

2006

**PREPRINT 315**

Günter Dörfel

**Julius Edgar Lilienfeld und William David  
Coolidge – ihre Röntgenröhren und ihre Konflikte**



# **JULIUS EDGAR LILIENFELD und WILLIAM DAVID COOLIDGE – ihre Röntgenröhren und ihre Konflikte**

**Eine Spur von Irrtümern, Missverständnissen, wissenschaftlichem und persönlichem Streit, technologischen Innovationen und wirtschaftlichen Koalitionen aus der Frühzeit der gasfreien Röntgenröhren**

Günter Dörfel \*

## **Vorbemerkungen**

Bekanntlich entdeckte Wilhelm Conrad Röntgen (1845 – 1923) seine „*neue Art von Strahlen*“ im Spätherbst 1895 bei Kathodenstrahlexperimenten, also, entsprechend dem damaligen Stand der Kenntnisse und Ausrüstungen, beim Betrieb von Gasentladungsröhren mit einem Funkeninduktor. Folgerichtig dienten alle technischen Entwicklungen der Folgejahre, getrieben von der ungewöhnlich schnellen Nutzung der Entdeckung, der Weiterentwicklung der Gasentladungsröhren als Strahlungsquelle und der sie speisenden Geräte. Was die Röhren betrifft, so hatte sich das für mehrere Jahrzehnte bestimmende Grundmuster schon im Frühjahr 1896 herausgebildet. Man wusste schon länger, dass bei den hier notwendigen Evakuierungsgraden die Kathodenstrahlen senkrecht zur Kathodenoberfläche austreten. Schon im Frühjahr 1896 erkannten Röntgen, Philipp Lenard (1862 – 1947) und Walter König (1859 – 1936) – auf Letzteren kommen wir noch einmal zurück – die Effizienz des schweren Platins bei der Umwandlung der Kathodenstrahlen in Röntgenlicht. Folgerichtig war das auch relativ temperaturbeständige Platin zunächst das Material der Wahl für die in den Fokus der aus einer konkaven Elektrode austretenden Kathodenstrahlen gestellte Anode bzw. Antikathode (Abb. 1). Das Erkennen der Kathodenstrahlung als Elektronenstrom, die Charakterisierung des Masse-Ladungs-Verhältnisses des Elektrons als Naturkonstante und das Erlernen der Handhabung des ähnlich schweren aber temperaturbeständigeren Elektrodenmaterials Wolfram waren ohne Einfluss auf das Grundmuster der Röhrengometrie.<sup>1</sup>

Obwohl sich physikalische Erforschung und technische Ausgestaltung des Phänomens zunächst wenig beeinflussten, brauchte es ziemlich genau die gleiche Zeit, die zum Erkennen

des *Wesens* der Röntgenstrahlen nötig war <sup>2</sup>, um den Schwächen der frühen Röntgentechnik ein neues physikalisch begründetes Konzept entgegen zu setzen. Die bis dahin ausschließlich genutzten „Ionen-Röntgenröhren“ – dieser Begriff entstand erst später zur Abgrenzung von den neuen „Elektronen-Röntgenröhren“ und nimmt Bezug auf Ionisierungsprozesse im funktionsbedingt notwendigen Restgas und auf durch Beschuss der Kathode mit Ionen freigesetzte Elektronen – litten unter prinzipiellen Nachteilen. Die vom Elektronenstrom und vom Anodenmaterial abhängige Intensität der Strahlung einerseits, und deren Energie, das heißt deren von der Elektronenauffreffgeschwindigkeit und damit vom Potentialgefälle abhängige Durchdringungsfähigkeit andererseits, konnten kaum unabhängig voneinander beeinflusst werden. Eine entscheidende Größe war der Evakuierungsgrad, der seinerseits Zünd- und Brennspannung der Röhre beeinflusste und damit die „Härte“ der Strahlung bestimmte. Daneben waren eben diese Parameter unkontrollierten zeitlichen Veränderungen unterworfen. Eine junge, aufstrebende „Spezialfabrik für Röntgenapparate“, die Röhren aller namhaften Anbieter im Programm hatte, der Dresdener Anlagenbauer Koch & Sterzel (künftig K&S genannt), schilderte die Situation im Jahre 1910 ziemlich zutreffend so:

*„Zwei Prozesse sind beim Betriebe jeder Röntgenröhre gleichzeitig im Gang:*

- 1. Der Metallblock der Antikathode mit seinem Inhalt von okkludiertem Gas bildet eine ... Vorrichtung, die, durch den Stromdurchgang selbst betätigt, das Vakuum herabsetzt. ...*
- 2. Die Absorption der Luftreste durch kathodisch zerstäubtes Metall erhöht das Vakuum. ...*

*Der ... Einfluß dieser beiden einander bis zu einem gewissen Grade paralysierenden Vorgänge ist für jede Röhre verschieden, je nach den vorbereitenden Prozessen und der Betriebsstundenzahl. ... Diese Belastung zu erkennen ... , ist Sache des Operierenden. Eine gewisse Aufmerksamkeit auf diesen Punkt wird ihm **von keiner Röhre** irgend welcher Konstruktion **je abgenommen** werden. **Versprechungen, in denen dieses natürlich äußerst erstrebenswerte Ziel als erreicht hingestellt wird, können unmöglich erfüllt werden.**“<sup>3</sup>*

Mit dieser akzentuierten Einschätzung wurden auch jene Erwartungen relativiert, die an die verschiedenen Systeme von „Härtereregulierungen“ geknüpft waren. Diese liefen überwiegend darauf hinaus, bei Gasaufzehrung ein an einen Träger gebundenes und in der Röhre deponiertes Gas durch Wärmeeinwirkung von außen oder eine zusätzliche, in der Nebenröhre spannungsabhängig gezündete Gasentladung freizusetzen (Abb. 1). Röntgen beschrieb diese Röhren so:

*„Aus Philadelphia erhielt ich eine sehr sinnreich konstruierte Röhre ... geschenkt. Auf dem Anodenrohr ist ein kleiner Ansatz mit kugelförmiger Erweiterung , in welcher eine Substanz,*

*wahrscheinlich Kaliumkarbonat, auf der Glaswand aufgeschmolzen ist. ...Ist nun die Röhre zu hart, so gehen Funken bei A über, das Kaliumkarbonat (?) wird erwärmt und die Hauptröhre wird weicher. Nun gehen die Funken durch sie hindurch, während A funkenfrei ist. ...“ [Zehnder 1935]*

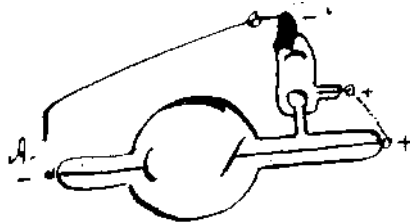


Abb. 1:

Links: Das Grundmuster der frühen Röhren ergänzt um eine Vorrichtung zur selbsttätigen Druckregulierung nach einer Skizze Röntgens im Brief v. 21. Nov. 1897 an Ludwig Zehnder (1854 – 1949) [Zehnder 1935]; Original: Handschriftensammlung d. Zentralbibliothek Zürich.

Rechts: Die von Röntgen gemeinte sog. „Queen“-Röhre; Foto (Auszug) Deutsches Museum München. Vergleichbare Röhren wurden in Deutschland insbesondere von C.H.F. Müller, Hamburg, und Emil Gundelach, Gehlberg / Thüringer Wald, angeboten.

Diese als „Queen-Röhre“ bezeichnete Röntgenröhre befand sich auch unter den von Röntgen dem Deutschen Museum überlassenen Röhren – zu dieser Stiftung siehe [Otremba / Gerlach 1965], [Lossau 1995] und [Hübner 2003].

Es war das Konzept des Leipziger Physikers Julius Edgar Lilienfeld (1882 – 1963), welches die Lösung dieser Probleme einleitete. Aber dessen Ausgestaltung ging mit dem Namen des US-Amerikaners William David Coolidge (1873 – 1975) belegt in den Alltag und in die Geschichte ein.

Berichtet wird von der Geschichte von Innovationen, von wissenschaftlichen Irrtümern und Missverständnissen und von darauf gegründeten Kontroversen, von einem über zehn Jahre erstreckten Kapitel Wissenschaftsgeschichte also, und von nicht nur daraus erklärbaren wirtschaftlichen Konflikten und technischen Lösungen, also auch von einem Kapitel Wirtschafts- und Technikgeschichte. Wir gehen der Frage nach, wie und warum eine aus physikalischer Sicht missverstandene und überdies als zu kompliziert geltende Röhre eine neue Ära einleitete und ein Jahrzehnt lang die Entwicklung der Röntgentechnik mitbestimmte und vorantrieb. Aus technologischer Sicht steht diese Episode für den Abschluss des Übergangs von der noch handwerklich begründeten Fertigung vakuumtechnischer Apparate

zur deren großindustriell organisierter Produktion und Vermarktung. Sie veranschaulicht, wie wissenschaftliche Erkenntnisse und wirtschaftliche Zwänge zu Gruppenbildungen führen und zu deren beständiger Umordnung. Neben den Großen der Elektrotechnik gilt unser Interesse dabei einer eher kleinen mittelständigen Glasapparatefabrik, der in der Tradition des Heinrich Geißler stehenden Leipziger Firma Otto Pressler, die Lilienfelds Experimente begleitete und seine Röhren herstellte.

Mancher Sachverhalt erschließt sich direkter, wenn ein formaler Zugang gesucht wird. Dessen ungeachtet können die wenigen hier skizzierten Rechenschritte – bei deren Zählung sind die problematischen bzw. überholten Beziehungen mit „\*“ gekennzeichnet – ohne Substanzverlust übergangen werden; Sachverhalt und Auffassung des Verfassers ergeben sich auch aus dem Kontext.

## Lilienfelds erste Röhre und deren problematische Erklärung

### *Lilienfelds erste Röntgenröhre*

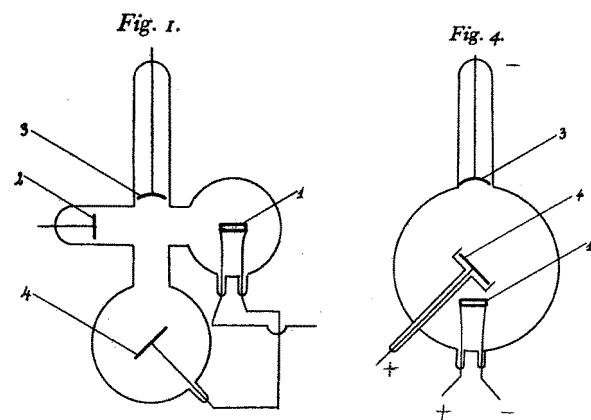


Abb. 2:  
Zwei von vier skizzierten  
Ausführungsbeispielen aus  
Lilienfelds Grundsatzpatent  
DE 256 534

Am 14. Februar 1913 veröffentlichte das deutsche Kaiserliche Patentamt die Patentschrift Nr. 256 534, die Lilienfeld Schutz auf ein „*Verfahren zur Erzeugung von Röntgenstrahlen beliebig einstellbaren Härtegrades unabhängig vom Vakuum*“ gewährte, und zwar rückwirkend vom 11. Oktober 1911 ab. Lilienfelds Anliegen war, die elektrische Entladung in einer üblicherweise durch hohlspiegelförmige Kathode und „schwere“ und temperaturbeständige Anode gekennzeichneten Anordnung „*durch einen von dem die Röntgenstrahlen erzeugenden Vorgänge unabhängigen primären Vorgang*“ zu steuern, und

zwar in einer (nach damaligem Stand) bestmöglich evakuierten Röhre. Die seiner Anmeldung beigegebenen Abbildungen (Abb. 2) veranschaulichen, dass Lilienfeld in einem von einer Glühkathode (1) in Richtung einer Hilfsanode (2) emittierten Elektronenstrom diesen „primären Vorgang“ sah, der die Erzeugung von Röntgenstrahlen nur mittelbar beeinflusste. Nämlich insofern, als er „im Röhreninneren – gemeint ist die sekundäre Entladungsstrecke (3) ↔ (4) – eine Leitfähigkeit erzeugt“. Dementsprechend klammerte Lilienfeld in seinen Schutzansprüchen die Gestaltung dieses aus seiner Sicht gewissermaßen klassischen Entladungsraumes aus und begehrte Schutz für die Primärentladung und deren Ausgestaltung an sich. Noch bevor die Patentschrift ausgegeben wurde, stellte J. E. Lilienfeld seine Röhre – genauer: das an Fig. 4 der Abb. 2 angelehnte, dem Zusatzpatent DE 268 597 entsprechend ausgestaltete und dem Zusatzpatent DE 268 107 folgend betriebene Modell (Abb. 3) – der wissenschaftlichen Öffentlichkeit vor; die klinische Anwendung erläuterte der Chirurg Wolfgang Johannes Rosenthal (1882 – 1971) [Lilienfeld / Rosenthal 1912], [Rosenthal 1913].<sup>4</sup>

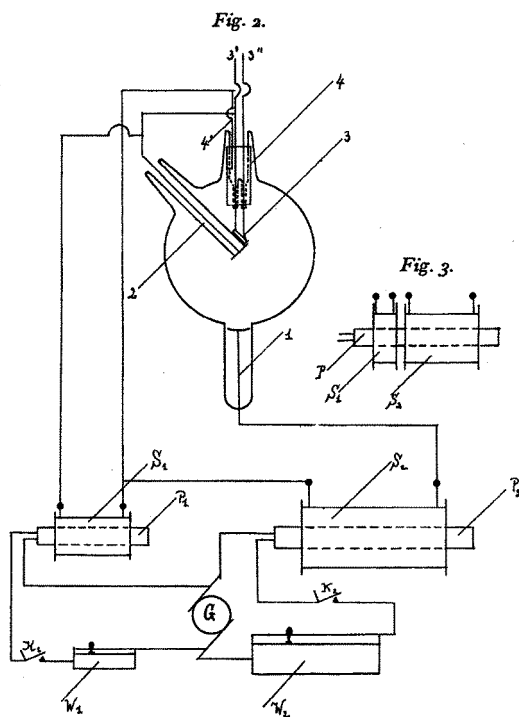


Abb. 3:  
Prinzipskizze der später vom Hersteller als „Urmotell 1911“ bezeichneten Röhre nach DE 268 107, betrieben nach DE 268 597 (beides Zusatzpatente zum Grundsatapatent 256 534) einschließlich der Stromversorgungseinrichtungen. Stromquelle ist der Wechselstromgenerator G. Als Hochspannungstransformatoren dienen die Induktorspulen P / S. Lilienfeld beschreibt in DE 268 597 auch den konventionellen Betrieb seiner Röhre mit Funkeninduktoren, gespeist aus einer Gleichstromquelle.

### ***Vorausgegangene Arbeiten zur Elektronenemission aus geheizten Kathoden***

Eugen Goldstein (1850 – 1930) hatte schon 1882 gefunden und 1884 beschrieben [Goldstein 1884], dass geheizte Kathoden einem mit fortschreitender Evakuierung des Entladungsraumes eintretenden „Erlöschen der Kathodenstrahlen“ entgegenwirken.<sup>5</sup> In einem „Arbeitsbericht behufs Nutzbarmachung der von dem Professor Röntgen entdeckten Strahlen“ vom 2.

September 1896 – dieser ging an den Königlich-Preußischen Staatsminister Dr. Bosse und war die Gegenleistung für erhaltene Zuwendungen – kam Goldstein auf diesen Umstand zurück [Hübner 2000]. Ihm ging es um die Verkürzung von Expositionszeiten durch Erhöhung der Intensität der Röntgenstrahlen. Er meinte, „*daß für diese ... Aufgabe Lösungen zu erzielen sein werden durch die technische Ausnutzung der (von ihm) gefundenen Thatsachen über den Einfluß der Kathodentemperatur auf die Leitfähigkeit hoch evakuierter Räume.*“ Goldstein erfuhr keine weitere Förderung für eine Beschäftigung mit Röntgenstrahlen. Aber auch Dritten kam seine Empfehlung nicht zugute.

Thomas Alpha Edison (1847 - 1931) hatte sich 1879 in einer seiner wenigen schriftlichen Arbeiten mit hohem *wissenschaftlichen* Anspruch mit dem Verhalten von durch Strom erhitzten Leitern auseinandergesetzt [Edison 1779]. Es ging um Leuchtkraft und Haltbarkeit von Glühfäden für Glühlampen abhängig von Material, Vorbehandlung und Einsatzbedingungen. Dabei spielten Abdampfungen und deren Niederschläge auf der Kolbenwand eine zentrale Rolle. Zur Untersuchung dieser Prozesse hatte Edison später eine Elektrode in den Glühlampenkolben eingebracht und dabei festgestellt (1883), dass das abdampfende Material negative Ladungen zu tragen schien [Finn 1981]. Der englische Physiker John A. Fleming (1849 – 1945), Berater der Londoner Filiale Edisons, führte diese Arbeiten weiter [Fleming 1896] und empfahl schließlich (1904) eine Glühkathoden-Diode als Detektor in der Rundfunktechnik. Immerhin blieb Edison die Ehre, dass die Glühemission später als “Edison effect“ in die amerikanische Fachliteratur einging.

In Wolfenbüttel gingen Julius Elster (1854 – 1920) und Hans Geitel (1855 – 1923) sehr allgemeinen Fragen des Elektrizitätsüberganges zwischen geladenen Elektroden nach [Fricke 1992]. Sie fanden, bevor sie sich den Fragen des durch Licht angeregten Überganges widmeten und die Grundlagen zur Fotozellen-Technik legten, wie Goldstein einen „einseitigen“ Elektrizitätsübergang, wenn eine der beiden Elektroden beheizt war. Bei der weiteren Untersuchung dieses Effektes schufen sie schließlich eine Anordnung, die nach Prinzip und Ausgestaltung später üblichen Glühkathoden-Dioden nahe kam [Elster / Geitel 1889]. Eine technische Anwendung verfolgten sie nicht.

Der hier interessierenden Fragestellung am nächsten kam Arthur Wehnelt (1871 – 1944). Er hatte in Erlangen gefunden, dass die Emissionsfähigkeit glühender Metallkathoden erheblich ansteigt, wenn man sie mit Oxiden der Erdalkalimetalle überzieht [Wehnelt 1904]. Das von



ihm auf dieser Grundlage erdachte und patentrechtlich geschützte „elektrische Ventilrohr“ [Wehnelt 1905], [DE 157 845] – als Anwendungsgebiete nannte er ausdrücklich die Gleichrichtung von Ein- und Mehrphasenströmen im hoch- und niedriggespannten Bereich und die Detektierung von Telegrafie-Signalen – fand in der von dem Thüringer Röhrenhersteller Emil Gundelach, Gehlberg, exklusiv ausgestalteten Form Eingang in die frühe Röntgentechnik.<sup>6</sup> Darüber hinaus sah Wehnelt in der später nach ihm benannten Oxidkathode ein probates Mittel, der von ihm schon früher bei Gasentladungsexperimenten verfolgten aber so kaum zu klärenden Frage nachzugehen, bis zu welcher *kleinsten* Beschleunigungsspannung Röntgenstrahlen entstehen würden [Wehnelt 1898]. Richtigerweise fanden er und sein Mitarbeiter keine untere Grenze [Wehnelt / Trenkle 1905], bedauerlicherweise aber auch keine weiteren technischen Lösungen für Glühkathoden in der Röntgenröhren-Technik. Wehnelt konnte, wie seine Vorgänger auch, seine Herkunft von der Gasentladungsphysik nicht verleugnen. Die verbesserte Emissionsfähigkeit seiner Kathoden erklärte er damit, dass „*die Oxyde der Erdalkalien (Ca, Ba und Sr) im Glühzustand den Kathodenfall<sup>7</sup> stark herabsetzen*“.

