobjekt für Pyknoskopie gewesen, wenigstens sind Berichte über Pyknoskopie von Föten im menschlichen Uterus in der Litteratur nur spärlich vorhanden. Dass aber in absehbarer Zeit die Röntgen'schen Strahlen auch dieses Gebiet durchdringen werden, das lassen positive Beobachtungen von Varnier, Cappin, Chavel und Brentano erkennen, welche Föten im Uterus trächtiger kleinerer Tiere deutlich sehen konnten. Die Brücke ist also geschlagen; ihre Festigung und Sicherung wird im Laufe der Zeit wohl

zweifellos gelingen. Die Möglichkeit solcher Erkenntnis liegt vor, da wir, wie es ja nach den geläufigen Anschauungen über die Wirkung der Röntgen'schen Strahlen erklärlich ist, nicht nur die schwer durchlässigen Knochen, sondern auch verschieden dichte Weichteile neben einander wenigstens auf der pyknographischen Platte differenzieren können.



12. Kapitel.

Versuchsfehler und diagnostische Irrtümer bei der Pyknoskopie.

Durchsucht man die Litteratur, so muss man erstaunen, wie wenig kritisch und exakt bisher die Angaben über Befunde durch die Pyknoskopie sind; das Kind ist den Forschern unter den Händen anscheinend zu sehr gewachsen, und man hat die Herrschaft über dasselbe verloren. Es wird deshalb die höchste Zeit, dass es gebändigt wird. Wir haben uns schon bemüht, darzuthun, dass es notwendig ist, sobald man eine allgemein gültige Regel geben will, die Bedingungen, unter denen der Versuch stattfindet, mit anzugeben. Es ist nicht gleichgültig, ob wir z. B. einen Brustkorb derartig durchleuchten, dass die Röhre nur 20 cm oder dass sie 1 m von demselben entfernt ist, und ob die Strahlen nahezu einander parallel und senkrecht auf die Projektionsfläche auftreffen oder nicht; leicht sind, da wir es mit Schattenrissen zu thun haben, ganz enorme Verzerrungen und Vergrößerungen geschaffen, die den Untersucher zu Trugschlüssen verleiten können.

Wir wollen nicht jede Körperstelle durchsprechen und auf die möglichen Falschdeutungen aufmerksam machen; es ist ja für jeden ein leichtes, die Fehler zu vermeiden, wenn er sich ein für allemal die Einhaltung ganz bestimmter Vorbedingungen zum Gesetz macht.

Näher wollen wir nur das Becken und das Hüftgelenk betrachten, Objekte, die, wenn wir uns so ausdrücken dürfen, wohl überhaupt der beste Prüfstein für das Können des Untersuchers sind. Es ist thatsächlich eine Kleinigkeit, im Beckenbilde die wunderbarsten Verletzungen und die seltensten Difformitäten künstlich zu erzeugen, und dasselbe gilt für den Schenkelhals, an dem wir mit Leichtigkeit alle Formen der Verbiegung willkürlich darstellen können. Legt man den Kranken auf den Rücken oder auf den Bauch, so hat man vollkommen verschiedene Schattenrisse des Beckens und der Hüftgelenke, wie man leicht erkennen kann. Rotiert man den einen Fuss bei Rückenlage nach aussen, den andern nach innen, so wird es nicht schwer fallen, den Schenkelhals sich verlängern, verkürzen oder sich verbiegen zu sehen. Legt man den Patienten derartig hin, dass die beiden *spinae anteriores superiores* nicht in einer Ebene, sondern die eine höher, die andere tiefer steht, so wird ein veränderter Schattenriss des Beckens, speziell vollkommene Formveränderung des Beckeneingangs die Folge davon sein. Die Verzerrung wird noch grösser, wenn die genannten Punkte nicht nur nicht in einer Horizontalebene, sondern auch noch in verschiedenen Frontalebene liegen. Wir würden über alle die Möglichkeiten der Verzerrungen ein ganzes Buch allein vom Becken schreiben können, welches indessen nicht viel instruktiver wirken könnte, als der folgende Versuch, den wir einem jeden zur

Nachahmung empfehlen möchten. Man nehme ein skelettiertes Becken zur Hand und werfe durch eine Lampe den Schattenriss desselben an die Wand; wenn man nun das Becken in allen möglichen Richtungen dreht oder aus dem Bereich der senkrecht auf die Wand fallenden Lichtstrahlen verschiebt, so wird man einen Begriff davon bekommen, wie merkwürdige Veränderungen des Beckenschattenrisses durch verschiedene Projektion erzielt werden können; geradezu erstaunlich ist es, welche mannigfaltigen Krankheitsbilder man erblickt. Besonders für die Gynäkologen dürfte der genannte Versuch einen hohen Wert besitzen, da, wie gesagt, speziell die Veränderung der Form des Beckeneingangs ins Auge fällt.

Wenn wir damit die Besprechung der Fehlerquellen bei der Pyknoskopie des normalen Knochenskeletts abschliessen, so möchten wir doch nicht unterlassen zu erwähnen, dass auf dem Gebiete der Knochenpathologie die Gelegenheit zu Missdeutungen noch viel grösser ist. Es wäre wirklich eine dankenswerte Aufgabe, wenn jemand die Riesenarbeit übernähme, durch Veröffentlichung zahlreicher Bilderserien, unter bestimmten Bedingungen aufgenommen, einen Atlas der normalen und der pathologischen Anatomie zu schaffen. Dann würde eine richtige Deutung der Bilder leichter werden. Fehlschlüsse aus selbst guten Pyknogrammen passieren dem Ungeübten leicht. Wir erhielten vor einiger Zeit durch eine Berufsgenossenschaft einen Verletzten zur Begutachtung, der mit seiner Rente nicht zufrieden war, trotzdem die Fraktur des Radius nach dem Gutachten, wie nach dem beigefügten Röntgen'schen Bilde gut geheilt schien. Nähere Betrachtung des Bildes liess uns erkennen, dass die beiden Bruchenden aneinander

hinauf verschoben waren, also eine Dislocatio ad longitudinem beträchtlicher Art bestand; hatten wir dann weiter bereits durch die manuelle Untersuchung eine abnorme Beweglichkeit an der Bruchstelle festgestellt, so waren wir durch Röntgen'sche Photographie von der Seite her in der Lage eine vollkommene Pseudarthrose nachzuweisen. Man veräume deshalb nie, das Objekt in den verschiedensten Richtungen zu durchleuchten, da man oft erst durch mehrfachen Wechsel der Richtung hinter alle Abnormitäten kommt. Ein anscheinend sehr häufiger Fehler ist aber auch der, dass normale Verhältnisse als pathologische gedeutet werden, eine Begründung mehr für unseren Vorschlag der Herstellung eines normalen Röntgen'schen Atlas. Wir haben nicht selten eine Callusbildung oder eine Bruchlinie in Gutachten geschildert gefunden, die nichts anderes bedeutete als eine normale Knochenauflagerung oder einen normalen Spalt; solchen Spalt findet man z. B. in dem Bilde des Schultergelenks bei der Durchleuchtung in sagitaler Richtung da, wo das Acromion und das Schlüsselbein zusammenstossen. Dieser Spalt tritt jedesmal deutlich bei einer bestimmten Einstellung hervor, während er bei nur geringer Verschiebung der Röhre unsichtbar wird. Dieser Wechsel in der Darstellung mag wohl den einen Begutachter dazu gebracht haben gutachtlich eine Pseudarthrose der Clavicula am acromialen Ende zu schildern. Ein weiterer Körperteil, welcher leicht zu Irrtümern Veranlassung giebt, ist der Kopf, indem, wie wir in Gutachten wiederholt lesen konnten, Bruchlinien beschrieben werden, die nichts anderes bedeuten als dickere und dünnere Stellen des Schädels. Wir möchten deshalb hier nochmals erwähnen, dass uns die Pyknographie zum Nachweis von Schädel-

brüchen am lebenden Menschen nicht auszureichen scheint, wenn nicht so offenkundige Brüche vorliegen, wie sie an Vorsprüngen des Kopfes, z. B. am Nasen- und Stirnbein, vorkommen.

Gehört schon nach dem Gesagten zur erfolgreichen Ausführung und verantwortlichen Verwertung der pyknoskopischen Untersuchungsmethode in ärztlichen Fragen ausser der technischen Übung und Erfahrung ein umfassendes ärztliches Wissen, namentlich die genaue Kenntnis der Anatomie und Pathologie, so soll nicht unbetont bleiben, dass noch eine andere moralische Eigenschaft bei dem Untersucher vorausgesetzt werden muss, die mit der Objektivität des Forschers nichts zu thun hat, nämlich uneigennütziges Ehrlichkeit. Was wir damit meinen, sei in folgendem illustriert. Von einem Versicherungsbeamten wurde uns das Pyknogramm einer Hüfte vorgelegt, welche einem auf der Jagd angeschossenen Manne gehörte. Das Bild zeigte den Schrotschuss als eine traubenförmig dicht angeordnete Gruppe von ganz scharf begrenzten dunkeln Kreisen am Knochen liegend. Ein Blick auf das Pyknogramm entlockte uns die Bemerkung, dass das Bild gefälscht sei; denn abgesehen von der unmöglichen Anordnung der Schrote, deren Eingangspforten keine Spuren hinterlassen hatten, fehlte ihnen die eigentümliche weiche Kontur, mit der sie besonders vom dicken Muskel sich im Bilde abgrenzen, auch jede Deformität und Verschiedenheit der Grösse, die bei der aus dem Knochenbilde erkennbaren stark vergrössernden Projektion zu erwarten gewesen wäre. Unsere Kontrolluntersuchung zeigte allerdings sechs Schrote, von denen aber eins an einer ganz anderen Stelle am Knochen platt gedrückt, die andern in projektionsmässig verschiedener Grösse und Schärfe der Konturen über die ganze

Hüft- und Gesässgegend mit Distanzen von mindestens 5 Centimetern zerstreut waren, und zwar an Orten, wohin eine nachträgliche Wanderung ganz ausgeschlossen war. Das falsche Bild hatte keinen Arzt zum Autor, sondern den Vertreter einer bekannten elektrotechnischen Firma, welcher aus Rücksicht auf den Ruf der Firma auf diese originelle Weise eine Aufgabe lösen zu müssen glaubte, an der sich verschiedene Ärzte vergeblich versucht hatten. Möge dies den Behörden, Richtern und Vorständen eine Warnung sein, die Bedeutung eines Pyknogramms für den Nichtarzt nicht zu überschätzen; seinen Wert bekommt dasselbe nur durch die Interpretation des Arztes, der dasselbe angefertigt hat und die daraus gewonnenen Aufschlüsse mit allen übrigen wissenschaftlichen Kriterien des Falles in Beziehung zu setzen versteht. Die Heranziehung der nur den Pfaden des Merkur folgenden Laienmedizin, resp. der Industrie, bewährt sich auch hier als ein Unfug, den das moderne Publikum mit seiner blasierten Nichtachtung wissenschaftlichen Forscherfleisses leider selbst gross züchtet.



13. Kapitel.

Die Röntgen'schen Strahlen im Dienste des Staates.

Die Erwähnung einer Bedeutung der Röntgen'schen Strahlen erscheint uns weiterhin noch unerlässlich — die Erwähnung ihrer Bedeutung im Dienste des Staates, d. h. in dem der sozialen, insbesondere der Krankenkassen- und Unfall-Gesetzgebung und der Militärmedizin.

