



# RÖNTGENDIAGNOSTIK DES CHIRURGEN

VON

**PROF. DR. OTTO KINGREEN**

LEITER DER I. CHIRURGISCHEN ABTEILUNG UND CHEFARZT  
DES STÄDTISCHEN KRANKENHAUSES LÜDENSCHIED

VIERTE,  
ÜBERARBEITETE AUFLAGE

MIT 766 ABBILDUNGEN IM TEXT



1 9 5 8

JOHANN AMBROSIUS BARTH / VERLAG / LEIPZIG

1. Auflage 1939  
2., umgearbeitete Auflage 1949  
3., umgearbeitete Auflage 1955  
4., überarbeitete Auflage 1958

ALLE RECHTE,  
AUCH DIE DES AUSZUGSWEISEN NACHDRUCKES, DER FOTOMECHANISCHEN WIEDERGABE  
UND INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG, VORBEHALTEN  
COPYRIGHT 1939/1958 by JOHANN AMBROSIUS BARTH, LEIPZIG / PRINTED IN GERMANY  
BUCHDRUCKEREI RICHARD HAHN (H. OTTO), LEIPZIG O 5, OSTSTRASSE 24/26  
LIZENZ-NR. 285 G. N. 125/105/58

## VORWORT

Wenige Monate nach dem Wiedererscheinen dieses Buches im Jahre 1954 bat mich der Verlag, eine weitere Auflage vorzubereiten und neubearbeitet herauszugeben.

Ich folgte diesem Wunsche mit großer Freude und versuchte — den Anregungen meiner Kritiker folgend — manche Verbesserungen in dem Buche vorzunehmen.

Wiederum wurden die neuesten Ergebnisse der Forschung auf den verschiedenen Gebieten der Medizin eingefügt und die Literaturangaben ergänzt.

Bestehen bleibt, was ich schon 1939 beim Erscheinen dieses Buches betonte:

Die Röntgenstrahlen sind uns in der chirurgischen Diagnostik unentbehrlich geworden. Sie geben uns täglich Gelegenheit, unsere klinische Diagnose zu sichern und die Therapie zu überwachen, andererseits aber auch die erhobenen Befunde nachzukontrollieren und uns an Hand makroskopischer und mikroskopischer Befunde von dem Grad ihrer Zuverlässigkeit zu überzeugen.

Ich danke allen Kollegen, die mich in meiner Arbeit unterstützten, mir Aufnahmen überließen und wertvolle Hinweise gaben.

Mein besonderer Dank gilt wiederum Herrn Prof. Dr. Janker, Bonn, der mir für das Kapitel der Angiographie des Herzens eine große Anzahl von Bildern zur Verfügung stellte.

Die Herrichtung des Textes übernahm Frau Ursula Kotzur und widmete sich ihr mit unermüdlichem Fleiß.

Dem Verlag Johann Ambrosius Barth aber spreche ich aufs neue meinen ganz besonderen Dank für alle Sorgfalt und Mühe aus, die er verwandte, um dieses Buch wieder in bester Aufmachung neu erscheinen zu lassen.

Lüdenscheid, im März 1958

OTTO KINGREEN

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>I. Einführung in die Röntgentechnik</b>	
1. Eigenschaften der Röntgenstrahlen . . . . .	1
2. Einrichtung und Bau einer röntgendiagnostischen Abteilung . . . . .	1
3. Schutzvorschriften beim Bau der Röntgenabteilung . . . . .	4
4. Hochspannungstransformatoren . . . . .	5
5. Moderne Röntgenapparate . . . . .	6
6. Röntgenröhren . . . . .	13
7. Stative . . . . .	16
8. Durchleuchtungsstative . . . . .	17
9. Blenden . . . . .	22
10. Röntgenphotographie . . . . .	26
11. Röntgenfilme . . . . .	30
12. Kassetten . . . . .	30
13. Röntgenpapier . . . . .	30
14. Kymographie . . . . .	31
15. Densographie . . . . .	32
16. Tomographie — Planigraphie . . . . .	32
17. Leuchtschirmphotographie und Kinematographie . . . . .	36
<b>II. Die praktische Anwendung der Röntgenstrahlen in der Chirurgie</b>	
1. Ermittlung und Bestimmung der Fremdkörper unter besonderer Berücksichtigung der stereoskopischen Untersuchungsmethoden . . . . .	37
a) Fremdkörper . . . . .	37
b) Stereoskopische Röntgenuntersuchung . . . . .	46
c) Das Boloskop nach Bouwers . . . . .	48
d) Kontrastmittel . . . . .	50
2. Verschiedene Verkalkungen und Verknöcherungen im Röntgenbild . . . . .	51
<b>III. Die Röntgenuntersuchungen der Knochen und Gelenke</b>	
1. Allgemeinbemerkung zur Röntgenaufnahme des Knochens . . . . .	64
2. Das normale Knochenröntgenbild unter besonderer Berücksichtigung der Knochenkerne . . . . .	66
3. Körperliche Mißbildungen . . . . .	68
a) Der angeborene Klumpfuß . . . . .	68
b) Der angeborene Plattfuß . . . . .	70
c) Kongenitale Hüftgelenksluxation . . . . .	70
d) Verschiedene Formen von Mißbildungen . . . . .	74
4. Frakturen und Luxationen . . . . .	87
5. Schädelverletzungen . . . . .	89
6. Wirbelsäulenverletzungen . . . . .	96
7. Rippenverletzungen . . . . .	101
8. Brustbeinverletzungen . . . . .	102
9. Schulterverletzungen . . . . .	102
10. Arm-, Hand- und Fingerverletzungen . . . . .	106
11. Verletzungen des Beckens und der unteren Extremitäten . . . . .	117

	Seite
12. Akute Entzündungen des Knochens . . . . .	139
13. Tuberkulose der Knochen und Gelenke . . . . .	147
14. Die aseptischen Knochenkrankungen . . . . .	161
15. Knochengeschwülste (Allgemeine Bemerkungen) . . . . .	172
16. Gutartige Knochengeschwülste . . . . .	172
17. Zystenbildung in den Knochen . . . . .	175
18. Bösartige Knochengeschwülste . . . . .	181
19. Osteopoikilie . . . . .	188
20. Schüller-Christiansche Erkrankung . . . . .	190
21. Akute eitrige Gelenkentzündungen . . . . .	190
22. Arthritis deformans . . . . .	193
23. Tabes und Syringomyelie . . . . .	197
24. Blutergelenke . . . . .	201
25. Polyarthritis rheumatica . . . . .	202
26. Spondyloarthritis ankylopoetica (Bechterew) . . . . .	202
27. Gelenk- und Knochen-Lues . . . . .	203
28. Erworbene Deformitäten (konstitutionell oder rachitisch bedingt) . . . . .	205
29. Plattfuß . . . . .	208
30. Hallux valgus . . . . .	209
31. Hohlfuß . . . . .	209
32. Hallux rigidus . . . . .	210
33. Die Knochenatrophie . . . . .	210