Auf diesen Bezug konnte der englische Physiker Owen Williams Richardson (1879 – 1959), Nobelpreisträger des Jahres 1928, verzichten. Er erklärte die Wirkung der Glühkathode ausschließlich aus dem von ihr ausgehenden Elektronenstrom und gab dessen maximale Größe, den *Sättigungsstrom*, zunächst mit

$$I_s \sim \sqrt{T} e^{-\frac{b}{T}} \quad (1^*)$$

an (hier in verkürzter Schreibweise, b -Konstante, T- abs. Temperatur) [Richardson 1903]. Quantentheoretischen Anstößen folgend, gab er seinem Gesetz später eine andere Fassung [Richardson 1914], in einer und an die heutige Schreibweise angepassten Form als

$$I_s = AFT^2 e^{-\frac{c\Phi}{T}} \quad (2)$$

(A – Konstante, F – Kathodenfläche, c – Konstante (ca. 11 600 V<sup>-1</sup>),  $\Phi$  - Austrittsarbeit in Volt).<sup>8</sup> Aber da hatte Lilienfeld seine Vorstellungen von der auf Glühemission beruhenden elektrischen Entladung schon lange veröffentlicht.

### *Lilienfelds problematische frühe Auffassung vom Stromfluss in evakuierten Räumen*

Lilienfelds Publikationen zu der neuen Röntgenröhre schließen an seine frühen Arbeiten zur Gasentladung in immer stärker und schließlich bestmöglich evakuierten Räumen an [Lilienfeld 1907, 1908]. Er hatte mit einer sehr schlanken Glühkathoden-Elektronenröhre mit vielen Einschmelzungen eine zweigeteilte Strom-Spannungs-Charakteristik gefunden (Abb. 4) und in seiner Habilitationsschrift [Lilienfeld 1910] bekannt gemacht. Im Bereich niedriger Anodenspannungen  $U$  gehorchte der von der Glühkathode ausgehende Anodenstrom  $I$  (in verkürzter und leicht veränderter, invertierter Schreibweise) der Beziehung

$$I \sim U^{3/2}, \quad (3)$$

die später als „Raumladungsgesetz“ zentrale Bedeutung erlangte. Tragischerweise konzentrierte sich Lilienfeld auf den für höhere Spannungen herausgelesenen Zusammenhang

$$I \sim U^2. \quad (4^*)$$

Eine Strombegrenzung, also eine Sättigung im Sinne von (1\*) bzw. (2), hatte Lilienfeld nicht gefunden bzw. nicht erreicht.

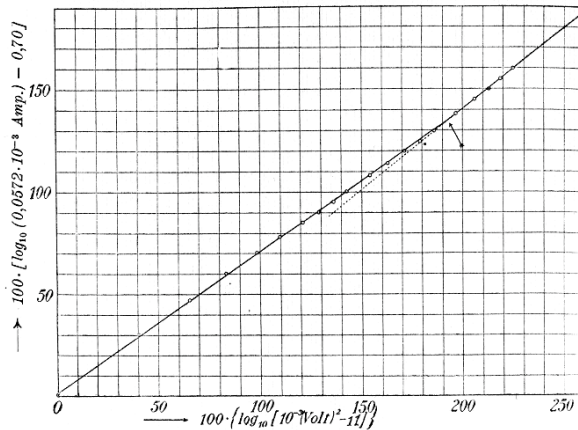


Abb. 4:  
Von Lilienfeld gefundene Strom-Spannungs-Charakteristik für eine bestmöglich evakuierte Elektronenröhre mit Glühkathode (nach [Lilienfeld 1910]). Man beachte den von ihm eingezeichneten Pfeil am Schnittpunkt der seine (logarithmierten) Messwerte vermittelnden Geraden.

„... die Charakteristik besteht aus zwei Teilen. Im ersten Teil wächst das Potentialgefälle wie  $I^{2/3}$ , in dem zweiten wie  $I^{1/2}$ . ...“ [Lilienfeld 1910]

In seinem Bemühen, die quadratische Strom-Spannungs-Charakteristik (4\*) theoretisch zu begründen, führte Lilienfeld – immer aus heutiger Sicht und nachfolgend etwas verkürzt betrachtet – drei Annahmen ein, deren *Verallgemeinerung* höchst problematisch war. Ausgegangen war er von der Abhängigkeit des Stromdifferenzials  $dI$  von der Zahl der beteiligten Ladungsträger  $dn$  und deren Geschwindigkeit  $v$ :

$$dI = v \, dn \quad (5)$$

Um die Strombilanz (5) integrieren zu können, nahm er an, dass die Ladungsträgergeschwindigkeit  $v$  dem Potentialgefälle  $U$  proportional ist:

$$v \sim U \quad (6^*)$$

Das steht im Widerspruch zur Energiebilanz

$$\frac{m}{2}v^2 = qU \quad (7)$$

( $m$  – Masse,  $q$  – Ladung) frei fliegender Elektronen und impliziert, wenn auch so nicht ausdrücklich dargestellt, dass die Elektronen auf dem Wege zur Anode an unerklärten Wechselwirkungen beteiligt sind – sehr wahrscheinlich bedingt durch die ungewöhnliche Geometrie seiner Experimentalröhre. Weiter ging Lilienfeld von einem „Ähnlichkeitsprinzip“ aus, wonach das Potentialgefälle der Dichte der Ladungsträger proportional sei:

$$dU \sim dn \quad (8^*)$$

Damit kann (5) integriert und die Charakteristik (4\*) bestätigt werden. Abgesehen von seiner problematischen Energiebilanz (6\*) unterstellt Lilienfelds Rechenweg über (8\*) mit  $dn \sim ndx$ ,  $n = konst.$ , implizit die *Abwesenheit* von ortsabhängigen Raumladungen:

$$\frac{dU}{dx} \sim konst. \rightarrow \frac{d^2U}{dx^2} = 0 \quad (9)$$

Insofern kann Lilienfelds spätere *Herleitung* der Raumladungsfreiheit aus der Poissonschen Gleichung in der Form von (9) [Lilienfeld 1911, 1914 e] nicht überraschen; hatte er diesen Schluss doch, wie gezeigt, schon früh [Lilienfeld 1908, 1910] implizit als *Voraussetzung* in seine Rechnungen eingebracht. Lilienfelds damaliges Übergehen von Raumladungseffekten ist insofern verwunderlich, als er schon zeitig [Lilienfeld 1907] die Rolle von negativen Volumenladungen in einem Sinne diskutiert hatte, der dem Raumladungsbegriff der modernen Elektronenröhren-Physik zumindest nahe kam.

Schwerer als der geschilderte Irrtum – schließlich funktionierte Lilienfelds Röntgenröhre schon in ihrer ersten Ausgestaltung gut, das hätte die zweifelhafte frühe Sicht ihres Erfinders auf die physikalischen Abläufe in den Hintergrund treten lassen können – wog eine weitere Annahme. Diese wäre zur Herleitung der quadratischen Strom-Spannungs-Beziehung im Lilienfeldschen Sinne gar nicht notwendig gewesen, und sie ist im gebrauchten Zusammenhang unzutreffend. Sie macht die Verhaftung seiner Denkweise mit der frühen Gasentladungsphysik deutlich. Lilienfeld hatte nämlich die Relation (8\*) detaillierter geschrieben mit

$$dn = dn_- - dn_+ = dn_- - \frac{1}{a}dn_- , \quad (10^*)$$

womit er sagen wollte, dass neben einer bestimmten Anzahl thermisch emittierter negativer Ladungsträger, also Elektronen, eine dazu proportionale Zahl positiver Ladungsträger – Proportionalitätsfaktor  $1/a < 1$  – am Stromfluss beteiligt ist. Nun hatte er aber auch gefunden, dass seine Strom-Spannungs-Charakteristik unterhalb eines gewissen niedrigen Druckes vom Evakuierungsgrad unabhängig war. Das wiederum erforderte, dass er dort auch den Proportionalitätsfaktor  $a$  als vom Druck unabhängig ansah. Dies hatte eine fatale logische Konsequenz: *„Die Anzahl der pro Molekel bestehenden positiven Ladungen wächst dauernd ... bei abnehmender Gasdichte ... .“* Er war sich des Problematischen dieser Hypothese wohl bewusst, suchte weitere Erklärungen und kam zu dem Schluss: *„Am einfachsten würde sich jedoch die Sache gestalten, falls man die Existenz freier positiver Ladungen von konstantem Verhältnis der Ladung zur Masse unabhängig von der Materie endgültig nachweisen könnte“* [Lilienfeld 1910]. Damit hatte Lilienfeld gewissermaßen *hypothetische* Ionen eingeführt, neben und unabhängig von den mit besserem Vakuum immer weniger ins Gewicht fallenden *realen* Restgas-Ionen. Trotz seiner klaren Unterscheidung zwischen Restgasmolekeln und „positiven Ladungen“ und ungeachtet der extremen Evakuierung konnte er ein zählebiges Vorurteil nicht vermeiden. Seine Röhren wurden häufig als Ionen-Röhren mit thermisch gestützter Entladung interpretiert. Dieses Missverständnis klingt noch in aktuellen repräsentativen Würdigungen aus Anlass der Entdeckung und 100jährigen Nutzung der Röntgenstrahlen nach.<sup>9</sup>

Bevor wir uns der Verwunderung über Lilienfelds abseitig wirkende Hypothese hingeben sei festgestellt, dass seine Herangehensweise nicht etwa einem eigenwilligen Physikverständnis entsprang, sondern Ausdruck des damaligen unsichern Wissens um das Wesen der Entladungsvorgänge in evakuierten Räumen war. Es sei auch daran erinnert, dass die gleichzeitige Existenz von freien negativen *und* positiven Ladungsträgern und deren gesetzmäßige Verkettung aus der Sicht der später begründeten Halbleiterelektronik, dem heute physikalisch und technisch bei weitem dominanten Feld der Elektronik, keineswegs auf abseitige Weise hypothetisch ist sondern sehr real. Angemerkt sei hier auch, dass es eben diese festkörperphysikalische Sichtweise war, die Lilienfeld später zu wissenschaftlichem Ruhm und wirtschaftlichem Erfolg verhalf – darüber wird noch zu berichten sein. Der physikalische Hintergrund der von Lilienfeld aus seinen Messwerten heraus gelesenen  $U^2$ -Charakteristik ist nie exakt erklärt worden. Ein etwas einseitiger Interpretationsversuch Irving Langmuirs (1881 – 1957) war der Ausgangspunkt der nachfolgend rekapitulierten Kontroverse.

## Die Lilienfeld-Langmuir-Kontroverse als Ausgangspunkt für den Lilienfeld-Coolidge-Konflikt

Wird der Sättigungsstrom einer Kathode wegen zu geringer Anodenspannung nicht abgeleitet, bildet sich eine Raumladung aus, die die überschüssigen Elektronen zur Kathode zurückschickt, und die der Poissonschen Gleichung gehorcht:

$$\frac{d^2u}{dx^2} \sim n \quad (11)$$

Damit und mit der Energie-Bilanz (7) und dem Anodenstrom nach (5) ergibt sich, wieder vereinfacht geschrieben und auf den eindimensionalen Fall längs der x-Achse reduziert, die Differenzialgleichung

$$\frac{d^2U}{dx^2} \sim \frac{I}{\sqrt{U}} \quad (12)$$

Deren Integration führt auf das Raumladungsgesetz nach (3), etwas ausführlicher geschrieben auf

$$I \sim \frac{1}{a^2} U^{\frac{3}{2}} \quad (3a)$$

gültig für  $I < I_s$  nach Gl. (2);  $a$  – Elektrodenabstand. Das ist der Kern von Langmuirs oft zitierter und im Original selten gelesener Arbeit [Langmuir 1913]. Am Ende seines ausführlichen Textes (S. 483/84) hatte sich Langmuir auch mit Lilienfelds quadratischem Gesetz auseinander gesetzt. Er sah wegen des außergewöhnlich langen und komplizierten Entladungsweges in Lilienfelds Experimentalapparatur und wegen möglicherweise gasender Elektroden die Voraussetzung für eine ungestörte Elektronenentladung verletzt. Letzteres lief auf eine herbe Kritik an den vakuumtechnischen Voraussetzungen hinaus. Lilienfeld reagierte gereizt. In einer Erwiderung [Lilienfeld 1914 a] beschwerte er sich, dass Langmuir nicht erwähnt habe, dass er, Lilienfeld, das  $U^{3/2}$ -Gesetz, zutreffend für Ströme unterhalb des Gültigkeitsbereiches seines quadratischen Gesetzes, schon 1910 publiziert habe. Und er erinnerte daran, dass Langmuir einen Exponenten 1,71, also größer als 3/2, gemessen habe, und dass Langmuir solche Abweichungen als Restgaseffekte erklärt hatte. Er, Lilienfeld, habe exakt 3/2 gemessen. Aber Langmuir habe für die eigene Apparatur „perfect vacuum“ reklamiert und ihm, Lilienfeld, schlechtes Vakuum unterstellt.

Die Kontroverse wurde fortgeschrieben, als Langmuir eine etwas abgeänderte zweiteilige deutsche Fassung seiner Arbeit veröffentlichte und im ersten Teil das Raumladungsgesetz darlegte [Langmuir 1914]. Die Replik Lilienfelds [Lilienfeld 1914 b] war sehr scharf. Abgesehen davon, dass er wiederum seine Priorität für das  $U^{3/2}$ -Gesetz einforderte – schließlich habe er das Gesetz „im Jahre 1910 als mit großer Genauigkeit tatsächlich bestehend angegeben“, während es „von Herrn Langmuir zunächst nur (!) errechnet worden“ sei – warf er Langmuir vor, dass dieser unter dem Eindruck seiner, Lilienfelds, ersten Entgegnung inhaltliche Veränderungen gegenüber der amerikanischen Fassung vorgenommen habe, ohne ihn, den Auslöser, zu zitieren. Insbesondere beklagte er, dass Langmuir die problematischen Messungen, die zu einem überhöhten Exponenten (1,71) geführt hatten, nicht mehr erwähnte.<sup>10</sup>

Lilienfelds Schärfe gegenüber Langmuir hatte nicht nur wissenschaftliche, sondern auch handfeste wirtschaftliche Gründe:

*„Die Tatsache eines weniger vollkommenen Vakuums in der englischen Publikation des Herrn Langmuir ist noch deshalb auch für den deutschen Leserkreis von Interesse, weil meine um über 2 ½ Jahre zurückliegenden Arbeiten über die Erzeugung von Röntgenstrahlen seitens des Laboratoriums der General Electric Company, und zwar von Herrn Coolidge, auch in Deutschland unter Bezugnahme auf die Langmuirsche Arbeit insofern angegriffen wurden, als behauptet wird, ich hätte in einem ungenügenden Vakuum gearbeitet.“* [Lilienfeld 1914 b]

Der Wettbewerb um wissenschaftliche Einsichten entwickelte sich zu einer Konkurrenzsituation auf apparativer Ebene und wurde zum Ausgangspunkt und Kern eines nachfolgenden, lang anhaltenden und prägenden Konfliktes mit wissenschaftlichen, technologischen und vor allem wirtschaftlichen Konsequenzen.

Lilienfeld war bei dem Versuch, Langmuirs Unterstellung vom schlechten Vakuum wissenschaftlich zu entkräften und seine Priorität für das Raumladungsgesetz einzufordern, in einer subjektiv bedingt schwachen Position. Er konnte nicht erklären, warum er dem ihm so wichtig gewordenen Zweig seiner Strom-Spannungs-Messkurven, nämlich dem mit der  $U^{3/2}$ -Charakteristik, so wenig Beachtung geschenkt und auf dessen rechtzeitige Herausstellung und Interpretation verzichtet hatte. Und es half ihm auch nicht darauf hinzuweisen, dass er nie von realen Ionen sondern immer nur von positiven Ladungen, die an den zur Röntgenstrahlung führenden Entladung beteiligt seien, gesprochen habe. Das Stigma des niedrigen Vakuums blieb an seiner erfindungsgemäßen Röntgenröhre hängen.

## Die Weiterentwicklung der Lilienfeld-Röhre



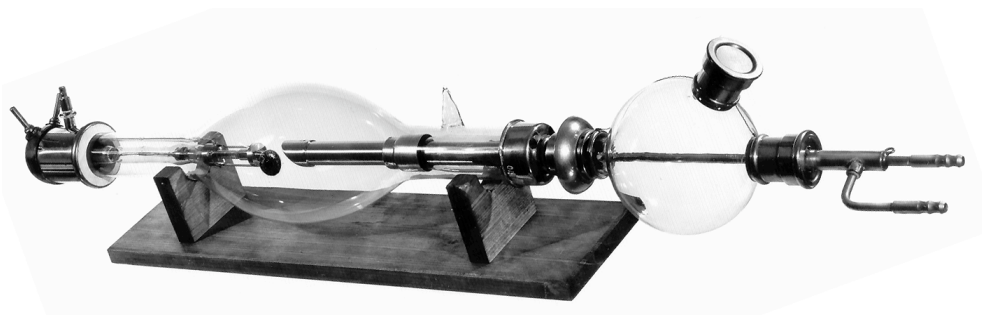
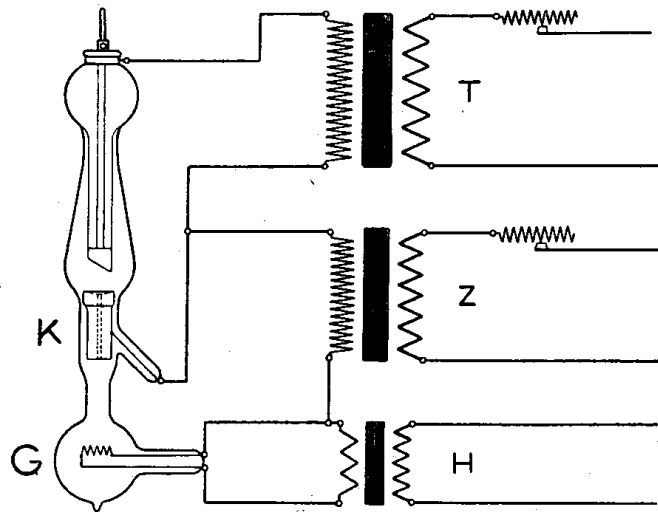
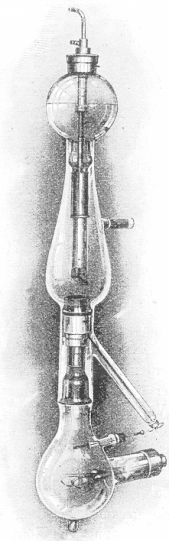
Abb. 5:

Die Ausbildungen der Lilienfeld-Röhre in drei Generationen:

Oben (a): Urmodell 1911 entspr. Abb.2, Fig. 4, u. Abb. 3 (DMM, Inv.-Nr. 51668, Foto des Verfassers mit frdl. Erlaubnis des DMM);

Mitte (b): Urmodell II mit Schaltschema (nach [Koch 1915 /1916]), Länge 92 cm; diese Röhre wird im DMM gezeigt.