Die Rechtsprechung in Unfallsachen lässt dem Arzte wie auch sonst vor Gericht nur beratende Stimme, er wird als Sachverständiger gehört. Ganz abgesehen davon, dass es dem Sachverständigen nicht immer leicht ist, seine Meinung in allgemeinverständliche Worte zu fassen, ist die bildliche Darstellung in allen Fällen ein bedeutender Vorzug. Wie es der Photographie überhaupt gelungen ist, bereits jetzt in der Rechtsprechung sich eine hervorragende Stellung zu sichern, so ist die Röntgen'sche Photographie im besonderen angethan, auf diesem Gebiete sich Geltung zu verschaffen. Die Gesetzgebung verlangt im allgemeinen, dass für die Klagen des Kranken die anatomische Unterlage angegeben werde. Da die Pyknographie dazu geeignet ist, gerade dieser Forderung in überzeugender Weise zu genügen, so ist ihre Bedeutung klar. Ein gutes Pyknogramm dem geforderten Gutachten beigegeben, wird oft seitenlange Beschreibungen ersetzen. In der That ist bereits heute die Pyknoskopie so weit, manche verborgene, oft nicht geglaubte Leiden aufzuklären und damit den Klagenden zu ihrem Recht zu verhelfen, und umgekehrt in vielen Fällen erheuchelte als Lügengewebe zu enthüllen. Wir entsinnen uns eines Falles, bei dem ein Arbeiter behauptete, infolge eines in den Fuss eingetretenen Eisensplitters erwerbsunfähig zu sein, bei dem die Pyknoskopie mit Sicherheit die Lügenhaftigkeit der Angabe klarstellte. Wenn früher mancher Arzt befriedigt sein mochte, wenn ein Knochenbruch überhaupt geheilt war, so hat die Unfallgesetzgebung auch diesen gezeigt, dass nur ein vollkommen ideal geheilter Bruch dazu führen kann, im Rechtsbewusstsein des Arbeiters die Vorstellung des völligen Geheiltseins zu erwecken. Gerade zur Kontrolle der Heilung Verletzter ist nun aber die

Pyknoskopie in hervorragendem Masse geeignet; derjenige Arzt, der mit Hilfe der Röntgen'schen Strahlen die Heilung fortgesetzt kontrollieren und an passenden Stellen korrigieren kann, wird seinen Mitmenschen ungezählte Summen und gesunde Glieder erhalten können.

Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die pyknoskopische Untersuchungsmethode zu denjenigen gehört, welche der Unfallkranke nicht verweigern darf, da sie ihm Schmerzen oder Schaden nicht bereitet. Wer je mit einem unbändigen Unfallkranken zu thun gehabt hat, der durch fortgesetztes Sperren oder fortwährende Schmerzensäusserungen jede Untersuchung illusorisch zu machen weiss, der wird die Segnung der neuen Erfindung weiter würdigen lernen. Zur Durchleuchtung kann die Berufsgenossenschaft ihre Angehörigen in jedem Falle nach den gesetzlichen Vorschriften zwingen.

Frakturen und andere Verletzungen, die sich überhaupt schwer erkennen liessen, werden nun auf einmal klar gesehen und können den Laien im Bilde demonstriert werden. So ist den Vorständen von Krankenkassen und Berufsgenossenschaften ohne grosse Umstände das erleichtert, wozu früher ihnen seitenlange Gutachten nicht immer verhelfen konnten, die Entscheidung darüber, ob die Kosten für eine Operation oder eine Nachbehandlung übernommen werden sollen oder nicht. In vielen Fällen werden die Genossenschaftsvorstände sich jetzt ein Urteil bilden können, ob die zu übernehmenden Kosten überhaupt in einem Verhältnis stehen zu den voraussichtlich durch die Behandlung zu erzielenden Erfolgen. Da die Pyknoskopie ein vollkommen sicheres Erkennungsmittel z. B. dafür darstellt, ob eine Ankylose eine knöchernerne oder eine bindegewebige

ist, so wird die Berufsgenossenschaft darüber schlüssig werden können, ob sie eine mediko-mechanische oder eine chirurgische Behandlung übernehmen soll. Wusste auch der Arzt, ob eine Ankylose eine knöchernerne oder eine bindegewebige war, so ist der Gewinn, diese Erkenntnis graphisch den Laien darzustellen, die das entscheidende Wort sprechen sollen, ein unverkennbarer. Nicht selten gelingt es auch, durch das Pyknogramm den Unfallverletzten von der Notwendigkeit der ihm nützlichen Nachoperation zu überzeugen.

Wir geben hier das Bild einer mit ausserordentlicher Schädigung der Funktion für den Kranken geheilten Unterschenkelfraktur wieder. Der Patient, der vorher jeden Eingriff verweigerte, ging auf die vorgeschlagene Operation sofort ein, als ihm die enorme Difformität gezeigt wurde. Im vorliegenden Falle war die Schwellung der Weichteile eine so starke und straffe, dass ein deutliches Palpieren vollkommen unmöglich war. Jede verantwortliche Berufsgenossenschaft oder Krankenkasse wird nach Besichtigung eines solchen Pyknogramms für die zu fassenden Beschlüsse besser orientiert sein, als durch das schönste Gutachten (s. Tafel).

Für die Militärmedizin dürfte die Röntgenische Durchleuchtung gleichfalls von grosser Bedeutung sein. Abgesehen davon, dass man dem Simulantentum mehr und mit grösserer Sicherheit als früher entgegen-treten kann, abgesehen weiter davon, dass die Diagnose mancher Krankheit durch die Anwendung des Pyknoskops wesentlich erleichtert ist, dürfte gerade hier die Möglichkeit, Fremdkörper im Leibe zu sehen, ihren Sitz und daher ihre Entfernung für den Fall der Notwendigkeit sicher zu stellen, ein ganz unschätzbare Gewinn sein. Speziell bei der Begut-

achtung der zahllosen Invaliditätsansprüche, die noch heute fortgesetzt aus den grossen Kriegen unseren Militärbehörden vorliegen, wird das Pyknoskop nicht selten eine entscheidende Stimme haben, da es sich ja oftmals um ausserordentlich leicht nachweisbare Fremdkörper handelt. Die Feststellung der häufigen Handverletzungen bei Soldaten durch Eisen- und Glassplitter und der durch die zurückgelassenen Splitter erwachsenden Ansprüche stellen ein weiteres grosses Feld segensreichen Wirkens dar. Die Verwendbarkeit im Kriege ist zuerst durch den türkisch-griechischen Krieg bewiesen worden.

Für den Richter ist die Pyknoskopie in zahlreichen Fällen von unschätzbarem Werte. Die Möglichkeit für den Arzt, die Art der Verletzungen genau festzustellen und graphisch dem Richter vorzulegen, wird manchmal die Entscheidung, ob leichte oder schwere Körperverletzung vorliegt, sicherstellen. Fälle zweifelhafter Gravidität pyknoskopisch aufzuklären, dürfte nicht allzufern mehr liegen. Dass es endlich möglich ist, die pyknoskopische Methode zur Feststellung zweifelhaften Alters von gefundenen, etwa verbrannten Leichenteilen, die man nicht mehr identifizieren kann, zu benutzen, wurde bereits oben erwähnt.

Aber wo viel Licht ist, giebt es auch viel Schatten. Die moderne Zeit ist gekommen, in der Patienten, die mit dem Wirken ihres Arztes nicht einverstanden sind, sich durchleuchten und photographieren lassen, um das Pyknogramm, welches beweist, dass trotz der ernsthaftesten Bemühungen des Arztes ein Bruch nicht ideal geheilt ist, dem Richter vorzulegen und eine Schadenersatzklage einzuleiten. Wir möchten ausdrücklich alle Ärzte davor warnen, an Orten, wo die Röntgen'sche Methode

geübt wird, Knochenbrüche zu behandeln, ohne sich durch den Verband hindurch mit Hilfe der Röntgen'schen Strahlen von guter Lage der Bruchenden zu überzeugen. Die Röntgen'sche Durchleuchtung gelingt hier leicht, und es kann die Verabsäumung derselben mit Recht als schwere Nachlässigkeit durch den Richter gerügt werden. Aber auch die Humanität gebietet es, dem Patienten die Segnungen dieses ausgezeichneten Hilfsmittels, wenn möglich, zu teil werden zu lassen, und kein Arzt sollte hinter Krankenkassen zurückstehen, welche in grosser Zahl schon die neue diagnostische Methode in das Bereich der zu gewährenden Hilfsmittel gezogen haben.

14. Kapitel.

Physiologische Wirkungen der Röntgen'schen Strahlen.

Wie bei allem Neuen, so fehlt es bei den Röntgen'schen Strahlen auch nicht an zahlreichen Berichten, welche der Einwirkung derselben sehr sonderbare Folgen nach der guten sowohl, wie nach der schlechten Seite hin zuschreiben.

Beginnen wir mit den guten Wirkungen therapeutischer Art, die den Röntgen'schen Strahlen in gewisser Regelmässigkeit durch Berichte der Tagespresse nachgerühmt werden, so sieht es leider damit zur Zeit noch recht bedenklich aus.

Wir lasen wiederholt, dass die Heilung der Lungentuberkulose durch regelmässig fortgesetzte Bestrahlung gelungen sei, und müssen bei Forster ähnliche Hoffnungen voraussetzen, wenn wir hören,

dass er ein fungöses Knie andauernd bestrahlt. Wir selbst haben uns mit derartigen Versuchen, die uns wenig Aussicht auf Erfolg zu haben scheinen, nur selten auf ausdrückliches Verlangen abgegeben, so dass uns eignes Urteil fehlt. Wir begnügen uns daher mit kurzer Wiedergabe des Materials, welches berichtet ist. In dieses Kapitel gehören die in der Neuzeit zu einer grossen Zahl angewachsenen Versuche, den Einfluss der Röntgen'schen Strahlen auf Bakterien festzustellen, welche bald zu negativen, bald zu positiven Resultaten führten. Frappante Heilungen speziell von Lupus angeblich durch Röntgen'sche Strahlen konnte Kümmel auf den Chirurgenkongress 1898 vorstellen. Neuerdings sind diese Erfolge teilweise bestätigt, teilweise bestritten worden. Wir haben versucht die Heilungen gleichfalls zu erzielen und sahen wohl Veränderungen, nie aber eine Heilung oder bleibende Besserung. Erwähnen wollen wir schliesslich, dass die neuen Strahlen noch bei zahlreichen anderen Hautkrankheiten und auch bei anderen Leiden in therapeutischer Absicht verwendet wurden, doch verdienen diese Versuche zunächst nur die Erwähnung, wie auch die Behandlung des Gelenkrheumatismus (Jokolow), der Lungentuberkulose, von Geschwülsten und anderem.