#### IV. Die Röntgenuntersuchung der inneren Organe

1. Allgemeines zur Darstellung der inneren Organe . . . . .	212
2. Erkrankungen des Gehirns . . . . .	212
3. Rückenmarkserkrankungen . . . . .	227
4. Erkrankungen der Ohrspeicheldrüse (Sialographie) . . . . .	232
5. Schilddrüsenerkrankungen (Kropf) . . . . .	234
Erkrankungen des Hypopharynx und Larynx . . . . .	236
6. Verletzungen der Pleura und der Lunge . . . . .	237
7. Lungentzündung . . . . .	239
8. Der Lungenabszeß . . . . .	241
9. Lungengangrän . . . . .	243
10. Empyem der Pleura . . . . .	243
11. Lungentuberkulose . . . . .	246
12. Bronchiektasen . . . . .	250
13. Aktinomykose der Lunge . . . . .	253
14. Lungenechinokokken . . . . .	253
15. Gut- und bösartige Geschwülste der Lungen, ausgehend vom Bronchialsystem. Meta- statische Lungentumoren . . . . .	255
16. Mittelfell . . . . .	259
17. Chirurgische Erkrankungen des Herzens . . . . .	263
Angeborene Herzfehler und die Angiokardiographie . . . . .	265
18. Zwerchfell . . . . .	282
Die Relaxatio diaphragmatica und die Hernia diaphragmatica . . . . .	282
a) Zwerchfellbrüche . . . . .	283
b) Hiatusbrüche . . . . .	283
c) Subphrenischer Abszeß . . . . .	285
19. Verdauungstraktus . . . . .	286
20. Speiseröhre . . . . .	286
21. Idiopathische Ösophagusdilatation . . . . .	287
22. Ösophagusdivertikel . . . . .	287
23. Ösophagusstenose . . . . .	289
24. Ösophaguskarzinome . . . . .	291

	Seite
25. Gutartige Geschwülste der Speiseröhre . . . . .	292
26. Kardiakarzinom . . . . .	292
27. Kardiospasmus . . . . .	292
28. Röntgenuntersuchung des Magens (normales Verhalten des Magens im Röntgenbild)	294
29. Magensenkung (Gastroptose) . . . . .	297
30. Magengeschwür . . . . .	299
31. Magenkarzinom . . . . .	311
32. Magenlues . . . . .	318
33. Magentuberkulose und Magenlymphogranulomatose . . . . .	318
34. Gutartige Magengeschwülste . . . . .	319
35. Das Zwölffingerdarmgeschwür . . . . .	320
36. Duodenaldivertikel . . . . .	325
37. Duodenaldilatation . . . . .	326
38. Duodenalgeschwulst . . . . .	327
39. Ileus des Dünn- und Dickdarmes . . . . .	327
40. Appendizitis . . . . .	329
41. Dickdarm . . . . .	331
a) Normales Dickdarmbild . . . . .	332
b) Dickarmdivertikel . . . . .	333
c) Polyposis des Dickdarms . . . . .	334
d) Colitis ulcerosa . . . . .	334
e) Tumoren des Dickdarms . . . . .	334
42. Ileozökaltuberkulose . . . . .	338
43. Hirschsprungsche Krankheit . . . . .	338
44. Die Röntgenuntersuchung der Gallenblase mit und ohne Kontrastflüssigkeit . . . . .	339
45. Cholezystographie . . . . .	340
46. Pankreas . . . . .	347
47. Die Röntgenuntersuchung der Nieren . . . . .	348
48. Normalaufnahmen der Nieren . . . . .	352
49. Mißbildungen der Niere . . . . .	354
50. Nierenverletzungen . . . . .	358
51. Nephroptosen . . . . .	360
52. Hydronephrosen (durch Stein) . . . . .	361
53. Hydronephrosen . . . . .	362
54. Pyonephrosen . . . . .	364
55. Nierentuberkulose . . . . .	365
56. Paranephritischer Abszeß, Nierenabszeß, Nierenkarbunkel . . . . .	367
57. Nierengeschwülste . . . . .	368
58. Nierenzysten und kongenitale Zystennieren . . . . .	370
59. Die Röntgenographie der operativ freigelegten Niere . . . . .	370
60. Darstellung der Harnblase . . . . .	370
61. Röntgenuntersuchung der Harnröhre . . . . .	374
<b>V. Besondere Röntgenuntersuchungen</b>	
1. Die Arteriographie . . . . .	375
2. Die Venographie — Phlebographie. Die Portographie . . . . .	380
3. Die Kontrastfüllung der Gelenke (Arthrographie) . . . . .	382
4. Pneumoperitoneum . . . . .	386
5. Hepato- und Lienographie . . . . .	387
6. Der Psoasschatten im Röntgenbild . . . . .	388
7. Die Mammographie . . . . .	390
Sachverzeichnis . . . . .	391

# I. Einführung in die Röntgentechnik

## 1. Eigenschaften der Röntgenstrahlen

Die Röntgenstrahlen, die im Jahre 1895 von Röntgen entdeckt wurden, sind ebenso wie die Licht- und Wärmestrahlen elektromagnetische Schwingungen (Laue, Friedrich und Knipping). Sie pflanzen sich mit einer Geschwindigkeit von 300000 km in der Sekunde geradlinig nach allen Richtungen des Raumes fort, genau so wie das Licht. Ihre Wellenlänge ist dagegen 10000mal kleiner als die der Lichtstrahlen. Aus diesem Grunde besitzen die Röntgenstrahlen die Fähigkeit, Stoffe zu durchdringen, in die Lichtstrahlen nicht eindringen können. Je nach der physikalischen Beschaffenheit dieser Stoffe werden die Röntgenstrahlen absorbiert und gestreut. Sie sind für das menschliche Auge unsichtbar, können aber bestimmte Stoffe zum Lumineszieren bringen. Die photographische Platte erfährt durch die Röntgenstrahlen eine ähnliche Veränderung wie durch die Lichtstrahlen. Diese drei Eigentümlichkeiten — verschiedene Durchdringungsfähigkeit der Stoffe, Lumineszenzerregung und Einwirkung auf die photographische Platte — sind für die Anwendung der Röntgenstrahlen in der Diagnostik nutzbar gemacht worden. Die Tatsache, daß die Röntgenstrahlen auch einen vernichtenden Einfluß auf jede lebende Zelle haben können, muß in jedem Röntgenbetriebe weitgehend berücksichtigt werden (Glocker: Röntgenphysik für Mediziner, S. 155. Leipzig 1949).