Unten (c): Urmodell III DMM, Inv.-Nr., 51670, um 1920, (Foto DMM).



Aus heutiger Sicht, also ohne Lilienfelds hypothetische Ionen, fällt es schwer, die Funktionsweise von Lilienfelds frühem Modell, dem sog. „Urmodell 1911“<sup>11</sup> (Abb. 3, Abb. 5a), zu verstehen. Wenn wir Abb. 3 folgen, dann scheint die Funktion der Röhre, das sei hier in aller bei der Interpretation von Prinzipskizzen gebotenen Vorsicht dargelegt, wesentlich durch die damals an die Entladungstrecken angelegten *Wechselspannungen* gebunden. Jeder Halbwelle, in der die konkave Elektrode (1) zur Röntgenkathode und die plane

Platinelektrode 2 zur Anode wird, geht eine Halbperiode voraus, in der Elektronen von der Glühkathode (3) in Richtung der Elektrode (1) abgesaugt werden und dort Raumladungen aufbauen. Das ist möglicherweise das Ladungsträger-Reservoir, aus dem die eigentliche Röntgenentladung der nachfolgenden Halbwelle gespeist wird.

Bei der weiterentwickelten Lilienfeldröhre (Abb. 5 b, 6) – bestimmt durch das zweite Grundsatzzpatent [DE 331 931] und mehrere Ausführungspatente [DE 332 644, DE 332 645 u. a.], erstmalig beschrieben in [Lilienfeld 1914 c] – werden die Verhältnisse übersichtlicher: Die Lilienfeldröhre ist eine Dreielektrodenröhre (oder mehr), eine „Triode“. Der Anode (oder auch „Antikathode“) steht ein aus geheizter Kathode und zwischengeschalteter „Röntgenkathode“ (auch „Lochkathode“ genannt), der auch eine weitere Elektrode, eine „Primäranode“, vorgeschaltet sein kann, bestehender Kathodenraum gegenüber. Ein Teil der emittierten Elektronen passiert die gegenüber der Primärkathode als Anode wirkende perforierte Röntgenkathode und wird von einer im Vergleich zur „Primärentladung“ sehr hohen Spannung zur Anode hin beschleunigt. Die als „Urmodell II“ bezeichnete und mit einer wassergekühlten Antikathode versehene Ausführung (Abb. 5b) bestimmte den Beginn der Serienfertigung für K&S 1915 [Koch 1915/1916] und war wohl, wenn wir die Fach- und Prospektliteratur dieser Zeit und der Folgejahre zugrunde legen, das eigentliche Erfolgsmodell. Es wurde später, wiederum in Anlehnung an das zweite Grundsatzzpatent [DE 331 931], zum Urmodell III (Abb. 5c, Abb. 6.) mit axialer Durchführung der Glühkathodenanschlüsse weiterentwickelt.

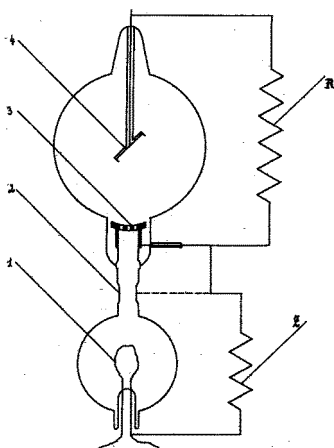


Abb. 6:  
Lilienfeld-Röhre nach dem zweiten Grundsatzzpatent DE 331 931, Grundlage für die Ausgestaltung als Urmodell II und III.

Die Röhre ist erkennbar (mindestens) eine Triode mit der perforierten Röntgenkathode 3 (gewissermaßen dem Gitter der klassischen Triode), der Glühkathode 1 und der Anode bzw. Antikathode 4. „2“ deutet eine evtl. vorhandene Zwischenelektrode, die „Primäranode“, an.

Das patentrechtlich Brisante des erreichten Standes lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Obwohl Lilienfelds Erklärungen und Ansprüche das Verhaftetsein mit der frühen Gasentladungsphysik zeigen, formulierte er im Grundsatzzpatent zu den Urmodellen II und III [DE 331 931] mit dem letzten seiner fünf Ansprüche einen Ausblick, in dem die geheizte



„Primärkathode“ und die „Röntgenkathode“ – so vorhandenen auch eine zwischen Primärkathode und Röntgenkathode liegende „Primäranode“ – auf gleiches Potential gelegt werden und damit elektrisch zu *einer* Elektrode schrumpfen. Das zielt auf die Bildung einer Zweipol-Röntgenröhre, einer Röntgendiode, so wie sie mit dem Namen Coolidge in die Röntgenpraxis und in die Literatur eingegangen ist. Das war ein halbes Jahr *nach* dem Coolidge sein Grundsatzpatent [US 1,203,495] beantragt und ein Monat *bevor* Coolidge seine Röhre bekannt gemacht hatte [Coolidge 1913].

### Die Coolidge-Röhre und der Lilienfeld-Coolidge-Konflikt in den USA

Lilienfeld meldete sein erstes Grundsatzpatent [DE 256 534] und die wichtigsten seiner Folgepatente auch in den USA (und in weiteren Ländern) an; auf Ersteres erhielt er am 22. Dezember 1914 das US-Patent Nr. 1,122,011 nach der Anmeldung vom 2. Oktober 1912. Dem setzte Coolidge sein Grundsatzpatent, angemeldet am 9. Mai 1913 und patentiert am 31. Oktober 1916, entgegen [US 1,203,495]. Zu dessen Kernpunkt entwickelte sich die zunächst nur als Ausführungsbeispiel beschriebene und keineswegs den Hauptanspruch umfassend in Anspruch nehmende Diode (Abb. 7).

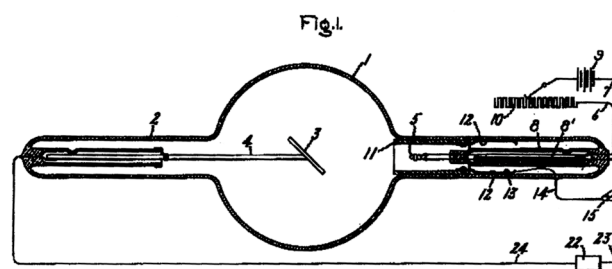


Abb. 7:  
Coolidge-Röhre nach US 1,203,495, Ausführungsbeispiel nach Fig. 1, nach Abbildung (nicht nach Beschriftung) identisch mit Fig. 1 der deutschen Fassung CH 69 401.  
5 bezeichnet die Glühkathode, 3 die Anode. Die Heiztemperatur wird mit dem Stellwiderstand 10 eingestellt; 22 steht für die Anodenspannungsquelle.

In einer *wissenschaftlichen* Darstellung, in der Coolidge den Stand der Technik analysierte [Coolidge 1913], grenzte er sich – anders als in der genannten Patentschrift! – deutlich gegen Lilienfeld ab. „*Their* (Plural wegen des Bezugs auf [Lilienfeld / Rosenthal 1911 / 1912]) *tube is dependent for its operation on the presence of positive ions ...* .” Da Coolidge um die experimentellen Fähigkeiten Lilienfelds wusste und keine Zweifel an der Leistungsfähigkeit von dessen Vakuumapparatur hegen konnte, ging er davon aus, dass das Elektrodenmaterial bei thermischer Belastung Gas abgab. Hier durfte sich Coolidge als anerkannter Spezialist für

Hartmetalle im Vorteil fühlen. Einen wissenschaftlichen Irrtum Lilienfelds, nach dem die positiven Ladungsträger als Konsequenz aus falschen Voraussetzungen lediglich postuliert wurden, zog er nicht in Betracht. Damit war das Konfliktfeld im Groben abgesteckt. Nicht nur der Inhalt, auch das Muster der Auseinandersetzung Lilienfelds mit Coolidge gleicht dem der Auseinandersetzung mit Langmuir. Lilienfeld reagierte mit einem reply [Lilienfeld 1914 d]; Coolidge publizierte umgehend in Deutschland [Coolidge 1914 / 1915] – auch er konnte wie Lilienfeld auf eine positive klinische Erprobung seiner Röhre verweisen [Cole 1914 / 1915] – und erzeugte prompt eine weitere Erwiderung [Lilienfeld 1914 / 1915].

Wenn wir das Austragen der Konflikte verfolgen, in den USA wie auch im Ursprungsland der Lilienfeld-Röhre, zeigt sich, dass auch die zweite der heute gängigen Auffassungen, Lilienfeld hätte wegen seiner naturgemäß aufwändigen Mehrelektrodenröhre unterliegen müssen, die Sicht verkürzt und am Kern der Sache vorbei geht – jedenfalls was die Frühphase der Auseinandersetzung betrifft. In bemerkenswerter Weise beschreibt auch ein großer Teil der 33 (!) von Coolidge mit seinem Grundsatzpatent vorgelegten Schutzansprüche Elemente innerhalb der Röhre zur Beeinflussung des Feldverlaufes und der Stromleitung, Elektroden also, die teils intern mit anderen Elementen verbunden sind, teils zu Steuerzwecken nach außen geführt werden können. Im Hauptanspruch seines exzessiven und mit vielen Redundanzen versehenen Schutzbegehrens beschreibt er eine Einrichtung zur Erzeugung von X-Strahlen, gekennzeichnet durch eine mit Elektroden versehene Röhre, ausgestattet mit bestmöglichem Vakuum um Ionenbildung zu vermeiden und mit Mitteln zur Erzeugung von Elektronen an der Kathode unabhängig von der angelegten (Anoden-) Spannung. Sehen wir von der patentrechtlichen Fragwürdigkeit ab, dass hier im erheblichen Maße *Eigenschaften* der Röntgenröhre und nicht nur die *konstruktiven Merkmale* zu deren Herbeiführung geschützt werden, so geht doch die Überdeckung der Ansprüche und Beschreibungen beider gegeneinander stehender Anmeldungen sehr weit. Aber so problematisch und anfechtbar Coolidges universelles Schutzbegehren war, so wegweisend und stabil erwies sich die unter Fig. 1 als Ausführungsbeispiel vorgelegte Röhre (Abb. 7). Sie wurde, ungeachtet einer Flut von späteren Röntgenröhrenpatenten, bestimmend für die künftige Entwicklung. Das Grundmuster blieb jedermann erkennbar, so lange die klassische Glaskolbenkonstruktion dominierte. Aber auch später, als der massive Einsatz keramischer und metallischer Werkstoffe die Gestalt der Röntgenröhre prägte, spielte sich im Inneren nichts anderes ab als von Coolidge mit seinem Ausführungsbeispiel veranschaulicht.

Die Bearbeitung von Lilienfelds zweiter Anmeldung (vom 17. April 1914), diese betraf die wissenschaftlich und technisch bedeutsame „Triode“ (Abb. 6), wurde wegen kriegsbedingter Kommunikationsprobleme zwei Jahre unterbrochen und erst am 6. März 1917 mit der Erteilung des Patentes abgeschlossen [US 1,218,423] – 6 Monate nach Erteilung des grundsätzlichen Coolidge-Patentes und drei Monate nach Anmelden eines zweiten Coolidge-Patentes zur Röntgenröhrentechnik. Auch dessen Erteilung im Oktober 1920 [US 1,355,126] war nicht unproblematisch; die durch eine spezielle Elektrodenkonstruktion gekennzeichnete Röhre (Abb. 8) war letztlich eine Ausgestaltung des grundsätzlichen Coolidge-Patentes und hätte auch als von dessen umfangreichem Schutzbegehren abgedeckt angesehen werden können.

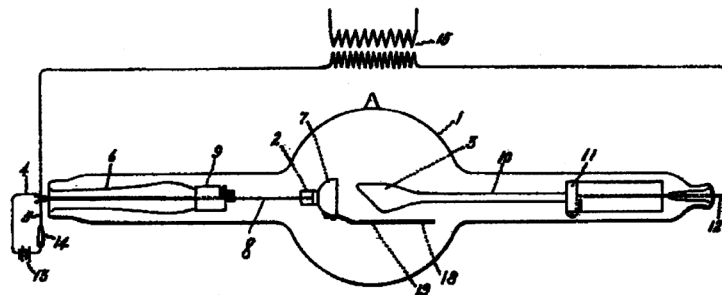


Abb. 8:  
Ausführungsbeispiel nach dem Coolidge-Patent US 1,355,126 (aus technischen Gründen entnommen aus DE 366 550). Die Röhre zeichnet sich durch einen Schirm 18 aus, der die von Sekundärelektronen verursachte weiche, großflächig erzeugte und diffuse Röntgenstrahlung abschirmt, die vom Brennfleck kommende erwünschte Strahlung durch das Fenster 19 aber passieren lässt.

Wurden die Kontroversen zunächst auf wissenschaftlichem Feld ausgetragen – Lilienfeld musste seine Röhre gegen den Vorwurf des ungenügenden Vakuums verteidigen, die Frage nach der Zahl der Elektroden stand nicht im Vordergrund – , so kamen nicht zuletzt wegen der indifferenten Haltung des US-Patentamtes bald die Gerichte ins Spiel. Lilienfeld hatte schlechte Karten. Der Eintritt der USA in den ersten Weltkrieg machte seine Position nicht besser. Jedenfalls sah sich Lilienfeld veranlasst, Anfang der 20er Jahre zur Wahrung seiner Interessen in die USA zu reisen. Die Leipziger Universitätsakten belegen mehrfache Beurlaubungen vom Lehramt. Die Schutzansprüche seiner Kontrahenten konnte Lilienfeld (zunächst!) nicht einengen. Aber auf Dauer blieben seine Gegner auch nicht unbeschädigt. Coolidges Wolframpatent, in dem er die von ihm kultivierte Hartmetalltechnologie auf den Schutz von Wolfram(faden)kathoden für die General Electric Company (nachfolgend GE genannt) sehr allgemein ausgedehnt hatte [US 1,082,933], wurde 1928 eingeschränkt. Einer sehr weit reichenden Anmeldung Langmuirs, die die Monopolstellung der GE, dem Halter

der Coolidge Patente, in Sachen Hochvakuum-Elektronenröhren ganz allgemein befestigt hätte, blieb die Patenterteilung zwölf Jahre lang, bis 1925, versagt [US 1,558,437]. Auf Intervention der De Forest Radio Company und anderer wurde das Patent schließlich 1931 vom Supreme Court für nichtig erklärt, und zwar unter ausdrücklichem Bezug auf Lilienfelds Habilitationsschrift [Lilienfeld 1910] und mit der Begründung, dass der ausschließliche Verweis auf ein gegenüber älteren Röhren höheres Vakuum nicht schutzfähig sei.<sup>12</sup> Zu dieser Zeit war von Lilienfelds Erfindung nur noch die Erinnerung und das Vorurteil vom zu geringen Vakuum geblieben.

Es scheint, dass sich auch Coolidge an diesem Langmuir-Patent [US 1,558,437] gerieben hatte. Jedenfalls finden wir in der Endfassung seines Grundsatzpatentes die (ihm offenbar auferlegte) Einfügung, dass verschiedene allgemeine von ihm offengelegte Aspekte nicht Gegenstand seiner Erfindung sondern durch Ansprüche Langmuirs definiert seien, niedergelegt in dessen Anmeldung nach der Fassung vom 14. März 1916.

### **Eine erste Zwischenbilanz**

Damals wie heute wird beiden Wissenschaftlern, Lilienfeld und Coolidge, bestätigt, dass sie mit ihren geheizten Kathoden und der einstellbaren Anoden-Spannungsversorgung Härte (Energie) und Menge (Intensität) der Strahlung voneinander entkoppelt hätten. In diesem Sinne wird Lilienfeld Priorität zugebilligt. So wie diese damalige Sicht auch heute noch gilt, so kurz greift i. d. Regel unsere heutige Beschreibung der damaligen Situation. Lilienfeld hatte ursprünglich die Verminderung der Härte der Strahlung *keineswegs* durch eine geringere Anodenspannung herbeigeführt (und umgekehrt), sondern, entgegengesetzt, durch eine Intensivierung der Heizung der („Hilfs“-) Kathode. Dadurch wird, nach seinem damaligem Verständnis und Sprachgebrauch, eine höhere Leitfähigkeit des eigentlichen „sekundären“ Entladungsraumes herbeigeführt [Lilienfeld / Rosenthal 1911/1912], was bei einer hochohmigen Anodenspannungsquelle, einem Induktor oder Streufeldtransformator zum Beispiel, zum Zusammenbrechen der Anodenspannung und damit zum Erweichen der Strahlung führen musste. Offensichtlich war die Intensitätsbeeinflussung zunächst noch weitgehend mit der „Härte“-Regulierung verkoppelt.

Coolidges Grundsatzpatent ist in dieser Frage inkonsistent: *“The penetrability or in other words the “hardness” or “softness” of the X-rays may be adjusted at will by adjusting the temperature of the cathode”* An anderer Stelle: *“... the resistance of the tube, and, hence the penetrating power of the Röntgen rays produced in the tube, may be controlled ... by raising or lowering of the temperature of the cathode; ... .”* Er sagt aber auch: *“Increasing the impressed voltage will cause substantially no further increase in current. It will increase the velocity of the cathode rays and hence the penetrating power of the Röntgen rays.”* Womit er sich auf den Betrieb unter Sättigungsbedingungen bezog. Es ist schwer zu entscheiden, in wie weit diese Inkonsistenzen in Inhalt und Ausdruck – “X-rays“ ↔ “Röntgen rays“ bzw. “temperature controlled hardness“ ↔ “impressed voltage controlled penetrating power“ – Ausfluss einer über Jahre erstreckten wissenschaftlichen Arbeit sind oder Folge der iterativen Auseinandersetzung mit dem Patentamt. Sicher scheint aber, dass Coolidges Anmeldung nicht als Schnellschuss in Folge der Lilienfeldschen Veröffentlichung gesehen werden kann. Andererseits ist anzunehmen, dass Coolidge vor seiner Anmeldung Lilienfelds Ideen gekannt hat, und zwar nicht nur wegen der kalendarischen Differenz zwischen Lilienfelds ersten Veröffentlichungen und Coolidges Anmeldung; schwer wiegen wohl auch die biographischen Verkettungen der beiden Protagonisten – dazu später. Trotzdem hat sich Coolidge nicht einschränkend aber sicheren Erfolg versprechend abgegrenzt. Er setzte wohl auf den Heimvorteil, seinen und seines Anmelders, der GE. Zwischenzeitlich mit Erfolg, wie wir sahen, aber ohne Garantie für die Auslandsrechte.