Bedeutend positiver sind leider die Berichte über schädliche Wirkungen nach fortgesetzten Bestrahlungen, und man wird wohl nicht umhin können denselben für die Zukunft die grösste Aufmerksamkeit zu schenken. Es sind hier vor allen Dingen mehr oder minder erhebliche Hautentzündungen, begleitet oft von totalem Haarausfall, welche von zahlreichen deutschen und ausländischen Beobachtern übereinstimmend gemeldet werden. Den schlimmsten Prozess sah wohl Drury, der nach mehrfacher langdauernder (1 bis

1 $\frac{1}{2}$ Stunden) Bestrahlung eine förmlich geschwürige Fläche auftreten sah, die trotz (vielleicht wegen? Die Verfasser) mehrfacher Kauterisation erst nach vielen Wochen heilte. Denjenigen, welche in der Röntgen'schen Bestrahlung ein Enthaarungsmittel gefunden haben wollen, möchten wir entgegenhalten, dass der Haarausfall nicht in allen Fällen eintrat und dass die Haare in der Regel rasch wieder wuchsen. Den Eindruck eines exakten Experiments macht der Versuch von Freund, der einen enormen pigmentierten und behaarten Naevus zu therapeutischen Zwecken bestrahlte; thatsächlich wurde bei diesem Falle eine Depilation — ob von Dauer oder nicht, das kann erst die Zeit lehren — erzielt.

Wir selbst konnten weder an uns noch an unseren Versuchsobjekten noch an Patienten irgend einen schädlichen Einfluss auf Haar und Haut beobachten, wollen jedoch nicht unerwähnt lassen, dass einer der Fabrikanten von Röntgenröhren, der zu Prüfungszwecken seine Hand als Durchleuchtungsobjekt benutzt, an einem eigentümlichen Häutungsprozess derselben leidet, der an die durch Sonnenbestrahlung verursachten Hautaffektionen erinnert und den er auf die vielfachen Durchleuchtungen zurückführt. Einen noch schwereren Prozess sahen wir an den Händen von zwei Physikern, welche angeblich viel mit Röntgen'schen Strahlen gemeinschaftlich arbeiten und darauf die schweren trophischen Störungen an ihren Fingern und Nägeln beziehen.

Dagegen scheint uns eine viel grössere Gefahr für denjenigen, der häufiger pyknoskopiert, auf einem anderen Gebiete zu liegen, welches merkwürdigerweise bisher noch gar nicht Gegenstand der Besprechung war. Wir konnten nicht so selten bei langdauernden Durchstrahlungen recht unangenehme Schmerzen in

den Augen verspüren, welche besonders dann fühlbar wurden, wenn während der Durchleuchtung von uns gelesen oder geschrieben wurde. Diese Erregung war auch dadurch nicht zu beseitigen, dass wir das Phosphoreszenzlicht der Röhre abdeckten. Doch haben wir eine Schädigung der Sehkraft bisher nicht wahrgenommen. Nach Darier sind die Augenschichten für Röntgen'sche Strahlen wenig durchgängig. Dass übrigens die Netzhaut für die Strahlen harter Röhren empfindlich ist, wurde von Brandes bemerkt und von Röntgen (Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen, 1897) durch einen interessanten Versuch bestätigt. Hier wollen wir auch die Beobachtung anführen, die wir fast immer bei unsern Durchleuchtungen machten, dass nämlich der bestrahlte Körper der Versuchsperson statisch geladen erscheint, wie es das Überspringen kleinster Fünkchen von der Haut der Person auf unsere entgegengehaltenen Finger und die Anziehung genäherter Papierstückchen anzeigt.

Selbst die Frösche mussten schon als Versuchsobjekte herhalten; Tarkhanoff konnte an ihnen nachweisen, dass durch Bestrahlung die Reflexerregbarkeit herabgesetzt wird. Wurden diese Frösche wieder ins Wasser gesetzt, so blieb ihre Haut auffallend dunkel, um erst nach mehreren Stunden wieder heller zu werden.

Weit weniger sicher und bedeutungsvoll sind jedenfalls die physiologischen resp. therapeutischen Wirkungen der Röntgen'schen Strahlen als ihre grossen diagnostischen Erfolge.

Überblicken wir nochmals das Geschilderte, so können wir behaupten, dass durch Röntgens unvergleichliche Entdeckung die Medizin ganz plötzlich und unerwartet einen gewaltigen Schritt nach vor-

wärts gethan hat, und mit besonderem Stolz können wir in der Pyknoskopie das Produkt der Geistesarbeit eines deutschen Gelehrten sehen, den die leidende Menschheit für alle Zeiten als Wohlthäter betrachten wird. Und wenn die Technik so fortschreitet, Verbesserungen der bisherigen Hilfsmittel zu erdenken, wie die Ärzte es sich haben angelegen sein lassen, die bisherigen auszunutzen, so sind wir von der im Märchen von Philander geschilderten quallenartigen Durchsichtigkeit der menschlichen Körper wenig entfernt, und seine Phantasiegebilde werden zur Wahrheit.

Nachtrag.

Da bei der Anwendung des hochfrequenten elektrolytischen Unterbrechers von Wehnelt und bei voller Ausnutzung seiner überraschenden Leistungsfähigkeit durch hohe Betriebsspannung so beträchtliche Energiemengen in der Vakuumröhre zur Wirkung kommen, dass zwar die Bilder auf dem Schirme wundervoll ruhig und deutlich, die Belichtungszeiten beim Pyknographieren bedeutend herabgesetzt werden (nach Ernecke auf weniger als ein Zehntel, z. B. für eine Beckenaufnahme auf 15 Sekunden; wir selbst hatten keine hohe Spannung zur Verfügung), aber auch die Erhitzung der Elektroden gewöhnlicher Röhren bis zum Abschmelzen derselben gesteigert wird, so empfiehlt Ernecke für diesen Unterbrecher besondere, von Gundelach konstruierte Röhren, bei denen durch massive Konstruktion der Antikathode die Wärmeverteilung erleichtert und durch Überziehung der Aluminiumelektroden mit einer Schmelz- oder Emailfarbe die Zerstäubung derselben verhindert wird.



Litteratur.

(Die Litteraturangaben machen nicht den Anspruch auf Vollständigkeit; sie sollen nur demjenigen, der das Aufblühen der Pyknoskopie im Dienste des Arztes verfolgen will, ein Wegweiser sein. In jeder einschlägigen Zeitschrift finden sich Litteraturverzeichnisse.)

- Arsonval, Lumière noire. Ac. des scienc. 1896, 17. Febr.
- Barwell, On various forms of talipes as depicted by X-rays. Lancet 1896, 28. Nov., 26. Dez.
- Basch, Der Nachweis der Lungenschwellung und Lungenstarrheit durch Röntgenstrahlen. Wiener medicin. Wochenschrift 1897, Nr. 5.
- Becher, Zur Anwendung des Röntgen'schen Verfahrens in der Medizin. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 13.
- Beck u. Schulz, Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten 1896, S. 490.
- Beck, Die Elektrizität und ihre Technik.
- Benedikt, Moritz, Weitere Beiträge zur Biomechanik des Kreislaufes. Wiener medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 47.
- Beobachtungen und Betrachtungen aus dem Röntgenkabinette. Wiener medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 52 u. 53; 1897, Nr. 9 u. 10.
- Bergonié, Nouveaux faits de radioscopie de lésions intrathoraciques. Gaz. des Hôp. 1897, LXX. 2.
- Berton, La semaine médicale 1896, S. 266.
- Biesalski, Die Photographie, eine praktische Verwertung der Röntgenstrahlen. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, S. 203.
- Bloch, Über Verwendung Röntgen'scher Strahlen bei einigen Formen von Blindheit. Wiener medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 53.
- Boas, Zeitschrift für Instrumentenkunde 1896, April.
- Boček, Vorschlag zur Verwendung von X- (Röntgen-) Strahlen bei einigen Formen der Blindheit. Wiener medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 52.

- Borchardt, Die Röntgen'sche Entdeckung. Berlin 1896.
- Bouchard, La pléurésie de l'homme étudiée à l'aide des rayons de Roentgen. Gazette des Hôp. 1896, LXIX. 144.
- Les rayons de Roentgen appliqués au diagnostic de la tuberculose pulmonaire. Gazette des Hôp. 1896, LXIX, 147.
- Application de la radioscopie au diagnostic des maladies du thorax. Gazette des Hôp. 1897, LXX. 1.
- G. Brandes, Über die Sichtbarkeit der Röntgenstrahlen. Sitzungsber. der Ac. d. W. z. Berlin 1896, pag. 547.
- Brausewetter, Über einen Fall von operativer Entfernung eines Glassplitters nach Photographie mit Röntgenstrahlen. Deutsche militärärztliche Zeitschrift 1897, XXVI. 1.
- Brissand u. Louve, Gazette des Hôpitaux XLIX. 70.
- Buguet, Technique médicale des rayons X. Société d'Editions scientifiques 1896.
- Buka, Zur direkten Beobachtung innerer Körperteile mittels Röntgenstrahlen. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 19.
- Bunk, Who shall apply the X-ray in medicine and surgery? Clevel. medic. Gazette 1896, XII. 2.
- Burckhart, H. v., Ein Beispiel für die Verwendbarkeit der Röntgen'schen Entdeckung in der Chirurgie. Medizin. Korrespondenzblatt des Württembergischen ärztl. Landesvereins 1896, Nr. 7.
- Cowl, Berliner klinische Wochenschrift Nr. 30.
- Eine Verbesserung im Röntgenverfahren. Deutsche medizinische Wochenschrift 1897, Nr. 17.
- Cracau, Beitrag zur Lichttheorie. Zittau 1896.
- Crocker, A case of dermatitis from Roentgen rays. British med. Journal 1897, 2. Januar.
- Daniel, Ausfall der Haare nach Einwirkung der Röntgenstrahlen. Med. record. 1896, Nr. 23.
- Darier, Pariser ophthalmol. Gesellschaft 3. März 1896, cf. Protokoll.
- Davis, American Journal of the medical sciences 1896, März.
- Delépine, Wiener medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 18.
- Dorn, Über die Schwingungsrichtung der Röntgen-Strahlen. (Aus: Abhandlungen der Naturf. Gesellschaft zu Halle.) 1896.
- Mitteilungen über Röntgen-Strahlen. (Aus: Abhandlungen der Naturf. Gesellschaft zu Halle.) 1896.
- Dressel, Elementares Lehrbuch der Physik.
- Drury, Dermatitis caused by Roentgen X-rays. British medic. Journal 1896, 7. Nov.
- Du Bois-Reymond, René, Physiologische Gesellschaft zu Berlin, Sitzung 12. Juni 1896.

