13. Band, 3./4. Heft
Neue Folge IV.

Februar 1931

ARCHIV FÜR GESCHICHTE DER MATHEMATIK, DER NATURWISSENSCHAFTEN UND DER TECHNIK

UNTER MITWIRKUNG VON

O. APPEL-Berlin; R. C. ARCHIBALD-Providence, R. I.; K. BOPP-Heidelberg; E. BORTOLOTTI-Bologna; F. DANNEMANN-Godesberg; ERNST DARMSTAEDTER-München; H. DEGERING-Berlin; L. DEUBNER-Berlin; P. DIERGART-Bonn; H. DINGLER-München; H. DRIESCH-Leipzig; A. DYROFF-Bonn; ERICH FRANK-Marburg; W. GUNDEL-Gießen; A. HAAS-Wien; F. HENRICH-Erlangen; E. J. HOLMYARD-Bristol; F. HOMMEL-München; J. HOOPS-Heidelberg; K. JASPERS-Bonn; A. KISTNER-Karlsruhe; ARNOLD C. KLEBS-Nyon; W. KOLLE-Frankfurt a. M.; H. KRAEMER-Gießen; K. KRETSCHMER-Berlin; O. LAGERCRANTZ-Upsala; P. LASAREFF-Moskau; F. LEJEUNE-Köln; J. G. DE LINT-'sGravenhage; E. v. LIPPMANN-HALLE a. S.; W. LUBOSCH-Würzburg; MAX MEYERHOF-Kairo; ALDO MIELI-Paris; OSKAR v. MILLER-München; MAX NEUBURGER-Wien; H. OBERMAIER-Madrid; RALPH E. OESPER-Cincinnati; L. OLSCHKI-Heidelberg; W. OSTWALD-Großbothen; E. PROBST-Karlsruhe; EM. RÁDL-Prag; A. REHM-München; H. REICHENBACH-Berlin; J. REINKE-Preetz; W. RIECK-Berlin; M. v. ROHR-Jena; E. RUMPLER-Berlin; G. SARTON-Cambridge Mass.; F. SAUERBRUCH-Berlin; ALFRED SCHMIDT-Köln; G. SENN-Basel; CHARLES SINGER-London; E. STENGER-Berlin; G. STICKER-Würzburg; F. STRUNZ-Wien; W. THEOBALD-Berlin; H. THIRRING-Wien; R. THURNWALD-Berlin; A. TITIUS-Berlin; E. TREPTOW-Freiberg i. S.; J. TROPFKE-Berlin; A. TSCHIRCH-Bern; S. TSCHULOK-Zürich; G. URDANG-Berlin; W. J. VERNADSKY-Leningrad; P. VOLKMANN-Königsberg; P. WALDEN-Rostock; E. WASMANN S. J.-Aachen; M. WELLMANN-Berlin; M. WERTHEIMER-Frankfurt a. M.; R. WINDERLICH-Oldenburg; R. ZAUNICK-Dresden; E. ZINNER-Bamberg

IN VERBINDUNG MIT

L. BIEBERBACH-Berlin; A. BIER-Berlin; M. DESSOIR-Berlin; P. DIEPGEN-Berlin; EUGEN FISCHER-Berlin; F. HABER-Berlin; G HELLMANN-Berlin; A. JOHNSEN-Berlin; G. LOCKEMANN-Berlin; H. LUDENDORFF-Potsdam; D. MAHNKE-Marburg; C. MATSCHOSS-Berlin; ADOLF MEYER-Santiago; J. RUSKA-Berlin; H. E. SIGERIST-Leipzig; K. SUDHOFF-Leipzig; H. WIELEITNER-München

HERAUSGEGEBEN VON

JULIUS SCHUSTER
BERLIN

VERLAG VON F. C. W. VOGEL · BERLIN

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Zur Entwicklung der Elektronenverstärker-Röhre (Lieben-Röhre)*).

Von KARL SKOWRONNEK (Berlin).

Mit 36 Abbildungen.

A. Einleitung.

Das Streben, ein brauchbares Telephon-Relais zu schaffen, ist fast ebenso alt wie die Weit-Telephonie überhaupt. Bei der Telegraphie war es üblich, geschwächt ankommenden Strömen, die von sich aus nicht imstande waren, die Empfangsapparate zu betätigen, ein Relais vorzuschalten, das empfindlicher als der Empfangsapparat selbst war und die Aufgabe hatte, durch Kontakte neue Stromkreise zu schließen oder zu öffnen, in denen neue Stromquellen genügend starke Ströme durch die Empfangsapparate schicken.

Welche Tragweite der Lösung dieses Problems für die Weit-Telephonie, ein vollkommenes Telephon-Relais zu schaffen, beigemessen wurde, geht wohl daraus hervor, daß im Jahre 1899 der Präsident GLIDDEN der Erie-Telephone-Co. einen Preis in Höhe von 1 Million Dollar für einen solchen Apparat aussetzte[1]). Über die Verteilung dieses Preises ist jedoch nichts bekannt geworden. Jedenfalls zeigt diese Tatsache, welchen Wert schon für die damalige Zeit ein brauchbares Telephon-Relais darstellte[2]).

B. Mechanische Telephon-Relais.

I. Relais von HUGHES und OLIVER LODGE.

Ähnlich wie bei dem Telegraphen-Relais[3]) lag es nahe, für das Telephon-Relais eine Form zu finden, bei der ein elektromagnetischer Empfänger (Telephon) durch die Bewegung seiner Membran oder

*) Erscheint gleichzeitig als Greifswalder Inaugural-Dissertation.

[1]) Electrical World and Engineer **33**, S. 866, 1899; **34**, 1900.

[2]) Telephony **11**, S. 205, 1906.

[3]) Die am längsten bekannte Einrichtung zur Verstärkung elektrischer Ströme war das Telegraphen-Relais von S. F. B. MORSE (1844): Die am Ende einer Leitung ankommenden geschwächten Stromstöße öffnen und schließen mit Hilfe eines elektromagnetischen Relais die Ortsbatterie, die wieder die Schreibvorrichtung betätigt. (BANNEITZ: Taschenbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie, S. 522, 1927.)

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

eines besonderen Ankers einen Mikrokontakt so erschüttert, daß das Mikrophon die Schwingungen verstärkt weiterzugeben vermag. Vorschläge für ein solches Mikrophon-Relais wurden bereits im Jahre 1878 von HUGHES und im Jahre 1898 von OLIVER LODGE gemacht[1]). Das Schaltungsprinzip eines Mikrophon-Relais zeigt Abb. 1.

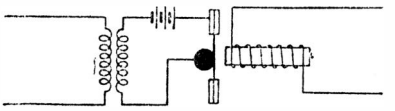


Abb. 1. Prinzipielles Schaltungsschema eines Mikrophon-Relais.

Infolge der damals noch unzulänglichen Mikrophone und Telephon-Membrane haben jedoch diese Konstruktionen in der Praxis keine Einführung finden können, da der Sekundärstrom mit dem Primärstrom[2]) in der Wellenform nicht übereinstimmte und deshalb die Sprache verzerrt wiedergegeben wurde.

II. Relais von S. G. BROWN.

Einen Fortschritt brachte im Jahre 1909 das Relais von S. G. BROWN[3]), das auf folgendem Prinzip beruht: Wenn ein Stromkreis, der aus einem Trockenelement und einem metallischen Leiter besteht, zwischen zwei Platinelektroden unterbrochen wird — die Entfernung zwischen den Platinelektroden soll etwa $^1/_{200000}$ mm betragen haben[4] —, so findet eine Unterbrechung des Stromes nicht statt, sondern der Strom überbrückt den Zwischenraum. Infolgedessen ist der Widerstand des Stromkreises und die Stromstärke dem Zwischenraum der beiden Elektroden direkt proportional.

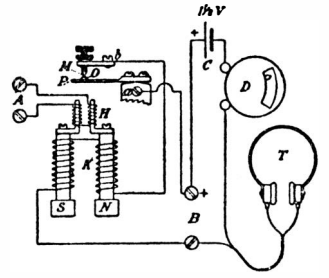


Abb. 2. Schaltung des Relais von S. G. BROWN.

---

[1]) G. G. BLAKE: History of Radio Telegraphy and Telephony, S. 207, 1926.

[2]) Die zu verstärkenden Stromschwankungen seien im folgenden Primärströme genannt, die verstärkten Ströme Sekundärströme.

[3]) DRP 234374 vom 7. Mai 1909. Einrichtung zum Geben und Empfangen von Signalen in Fernsprech- und Telephonanlegen, bei welcher ein veränderlicher mikrophonischer Kontakt benutzt wird, dadurch gekennzeichnet, daß dieser Strom die gegeneinander federnden Kontaktteile voneinander zu entfernen sucht und so einen bestimmten geringen leitenden Abstand zwischen den Kontaktteilen dauernd einstellt.

[4]) ETZ 31, S. 612, 1910.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Das nach diesem Prinzip konstruierte Relais, dessen Schaltung in Abb. 2 wiedergegeben ist, besteht aus einem Magneten *N*, der bis zur Stahlzunge *P* reicht, diese aber nicht berührt. Auf den Polansätzen aus Weicheisen sind die Spulen *H* und *K* angeordnet. Die Primärwechselströme, die bei den Klemmen *A* eintreten, durchfließen die Spule *H* und bringen die Stahlzunge *P* in Schwingungen entsprechend den Schwingungen der Telephonmembran. Die Elektroden *M* und *O*, die aus einer harten Osmium-Iridiumlegierung bestehen, können mit Hilfe einer Stellschraube bis auf den Bruchteil eines Millimeters voneinander entfernt werden. Wenn der Lokalstrom durch die Spule *K* und die Elektroden *O* und *M* fließt, so bilden diese ein Mikrophon. Der Zwischenraum zwischen *O* und *M* wird durch den vom Lokalstrom erzeugten Öffnungsfunken leitend erhalten in derselben Art wie ein Lichtbogen zwischen zwei Kohlenspitzen gebildet wird. Um schädliche Einflüsse der Telephonströme auf die Regulierspule zu verhindern, ist zwischen der Spule *K* und dem Polkern eine Kupferhülse angeordnet[1]).

Das BROWNsche Relais ermöglicht eine ungefähr achtfache Verstärkung[2]), ist aber im Betriebe sehr empfindlich. Für sehr schwache Telephonströme ist es nicht zu verwenden, weil die für schwache Ströme notwendige Kaskadenschaltung eine große Verzerrung der Sprache bringt[3])[4]).

C. Telephon-Relais mit Hilfe von Quecksilberdampflampen.

I. Relais von PETER COOPER HEWITT.

Die Erkenntnis, daß mechanische Relais wegen ihrer Trägheit immer eine Verzerrung mit sich bringen mußten, führte zur Konstruktion von Relais mit Hilfe von gesteuerten Gasentladungsröhren (Quecksilberdampflampen).

Im Jahre 1904 wurde P. C. HEWITT eine solche Anordnung, deren Schaltungsskizze in Abb. 3 wiedergegeben ist, patentiert[5]).

---

[1]) ETZ 31, S. 612, 1910.

[2]) E. FEYERABEND: 50 Jahre Fernsprecher in Deutschland, S. 59, Berlin 1927.

[3]) E. REISZ: ETZ 34, S. 1385, 1913.

[4]) In Amerika fand ein nach dem gleichen Prinzip arbeitendes Relais von SHREEVE Verbreitung, das sich im Betrieb bewährt haben soll. (G. GRUSCHKE: Siemens-Zeitschrift 3, S. 114, 1923.)

[5]) PETER COOPER HEWITT, New York. „Means for reproducing elctrical variations." USA-Patent Nr. 749791 vom 19. Januar 1904, angemeldet am

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Bei dieser wurde ein in einer Quecksilberdampflampe fließender Strom durch ein äußeres Magnetfeld gesteuert. In dieser Schaltungsskizze stellt *1* eine Gleichstromquelle des Primärstromkreises *3* dar, in dem mit *4* die Sprechstelle (source of variation) und mit *5* die Magnetspule bezeichnet sind. Die Magnetspule *5* ist gegenüber der Quecksilberdampfröhre *6* angeordnet, die im Sekundärstromkreis *7* liegt. In diesem Stromkreis liegt noch die Stromquelle *8* und der Empfangsapparat *9* (receiving device). Die negative Elektrode *10* kann Quecksilber oder ein anderes Material sein, das imstande ist, die Stromimpulse von dem Gas oder Dampf zu übernehmen. Die positive Elektrode *11* besteht aus einem massiven Material. Die Primärströme werden der Spule *5* zugeführt und bewirken eine diesen Strömen entsprechende Änderung des Starkstromes, der durch die Quecksilberdampflampe fließt.

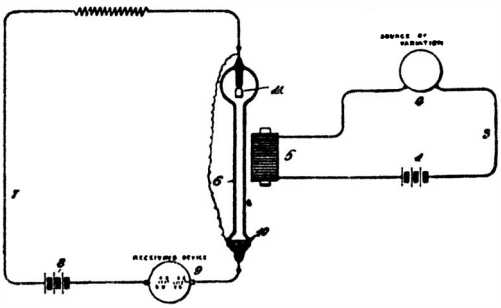


Abb. 3. Schaltungsskizze aus dem USA.-Patent Nr. 749791 vom 16. Januar 1904.

II. Relais von EZECHIEL WEINTRAUB.

Einen weiteren Versuch, ein Telephon-Relais mit Hilfe einer Quecksilberdampflampe zu schaffen, unternahm E. WEINTRAUB, der auf seine Anordnung am 15. Juni 1909 das amerikanische Patent Nr. 925060 erhielt. Abb. 4 zeigt die Schaltanordnung des Relais nach dieser amerikanischen Patentschrift.

Die hochevakuierte Röhre *1* befindet sich in einem besonderen Behälter 2, der an der Stelle *3* kippbar gelagert ist. In der Röhre *1* befinden sich drei Elektroden, und zwar die Quecksilberelektrode *4*, die Platinelektrode *5*, die in der Nähe der Quecksilberoberfläche endet und als dritte Elektrode ein zylindrischer Körper *6* aus Kohle oder Graphit. Die Entfernung zwischen der Platinelektrode und der

16. Mai 1902. Dieses Patent wurde wiederholt als Vorveröffentlichung den später beschriebenen grundlegenden LIEBEN-Patenten entgegengehalten. Man hat dabei aber übersehen, daß erst durch die Benutzung langsamer, leicht regulierbarer Kathodenstrahlen, die mittels einer Glühelektrode erzeugt werden, ein brauchbares Kathodenstrahlen-Relais geschaffen werden konnte.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Oberfläche der Quecksilberelektrode kann durch Drehung des Traggestelles um die Achse *3* eingestellt werden. Die Platinelektrode *5* ist mit der Sekundärwicklung *7* eines Transformators verbunden; das andere Ende der Wicklung ist an die Elektrode *4* angeschlossen. Der Primärwicklung *8* des Transformators werden über die geerdete Leitung *9* und die Leitung 10 die Primärströme zugeführt. Die Elektrode *6* ist über die Gleichstromquelle *11* mit der Quecksilberelektrode *4* verbunden. Zwischen der Elektrode *6* und der Gleichstromquelle *11* ist noch der Widerstand *12* geschaltet.

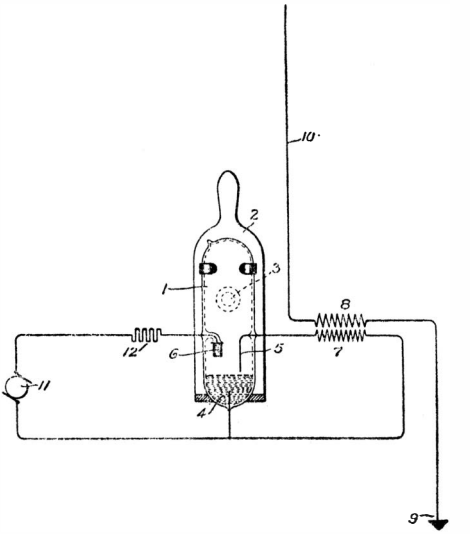


Abb. 4. Schaltschema des Relais von E. Weintraub (USAPatent 925 060).

Nach der Beschreibung der Patentschrift soll diese Anordnung wie folgt wirken: Die durch die Leitung *10* ankommenden Stromimpulse gelangen in die Primärwicklung *8* und werden der Sekundärwicklung *7* induktiv übertragen, und zwar so, daß auf die Elektroden *4* und *5* eine entsprechend höhere Spannung aufgedrückt wird. Diese Elektroden sind so angeordnet, daß die Wirkung eines verhältnismäßig kleinen Stromes in der Primärwicklung *8* genügt, um einen Funken zwischen den Elektroden *5* und *4* überspringen zu lassen. Durch den dabei sich bildenden Quecksilberdampf in der Röhre *1* wird der Raum zwischen den Elektroden *6* und *4* derart gut leitend, daß zwischen beiden mit Hilfe der Stromquelle *11* ein Lichtbogen entstehen kann. Der Widerstand *12* ist so bemessen, daß es mit seiner Hilfe möglich ist, den Stromwert so zu regulieren, daß der Lichtbogen mit der Energie der Stromquelle *11* bestehen bleiben kann. (Der Lichtbogen, der von einer verhältnismäßig großen Stromquelle erzeugt wird, bringt den Raum zwischen den Elektroden zum Aufleuchten.) Auf diese Weise kann der schwach ankommende Stromimpuls verstärkt weitergegeben werden.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

D. Zur Entwicklung der Elektronenverstärker-Röhre (LIEBEN-Röhre).

Erst durch die Elektronenverstärker-Röhre, das Werk ROBERT VON LIEBENS, wurde das Problem der trägheitslosen Verstärkung elektrischer Wechselströme ernstlich in Angriff genommen.