Wie sehr Lilienfelds und auch Coolidges frühe Sichtweisen auf das Problem der „Härteregelung“ vom Stand der Hochspannungsversorgungstechnik geprägt waren, und wie lange die so bestimmte Praxis auch bei den Anwendern der Coolidge-Röhre nachwirkte, zeigt ein Prospekt von Reiniger, Gebbert & Schall (nachfolgend RGS genannt) aus dem Jahre 1921. Er beschreibt eine Zusatzeinrichtung zur Stabilisierung und Steuerung der Kathodenheizung von Coolidge-Röhren – bestehend aus leistungsfähigen Akkumulatoren und Widerstandsreglern.<sup>13</sup> Zur Begründung von deren Zweckmäßigkeit heißt es: *„Steigt die Spannung, dann nimmt die Glüh­temperatur gleich sehr beträchtlich zu ... und die Strahlung, die von der Röhre ausgeht, ist viel zu weich.“* Das war zehn Jahre nach Lilienfelds Erfindung zur Behebung der Verkopplung von Härte und Intensität der Röntgenstrahlung bei den bis dahin bekannten Röhren. Die Erlanger Techniker befanden sich bei ihrer Beschreibung der vom Stand der Hochspannungstechnik diktierten praktischen Handhabung der modernen Röhren in guter Gesellschaft. Paul Knipping (1883 – 1935), bekannt geworden durch seine

Mitwirkung an der Verwirklichung der Idee Max von Laues (1879 – 1960) zur Erzeugung von Röntgenstrahleninterferenzen<sup>2</sup>, als (vermutlich freier bzw. zeitweiliger) Mitarbeiter der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin (nachfolgend AEG genannt) maßgeblich an der Einführung der Coolidge-Röhren beteiligt – wir kommen auf diesen Sachverhalt zurück –, sah in seinem Rückblick auf 25 Jahre Röntgenstrahlen die praktischen Möglichkeiten kaum anders: *„Nun steigt aber die Anzahl der Elektronen, die ein solcher Glühdraht aussendet, mit steigender Temperatur, so daß man es in der Hand hat, allein durch die Einstellung des Glühgrades ... jeden Grad der Leitfähigkeit (der Röhre) zu erzeugen. Auf diese Weise ist man in der Lage, bei gegebener Spannung die Strahlhärte durch den Glühgrad einzustellen“* [Knipping 1920]. Auch hier fehlt, weil dem damaligen Stand der Technik inhärent, die Präzisierung *„bei gegebener Spannung(squelle) mit hohem Innenwiderstand“*.

Auch das letztlich ausschlaggebende und heute vordergründig so wahrgenommene und interpretierte Merkmal für die Durchsetzungsfähigkeit der Coolidge-Röhre, dass sie nämlich auf eine technologisch und funktionell *einfachere* Zweielektrodenröhre zurückgeführt werden kann, war anfänglich nicht Gegenstand der patentrechtlichen Auseinandersetzung. Immer wieder wurde der Akzent auf die bestmögliche Evakuierung gesetzt, eine weder patentfähige noch zutreffende Unterscheidung der beiden Röhrentypen.

### **Ein Argument für Lilienfelds Triode und eine Rechtfertigung für Coolidges Unschärfe**

Die verbale Gegenüberstellung der ausgetauschten Auffassungen und Argumente und die Interpretation unterschiedlicher zeitgebundener Sichtweisen erklären nicht, warum die durch einen komplizierten Systemaufbau und mehrere Entladungsstromkreise scheinbar benachteiligte Lilienfeld-Röhre über etwa ein Jahrzehnt eigenständige Bedeutung behielt – ungeachtet eines scharfen Konkurrenzkampfes. Es gehört zu den Eigenheiten dieser Auseinandersetzung, dass sie ausgestanden war, bevor die zu ihrer Erklärung erforderlichen physikalischen Erkenntnisse Allgemeingut wurden. Insofern besteht, was die Analyse der physikalischen Aspekte betrifft, partieller Nachholbedarf:

Die aufwändigen Bemühungen der Anlagenhersteller um die Stabilisierung der Kathodenheizung der Coolidge-Röhre, siehe oben, haben ihre Ursache im Richardson-Gesetz (2). Die erforderlichen hohen Beschleunigungsspannungen und ein daran gemessen kurzer

Entladungsraum machen deutlich, dass die Röntgenröhre i. d. R. in der Sättigung betrieben wird. Eine einfache Abschätzung ergibt – das Kathodenmaterial Wolfram mit einer Austrittsarbeit  $\Phi = 4,48$  Volt und einer Kathodentemperatur  $2100$  °K eingesetzt (das ist die von Coolidge im Mittel eingestellte Temperatur [Coolidge 1913, 1914/1915]) –, dass eine relative Temperaturschwankung  $\Delta T/T$  mit

$$\frac{\Delta I_s / I_s}{\Delta T / T} \approx \frac{c\Phi}{T} \approx 25 \quad (13)$$

auf den Anodenstrom sehr stark durchschlägt.

Andererseits ist die Annahme begründet, dass für die „Primärentladung“ der Lilienfeldröhre das Raumladungsgesetz gilt. Eine plane Elektrodenkonstellation mit einem Abstand von 15 cm vorausgesetzt – siehe das Raumladungsgesetz nach (3a) –, das ist eine Annäherung an die Geometrie der Lilienfeld-Röhre, und wiederum eine Kathodentemperatur von  $2100$  °K angenommen, ergibt sich aus Raumladungs- und Sättigungsgesetz bei Einsetzen der heute anerkannten Werte für die Konstanten eine Spannung von ca. 8 Kilo-Volt, oberhalb der die raumladungsbestimmte Entladung in eine vom Sättigungsstrom bestimmte Entladung übergeht. Die Primärentladung wird aber, wenn wir den Angaben des Anlagenbauers folgen [Koch 1915/1916], mit maximal 5 kV (Wechselspannung!) gespeist. Was heißt, dass der aus Glühkathode und Röntgenkathode bestehende Kathodenraum eine Elektronenquelle darstellt, deren Ergiebigkeit von (kleineren) Schwankungen der Kathodentemperatur unabhängig ist – im Raumladungsgesetz nach (3, 3a) kommt die Kathodentemperatur nicht vor. Dass wäre, so lange die Gewährleistung stabiler Bedingungen für den Heizstromkreis noch nicht sicher beherrscht wurde bzw. durch zusätzliche technische Mittel angestrebt werden musste, ein deutlicher Vorzug der Lilienfeld-Röhre und könnte die Mehraufwendungen für die Spannungsversorgung ihrer beiden Entladungsstromkreise und für die Röhre selbst kompensiert haben – auch wenn von Lilienfeld zunächst so nicht gesehen und angestrebt.

Nun sind aber die Verhältnisse nicht ganz so klar, wie den Abschätzungen zugrunde gelegt. Die Entladungsgeometrie ist weder ideal eben noch rotationssymmetrisch. Außerdem wurden die Röhren in den in Rede stehenden Jahren in der Regel mit Wechselspannung betrieben, so dass die Entladung von den Sinushalbwellen getragen wird, die die Antikathode auch elektrisch zur Anode machen, also positiv laden. Die Entladung ändert so spannungs- und damit zeitabhängig ihren Charakter. Coolidge hatte also guten Grund, unterschiedlichste

Bedingungen – sowohl den Raumladungs- als auch den Sättigungsfall als auch deren Überlagerung – zumindest indirekt und vorbeugend in sein Schutzbegehren einzubeziehen.

### **Die Zuspitzung des Lilienfeld-Coolidge-Konfliktes in Deutschland**

#### ***Der Weg der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG) zur Führerschaft um die Durchsetzung der Coolidge-Röhre***

Die AEG hatte nach bekannt werden der Röntgenschen Entdeckung wie viele andere große und kleine Unternehmen auf die neue Technik gesetzt, ihrer Wirtschaftskraft entsprechend mit Erfolg. Aber die noch nicht voll ausgereifte Technik stand der Expansionsphilosophie des Unternehmens, die sich an einer wohl organisierten und auf enge Toleranzen zielenden Großserienproduktion orientierte, entgegen. Die Röntgenaktivitäten wurden um 1902 vorübergehend zumindest stark eingeschränkt.<sup>14</sup> Etwa zur gleichen Zeit fusionierte die AEG (zunächst auf Zeit) mit der Union Elektrizitätsgesellschaft. Letztere war auf den Bau elektrischer Bahnen spezialisiert und mit der GE vertraglich verbunden. Auf diese Weise kam die AEG in den Genuss des vertragsgemäßen Patentaustauschs mit der GE und deren Töchtern.<sup>15</sup> In den etwa zehn Jahre später bekannt gewordenen Vakuum-Röntgenröhren sah man zu Recht das Mittel, die Unwägbarkeiten der frühen Röntgentechnik zu überwinden. Verständlich, dass man sich an die vertraglich zugänglichen und nicht an die patentrechtlich entgegen stehenden Konzepte anlehnte. Schon 1914 begann man sich mit der Coolidge-Röhre auseinander zu setzen; maßgeblicher Wissenschaftler war nach den überlieferten internen technischen Berichten Paul Knipping<sup>16</sup>. Noch im gleichen Jahr gab man erste Röhren zur klinischen Erprobung.<sup>17</sup> Spätestens 1917 konnte man diese Röhren in Serie fertigen. Die AEG trat in der Folgezeit zunächst als Röhrenproduzent auf – diese Linie schloss technologisch gut an die Glühlampen- und insbesondere an die Verstärker- und Senderöhren-Produktion an – später auch als Lizenzgeber. Dem Röntgen-Anlagenbau widmete sich die AEG nicht mehr.

#### ***Das Ringen um die Coolidge- und Lilienfeld-Konzepte***

Die Patentingenieure der AEG waren sich der Problematik des Coolidge-Grundsatzpatentes [US 1,203,495] wohl bewusst. Sie strafften es in ihrer deutschsprachigen Fassung; die Zahl



der Ansprüche wurde halbiert. Es gelang, diese Fassung in der Schweiz durchzusetzen. Das Patent wurde am 16. Juni 1916 vom Eidgenössischen Amt für Geistiges Eigentum veröffentlicht [CH 69 401]. Coolidges zweites, einer speziellen Diodenkonstruktion gewidmetes Röhrenpatent ([US 1,355,126] – Abb. 8, siehe oben), eingereicht am 12. Dezember 1917, passierte offenbar unter Mühen und nur als Schweizer Zusatzpatent zum o. a. Hauptpatent [CH 92 897]. Der deutschen Anmeldung des Coolidge-Grundsatzpatentes vom 7. Februar 1914 [DE A. 25 396] blieb die Erteilung versagt. Das zeigte der Reichsanzeiger am 5. September 1917 an.<sup>18</sup>

Pikanterweise waren es nicht die Lilienfeldpatente, die nach Auffassung des kaiserlichen Patentamtes der Coolidge-Anmeldung der AEG entgegenstanden, sondern Erfindungen des Dr. Robert Fürstenu (1887 – ?), Vorstand der AEG nahen Firma Radiologie-AG. Fürstenu, schon als Konstrukteur von Ionen-Röntgenröhren hervorgetreten, erlangte zeitig, gültig vom 30. April 1912 ab, ein Patent auf ein „Verfahren zur Erzeugung von Röntgenstrahlen beliebig einstellbaren Härtegrades unabhängig vom Vakuum“ [DE 271 306]. Er hatte nach Kritik an der praktischen Nutzbarkeit der Lilienfeld-Röhre – diese bezog sich naturgemäß auf das Urmodell 1911 – sehr allgemein Schutz für eine Röhre mit einer auf hohe Temperaturen erhitzbaren Elektrode begehrt. Auf eine nachgereichte Erfindung – sie betraf eine Röhre mit Glühkathode *und* einer thermisch aktivierbaren Gasquelle, was auf die Verhaftung von Fürstenaus Vorstellungen mit der Physik der Ionen-Röntgenröhren hinweist – wurde ein Zusatzpatent erteilt [DE 274 258]. Mehrere Unternehmen, belegt ist das Interesse des Hamburger Röhrenherstellers C.H.F. Müller (künftig CHFM genannt)<sup>19</sup>, bemühten sich um das Fürstenu-Patent. Das Rennen machte der Röntgenpionier Friedrich Dessauer (1881 – 1963) für seine Veifa-Werke<sup>20</sup>, eine vorwiegend im Röntgen-Anlagenbau engagierte Firma. Gegen dieses Patent klagte der Lilienfeld-Partner K&S.<sup>21</sup> Damit war aus patentrechtlicher Sicht der Rahmen für die frühen Auseinandersetzungen um die Glühkathoden-Röntgenröhren in Deutschland aufgespannt.

Nahezu peinlich wirkte die Situation der AEG. Ohne das Coolidge-Grundsatzpatent war sie zunächst lediglich Röhrenhersteller im Auftrag des Inhabers der Fürstenu-Rechte, der Veifa. In der Tat zeigt ein visueller Vergleich (Abb. 9), dass die von Veifa angebotene „Fürstenu-Coolidge-Röhre“ identisch ist mit der in [Norden 1916] vorgestellten frühen „AEG-Röhre“. In produktionstechnischer Hinsicht war das nicht problematisch. Der Bedarf der Veifa lastete die bei der AEG installierten Kapazitäten aus. In wirtschaftlicher Hinsicht baute man wohl auf die von bzw. mit GE gehaltenen Auslandsrechte und deren Verwertung in

der Nachkriegszeit. Patentrechtlich ging es darum, aus der Fülle der GE-Patente wenigstens Bruchstücke in Deutschland durchzusetzen. Die Materie war insofern schwierig, als neben den eigenen Anmeldungen frühe Prioritäten in den USA, diesbezüglich laufende oder verstrichene Schutzfristen und durch Krieg und nachfolgenden Friedensvertrag begründete Aufschübe der Fristen ins Spiel kamen. Zur am Aufwand gemessenen mageren Ausbeute zählen die schon erwähnte spezielle Coolidge-Konstruktion nach Abb. 8 [DE 366 550] und eine Coolidge-Röhre mit elektrostatisch wirkender Sammellinse [DE 313 957].

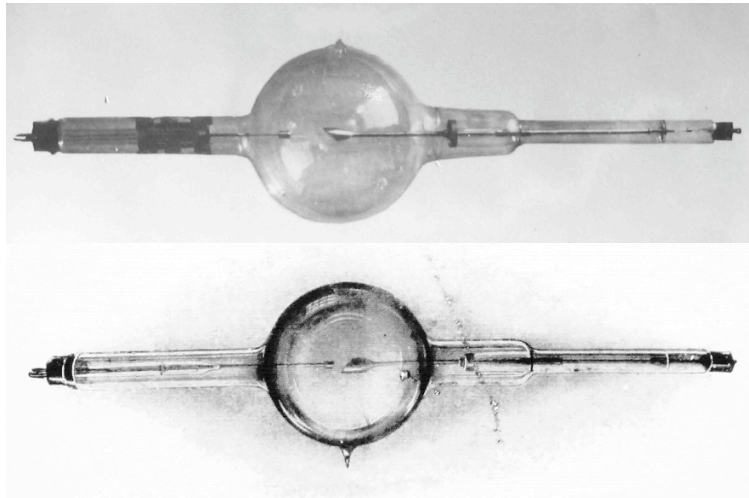


Abb. 9:  
Oben die „Coolidge-Röhre“ der AEG (1914, 1917) (nach DTMB, Archiv, I.2. C 5987, eigene Kopie m. frdl. Erlaubnis des DTMB), identisch mit der Abbildung in [Norden 1916]; unten eine „Fürstenau-Coolidge-Röhre“, angeboten von Veifa, (nach Prospektmaterial 1919). Beide Röhren sind nahezu identisch.

Siemens & Halske (nachfolgend S&H genannt) und AEG, beide ohnehin über die gemeinsame Tochter Telefunken verbunden, hatten sich schon 1914 gegenseitig nichtausschließliche Rechte zur Verwertung ihrer Röntgenpatente eingeräumt und die finanziellen Konditionen – wechselseitige Lizenzgebühren in Höhe von 8% des jeweiligen Listenpreises – geregelt. S&H hatte das Wolframelektroden-Patent DE 165 138<sup>22</sup> eingebracht und die AEG die Anmeldung des Coolidge-Grundsatz-Patentes DE A. 25 396. Schon 1914 beteiligten sich Mitarbeiter von S&H an der klinischen Erprobung der AEG-Röhre. „*Wenn da auch noch manches mangelhaft war, so konnte man doch damals schon dem Typ eine große Zukunft voraussagen*“ [Albers-Schönberg 1916/1917]. Das veranlasste S&H zu eigenen Entwicklungen, und zwar sowohl von Röhren als auch von Anlagen. Im Januar 1916 stellte S&H der Berliner medizinischen Gesellschaft (Vortrag veröffentlicht in der Berliner klinischen Wochenschrift No. 12 u. 13, 1916) erste Röhren, ähnlich den Fürstenau-Coolidge-Röhren, und zugehörige Anlagen vor. Bald führte S&H auch eine wassergekühlte Coolidge-

Röhre ein und hatte damit hinsichtlich des erreichbaren Leistungsumsatzes mit Lilienfelds Urmodell II wenigstens dem Prinzip nach gleichgezogen (Abb. 10).

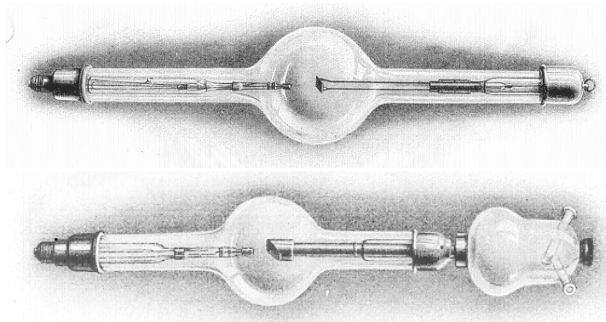


Abb. 10:  
S&H-Coolidge-Röhren, unten  
die wassergekühlte; nach einem  
undatierten Prospekt um 1916

S&H konnte sich sicher fühlen. Man verfügte über eigene Coolidge-Röhren und über das starke Wolframelektroden-Patent, und zwar ausschließlich; der AEG drohte mit dem Versagen des primären Coolidge-Patentes die vertragsgemäße Gegenleistung abhandeln zu kommen.

K&S baute, was die Glühkathoden-Röntgenröhren betrifft, von Anfang an auf die Lilienfeld-Röhre. Bis Mitte 1915 waren K&S-Röntgenanlagen im Allgemeinen Krankenhaus Wien, im Vereins-Lazarett zum Roten Kreuz Dresden, im Reserve-Lazarett Arnsdorf i. Sa. und im Vereins-Lazarett Sanatorium Bad Elster erfolgreich in Betrieb. Auf physikalischem Gebiet wurde am Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Leipzig seit mindestens einem Jahr mit der Lilienfeld-Röhre gearbeitet. Nach einigem Schwanken schloss sich RGS der Sicht von K&S an. In dem am 12. Oktober 1916 geschlossenen Vertrag<sup>23</sup> war Lilienfeld die zentrale Figur. *Er* garantierte RGS bis zu 120 Röhren pro Jahr. Die Röhrenhersteller gingen nur als „seine Fabrikanten“ in den Vertragstext ein. RGS verpflichtete sich, mindestens 60 Röhren pro Jahr abzunehmen. K&S war insofern in einer bevorzugten Position, als RGS vertraglich auf die Lilienfeld-Anlagentechnik von K&S festgelegt war, durch Kauf oder durch Lizenzerwerb. Der Vertrag sollte bis Ende 1921 gelten. Zündstoff war auch eingebaut: RGS war der Vertrieb von Coolidge-Röhren untersagt, Lilienfeld die Weitergabe von Röhren und Lizenzen an Dritte.