## 2. Einrichtung und Bau einer röntgendiagnostischen Abteilung

Vor der Einrichtung eines Röntgenbetriebes muß Klarheit darüber herrschen, welche Anforderungen an den Apparat gestellt werden sollen. Kleine wie große Apparate sind gut zu verwerten und dauerhaft im Gebrauch, wenn ihre Leistungsgrenzen nicht überschritten werden. Dem Kauf von alten Röhren und Apparaten ist zu widerraten.

Zur Erzeugung von Röntgenstrahlen gebrauchen wir die Zufuhr des primären elektrischen Stromes aus dem Stadtnetz (220 oder 440 Volt) in Form von Gleich-, Wechsel- oder Drehstrom, den Hochspannungstransformator und die Röntgenröhre. Kleinere Apparate werden an die Lichtleitung angeschlossen, größere müssen mit Starkstrom von 440 Volt gespeist werden. Die Elektrizitätsansprüche sind vor der Aufstellung des Apparates dem zuständigen Elektrizitätswerk bekanntzugeben, damit von hier aus geprüft wird, ob der Netzanschluß ohne weiteres erfolgen kann oder die Legung einer Zusatzleitung notwendig wird.

Die Versorgung der Städte geschieht vorwiegend durch die Überlandzentralen, meistens in Form des Wechselstromhochspannungssystems als Dreileitersystem. Erst an der Peripherie der Städte wird der Strom heruntertransformiert. Straßenkabel führen manchmal noch Spannungen von 5000 Volt. Durch Haustransformatoren, die für bestimmte Straßenzüge eingerichtet sind, wird der Strom schließlich bis auf 220 Volt heruntergebracht. Eine Überbelastung des Stromnetzes kann zu einer ungenügenden Stromversorgung des Röntgenapparates führen. Die Folge davon

sind unterbelichtete Aufnahmen. Dauerndes Durchschlagen von Sicherungen zeigt an, daß der Leitung zu große Stromstärken entnommen werden.

Es gibt Apparate, bei denen Hochspannungstransformator und Röntgenröhre einen verhältnismäßig so kleinen Raum beanspruchen, daß sie ohne irgendwelche bauliche Veränderungen aufgestellt werden können. Für größere Institute empfiehlt sich zur Speisung mehrerer Arbeitsplätze der Betrieb von Hochspannungstrenn- oder Hochspannungsumschaltern. Für kleinere Institute ist ein Einzelantrieb jeder Röhre mit eigenem Apparat von Nutzen (französische Methode: Philips). Jedoch soll die Auswahl der Räumlichkeiten und die Aufstellung des Röntgenapparates nach ganz besonderen Gesichtspunkten erfolgen:

1. Bei kleinen Apparaten genügt ein Raum für Durchleuchtung und Aufnahme.
2. Mittlere und größere Apparate sind in einem gesonderten Raum unterzubringen, der für nichts anderes zu verwenden ist und gut entlüftet werden kann.
3. In der Sprechstundenpraxis ist für Durchleuchtung und Röntgenaufnahme ein Zimmer zu wählen, das möglichst in der Nähe des Untersuchungsziimmers liegt.
4. Bei der Einrichtung der Röntgenstation eines Krankenhauses muß diese Abteilung — genau so wie der Operationssaal — in der bequemsten Weise zu erreichen sein.
5. Die Unterbringung der Röntgenabteilung außerhalb der eigentlichen Krankenstationen bietet den Vorteil, daß das Motorengeräusch der Umformer — soweit solche notwendig sind — von den Kranken ferngehalten wird.
6. Bei mittleren und größeren Apparaten wird die Schalttafel für den Hauptschalter, für den vielleicht in Frage kommenden Umformer, für die Zuleitung des Stromes zum Apparat und schließlich der eigentliche Schalttisch mit seinen Meßinstrumenten nach Möglichkeit in einem von Tageslicht hellerleuchteten Raum untergebracht, in dem die technische Assistentin ungestört und strahlengeschützt die Apparatur bedienen kann.

7. Bei der Neueinrichtung eines Operations-, Gips- oder Endoskopiezimmers darf die Aufstellung eines Apparates zur Röntgenaufnahme und Durchleuchtung nicht vergessen werden. Es gibt zahlreiche Eingriffe, bei denen die Röntgenstrahlen unentbehrlich geworden sind (Schenkelhals- und Schaftnagelung, Gallengangstein- und Nierensteinoperationen, Aufsuchen von Fremdkörpern, Arteriographie der Extremitäten und des Gehirns). Diese Aufnahmen und Durchleuchtungen unterbleiben leider oft aus Bequemlichkeit und um dem Kranken das lästige Hin- und Hertragen zu ersparen.

Bei der Auswahl der Zimmer ist ein nicht zu kleiner Raum für Durchleuchtung und Aufnahme zu wählen. Er soll mindestens die Größe von 4:5 m und eine Höhe von 3 m haben. In erster Linie ist für eine zweckentsprechende Verdunkelung des Zimmers zu sorgen. Am besten läßt man in seitlichen Laufschiene geführte Wachs- tuch- oder Rohrverdunkelungen anbringen, die durch einen kleinen Motor bedient werden. Vor dem Instandsetzen eines Röntgenuntersuchungsziimmers ist unter Hinzuziehung eines Bausachverständigen die Größe der Deckenbelastung zu prüfen. Das Anbringen von Hochspannungsleitungen kommt bei Verwendung spannungsschutzsicherer Kabel nur noch selten in Frage. Dagegen müssen Laufschiene für Hängegeräte, Leuchtschirme und rotierende Blenden gezogen werden. Um Platz zu sparen, kann man diese Geräte durch Hochziehen an die Decke aus dem Wege schaffen.

Ein weiteres Erfordernis ist die ausreichende Beleuchtung des Raumes. Neben der Deckenbeleuchtung, die von dem Schaltraum aus bedient wird, sorgt eine Rotlichtanlage dafür, daß der Arzt bei wichtigen Handreichungen im Röntgenzimmer zwischen den einzelnen Durchleuchtungen nicht durch das grelle Licht in seiner Adaption gestört wird. Nicht zu vergessen ist die Anbringung einer Reihe von

Steckdosen, die für den Betrieb kleiner Motoren gebraucht werden, aber auch für Beleuchtungszwecke während einer Operation im Röntgenzimmer (Enzephalographie, Ventrikulographie, Arteriographie, Kardiographie, Bronchographie und Pyelographie) unentbehrlich sind.