Es ist hier der Ort auf den merkwürdigen und historisch reizvollen Weg hinzuweisen, den die weitere Entwicklung der trägheitslosen Relais genommen hat. Man weiß heute, daß die LIEBEN-Röhre zur Klasse der gesteuerten Gasentladungsröhren gehört. Ob man sie unter die Relais einordnen soll, die nach dem Thyratronprinzip arbeiten und nur unstetige Steuerung ermöglichen, oder ob sie zu den stetig steuerbaren Relais gehört, braucht nicht untersucht zu werden. Interessant ist, daß aus Gründen, die erst viele Jahre später erkannt werden konnten, die Entwicklung zunächst auf einem anderen Wege vorwärts geschritten ist, nämlich auf dem Wege der Ausbildung von Elektronenröhren, bei denen Elektronenströme in möglichst hohem Vakuum arbeiten. Die Entwicklung wurde, wie bekannt ist, bis zu höchster Vervollkommnung solcher Röhren durchlaufen. Nun ist es bemerkenswert, daß neuerdings wieder gesteuerte Gasentladungsröhren als eine Fortsetzung der von LIEBEN in Angriff genommenen Arbeiten an Interesse gewinnen und in der Elektrotechnik vermutlich von großer Bedeutung werden[1]).

I. ROBERT VON LIEBENS wissenschaftliche Vorbildung und Arbeiten.

ROBERT VON LIEBEN, ein Schüler von Professor NERNST, arbeitete bereits um die Jahrhundertwende unter der Anleitung seines berühmten Lehrers an der Universität Göttingen an Problemen der Sprachwiedergabe. NERNST entwickelte im Jahre 1900 den ersten elektrochemischen Phonographen, mit dem ROBERT VON LIEBEN im darauffolgenden Jahre in einer von ihm vorgeschlagenen Form erfolgreich Versuche machte[2]).

---

[1]) Zur Geschichte der gesteuerten Gas-Entladungsröhren und für einen Überblick über die komplizierte Situation sei auf die Arbeit von E. LÜBCKE, im Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie, Band 32, Heft 1 und auf die Arbeit von E. LÜBCKE u. W. SCHOTTKY in den Wissenschaftlichen Veröffentlichungen des Siemens-Konzerns, Band 9, Heft 1, S. 390 hingewiesen. Man findet in diesen beiden Arbeiten eine das Wesentliche begründende Darstellung der Geschichte dieses Gebietes und der wichtigsten Patent-Literatur.

[2]) ROBERT VON LIEBEN schlug vor, das Prinzip eines Phonographen auf die Widerstandsänderungen zu gründen, die durch elektrolytische Ablagerung

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Das Bestreben, Lautwellen zu verstärken, war im Winter 1901/02 in Göttingen der erste Impuls für seine weiteren Arbeiten auf diesem Gebiete, wenn er auch erst auf Grund der Arbeiten WEHNELTS in den Wintermonaten des Jahres 1905 daran ging, diese praktisch zu erproben[1]).

ROBERT VON LIEBEN verfügte in Wien über ein reichhaltig ausgestattetes physikalisches Laboratorium, in dem er sich nach der Rückkehr von der Universität Göttingen besonders mit den elektrischen Entladungsvorgängen in Gasen beschäftigte, ein Gebiet, das damals ziemlich unerforscht und sehr aktuell war. Er veröffentlichte über die Ergebnisse seiner Untersuchungen beachtenswerte Arbeiten in der Physikalischen Zeitschrift „Zur Polarisation der Röntgenstrahlung" 4, S. 469 und 516, 1903; „Bemerkungen zur Polarisation der Röntgenstrahlung" 5, S. 72, 1904[2]).

Die Arbeiten ROBERT VON LIEBENS in Göttingen und in seinem Wiener Laboratorium an Problemen der Sprachwiedergabe boten ihm eine gute Grundlage für seine nunmehr einsetzenden Bemühungen, ein trägheitsloses Telephon-Relais zu schaffen[2]).

II. Grundlagen für die Konstruktion des Kathodenstrahlen-Relais.

Im Jahre 1903 machte ARTHUR WEHNELT die Entdeckung, daß Erdalkalioxyde (von Kalzium, Barium, Strontium) bei Erhitzung und geringen Spannungen Kathodenstrahlen aussenden[3]). Diese für die Folge äußerst wichtigen Entdeckungen veröffentlichte WEHNELT zuerst in den Sitzungsberichten der physikalisch-medizinischen Sozietät Erlangen 1903, S. 150—158 und in den Annalen der Physik 14, S. 425, 1904 und 19, S. 138, 1906. Die nach dem WEHNELT-Prinzip erzeugbaren Kathodenstrahlen haben eine so geringe Ge-

von Oxydschichten oder dergleichen auf metallischen Elektroden erzeugt werden können. (W. NERNST und R. VON LIEBEN: Zeitschrift für Elektrochemie 7, S. 533, 1901.)

[1]) Mitteilung von Professor J. BILLITER an den Verfasser.

[2]) K. PRZIBRAM: Neue Österreich. Biographie 6, S. 178, 1929.

[3]) Der Aufstrich von Erdalkalioxyden auf Glühkathoden hat den Zweck, deren Wirksamkeit außerordentlich zu erhöhen. Man war dadurch in die Lage versetzt, in bequemer Weise intensive Quellen für Elektronenstrahlen beliebiger Geschwindigkeit herzustellen. Die bis in die Jetztzeit fortgesetzte Entwicklungsarbeit hat dazu geführt, daß man solche WEHNELT-Kathoden nun auch in technisch brauchbarer Form (billige Herstellungsweise, lange Lebensdauer) herstellen kann.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

schwindigkeit, daß sie von schwachen magnetischen oder elektrostatischen Feldern stark abgelenkt werden können.

ROBERT VON LIEBEN prüfte im Jahre 1905 die Veröffentlichungen von WEHNELT über dessen Kalzium-Oxydkathode in seinem Laboratorium nach und kam dabei intuitiv auf die Idee, mit Hilfe der WEHNELT-Kathode einen Kathodenstrahlen-Verstärker (Kathodenstrahlen-Relais) zu konstruieren [1] [2]).

Die Versuche für sein Telephon-Relais begann ROBERT VON LIEBEN damit, daß er Kathodenstrahlen, die er mit Hilfe einer WEHNELT-Kathode erzeugte, magnetisch ablenkte. Zu dem Zeitpunkt, als ROBERT VON LIEBEN seine grundlegende Idee faßte, kannte man bereits seit langem die magnetische Ablenkbarkeit von Kathodenstrahlen [3]). Wegen der Geräusche, die von der Wechselstromquelle hoher Spannung herrührten, konnte sie aber für die Konstruktion eines Relais nicht verwandt werden.

Die niedrigen Spannungen, die für die Elektronenemission der WEHNELT-Kathode benötigt wurden, waren bequem mit Gleichstrom herzustellen, während früher Elektronenemissionen nur mit Hilfe von Induktorapparaten als Wechselströme in einer nicht ganz einfachen Art erzeugt werden mußten. Bei der Telephonie hat der Wechselstrom aber den Nachteil, daß er im Hörer einen Ton entsprechend seiner Frequenz verursacht, der störend wirkt, während bekanntlich der Gleichstrom, einmal eingeschaltet, unhörbar bleibt, da keinerlei Spannungsschwankungen auftreten können.

Durch die Wahl der von ROBERT VON LIEBEN zuerst gefundenen und im folgenden beschriebenen Anordnung bewirken die Ablenkungen der von einer WEHNELT-Kathode ausgesandten Kathoden-

---

[1]) S. STRAUSS: Deutscher Rundfunk 2, S. 2134, 1924.

[2]) Das deutsche WEHNELT-Patent Nr. 157845 vom 15. Januar 1904 wurde von der Accumulatoren-Fabrik Aktiengesellschaft Berlin-Hagen übernommen. Der auf diesem Patent beruhende WEHNELT-Gleichrichter wurde von der Accumulatoren-Fabrik Aktiengesellschaft zu seiner heutigen Vollkommenheit entwickelt.

[3]) JULIUS PLÜCKER hat 1857 Versuche über die Einwirkung des Magneten auf die elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen gemacht und als erster die magnetische Ablenkung der Kathodenstrahlen beobachtet. Annalen d. Phys. u. Chemie 103, S. 88, 1857. Die gesetzmäßigen Zusammenhänge über die Wirkung eines Magneten auf die Kathodenstrahlen wurden ebenfalls zuerst von PLÜCKER und darauf von HITTORF und CROOKES untersucht. (J. J. THOMSON: Die Entladung der Elektrizität durch Gase, S. 103, Leipzig 1900.)

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

strahlen die in einem trägheitslosen Relais gewünschten verstärkten Schwankungen, die im Stromkreis der Kathodenröhre erfolgen.

III. Kathodenstrahlen-Relais von Robert von Lieben.

1. Magnetische Beeinflussung der Kathodenstrahlen.

Im folgenden sei der Aufbau und die Wirkungsweise des von Robert von Lieben zuerst im Jahre 1906 vorgeschlagenen Kathodenstrahlen-Relais beschrieben[1]).

Wie aus Abb. 5 zu ersehen ist, besteht das Kathodenstrahlen-Relais aus der Glasröhre r, die hoch evakuiert ist, in welche die zur Erhitzung der Kathode k erforderlichen Stromzuführungsdrähte z^1 und z^2 eingeschmolzen sind.

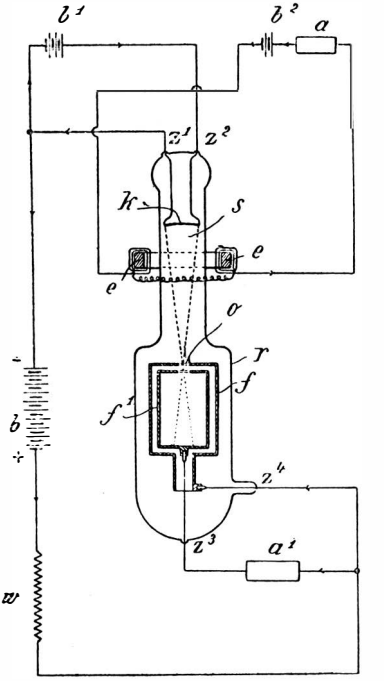


Abb. 5. Schaltungsschema der Lieben-Röhre[2]) (DRP 179807).

Die Kathode k hat die Form eines Hohlspiegels und besteht aus einem durch den elektrischen Strom heizbaren Körper. Die Oberfläche dieses Hohlspiegels k (dem Metallkörper f zugekehrt) ist mit einer dünnen Schicht eines nach Wehnelt wirksamen Metalloxydes (Barium-, Strontium-, Kalziumoxyd) überzogen. Wenn nun das negative Potential der Stromquelle b beispielsweise an den durch die Batterie b^1 elektrisch geheizten Hohlspiegel k angelegt wird, so entsendet dieser Kathodenstrahlen, die sich in einem Brennpunkt oder in einer Brennlinie schneiden. Wie Abb. 5 zeigt, befindet sich dieser Brennpunkt in der Öffnung o eines Faradayschen Hohlzylinders f. Die Strahlen gelangen durch die Öffnung weiter in einen inneren kon-

[1]) Die Beschreibung folgt der deutschen Patentschrift Nr. 179807 vom 4. März 1906.

[2]) Das von Robert von Lieben erfundene Kathodenstrahlen-Relais wird im folgenden, einem Brauche von Professor Nernst folgend, einfach als Lieben-Röhre bezeichnet.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

zentrischen Hohlzylinder f^1. Die Hohlzylinder sind voneinander elektrisch isoliert und durch die eingeschmolzenen Zuführungsdrähte Z^3, Z^4 nach außen abgeleitet. Aus der Schaltung ersieht man, daß der Strom durch Z^4 (unter Vorschaltung eines passenden Widerstandes w) direkt, durch Z^3 unter Zwischenschaltung eines für Stromschwankungen empfindlichen Apparates a (Telephon oder Bogenlampe usw.) zum positiven Pol der Stromquelle b zurückgeführt wird.

Wenn das Kathodenstrahlenbündel s durch kleine Schwankungen, die durch den Apparat a (Mikrophon, Selenzelle) hervorgerufen werden, des der Stromquelle b^2 zugehörigen Stromkreises magnetisch (z. B. durch die Elektromagnete e) oder elektrostatisch beeinflußt wird, so verändert, entsprechend den Schwankungen, der Brennpunkt seine Lage zur Öffnung des Zylinders f. Diese Bewegungen des Brennpunktes bewirken, daß die Kathodenstrahlen mehr oder weniger in den inneren Zylinder f^1 eindringen und dadurch im Apparat a^1 entsprechende Stromschwankungen hervorrufen.

Die Energie dieser gewünschten starken Stromwellen ist nur von der Stromstärke in der Röhre abhängig. Die Stromwellen können nun direkt oder durch Vermittlung eines Transformators auf den Apparat a^1 (Telephon usw.) wirken.

Der besondere Fortschritt, der mit dieser Konstruktion geschaffen wurde, bestand

1. in der erhöhten Empfindlichkeit,

2. darin, daß die Kathodenstrahlen praktisch genommen Kraftwirkungen ohne Trägheit besitzen und auch den höchsten Frequenzen ohne Verzerrung folgen,

3. darin, daß sie die Verwendung größerer Energiemengen gestattete als die damals bekannten Relais und

4. in der leichteren Regulierbarkeit des Kathodenstrahlenbündels durch Heizregelung der Glühkathode.

In diesem grundlegenden Patent wird gesagt, daß diese Erfindung bezweckt, „mittels Stromschwankungen kleiner Energie solche von großer Energie auszulösen, wobei Frequenz und Kurvenform der ausgelösten Stromschwankungen denen der auslösenden entsprechen".

ROBERT VON LIEBEN sagt in der Patentschrift, daß sein Relais es ermöglicht, „durch die Wahl der Stärke des durch eine Entladungsröhre fließenden Stromes die im beeinflussenden Stromkreise

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

vorhandenen Energiemengen zu multiplizieren und eignet sich daher für alle Fälle, wo eine derartige Multiplikation innerhalb weiter Grenzen gefordert wird".

Der Patentanspruch des DRP 179807 vom 4. März 1906 sei hier seiner grundlegenden Bedeutung wegen wörtlich angeführt. Er lautet: „Kathodenstrahlenrelais für Stromwellen bis zu den höchsten Frequenzen, dadurch gekennzeichnet, daß langsame Kathodenstrahlen, in bekannter Weise von einer mit glühendem Metalloxyd bedeckten Hohlspiegelkathode ausgehend, durch die zu verstärkenden Stromwellen derart beeinflußt werden, daß sie in ihrem Stromkreis Wellen gleicher Frequenz, aber höherer Amplitude, hervorrufen."

Dieses Patent war für die spätere Entwicklung grundlegend, denn mit ihm war das ganze Gebiet der Glühkathoden-Relais restlos gedeckt. Die Bezugnahme des Anspruchs auf eine hohlspiegelartige Glühkathode, die mit Metalloxyd überzogen ist, hat dabei keine rechtliche Bedeutung, weil eine Schutzbeschränkung darauf unbillig wäre [1]).

Robert von Lieben gibt auch ganz klar die vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten seines Relais an: „Insbesondere für manche Probleme der Telephonie (Übertragung der Sprache auf große Entfernungen, Kabeltelephonie, drahtlose Telephonie, Verstärkung der Sprach- und Musikübertragung usw.)", „ferner auch für manches Problem der Fernphotographie, Phonographie usw." [2]).

Bereits im Jahre 1907 führte er Nernst in seinem Privatlaboratorium in Wien ein derartiges Relais vor, durch das ein telephonisches Gespräch mit außerordentlich gesteigerter Lautstärke und dabei vollkommen deutlich wiedergegeben wurde [3]).

Technische Verbesserungen der Lieben-Röhre.

Die ersten fertiggestellten Lieben-Röhren fanden noch nicht den vollen Beifall Robert von Liebens. In den Jahren 1907—1910 wurde daher in seinem Laboratorium an den Verbesserungen der ersten Konstruktion der Röhre gearbeitet. Die Verbesserungen, die bis zum Jahre 1910 durchgeführt wurden, erwiesen sich aber als so vorteilhaft, daß die Lieben-Röhre im Winter 1910/11

[1]) Otto von Bronk: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 10, 1923.
[2]) DRP Nr. 179807 vom 4. März 1906.
[3]) W. Nernst: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 6, 1923.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

schon recht befriedigend und gleichmäßig arbeitete[1]). Abb. 6 — das Bild wurde im November 1910 im Laboratorium ROBERT VON LIEBENS von SIEGMUND STRAUSS aufgenommen — zeigt die Konstruktion der damaligen LIEBEN-Röhre. Man sieht deutlich die parallelen Stromzuführungen und das Magnetsystem, das die Ablenkung der Kathodenstrahlen bewirkte[2]).

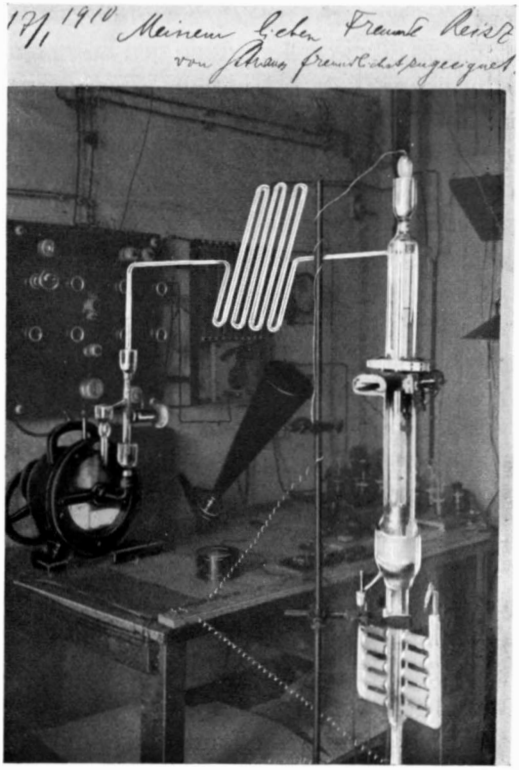


Abb. 6. Erste Ausführungsform der LIEBEN-Röhre im Jahre 1910[3]).