## Ein Wendepunkt in Lilienfelds wissenschaftlichen Auffassungen

Im Dezember 1916 wurden die Filialvorstände von RGS in einer vertraulichen Konferenz auf die neue Situation eingestellt und mit der „Lilienfeld-Apparatur“ vertraut gemacht. Lilienfeld war einer der drei Vortragenden.<sup>24</sup> Schwerpunkt seiner Ausführungen war eine vergleichende Betrachtung zu den beiden konkurrierenden Röhrentypen. In wissenschaftshistorischer Sicht markiert die Erlanger Filialleiterkonferenz insofern einen Wendepunkt, als die Sachverhalte, dem Teilnehmerkreis entsprechend, unbelastet von problematischen Theorien und Hypothesen und zu deren Verknüpfung herangezogener mathematischer Überlegungen dargestellt wurden. Das führte zu Erklärungen, die durchaus modern anmuten. Zum ersten Male beschrieb Lilienfeld den zur Anode (Antikathode) seiner Röntgen-Triode gelangenden und dort die Strahlung auslösenden Strom als Differenz zwischen dem von der Glühkathode emittierten und dem von der „Röntgenkathode“ – aus heutiger Sicht dem zwischen Kathode und Anode liegendem „Gitter“ – abgeleiteten Strom. Er gab sogar eine Dimensionierungsempfehlung: Der emittierte Glühkathodenstrom solle den Anodenstrom maximal um 50% überschreiten. Das lief auf eine Konstruktionsvorschrift für die perforierte Röntgenkathode hinaus. Hypothetische freie positive Ladungsträger brauchte Lilienfeld für die Erklärung seiner Röhre nicht mehr. Auch die Entkopplung von Intensitäts- und Härtesteuerung war im o. g. Konferenzmaterial klar herausgestellt worden. *„Mit der Spannung des Röntgenstromes reguliert man die Härte (also die Energie) der Röntgenstrahlen. ... Mit der Spannung des Zündstromes (der „Primärentladung“ zwischen Glühkathode und Röntgenkathode) reguliert man die Stärke des Röntgenstromes und somit auch die Intensität der Röntgenstrahlen“*. Letzteres heißt, das die Primärentladung nicht unter Sättigungsbedingungen brennt, was unsere o. a. Überlegung zu den stabilisierenden Raumladungsverhältnissen im Kathodenraum stützt.

In einem zwar parteilichen aber nicht polemischen Vergleich sah Lilienfeld den Nachteil der Coolidge-Röhre darin, dass deren direkt geheizte Glühkathode im hohen elektrischen Feld mechanisch beeinträchtigt werden könnte. Auch wenn das nicht zur Zerstörung führen müsste, würden geometrische Veränderungen auf den Anodenbrennfleck und damit auf die röntgenoptische Qualität rückwirken. Im Gegenschluss sah er einen gravierenden Vorzug seiner Röhre darin, dass die Elektronenentladung zwischen der sog. Röntgenkathode, also dem Gitter, und der Anode von der Lage des Heizfadens, also der emittierenden Kathode, praktisch unabhängig war. Die Anodenspannung würde nicht auf die Kathode „durchgreifen“.

Damit benutzte er den Begriff des Durchgriffs vor der von Heinrich Barkhausen (1881 – 1956) in Form seiner berühmten Röhrgleichung

$$\left(\frac{\partial I_a}{\partial U_g}\right)_{U_a=\text{const}} \left(\frac{\partial U_a}{\partial I_a}\right)_{U_g=\text{const}} \left(\frac{\partial U_g}{\partial U_a}\right)_{I_a=\text{const}} = 1 \quad (14)$$

gegebenen Definition. Man beachte, dass diese Röhrgleichung, in der der dritte Faktor den „Durchgriff“ definiert – die vorangestellten Faktoren definieren die „Steilheit“ und den „Innenwiderstand“ –, die Röhrencharakteristik linearisiert und damit für den Kleinsignalbetrieb formuliert wurde. Insofern steht beim Gebrauch des von Lilienfeld und von Barkhausen unter unterschiedlichen Bedingungen geprägten Begriffes „Durchgriff“ nicht der analytische, sondern der semantische Aspekt im Vordergrund.

Vor dem Hintergrund des vernachlässigbaren Durchgriffs der Anodenspannung auf die Glühkathode demonstrierte Lilienfeld in einem ausführlichen Übersichtsartikel [Lilienfeld 1919 a] unterschiedliche (denkbare oder realisierte?) Glühkathodenkonstruktionen, als „Lampe im separaten Glaskolben“ markantes Merkmal der wirtschaftlich bedeutsamen Röhre entsprechend „Urmodell II“. Auch bei den in [Lilienfeld 1917, 1919 b] mitgeteilten Versuchsanordnungen – Lilienfeld diskutiert u. a. die Vereinbarkeit von bisher gefundenen Strahleneigenschaften mit quantenphysikalischen Ansätzen – spielt dieses Merkmal für seine Versuchsröhren eine wesentliche Rolle. Die Weiterentwicklung hin zur ausgereiften Triode mit axialer Glühkathodendurchführung, unter musealen und didaktischen Gesichtspunkten als „Urmodell III mit in die Kathode eingebauter Lampe“ bezeichnet, ist ebenfalls unter diesem Gesichtspunkt zu sehen.

Es gehört zu dieser an Absonderlichkeiten und Missverständnissen reichen Kontroverse, dass die erste wissenschaftlich klare Interpretation der strittigen Wirkung von Lilienfelds Mehrelektrodenröhre in quasi populärwissenschaftlicher Form und in einem vertraulichen und so wenig bekannt gewordenen Dokument gegeben wurde, welches überdies unter strategischen und kaum unter wissenschaftlichen Aspekten entstanden war.

Wirklich öffentlich machte Lilienfeld seine nunmehrige Sicht in einem Büchlein mit dem missverständlichen Titel *Grundlagen therapeutischer Anwendung von Röntgenstrahlen* [Küpferle / Lilienfeld 1917]. Obwohl der erstgenannte Autor, der Privatdozent Leopold Küpferle (1877 – 1944) als Kliniker in Freiburg i. B. arbeitete, beschränken sich die medizinischen Elemente auf ein von Prof. Dr. Oskar de la Camp (1871 – 1925), Direktor der

Medizinischen Klinik der Freiburger Universität, beigesteuertes kurzes Vorwort und auf einige im Grenzgebiet zwischen Physik und Medizin angesiedelte Definitionen. Im Vorwort wird darauf hingewiesen, dass der Therapeut sich immer zwischen „Zweckdosis“ und „Maximaldosis“ (d. h. zwischen Wirkung und Nebenwirkung) bewege, und dass es dazu einer angemessenen Charakterisierung bedürfe. Dieses Letztere ist der erklärte Gegenstand der Schrift. Das weniger deutlich erklärte aber unverkennbare Ziel war, die Überlegenheit der Lilienfeld-Röhre gegenüber der Coolidge-Röhre messtechnisch belegt und wissenschaftlich begründet herauszustellen. Diese wird aus der besseren „Homogenität“ der emittierten Strahlung abgeleitet, was verkürzt dargestellt heißt, dass das Spektrum der Strahlung und damit die Absorptionscharakteristik den klinischen Bedürfnissen leicht und auch bei höherer Strahlungsintensität gut angepasst werden kann – eben wegen der vielfältigeren elektrischen Justiermöglichkeiten beim Betrieb der Lilienfeldröhre und wegen der unproblematischeren Glühkathode. Auch die Bedeutung der Raumladung im primären Entladungsraum wird herausgestellt.

Eine gewisse Tragik liegt darin, dass Lilienfeld seine stichhaltigen Erklärungen wohl nur als Sonderfall seiner Theorien sah, geeignet den von der Röntgenröhre nur eingeschränkt in Anspruch genommenen Teil einer insgesamt komplexeren Entladungscharakteristik einem breiteren Publikum zu beschreiben. Jedenfalls kam er in späteren rein wissenschaftlich angelegten Betrachtungen doch immer wieder auf die quadratische Entladungskennlinie und seine Hypothese von den beteiligten positiven Ladungsträgern zurück.<sup>25</sup>

## **Der Entscheidung erster Teil**

### ***Die Anti-Lilienfeld-Koalition bricht auf***

In einer 1918 verbreiteten Schrift („Fortschritte in der Erzeugung von Röntgenstrahlen“) informierte S&H seine Kunden, dass man sich, weil der Konkurrenzkampf zwischen Lilienfeld- und Coolidge-Röhre noch nicht entschieden sei und wegen jüngster Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen – verwiesen wird insbesondere auf [Küpferle / Lilienfeld 1917] – veranlasst gesehen habe, *„mit den Inhabern der Lilienfeldschen Patente Abmachungen zu treffen, durch die wir die Berechtigung erlangt haben, unserem Kundenkreis auch die Lilienfeldröhre zugänglich zu machen, und zwar zum Betriebe mit Apparaten*

*unserer eigenen Konstruktion.*<sup>26</sup> Im Gegensatz zum Vertrag mit RGS war S&H die Verwertung von Coolidge-Röhren offenbar nicht verboten. Die Vertragspartner hatten ihr Aktionsfeld verbreitert; Lilienfeld hatte sich im Gegensatz zum Vertrag mit RGS von 1916 das Recht genommen, seine Röhren an Dritte zu verkaufen. Verlierer war RGS.

Die Situation eskalierte, als sich die schon 1916 vereinbarte technische Zusammenarbeit zwischen den Veifa-Werken und RGS zu einer Übernahme der Veifa durch RGS entwickelte, die dann 1920 vollzogen wurde.<sup>27</sup> K&S sah wegen der Veifa gehörenden Exklusivrechte zur Verwertung der Fürstenau-Coolidge-Röhre den o. g. Vertrag verletzt und kündigte die Zusammenarbeit mit RGS auf. RGS wehrte sich zwar, konnte sich aber auch in zweiter Instanz nicht gegen K&S durchsetzen. Eine auf persönlicher Ebene von RGS-Direktor Berger angestrebte Einigung wurde von Lilienfeld schroff zurückgewiesen. Die Konsequenz war klar.

*„Wir können (will heißen müssen!) somit ... ohne Rücksicht, ob wir eine Revision beim Reichsgericht einlegen werden oder nicht, die Fürstenau-Coolidge-Röhre sowie die zu ihrem Betrieb erforderlichen Zusatzapparate in unseren Betrieb aufnehmen.“*<sup>28</sup>

### ***Das Bemühen um die Durchsetzung der Fürstenau-Coolidge-Röhre und die Dessauer-Lilienfeld-Kontroverse***

Mit dem Bruch zwischen K&S und RGS sahen sich der Letztere und die mit ihm verbundene Veifa vor drei Probleme gestellt.

- Ein quantitatives: Mit dem Ausbleiben der Lilienfeld-Röhren (und die waren offenbar schon vorher knapp) fehlten ganz einfach Röntgenröhren. Neue Fertigungskapazitäten mussten erschlossen werden.
- Ein qualitatives: Die Fürstenau-Coolidge-Röhre, von der AEG produziert und von den Veifa-Werken genutzt und vertrieben, war sehr starken Belastungen schlecht gewachsen. Sie verfügte nicht über eine forcierte Kühlung.
- Ein inhaltliches: Wegen der von K&S vorgetragenen und von CHFM und S&H unterstützten Klage drohte das Fürstenau-Schutzrecht abhanden zu kommen.

Um den Produktionsengpass zu überwinden, suchte man Emil Gundelach als Produzenten zu gewinnen. Dieser hatte sich mit leistungsfähigen Ionen-Röntgenröhren und dem Hochvakuum-Glühventil nach Wehnelt als technologisch leistungsstark ausgewiesen. Man

versorgte ihn mit Information, Material und schließlich auch einer Vergleichsröhre – einer defekten. Aber nach den gebotenen Konditionen hätte Gundelach die Umsatzsteigerung mit weitgehendem Verzicht auf eigene Handlungsfreiheit erkaufte. Gundelach hat, wenn überhaupt, höchstens im Rahmen einer Versuchsproduktion Glühkathoden-Röntgenröhren gefertigt und sich bald ganz aus dem Röntgengeschäft zurückgezogen. Das war wohl sein Weg zur Erhaltung der Selbständigkeit. Sah er sich doch zur gleichen Zeit ähnlichen Annäherungsversuchen seitens CHFM ausgesetzt.<sup>29</sup>

CHFM wäre der geeignete Partner mit Potenzen sowohl zur Produktion der Fürstenu-Coolidge-Röhre als auch zu deren Weiterentwicklung gewesen. Aber CHFM zeigte sich spröde. Einmal war man Partei im Kampf gegen das Fürstenu-Patent und erwartete dessen Zerstörung; man orientierte auf eigene Coolidge-Röhren und deren Verwertung in einem patentfreien Raum. Zum anderen wehrte man sich gegen eine Umarmung durch RGS. Diese waren schon an CHFM beteiligt und hatten 1917 im Sinne einer weiteren Einflussnahme ihre Röhrenfertigung (incl. 5 Glasbläser!) nach Hamburg transferiert. Schwer wogen auch subjektive Elemente. CHFM-Geschäftsführer Dr. Max Liebermann konnte Dessauer nicht nachsehen, dass und wie dieser CHFM beim Erwerb des Fürstenu-Patentes ausgehebelt hatte – Einzelheiten werden im aufgefundenen Schriftverkehr nicht mitgeteilt. Die Zusammenarbeit kam nicht zustande. RGS entschloss sich 1919, wieder eigene Röhrenkapazitäten aufzubauen, diesmal der Tochterfirma „Radio-Technische-Industrie Erlangen“ zugeordnet.<sup>30</sup>

Entscheidende Hilfe kam aus dem thüringischen Rudolstadt. Die 1919 vom Elektro-Ingenieur Alfred Ungelenk (1890 - 1978) und dem Glasbläser Otto Kiesewetter gegründete Fabrik für Röntgen- und Vakuum-Röhren ging 1920 in die über die Holding „Inag AG Erlangen“ mit RGS verbundene Neugründung „Phönix GmbH“ ein und vereinigte sich 1922 mit den RGS-Töchtern Radiotechnische Industrie Erlangen und Polyphos München. Unter Anleitung des RGS-Elektro-Ingenieurs und Dessauer-Freundes Max Anderlohr (1884 – 1961) konnten schon bald Coolidge-Röhren mit forcierter Kühlung angeboten werden – sowohl unter eigenem Namen als auch unter dem von Veifa.

Der Attacke gegen das Fürstenu-Patent DE 271 306 stand die RGS-Veifa-Gruppierung ziemlich hilflos gegenüber. Klinische Vergleiche, neben in Hamburg (siehe [Albers-Schönberg 1916/1917 u. 1918/1919]) auch in Erlangen durchgeführt, konnten, unabhängig davon, welchen Röhrentyp sie abhängig von der Art des Einsatzes favorisieren und welche



Hinweise sie geben mochten, die patentrechtlichen Positionen nicht grundsätzlich beeinflussen. blieb nur der Versuch, die Wirksamkeit der die Priorität begründenden Lilienfeld-Röhre prinzipiell infrage zu stellen. Diesen Part musste Dessauer übernehmen. Ein brauchbarer Ansatz schien gegeben, als man in Erlangen an drei Lilienfeld-Röhren fand, dass sie *„Röntgenstrahlen in praktisch merklichem, sogar zur Herstellung von photographischen Röntgenaufnahmen hinreichendem Masse aussenden, auch wenn der Glühkörper ausgeschaltet ist“* (genauer: „wird“). Man vermutete „Sekundäremissionen“ an der Röntgen-Kathode, einen Effekt, den der für Veifa gutachterlich tätige Giessener Physikprofessor Johann Paul Cermak (1883 - 1958) so nicht bestätigen konnte. Exemplargebunden schlechtes Vakuum zog man merkwürdigerweise nicht in Betracht – schließlich war in Lilienfelds Triode auch die Grundgeometrie der klassischen Ionen-Röhren impliziert. Dessauer und Cermak planten eine umfassende Untersuchungen aller je von Lilienfeld angegebenen Bauformen und erwogen ernsthaft deren vollständigen Nachbau durch Gundelach, notfalls durch CHFM oder andere. Das ist wohl aus technischen, zeitlichen und auch subjektiv bestimmten Gründen nicht zustande gekommen, sodass die die patentrechtliche Problematik solchen Vorgehens nicht geklärt werden musste. Trotzdem erstellte Cermak durch Messungen an von K&S früher gelieferten Röhren eine Reihe von Gutachten, die schon im Vorfeld des Fürstenau-Prozesses mit dem vom Reichsgericht bestellten Gutachter, dem Physik-Professor Gustav Mie (1868 – 1957) aus Halle, ausgiebig schriftlich und mündlich diskutiert wurden. Cermak wurde von seinen Auftraggebern mehrfach aufgefordert, Max von Laue einzubeziehen oder zu einem selbständigen Gutachten zu veranlassen. Dieser hatte nämlich, wie Dessauer RGS gegenüber ausführte, „privatgutachterlich“ gemeint, die Lilienfeld-Röhre nach dem primären Patent könne aus physikalischen Gründen gar nicht funktionieren, und die nunmehr produzierte Röhre hätte mit diesem Patent nichts zu tun. So sehr man v. Laues Bedenken nachvollziehen kann – siehe unsere oben angestellten Vermutungen zur Funktion der Lilienfeld-Röhre nach Urmodell 1911 –, die Röhre hatte für damalige Verhältnisse nachweislich gute Aufnahmen geliefert, und der zweite Teil seiner Feststellung hatte, so richtig er war, wenig mit dem Streit um das Fürstenau-Patent zu tun. Die aufgefundenen Unterlagen geben keinen Hinweis darauf, dass sich v. Laue in das anstehende Gerichtsverfahren hineinziehen ließ.<sup>31</sup>

Am Rande sei angemerkt, dass die geschilderten existenziellen Auseinandersetzungen von einem mit persönlichen Vorurteilen und Vorbehalten aufgeladenen öffentlichen Streit um

periphere wissenschaftlich-technische Details zwischen Dessauer und Lilienfeld begleitet wurde.<sup>32</sup>

### ***Das Urteil***

Der Gerichtsgutachter Mie hatte sich von Cermaks Gutachten nicht beeindrucken lassen. Als wenig hilfreich erwies sich auch der Versuch Fürstenaus, in der Verhandlung gewisse mit seiner Erfindung angestrebte schwer erklärbare Wirkungen mit der Anwesenheit von Restgas zu begründen. Das war zehn Jahre nach Lilienfelds fatalen Erklärungsversuchen zu seiner Röhre! Das Reichsgericht vernichtete mit Entscheid vom 26. Februar 1921 das Fürstenaus-Patent DE 271 306. Es hatte nach Auffassung des Gerichtes weder den damaligen Wissensstand bereichert noch zu dessen Ausgestaltung verwertbare technische Anleitung gegeben.<sup>21</sup> Damit avancierte Fürstenaus Zusatzpatent DE 274 258 zu einem Hauptpatent, allerdings zu einem bedeutungslosen. Ein Sieg für Lilienfeld war das nicht. Wenn auch die Befürchtungen, dass mit dem Fall des Fürstenaus-Patentes dem Inhaber der Lilienfeld-Patente exklusive Rechte zufallen würden, wohl mehr der aufgeheizten Stimmung als den rechtlichen Gegebenheiten entsprachen, erscheint eine neue kollektive Interessenlage in der Gemeinschaft der Röhrenhersteller und Anlagenbauer außerhalb der Lilienfeld-Gruppierung verständlich. Aus Gegnern der AEG wurden deren Parteigänger. Die bis dahin gegebene einigermaßen ausgeglichene Kräfteverteilung wurde empfindlich gestört.