Als Fußbodenbelag wird mit Rücksicht auf Isolierung und Sauberkeit Linoleum verwandt. Vor dem Legen muß die Erdleitung für Stative und Kabelleitungen von dem Röntgenapparat zum Schalttisch in den Fußboden eingelassen werden. Die verschiedenen elektrischen Leitungsdrähte laufen dabei gemeinsam durch ein Schutzrohr, das bequem in den Boden versenkt werden kann. Treten später Störungen auf, so wird mittels eines Kurbelinduktors jede einzelne Leitung durchprüft und der Fehler ermittelt. Das Auswechseln eines Leitungsdrahtes macht keine Schwierigkeiten. Für einen Raum, in dem vorwiegend Zystoskopien mit nachfolgender Durchleuchtung und Aufnahme gemacht werden sollen, wählt man als Fußbodenbelag

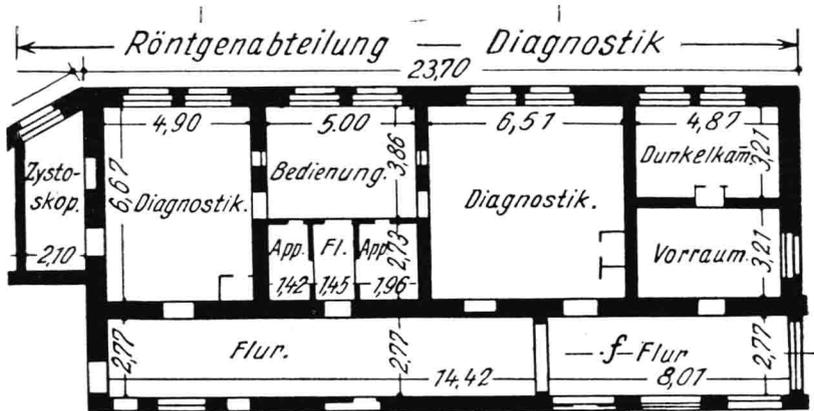


Abb. 1. Röntgendiagnostikabteilung der chirurgischen Universitätsklinik in Greifswald

Kacheln und sorgt für einen guten Wasserabfluß. Es ist selbstverständlich, daß in allen Diagnostikräumen Waschtische mit Kalt- und Warmwasser eingebaut werden. Der Anstrich des Untersuchungs- und Schaltraumes ist so freundlich wie möglich zu halten. Dunkelgestrichene Wände haben für die Kranken etwas Unheimliches und fördern nicht einmal die Verdunkelung. Das Einbauen von Wandschränken erweist sich als vorteilhaft. Im Laufe der Zeit sammelt sich eine Menge Hilfsgerät an, das bei beschränktem Raum leicht herumliegt und die Abwicklung eines geordneten Betriebes stört.

Besondere Beachtung verdient die bauliche Einrichtung der Dunkelkammer, die nicht mehr, wie es früher der Fall war, in einem entlegenen Raum unter der Kellertreppe, sondern möglichst neben dem Untersuchungszimmer liegen soll. Dabei ist eine Türverbindung zwischen Untersuchungszimmer und Dunkelkammer weniger erwünscht, als eine kleine Öffnung in der Wand, die strahlen- und lichtsicher von beiden Seiten zum Durchschleusen der belichteten und unbelichteten Filme geöffnet werden kann. Den Zugang zur Dunkelkammer sichert man am besten durch Doppeltüren, zwischen denen ein Abstand von 60–70 cm gelassen werden muß, damit eine Person bequem zwischen den Türen stehen kann. Das Anbringen von Signallampen über dem Eingang ist vorteilhaft. Der Fußboden und die Seitenwände der Dunkelkammer sind möglichst bis zu einer Höhe von  $1\frac{1}{2}$  m mit weißen Kacheln auszulegen. Im übrigen verwendet man zum Anstrich helle Ölfarbe. In der

Arbeitspause muß für Licht und Luft gesorgt werden können. Der Arbeitsraum darf nicht zu klein sein, da der „trockene“ und „feuchte“ Arbeitstisch gesondert aufgestellt werden müssen.

Die Dunkelkammer wird bei größeren Betrieben vorteilhaft in Verbindung mit dem Filmarchiv und dem Registrierzimmer gebracht. In letzterem erfolgt auch die Unterbringung eines Trockenschrankes, der elektrisch so viel Wärme erzeugt, daß die Filme spätestens in einer  $\frac{3}{4}$  Stunde getrocknet sind (Abb. 1). (Reinhard und Heene, Fortschr. Röntgenstr. 82, 406).

### 3. Schutzvorschriften beim Bau der Röntgenabteilung

Die Deutsche Röntgengesellschaft hat eine Reihe von Schutzvorschriften für medizinische Anlagen, in denen mit Röntgenstrahlen gearbeitet wird, erlassen (Glocker: Erfahrungen bei Strahlenschutzmessungen in medizinischen Röntgenanlagen — Fortschr. Röntgenstr. 73, 1 und 13 und Spiegler: Zum Strahlenschutzproblem in der Röntgendiagnostik — Fortschr. Röntgenstr. 83, 650).