Auf Anregung von SIEGMUND STRAUSS schuf ROBERT VON LIEBEN im Winter 1910/11 in Wien das Physikalische Laboratorium der Ingenieure EUGEN REISZ und SIEGMUND STRAUSS, das mit der Weiterführung der Arbeiten an dem Relais betraut wurde, da dieser selbst damals mit seinem Namen nicht hervortreten wollte.

Bei der praktischen Ausführung der LIEBEN-Röhre, bei der ROBERT VON LIEBEN in seinem Wiener Laboratorium durch seinen Assistenten Dr. RICHARD LEISER[4])

[1]) Am 11. August 1910 schrieb EUGEN REISZ in das Laboratoriumsbuch, das dem Verfasser zugänglich gemacht wurde, die Notiz: „Die erste gut funktionierende Röhre wird von der Pumpe abgeschmolzen."

[2]) S. STRAUSS: Deutscher Rundfunk **2**, S. 2135, 1924.

[3]) Abb. 6, 10, 17, 18, 19 sind Reproduktionen von Originalaufnahmen aus den Laboratorien ROBERT VON LIEBENS, die während der Hauptversuchsjahre hergestellt wurden. Herrn EUGEN REISZ danke ich an dieser Stelle verbindlich für die liebenswürdige Überlassung der Originalaufnahmen.

[4]) Dr. LEISER beschäftigte sich hauptsächlich damit, ein Verfahren für einen dauernden und gleichmäßigen wirksamen Oxydbelag zu entwickeln. (S. STRAUSS: Deutscher Rundfunk **2**, S. 2135, 1924.)

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

und vor allem von seinen ideenreichen Mitarbeitern EUGEN REISZ (Abb. 7) und SIEGMUND STRAUSS (Abb. 8) vorbildlich unterstützt wurde, galt es noch, einige Schwierigkeiten zu überwinden [1]). So war es nicht ganz einfach, auf dem Platinblech (Kathode) den Kalziumoxydbelag dauerhaft aufzubringen und das Platinblech so auszubilden, daß es seine gekrümmte Form auch bei Rotglut behielt. Das Platinblech mußte deshalb eine bestimmte Wandstärke haben, die wieder einen hohen Strom für die Erhitzung bedingte.

Abb. 7. Ing. EUGEN REISZ.

Auf Grund der Versuche, die mit dem ersten Kathodenstrahlen-Relais gemacht wurden, konstruierte ROBERT VON LIEBEN gemeinsam mit E. REISZ und S. STRAUSS ein neues Relais, auf das er am 4. September 1910 das DRP 236716 erhielt [2]).

Der besondere Fortschritt der neuen Relaiskonstruktion gegenüber den bereits bekannten Relais war nach der in der Patentschrift niedergelegten Ansicht der, daß ein durch die primären Stromschwankungen beeinflußbarer Ionisator, z. B. Kathodenstrahlen, in der elektrischen Leitfähigkeit eines Gases Änderungen hervorruft. Der Ionisator wird von den primären Stromschwankungen so beeinflußt, daß er auf einen zweiten Stromkreis auslösend wirkt, so daß zwischen den Sekundärelektroden ein

Abb. 8. Ing. SIEGMUND STRAUSS.

[1]) K. PRZIBRAM: Neue Österreich. Biographie 6, S. 179, 1929.
[2]) Österreichisches Patent Nr. 48172 vom 1. Dezember 1910.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

beliebig starker Strom übergehen kann. Die Stromstärke in dem Ionisator kann dabei verhältnismäßig klein gehalten werden. Die Kathodenstrahlen waren bei den bereits bekannten Relais ein Teil des Sekundärstromkreises selbst und wirkten dementsprechend nicht auslösend als Ionisator für einen zweiten Stromkreis[1]). Ferner kommt hinzu, daß bis zur Bekanntgabe dieser neuen Anordnung es wegen des hohen Vakuums nicht möglich war, große Stromstärken in Form von Kathodenstrahlen zu verwenden.

Abb. 9 zeigt das Schaltbild des Relais nach dem DRP 236716. In diesem Schaltbild bedeutet *P* den Primärstromkreis, in dem sich die Elektromagnetspulen *a* befinden. Die Anordnung ist so getroffen, daß die im Primärstromkreis auftretenden Stromschwankungen die in der gasverdünnten Entladungsröhre *R* erzeugten Kathodenstrahlen beeinflussen. In dem Schaltbild bedeuten ferner *K* eine glühelektrische Hohlspiegelkathode, von der die Kathodenstrahlen ausgehen, und *A* die dazu gehörige Anode, die mit der Kathode und einer Gleichstromquelle *q* in einem Stromkreis liegen. In demselben Stromkreis, auf dem Wege der Kathodenstrahlen, ist eine Blende *B* angeordnet. In dem Raum zwischen der Blende *B* und der Anode *A* befinden sich ferner zwei Plattenelektroden *e* und *f*, die in dem Sekundärstromkreis *S* geschaltet sind, der die Gleichstromquelle *Q* enthält. In diesem Stromkreis befindet sich ferner das Telephon *t*, das die Sekundärstromschwankungen aufzunehmen hat. Wenn die Kathodenstrahlen, die von der Kathode *K* ausgehen, den Gasraum zwischen den Elektroden *e* und *f* treffen, so wird infolge der dadurch entstehenden Ionisation im Sekundärstromkreis *S* ein Strom auftreten. Die von den Elektromagnetspulen *a* hervorgerufenen magnetischen

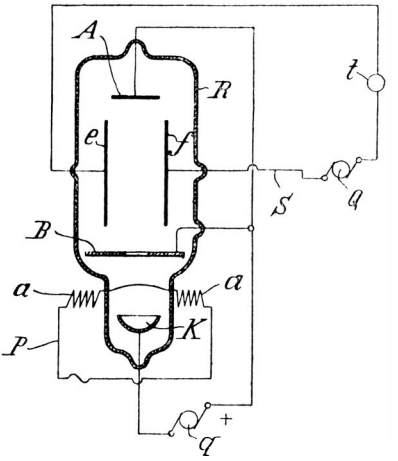


Abb. 9. Schaltung der LIEBEN-Röhre (DRP 236716).

[1]) Das ist nicht weiter verwunderlich, denn nach dem damaligen Stand der Forschung konnte man die komplizierten Zustände im Steuerraum noch nicht klar übersehen.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Ablenkungen der Kathodenstrahlen ändern infolgedessen die Ionisation des Gasraumes zwischen *e* und *f* mit derselben Frequenz und Kurvenform, die den Primärschwankungen im Stromkreis *P* entsprechen.

Im Hinblick darauf, daß das Patent DRP 236716 vom 4. September 1910 in Verbindung mit dem später noch zu besprechenden DRP 249142 vom 20. Dezember 1910[1]) für die ganze weitere Entwicklung der Elektronenröhrentechnik grundlegend wurde, möge es gestattet sein, auf die in dieser Patentschrift enthaltenen wesentlichen Ansprüche kurz hinzuweisen.

Das im DRP 236716 geschützte Relais ist dadurch charakterisiert, „daß die durch den beeinflußten Ionisator hervorgerufene Änderung in der elektrischen Leitfähigkeit eines Gases verstärkte Stromschwankungen gleicher Frequenz und Kurvenform zwischen Elektroden, welche in einem besonderen Stromkreise liegen, auslöst". Das Relais ist ferner dadurch gekennzeichnet, „daß die in einer gasverdünnten Entladungsröhre angeordneten Sekundärelektroden (*e* und *f*), deren Zwischenraum im Wege der durch eine Gleichstromquelle erzeugten, durch eine Blende gehenden Kathodenstrahlen liegt, an eine besondere Gleichstromquelle angeschlossen sind", weiter dadurch, „daß die zur Aussendung der Kathodenstrahlen dienende Gleichstromquelle gleichzeitig auch für die Sekundärelektroden dient".

Die Patentschrift zählt unter anderem folgende Verwendungszwecke auf: „Lautverstärker, als Relais in der Draht- und Kabeltelegraphie bei Nah- und Fernverkehr sowie bei der Funkentelegraphie und Telephonie, ferner als Hilfsapparat für das Telegraphon und für die elektrische Bildübertragung usw."

2. Elektrostatische Beeinflussung der Kathodenstrahlen.

a) Elektrodenfeld senkrecht zur Bewegungsrichtung der Elektronen.

Bereits in seinem ersten Patent auf das Kathodenstrahlen-Relais (DRP 179807 vom 4. März 1906) beschrieb Robert von Lieben auch die elektrostatische Beeinflussung der Kathodenstrahlen. In der Patentschrift gibt er ausdrücklich an, daß die Kathodenstrahlen

[1]) Österreichisches Zusatzpatent Nr. 54011 vom 1. Februar 1912 zum Patent Nr. 48172.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

durch die schwachen Stromschwankungen eines zweiten unabhängigen Stromkreises magnetisch oder elektrostatisch verschieden stark abgelenkt werden[1]).

b) Elektrodenfeld in der Bewegungsrichtung der Elektronen zwischen der Hilfselektrode (Gitter) und der Kathode.

Bei den Versuchen mit dem ersten Kathodenstrahlen-Relais aus dem Jahre 1906 war es nicht ganz einfach, die hohe Anodenspannung, die in dem äußeren Zylinder vorhanden war, zu beseitigen. Diese hohe Spannung hatte den Nachteil, daß sich bei einer gewissen Steigerung der Stromstärke zwischen den zwei Zylindern im Blendenspalt ein Anodenlicht einstellte, das die Verstärkerwirkung aufhob.

Um das schädliche Anodenglimmlicht wirkungslos zu machen, wurde nach einem Vorschlag von EUGEN REISZ über den Blendenspalt ein Drahtgitter gelegt. Dieses Gitter wurde in verschiedener Weise angeordnet, z. B. so, daß der Abstand der Anode vom Gitter erweitert wurde. Die Lösung ergab sich aber erst, als über Anregung von SIEGMUND STRAUSS zwischen dem Gitter und der Anode ein größerer verstellbarer Widerstand gesetzt wurde. Es zeigte sich dann, daß diese Einrichtung schon gegen ganz geringe Änderungen der am Gitter liegenden Spannung empfindlich war, was weiter dazu führte, den Sprechstrom unmittelbar dem Gitterkreis zu überlagern. Diese grundlegende Erkenntnis führte auch zu der fundamentalen Anordnung des Gitters als Hilfselektrode in der Verstärkerröhre. Das bedeutete natürlich den Übergang von der magnetischen zur elektrostatischen Beeinflussung der Kathodenstrahlen, die eine bedeutend bessere Verstärkung bewirkte[2])[3]).

Einige Monate nach der Erteilung des Patentes auf das bereits angeführte Relais[4]) erhielt ROBERT VON LIEBEN gemeinsam mit E. REISZ und S. STRAUSS am 20. Dezember 1910 das DRP 249142 auf eine neuerliche Verbesserung seines prinzipiell bereits im DRP 179807 festgelegten Relais. Das Wesentliche an der neuen Kon-

---

[1]) DRP 179807 vom 4. März 1906.

[2]) S. STRAUSS: Deutscher Rundfunk **2**, S. 2135 u. 2136, 1924.

[3]) Für die Demonstration und Messung der elektrostatischen Ablenkung von Kathodenstrahlen gab F. BRAUN zuerst eine geeignete Röhrenform an, die dann später von J. ZENNECK (Wied. Ann. **69**, S. 838, 1899) und A. WEHNELT (Verh. dtsch. phys. Ges. **5**, S. 29, 1903) verbessert wurde. (MÜLLER-POUILLETS Lehrbuch d. Physik u. Meteorologie **4**, 5. Buch, S. 1026/1027, 1914.)

[4]) DRP 236716 vom 4. September 1910.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

struktion der LIEBEN-Röhre war das sogenannte Gitter, eine Hilfselektrode, auf die die Primärströme einwirken, wodurch der Widerstand im Hauptstromkreis direkt beeinflußt wird. Bei den früheren Konstruktionen erfolgte diese Beeinflussung bekanntlich durch Ablenkung der Kathodenstrahlen.

c) Aufbau der LIEBEN-Röhre.

Die LIEBEN-Röhre (Abb. 10 und 11) nach dem DRP 249142 bestand aus einem Glasrohr (*G*), das unten kugelförmig, oben birnenförmig ausgebildet war. An der Trennfläche befand sich eine siebartig durchlöcherte Aluminiumplatte (*H*). In der Mitte des kugelförmigen Raumes befand sich die Glühkathode (*K*), ein gewundenes Platinband, das mit dem Oxyd eines Erdalkalimetalls, z B. Kalziumoxyd, überzogen war[1]). Die Anode (*A*), die im birnenförmigen Gasraum angeordnet war, bestand aus einem ungefähr 2 cm langen Metalldraht. Die Röhre war mit Quecksilberdampf von einem Druck von einigen Hundertstel Millimeter gefüllt. In einem seitlichen Ansatz war nach einer später patentierten Anordnung (Abb. 16) etwas Amalgam vorhanden, um das Härterwerden der Röhre infolge der Entladung zu vermeiden[2]). Die Röhre besaß vier Zuleitungen, von denen zwei an die Enden der Glühkathode führten[3]).

Abb. 10. LIEBEN-Röhre aus dem Jahre 1911.

Die Kathode *K* (Abb. 11) war über einen Spannungsteiler R_w, mit dem die Temperatur reguliert werden konnte, an die Gleichstrom-

[1]) Die experimentellen Untersuchungen ergaben, daß die Form der Kathode sekundäre Bedeutung hatte, wenn dafür gesorgt war, daß bei dem damals noch unvollkommenen Vakuum die Kathodenstrahlen das Gitter nicht unmittelbar trafen, um auch das Entstehen des Anodenlichtes an einer der Gittermaschen möglichst auszuschließen.

Die Glühkathode wurde deshalb in Form von 1 mm breiten Platinbändern ausgebildet, die von einem Glasträger gehalten wurden.

[2]) Aus praktischen Erwägungen ist ein festes Amalgam dem flüssigen Quecksilber als Bodenkörper natürlich vorzuziehen.

[3]) R. LINDEMANN und E. HUPKA: Archiv für Elektrotechnik 3, S. 49, 1914.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

quelle angeschlossen, die unter Zwischenschaltung der Primärwicklung eines Transformators T_2 auch mit der Anode A verbunden war. Mit dem Spannungsteiler R_w wurde die Hilfselektrode H verbunden. In diese Verbindungsleitung war die Sekundärwicklung eines zweiten Transformators geschaltet. Die Spannung zwischen der Kathode K und der Hilfselektrode H wurde durch den Kontakt c des Regulierwiderstandes R_w eingestellt.

Das Anlegen der regulierbaren Spannung war von ROBERT VON LIEBEN für die Empfindlichkeit des Relais als außerordentlich bedeutsam erkannt worden, denn der Widerstand in der Röhre änderte sich verhältnismäßig erst wesentlich bei einer bestimmten Spannung, die vom Gasdruck in der Röhre, der Temperatur der Kathode usw. abhängig war[1]).

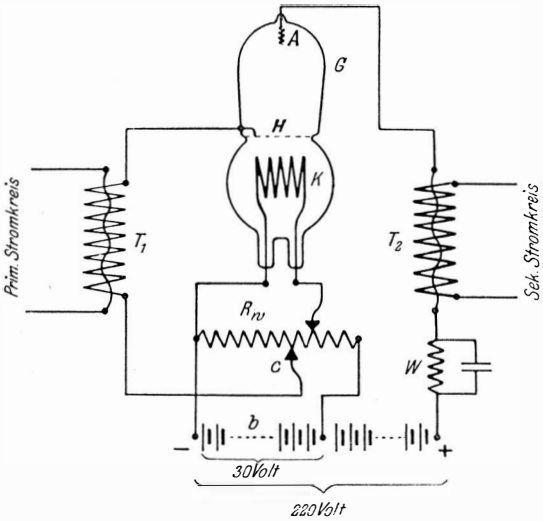


Abb. 11. Schaltungsschema der LIEBEN-Röhre (DRP 249142).

Bei der LIEBEN-Röhre sind drei Stromkreise zu unterscheiden: 1. der Stromkreis der Oxydkathode, in dem der zur Erwärmung der Oxydkathode nötige Strom floß, 2. der Gitterkreis der Röhre, der an die Oxydkathode und die Hilfselektrode angeschlossen war und dem die Primärströme überlagert wurden, 3. der Stromkreis des Anodenstromes, der zwischen der Oxydkathode und der Anode lag und von dem die Sekundärströme abgenommen wurden[2]).

Dem Stromkreis zwischen Kathode und Anode wurden induktiv vom Mikrophonstromkreis zwischen Gitter und Kathode durch den Transformator T_2 Spannungen überlagert. Diese Spannungen verändern den Widerstand der Röhre in der Weise, daß der Haupt-

[1]) E. REISZ: ETZ 34, S. 1361, 1913.

[2]) EICHHORN: Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie 8, S. 448, 1914.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

strom, der von der Anode A zur Kathode K fließt, über den Transformator T das Telephon betätigt. Wie bereits erwähnt, ist der Widerstand der Gasentladung bei einer bestimmten Spannungsdifferenz zwischen K und H, die durch den Gleitkontakt c eingestellt werden kann, äußerst empfindlich. Die geringen Spannungsschwankungen, die von den Widerstandsveränderungen des Mikrophons herrühren, genügen deshalb, um die Stromstärke im Entladungsrohr sehr stark zu beeinflussen[1]).

Aus dem Laboratoriumsbuch ROBERT VON LIEBENS aus dem Jahre 1910 ist in Abbildung 12 eine Kurve wiedergegeben, die die Abhängigkeit des Entladungsstromes von der Gitterspannung darstellt. Ordinate ist die Gitterspannung, Abszisse ist die Entladungsstromstärke. Die gestrichelten Linien unterhalb der Kurvenäste stellen die Abhängigkeit der Stromstärke, die zwischen Kathode und Gitter fließt, von der Gitterspannung dar. Der handschriftliche Vermerk „Curventeil ohne Netz" bezieht sich auf das Gitter. Abb. 13 zeigt ein anderes Blatt aus dem Laboratoriumsbuch ROBERT VON LIEBENS und vermittelt einen Einblick in die Versuchsarbeiten aus dem Jahre 1910.