### **Die späteren Rechtsgrundlagen der Coolidge-Koalition**

Vor dem Hintergrund der ausgetragenen und der laufenden weiteren Auseinandersetzungen und wegen der wachsenden Bedeutung der Röntgentechnik regelten AEG und GE ihre Zusammenarbeit 1923 neu und schlossen darin auch ihre Lizenznehmer ein. Danach waren Österreich, Tschechoslowakei, Danzig, Deutschland, Ungarn, die baltischen Staaten, Skandinavien, Polen und die Niederlande „Alleingebiete“ der AEG. Hier durfte die AEG gegen Abgabe eines Anteils vom Lizenzgewinn (50%) an GE auch als Lizenzgeber auftreten. Neben dem „exclusive territory“ jeweils für die AEG- und die DE-Seite war auch ein „non-exclusive territory“ definiert, in dem beide Seiten gleiche Handlungsfreiheit genossen. Hier hatten die AEG und ihre Lizenznehmer einen am Umsatz gemessenen Betrag (3%) abzuführen. Für eine Reihe von Ländern, u. a. Frankreich und Großbritannien, waren Rechte

der Vertragsseiten ausgeschlossen. Dieser Vertrag wurde durch mindestens eine Zusatzvereinbarung (1924) weiter ausgestaltet (Abb. 11).

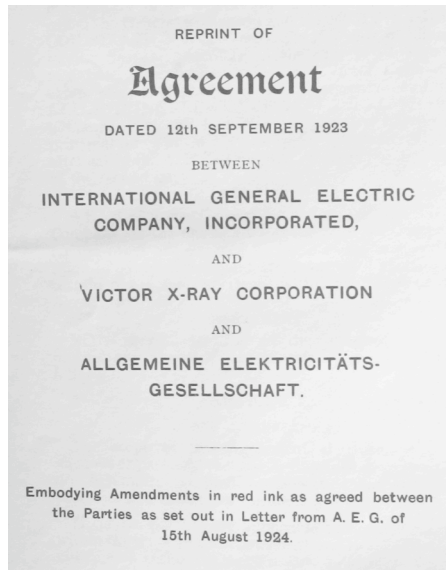


Abb. 11:  
Der 1924 modifizierte GE-AEG-Vertrag von 1923, Deckblatt, (DTMB, Archiv, I.2.060 A 043381, eigene Aufnahme m. frdl. Erlaubnis des DTMB).

Vor dem Hintergrund der anstehenden bzw. ergangenen Urteile schlossen sich S&H, RGS, Veifa und Phönix diesem Abkommen an.<sup>33</sup> Danach sollte die Siemensgruppe 27,5 % ihres Bedarfs an Röntgenröhren (und den mittlerweile wichtig gewordenen Ventilröhren, also Hochspannungs-Gleichrichterröhren für Röntgenanlagen), immer gerechnet nach den damaligen für Deutschland geltenden Listenpreisen, mit AEG-Röhren decken. Im Gegenzug sollte die AEG auf den Verkauf ihrer Röhren an Dritte und auf die eigene Herstellung von Röntgenanlagen verzichten.

Eine eigene Rolle im Geflecht der AEG-Lizenzverträge spielte CHFM. Der Röhrenhersteller hatte in dem geschilderten Gegensatz zunächst Distanz zu allen anderen gehalten. Einmal verfügte diese Firma sowohl über ausgereifte und leistungsfähige Ionen-Röhren als auch über Coolidge-Röhren und stand nicht unter starkem Handlungsdruck. Zum anderen waren die Beziehungen zur AEG durch die Hamburger Bestrebungen, sich auch als Hersteller von Rundfunkröhren und damit auch auf diesem Gebiet als Konkurrent und Partner in Lizenzgeschäften zu etablieren, erschwert. Aber mit dem Fall des Fürstenau-Patentes und der damit befürchteten Exklusivität der Lilienfeld-Patente – siehe oben – war die AEG-Nähe der Hamburger vorbestimmt. Jetzt wurde der ehemalige potentielle Gegner in entsprechende Rechte eingesetzt – gegen Auflagen und Zahlungen. Die stärksten Einschränkungen betrafen das Verbot für CHFM, in Teilen des Alleingebietes der AEG, nämlich in Österreich und Ungarn, aktiv zu werden, und die Limitierung seiner jährlichen Verkäufe auf 15 % des Gesamtumsatzes aller Lizenznehmer, CHFM eingeschlossen. Überschreitungen sollten

progressiv kostenpflichtig werden<sup>34</sup>. Ob CHFM durch die Coolidge-Verträge entscheidend behindert wurde, lässt sich schwer sagen. In der Endphase des Lilienfeld-Coolidge-Konfliktes, ab 1922, verfügte CHFM mit der Strichfokusröhre nach dem Goetze-Patent [DE 370 022], der „Media“-Röhre, nicht nur über einen röntgenoptisch außerordentlich leistungsfähigen Apparat, sondern auch über eine rechtlich geschützte Glühkathodenröhre. Deren Elektrodenanordnung lässt sich als die einer Coolidge-Röhre interpretieren<sup>35</sup>. Aus dem Vertragsentwurf geht nicht hervor, ob dieser die mit der „Media“-Röhre erzielten Umsätze einschließen würde. Zwei Vorgängertypen aus den Jahren 1920 – 1922, die „Metwa“-Röhre und die „Metro“-Röhre, beides Coolidge-Röhren, waren vom genannten Abkommen sicherlich erfasst.

## **Finale**

### ***Und wieder das Reichsgericht***

Am 31. Januar 1925 sprach das Reichsgericht sein Urteil in einem Rechtsstreit, den Lilienfeld durch eine Klage gegen die RGS-Gruppe mit Veifa und Phönix sowie gegen CHFM – man beachte: nicht gegen S&H! – angestrengt hatte.<sup>36</sup> Gegenstand der Klage war der Vorwurf, dass die genannten Firmen durch Produktion bzw. Vertrieb von Coolidge-Röhren die Lilienfeld-Patente [DE 256 534] und [DE 331 931] verletzen würden. Aber im Verlaufe des Verfahrens wurden die Rollen getauscht. Durch das Urteil wurde das mittlerweile entscheidend gewordene zweite Lilienfeld-Grundsatzpatent [DE 331 931], die ausgereifte Triode betreffend, gravierend eingeschränkt, genauer gesagt, dessen Interpretation. Zwar betraf der Entscheid nur den letzten von fünf Ansprüchen. Aber er machte es Lilienfeld unmöglich, die Zweielektroden-Röhre nach Coolidge als Spezialfall seiner Dreielektroden-Röhre zu interpretieren und in seine unbeschädigt gebliebenen Schutzrechte hierzu einzubeziehen. Da sowohl die Diode als auch deren Speisegeräte mittlerweile ausgereift waren und die Triodenanordnung weitgehend überflüssig gemacht hatten, war die Sache ausgestanden. Dem versagten Coolidge-Grundsatzpatent stand das auf seinen ursprünglichen Kern beschränkte und von der technischen Entwicklung überholte Lilienfeld-Patent gegenüber. Die weitere technische Entwicklung äußerte sich in einer Flut von Ausgestaltungspatenten zur Coolidge-Diode.

### ***Gesiegt – aber nicht gewonnen: Eine Situation mit grotesken Zügen***

Wie wir sehen, waren die Sieger in diesem Rechtsstreit um das Lilienfeld-Patent nicht unbedingt auch Gewinner. Die vielfältigen vertraglichen Beziehungen um die Aufteilung der Interessensphären – siehe oben – brachten auch Einschränkungen mit sich. Eine interne Notiz von RGS beschreibt die Situation mit Blick auf die Aufteilung der Interessensphären so:

*„Bisher dürfen die Phoenix und wir in Deutschland Coolidge-Röhren herstellen und vertreiben ... . Wir haben keine Veranlassung irgendwelcher Art, die uns zwingt, unsere ausländische Kundschaft darauf aufmerksam zu machen, dass beispielsweise in Nordamerika, Indien, Russland solche Röhren nicht eingeführt werden dürfen. Nach dem neuen Verträge werden uns auch in Zukunft keine Rechte erteilt. Ausserdem müssen wir uns aber verpflichten, uns in diesen Ländern aller geschäftlichen Betätigung zu enthalten. Mit anderer Worten: Wenn jetzt ein Amerikaner bei uns eine Röhre kaufen wollte, so werden wir ihn wohl darauf aufmerksam machen, dass sie in Amerika geschützt ist und dass er ein Risiko läuft. Wenn er sie aber trotzdem kaufen will, was schon mehrfach geschehen ist, so verkaufen wir sie ihm. In Zukunft dürfen wir das nicht tun. ... .“*

Der nunmehr gegebenen Situation haften durchaus groteske Züge an. Ein versagtes Grundsatzpatent (Coolidge), ein zunichte gemachtes Coolidge-Patent (Fürstenau) und ein entscheidend eingeschränktes und insofern technisch überholtes Grundsatzpatent (Lilienfeld) erzeugten statt Handlungsfreiheit umfassende rechtliche Bindungen und Einschränkungen, die weitgehend durch die US-amerikanische Patentlage bestimmt waren. Das musste Frust erzeugen – siehe die zitierte Notiz. Dieser ging so weit, dass man in Erlangen in Erwartung eines sowjetischen Patentgesetzes, welches den Inlandprodukten einen rigiden Schutz gewähren würde, erwog, in Sowjetrußland eine Röntgenröhrenproduktion aufzubauen. Damit könnte man nicht nur einen neuen Markt erschließen, sondern sich auch den Beschränkungen durch die AEG-GE-Vereinbarungen zumindest teilweise entziehen.<sup>37</sup>

### **Der Hersteller der Lilienfeld-Röhre**

Bei allen bisher beschriebenen Konstellationen und deren Veränderungen blieb der Hersteller der Lilienfeld-Röhre auf merkwürdige Weise im Hintergrund. Deshalb und wegen des begrenzten Produktionsvolumens der relativ kleinen Leipziger Firma wurde immer wieder

gefragt, ob denn Otto Pressler wirklich der alleinige Produzent der Röhre war. Schließlich hatte der 1. Weltkrieg den klinischen Bedarf deutlich in die Höhe getrieben. Auch die technisch-physikalischen und technologischen Anforderungen waren erheblich. Um zunächst auf die qualitative Seite der aufgeworfenen Frage einzugehen, erweist sich ein Blick auf die Wurzeln des Unternehmens als nützlich.

### ***Die Spur führt nach Bonn***<sup>38</sup>

In der Mitte des 19. Jahrhunderts, um 1850, hatte sich der aus Igelshieb (heute Ortsteil von Neuhaus am Rennweg) stammende Glastechniker Heinrich Geißler (1814 – 1879) in Bonn niedergelassen. Sieben Jahre später initiierte er mit Julius Plücker (1801 – 1868), dem Bonner Ordinarius für Mathematik und Physik – genauer gesagt zunächst mit dessen Assistenten Theodor Meyer (1825 – ?) – eine Entwicklung, die als der Beginn systematischer Gasentladungsforschung zu sehen ist. Die Gasentladungsforschung war auf dem Weg vom Beobachten eines exotischen und eher randständigen Phänomens zu einem zentralen Forschungsgegenstand der Physik in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Am Ende dieses Weges stand eine sensationelle Entdeckung, die der Röntgenstrahlen.

So hoch geschätzt und originell die Arbeitsweise Geißlers war, so weltoffen seine Geschäftsgebaren, so konservativ führte er seine Werkstatt. Mitarbeiter und Schüler suchte er nach Art alteingesessener Handwerksmeister in ihm wohl vertrauten Familien seiner alten Heimat. Wahrscheinlich in den sechziger Jahren waren Geißlers späterer Nachfolger Franz Müller (1838 – 1906) und dessen späterer Schwager Robert Goetze (1850 – 1916) von Neuhaus und vom benachbarten Cursdorf aus nach Bonn gegangen. Robert Goetze machte sich 1876 in Leipzig selbstständig. Mit diesem Schritt war er wohl einer Anregung des Astrophysikers und Mitgliedes der Königlich-Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Carl Friedrich Zöllner (1834 – 1882), gefolgt. Dieser hatte im Herbst 1874 von London kommend Geißler besucht und diesen zur Perfektionierung und Herstellung der kürzlich von William Crookes (1832 – 1919) erfundenen Radiometer veranlasst. Zöllner sah in Crookes' rotierendem Radiometer und in dessen Kombination mit einer Gasentladungsstrecke geeignete Modelle zur Erklärung seiner Kometentheorie. Goetze realisierte diese Modelle und entwickelte sie im Sinne und im Auftrag des Crookes-Opponenten Johann Puluj (1845 – 1918) weiter.<sup>39</sup> Er unterstützte den Physiko-Chemiker

Ernst Otto Beckmann (1853 – 1923), seit 1890 ebenfalls Mitglied der Sächsischen Akademie, bei der Entwicklung höchstauflösender Thermometer – diese waren Bestandteil von dessen Apparaturen zur Molekulargewichtsbestimmung – und versorgte den von Leipzig nach Frankfurt am Main gegangenen Physiker Walter König (1859 – 1936) mit Gasentladungsröhren zur Demonstration der Wärmewirkung von Kathodenstrahlen. Diese bestanden, dem von Crookes angegebenen Vorbild folgend, aus einer Hohlspiegelkathode und einem in den Focus der Kathodenstrahlung gestellten Platinblech [Crookes 1879]. Speziell diese letztgenannte Kooperation brachte König unmittelbar nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen im Wettlauf um scharfe und mit geringer Expositionszeit erlangte Aufnahmen in eine komfortable Situation [König 1896 a] und machten Goetze vorübergehend zu einem der gefragtesten Röhrenhersteller. Dies mit ambivalenten Konsequenzen. Goetze hatte seine Neffen, die Preßler-Brüder Otto und Rudolf, wegen eines familiären Notfalles vom thüringischen Cursdorf nach Leipzig genommen und ausgebildet. Unter dem Eindruck des Röntgenröhrenbooms wagten die jungen Männer den Weg in die wirtschaftliche Selbständigkeit. Rudolf Preßler (1877 – 1938) etablierte 1903 in seinem Geburtsort Cursdorf eine später weltweit agierende Werkstatt für physikalische Lehrmittel. Otto Preßler (1875 – 1946) führte das 1897 gemeinsam gegründete und erkennbar breiter angelegte Unternehmen an zwei Standorten weiter. Er firmierte unter verschiedenen Namen, zur hier in Rede stehenden Zeit, die jüngeren Brüder Max und Hermann waren inzwischen dazu gestoßen, als „Otto Pressler – Thüringer Vakuumröhrenfabrik und Fabrik wissenschaftlicher Apparate. Eigene Glasbläsereien in Leipzig u. Cursdorf (Thüringer Wald)“. Die Leistungen der Pressler-Brüder hatte Lilienfeld vor der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig ausdrücklich herausgestellt [Lilienfeld 1917]. Nicht nur am Rande sei angemerkt, dass Rudolf Preßler während des ersten Weltkrieges seine Werkstatt in Cursdorf ruhen lassen musste und als Soldat dienstverpflichtet wurde zur Arbeit im Röhrenwerk von S&H.

### ***Eine kleine Firma zwischen großen Konkurrenten***

In Universitätsnähe hatte Otto Pressler sein Unternehmen auf wissenschaftlicher Grundlage zu entwickeln versucht. Auf dem Höhepunkt der Röntgenröhrenfertigung waren die anspruchsvollen Technologien und sicher auch die diesbezüglichen universitären Kontakte einem promovierten Physiker, Walter Hofmann (1888 - 1868), anvertraut. Auch in quantitativer Hinsicht war die Firma gut gerüstet. Nach späteren Schätzungen lag die

Fertigungskapazität zwischen Aufnahme der Serienfertigung 1915 und Fertigungseinstellung 1925 begrenzt durch die zwei bis drei für die Lilienfeldröhren verfügbaren Pumpstände, auf denen täglich je zwei Röhren evakuiert werden konnten, theoretisch bei 10.000 Röhren. Die geschätzte Zahl der tatsächlich gefertigten und reparierten Röhren liegt bei drei bis vier tausend Stück, gut verträglich mit den von Lilienfelds Vertragspartnern geschilderten Situationen.<sup>40</sup>

Die hierarchische Struktur im Beziehungsdreieck Lilienfeld / K&S / Pressler – verwiesen sei auf deren 1916 mit RGS geschlossenen Vertrag – wird auch deutlich durch die Bemühungen des Deutschen Museums München um eine Lilienfeldröhre. Das DMM wandte sich am 27. Oktober 1919 an Lilienfeld, schilderte die Bemühungen um die Ausgestaltung der „Gruppe Röntgentechnik“, beklagte das Fehlen einer Lilienfeld-Röhre und bat, eine solche Röhre „stiftungsweise“ zu überlassen. Schon drei Tage später sagte Lilienfeld die Lieferung zu, bat aber wegen laufender Patentstreitigkeiten und wegen nachkriegsbedingter Material- und Energieverknappung um etwas Geduld. Die wurde auch gebraucht. Das DMM schrieb in dieser Angelegenheit noch mindestens zwanzig (20!) weitere Briefe und Karten, an Lilienfeld in Leipzig, an Prof. Franz Joseph Koch (1872 – 1941), einem der K&S-Chefs in Dresden, an Lilienfeld in den USA, dankte für Zusagen, mahnte, dankte wieder usw.. Schließlich war eine zu Bruch gegangene Lieferung zu beklagen. Vom Röhrenhersteller war immer nur in der dritten Person die Rede. Die Firma Otto Pressler wurde nur einmal direkt wahrnehmbar, da aber deutlich – nämlich im Begleitschreiben für die drei nun endlich gestifteten und die *gesamte* Entwicklungsgeschichte abdeckenden „Urmodelle 1911, I und II“ vom 25. August 1923.

Hinweise auf mögliche weitere Hersteller der Lilienfeldröhren sind problematisch. Eine im DMM unter Inv.-Nr. 62836 aufbewahrte und von der Siemens-Reiniger-Veifa AG gestiftete Röhre erweist sich als identisch mit dem Urmodell II. Sie gehört höchstwahrscheinlich zu den laut Vertrag mit K&S an RGS gegangenen Röhren. Die Dokumentation der Exponate-Verwaltung des DMM weist eine „Fabrikationsnummer 2394“ aus. Wenn das als fortlaufend gezählter Produktionsausstoß zu verstehen ist, dann wäre diese Zahl gut verträglich mit der o. a. Schätzung von G. Pressler. In einer Hamburger Festschrift [Stamer 2004] besagt eine Bildunterschrift, dass eine „*Müller-Lilienfeldröhre in wenigen Stückzahlen gefertigt*“ worden sei. Die angesprochene Abbildung, eine Strichzeichnung, belegt diese Aussage nicht eindeutig. Wenn überhaupt, dann handelt es sich um eine Mischform mit axialer



Glühkathodendurchführung ähnlich dem Urmodell III aber ohne forcierte Kühlung. Archivmaterial der Philips Medical Systems Hamburg, früher CHFM, zu einer möglichen zeitweiligen Übernahme der Lilienfeldröhre liegt nicht vor. Im von der o. a. Festschrift angesprochenen Zeitraum (1920 – 1927) hatte CHFM eigentlich schon Partei ergriffen. Aber vielleicht wollte man sich doch eine Hintertür offen halten. In einer älteren Festschrift<sup>41</sup> wird die gleiche Abbildung so nicht zugeordnet. Wenn überhaupt, wurden Lilienfeldröhren in Hamburg nur in sehr geringen Stückzahlen und nur im Rahmen einer Erkundungsforschung gefertigt; eine Fertigung mit wirtschaftlicher Bedeutung ist auszuschließen. Angemerkt sei aber, dass bei der 1921/22 von CHFM eingeführten „Metro“-Röhre die Glühkathode hinter einem flächigen Gitter angeordnet war, welches auf Kathodenpotential lag. Mit diesem Konstruktionsprinzip war man Lilienfelds später zerstörten fünften Anspruch seines zweiten Grundsatzpatentes DE 331 931 sehr nahe gekommen und baute der von Lilienfeld schon 1916 herausgestellten Befürchtung, ein ungeschützter Kathodenglühdraht könne bei sehr hohen Feldstärken beeinträchtigt werden, vor. Insofern wurde diese Röhre später als zwischen Coolidge- und Lilienfeld-Röhre liegend bezeichnet.<sup>42</sup> Auch bei anderen Parteien der Auseinandersetzung finden sich keine belegbaren Aussagen zur Fertigung von Lilienfeldröhren außerhalb des Hauses Pressler. Es bleibt wohl bei der Feststellung, dass eine eher kleine mittelständige Firma den großen Unternehmen über ein Jahrzehnt erfolgreich die Stirn geboten hatte.