Isolierte Hochspannungskabel und Röhrenhauben aus strahlensicherem Isolierstoff gewährleisten heute ausreichenden Schutz gegen die Gefährdung durch den hochgespannten Strom. Einen absoluten Schutz gegen die Röntgenstrahlen gibt es in der Diagnostik weder für den Patienten, noch für den Arzt und dessen Mitarbeiter, soweit es die Durchleuchtung betrifft. Während wir die Patienten hauptsächlich vor den direkten Röntgenstrahlen schützen müssen, haben wir bei dem Arzt und Personal mehr auf die Streustrahlen achtzugeben. Die Dosis während der Durchleuchtung und bei den Aufnahmen läßt sich für die Patienten errechnen. Viele Röntgenaufnahmen und Durchleuchtungen bei ein und demselben Patienten erfordern eine strenge Rücksichtnahme auf die Höhe der Dosis, um eine schädliche Überdosierung zu vermeiden. Weit gefährdeter ist das Röntgenpersonal, da es dauernd mit Röntgenstrahlen umgeht, und weil die Streustrahlen in ihrer Bedeutung oft verkannt werden. Aus diesem Grunde sind die Räume zu schützen, in denen sich Personen aufhalten, die fortlaufend mit Röntgenstrahlen umgehen, also insbesondere der Schaltraum und die Dunkelkammer, wenn diese direkt dem Röntgenzimmer angegliedert ist. Aber auch die Räume, die in der Nähe des Untersuchungszimmers und darüber liegen, müssen geschützt werden. Jeder Arzt ist verpflichtet, diese Schutzvorschriften einzuhalten, auch wenn er nur einen kleinen Apparat mit strahlenschutzsicherer Röhre in Gebrauch hat. Selbst die Röhrenhaube ist nicht strahlensicher. Die sog. Umhüllungsstrahlung verbietet dem Personal das Berühren der Haube solange die Röhre in Betrieb ist. Die Wände, Decken und Fußböden müssen bei der in der Diagnostik verwandten Strahlung einer Absorptionskraft einer 2 mm dicken Bleiwand entsprechen. Haben die Backsteinwände eine Stärke von 25–30 cm, so reichen sie als Schutz aus, vorausgesetzt, daß sich in der Wand kein Luftschaft oder Schornstein befindet. Durch derartige Hohlräume wird eine ausreichende Absorption verhindert, und der Strahlenschutz ist nicht mehr einwandfrei. Sind keine Grundmauern vorhanden, so verstärkt man die Zwischenwände mit Barytzentensteinen (Kämpe-Lorey-Platten. Jäger: Fortschr. Röntgenstr. 61, 356). Auch die Türen zu den Untersuchungszimmern müssen strahlenschutzsicher sein. Über ihre Beschaffenheit und das Befestigungsmaterial bestehen ganz besondere Vorschriften. Man kann vorhandene Türen mit Bleiblech beschlagen, das zur Verhütung von Bleivergiftungen mit Ölfarbe gestrichen wird. Bleitüren hängen aber infolge ihrer Schwere nach einiger Zeit meist schief in den Angeln, so daß die Tür lichtdurchlässig wird und sich schlecht öffnet und schließt. Vorteilhafter ist die Anschaffung von Stahltüren, die aber nur in einer bestimmten Größe vorrätig sind und deren Neuanfertigung nach Maß längere

Zeit erfordert und kostspielig ist. Der Schutz vor der Sekundärstrahlung ist — vor allem bei Durchleuchtungen — durch Bleigummischürzen, Bleigummihandschuhe und Bleigummiplatten, die am Durchleuchtungsschirm angebracht werden, gewährt. Die Unfallverhütungsvorschriften verlangen, daß die Dosis auf die Haut des Beschäftigten in einer Woche 0,5 r — frei in Luft gemessen 0,3 — nicht überschreitet.

Überall dort, wo Röntgenapparate stehen oder Hochspannungen liegen und Röntgenröhren in Betrieb sind, entwickeln sich ozonhaltige und nitrogene Gase, die Vergiftungserscheinungen hervorrufen können. Steht in einem Röntgenuntersuchungszimmer nur die Röntgenröhre, so genügt ein wiederholtes Öffnen der Fenster, um die schädlichen Gase zu entfernen. Befindet sich aber auch der Apparateschrank im gleichen Raum, so empfiehlt es sich, einen Exhaustor einzubauen, der die Luft in einer Stunde zehnmal erneuert. Es muß darauf geachtet werden, daß derartige Entlüftungsanlagen an den Fußboden gelegt werden, da die schädlichen Gase schwerer sind als die Luft.

#### 4. Hochspannungstransformatoren

Zur Erzeugung von Röntgenstrahlen sind hochgespannte elektrische Ströme notwendig, die den Elektronenflug (Kathodenstrahlen) in der Röntgenröhre mindestens bis zur halben Lichtgeschwindigkeit beschleunigen. Die Hochspannung wird in Transformatoren erzielt. Das Prinzip aller Transformatoren beruht auf elektromagnetischen Vorgängen, die auftreten, sobald man einen Eisenstab von elektrischem Strom umfließen läßt. In einem Solenoid entsteht ein magnetisches Kraftfeld mit einer großen Anzahl geschnittener Kraftlinien, die entsprechend dem Anwachsen oder Nachlassen des Stromes zu- oder abnehmen. Diese um den Eisenkern und eine Spule beim Durchgang des elektrischen Stromes entstehenden Kraftlinien haben einen bestimmten Einfluß auf eine zweite Spule; diesen Vorgang bezeichnet man als Induktion. Die in der Sekundärspule erzielte Spannung ist der in der Sekunde in der Sekundärspule geschnittenen Windung direkt proportional. Es kommt darauf an, daß in dem Strome keine Ruhe stattfindet, da bei fehlender Bewegung die Kraftlinien auch keine magnetische Einwirkung auf die Windungen der Sekundärspule haben können.

Das Wechseln des elektrischen Feldes wurde früher dadurch erreicht, daß der zur Primärspule geleitete Gleichstrom durch einen Unterbrecher geschlossen und geöffnet wurde. In der Sekundärspule entstand bei der Schließung ein dem primären entgegengerichteter Strom, der beim Öffnen die gleiche Richtung einnahm. Der mit diesem unterbrochenen Strome betriebene Induktor war ein Transformator mit einem offenen Eisenkern. Dieser Induktor konnte selbst unter günstigen Bedingungen niemals sehr hochgespannten Strom liefern, da bei offenem Eisenkern ein gut Teil der Kraftlinien den Weg durch die Luft nehmen mußte und daher an Zahl und Intensität durch den Luftwiderstand herabgesetzt wurde. Bei dem geschlossenen Eisenkern — aus kleinsten Eisenblechen und Drähten hergestellt — liegen Primär- und Sekundärspule — allerdings durch Öl gut isoliert — nahe beieinander, so daß der Verlust durch den Luftwiderstand nicht so groß ist. Die so konstruierten Apparate werden heute zur Erzielung von Hochspannung verwandt. Wir bezeichnen sie als Hochspannungstransformatoren im Gegensatz zu den Heiz- und Stufentransformatoren, die dazu dienen, die Spannung herunterzutransformieren. Heiztransformatoren erzeugen zur Heizung von Röntgenröhren und Ventilen eine Spannung von 10—25 V. Zur Spannungsregelvorrichtung benutzen wir Stufentransformatoren. Alle Hochspannungstransformatoren werden mit Wechsel-

oder Drehstrom betrieben. Dabei ist die auftretende Spannung von dem Verhältnis der Windungszahl in der primären und sekundären Spule abhängig:

100 Windungen Primärspule,  
200000 Windungen Sekundärspule

ergeben ein Übersetzungsverhältnis von der Zahl 2000.

Werden der Primärspule aus der Netzleitung 50 Volt bei 10 Ampere zugeführt, so erzielt dieser Transformator eine Spannung von 2000 mal 50 Volt = 100000 Volt (100 kV) und 10 Ampere: 2000 = 5 Milliampere (5 mA).