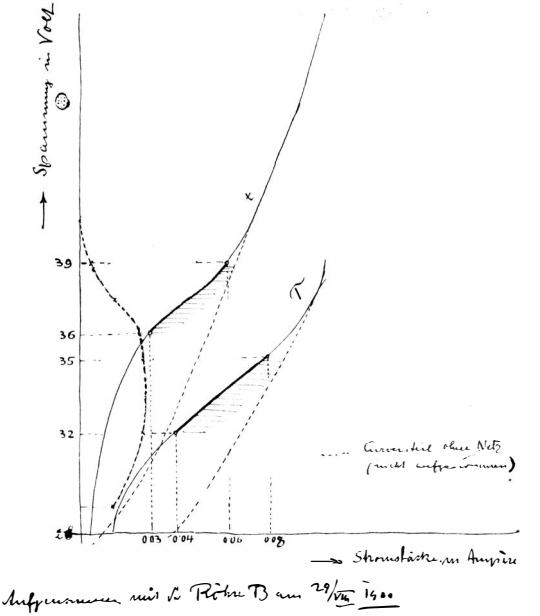


Abb. 12. Kurvenblatt aus dem Laboratoriumsbuch ROBERT VON LIEBENS aus dem Jahre 1910.

Das Relais nach dem DRP 249142, bei dem die durch den Ionisator bewirkte Änderung der elektrischen Leitfähigkeit mit Hilfe einer gitter- oder siebförmigen Hilfselektrode erfolgt, war mit den nachfolgend auszugsweise wiedergegebenen Patentansprüchen da-

[1]) DRP 249142 vom 20. Dezember 1910.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

durch gekennzeichnet, „daß die Hilfselektrode, welche den Raum zwischen Kathode und Anode vollständig scheidet, an eine kon-

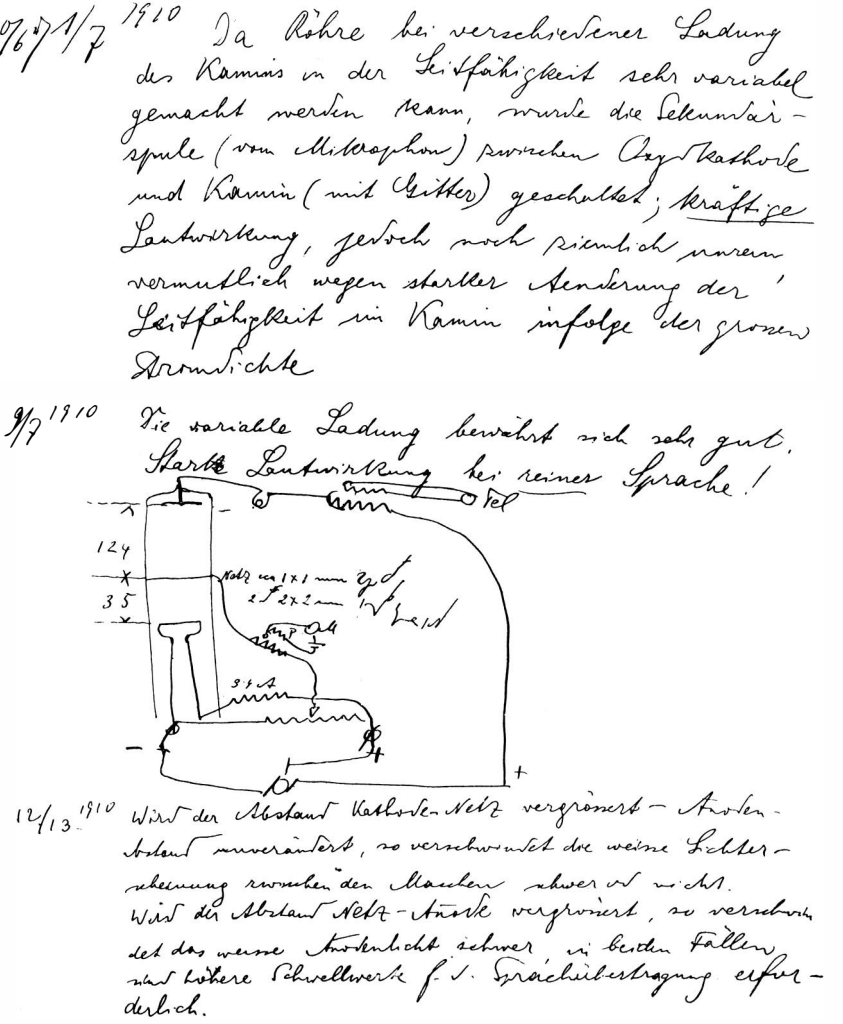


Abb. 13. Aus dem Laboratoriumsbuch ROBERT VON LIEBENS aus dem Jahre 1910.

stante, jedoch einstellbare Spannung gelegt ist, so daß ein von dieser Spannung abhängiger Verarmungsbereich an Ionen (Kathodendunkelraum) entsteht, wobei die zu verstärkenden Ströme diesen Verarmungsbereich beeinflussen, so daß vermittels des dadurch her-

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

vorgerufenen wechselnden Widerstandes der zu verstärkende Strom den Widerstandsänderungen proportionale Änderungen erfährt". Von den weiteren Ansprüchen sei noch erwähnt, „daß der die zu verstärkenden Stromwellen enthaltende Stromkreis an die Kathode (*K*) und Hilfselektrode (*H*) angeschlossen ist", ferner, „daß der Verarmungsbereich an der mit einer vergitterten Blendenöffnung versehenen Hilfselektrode durch ein elektrostatisch oder elektromagnetisch abgelenktes konvergierendes Kathodenstrahlenbündel der Ablenkung entsprechend wechselnd beeinflußt wird, welche Schwankungen des Verarmungsbereiches wechselnde Widerstände im Entladungskreis hervorrufen", und „daß in der Entladungsröhre (*R*) eine zweite, von der ersten unabhängige glühende Metalloxydkathode (K^1) angeordnet ist, welche zweckmäßig ebenso wie die Hilfselektrode (*H*) an eine eigene Stromquelle (*B*) angeschlossen ist, wobei die zu verstärkenden Stromschwankungen auf den Stromkreis zwischen der Hilfskathode und der Hilfselektrode einwirken". Der letzte Anspruch schließlich betraf die Ausführungsform des Relais, bei der „die Kathode als glühende Metalloxydkathode (WEHNELT-Kathode) ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, daß die glühend gemachten Bänder (Fäden), welche die Kathode[1]) bilden, auf einen Träger, dessen Achse zweckmäßig senkrecht zur Ebene der Hilfselektrode liegt, nach Art der Metallfadenlampen aufgewickelt sind, zum Zwecke, das direkte Auftreffen von Kathodenstrahlen auf die Hilfselektrode zu vermeiden".

In diesen Ansprüchen sind vor allem zwei Bedingungen grundlegend, erstens, daß das Gitter zwischen Kathode und Anode angebracht sein und zweitens, eine konstante einstellbare Spannung haben muß. Erst diese Maßnahmen gaben der Röhre die hohe Verstärkerwirkung. Die Patentrechtsprechung hat auch dieses Patent ROBERT VON LIEBENS als grundlegend für die Hochvakuumröhren-Verstärkertechnik anerkannt[2]).

β) Theorie der LIEBEN-Röhre bei Beginn ihrer Überführung in die Technik.

Bei der historischen Einstellung dieser Arbeit ist es von Wichtigkeit, auf die theoretischen Ansichten über die Entladungsvorgänge

[1]) Die Kathode wird durch eine Batterie von der in Telephonzentralen gebräuchlichen Spannung von 30 Volt auf helle Rotglut bis etwa 1000° gebracht. (E. REISZ: ETZ **34**, S. 1360, 1913.)

[2]) OTTO VON BRONK: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 11/12, 1923.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

in verdünnten Gasen hinzuweisen, die zur Zeit der Erfindung der LIEBEN-Röhre bestanden.

Wie das Studium der einschlägigen Literatur ergab, ist die Theorie der physikalischen Vorgänge, die sich in der LIEBEN-Röhre abspielen, bisher nur in einer einzigen Arbeit, nämlich in der von R. LINDEMANN und E. HUPKA zu klären versucht worden [1]). Daß die Verhältnisse hier so sehr kompliziert liegen, hat zwei Gründe. Eigentlich hat man es in der LIEBEN-Röhre mit drei, sich gegenseitig beeinflussenden und miteinander verkoppelten Entladungen zu tun. Nämlich 1. mit einer Entladung zwischen den auf verschiedenen Potentialen befindlichen Enden des Glühdrahtes selbst [2]). 2. Mit einer Entladung zwischen der Kathode und dem Gitter. 3. Mit einer Entladung zwischen dem Gitter (bzw. der Kathode) und der Anode (Abb. 14).

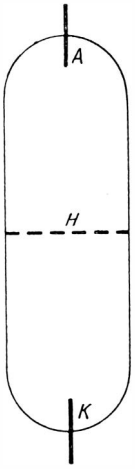


Abb. 14.

Die zweite Gruppe von Gründen, die eine Einsicht in die tatsächlichen Vorgänge erschwert, hängt mit dem ganzen Komplex von Fragen zusammen, welche Vorgänge sich an einer in eine Entladung eintauchende Metallsonde abspielen und wie die sich um die Sonde lagernden Raumladungsschichten das Sondenfeld vom Entladungsraum abschirmen.

Bei der LIEBEN-Röhre herrschen, entsprechend den ursprünglichen theoretischen Ansichten über Gasentladungsvorgänge in dem Raum zwischen Kathode und Sieb im wesentlichen die Verhältnisse der WEHNELT-Röhre, während in dem Raum zwischen Sieb und Anode eine selbständige Glimmlichtentladung stattfindet. Da das Sieb nach der Anode zu als Kathode wirkt, ist am Sieb ein Dunkelraum festzustellen. Durch den Übergang der Ionen aus einem Raum in den anderen beeinflussen sich die Entladungsvorgänge in beiden Räumen gegenseitig und zwar so, daß bei zunehmender Spannung zwischen der Kathode und dem Sieb die durch das Sieb von unten her durchtretende Ionenmenge entsprechend wächst. Die Wegstrecke, die die Elektronen zur Stoßionisation durchwandern müssen, hängt nicht nur von der Natur des Gases und vom Gasdruck sondern auch von der

[1]) R. LINDEMANN u. E. HUPKA: Archiv für Elektrotechnik 3, S. 49, 1914.

[2]) Bei dem damaligen Stand der Technik der Glühkathoden war es augenscheinlich nicht möglich, Glühkathoden mit einer Heizspannung herzustellen, die unterhalb der Zündspannung der Entladung im Quecksilberdampf liegt.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Stromdichte ab. Bei großer Stromstärke, d. h. Elektronendichte, kann nach der Annahme von R. SEELIGER[1]) — vom Molekül wird nicht gleich beim ersten Stoß ein Elektron abgespalten, sondern erst nachdem es durch mehrere Stöße gelockert ist (entsprechend der später durch Vorstellungen der Quantentheorie begründeten „ratenweisen" Ionisierung) — die Energie der einzelnen Stoßteilchen, die erforderlich ist, um Stoßionisation hervorzurufen, kleiner sein als bei geringer Stromstärke. In der LIEBEN-Röhre liegen die Verhältnisse demnach so, daß die Lockerung der Dampfatome durch die aus dem Raum zwischen Kathode und Sieb hindurchtretenden negativen Teilchen im ganzen Dunkelraum, aber auch noch an der anderen Seite des Siebes hervorgerufen werden kann. Der Kathodenfall wird dadurch kleiner. Den Beweis hierfür liefert die Zunahme des Stromes zwischen Anode und Kathode.

Weiter aber ist es möglich, daß die nach oben durch das Sieb tretenden Elektronen bereits früher auf ein Teilchen stoßen und von diesem ein Elektron abspalten. Demzufolge müßte der Dunkelraum kleiner werden. Experimente haben diese theoretischen Schlußfolgerungen bestätigt.

Die Veränderung des Kathodenfalles im Siebe durch die Ionen und Elektronen, die aus dem Raum zwischen Kathode und Sieb in den Anodenraum eintreten, ist demgemäß nach den damaligen Anschauungen das Charakteristische der Entladung in der LIEBEN-Röhre.

Mit Hilfe der vorstehenden Darlegungen kann die Verstärkerwirkung der LIEBEN-Röhre und die für die Röhre charakteristische Kurve $J = f(i)$ erklärt werden.

Für die Ableitung der Verstärkerwirkung gilt folgende Gleichung:

$$E - JR = A + K + V$$

oder

$$J = \frac{E - K - (A + V)}{R}.$$

E = Batteriespannung, J = Stromstärke, R = äußerer Widerstand, A = Anodenfall, K = Kathodenfall, V = Spannungsabfall im Restteil der Entladungsbahn.

Wenn also der Kathodenfall abnimmt, wird der Strom J größer. Bei der Vernachlässigung von $A + V$ neben K wird

$$J = \frac{E - K}{R}\ ^{2)}.$$

[1]) R. SEELIGER: Ann. Physik (4) 18, S. 764—780, 1912.

[2]) R. LINDEMANN und E. HUPKA: Archiv für Elektrotechnik 3, S. 53, 1914.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Wenn der Strom i im Siebkreis nach und nach größer wird, so treten nur wenig Ionen durch das Sieb nach oben. Der Kathodenfall wird nicht wesentlich verkleinert. Sobald der Strom i eine gewisse Stärke erlangt hat, erfolgt im unteren Teil der Röhre Stoßionisation, wodurch wieder eine plötzliche Verminderung des Kathodenfalles eintritt, die entsprechend der für J maßgebenden Gleichung um so deutlicher wird, als sie in dem zunächst kleinen Unterschied $E - K$ auftritt. Wenn der Strom i weiter wächst, so nimmt die Anzahl der Ionen, die nach oben hin durchtreten, weniger zu als zu Beginn der Stoßionisation. Infolge des nun größeren Wertes des Unterschiedes $E - K$ wirkt die Verringerung von K auf J weniger ein. Wenn $K = o$ ist, wird J durch i kaum noch beeinflußt. In der Kurve (Abb. 15) ist die daraus folgende Beziehung zwischen J und i wiedergegeben. Zwischen $a - b$ ist die Zone der größten Verstärkung, also das Stadium der eintretenden Stoßerregung im unteren Entladungsraum.

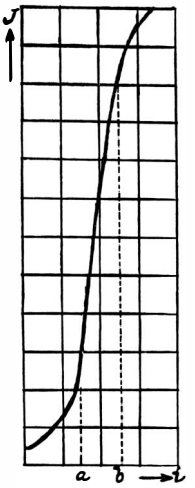


Abb. 15.

Die bisher geführten Betrachtungen gelten für alle langsamen Änderungen. Bei schnellen Änderungen, wie sie besonders bei der Verstärkung durch die LIEBEN-Röhre vorkommen, liegen die Verhältnisse im wesentlichen anders. Die dabei beobachteten Erscheinungen sind nach Ansicht von R. LINDEMANN und E. HUPKA auf eine gewisse Trägheit der die Entladung beeinflussenden Vorgänge zurückzuführen. Diese Annahme wurde auf Grund von Versuchen gemacht, die mit Gleichstrom, 50periodigem Wechselstrom und hochfrequenten Schwingungen angestellt wurden. Dieser Ansicht zufolge wäre die LIEBEN-Röhre für die Verstärkung großer Ströme auf Grund der durch Stoßionisation verursachten Verzerrungen nicht geeignet gewesen. Die Untersuchungen ergaben aber, daß die Verwendung der LIEBEN-Röhre in der Fernsprechtechnik wegen der geringen Intensität der Sprechströme große Vorteile bot[1]).

Zu jener Zeit war der Raumladungscharakter einer „unipolaren" Entladung, in der also nur Ladungsträger eines Vorzeichens vorkommen, wie wir sie in der Hochvakuumröhre vor uns haben, bereits

[1]) R. LINDEMANN und E. HUPKA: Archiv für Elektrotechnik 3, S. 63, 1914.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

bekannt. Die erste Ableitung der Raumladungscharakteristik hat CHILD [1911][1]) gegeben. Sie ist später auch durch LANGMUIR[2]) und SCHOTTKY[3]) ergänzt und erweitert worden. Diese Forscher haben sich eingehender in den Mechanismus der unipolaren Entladung vertieft. Es ist schon damals erkannt worden, daß der innere Widerstand einer Gasstrecke, in welcher Ladungsträger beiden Vorzeichens, also Elektronen und Ionen, in der Hauptsache mitwirken, und mit ihm der Spannungsbedarf infolge Vernichtung der Raumladungswirkung durch die entgegengesetzte Ladung wesentlich reduziert werden.

Man findet in der Arbeit von R. LINDEMANN und E. HUPKA die Erkenntnis dieser gerade für die LIEBEN-Röhre sehr wichtigen Zusammenhänge allerdings nicht berücksichtigt. Weiter hätte man auf einen Einfluß hinweisen müssen, der zwar erst viel später wissenschaftlich geklärt worden ist, für den aber doch rein phänomenologisch gewonnenes Beobachtungsmaterial schon reichlich vorlag. Dies ist die Frage: Wie beeinflußt die in den Weg einer Dampfentladung gestellte Sonde die Teilchen entgegengesetzter Ladung? In einer vollendeten Form ist die Sondentheorie vor kurzer Zeit von J. LANGMUIR entwickelt worden. Aber schon J. STARK, J. J. THOMSON u. a. hatten die Wirkung von Sonden auf den Stromdurchgang durch Gase seiner Zeit beschrieben.

An einer solchen Sonde (Hilfselektrode) entsteht ein Potentialsprung, der von einer Doppelschicht von entgegengesetzten Ladungen herrührt.