- Du Bois-Reymond, Cl., Röntgen's X-Strahlen. Photographische Rundschau 1896, 2.
- Dumstrey, Über die Bedeutung der Röntgen-Untersuchung für die Unfallheilkunde. Monatsschrift f. Unfallheilkunde 1896, Nr. 11.
- Eder, Versuche über Photographie mittels der Röntgen'schen Strahlen Halle 1896.
- Eiermann, Über die Verwertbarkeit der Röntgenstrahlen in der praktischen Medizin. Deutsche medicin. Wochenschrift 1897, Nr. 11.
- Eulenburg, Kugeln im Gehirn; ihre Auffindung und Ortsbestimmung mittels Röntgenstrahlen-Aufnahmen. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 33.
- Exner, Eine Vorrichtung zur Bestimmung von Lage und Grösse eines Fremdkörpers mittels der Röntgenstrahlen. Wiener klinische Wochenschrift 1897, Nr. 1.
- Fessler, Münchener medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 9.
- Fleck, Münchener medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 52. Sitzungsbericht der Magdeburger medicinischen Gesellschaft.
- Forgue, Application des rayons Roentgen à la détermination de la résection cunéiforme dans l'ankylose osseuse du genou. Revue de chirurg. 1896, Nr. 9.
- Forster, Einwirkung der Röntgen'schen Strahlen auf die normale Haut und den Haarboden. Deutsche medicin. Wochenschrift 1897, Nr. 7.
- Frantzius, Einige Beobachtungen über die Wirkung der Röntgen'schen Strahlen auf das Gift der Tollwut. Centralblatt für Bacteriologie 1897, März.
- Frentzel, Du Bois-Reymond's Archiv 1896, 3 u. 4.
- Freund, Ein mit Röntgenstrahlen behandelter Fall von naevus pigmentosus piliferus. Wiener mediz. Wochenschrift 1897, Nr. 10.
- Fuchs, Über den Einfluss der Kathodenstrahlen auf die Haut. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 35.
- Galitzin u. Karnojitzky, Über die Ausgangspunkte und Polarisation der X-Strahlen. (Mémoires de l'acad. imp. de St. Pétersbourg.) Leipzig 1896.
- Geissler, Die Diagnose der Knochenherde durch Röntgenstrahlen. Verhandlungen des Chirurgenkongresses 1896.
- Göbel, Osteomalacie mittels Röntgenstrahlen zu diagnostizieren. Deutsche medicin. Wochenschrift 1897, Nr. 17.
- Gocht, Deutsche medicin. Wochenschrift 1897, Nr. 10.
- Lehrbuch der Röntgen-Untersuchung, Stuttgart 1898.
- Grätz, Die Elektrizität und ihre Anwendung.
- Münchener medicinische Wochenschrift 1896 u. 1897, div. Artikel.

- Grunmach, Über die Bedeutung der Röntgenstrahlen für die innere Medizin. Therap. Monatshefte 1897, XI. 1.
- Hammer, Auffindung eines metallischen Fremdkörpers im Daumenballen mit Hilfe der Röntgenstrahlen. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, S. 114.
- Hoffa, Physikalisch-medizinische Gesellschaft zu Würzburg. Sitzung 12. Nov. 1896. Ref. Münchener medicin. Wochenschrift 1897, 9. Febr.
- Hoppe-Seyler, Über die Verwendung der Röntgen'schen Strahlen zur Diagnose der Arteriosklerose. Münchener medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 14.
- Huber, Zur Verwertung der Röntgenstrahlen im Gebiete der inneren Medizin. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 12.
- Jankau, Weitere Mitteilungen über die Anwendung der Röntgen'schen Strahlen in der Medizin. Internat. fotogr. Monatsschrift für Medizin und Naturwissenschaften, Bd. III, Heft 7 u. 8.
- Jastrowitz, Experimente mit Kathodenstrahlen und ihre diagnostische Verwertung. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, S. 65.
- Kaufmann, Zur Verwendbarkeit der Röntgen'schen Skiagraphie bei der Begutachtung von Unfallverletzten. Monatsschrift für Unfallheilkunde 1896, Nr. 9.
- Koenig, Die Bedeutung der Röntgen'schen Beleuchtung für die Diagnose der Knochenkrankheiten. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, S. 113.
- Kriegsministerium, Versuche zur Feststellung der Verwertbarkeit Röntgen'scher Strahlen für medizinisch-chirurgische Zwecke. Veröffentlichungen aus dem Gebiete des Militärsanitätswesens. Medizinalabt. des preuss. Kriegsmin. Berlin 1896, Heft 10.
- Kronberg, Über Anwendung der X-Strahlen in Verbindung mit Quecksilber zur Diagnose der Darmstenosen und Fistelgänge, Wiener medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 22.
- Kümmel, Die Diagnose der Knochenherde durch Röntgen'sche Strahlen. Verhandlungen des Chirurgenkongresses 1896.
- Kümmell, Über Fresnel'sche Beugungserscheinungen bei Röntgenstrahlen. (Aus: Abhandlungen der Naturf. Gesellschaft zu Halle.) 1896.
- Lannelongue, Barthelemy et Oudin, De l'utilité des photographies par les rayons X dans la pathologie humaine. Compt. rend. de l'Acad. des sciences 1896, Nr. 4.
- Lauenstein, Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, Vereinsbeilage 7. Mai.
- Leo, Berliner klin. Wochenschrift 1896, Nr. 8.
- Leppin, Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 54.
- Levy, Die Durchleuchtung des menschlichen Körpers. Berlin 1896.

- Levy-Dorn, Verwendbarkeit der Röntgenstrahlen in der praktischen Medizin. Deutsche medizin. Wochenschrift 1897, 8. Febr.
- Ein Asthmatischer im Röntgenbild. Berliner klin. Wochenschrift 1896, Nr. 47.
- Lewkowitsch, The Lancet, S. 452 u. 547.
- Lindemann, Demonstration von Röntgenbildern des normalen und erweiterten Magens. Deutsche medizin. Wochenschrift 1897, Nr. 17.
- Lortet u. Genoud, Gaz. des Hôp. 1896, 7. Juli.
- Macintyre, Roentgen rays in laryngede surgery. Journal of laryngologie 1896, Nr. 5.
- X-rays. Lancet 1896, Nr. 7.
- Mannaberg, k. k. Gesellschaft der Ärzte in Wien. Sitzung am 19. Februar 1897. Demonstration der Erzeugung von Röntgenstrahlen mittels der Influenzmaschine.
- Marcuse, Dermatitis und Alopecie nach Durchleuchtungsversuchen mit Röntgenstrahlen. Deutsche medizin. Wochenschrift 1896, Nr. 30.
- Nachtrag zu dem Fall von Dermatitis nach Durchleuchtungsversuchen von Röntgenstrahlen. Deutsche medizin. Wochenschrift 1896, Nr. 42.
- Mendrix, La clinique, Jan. 1896.
- Mewes, Licht-, Elektrizitäts- u. X-Strahlen. Berlin 1896.
- Minck, Einfluss der X-Strahlen auf das Wachstum der Bakterien. Münchener medizin. Wochenschrift 1896, Nr. 5.
- Müller, E., Missbildung eines Händchens in Röntgen'scher Beleuchtung. Deutsche medizin. Wochenschrift 1896, S. 184.
- Müller, H., Röntgen's X-Strahlen. Berlin 1896.
- Müller-Kanneberg, Gesellschaft der Charité-Ärzte. Sitzung am 23. Juli 1896. Ref. Berliner klin. Wochenschrift 1897, Nr. 7.
- Mützel, Über Röntgen-Strahlen. Breslau 1897.
- Morris, The effect of the Roentgen rays on urinary and biliary calculi. Lancet 1896, Nr. 14.
- v. Mosetig-Moorhof, Wiener klin. Wochenschrift 1896, Nr. 5.
- Neuhauss, Photographische Rundschau 1896 u. 1897.
- Neusser, Wiener medizin. Wochenschrift 1896, S. 285.
- Noble Smith, The detection of spinal caries by the Roentgen process. British Medical Journal 1896, 6. Juni
- Two cases of deformity of the hand relieved by operation. The Lancet 1897, 13. Febr.
- Oberst, Ein Beitrag zur Frage der Verwendung der Röntgen'schen Strahlen in der Chirurgie. Münchener medizin. Wochenschrift 1896, Nr. 41.
- Panesch, Röntgen-Strahlen. Neuwied 1897.

- Parker, Med. News 1896, Nr. 525.
- Péan, La semaine médicale 1896, S. 494.
- Pénaire, Trois cas de corps étrangers de la main décelés par la photographie au moyen des rayons de Roentgen. Bull de la Soc. anat. 5. V. X. 15. 1896, Juni, Juli.
- Petersen, Münchener medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 6.
- Pfaundler, Beitrag zur Kenntnis und Anwendung der Röntgen'schen Strahlen. (Aus: Sitzungsbericht der k. Akademie der Wissenschaften zu Wien.) 1896.
- Pöch, Wiener klinische Wochenschrift 1896, Nr. 46.
- Poncet, Des circulations artérielles et veineuses du rein, étudiées au moyen des rayons de Roentgen et du stéréoscope. Bull. de l'Acad. de Méd. 1896, LX. 51. 29. Dec.
- Potain u. Serbanesco, Académie des sciences 1897, 18. Febr.
- Puluj, Über die Entstehung der Röntgen'schen Strahlen und ihre photographische Wirkung. (Aus: Sitzungsbericht der k. Akademie der Wissenschaften zu Wien.) 1896.
- Raw, British Med. Journal 1896, S. 1678.
- Richardson, The practical value, of the Roentgen ray in the routine work of surgical office practice. Med. News 1896, LXIX. S. 25 ff.
- Rosenfeld, Die Diagnostik innerer Krankheiten mittels Röntgen-Strahlen. Wiesbaden 1897.
- Röntgen, Eine neue Art von Strahlen, I. u. II. Mitt. Würzburg 1895.
— Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen. Berlin 1897.
- Scheier, Zur Anwendung des Röntgen'schen Verfahrens bei Schussverletzungen des Kopfes. Deutsche med. Wochenschr. 1896, Nr. 40.
- Schjerning u. Kranzfelder, Veröffentlichungen der Medizinalabteilung des preussischen Kriegsministeriums.
— Stand der Frage nach der Verwendbarkeit der Röntgenstrahlen für medizinische Zwecke. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, S. 541.
- Schmidt, Die Röntgenstrahlen. (Aus: Zeitschrift für Naturwissenschaft.) Leipzig 1896.
- Schott, Über Veränderungen am Herzen durch Bad und Gymnastik, nachgewiesen durch Röntgenstrahlen. Deutsche medicin. Wochenschrift 1897, Nr. 14.
- Schurmayer, Die elektrischen Lichterscheinungen. (Aus: Allgemeine medicin. Centralzeitung.) Berlin 1896.
- Sehrwald, Dermatitis nach Durchleuchtung mit Röntgenstrahlen. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 41.
- Spies, Über Röntgenstrahlen. Berlin 1896.
- Sternfeld, Münchener medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 9.

- Strauss, Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, Vereinsbeilage, 17. September.
- Tarkhanoff, Einfluss der Röntgen'schen Strahlen auf das Centralnervensystem. Gaz. Botkin 32.
- Tesla, Les rayons e. d. c. par Ch. Ed. Guillaume, II. édit., S. 125.
- Thiem, Beitrag zur Darlegung des Nutzens der Röntgographie bei der Beurteilung von Verletzungen. Monatsschrift für Unfallheilkunde 1897.
- Thomson, The estimation of [the size and shape of the heart by the Roentgen rays. Lancet 1896, 10. Oct.
- The practical application of the Roentgen rays in diseases of the heart and great vessels. Lancet 1896, 12. Dec.
- Turner, The practical application of X-rays to surgery and surgical teaching. Lancet 1896, 20. u. 27. Juni.
- Varnier, Chappin, Chawel u. Brentano, Annales de Gynécol 1896, S. 85 u. 281.
- Vehsemeyer, Ein Fall von congenitaler Dextrocardie, zugleich ein Beitrag zur Verwertung der Röntgenstrahlen im Gebiete der inneren Medizin. Deutsche medicin. Wochenschrift 1897, Nr. 12.
- Voller, Mitteilungen über einige im physikalischen Staats-Laboratorium ausgeführte Versuche mit Röntgen'schen Strahlen. (Aus: Jahrbuch der Hamburger wissenschaftlichen Anstalten.) Hamburg 1896.
- Vulpinus, Zur Verwertung der Röntgenstrahlen. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 30.
- Wassermann, Wiener Gesellschaft der Ärzte. Ref. Berliner klin. Wochenschrift 1897, Nr. 6.
- Wegele, Ein Vorschlag zur Anwendung des Röntgen-Verfahrens in der Medizin. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, S. 287.
- Wendel, Verwendung der Röntgenstrahlen zur Entfernung einer Pistolenkugel aus der Hand. Beiträge für klin. Chirurgie 1896, XXVII.
- White, Univers. med. Mag. VIII, 9.
- Winkelmann u. Straube, Über einige Eigenschaften der Röntgen'schen X-Strahlen. Annalen der Physik und Chemie 1896, Bd. 59.
- Wolff, Julius, Zur weiteren Verwertung der Röntgenbilder in der Chirurgie. Deutsche medicin. Wochenschrift 1896, Nr. 40.
- Wunschmann, Die Röntgen'schen X-Strahlen. Berlin 1896.
- Zenker, Röntgenaufnahmen von kindlichen Becken. Deutsche medicin. Wochenschrift 1897.
- Beitrag zur Lorenz'schen unblutigen Einrenkung der angeborenen Hüftluxation. Münchener medicin. Wochenschrift 1897, Nr. 4.