Die Stromstärke wird in diesen Transformatoren erniedrigt. Dies geht schon daraus hervor, daß das Produkt beider Größen (Spannung — Volt und Stromstärke — Ampere) die elektrische Leistung darstellt, und diese bei den Transformatoren konstant bleiben muß. Die Spannung bewegt sich bei Diagnostikapparaten zwischen 50 und 150 kV. Die höheren Stromspannungen sind für die Röntgenkinematographie und für die jüngst wieder empfohlenen Hartstrahlaufnahmen notwendig (Bücker, Fortschr. Röntgenstr. 77, 153).

### 5. Moderne Röntgenapparate

Als Hochspannungstransformatorenapparate kennen wir den Halbwellenapparat mit und ohne Glühventil, den rotierenden Gleichrichter, den Zwei- und Vier-ventilröhrenapparat und den Drehstromapparat. Bis auf letzteren erfordern alle Apparate Wechselstrom. Dieser kann direkt aus dem Netz entnommen werden oder muß bei im Stadtnetz vorhandenem Gleichstrom durch einen Umformer

Apparate:	Primärer Strom-aufwand	Expositionszeit	Röhren-bean-spruchung	Durch-leuchtungs-licht	Einanker-umformer	Verwendung für Therapie	Spannungs-messung
I. Halb-wellen-apparat	groß	lang	groß, wegen Rückzdg. u. Durchschlagsgef.	weich, nicht homogen	Umformer 6 kVA	für Oberflächen-therapie	Kugel-funkent-strecke
II. Halb-wellen-apparat mit Glühventil	groß	kürzere Ex-position-zeit als Nr. I	geringer als bei Nr. I	weich, nicht homo-gen	siehe oben 6 kVA	für Ober-flächen-therapie	siehe oben
III. Rotie-render Gleich-richter	geringer (30%) als unter Nr. I	kürzer als unter Nr. I Belastung üb. 150 mA nicht mögl.	halb so groß wie unter Nr. I	besser als bei Nr. I	siehe oben 6 kVA	für Tiefen-therapie, Spanng.: 170—180 kV	siehe oben
IV. Vier-Ventil-apparat	noch geringer als bei Nr. III	kurz	gering	unvor-teilhaft	siehe oben 6 kVA	kann für Therapie benutzt werden	siehe oben
V. Dreh-strom-apparat	gering, da er sich auf 3 Phasen verteilt	sehr klein	gering	sehr gut	Umfor-mer 50 kVA	—	siehe oben
VI. Gleich-spannungs-apparat	—	—	—	—	6 kVA	nur für Therapie	siehe oben

Apparatetypen und ihre Leistungen (Spiegler)

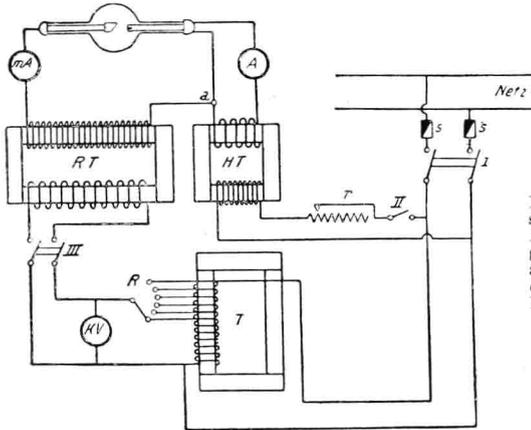
in Wechselstrom verwandelt werden. Ein derartiger Umformer ist kostspielig; er muß in seinen Leistungen den Anforderungen des dazugehörigen Röntgenapparates entsprechen und wird von der Gleichstromseite aus als Motor angetrieben. Von dem Anker des Umformers aus erfolgt dann an zwei Schleifringen die Abnahme des Wechselstromes. Der sog. Einankerumformer gebraucht meist eine Spannung von 440 Volt und liefert auf der Wechselstromseite eine effektive Spannung von 300 Volt. Ist nur eine Gleichspannung von 300 Volt vorhanden, so werden auf der Wechselstromseite nur 220 Volt geliefert. Bei einem Dreileitersystem ist der Anschluß des Einankerumformers an die Außenleiter eines Gleichstromnetzes möglich, da gewöhnlich an dem einen Außenleiter und dem Innenleiter das Licht angeschaltet wird. Der Einankerumformer darf auf keinen Fall die Apparateleistung herabsetzen; er muß möglichst so untergebracht sein, daß sein Motorengeräusch während der Röntgenuntersuchung nicht stören kann.

Bei der Anschaffung eines Apparates muß der primäre Stromaufwand, die erlaubte Expositionszeit, die Röhrenbeanspruchung, das Durchleuchtungslicht und die Stärke des Umformers besondere Beachtung finden. Die nebenstehende Tabelle zeigt kurz, wie sich die verschiedenen Apparatetypen hinsichtlich ihrer Leistungen verhalten.

Der Aufbau eines Halbwellenapparates ohne Glühventil ist verhältnismäßig einfach zu erklären (Abb. 2): Wir sehen den Anschluß an das Netz oder an den Umformer, der den Wechselstrom liefert. Mit der Abkürzung *HT* bezeichnen wir den für jedes moderne Röntgenrohr erforderlichen Heiztransformator. Mit diesem wird die Kathode der Röntgenröhre zum Glühen gebracht. Das Heizen der Kathodenspirale ist für die Elektronenemission wichtig und darf niemals vergessen werden. Die Einschaltung dieser Heizung erfolgt erst kurz vor der Röntgenaufnahme. Vorher wird an dem im Schalttisch untergebrachten Stufentransformator die gewünschte primäre Spannung eingestellt. Der Stufentransformator dient dazu, die primäre Spannung des Netzstromes herabzusetzen, indem er nur eine bestimmte Voltzahl abnimmt. Der Stufentransformator eines Diagnostikapparates vermittelt an die Primärwicklung des Hochspannungstransformators in dem Augenblick, in dem dieser eingeschaltet wird, je nach Wunsch Spannungen von 30–250 Volt. Das getrennte Beschießen des Stufen- und Hochspannungstransformators mit elektrischem Strom hat den großen Vorteil, daß in dem Schalttisch ein Voltmeter eingeschaltet werden kann, das schon vor der Aufnahme die später angewandte Voltzahl der Primärspule zeigt.