Das Auslaufen der Lilienfeldröhren war für die Firma Pressler mehr als ein Einschnitt in das Produktionsprofil. Von Erlangen aus – RGS, ab 1925 dann als Siemens-Reiniger, war auf dem Wege zu einem Zentrum für Medizintechnik – wurde der Mitbegründer und damalige Geschäftsführer der Phönix-Röhrenwerke, Alfred Ungelenk, dezidiert aufgefordert, die Abwerbung und Einstellung des Pressler-Mitarbeiters Walter Hofmann zu forcieren:<sup>43</sup>

*„Erlangen, den 4. Februar 1924*

*Sehr geehrter Herr Ungelenk! ... Ich hätte selbstverständlich niemals eine Bitte an Sie gerichtet in neuer Form (denn nur die Form ist ja geändert, nicht der Inhalt) an Dr. Hofmann zu schreiben, wenn ich nicht wirklich wüsste, dass er als Physiker sehr tüchtig und zuverlässig ist. Ausserdem ist er ein 12-14 Stunden-Arbeiter bisher gewesen, also eine Eigenschaft, die nicht von der Hand zu weisen ist. Ich ... hatte ... aus einem ziemlich unbestimmten Schreiben von Dr. Hofmann den Eindruck, dass er gewissermassen nicht aus einer Lebensstellung (das ist seine bisherige Stellung) herausgenommen werden möchte ... . Und das kann man ihm, da er ja wirklich kein Neuling, sondern bei Pressler das ganze Versuchslaboratorium,*

*Glasbläserwerkstatt, Fabrikation und Prüfung verantwortlich geleitet hat, nicht verdenken.*  
...“

Um nichts anbrennen zu lassen, wandte sich der Briefautor am gleichen Tage zum wiederholten Male auch direkt an Hofmann, und zwar in einer nicht unproblematischen subjektiven Form. Er machte Versprechungen, zog Vergleiche

*„Weiter habe ich mich noch in puncto Gehalt erkundigt. Sie dürfen versichert sein, dass dieser hoch ist für den Anfang. Auch sonst dürfte ein Arbeiten bei Phönix wohl angenehmer sein, als beispielsweise bei Siemens, wo mir heute Herr Dr. Küstner aus persönlicher Erfahrung erzählte, dass dort die Physiker mittag mit Blechnäpfen zum Mittagessen antreten müssen!“*

und formulierte auch sehr persönliche Vorwürfe:

*„Ihre Unentschlossenheit an sich ist uns Leipzigern ja allen zur Genüge bekannt, die müssen Sie ja wohl zweckmässigerweise ablegen. ... Aber es ist eben doch eine alte Erfahrung, dass eine schlechte Behandlung viele Menschen nur umso mehr anlockt. Sie wissen, was ich meine. ... also seien Sie schon etwas unternehmungslustiger.“*

Mit „uns Leipzigern“ erinnerte der Briefschreiber, Dr. Franz Rother (1887 – ?), damals Technischer Direktor bei RGS, an seine eigene Tätigkeit in Leipzig an der Seite Lilienfelds. Auch der Adressat hatte sich als Mitarbeiter Lilienfelds ausgewiesen.<sup>44</sup> Mit „schlechter Behandlung“ könnte Rother auf eine möglicherweise bescheidene materielle Ausstattung Hofmanns bei Otto Pressler angespielt haben.

Die Firma Otto Pressler überlebte das Wegbrechen der Röntgenröhren-Fertigung und das Ausscheiden eines ausgewiesenen Mitarbeiters. Sie profilierte sich als Anbieter technischer Gasentladungsröhren und insbesondere von Fotozellen.<sup>45</sup>

### ***Die Röntgenschule der Pressler-Brüder – Nachtrag und Hypothese***

Beim Nachzeichnen des hier interessierenden Kapitels der Vorgeschichte des Lilienfeld-Coolidge-Konfliktes stoßen wir auf eine zeitliche Lücke und auf eine merkwürdige Duplizität: Königs Partner Robert Goetze, Prinzipal der Pressler-Brüder und Röntgenpionier der ersten Monate nach der Entdeckung der neuen Strahlen, tritt, obwohl er von König in der „Elektrotechnischen Zeitschrift (ETZ)“ als Röhrenhersteller herausgestellt [König 1896 b] und nach zeitgenössischen Bekundungen 1896 mit Aufträgen überhäuft war<sup>46</sup>, in den Museen und nach Mitte 1896 in der Fachliteratur nicht in Erscheinung – mit einer Ausnahme: Im

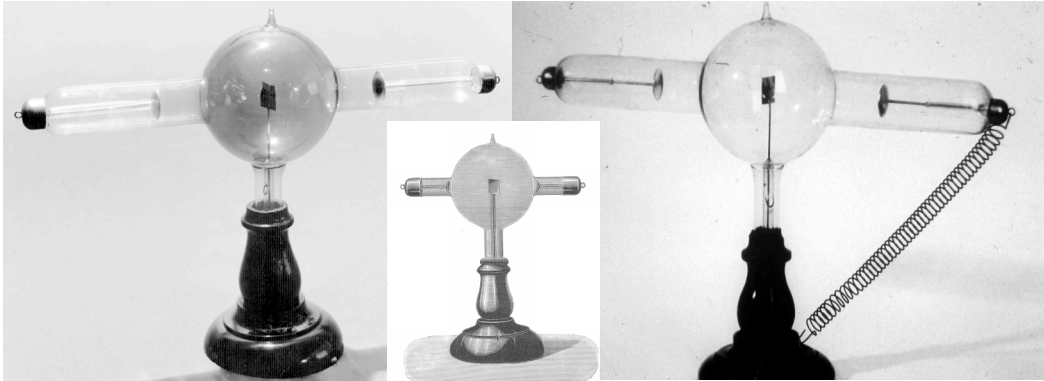
DDM wird eine Bifokal-Röntgenröhre mit der Inv.-Nr. 50213 aufbewahrt. Die Beschriftung des zugehörigen Fotos (Abb. 12 a) – „Röntgenröhre mit Platinblech-Antikathode von W. König, 1896“ – und Königs eigene Angaben weisen R. Goetze als Hersteller aus. König berichtete:

*„Es fand sich nämlich unter den für die Versuche beschafften Crookes'schen Röhren eine, die bei zweckmäßiger Erregung Röntgenstrahlen von besonderer und bis dahin vielleicht noch kaum gekannter Intensität aussandte. Es war diejenige Röhre, bei der sich Platinblech im Brennpunkte der von einer Hohlspiegel-Elektrode ausgehenden Kathodenstrahlen befindet ... Ganz besonders wirksam in der Erzeugung von Röntgenstrahlen erwies sich diese Röhre, als sie nicht mit dem Inductorium direct, sondern durch die hochgespannten Ströme eines Tesla-Transformators erregt wurde, der seinerseits mit dem Inductorium betrieben wurde ... Am 29. Januar wurde die erste Aufnahme eines Patienten ausgeführt. ... Auf Grund der mit der beschriebenen Röhre gemachten guten Erfahrungen ... wurden Mitte Februar bei Herrn F.O.R. Götze in Leipzig neue Röhren bestellt. Sie waren für den Gebrauch der Wechselströme eines Tesla-Transformators berechnet und enthielten dementsprechend zwei Hohlspiegelelektroden, die ihre Kathodenstrahlen entweder von entgegengesetzten Seiten, oder von derselben Seite her auf ein unter  $45^{\circ}$  gegen die Axen der Hohlspiegel geneigtes Platinblech concentrierten. ... Wir erhielten die Röhren am 12. März. Nachdem ihre Wirksamkeit erprobt worden war, wurden sie im 20. Heft des Jahrganges 1896 der „Elektrotechnischen Zeitschrift“ [König 1896 b] beschrieben. ...“ [König 1897].*

Diese Röhre stimmt bis hin zu unwesentlichen Details mit der *nach* Königs Bericht in der ETZ in einer AEG-Mitteilung in der ETZ [N. N. 1896] und an a. O.<sup>47</sup> abgebildeten ersten AEG-Röntgenröhre (Abb. 12 b) überein. Eine gleiche Röhre wird im Deutschen Röntgen-Museum Remscheid-Lennep gezeigt, dort eindeutig der AEG zugeordnet (Abb. 12 c). Wenn wir ausschließen wollen, dass Goetze und die AEG 1896 unabhängig voneinander bis in Details gleiche Röhren fertigten, dann gelangen wir zu der Annahme, dass die AEG ihre ersten Röhren bei Goetze in Auftrag gab, und zwar solche nach der Vorgabe von W. König.

Unsere Vermutung, Goetze sei der Hersteller und König sei der Entwerfer der frühen AEG-Röhren gewesen, wird auch durch eine etwas diffuse Formulierung des zitierten AEG-Berichts gestützt. Dort wird als Vorzug der symmetrischen Bauform der Röhre angegeben, dass man sich die wirksamste der beiden Kathoden auswählen könne – schwer verständlich angesichts der vollständigen Symmetrie der Röhre. Als Versorgungsgeräte für die Röhre werden Induktoren mit ihren diskontinuierlichen und unsymmetrischen Spannungsverläufen sowie Influenzmaschinen mit ihren gleichgespannten, also extrem unsymmetrischen

Ausgangsspannungen in Betracht gezogen. Aus dem o. a. Bericht Königs ersehen wir aber, dass die Symmetrie der Röhre angepasst an die symmetrische Wechselspannung eines Tesla-Transformators entworfen worden war.



Abb,12:

Links (a): Bifokal-Röntgenröhre von W. König, 1896; DMM, Inv.-Nr. 50213, (Foto DMM); Mitte (b): AEG-Röhre nach [N. N. 1896]. Rechts (c): AEG-Röhre Juni 1896, Deutsches Röntgen-Museum Remscheid-Lennep Nr. 40160. Die Verbindung von Platin-Elektrode und einer der Hohlspiegel-Elektroden zeigt die Abkehr vom Symmetriekonzept.

Die hier formulierte These, dass Goetze der Produzent der frühen AEG-Röhren war, berührt unser Thema insofern, als bedingt durch die Auslastung der Goetze-Werkstatt die Pressler-Brüder nahezu zwingend Sensibilität und Kompetenz für die Röntgenröhren-Herstellung erwerben konnten bzw. mussten. Das wäre dann eine der Erklärungen für die herausgehobene Rolle, die der kleine Betrieb Otto Pressler bei den hier analysierten Abläufen spielen konnte.

Die Geschichte wurde fortgeschrieben mit Variationen. Eine weiterentwickelte Bifokal-Röhre der AEG – die geringfügigen Veränderungen betreffen die Abstützung der Elektrodenstiele in den beidseitigen Hälsen und die Kontaktierung der Platin-Mittielektrode – wird im DMM dem Jahre 1897 zugeordnet: „Röntgenröhre nach Dr. Max Levy 1897, Fabrikant A.E.G. Berlin; Inv.-Nr. 49746, gestiftet von Emil Gundelach, Gehlberg“ (nach der angehefteten Inventarkarte). Der Umstand, dass diese Röhre von Emil Gundelach dem DMM gestiftet wurde, ist kaum anders zu interpretieren, als dass die AEG dem steigenden Bedarf durch Anwerben eines weiteren Produzenten gerecht zu werden suchte. Möglicherweise wurde diese Initiative auch durch die mit dem Ausscheiden der Preßler-Brüder aus der Goetze-Werkstatt hervorgerufenen Veränderungen beim bisherigen Zulieferer angestoßen.

Nun eröffnen die hier angestellten Vergleiche und die daraus gezogenen Schlüsse nicht nur einen Blick auf die Frühgeschichte der Röntgentechnik und damit auf die Vorgeschichte der

hier interessierenden Abläufe. Sie korrespondieren auch auffällig mit den oben geschilderten frühen AEG-Aktivitäten um die Fürstenu-Coolidge-Röhre. Es scheint, dass es zumindest damals zur Firmenphilosophie gehörte, in Umbruchsituationen Kompetenz und Arbeit Dritter in Anspruch zu nehmen – schnell, exklusiv und unter eigenem Namen.

### **Biographisches – Die Universität Leipzig im Schnittpunkt der Karrieren**

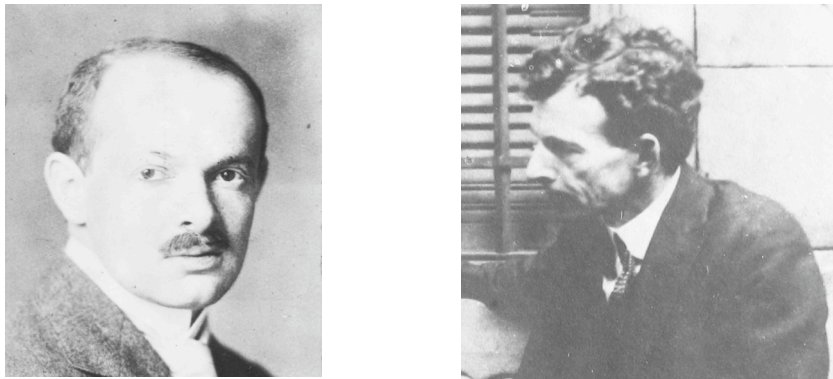


Abb. 13:  
Julius Edgar Lilienfeld (links, Foto Deutsches Museum, aufgenommen um 1920) und David William Coolidge (Deutsches Technikmuseum Berlin, Ausschnitt aus einem Foto, aufgenommen anlässlich eines Besuches von Coolidge bei Friedrich Dessauer in Frankfurt 1921).

Die hier geschilderte Entwicklung wurde zu guten Teilen getrieben von den Innovationen zweier Persönlichkeiten, Julius Edgar Lilienfeld und David William Coolidge (Abb. 13). Die Situation erfährt eine gewissermaßen dramaturgische Zuspitzung dadurch, dass beide Wissenschaftler über Jahre und wenig zeitversetzt an der Universität Leipzig gearbeitet haben und dort promoviert bzw. habilitiert wurden. Das hat die ganz praktische Konsequenz, dass wir vieles über Herkunft und frühe Entwicklung aus ihren eigenhändig geschriebenen Lebensläufen, eingereicht bei der philosophischen Fakultät der Universität, erfahren. Insofern dürfen wir davon ausgehen, dass ihre jeweiligen späteren Äußerungen zu den Leistungen des Anderen von persönlichen Vorkenntnissen, zumindest von einem früh geweckten gegenseitigen Interesse beeinflusst waren.

Nicht weniger aufschlussreich sind die Werdegänge zweier Partner Lilienfelds, des Arztes Wolfgang Rosenthal (1884 – 1971) und des Physikers Walter Hofmann. Ersterer hat die klinische Erprobung der frühen Lilienfeldröhren verantwortet, Letzterer deren spätere

technische Realisierung. Alle diese hier vorzustellenden Werdegänge sagen natürlich auch viel aus über die Atmosphäre an der Leipziger Universität zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Die Lebensläufe der Letztgenannten stehen auch für die deutsche Geschichte bis weit in die Zeit nach dem 2. Weltkrieg.

Ein wesentliches Element der hier beschriebenen Vorgänge in Leipzig war die technologische Basis. Sie stand in einer großen Tradition, in der des Heinrich Geißler. Von den Naturwissenschaftlern, die durch ihre Ideen und Anforderungen die Weiterentwicklung eines Handwerks, welches sich durch Kunstfertigkeit und wissenschaftliches Verständnis gleichermaßen auszeichnete, hin zum gewerblichen high-tech-Unternehmen schon sehr früh beeinflussten, kommt dem Röntgenpionier Walter König große Bedeutung zu. Auch er wurde von der Leipziger Universität geprägt.