Alphabetisches Sachregister.

- Abschmelzsicherung** 142
Abzweigwiderstand 33
Akkumulatoren 42 ff.
Anionen 38
Ampère 19
Ampèremeter 34, 141
Aktinometer 113
Aneurysma 221
Anode 16
 „ des Induktions-
 stroms 64, 156
Antikathode 81, 95
Arteriosklerose 222
Arthritis 225
**Aufsuchung der Fremd-
 körper** 193 ff.
Aureole 75
Asthma 224

Bauch 215
Baryumplatincyanür 143,
 165
Becquerel's Strahlen 89
Belichtungszeit 89, 171
Bildschärfe 95, 101
Blasensteine 227
Bleibenden 97, 146
Boas'sche Röhre 98
Boas'scher Unterbrecher
 132

Bromsilberpapier 180
Brust 218

Calcaneus 202
Chromsäure-Elemente 41
Concremente 225
Coxa vara 214
Crookes'sche Röhre

Darm 215
**Deprez'scher Unterbrech.
 61, 123**
Diaphanoskopie 5
Distanz der Aufnahme 198
Dunkelzimmerlampe 182
Durchleuchtungstisch 146

Elektrolyse 37
**Elektrolyt. Unterbrecher
 von Wehnelt** 134, 243
**Elektromotorische Kraft
 (elekt. Scheidungskraft,
 Potentialdifferenz,
 Spannungsunterschied,
 Spannung)** 11
Elemente, galvanische 41
Endoskopie 5
Entwicklung 160, 173
Expositionszeit 169, 199
Extrastrom 63

- Fixieren** 160
Fluoreszenz 78
Fluoreszenzschirm 83, 143
Fluoroskop 144
Fokusröhren 95
Foucault's Unterbrech. 61
Frakturen 204
Fremdkörper 187 ff.
Funkenentladung 73
 " im Vakuum
 76
Funkenlänge 65, 73
 " im Nebenschluss
 der Röhren 91, 113
- Gallensteine** 226
Galvanische Elemente 13
Geissler'sche Röhren 77
Gelenkmäuse 208
Gelenkrheumatismus 225,
 240
Gicht 225
Glühlampen 155, 181
- Haare** 241
Hammerunterbrecher 60
Harte Bilder 102
Harte Röhren 92
Heer 237
Herz 218
Hittorf'sche Röhre 77
- Induktion** 59
Influenzmaschine 117
Innere Medizin 214
Ionen 38
- Kanalstrahlen** 80, 87
Kapazität 16, 46
Kassetten 169
Kathode 16, 64, 156
Kathodenlicht, -strahlen
 77
Kationen 38
Kleben des Unterbrechers
 122
Knochenbilder 201
Knochentumoren 210
Kopierprozess 162
Kondensator 70, 139
Kryptoskop 144
Kugeln 188
Kurbelrheostate 27, 33, 137
- Lage der Fremdkörper** 193
Lagerungstisch 146
Lampendrheostat 57
Lenard'sche Strahlen 80
Leitungswiderstand 17
**Leitungsquerschnitt und
Stromstärke** 37
Leuchtschirm 143, 83
Lunge 222
Lupus 240
Luxationen 204
- Magen** 215
Mediastinum 221
Meidinger'sche Elemente
 55
Messinstrumente 34
Motorunterbrecher 127

- Nadeln 189
 Nebenschlussfunken-
 strecke 91, 113
 Neefe'scher Hammer 60,
 120
 Negativverfahren 157
 Netzhaut 242
 Nieren 215
 „ steine 226

Öffnungsextrastrom 67
 Öffnungsfunken 67
 Ohm 17
 Ohm'sches Gesetz 19
 Ossifikation 203
 Osteomalacie 228
 Osteomyelitis 212

Parallelschaltung 23
 Phenolphthaleïn 38
 Phosphoreszenz 78
 Photographisches 157 ff.
 Photometrie 100
 Photometer 108, 113
 Physiologische Wirkungen
 d. Röntgen. Strahlen 239
 Platin-Aluminiumfenster
 109
 Platinhammerunterbrech.
 60, 120
 Platinspiegel 95, 243
 Platten 164
 Pole 16, 64, 156
 Polarisation 39
 Polreagens 38

 Potential 12 ff.
 Primärelemente 39
 Primärstrom, Ladestrom
 39
 Primärstrom, induzieren-
 der 60
 Präzisionsunterbrech. 123
 Pyknographie 157 ff.
 Pyknoskopie 5, 143 ff.
 Pyknostereogramme 177

Qualitätsfenster 111
 Quantität, Schaltung auf
 23
 Quecksilberunterbrecher
 61, 123 ff.
 Querschnitte d. Leitungen
 37

Rapid-Unterbrecher 128
 Rechtsprechung 235
 Regulierbare Vakuum-
 röhren 99
 Reihenschaltung 21
 Respiratorische Verschie-
 bung 191
 Retina 242
 Rheostate 27
 Röhren für elektrolyt.
 Unterbrecher 243
 Röntgen'sche Strahlen 81
 Rühmkorff 70

 Schaltung auf Spannung 21
 „ auf Quantität 23

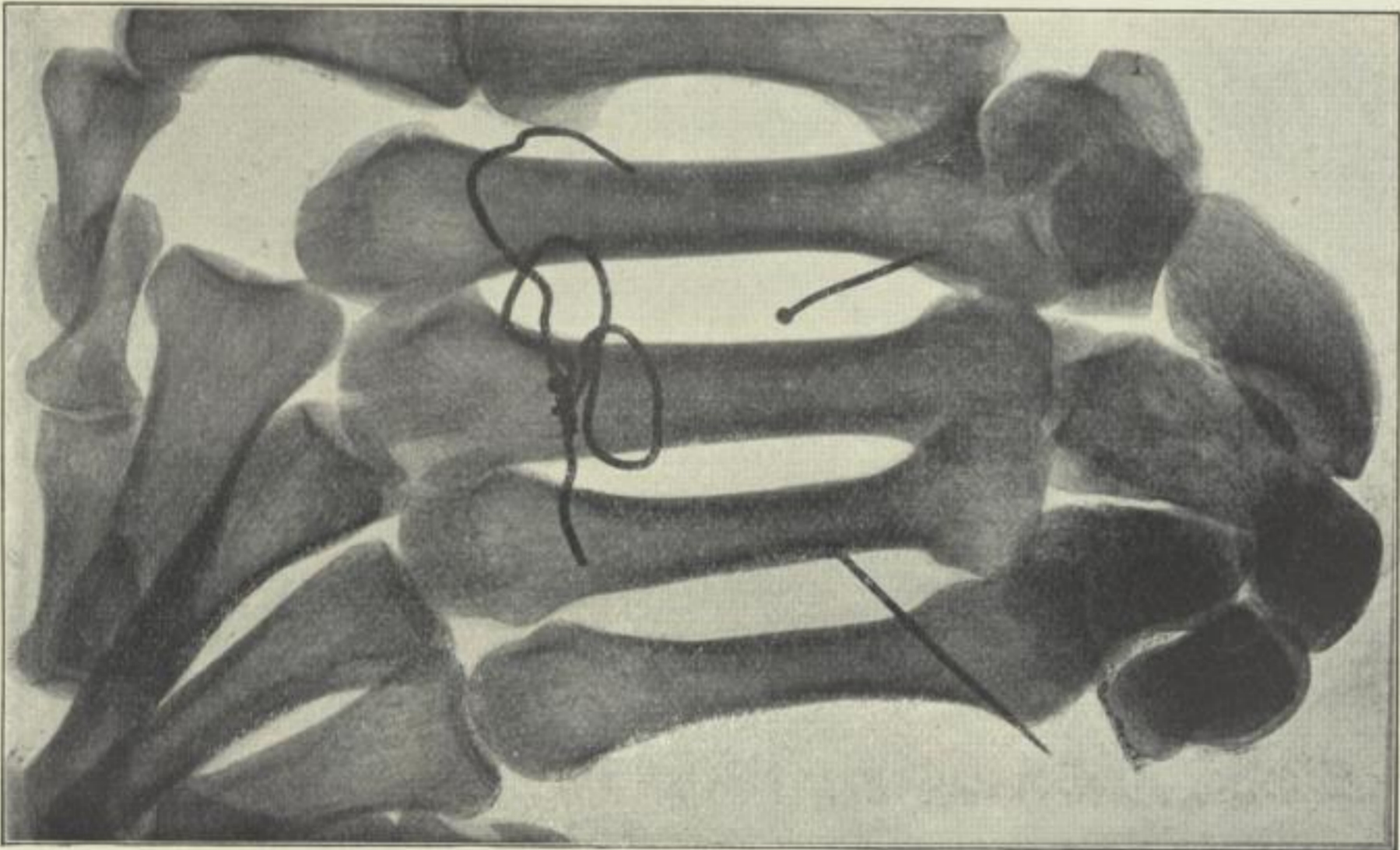
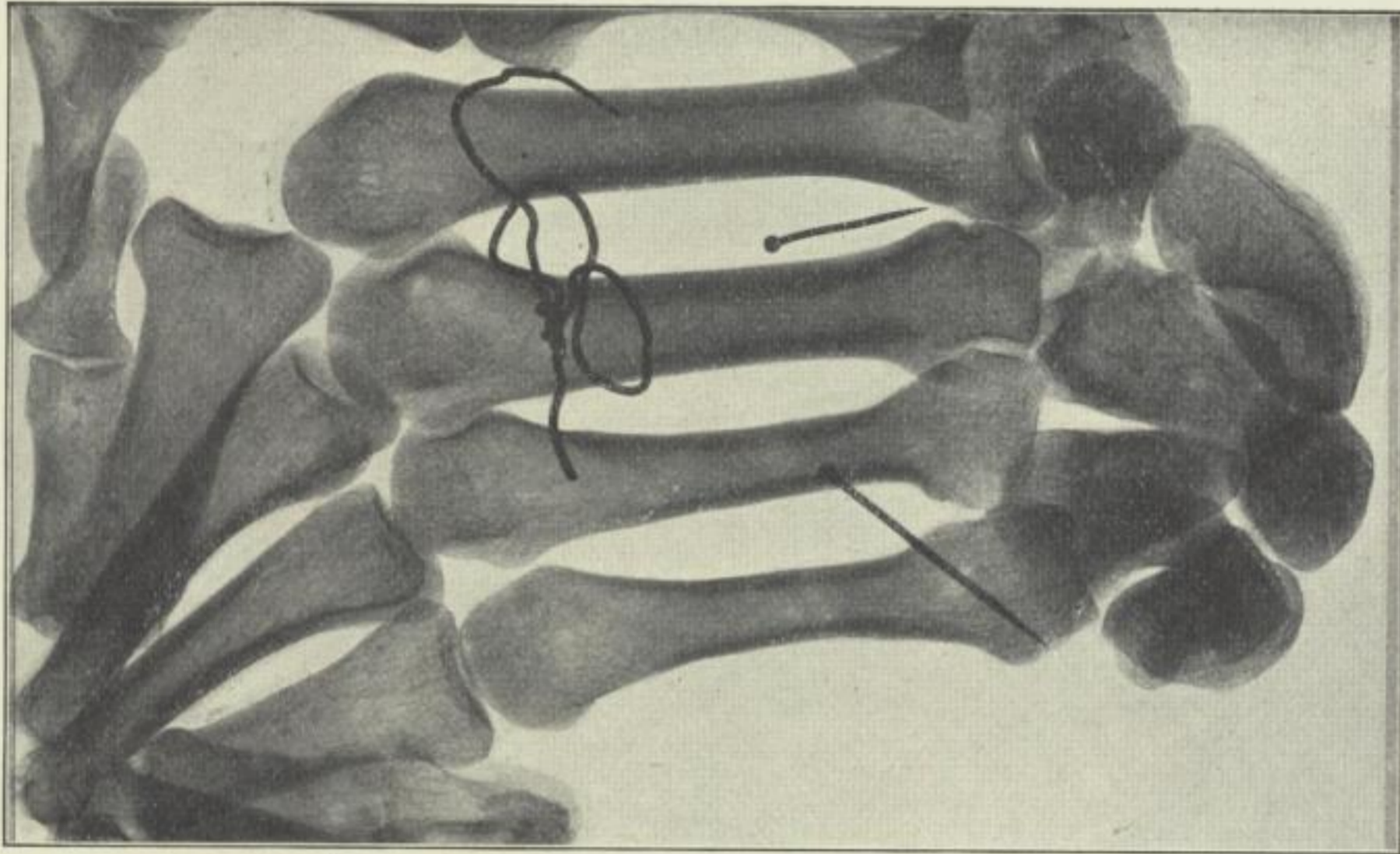
- Schaltung d. Apparate 151
„ d. Kondensators 139
Schädlichkeiten der Rönt. Strahlen 240
Scheidungskraft, elektr. 11
Schlagweite 65, 72
Schliessungsextrastrom 67
Sekundärelement 39, 41 ff.
Sekundärstrom, Entladungstrom 39
Sekundärstrom, induz. 60
Selbstinduktion 63
Selbstevakuuation 93
Sicherheitsfunkenstr. 91
Spannung 12
„ der Funkenentladungen 74
Spannungsregulator 34
Stative 125
Steinbildungen 225
Stereoskopie 176
Stromdichte 31
Stromschliesser, -wender 139, 152
Stromstärke 16
- T**achometer 131
Tesla'sche Ströme 117
Thermosäulen 58
Turbinen-Unterbrech. 132
Tuberkulose d. Knoch. 209
- Übungstafel 115
Überexposition 102, 163, 171
Unterbrecher 61
Unfallheilkunde 234
Uranstrahlen 89
- Vakuumpöhrren 90
Vakuumpunterbrecher 69
Verjüngung der Röhren 94
Verstärkungsschirm 165
Versuchsfehler 229
Volt 12, 19
Voltmeter 36
Voltabschalter, Spannungsregulator 33
- Wagner'scher Hammer 60, 120
Watt 31
Wechselstrom 118
Wechselkontakt 181
Wehnelt's elektrolytischer Unterbrecher 40, 118. 134, 243
Widerstand, elektr. 17 ff.
„ der Elemente 21, 25, 41
Widerstand der Röhren 91, 99
- Zersetzungszelle 40
Zwerchfell 224.