Nach Einstellung des Stufentransformators wird der Heiztransformator für die Röntgenröhre eingeschaltet. Zur Kontrolle des Heizstromes ist auf dem Schalttisch ein Ampere- oder Voltmeter angebracht. Der Heiztransformator drückt die Stromspannung herab, während er die Stromstärke vermehrt. Der Kathode der Röntgenröhre werden 3–6 Ampere und 10–15 Volt zugeführt. Die Stromstärke wird um so höher gewählt, je mehr Röntgenstrahlen (Quantität) in der Röhre erzielt werden sollen. Ist der Heiztransformator eingeschaltet und das dazugehörige Meßinstrument schlägt aus (sicheres Zeichen für richtiges Funktionieren der Röhrenheizung!), so wird mit einem Hebelschalter (meist Sekundenuhrzeitschalter) der durch den Stufentransformator heruntertransformierte Strom der Primärspule dem Hochspannungstransformator zugeführt.

Bei den kleinen modernen Apparaten, wie z. B. bei der Röntgenkugel von Siemens, ist die Schaltung nicht so kompliziert (Abb. 3, 4, 5). Schon beim Einschalten der Netzleitung wird die Röhre geheizt. Das Ingangsetzen eines Zeitschalters, der vorher auf Sekundenablauf eingestellt ist, bedeutet die Zufuhr von Wechselstrom zum Haupttransformator und zur Röntgenröhre. Dieser in seinem Aufbau so unkom-



Es bedeuten: *S* Sicherungen, *I* Hauptschalter, *II* Heizschalter, *III* Spannungsschalter, *r* Heizwiderstand, *HT* Heiztransformator, *A* Heizamperemeter, *RT* Röntgentransformator, *T* Stufentransformator, *mA* Milliampereometer, *KV* Kilovoltmeter, *R* Härteregulierung; *a* ist die Teilungsstelle für die Sekundärwicklung des Heiztransformators und des Hochspannungstransformators

Abb. 2. Hochspannungstransformatorapparat mit Elektronenröhre (nach Spiegler-Fernau)

pliziert erscheinende Apparat hat nur den einen Nachteil, daß er die Röntgenröhre wechselweise von beiden Seiten belastet. Die Sperrung der verkehrten Stromrichtung geschieht hier durch die Röhre selbst. Bekanntlich fließt der elektrische Strom in der Elektronenröhre von der Kathode zur Anode. Umgekehrt ist ein Strom nur dann denkbar, wenn die Anode (Antikathode) so heiß ist, daß sie selbst Elektronen aussendet. Ist dies der Fall, so werden die Elektronen auf die Glühspirale der Kathode geschleudert; diese schmilzt durch, und die Röhre geht an Rückzündung zugrunde. Eine kalte Antikathode übernimmt in der Röntgenröhre die Aufgabe des Glühventils, das bekanntlich den elektrischen Strom nur nach einer Richtung hin durchläßt. Liegt bei einer sich im Wechselstromkreis befindenden Ventilröhre der negative Pol an der Kathode, so fließt der Strom hindurch; umgekehrt dagegen

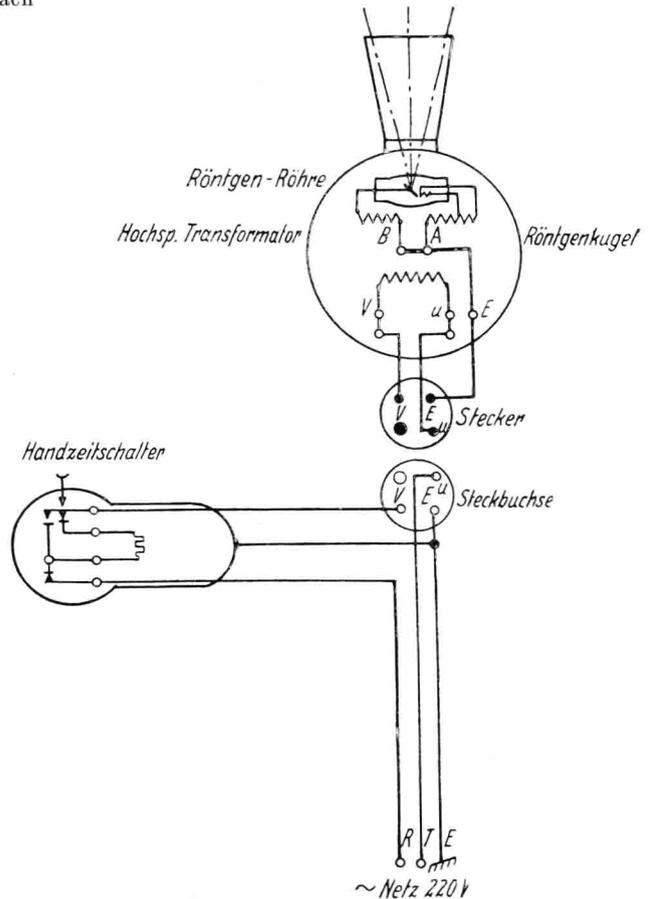


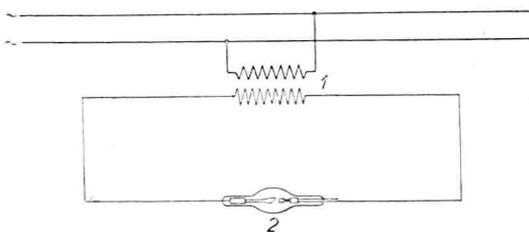
Abb. 3. Siemens-Röntgenkugel mit zerlegbarem Bodenstativ und tragbarem Tischstativ

ist ein Stromübertritt unmöglich. Diese Ventilröhren sind im großen und ganzen ähnlich wie die Röntgenröhren gebaut, nur besteht die Anode (Antikathode) aus Tantal oder Eisen. Man muß sich hüten, die Ventilröhren zu unterheizen, da dadurch der innere Widerstand des Ventils erhöht wird. Die Folge ist stets, daß größere Spannungen an die Ventilröhre gelegt werden müssen. Demzufolge fließen die Elektronen im Ventil von der Glühspirale zur Antikathode schneller. Schließlich wird die Anode (Antikathode) des Ventils glühend, das Ventilrohr fluoresziert, an die Röntgenröhre gelangt zu wenig Spannung, das Röntgenrohr wird zur Ventilröhre, und die eigentliche Ventilröhre gibt dann die Röntgenstrahlen ab. Dadurch besteht die Gefahr, daß die Ventile bald unbrauchbar werden. Glühventile können durch Trockengleichrichter aus Selen neuerdings ersetzt werden. In einer für die Sperrung der hohen Spannung erforderlichen Anzahl hintereinandergeschaltet lassen sie den Strom nur in einer Richtung durch. Ihre Wirksamkeit beruht auf einer Halbleiterschicht, die den Elektronendurchgang in einer Richtung sperrt. Die Trockengleichrichter sparen die Heizung und haben größere Lebensdauer. Außerdem fällt die Ventilspannung fort.