Es kann daher in einer bipolaren Strömung, die positive und negative Ionen, also schwer bewegliche Teilchen enthält, die steuernde Ladung, die augenblicklich der als Sonde wirkenden Hilfselektrode aus einem äußeren Stromkreis zugeführt wird, durch eine Doppelschicht entgegengesetzt geladener Gasteilchen neutralisiert werden. Auf diesen Verhältnissen beruhen die Grenzen der LIEBEN-Röhre. Wenn die Doppelschichten am Siebe schließlich infolge zu hohen Dampfdruckes aus Ansammlungen von positiven und negativen Gasionen in genügender Konzentration bestehen, dann kann der Fall eintreten, daß die steuernde Wirkung der Hilfselektrode aufhört (Kompensationseffekt). Es kommt also darauf an, in einem

[1]) C. CHILD: Physic. Rev. **32**, S. 492, 1911.
[2]) J. LANGMUIR: Physic. Rev. **2**, S. 450, 1913; Physik. Z. **15**, S. 348, 1914.
[3]) W. SCHOTTKY: Physik. Z. **15**, S. 526, 1914.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Dampfdruckgebiet zu arbeiten, wo die Strömung zwischen Kathode und Steuergitter im wesentlichen noch aus Elektronen besteht und höchstens soviel positive Ionen gebildet werden, daß der Einfluß der Raumladung an der Glühkathode verringert wird. Es ist dann aber auch nicht gleich, ob man am Steuergitter Wechselströme niederer oder hoher Frequenz zuführt. Bei Wechselstrom niederer Frequenz haben die Gasionen Zeit, sich um das Gitter herumzulagern und seine Ladung zu neutralisieren. Aber bei hohen Frequenzen haben die trägen Gasionen infolge ihrer geringen Beweglichkeit diese Zeit nicht. Die Folge wird sein, daß die Röhre hohe Frequenzen besser verstärkt als niedere Frequenzen. Denn für die niederen Frequenzen bilden sich keine steuernden Potentialschwankungen an der Hilfselektrode aus. Die gleiche Ursache, die Ionenträgheit, kann auch in der Gitter-Kathodenstrecke allein wirken, wenn sie infolge einer negativen Charakteristik Verstärkereigenschaften hat. Eine geringe Erhöhung der Potentialdifferenz zwischen Gitter und Kathode löst dann einen verstärkten Strom nur bei höheren Frequenzen aus, während sie bei niedrigen Frequenzen durch eine Schicht negativer Quecksilberdampfionen kompensiert wird. Die Kurven in der Arbeit von LINDEMANN und HUPKA zeigen, daß eine der Grundfrequenz des zugeführten Wechselstromes überlagerte höhere Frequenz im Gitterstrom selektiv verstärkt wurde. Dieses dürfte eher auf der Trägheit der Ionen in der Quecksilberdampfröhre beruhen als, wie LINDEMANN und HUPKA annahmen, auf kapazitiven Einflüssen.

Diese selektive Verstärkung ist also in der LIEBEN-Röhre schon vorhanden und wird in modernen Röhren bewußt verwertet. Sie ermöglicht die Heizung des Glühfadens einer gasgefüllten Audionröhre mit Außensteuerelektrode direkt aus dem Wechselstromnetz, wobei der Zusammenhang zwischen Ionenträgheit und Kompensationseffekt zur selektiven Nichtverstärkung der niedrigen Heizstromfrequenz benutzt wird.

γ) Abhängigkeit der Verstärkungszahl vom Gasdruck.

ROBERT VON LIEBEN und seine Mitarbeiter stellten weitere Versuche an, um die Abhängigkeit der Verstärkungszahl vom Gasdruck zu klären[1]). Den Versuchen, die erfolgreich abgeschlossen werden

[1]) Beim Abschmelzen der Röhre von der Luftpumpe ergaben sich einige Übelstände. Es zeigte sich nämlich, daß die Röhre nach ganz kurzer Zeit nach dem Abschmelzen ihre Verstärkerwirkung fast vollständig verlor. Nach langwierigen Untersuchungen konnte der Fehler festgestellt werden; es war

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

konnten, lagen folgende Überlegungen zugrunde. Das Anfangspotential wird, wenn Quecksilberdämpfe vorhanden sind, stark erniedrigt, da der Dampf die Stromleitung übernimmt und dessen Ionisierungsspannung geringer ist als die des Gases. Außerdem sind für eine Ionisierungsänderung in den Gitteröffnungen geringere Spannungen erforderlich und demzufolge ändert sich auch in erhöhtem Maße die Abhängigkeit des Anodenstromes von der Hilfselektrodenspannung. Deshalb wurde die Gasentladung vorteilhaft durch eine Dampfentladung ersetzt. In einem besonderen Ansatz der Röhre (Abb. 16) wurde Quecksilber vorgesehen, um den Dampfdruck konstant zu erhalten, der bei 20° C 0,001 mm betrug. Diese Anordnung unterschied sich von bereits früher angegebenen dadurch, daß die Stromleitung nicht nur vom Dampf sondern teilweise auch vom vorhandenen Gas übernommen wurde. Der Kathodenfall wurde, wie bereits erwähnt, durch die Verwendung glühender Metalloxydkathoden herabgesetzt. Für eine gleichmäßige Entladung genügten schon ganz geringe Drucke. Röhren, die den Versuchsergebnissen entsprachen, hatten ungefähr eine Lebensdauer von 1000 Brennstunden, einzelne sogar von 3600 Brennstunden[1]).

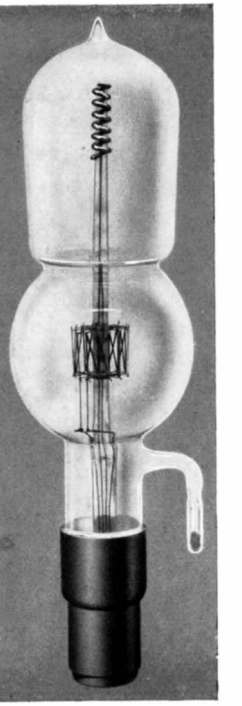


Abb. 16. Lieben-Röhre.

Das DRP 254588 vom 13. Juli 1911 von Robert von Lieben, Eugen Reisz und Siegmund Strauss „Verfahren zur Erhöhung der Lebensdauer, Gleichmäßigkeit und Ökonomie von Entladungsröhren mit glühender Kathode" hat die vorstehend dargelegten Erfahrungen zum Gegenstand.

Das Kennzeichen dieses Verfahrens bestand darin, „daß in die Entladungsröhre nebst dem leitenden Gas eine das Entladungspotential herabsetzende, Dampf liefernde elektropositive Substanz (z. B. Quecksilber, Metallamalgame oder dgl.) gebracht wird, deren

nämlich für das Vakuum von 0,00035 mm Quecksilberdruck auch noch der Druck des Quecksilberdampfes bei gewöhnlicher Zimmertemperatur notwendig, um die gleichmäßige Wirkung der Verstärkung sicherzustellen. (S. Strauss: Deutscher Rundfunk **2**, S. 2136, 1924.)

[1]) E. Reisz: ETZ **34**, S. 1361, 1913.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Dampf die Stromleitung zum Teil übernimmt, und deren Dampfdruck durch die Wahl der Temperatur dieser Substanz geregelt werden kann, zum Zwecke, eine gleichmäßige Funktion sowie eine erhöhte Lebensdauer herbeizuführen".

Der zweite Anspruch bezieht sich auf die Vorrichtung zur Ausübung dieses Verfahrens und lautet: „Ausführungsform des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die dampfliefernde Substanz in Form eines dünnen Niederschlages an die Innenwand der Entladungsröhre oder eines Ansatzes derselben gebracht wird, zum Zwecke, den Dampfdruck je nach der Dicke der Schicht herabzusetzen".

IV. Überführung der LIEBEN-Röhre in die Technik.

Im Jahre 1912 war die LIEBEN-Röhre soweit vervollkommnet und arbeitete so befriedigend, daß ihr Erfinder sich entschloß, sie in größerem Umfange der Praxis zugänglich zu machen. ROBERT VON LIEBEN wollte die gewerbliche Ausnutzung seiner Erfindung zuerst einem kleineren Unternehmen übertragen. Professor NERNST riet ihm aber davon ab und empfahl ihn an die Großindustrie.

NERNST lud im Februar 1912 die ihm nahestehenden Herren EMIL RATHENAU, WILHELM VON SIEMENS und Graf ARCO in das damals unter seiner Leitung stehende Institut für physikalische Chemie der Universität Berlin ein, um sie mit der Erfindung ROBERT VON LIEBENS bekannt zu machen. Bei dieser Gelegenheit wurde der in Abb. 17 abgebildete Verstärkungsapparat mit Lautsprecher vorgeführt, und zwar mit dem Erfolg, daß ein in einem Nebenzimmer aufgestelltes normal besprochenes Mikrophon den großen Hörsaal des Instituts mit Sprache und Gesang vollkommen erfüllte. Es war verblüffend, daß die Sprache, die zeitweise durch vorgeschaltete Widerstände stark abgeschwächt war, durch die Einschaltung des Verstärkers in mehreren Stufen wieder bis zur ursprünglichen Lautstärke ohne Verzerrung hörbar wurde[1]).

Die anwesenden führenden Persönlichkeiten der Industrie zeigten für die Erfindung größtes Interesse[2]). Es wurde ein Konsortium[3])

[1]) S. STRAUSS: Deutscher Rundfunk **2**, S. 2136, 1924.

[2]) „Es war uns sofort klar, daß die Röhre für solche Zwecke viel zuverlässiger und wirksamer sein müsse als der Mikrophonverstärker." (Graf ARCO: Telefunken-Festschrift, S. 39, 1928.)

[3]) Der Vertrag mit diesem Konsortium wurde am 19. Februar 1912 abgeschlossen.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

gebildet, dem die Firmen: Allgemeine Elektricitätsgesellschaft, Siemens & Halske A.-G., Felten & Guilleaume Carlswerk A.-G. und die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie angehörten [1]). Diese Interessengemeinschaft, als LIEBEN-Konsortium bekannt, übernahm die weitere technische Durchbildung [2]) der LIEBENschen Verstärkerröhre und die allgemeine Verwertung der in allen Kulturstaaten erteilten LIEBEN-Patente [3]) [4]).

Das Laboratorium für den weiteren Ausbau der LIEBEN-Röhre blieb bei einem der größeren Mitglieder des LIEBEN-Konsortiums, der AEG (Abb. 18 u. 19). Die Telefunken-Gesellschaft bezog von

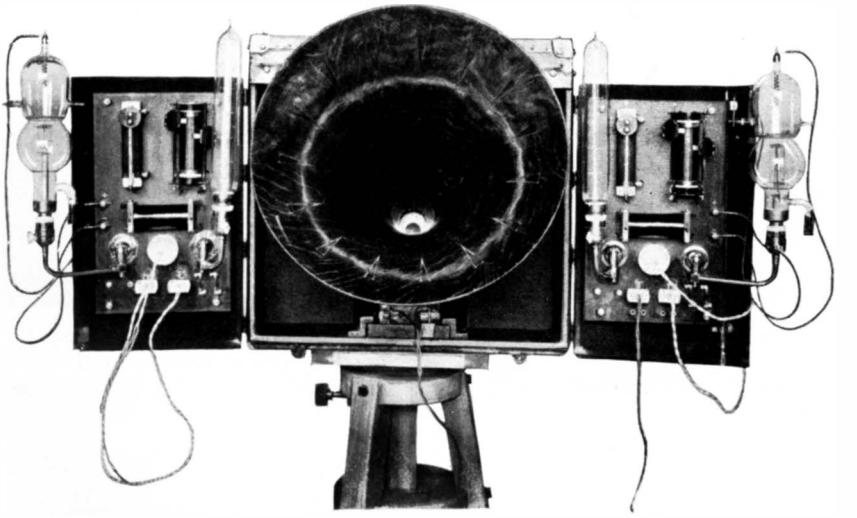


Abb. 17. Verstärkungsapparat mit LIEBEN-Röhren und Lautsprecher.

dort auch die ersten LIEBEN-Röhren [5]). Um die weitere Entwicklung der Verstärkerröhren hat sich besonders die Telefunken-Gesellschaft verdient gemacht [6]).

Wegen der Abhängigkeit des Quecksilberdampfdruckes von

[1]) E. REISZ: ETZ **34**, S. 1363, 1913.

[2]) Graf ARCO: Telefunken-Festschrift, S. 39, 1928.

[3]) E. REISZ: ETZ **38**, S. 22, 1914.

[4]) Die LIEBEN-Röhren wurden im Jahre 1912 auf dem Londoner Kongreß für drahtlose Telegraphie ausgestellt, wo sie wegen ihrer intensiven Farben sogar als Tafeldekoration verwandt wurden. (H. RUKOP: Telefunken-Festschrift, S. 115, 1928.)

[5]) H. RUKOP: Telefunken-Festschrift, S. 115, 1928.

[6]) A. MEISSNER: ETZ **40**, S. 65, 1919.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

der Außentemperatur, die oft den Betrieb erschwerte, ging man bald dazu über, reinen Elektronenstrom im hohen Vakuum zu erzeugen. Diese entscheidende Umstellung erforderte Forscher-

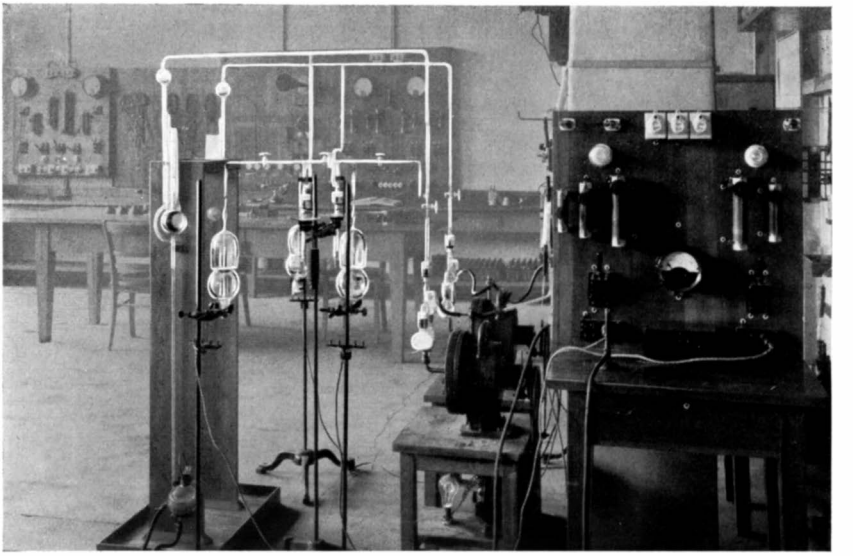


Abb. 18. Herstellung der LIEBEN-Röhren im Laboratorium im Jahre 1913.

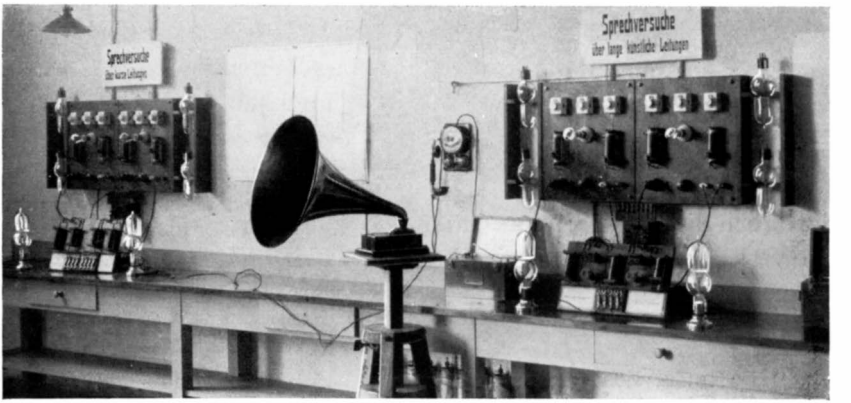


Abb. 19. Die ersten Versuche der Sprachübertragung mit LIEBEN-Röhren mit langen Kabelleitungen im Jahre 1913.

mut, denn der antiphysikalische Geist, der damals in der drahtlosen Telegraphie herrschte, brachte es mit sich, daß die rein physikalischen Grundlagen nicht eindeutig geklärt waren. Man glaubte, daß sich

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

nur bei Ionenbildung in der Röhre ein Verstärkereffekt erzielen ließe. Es fehlte also noch die Erkenntnis, daß für die Verstärkerwirkung der Röhre eine Gasionisation überhaupt nicht erforderlich war. Durch gemeinsame Versuche mit dem Röhrenlaboratorium der Accumulatoren-Fabrik Aktiengesellschaft wurde aber festgestellt, daß alle auf Gasentladungen beruhenden Verstärkerröhren auf längere Zeit nicht genügend zuverlässig arbeiteten[1]). Aus diesen Versuchsergebnissen folgerte man die Vorteile eines Elektronen-Relais ohne Gasionen und begann, Röhren von hohem Vakuum zu bauen[2]) (Abb. 20). Das Vakuum dieser Röhren besaß große Konstanz. Nach diesem Prinzip wurden Röhren gebaut, die mit reinen Wolframdrahtkathoden ausgestattet waren. An Stelle des Wolframdrahtes der Kathode wurde später ein Oxyddraht verwandt, der mit mehreren dünnen Schichten von Erdalkalioxyden bedeckt war. Die Abb. 21 zeigt eine der ersten LIEBEN-Röhren neben Hochvakuumröhren[3]).

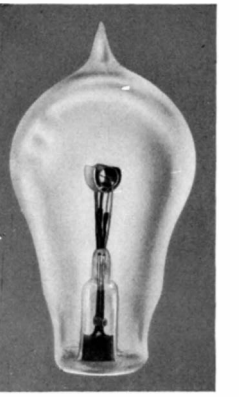


Abb. 20. Hochvakuumröhre (1914).

Bei den späteren Konstruktionen wurden die Elektroden bei der Verstärkerröhre zylindrisch angeordnet, wie das aus dem Ventilröhrenbau bereits bekannt war[4]) (Abb. 22).