Karten.





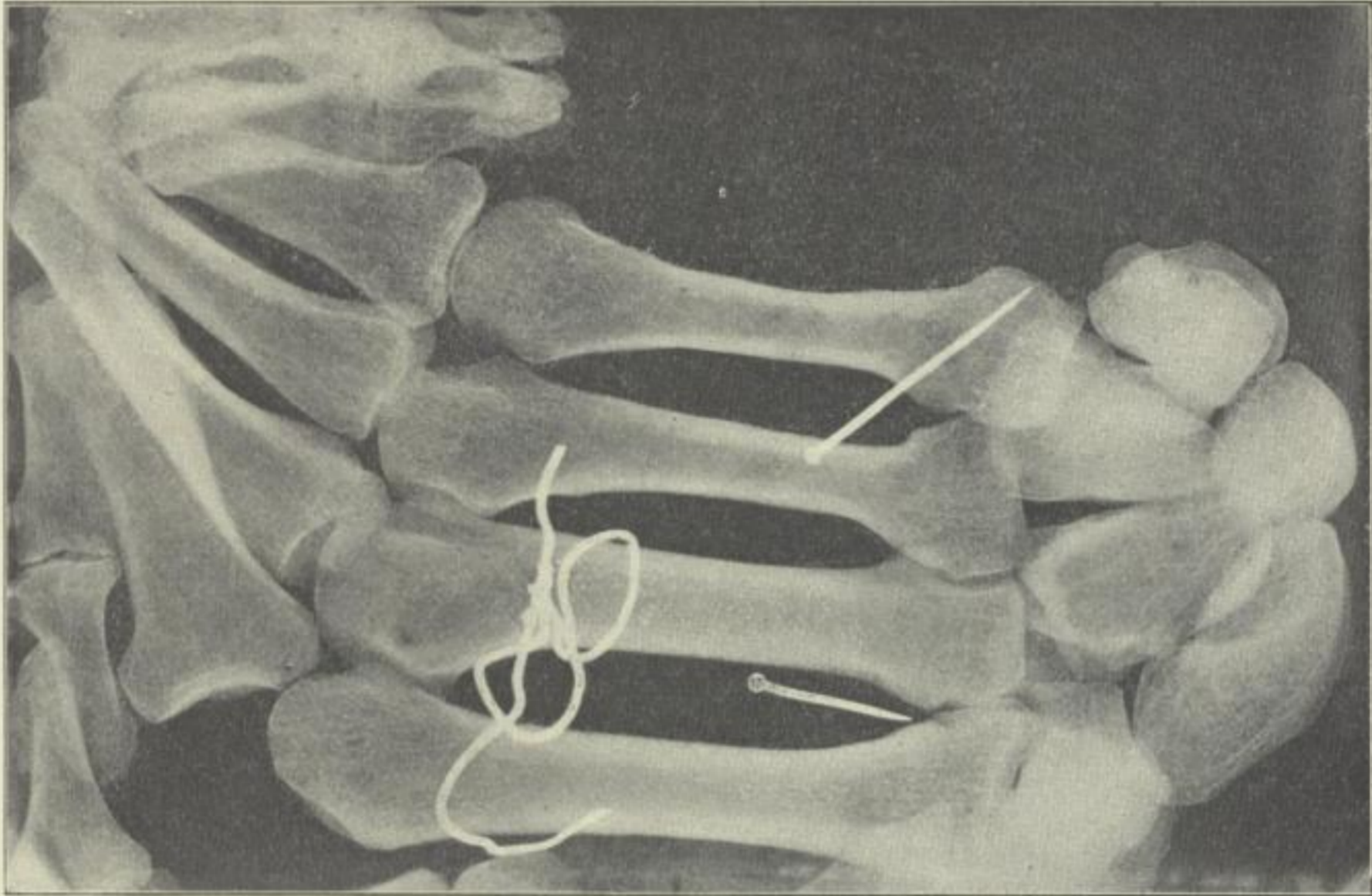
Tafel II.



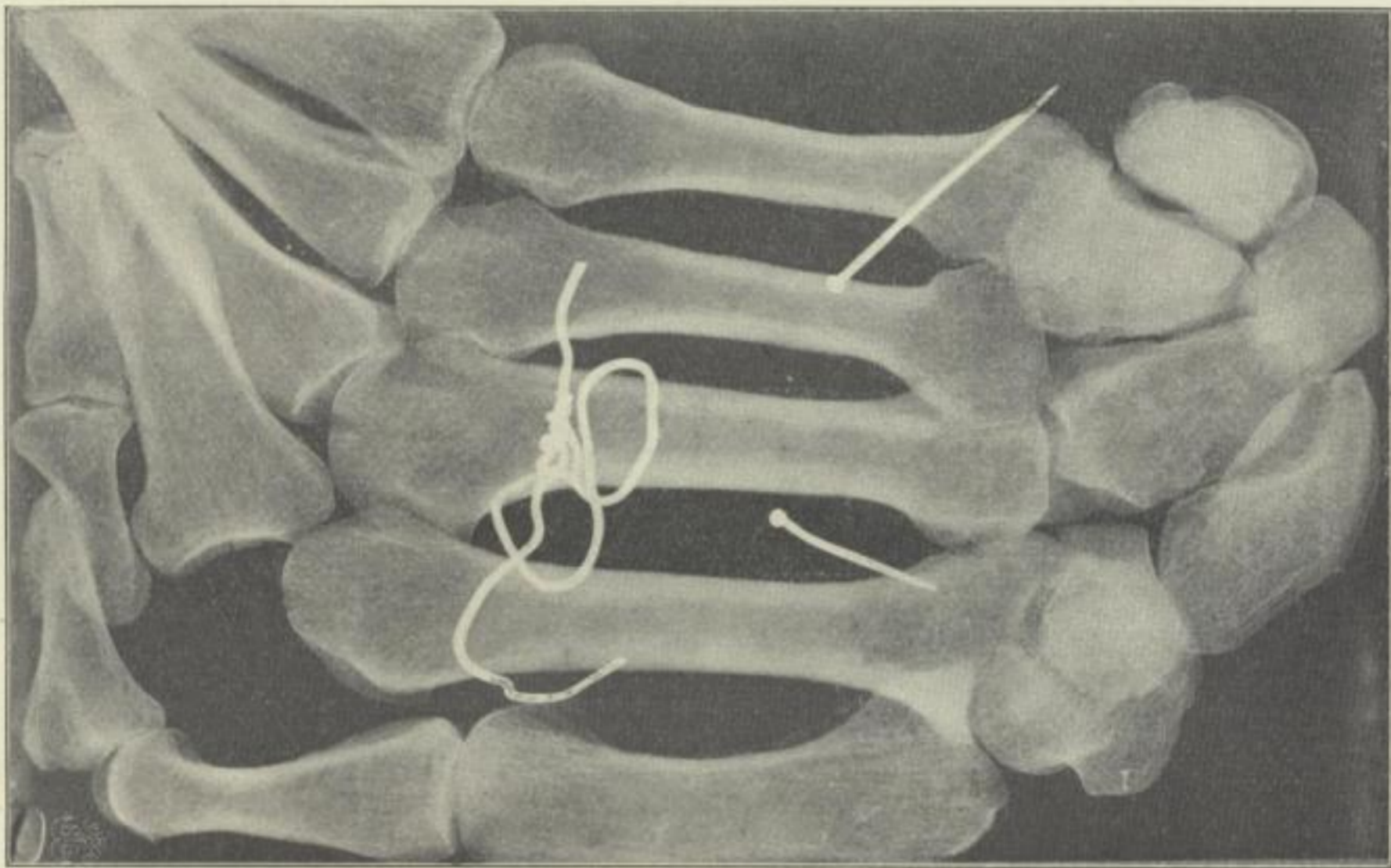
Pylknostereogramm, $\frac{5}{6}$ linear.