Um das Röntgenrohr zu schonen, sind bei dem Halbwellenapparat ein oder zwei Ventilröhren mit dem dazugehörigen Heiztransformator vorgeschaltet (Abb. 6, 7). Diese entlasten zwar die Röntgenröhre, zerstören dabei aber die eine Halbwelle des Hochspannungsstromes. Die Schaltung eines derartigen Halbwellenapparates geht in folgender Reihenfolge vor sich:

1. Netzschalter, 2. Umformer (falls notwendig), 3. Ventilröhre, 4. Stufentransformator, 5. Heiztransformator der Röntgenröhre, 6. Hochspannungstransformator und Röntgenröhre.

(Milliamperemeter im Sekundärstromkreis beachten!)



1 = Hochspannungstransformator, 2 = Röntgenröhre

Abb. 4. Siemens-Röntgenkugel, Meganos (Redeker), Siemens-Röntgenkamera, Heliodor-Duplex, Grenzstrahlenapparat und Dermophos

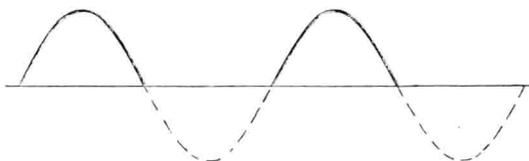
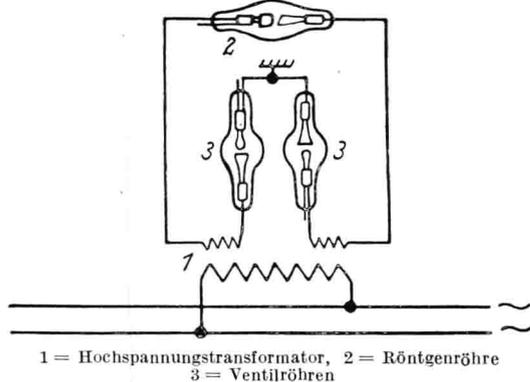


Abb. 5. Zeitlicher Verlauf der Röhrenspannung bei der Schaltung nach Abb. 4 (Leertlauf). Die Spannungshalbwellen der einen Richtung erzeugen infolge des Ventilcharakters der Röntgenröhre keinen Strom

Abb. 4 und 5. Halbwellenschaltung ohne Ventil



1 = Hochspannungstransformator, 2 = Röntgenröhre  
3 = Ventilröhren

Abb. 6. Tuto-Ventil-Heliodor und Groß-Dermophos

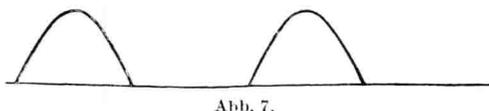


Abb. 7.

Abb. 6 und 7. Halbwellenschaltung mit zwei Ventilen

Weit leistungsfähiger als der Halbwellenapparat mit und ohne Ventil ist der rotierende Gleichrichter, bei dem der wechselweise vom Transformator ausgehende hochgespannte Strom durch einen Nadelschalter gleichgerichtet wird (Abb. 8). Dieser Apparat hat aber den Nachteil, daß er noch einen Motor für den mechanischen Gleichrichter gebraucht. Man erzielt allerdings mit dem rotierenden Gleichrichter eine bedeutend höhere Leistung als bei dem Halbwellenapparat mit und ohne Glühventil. Bei 50—60 kV wird eine Stromstärke bis zu 100 mA erreicht. Damit ist aber auch die Leistungsfähigkeit des Apparates erschöpft. Bei Stromerhöhungen über 100 mA tritt leicht bei gleichzeitig erhöhter Spannung im Gleichrichter ein Funke auf, der gelegentlich in einen Lichtbogen übergehen kann. Die

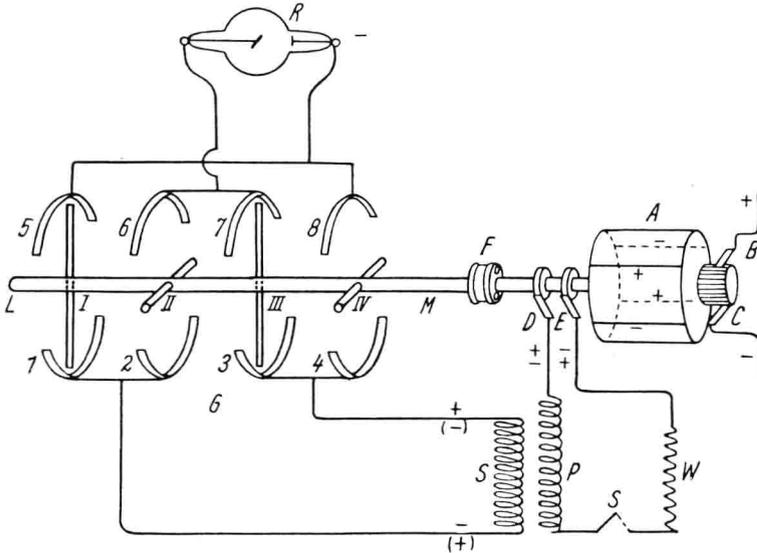


Abb. 8. Hochspannungsgleichrichter (Gocht)

Schaltung eines derartigen Apparates ist folgende: Nach Einschaltung des Netzes — im Bedarfsfalle mit Umformer — wird auch gleichzeitig der mit dem Umformer synchron geschaltete Gleichrichter in Gang gebracht. Danach erfolgt die Heizung der Röntgenröhre und, nach Einstellung der Uhr, die Zulassung des Stromes zur Hochspannung und zur Röntgenröhre. Diese Apparate werden heute nicht mehr gebaut und finden nur der Vollständigkeit halber Erwähnung.

Die bisher beschriebenen Apparate haben den Nachteil, daß sie im Vergleich zu ihren Leistungen einen großen primären Stromaufwand gebrauchen. Durch die Konstruktion des Vierventilröhrenapparates ist hier Wandel geschaffen worden (Abb. 9, 10). Da bei diesem Apparat der primäre Stromaufwand verhältnismäßig gering ist, so kommt es bei der Exposition auch kaum zu einem Spannungsabfall. Ist der Netzanschluß stark genug, so lassen sich Aufnahmen mit der in der Diagnostik notwendigen Spannung und mit 400—500 mA erreichen. Der Vierventilröhrenapparat besteht — wie sein Name sagt — aus 4 Ventilröhren, die so sinnreich geschaltet sind, daß sie beide Halbwellen des vom Hochspannungstransformator kommenden Wechselstromes in gleicher Richtung der Röntgenröhre zuführen (Graetzsche Schaltung). Der Apparat hat genau dieselbe Schaltung wie der Halbwellenapparat mit einem Ventil. Es ist sorgfältig darauf zu achten, daß die vier Ventil-