Die bisher beschriebenen Versuche mit Elektronenverstärkerröhren bezweckten die Verstärkung niederfrequenter Ströme. Die VON BRONKsche Erfindung der Hochfrequenzverstärkung[5]) mit der Elektronenverstärkerröhre brachte für den Empfang drahtloser Wellen den größten Fortschritt insbesondere für Empfangsmöglichkeit weit entfernter Sendestationen (Abb. 23) sowie für den Empfang mit kleinen Antennen (Rahmenantennen).

---

[1]) H. RUKOP: Telefunken-Festschrift, S. 117, 1928.

[2]) G. GRUSCHKE: Siemens-Zeitschrift 3, S. 115, 1923. — H. RUKOP: Telefunken-Festschrift, S. 116, 1928. — Die ersten Versuche in Deutschland zur Herstellung von Hochvakuumröhren wurden von der Telefunken-Gesellschaft und unter Unterstützung von Prof. M. PIRANI in der Glühlampenfabrik von Siemens & Halske unternommen. (RUKOP: Telefunken-Festschrift, S. 115, 1928.)

[3]) E. FEYERABEND: 50 Jahre Fernsprecher in Deutschland, S. 96, 1927.

[4]) OTTO VON BRONK: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 13, 1923.

[5]) DRP 271059 vom 3. September 1911.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

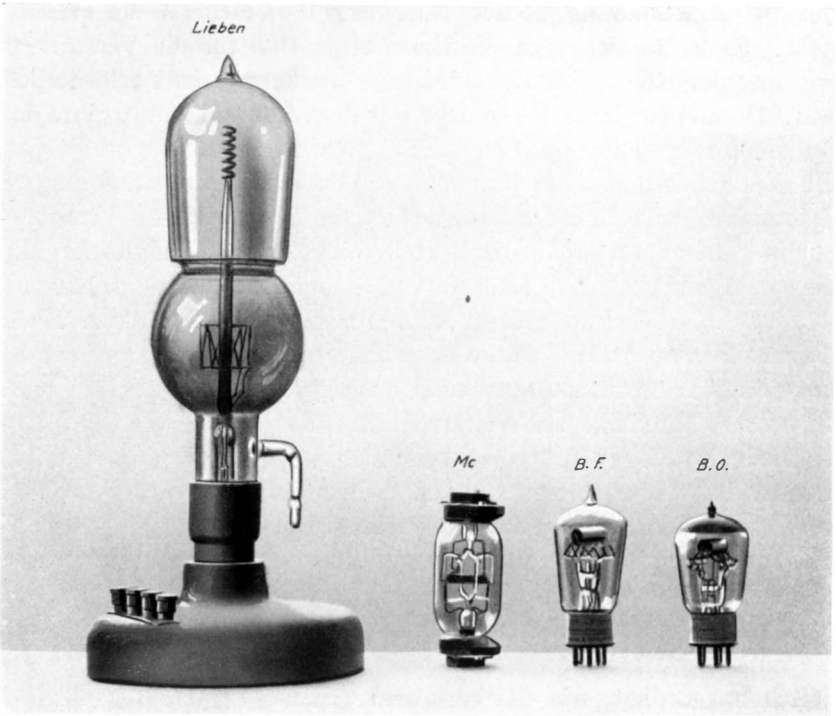


Abb. 21. LIEBEN-Röhre und Hochvakuum-Röhren (Typen Mc, B. F., B. O.).

Abb. 22. Röhre mit konzentrischen Elektroden.

Die Verstärkerröhre fand im Gleichschritt ihrer technischen Vervollkommnung rasch anwachsende Anwendung auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie und Telephonie. Sie diente aber auch in immer steigendem Maße für die wissenschaftliche Forschung der Physik und vieler Grenzgebiete, z. B. der Physiologie. Einzelvorgänge bei der elektrischen Entladung oder der Magnetisierung des Eisens, auch die gegenwärtigen Versuche über die elektrische Fernwirkung des menschlichen Körpers werden mit ihrer Hilfe durchgeführt.

In der Tat hat es in der Geschichte der Technik wohl niemals einen Apparat gegeben,

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

der ein Gebiet so umgestaltet hat wie die Elektronenröhre die drahtlose Telegraphie[1]).

Schon in den Anfängen der drahtlosen Telegraphie versuchte man, auch Elektronenröhren als Schwingungserzeuger zu verwenden. Aber erst durch die praktische Anwendung des Rückkopplungsprinzipes bei den gesteuerten Glühkathodenröhren, eine Entwicklung, die nach dem Tode ROBERT VON LIEBENS umfassend einsetzte und deren ausführliche Darstellung über das gestellte Thema hinausführen würde, konnte sich die LIEBEN-Röhre dieses wichtige Anwendungsgebiet in größtem Umfange erobern[2]).

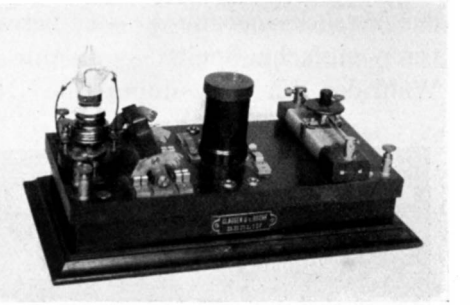


Abb. 23. Erster Hochfrequenzverstärker aus dem Jahre 1911 von OTTO VON BRONK (mit Glühkathodenröhre nach L. DE FOREST und Thermodetektor [Tellur-Bleiglanz]).

Das Rückkopplungsprinzip selbst war bereits durch die Arbeiten von PIEPER [1904][3]), VREELAND [1905][4]) und SINDING-LARSEN [1908][5]) bekannt.

Der Mitarbeiter ROBERT VON LIEBENS, Ingenieur SIEGMUND STRAUSS, meldete als erster ein Patent auf eine gekoppelte Elektronenröhre zur Schwingungserzeugung an. STRAUSS beobachtete

Abb. 24. Erster Überlagerer mit LIEBEN-Röhre als Schwingungserzeuger nach A. MEISSNER (1913).

[1]) J. ZENNECK: Elektrizität und Telegraphie, Das Deutsche Museum, S. 230, 1925.

[2]) OTTO VON BRONK: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 14, 1923.

[3]) DRP 173396 vom 27. September 1904.

[4]) USA-Patent 829447 vom 28. Februar 1905.

[5]) Norwegisches Patent 18491 vom 8. Februar 1908.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

bei den Arbeiten mit der LIEBEN-Röhre eine Nebenerscheinung, die oft störte, und zwar das Selbsttönen des angeschlossenen Telephons; er fand, daß der pfeifende Ton jedesmal auftrat, wenn die Gitterspule der Anodenspule räumlich benachbart war. Durch Änderung der Versuchsanordnung — er verwandte an Stelle der Transformatoren einfache Spulen — konnte er erreichen, daß bei richtiger Wahl des Wicklungssinnes eine „Rückkopplung" der Anoden- und

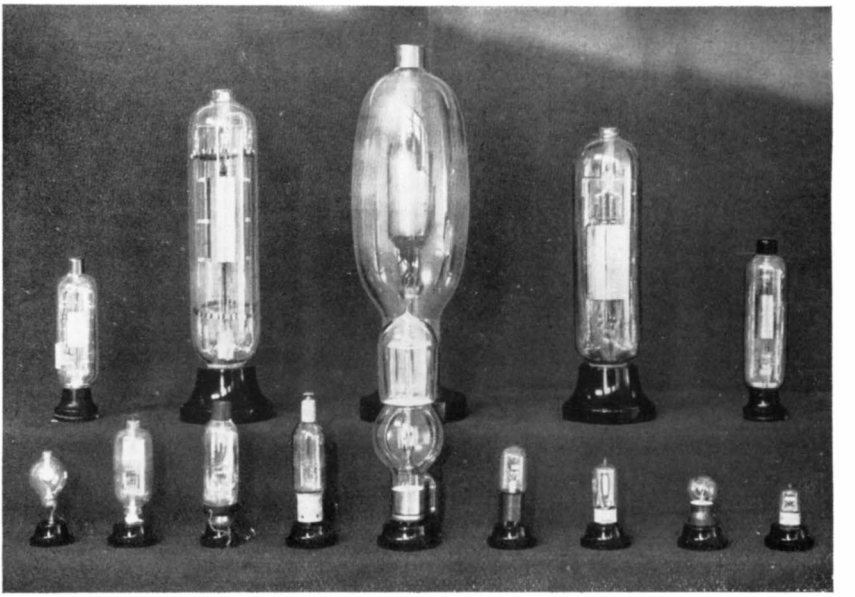


Abb. 25. Gruppe aus der Entwicklung der Elektronen-Röhren. In der Mitte der unteren Reihe die LIEBEN-Röhre. (Deutsches Museum, München.)

Gitterspule Schwingungen auslöste[1]). S. STRAUSS meldete auf diese Anordnung das österreichische Patent Nr. 71340 am 11. Dezember 1912 an.

Gute Resultate durch rückgekoppelte Elektronenröhren wurden in größerem Umfange erst mit Hilfe der Erfindung von Dr. A. MEISSNER erreicht, dessen Verfahren zur Schwingungserzeugung mit Hilfe rückgekoppelter Glühkathodenröhren[2]) in allen Kulturstaaten paten-

[1]) R. ETTENREICH: Radiotechnik 4, S. 91, 1927.

[2]) DRP 291604 vom 10. April 1913.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

tiert[1]) und von der Telefunken-Gesellschaft in die Praxis übergeführt wurde [Abb. 24][2]) [3]).

Das Deutsche Museum in München hat eine Sammlung (Abb. 25) fast aller Konstruktionen von Elektronenröhren von der kleinsten Verstärkerröhre bis zu den größten Senderöhren ausgestellt, aus der man recht deutlich die einzelnen Etappen der Entwicklung feststellen kann.

V. Zur Klärung der Prioritätsfrage zwischen Robert von Lieben und Lee de Forest.

1. Prioritätsanspruch von Lee de Forest.

Die Erfindung der Elektronenverstärkerröhre durch Robert von Lieben war für die gesamte Technik ein großes Ereignis und der Beginn einer Umwälzung in der Fernmeldetechnik. Die meisten bis dahin in Anwendung gekommenen Relais wurden bald nach Einführung der Lieben-Röhre aus dem Betrieb gezogen.

Wie das bei Pionierpatenten oft der Fall ist, wurde auch nach dem Bekanntwerden der grundlegenden Patente Robert von Liebens von einigen Stellen versucht, dessen Priorität anzuzweifeln. Vor allem von dem amerikanischen Physiker Lee de Forest, der für sich nicht nur die Priorität in Anspruch nahm, das Gitter für Detektorröhren als erster vorgeschlagen[4]) — diese Priorität steht ihm ohne Zweifel zu[5]) — sondern er behauptete auch, als erster die Bedeutung des Gitters für Verstärkerröhren festgestellt zu

---

[1]) Otto von Bronk: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 17, 1923.

[2]) A. Meissner: ETZ **40**, S. 65, 1919.

[3]) Der Vollständigkeit halber sei hier auch noch auf die Patentliteratur aus der Entwicklung der Elektronenröhre als Überlagerer und Schwingaudion verwiesen: Fessenden: DRP 207329 vom 4. Juli 1905. — Franklin: Brit. Patent 13636 vom 12. Juli 1913. — Telefunken: DRP 290256 vom 16. Juli 1913. — Telefunken: DRP 304020 vom 25. Januar 1914. — Langmuir: DRP 302894 vom 30. Dezember 1914. — Armstrong: USA-Patent 1113149 vom 29. Oktober 1913. — Round: Brit. Patent 28413/13 vom 9. Dezember 1913. — Arco-Meissner (Erfinder Otto von Bronk): DRP 290257 vom 15. Dezember 1913. (Otto von Bronk: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 19, 1923.)

[4]) J. A. Fleming hat das Verdienst, die Glühkathoden-Detektorröhre den Zwecken der drahtlosen Telegraphie nutzbar gemacht zu haben. (DRP 186084 vom 12. April 1905; Brit. Priorität vom 16. November 1904. — Otto von Bronk: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 7, 1923.)

[5]) Otto von Bronk: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 9, 1923.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

haben[1]). Für die Klärung dieser Prioritätsfrage werden im folgenden an Hand der Patentliteratur — wohl die eindeutigste Quelle — die Versuche LEE DE FORESTS nach seinem eigenen Berichte wiedergegeben, die zur Begründung seines Prioritätsanspruches angeführt wurden.

2. Erfindertätigkeit LEE DE FORESTS.

Auf Grund von Versuchen, die LEE DE FOREST mit einer Gasflamme anstellte, die für sehr schwache Töne empfindlich war, kam er im Jahre 1900 auf den Gedanken, einen Detektor mit heißem Gase — einem durch Wärme ionisierten Medium — zu schaffen[2]).

Die Versuche wurden mit einer Gasflamme durchgeführt, die mit Hilfe von Salzen der alkalischen Metalle elektrisch leitend gemacht wurde. In den leuchtenden Teil der Flamme wurden zwei kleine Platinelektroden eingeschaltet, die 2 mm voneinander abstanden. Bei dieser Anordnung genügte eine EMK von 6—18 Volt, um einen Strom von der Größenordnung eines Milliampere durch die Flamme zu schicken. Die Leitfähigkeit der Flamme soll nach dem Berichte LEE DE FORESTS in besonderem Maße durch schwache Hochfrequenzströme beeinflußt worden sein. Die dadurch hervorgerufenen Änderungen waren mit Hilfe eines Telephonempfängers, der mit beiden Elektroden im Batteriekreis geschaltet war, nachzuweisen.

Von seinen im Jahre 1903 angestellten weiteren Versuchen auf diesem Gebiete berichtet LEE DE FOREST, daß dieselben Erscheinungen in der unmittelbaren Umgebung eines elektrischen Lichtbogens beobachtet werden konnten. Wegen der Unregelmäßigkeiten des Lichtbogens und der dabei auftretenden großen Potentialdifferenzen wurden aber nur unbefriedigende Detektorwirkungen erzielt. LEE DE FOREST arbeitete deshalb im weiteren Verlauf seiner Versuche mit Glühlampen, die mit Gas gefüllt waren. Er nannte eine solche Vorrichtung, die imstande war, Wechselstrom gleichzurichten, einen Heißgasdetektor.

Im Jahre 1903 meldete LEE DE FOREST in den Vereinigten Staaten von Nordamerika sein erstes Patent auf einen Heißgasdetektor an, das aber wieder fallen gelassen wurde. Am 4. November 1904 meldete er sein nächstes Patent an, das am 5. Februar 1905 eingetragen

---

[1]) LEE DE FOREST: ETZ **35**, S. 700, 1914. The Life and Work of LEE DE FOREST, Radio News **6**, S. 1870, 1925.

[2]) LEE DE FOREST: Der Audion-Detektor und Verstärker. ETZ **35**, S. 700, 1914 (nach der Handschrift übersetzt von Dr. M. IKLÉ).

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

wurde, aber erst im Jahre 1910 herauskam. In der Zeit von 1904 bis 1907 arbeitete LEE DE FOREST an verschiedenen Ausführungsformen seiner Detektoren. Um die Leitfähigkeit des Gases zu erhöhen, benutzte er vielfach Quecksilber als Anodenmaterial[1])[2]).

Erst am 25. Oktober 1906, nahezu 8 Monate später als ROBERT VON LIEBEN das DRP 179807 auf sein Kathodenstrahlen-Relais beantragt hatte, meldete LEE DE FOREST in den Vereinigten Staaten von Nordamerika das Patent Nr. 841387 auf eine Anordnung unter dem Titel „Device for amplifying feeble electrical currents" an, das am 15. Januar 1907 erteilt wurde. In dieser Patentschrift wurde die untenstehend wiedergegebene Schaltung veröffentlicht (Abb. 26). Die Abbildung zeigt eine Drei-Elektrodenröhre in Niederfrequenz-Verstärkerschaltung[3]), bei der die von der Antenne *V* übernommenen Schwingungen über den Detektor *T* dem Gitter *D* der Röhre *A* zugeführt werden sollen. Auffallend ist bei dieser Anordnung, daß sich das Gitter zur Kathode *E* in einer für den Verstärkungseffekt sehr ungünstigen Lage befindet[4]).

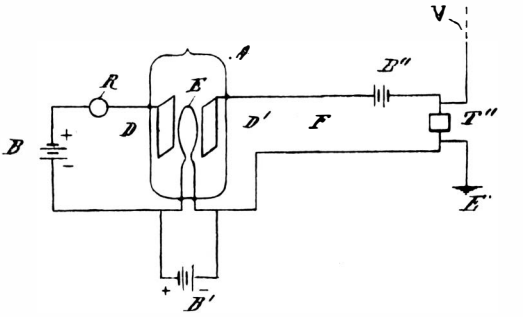


Abb. 26. Schaltungsschema aus dem USA-Patent 841387.

Im Jahre 1913[5]) wurde allerdings von LEE DE FOREST eine bereits veränderte Schaltung seines Audions[6]) angegeben, bei der durch die positive Ladung der Hilfselektrode der Apparat in ein Telephon-Relais übergeführt wurde.

Der DE FORESTsche Audiondetektor — Abb 27 zeigt eine der älteren Ausführungsformen — aus dem Jahre 1914 war ein kugel-

[1]) USA-Patent 837901 vom 4. Dezember 1906.

[2]) LEE DE FOREST: ETZ **35**, S. 700, 1914.

[3]) LEE DE FOREST gab als erster eine Niederfrequenz-Verstärkerschaltung für die drahtlose Telegraphie an. (OTTO VON BRONK: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 19, 1923.)

[4]) OTTO VON BRONK: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 11, 1923.

[5]) LEE DE FOREST: The Electrician **72**, S. 285, 1913.

[6]) Der Name stammt von dem Assistenten LEE DE FORESTS, BABCOCK, für den ersten in eine evakuierte Kugel eingeschlossenen Gasdetektor. (ETZ **35**, S. 700, 1914.)