Tafel III.



Pycnostereogramm, $\frac{5}{6}$ lineär.





Tafel IV.

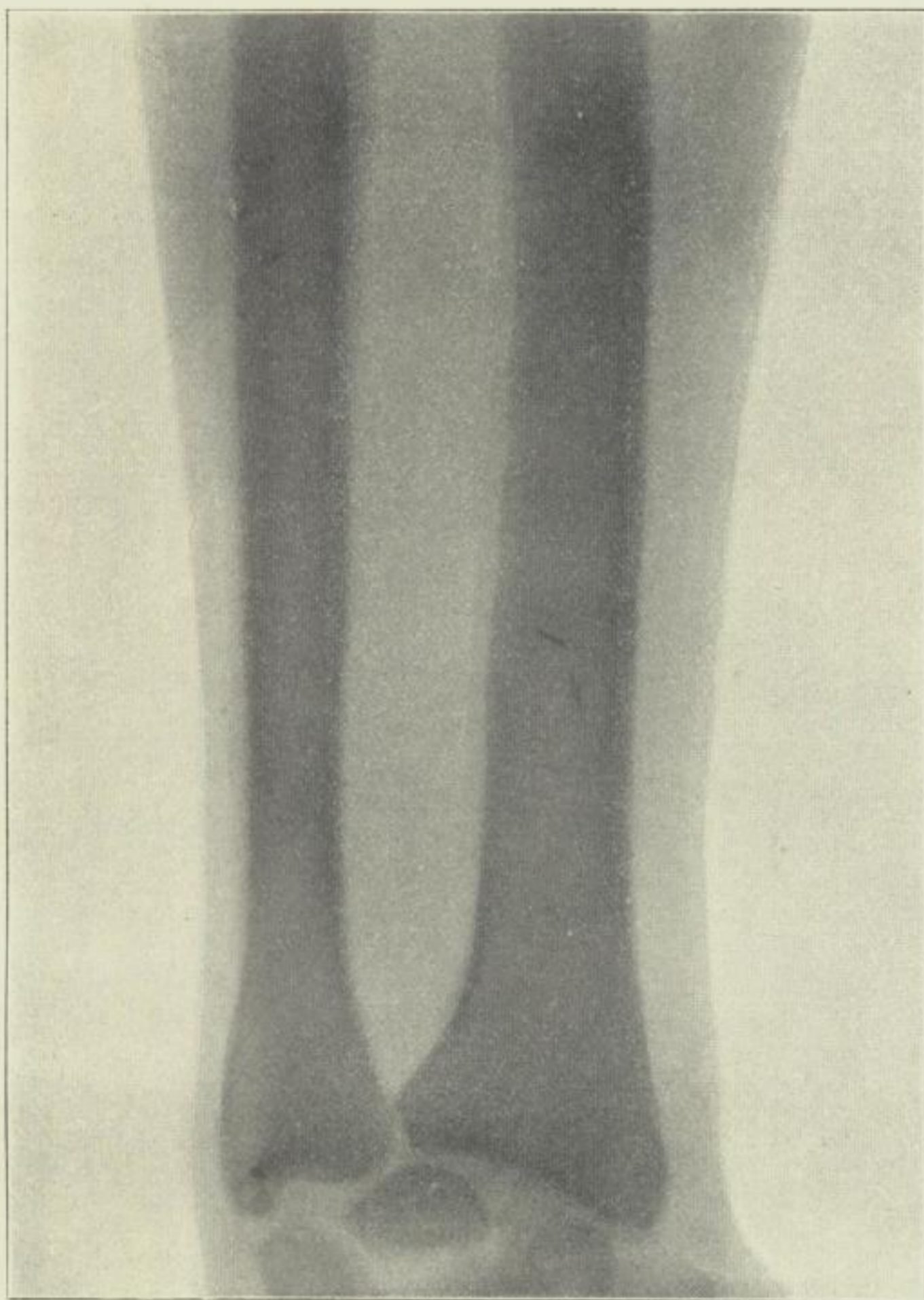


Kugel im Schudel.

211111



Tafel V.



Nadelsplitter im Vorderarm.



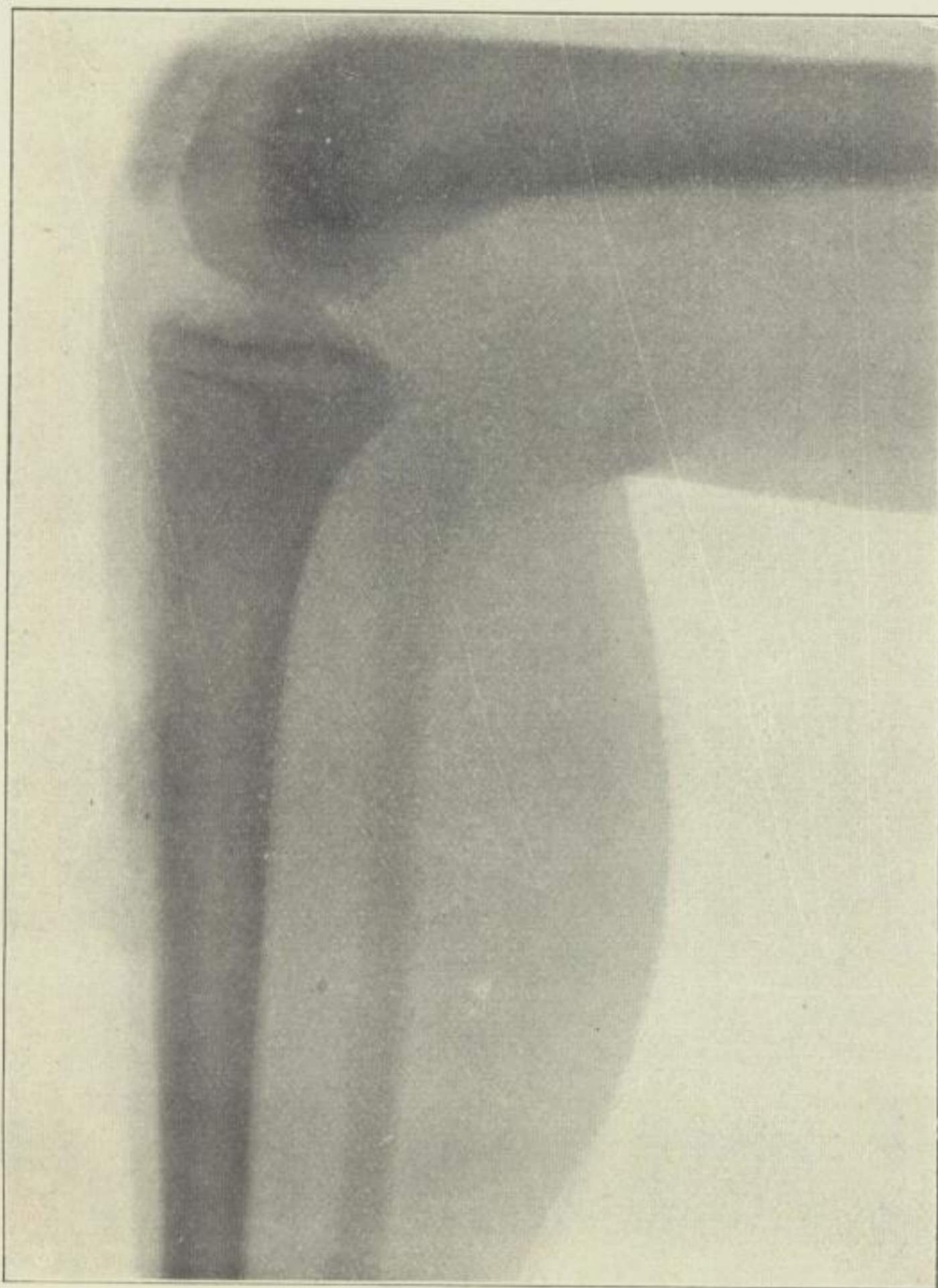
Tafel VI.



Bruch des Oberarms in anatomischen Halse.



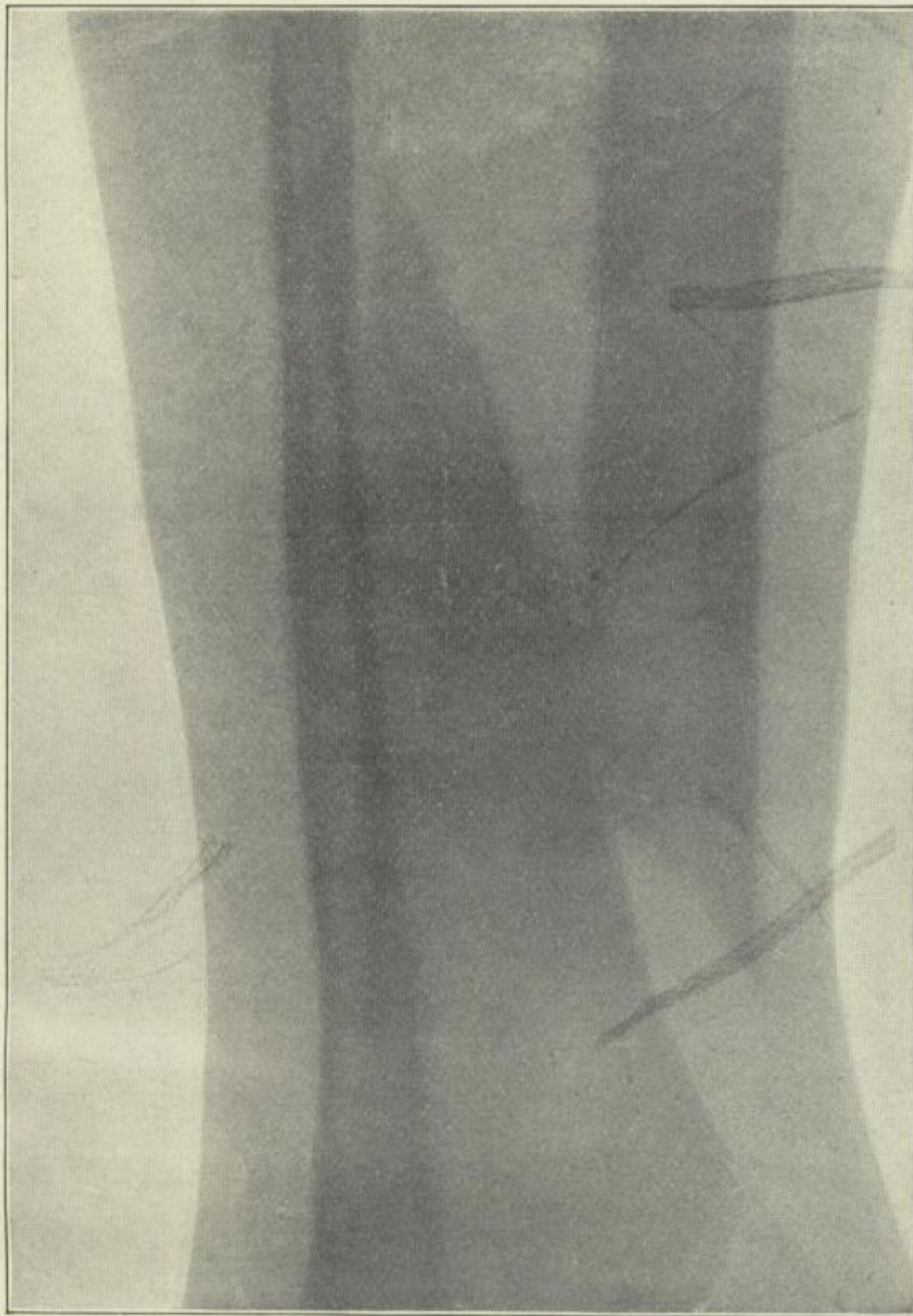
Tafel VII.