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

förmiges Gefäß (Durchmesser etwa 6 cm), das zwei Metallfäden enthielt. Normalerweise wurde nur ein Faden gebrannt; wenn dieser zerstört war, wurde der zweite Faden eingeschaltet. Parallel zur Fadenebene war die Anode — eine etwa 2 cm² große Nickelplatte — angeordnet. Etwa 5 mm von den Fäden entfernt befand sich das „Gitter", ein fein unterteiltes Drahtnetz. Zwischen den weißglühenden Fäden und der kalten Anode konnte ein Widerstand von 10000 bis 30000 Ohm gemessen werden[1].

LEE DE FOREST stützte sich später wiederholt bei den Prioritätsansprüchen auf dieses Patent und behauptete, daß die von ihm getroffene Anordnung bei der LIEBEN-Röhre genau die gleiche Anwendung gefunden hätte[2][3]. Es ist aber auffallend, daß LEE DE FOREST bis zum Bekanntwerden der LIEBEN-Röhre die Brauchbarkeit seiner Anordnung für ein Telephon-Relais nicht erkannte. Es ist erstaunlich, daß LEE DE FOREST, der 1907 seinen Audiondetektor zum Patent angemeldet hat, auf dessen Bedeutung für die drahtlose Telegraphie nicht genügend hingewiesen hat[4].

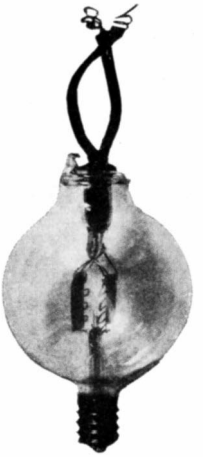


Abb. 27. Audion von LEE DE FOREST.

Eine solche Vernachlässigung ist um so erstaunlicher, weil LEE DE FOREST mitten im Getriebe der drahtlosen Technik stand. Der Audiondetektor wurde erst im Jahre 1912 in Europa allgemein bekannt[5].

LEE DE FOREST unterstrich seine Ansprüche auch noch durch den Hinweis, daß seine Röhren bei der American Telephone & Telegraph Co., der die Ferntelephonie der Vereinigten Staaten von Nordamerika beherrschenden Gesellschaft, in größtem Umfange Verwendung gefunden hätten[6]. Er gibt aber keinen Hinweis dafür, daß seine Röhre bereits früher

[1]) LEE DE FOREST: ETZ **35**, S. 700, 1914.

[2]) LEE DE FOREST: ETZ **35**, S. 222 u. 699, 1914.

[3]) „Als wir unser Patent anmeldeten, wurden uns vom Reichspatentamt die Arbeiten LEE DE FORESTS entgegengehalten, der nur ein Audion, aber keinen Verstärker konstruiert hatte; das war das Erste, was wir von LEE DE FOREST überhaupt hörten." (Mitteilung von Ingenieur E. REISZ an den Verfasser.)

[4]) H. RUKOP: Telefunken-Festschrift, S. 114/115, 1928.

[5]) H. RUKOP: Telefunken-Festschrift, S. 115, 1928.

[6]) LEE DE FOREST: ETZ **35**, S. 702, 1914.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

(d. h. vor der Anmeldung der ersten LIEBEN-Röhre zum Patent) als Verstärkerröhre verwandt worden wäre.

LEE DE FOREST hat in dem Prioritätsstreit unter anderem auch auf sein amerikanisches Patent Nr. 879532 vom 29. Januar 1907 hingewiesen, dem das DRP 217073 vom 23. Januar 1908 entspricht [1]). Dieses Patent bezog sich auf einen Schwingungsanzeiger für elektrische Wellen, insbesondere für die drahtlose Telegraphie (Schaltung nach Abb. 1 dieses Patentes siehe Abb. 28). Das Neue bestand darin, daß „in einem mit einem Gase gefüllten Behälter (D) drei Elektroden (F, a, b) angeordnet sind, von denen die eine (F) mittels des Stromes einer Ortsstromquelle (A) zwecks Ionisierung des Gases erhitzt wird und an je einen Pol des Schwingungskreises (J_2, C, C') und des Empfangsstromkreises (B, T) angeschlossen ist, während die beiden anderen Elektroden (a, b) mit dem anderen Pol des Schwingungskreises verbunden sind, zu dem Zweck, unter Vermeidung eines Nebenschlusses des Schwingungskreises über den Empfangsstromkreis die für die drahtlose Telegraphie erforderliche hohe Empfindlichkeit zu erhalten [2])".

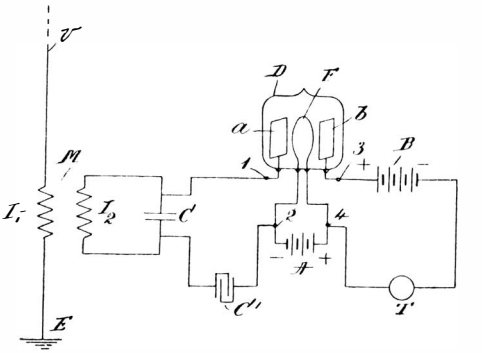


Abb. 28. Schaltungsschema aus dem DRP 217073.

Aus der Schaltung und dem Anspruch geht klar hervor, daß der Erfindungsgegenstand nicht einen Verstärker sondern einen Detektor darstellt und es in dieser Schaltung eine reine Verstärkerwirkung nicht geben kann [3]). Das Telephon (T) wird durch die Gleichrichter-

[1]) Ausgegeben am 16. Dezember 1909.

[2]) Dagegen ist zunächst einzuwenden, daß erhöhte Empfindlichkeit nicht mit dem Begriff der Verstärkung identifiziert werden darf. Wenn ein Apparat empfindlich ist, wie z. B. eine Waage, so ist damit nicht erwiesen, daß er deshalb irgendeine Verstärkerwirkung auslöst.

[3]) Herrn Ingenieur S. STRAUSS wurde anläßlich eines Besuches in Amerika im Jahre 1913 eine DE FOREST-Röhre gezeigt, die nicht als Verstärker funktionierte und auch als Audion unvollkommener war als der damalige Detektor. Von einer Verstärkerwirkung war damals noch nicht die Rede. Die American Bell Co. und die Western Electric Co., bei der die Herren REISZ und STRAUSS im Februar und März 1913 LIEBEN-Röhren in wochenlangen Versuchen im Dauerbetrieb vorführten, erkannten die Wichtigkeit der Konstanz des Va-

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

wirkung der Röhre beeinflußt. Über die Wirkung der ohne Zweifel von LEE DE FOREST zuerst eingeführten dritten Elektrode, dem sogenannten Gitter, muß er sich aber im unklaren befunden haben, da er in seinen ersten Patentschriften das Gitter manchmal zwischen Glühkathode und Anode, manchmal vor die Glühkathode setzte. Die räumliche Anordnung des Gitters schien ihm jedoch nicht unwesentlich, denn im Anspruch 2 schreibt er ausdrücklich vor: „Ausführungsform des Schwingungsanzeigers nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizelektrode (*F*) zwischen den beiden anderen Elektroden (*a*, *b*) angeordnet ist". Von Bedeutung ist es festzustellen, daß LEE DE FOREST bei seiner Detektorschaltung demnach eine gute Wirkung erzielt zu haben scheint, wenn er das Gitter in die für die Verstärkung ungünstigste Lage gebracht hat, wie das in Fig. 28 gezeigt wird.

Die DE FOREST-Röhren konnten sich in der Praxis der drahtlosen Telegraphie nicht erfolgreich einführen und wurden bald durch die Kristalldetektoren verdrängt, die die damaligen DE FOREST-Röhren u. a. durch ihre einfache Schaltung und Bedienung übertrafen und ihnen in der Empfindlichkeit vollkommen entsprachen[1]).

LEE DE FOREST bildete, nachdem er durch die Veröffentlichungen von den Arbeiten ROBERT VON LIEBENS nähere Kenntnis erhalten hatte, seine Detektorröhre zu einer Verstärkerröhre um, indem er das Gitter seines Audiondetektors als Steuersonde im Sinne der LIEBENschen Anordnung benutzte[2]).

Außer LEE DE FOREST arbeiteten in Amerika noch weitere Erfinder in dieser Richtung wie LANGMUIR, ARMSTRONG und HULL[3]).

3. Stand der Verstärkertechnik zur Zeit der Patentanmeldung ROBERT VON LIEBENS.

Für die weitere Klärung der Prioritätsfrage ist es wesentlich, den Stand der Verstärkertechnik zur Zeit der Patentanmeldung der LIEBEN-Röhre festzustellen. Es sei darauf hingewiesen, daß führende

kuums, unabhängig von seiner Höhe. Auf Grund dieser Vorführungen wurden von diesen Firmen die DE FORESTschen Anregungen zu einer brauchbaren Röhre verarbeitet. (Mitteilung von Herrn Ingenieur S. STRAUSS an den Verfasser.)

[1]) OTTO VON BRONK: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 10, 1923.

[2]) ROBERT VON LIEBEN hat Wechselspannung zur Steuerung und außerdem negative Spannung als Gittervorspannung verwandt; LEE DE FOREST hat als Gitterspannung nur Gleichspannung, und zwar zur Erhöhung der Ventilwirkung seiner Röhre angewandt.

[3]) OTTO VON BRONK: Telefunken-Festschrift, S. 112, 1928.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Vorschläge für Telephon-Relais
mit Hilfe von

Jahr	Mikro-telephone	Lichtbogen	Quecksilberlampen	Wirbelstrom-maschinen	Hochfrequenz-maschinen	Kathodenröhren
1900	1	BACKER USAP[1] 660613				
1901	5	GATI USAP 684506				
1902	5			LYONS USAP 705685		
1903	3					
1904	8		COOPER HEWITT USAP 749791		CARBONELLE USAP 774923	
1905	5	GATI USAP 779554		DOUBLET DRP[2] 164886	EHRET USAP 789087	
1906	4					R. VON LIEBEN DRP 179807
1907	3			HOCHENEGG DRP 191780	HENRY Electricien 1907	Telefunken DRP 193383
1908	4			STRATION USAP 882026	ALEXANDERSON USAP 902195	L. DE FOREST USAP 841387
1909	7	SCHIESSLER Brit. P. 16183 (A. D. 1908)	EZECHIEL WEINTRAUB USAP 925060			
1910	6	LINDRIDGE USAP 979012				R. VON LIEBEN DRP 236716 249142
1911	4		COOPER HEWITT USAP 991304	ASBLEY, USAP 990183, 991928, 994361	General Electric Co. USAP 996445	
1912				M. PUPIN ElectricalWorld 1911	AEG DRP 234428	L. DE FOREST USAP 995126

[1] USAP = Patent in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. — [2] DRP = Deutsches Reichspatent.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Unternehmungen, wie die Western Electric Co. damals noch mit der Hochfrequenzmaschine, Siemens & Halske A.-G. mit dem BROWNschen Relais arbeiteten und daß M. PUPIN z. B. von der Verwendung von Kurzschlußankern für die Verstärkung von Telephonströmen sprach[1]). Das Kathodenstrahlen-Relais war demnach zu der Zeit keinesfalls in dem Maße Gemeingut der Fernsprechtechnik, daß eine Anordnung — Entladungsrohr mit Glühkathode und zwei anderen Elektroden — die für die Empfangsapparate der drahtlosen Telegraphie in der Fachwelt als vorteilhaft galt, auch für die Verwendung für Telephonverstärker brauchbar war.

Beim Studium der einschlägigen Literatur[2]) kann auch festgestellt werden, daß in dem Zeitraum von 1900 bis zur Ausführung der LIEBEN-Röhre die verschiedensten Vorschläge (siehe Tabelle) für ein Telephon-Relais gemacht wurden, aber mit einer einzigen Ausnahme nie von einem Kathodenstrahlen-Relais die Rede war. Diese Ausnahme bildet der Aufsatz von HENRY (Electricien 38, S. 11, 1909), in dem er einen Vorschlag eines Amerikaners erwähnt, für die drahtlose Telegraphie einen Verstärkerdynamo zu verwenden und zwar so, daß sie die aus dem Empfangssystem gelieferten Ströme aufnimmt und derart verstärkt, daß sie gewöhnliche Telegraphenapparate betreiben könnte. In diesem Aufsatze wird eine Hochfrequenzmaschine mit Dampfturbine mit einer Leistung von 1 kW beschrieben. HENRY bezweifelte den Erfolg dieser Anordnung und meinte in seinem Aufsatz, daß sie nur dann Erfolg hätte, wenn mit Hilfe eines Ventils (clapet) nach FLEMING oder LEE DE FOREST die Ströme gleichgerichtet würden. Es wäre hier sehr naheliegend gewesen, an Stelle des beschriebenen großen Aggregates den Röhrenverstärker von LEE DE FOREST vorzuschlagen, wenn dieser damals tatsächlich dazu geeignet gewesen wäre.

4. Entscheidung der Prioritätsfrage.

Die vorstehenden Ausführungen ergeben, daß die Elektronenröhren von zwei verschiedenen Gesichtspunkten aus etwa gleichzeitig entwickelt wurden, und zwar: als Empfangsapparat (Detektor) der drahtlosen Telegraphie, als Niederfrequenzverstärker für die Fern-

[1]) Electrical World **58**, S. 1339, 1911.

[2]) HENRY: Electricien **33**, S. 37, 1907. — HENRY: Electricien **38**, S. 11, 1909. — SOULIER: Industr. Electr., S. 371, 1907. — Zeitschr. f. Schwachstromtechnik, S. 253, 1910. — GATI: Electrician **65**, S. 530, 1910. — LINDSEY: Electrical World **52**, S. 846, 1908.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

sprechtechnik und drahtlose Telegraphie, dann als Hochfrequenzverstärker für die drahtlose Telegraphie und Telephonie. Dabei handelt es sich nicht nur um Unterschiede in der wirtschaftlichen Auswertung sondern um wesensverschiedene Funktionen der Apparate; denn wenn die Röhre als Detektor brauchbar ist, so ist damit noch nicht ihre Verwendbarkeit als Verstärker für die Telephonie unter den erforderlichen Umständen bewiesen und umgekehrt. Diese Feststellung ist für die Klärung der vorliegenden Prioritätsfrage von besonderer Bedeutung.

Die Verstärkerröhre hat den Zweck, die primären Wellen möglichst unverzerrt (also unter Erhaltung der Form des zeitlichen Verlaufs) verstärkt wiederzugeben.

Beim Gleichrichter (Detektor) müssen die Wellen in erster Linie so abgeändert werden, daß sie durch die Empfangsapparate wahrnehmbar werden. Eine Verstärkung hierbei ist zwar vorteilhaft, aber nicht nötig, also nicht das Wesentliche.

Bei der rechtlichen Beurteilung des Schutzumfanges eines Patentes ist es auch nicht ausschlaggebend, ob der Erfinder die richtige physikalische Erklärung gibt, sondern es kommt vor allem darauf an, daß angegeben wird, durch welche neuen Mittel die Technik bereichert wird. Deshalb ist auch dem grundlegenden LIEBEN-Patent Nr. 179807 von den deutschen Gerichten ein umfassender Schutz gewährt worden, der es als Pionierpatent charakterisierte, da in ihm zum ersten Male eine Elektronenröhre — mit Glühkathode und Steuerorgan — für die Verstärkung vorgeschlagen wurde. Dieses Patent ist älter als alle DE FORESTschen Röhrenschutzrechte. Nie hat es in der drahtlosen Technik ein ähnlich wichtiges Patent gegeben[1]).

Durch die quellenkritischen Untersuchungen und eine Entscheidung des Patentamtes[2]) ist auch eindeutig klargestellt worden, daß zur Zeit der Anmeldung des Patentes 249142 durch ROBERT VON LIEBEN die Erkenntnis, daß eine Röhre, die sich als Detektor verwenden läßt, auch als Verstärker brauchbar ist, nicht Gemeingut der Technik war.

Der Ausführung des Relais nach den Angaben von ROBERT VON LIEBEN, EUGEN REISZ und SIEGMUND STRAUSS muß deshalb nach

[1]) OTTO VON BRONK: Telefunken-Festschrift, S. 104, 1928.

[2]) 4. Februar 1918, 5. Satz der Entscheidungsgründe.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

dem bisher Dargelegten die Priorität der Verstärkerröhre mit Glühkathode zugesprochen werden[1]).

E. Zusammenfassung.

Jahrzehnte hindurch beschäftigten sich besonders die an der Fernmelde- und Fernsprechtechnik interessierten Forscher mit der Lösung des Problems, schwach ankommende elektrische Ströme zu verstärken.

Die ersten mechanischen, magnetischen und Dampf-Relais waren unbrauchbar. Erst die Glühkathodenverstärkerröhre, das Werk ROBERT VON LIEBENS, löste die Aufgabe der trägheitslosen Verstärkung elektrischer Wechselströme vollkommen.

ROBERT VON LIEBEN ist nach dem Bekanntwerden seiner grundlegenden Patente von verschiedenen Stellen die Priorität streitig gemacht worden. Die Klärung der Patentfragen ergab sich eindeutig aus den in dieser Arbeit angeführten Quellen, insbesondere aus den in der Patentliteratur festgelegten Erkenntnissen. Daraus folgt, daß die Priorität für die Erfindung der Elektronenverstärkerröhre ROBERT VON LIEBEN zuzusprechen ist. Diese Feststellung stimmt mit der Entscheidung der deutschen Rechtsprechung vollkommen überein, die auf Grund der Zeugnisse anerkannter Autoritäten festgelegt hat, daß die LIEBEN-Patente grundlegend für die moderne Verstärkerröhre mit Steuergitter gewesen sind.

Biographisches über ROBERT VON LIEBEN.

ROBERT VON LIEBEN wurde am 5. September 1878 als Sohn feinsinniger und vermögender Eltern in Wien geboren. Sein Vater, der Bankier LEOPOLD VON LIEBEN, war Vizegouverneur der Österreichisch-Ungarischen Bank und Präsident der Wiener Börsenkammer[2]).

ROBERT VON LIEBEN besuchte zuerst das Akademische Gymnasium, dann die Oberrealschule in Wien. Er war, obwohl er in geistig angeregter Umgebung aufwuchs, immer ein schlechter Schüler[3]), der

---

[1]) W. NERNST: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 5/6, 1923. — OTTO VON BRONK: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 10/11, 1923. — M. REITHOFFER: Die Radiotechnik **4**, S. 57, 1927.

[2]) S. STRAUSS: Deutscher Rundfunk **2**, S. 2133, 1924.

[3]) Feststellungen aus den Schulkatalogen ergaben, daß er in den naturwissenschaftlichen Fächern sehr schlecht entsprochen hat. Sein Abgangszeugnis weist in den Fächern Mathematik und Physik die Noten „nicht ge-

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Robert von Lieben.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

sich am liebsten selbst unterrichtete. Mit großer Hingabe konnte er sich in ein Buch vertiefen, das in gemeinverständlicher Art Naturvorgänge beschrieb und konnte dann über die gelesenen Eindrücke mit einer staunenswerten Kenntnis erzählen.

Schon früh zeigte sich bei ihm eine besondere Neigung zu naturwissenschaftlichen Studien. Der wissenschaftliche Trieb war offen-

Geburtshaus ROBERT VON LIEBENS
Wien I., Kärntnerstraße 51
(Palais Todesco).

Kinderbild ROBERT VON LIEBENS.

sichtlich Familiengut. Die beiden Brüder seines Vaters waren in ihrem Fach bekannte Gelehrte [1]). Besonders lockte ihn die Elektrotechnik, damals noch im vielversprechenden Werden. Er arbeitete mit aller Liebe und Sorgfalt in seiner eigenen Versuchsstätte an der

---

nügend" auf. Wenn auch bei ROBERT VON LIEBEN der Studienerfolg durch andauernde Krankheit beeinträchtigt gewesen ist, so scheint doch sein Fall wieder nur zu bestätigen, daß die Schulerfolge recht wenig für die spätere Entwicklung des Menschen zu bedeuten haben. (Mitteilung der Direktion der Bundesrealschule Wien I., an den Verfasser.)

[1]) ADOLF LIEBEN, Professor der Chemie an der Wiener Universität; RICHARD LIEBEN, Finanzgelehrter. (K. PRZIBRAM: Neue Österreichische Biographie 6, S. 177, 1929.)

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Verwirklichung technischer Ideen[1]). Sein Vermögen erlaubte es ihm, sich seinen Neigungsarbeiten hemmungslos hinzugeben. Den ihm zur Verfügung stehenden Reichtum untätig auszunutzen, vermied er.

Nachdem ROBERT VON LIEBEN als Einjährig-Freiwilliger bei einem Ulanenregiment sein Militärjahr vollendet hatte, ging er zu den Siemens-Schuckert-Werken nach Nürnberg, um sich dort praktisch elektrotechnische Kenntnisse und Fertigkeiten anzueigen, die ihm dann auch später bei seinen Versuchen sehr zu statten kamen[2]). Im Anschluß daran bezog er die Universität Göttingen, der NERNST eine besondere Anziehungskraft verliehen hatte, um chemische und physikalische Studien zu betreiben[3]).

Die Geburtsstätte der LIEBEN-Röhre. Das Haus Wien I, Oppolzergasse 6, in dem ROBERT VON LIEBEN sein erstes Laboratorium besaß.

Dort fiel er dem großen Physiker durch seine Arbeiten auf. NERNST zog ihn in seine Nähe und schließlich — als er in ROBERT VON LIEBEN den ungemein begabten Forscher erkannte — förderte er ihn wohlwollend[4]).

ROBERT VON LIEBEN verfolgte mit großem Eifer und eindringendem Verständnis die Fortschritte auf allen physikalischen und chemischen Gebieten. NERNST, mit dem er alle diese Probleme besprach,

[1]) Für seine erfinderische Natur möge folgender Bericht sprechen: Im Allgemeinen Krankenhaus zu Wien bestanden gewisse Schwierigkeiten, bei mehreren Kranken die Augen mit all ihren Einzelheiten in natürlicher Größe auf die photographische Platte zu bringen, ohne die Patienten zu beunruhigen. ROBERT VON LIEBEN schuf aus eigener Initiative — er war damals 18 Jahre alt — eine sehr sinnvolle Zusammenstellung von Ferngläsern mit einer photographischen Kamera, die mit eigens gebauten Beleuchtungsvorrichtungen die gestellte Aufgabe zu aller Zufriedenheit löste, um die sich vorher viele Fachleute vergeblich bemüht hatten.

[2]) K. PRZIBRAM: Neue Österreichische Biographie 6, S. 177, 1929.

[3]) Stud. chem. ROBERT VON LIEBEN, Göttingen, Walkemühlenweg 12. Immatrikuliert am 7. November 1899, exmatrikuliert am 3. April 1901. (Mitteilung der Universität Göttingen.)

[4]) Prof. Dr. J. P. KARPLUS: Gedenkrede 1927.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

schreibt daraüber: „Wie oft haben wir unter anderem auf gemeinschaftlichen Reisen über das Rätsel der Radioaktivität, als sie noch weniger erforscht und daher noch vollständig rätselhaft war, diskutiert. Wie oft haben wir die Chancen des dynamischen Fluges in einer Zeit besprochen, als die Lösung dieses Problems noch in weiter Ferne zu liegen schien"[1]). ROBERT VON LIEBEN hatte unter anderem auch den Einfall, Adler abzurichten, um mit ihnen Flugversuche durchzuführen[2]). Als im Jahre 1908 bekannt wurde, daß der Ameri-

ROBERT VON LIEBEN und EUGEN REISZ.

kaner WILBUR WRIGHT in der Nähe von Paris Versuche mit seinem neuen Flugapparat durchführen sollte, waren NERNST und ROBERT VON LIEBEN auf einer Reise durch Frankreich begriffen und suchten das Flugfeld auf, um die dort stattfindenden Flüge von WRIGHT mitanzusehen. Auf Grund der beobachteten gelungenen Versuchsflüge entschloß sich ROBERT VON LIEBEN, einen WRIGHTschen Flugapparat zu kaufen und engagierte auch den Mechaniker WRIGHTS, namens WIESENTHAL. Mit diesem Flugapparat unternahm der

[1]) W. NERNST: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 5, 1923.
[2]) Mitteilung von Prof. Dr. W. NERNST an den Verfasser.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Mechaniker weitere Versuchsflüge über dem Wiener Neustädtischen Flugfeld. ROBERT VON LIEBEN brachte an dem Apparat Änderungen an, und zwar verlegte er die Höhenstabilisierungsfläche von vorn nach hinten. An der Lösung dieser Fragen arbeitete er gemeinsam mit Professor KNOLLER von der Technischen Hochschule Wien [1]).

Nach seiner Rückkehr von Göttingen — Anfang 1900 — richtete ROBERT VON LIEBEN in der elterlichen Wohnung (Wien I, Oppolzergasse 6) ein physikalisches Laboratorium ein, wo auch in den Jahren 1905—1910 die Verstärkerröhre — sein Lebenswerk — geschaffen wurde.

Als die ersten brauchbaren Automobile auf den Markt kamen, betätigte er sich auch auf diesem Gebiete erfinderisch. Er konstruierte ein Triebsystem für Automobile, bei dem ein Benzinmotor einen elektrischen Generator antrieb, der wieder mit dem erzeugten Strom kleine Motoren, die an den Rädern des Wagens montiert werden sollten, in Bewegung setzen sollte [2]). Dieses System sollte eine gute Regulierbarkeit der Geschwindigkeit verschaffen und durch den direkten Antrieb der Räder die Sicherheit der Fahrt und die Lenkbarkeit des Wagens erhöhen. Die damalige Kraftübertragung vom Benzinmotor auf die Räder, das Zahnradgetriebe und die Motoren selbst war noch mit sehr vielen Mängeln behaftet. ROBERT VON LIEBEN wollte diesen mit seiner neuen Konstruktion abhelfen und hatte sich auch zur Verwirklichung seiner Konstruktion mit einer Automobilfirma in Verbindung gesetzt. Es ist aber nicht festzustellen gewesen, ob aus diesem Projekt etwas geworden ist.

Mit Unterstützung seines Vaters kaufte er in Olmütz (Mähren) eine Telephonfabrik, die er gemeinsam mit EUGEN REISZ leitete. Die

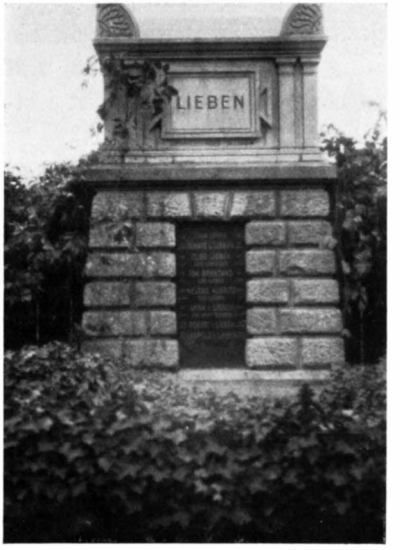
---

[1]) Mitteilung von Dr. A. BOLTZMANN an den Verfasser.

[2]) DRP 159990 vom 18. Juni 1904 (Österreichisches Patent Nr. 25286 vom 15. März 1906) ROBERT VON LIEBEN und EUGEN REISZ: „Dynamoelektrische Kupplung". Die Erfindung hatte den Zweck, „zwei kreisende Wellen (Antriebs- und Arbeitswelle) derart zu kuppeln, daß Geschwindigkeit und Zugkraft der anderen geändert werden können, wobei der Wirkungsgrad dieser Kraftübertragung annähernd der gleiche bleibt". Der Patentanspruch lautet: „Dynamoelektrische Kupplung, gekennzeichnet durch vier bewegliche, paarweise im Verhältnis von Anker zu Feldmagnet stehende Dynamomaschinenteile, von denen zwei mit der Antriebswelle und zwei mit der Arbeitswelle unmittelbar oder mittels Zwischenorganen verbunden sind, wobei drei Maschinenteile in gleichem Drehsinne kreisen, der entgegengesetzt ist jenem des vierten Maschinenteils und wobei die Änderung der Umdrehungszahl und Zugkraft der Arbeitswelle durch die Veränderung der Erregung entweder beider Feldmagnete oder nur eines derselben bewirkt werden kann."

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

Sterbehaus ROBERT VON LIEBENS
Wien XIX.,
Döblinger Hauptstraße 94.



Grabmal ROBERT VON LIEBENS
auf dem
Döblinger Friedhof in Wien.

Fabrik blühte rasch auf, wurde dann später von der Telephonfabrik Berliner käuflich übernommen.

Trotz der vielseitigen Neigungen ROBERT VON LIEBENS gewinnt man bei Betrachtung seiner Entwicklung den Eindruck, als ob seine Arbeiten auf seine Hauptleistung, nämlich die Schaffung eines brauchbaren Telephon-Relais, hinzielten [1]). „Keine Aufgabe aber fesselte ihn so, wie die Konstruktion des Telephon-Relais, oder allgemeiner ausgedrückt, einer Vorrichtung, die kleine Stromschwankungen getreu zu verstärken imstande ist“ [2]).

Für den endgültigen Erfolg seiner Lebensarbeit war aber ohne Zweifel die unermüdliche Förderung seines berühmten Lehrers, Professor NERNST, ausschlaggebend.

Es gibt in der Geschichte der Erfindungen wohl selten einen so glücklichen Fall der Förderung eines genialen, strebsamen Menschen, der von Meisterhand von der ersten wissenschaftlichen Anregung aus bis zur praktischen Vollendung so planmäßig geführt wurde. Zu den

---

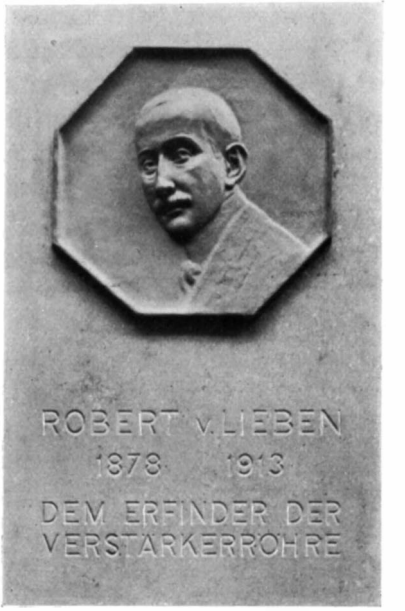
[1]) Probleme der Telephonie standen bei ROBERT VON LIEBEN schon früh im Vordergrunde seiner wissenschaftlichen Interessen. So veröffentlichten ROBERT VON LIEBEN und EUGEN REISZ in der ETZ 24, S. 497, 1903, eine Arbeit: „Über die Erregung von Wellenströmen durch eine Mikrophonanordnung.“

[2]) W. NERNST: Telefunken-Zeitung Nr. 32/33, S. 6, 1923.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

vielen instinktsicheren Zügen im Charakter ROBERT VON LIEBENS gehört wohl auch der Weg nach Göttingen zu NERNST.

Das Schicksal war aber ROBERT VON LIEBEN nicht gut gesinnt. Als ihm der große Wurf gelungen war, versagte ihm der Körper seinen Dienst. Als Einjährig-Freiwilliger war ROBERT VON LIEBEN vom Pferde gestürzt und auf eine Holzbarriere so unglücklich aufgefallen, daß er sich eine Brustquetschung zuzog und vom Militärdienst enthoben werden mußte. ROBERT VON LIEBEN erholte sich damals verhältnismäßig rasch und seine Umgebung maß der Sache keine größere Bedeutung bei. Aber es ist wahrscheinlich, daß diese Verletzung Ursache für die Lymphdrüsengeschwulst war, die sich einige Jahre später bemerkbar machte und schließlich seinen Tod herbeiführte. Die Bemühungen der hervorragendsten Mediziner, die mit Hilfe der damals noch jungen Röntgentherapie arbeiteten, vermochten es wohl, sein Leben ganz kurze Zeit zu verlängern[1]). Systematische Röntgenbestrahlungen und starker Verbrauch von Medikamenten bewirkten zeitweilige Fieberfreiheit, so daß er zwischendurch immer wieder arbeitsfähig war[2]). Es berührte seine Freunde und Mitarbeiter oft eigenartig, wenn ROBERT VON LIEBEN die Röntgenbilder seines Thorax in sachlicher Weise erörterte und von tröstenden Kritiken nichts hören wollte[3]). Sein Lebensmut war,



Gedenktafel für ROBERT VON LIEBEN
Wien I., Johannesgasse 4.

[1]) Prof. Dr. J. KARPLUS: Gedenkrede.

[2]) ROBERT VON LIEBEN war ein reger Geist und hatte eine zähe Natur. Als er schwer krank war, bekam er die stärksten Betäubungsmittel, die — trotzdem er sie täglich dreimal erhielt — wenig nützten. Er war trotz dieser Anstrengungen oft so klar, daß er an den Verhandlungen für seine Patentverträge teilnahm. (Mitteilung von Frau Baronin ANNY VON SCHEY an den Verfasser.)

[3]) S. STRAUSS: Deutscher Rundfunk 2, S. 2134, 1924.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org

da er sich im Laufe der Zeit wieder gut erholt hatte, soweit gestiegen, daß er sich entschloß zu heiraten. Er verehelichte sich im Sommer 1911 mit der Burgschauspielerin ANNY SCHINDLER, die aus der bekannten Wiener Künstlerfamilie SCHINDLER stammte. Doch bald nach seiner Heirat verschlechterte sich sein Gesundheitszustand zusehends und am 20. Februar 1913 erlag er — noch nicht 35 Jahre alt — seinem Leiden.

In seiner Vaterstadt Wien, an der er mit großer Liebe hing, wurde ihm auf Anregung der Deutschen Gesellschaft für technische Physik von der Österreichischen Radio-Verkehrs-A.-G. eine vom Bildhauer GERHART geschaffene Gedenktafel gewidmet [1]).

ROBERT VON LIEBEN gehörte zu jenen Menschen, die wenig sprachen; er war einer von den Naturforschern, die eine intuitive Anschauung der Natur mitbrachten. Er dachte in Bildern, die ihm scharf und deutlich vor sein geistiges Auge traten; ein Meister solcher bildhafter Vorstellungen, lag ihm das rechnerische Kalkül ferner. Er verfolgte seine Ideen mit großer Zähigkeit und Ausdauer und lebte so gut wie ausschließlich im Banne seiner naturwissenschaftlichen Gedanken [2]). Daß er die Früchte seiner großen Tat nicht erlebt hat, war für alle, die ROBERT VON LIEBEN kannten und schätzten, eine tiefe Betrübnis.

HUGO VON HOFMANNSTHAL sagt in seinem Nachrufe über ROBERT VON LIEBEN: „Er war einer der ganz seltenen Menschen auf Erden, denen ihr Beruf ein völliges Glück verleiht: denn er wußte, daß es ihm in höchsten Augenblicken von unmeßbarer Dauer gegeben war, unendliche Gedanken zu denken".

---

[1]) Prof. Dr. J. P. KARPLUS: Gedenkrede 1927.
[2]) Mitteilung von Prof. Dr. E. ABEL an den Verfasser.

Herrn Prof. Dr. F. KRÜGER, der meiner Arbeit stets das größte Interesse entgegenbrachte, bin ich für die dauernde Förderung und Unterstützung zu stetem Dank verpflichtet.

In gleichem Maße habe ich Herrn Professor Dr. W. NERNST für die große Förderung der Arbeit ergebensten Dank abzustatten.

Ferner möchte ich auch an dieser Stelle Herrn Oberingenieur OTTO VON BRONK für seine wertvollen Ratschläge, insbesondere für die Klärung der patentrechtlichen Fragen, und Herrn Direktor Dr. FRITZ SCHRÖTER für seine besonders den theoretischen Teil der Arbeit betreffenden Ratschläge danken.

digitalisiert von Nikolaus Löwe für www.radiomuseum.org