Acute Osteomyelitis der Tibia.



Tafel VIII.



Fractura cruris male sanata.

117 1/2



Staatliche Landesbibliothek Dresden

Encyklopädie der Photographie.

Heft 28.

Technik und Verwertung
der
Röntgen'schen Strahlen
im Dienste der
ärztlichen Praxis und Wissenschaft.

Von

Dr. Oskar Büttner,
Spezialarzt für Nervenkrankheiten
und Elektrotherapie,

und

Dr. Kurt Müller,
Spezialarzt für Chirurgie und
Orthopädie,

zu Erfurt.

Mit 51 in den Text gedruckten Abbildungen und 8 Tafeln.

2.
Zweite verbesserte und vermehrte Auflage.

Halle a. S.
Verlag von Wilhelm Knapp.
1900.

Verlag von Wilhelm Knapp in Halle a. S.

Von der **Encyklopädie der Photographie** sind bisher die nachstehenden Hefte erschienen:

1. **Der Schutz des Urheberrechtes an Photographien.** Von Ludwig Schrank, kaiserlicher Rath. 1893. Preis Mk. 2.
2. **Die Photographie in natürlichen Farben.** Von Eduard Valenta. 1894. Preis Mk. 3.
3. **Die Collodium-Emulsion.** Von Arthur Freiherrn von Hübl. Mit 3 Holzschnitten und 3 Tafeln. 1894. Preis Mk. 5.
4. **Anleitung zur Ausübung der Photoxylographie.** Von Alexander Lainer, k. k. Professor. Mit 12 Holzschn. 1894. Preis Mk. 2.
5. **Die Photographie auf Forschungsreisen und die Wolkenphotographie.** Von Dr. med. R. Neuhauss. 1894. Preis Mk. 1.
6. **Die Photo-Galvanographie.** Von Ottomar Volkmer, k. k. Hofrath und Direktor der k. k. Hof- und Staatsdruckerei in Wien. Mit 16 Abbildungen, 1 Portrait und 6 Druckproben. 1894. Preis Mk. 6.
7. **Die Misserfolge in der Photographie.** Von H. Müller, Bibliotheks-Sekretär an der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin. I. Theil: **Negativ-Verfahren.** 2. Aufl. Mit 10 Figuren und Sachregister. 1899. Preis Mk. 2.
8. **Die Mikrophotographie und die Projection.** Von Dr. med. R. Neuhauss. Mit 6 Abbildungen. 1894. Preis Mk. 1.
9. **Die Misserfolge in der Photographie.** Von H. Müller, Bibliotheks-Sekretär an der Königl. Techn. Hochschule zu Berlin. II. Theil: **Positiv-Verfahren.** 2. Aufl. 1900. Preis Mk. 2.
10. **Die Stereoskopie und das Stereoskop in Theorie und Praxis.** Von Dr. F. Stolze. Mit 35 Abbildungen im Texte. 1894. Preis Mk. 5.
11. **Die Photolithographie.** Von Gg. Fritz, k. k. Vice-Director der k. k. Hof- und Staatsdruckerei in Wien. Mit 8 Abbildungen und 8 Tafeln. 1894. Preis Mk. 8.
12. **Die photographische Aufnahme von Unsichtbarem.** Von Hofrath O. Volkmer, k. k. Direktor der k. k. Hof- und Staatsdruckerei in Wien. Mit 29 Abbild. 1894. Preis Mk. 2,40.
13. **Der Platindruck.** Von Arthur Freiherrn von Hübl. Mit 7 Holzschnitten. 1895. Preis Mk. 4.
14. **Die gerichtliche Photographie.** Von Alphonse Bertillon, Chef du service d'Identification de la Préfecture de Police. Mit 15 Abbild. im Text und 9 Tafeln. 1895. Preis Mk. 4.

(Fortsetzung der Encyklopädie auf der 3. Umschlagseite.)

Jedes Heft ist einzeln käuflich.

Verlag von Wilhelm Knapp in Halle a. S.

15. **Anleitung zur Verarbeitung photographischer Rückstände sowie zur Erzeugung und Prüfung photographischer Gold-, Silber- und Platinsalze.** Von Alexander Lainer, k. k. Professor. Mit 13 Abbild. 1895. Preis Mk. 3.
16. **Die Photo-Gravüre zur Herstellung von Tiefdruckplatten in Kupfer, Zink und Stein etc.** Von Ottomar Volkmer. Mit 36 Abbildungen im Texte und 4 Druckproben als Beilagen. 1895. Preis Mk. 8.
17. **Die Kunst des Vergrösserns auf Papieren und Platten.** Von Dr. F. Stolze. Mit 77 Abbild. im Texte. 1895. Preis Mk. 6.
18. **Der Silberdruck auf Salzpapier.** Von Arthur Freiherrn von Hübl, k. u. k. Major und Vorstand der techn. Gruppe im k. u. k. militär-geographischen Institute in Wien. 1896. Preis Mk. 3.
19. **Die Anwendung der Photographie zu militärischen Zwecken.** Von Kiesling, Premier-Lieutenant a. D. Mit 21 Figuren im Text. 1896. Preis Mk. 3.
20. **Die Behandlung der für den Auscopierprocess bestimmten Emulsionspapiere (Chlorsilbergelatine und Celloïdinpapiere).** Von Eduard Valenta, k. k. wirkl. Lehrer der Photochemie an der k. k. Lehr- und Versuchsanstalt für Photographie und Reproductionsverfahren in Wien. Mit 21 Figuren im Text. 1896. Preis Mk. 6.
21. **Die photographische Retouche mit besonderer Berücksichtigung der modernen chemischen, mechanischen und optischen Hilfsmittel. Nebst einer Anleitung zum Koloriren von Photographien.** Von G. Mercator. Mit 5 Figuren im Text. 1896. Preis Mk. 2,50.
22. **Die Anwendung der Photographie in der praktischen Messkunst.** Von Eduard Doležal, Professor der Geodäsie an der technischen Mittelschule zu Serajevo. Mit 31 Figuren und 3 Tafeln. 1896. Preis Mk. 3.
23. **Der Halbtonprozess.** Ein praktisches Handbuch für Halbtonhochätzung auf Kupfer und Zink. Von Julius Verfasser. Autorisirte Übersetzung aus dem Englischen von Dr. G. Aarland. Mit zahlreichen Abbildungen im Text und Kunstbeilagen. 1896. Preis Mk. 4.
24. **Leitfaden für die Ausübung der gebräuchlichen Kohle-druckverfahren nach älteren und neueren Methoden.** Von G. Mercator. 1897. Preis Mk. 3.
25. **Die Photoglyptie oder der Woodbury-Druck.** Von L. Vidal. Nach dem Französischen übersetzt. Mit 24 Holzschnitten. 1897. Preis Mk. 6.

(Fortsetzung der Encyclopädie auf der 4. Umschlagseite.)

Jedes Heft ist einzeln käuflich.

114 599

Verlag von Wilhelm Knapp in Halle a. S.

26. **Die Dreifarbenphotographie mit besonderer Berücksichtigung des Dreifarbendruckes u. s. w.** Von Arthur Freiherrn von Hübl, k. u. k. Major, Vorstand der technischen Gruppe im k. u. k. militär-geographischen Institute in Wien. Mit 30 Abbildungen und 4 Tafeln. 1897. Preis Mk. 8.
27. **Die Diapositiv-Verfahren.** Praktische Anleitung zur Herstellung von Fenster-, Stereoskop- und Projektionsbildern u. s. w. Von G. Mercator. 1897. Preis Mk. 2.
28. **Technik und Verwertung der Röntgen'schen Strahlen im Dienste der ärztlichen Praxis und Wissenschaft.** Von Dr. Oskar Büttner, Spezialarzt für Nervenkrankheiten und Elektrotherapie, und Dr. Kurt Müller, Spezialarzt für Chirurgie und Orthopädie, zu Erfurt. Mit 51 Abbildungen und 8 Tafeln. Zweite verbesserte u. vermehrte Auflage. 1900.
29. **Die Moment-Photographie.** Dargestellt von Ludwig David, k. u. k. Artillerie-Hauptmann. Mit 122 in den Text gedruckten Abbildungen. 1898. Preis Mk. 8.
30. **Die Verwendung künstlicher Lichtquellen zu Portraitaufnahmen und Kopierzwecken.** Von G. Mercator. Mit 29 in den Text gedruckten Abbildungen. 1898. Preis Mk. 3.
31. **Die Entwicklung der photographischen Bromsilber-Gelatineplatte bei zweifelhaft richtiger Exposition.** Von Arthur Freiherrn von Hübl. 1898. Preis Mk. 2,40.
32. **Der Lichtdruck an der Hand- und Schnellpresse sammt allen Nebenarbeiten.** Von August Albert, k. k. wirklicher Lehrer an der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien etc. Mit 65 Abbild. im Text und 9 Tafeln. 1898. Preis Mk. 7.
33. **Die Farbenphotographie nach Lippmann's Verfahren.** Neue Untersuchungen und Ergebnisse. Von Dr. med. R. Neuhauss. Mit 3 Textbildern und einer Tafel in Lichtdruck. Preis Mk. 3.
34. **Anleitung zur Herstellung von negativen und positiven Lichtpausen auf Papier, Leinen, Seide u. s. w. nach älteren, neueren und neuesten Verfahren, mit Berücksichtigung der Bedürfnisse des praktischen Photographen.** Von G. Mercator. Mit sieben in den Text gedruckten Abbild. 1899. Preis Mk. 3.
35. **Sammeln und Verwerten edelmetallhaltiger, photographischer Abfälle** zwecks Verminderung der Kosten der photographischen Bilderzeugung. Von R. Rosenlecher, Hütteningenieur in Muldenhütten. 1899. Preis Mk. 1.
36. **Die chemischen Vorgänge in der Photographie.** Sechs Vorträge von Dr. R. Luther, Assistent am physikalisch-chemischen Institut der Universität Leipzig. 1899.

Jedes Heft ist einzeln käuflich.

Karten.

ARNO PABST
Buchbinderei * Kartonnagen
Dresden-N., Königstraße 6

Schlagwort - Kat.
Röntgenstrahlen

Arch. plast. 2591 1/2