### ***Julius Edgar Lilienfeld***

*„Leipzig, den 14. Januar 1910*

*Lebenslauf.*

*Am 18. April 1882 zu Lemberg in Oesterreich geboren bin ich, Julius Edgar Lilienfeld, oesterreichisch-ungarischer Staatsbürger, israelitischen Glaubensbekenntnisses. Mein Vater ist der Dr. juris Sigmund Lilienfeld, Rechtsanwalt zu Lemberg. Ich absolvierte in meiner Vaterstadt die Oberrealschule und wurde auf Grund des Reifezeugnisses derselben im Wintersemester 1899 als Studierender der Kgl. Technischen Hochschule zu Charlottenburg für das Studium des Maschinenbaufaches immatrikuliert. Nachdem ich ein Jahr lang die Vorlesungen und Praktika der Professoren: Hertzner, Hettner, Hörmann, Kammerer, Krüger, Lampe, Pietsch, Rubens, Rädorff besucht und längere Zeit in einer Maschinenfabrik praktisch gearbeitet hatte, veranlasste mich ein reges Interesse an den Naturwissenschaften, meine Zugehörigkeit zur Technischen Hochschule aufzugeben.*

*Ich wurde darauf an der Kgl. Friedrich Wilhelm-Universität als Studierender an der philosophischen Fakultät immatrikuliert. Bis zum Anfang des Wintersemesters 1904 befasste ich mich hier mit dem Studium der Philosophie, Mathematik, Physik, Chemie, besonders aber der experimentellen Physik. Ich nahm Teil an den Vorlesungen und Übungen der Professoren: Aschkinass, Frobenius, Fuchs, Meusel, van't Hoff, Knoblauch, Planck, Rosenheim, Mat, Schwarz, Starke, Stumpf, Warburg.*

*In diese Zeit fällt die Veröffentlichung eines Aufsatzes im 120. Bande der „Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik“ (1902): „Versuch einer strengen Fassung des*

*Begriffes der mathematischen Wahrscheinlichkeit“. Ferner arbeitete ich in den Jahren 1903 – 1904 drei Semester lang am physikalischen Institut der Universität unter der Leitung des Herrn Geheimrates Prof. Dr. O. Warburg. Nach einer vorausgehenden Mitteilung der Ergebnisse meiner Versuche in den „Sitzungsberichten der K. Akademie der Wissenschaften zu Berlin“ (28 Juli 1904) promovierte ich auf Grund der Dissertation: Über eine allgemeine und hervorragend empfindliche Methode zur spektralen qualitativen Elementaruntersuchung von Gasgemischen“ am 18 Februar 1905. Ein Auszug aus der Dissertation erschien unter dem gleichen Titel im Band 16 der „Annalen der Physik“ (1905).*

*Im Wintersemester 1905/1906 wurde ich als Praktikant an dem unter der Leitung des Herrn Geheimrats Prof. Dr. O. Wiener stehenden Physikalischen Institut der Universität Leipzig aufgenommen, und nehme seit diesem Zeitpunkte teil an dem wissenschaftlichen Leben dieses Instituts.*

*Ich veröffentlichte in der ersten Zeit meines Aufenthaltes in Leipzig in dem VIII. Jahrgang der „Verhandlung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft“ (1906) „Eine Methode zur Bestimmung der Temperatur und der Wärmeleitfähigkeit des positiven Glimmlichts“ sowie im IX Jahrgang derselben „Verhandlungen“ (1907): Eine Tiefdruck-Quecksilberlampe für hohe Belastung“.*

*In der Zeit zwischen den beiden letztgenannten Publikationen begann ich eine Reihe von Untersuchungen über ein bisher unbearbeitetes Gebiet: die elektrische Stromleitung bei extrem hohen Vacuum; sie wurden fortlaufend zuerst in den mehrmals genannten „Verhandlungen“, im VIII Jahrgang, No. 23, (1906), dann im IX Jahrgang No. 7 (1907) und schliesslich in den Berichten der mathematisch physischen Klasse der Königlichen Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig“, XL Band, 1908 unter dem Titel: „Über neuartige Erscheinungen in der positiven Lichtsäule einer Glimmentladung“ veröffentlicht.*

*Seit anderthalb Jahren arbeite ich, ausser an der Fortsetzung der an Resultaten reichen Untersuchung des Gebietes der letzten Publikationen, auch an der Herstellung und dem weiteren Ausbau einer Anlage für Hochdruck und tiefe Temperaturen – Luftverflüssigung und Wasserstoffverflüssigung – für das Leipziger Physikalische Institut. Die tiefen Temperaturen finden auch für meine fortgesetzten Untersuchungen Anwendung.“<sup>48</sup>*

Die Arbeiten zur thermisch induzierten Elektronenemission – noch einmal zusammenfassend dargestellt in [Lilienfeld 1920 a] – führten Lilienfeld, inzwischen 1916 auf Vorschlag der Philosophischen Fakultät zum außeretatmäßigen a. o. Professor berufen, hin zur Feldemission [Lilienfeld 1920 b]. Auch diesen Effekt – er sprach von *autoelectronic* und prägte das Kunstwort *Äona*-Effekt – suchte er, neben anderen Anwendungen, für die Erzeugung von Röntgenstrahlen nutzbar zu machen. Während seines ersten USA-Aufenthaltes stellte er

anlässlich der 22. Jahrestagung der Amerikanischen Röntgengesellschaft im September 1921 eine Röntgenröhre mit Feldemissionskathode vor. Die dabei vorgezeigten Bilder machen deutlich, dass er den Körper der Versuchsröhre von seiner Glühkathodenröhre abgeleitet und wahrscheinlich, in Teilen ganz sicher, auch bei Otto Pressler in Auftrag gegeben hatte [Lilienfeld 1922]. Mit seinen späten Leipziger Arbeiten begründete Lilienfeld eine stark beachtete Leipziger Schule der frühen Feldemissionsforschung [Kleint 1998].

Während seiner USA-Aufenthalte knüpfte Lilienfeld Beziehungen zur amerikanischen elektrotechnischen Industrie und löste seine Bindung an die Leipziger Universität 1925 auf. Offenbar waren es seine Erfindungen zur Technologie der Elektrolytkondensatoren<sup>49</sup>, die ihm zu materiellem Wohlstand verhalfen. Berühmt wurde er im Nachhinein durch eine damals – 1928 – so noch nicht realisierbare Erfindung, die eines Feldeffekttransistors (Abb. 14)<sup>50</sup>.

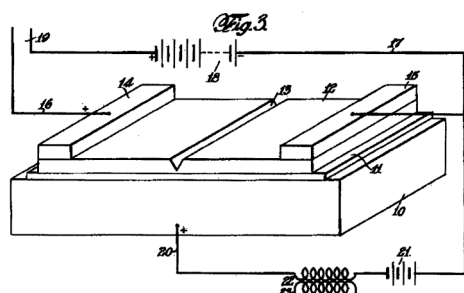


Abb. 14:  
Lilienfelds Feldeffekt-Transistor nach  
US 1,900,018.

Julius Edgar Lilienfeld starb am 28. August 1963 in St. Thomas auf Virgin Islands. Aus dem Vermächtnis der Witwe, Beatrice geb. Ginsburg, vergibt die American Physical Society seit 1988 den Lilienfeld-Preis.

Ob wirtschaftliche oder wissenschaftliche Gründe ausschlaggebend für Lilienfelds Übersiedlung nach den USA waren, oder ob er einem heraufziehenden Antisemitismus auswich, wissen wir nicht. An der Universität Leipzig erfuhr Lilienfeld jedenfalls hohe Wertschätzung, insbesondere auch, als er seine Habilitation gegen die widerstrebende Dresdener Ministerialbürokratie durchsetzen musste. Obwohl Lilienfeld als promovierter Physiker nach Leipzig gekommen war, verweigerte ihm das Königliche Ministerium im März 1910 die Habilitation wegen eines fehlenden Ergänzungsexamens zu seinem Realgymnasialabitur, es ging um die Fächer Latein und Philosophische Propädeutik. Bereits wenige Wochen später reichte Lilienfeld *„ein zu dem Maturitätszeugnis eines Realgymnasiums gleichwertig ergänztes Maturitätszeugnis einer Österreichischen Oberrealschule“*, ein beglaubigt übersetztes Nachprüfungszeugnis aus Lemberg, nach. Wie so



etwas in kürzester Zeit und über die erhebliche Distanz bewerkstelligt werden konnte und worauf es sich stützte, wird nicht klar und wurde auch nicht hinterfragt. Obwohl das positive Votum der Fakultät zu Lilienfelds Habilitationsgesuch durch den zunächst abschlägigen ministeriellen Bescheid formal nichtig geworden war, vermied der Dekan, der Nationalökonom Wilhelm Stieda (1852 – 1933), im Zusammenwirken mit den Gutachtern eine nochmalige Behandlung vor der Fakultät, so dass kaum Zeitverzug eintrat und Lilienfeld im Juni 1910 mit hervorragender Beurteilung durch die Physiker Otto Wiener (1862 – 1927) und Theodor DesCoudres (1862 – 1926), beide wie auch Stieda Mitglieder der Sächsischen Akademie, und den Elektrochemiker Max LeBlanc (1865 - 1945) habilitiert werden konnte – mit dem routinemäßigen Hinweis, dass daraus keine Ansprüche ableitbar wären.

### **William David Coolidge**

*Lebenslauf.*  
 Ich, William David Coolidge, wurde am 23. Oct. 1873 in Hudson, Massachusetts, U.S.A. geboren. Dort besuchte ich die Schule bis zu meinem siebzehnten Jahre. Dann studierte ich in Boston im Massachusetts Institute of Technology von 1891 – 1893 und von 1894 –

*des Herrn Prof. Dr. Drude ausgeführt. Allen diesen Herren spreche ich hiermit meinen herzlichsten Dank aus.*  
 Leipzig, im Mai 1898.

Abb.15:  
 Aus UAL, Phil. Fak. Prom. 1546, Bl. 5,  
 Universitätsarchiv Leipzig

„Lebenslauf.

Ich, William David Coolidge, wurde am 23. Oct. 1873 in Hudson, Massachusetts, U.S.A. geboren. Dort besuchte ich die Schule bis zu meinem siebzehnten Jahre. Dann studierte ich in Boston im Massachusetts Institute of Technology von 1891 – 1893 und von 1894 – 1896 (das Zwischenjahr musste ich, wegen Krankheit, aussetzen) und erlangte auf Grund meiner Dissertation: „Hysteresis von Eisen bei höheren Temperaturen“ das Diplom eines Bachelor of Science. Von 1896 – 1897 war ich Assistent in Rogers Laboratory of Physics.

Im October 1897 wurde ich an der Universität Leipzig immatriculiert und im October 1898 trat ich als Assistent in das physikalische Laboratorium ein. Ich besuchte die Vorlesungen der Herren Professoren: Beckmann, Credner, Drude, Mayer, Ostwald, und Wiedeburg. Die vorliegende Untersuchung sowohl als eine kleinere Arbeit: „Eine neue Methode zur Demonstration der electricischen Drahtwellen“<sup>1)</sup> wurde unter der Leitung des Herrn Prof. Dr. Drude ausgeführt. Allen diesen Herren spreche ich hiermit meinen herzlichsten Dank aus.  
 Leipzig, im Mai 1898.

<sup>1)</sup> Wied. Ann. 67 p. 578. 1899. “<sup>51</sup>

Coolidge promovierte im August 1900 mit der von Wiener und Wilhelm Ostwald (1853 – 1932), Nobelpreisträger des Jahres 1909, begutachteten und von Paul Drude (1863 – 1906) betreuten Arbeit „Dielektrische Untersuchungen vermittelt elektrischer Drahtwellen“. Offensichtlich ist die von Coolidge oben benannte Arbeit in seine Inauguraldissertation eingegangen. Mündliche Prüfungen absolvierte Coolidge bei Wiener (Physik), Beckmann (Chemie) und Hermann Credner (1841 – 1913). Letzterer war Geologe und wie die anderen genannten Professoren Mitglied der Königlich-Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Als Gesamturteil wurde „Censur 1“ vergeben.

Coolidge begann seine Karriere bei GE im Jahre 1905 und stieg dort bis zum Vizepräsidenten und Forschungsdirektor (1940 – 1944) auf. Nach seiner Emeritierung blieb er als Berater für Röntgenstrahl-Technik und als Director Emeritus dem Unternehmen verbunden. Obwohl er nie hauptamtliche akademische Ämter übernahm, wurde ihm eine große Zahl Ehrendoktorate angetragen. Von den vielen Gesellschaften, die Coolidge auszeichneten, seien das American Institute of Electrical Engineers, die Institution of Electrical Engineers of England, das Franklin Institute Philadelphia und die Gesellschaft der Freunde und Förderer des Deutschen Röntgen-Museums genannt.

### ***Wolfgang Wilhelm Johannes Rosenthal***

*„Ich wurde am 8. Sept. 82 als 3. Kind des Schulvorstehers Max Rosenthal und seiner Ehefrau Anna, geb. von Zeuner in Friedrichshagen Kreis Teltow geboren. Später kam mein Vater als Seminaroberlehrer nach Delitzsch und ich als Alumnus auf die Leipziger Thomasschule, so dass ich bis zu meinem Abitur, 1903, Mitglied des Thomanerchores war, bei dessen Aufführungen ich auch später immer wieder als Sänger mitwirkte.*

*Approbation als Arzt in Leipzig 14.1.1911, Doktordiplom Leipzig 19.12.19. Ab 1911 am chirurgisch-poliklinischen Institut bei den Professoren Perthes und Hermann Heineke als Assistent und später als Oberarzt tätig. Von 1914 – 18 stellvertretender Institutsdirektor und mit Vorlesungen sowie Prüfungen betraut. 9.11.1918 Habilitation für das Fach der gesamten Chirurgie in Leipzig. 1915 bis 1920 neben der Poliklinik als Facharzt in verschiedenen Leipziger Lazaretten ( für Kiefer- und Gesichtsverletzte, Schädel- und Nervenschüsse sowie Amputierte) tätig. Seit 1921 in Leipzig als Chirurg niedergelassen. Ostern 1930 Ernennung zum ao. Professor in Leipzig. Halte Vorlesungen für Mediziner und Zahnärzte über Kieferchirurgie, studiere selbst noch Zahnheilkunde und erhalte die zahnärztliche Approbation Ostern 1933 in Erlangen. Januar 1936 Ruf, als planmäßiger Extraordinarius am*

*Universitätskrankenhaus Hamburg-Eppendorf eine moderne Kieferklinik einzurichten. Dort tätig bis 30.9.37. ...“.*<sup>52</sup>

Hier erfuhr die klassische akademische Karriere des Wolfgang Rosenthal einen Bruch. Wegen eines nicht arischen Großvaters wurde ihm die Lehrerlaubnis entzogen; er verlor seine Mitgliedschaft in akademischen Gesellschaften und damit auch den Vorsitz der Gesellschaft für Kiefer- und Gesichtschirurgie. Den Vorwurf einer nicht einwandfreien arischen Abstammung ließ Rosenthal durch ein anthropologisches Gutachten, welches der Großmutter einen „Fehltritt“ nachwies, entkräften. Das erlaubte ihm eine weitere ärztliche Tätigkeit; die akademische Karriere blieb ihm aber versperrt. Nach Kriegsende erwirkte er in mühevollen, von ehemaligen Kollegen behinderten Bemühungen, bei denen er sich auch gegen die Unterstellung, er sei SS- und NSDAP-Mitglied gewesen, wehren musste, die Ernennung zum a. o. Professor. Nach einer Berufung an die Universität Jena (1947) nahm er 1949 einen Ruf an die Humboldt-Universität Berlin an. Die Universität Leipzig verlieh ihm 1954 die Ehrendoktorwürde. Er wurde 1955 als Ordentliches Mitglied in die Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin aufgenommen und 1964 als „Hervorragender Wissenschaftler des Volkes“ ausgezeichnet. Nach seiner Emeritierung leitete er die von ihm 1943 gegründete kieferchirurgische Heilstätte (später: „Klinik für Plastische und Wiederherstellende Kiefer- und Gesichtschirurgie“) in Thallwitz bei Wurzen. Er starb am 10.06.1971 in Leipzig.

Im Gegensatz zu anderen klinisch tätigen Pionieren war Rosenthal der forschenden Röntgentechnik trotz aller Erfolge nur kurzzeitig verbunden. Dass seine diesbezüglichen Verdienste unterbelichtet blieben – auch in seinen eigenen Bekundungen! – mag damit zusammenhängen, dass es in den 30er Jahren nicht karrieredienlich war, auf erfolgreiche Zusammenarbeit mit dem Juden Lilienfeld zu verweisen. Später galt die Einführung der Lilienfeld-Röhre ohnehin nur als Episode – zu Unrecht, wie wir gesehen haben.

### **Walter Hofmann**

*„Ich, Gottfried, Ottomar, Walter Hofmann, evangelisch-lutherischer Konfession, wurde am 18. November 1888 zu Leipzig-Reudnitz geboren, als Sohn des Kaufmanns Ottomar Hofmann (gest. 1911) und seiner Ehefrau Selma geb. Seydlitz (gest. 1919). Nach vierjährigem Elementarunterricht in der 7. Bürgerschule zu Leipzig (Ostern 1895 bis Ostern 1899) besuchte ich die Petrischule zu Leipzig, die ich Ostern 1908 mit dem Reifezeugnis verliess.*

*Darauf widmete ich mich an der Universität meiner Vaterstadt dem Studium der Mathematik, Physik und Chemie. Seit Oktober 1913 war ich Hilfsassistent am Physikalischen Institut der Universität Leipzig. Am Kriege nahm ich zunächst als Feldartillerist, später als Fussartillerist bei einem Messtrupp und einer Mörserbatterie teil. Von 1915 bis 1918 war ich an der Westfront. 1917 erwarb ich in der Flandernschlacht das E.K. II. und wurde kurz darauf zum ersten Male verwundet. Anfang 1918 wurde ich zum Leutnant d. Res. befördert. Im Juli 1918 wurde ich bei der Kemmeloffensive zum zweiten Male verwundet und war seitdem in Lazarettbehandlung. Augenblicklich bin ich noch in ambulanter militärärztlicher Behandlung und wieder als Hilfsassistent am Physikalischen Institut der Universität Leipzig tätig.“<sup>53</sup>*

Hofmann promovierte 1919 mit der durch den Krieg unterbrochenen und von den Professoren Wiener und DesCoudres begutachteten Arbeit „Quantitative Untersuchung von Hauptserienlinien insbesondere des Caesiums in Absorption“ und nach mündlicher Prüfung in Physik, Mathematik und Chemie „mit vorzüglichem Erfolg“. Zumindest der experimentelle Teil der Dissertation galt nach einer Erklärung Wieners bereits 1914 als im Wesentlichen abgeschlossen. Nach kurzer Assistenz-Zeit nahm Hofmann noch 1919 seine Tätigkeit bei Otto Pressler auf. Dass er damit, wie an a. O. geäußert<sup>40</sup>, an eine frühere Hilfstätigkeit anknüpfte, ist zumindest nicht unwahrscheinlich.

Hofmann wechselte 1924 von Pressler, Leipzig, zur Phönix nach Rudolstadt und wurde dort der Leiter des Labors; das schloss die Verantwortung für die Patentarbeit mit ein. Er wurde 1930 als Direktionsassistent nach Erlangen berufen und übernahm 1932 die Patent- und Vertragsabteilung der Siemens-Reiniger-Werke. 1941 wurde er zum Abteilungsdirektor ernannt. Er ging 1956 in den Ruhestand und verstarb am 18. Dezember 1968.

### **Walter König**

*„Ich, Carl Georg Walter König, bin der Sohn protestantischer Eltern – des Kaufmannes E. A. König und seiner Gattin Emma, geb. Schäffer – und bin geboren zu Berlin am 20. November 1859. Ich genoß ebendasselbst meine Schulbildung auf dem Friedrich-Werderschen Gymnasium, bestand Ostern 1878 das Abiturientenexamen, besuchte dann ein Semester lang die Universität Tübingen und darauf weitere sieben Semester lang die Universität Berlin, mich vornehmlich physikalischen Studien widmend. Im Sommer-Semester 1882 promovierte ich zu Berlin auf Grund einer auf dem dortigen physikalischen Institute unter der Leitung des Herrn Geheimrat v. Helmholtz*

*angefertigten experimentellen wissenschaftliche Arbeit, beschäftigte mich dann noch ein Semester lang mit experimentellen Untersuchungen auf dem berliner physikalischen Institute und siedelte im April 1883 nach Heidelberg über, wo ich seitdem am physikalischen Institute unter der Leitung des Herrn Geheime(n) Hofrat Quincke 4 Jahre lang thätig gewesen bin. ...*

Es folgt eine Auflistung von neun zwischen 1882 und 1891 erschienen wissenschaftlichen Arbeiten und der von ihm übersetzten und in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften herausgegeben Arbeiten Coulombs. Wir nennen daraus (in Königs Darstellung)

*Über die ellyptische Polarisaton des reflektiert gebeugten Lichtes.*

*Doctordissertation 1882. Wied. Ann. 17. 1882.*

*Über die Bestimmung von Reibungskoeffizienten tropfbarer Flüssigkeiten mittels drehender Schwingungen.*

*Habilschrift und Wied. Ann. 32. 1887.*

*Über die Beziehungen der Hertzchen Versuche zu gewissen Problemen der Optik.*

*Wied. Ann. 37. 1889.*

*Hydrodynamisch-akustische Untersuchungen. 3 Teile.*

*Wied. Ann. 42 u. 43. 1891“<sup>54</sup>*

König wurde 1891 zum Prof. extr. in Leipzig berufen, ging 1892 als Dozent zum Physikalischen Verein in Frankfurt und erbrachte dort wesentliche Beiträge zur frühen Röntgentechnik – siehe oben. 1900 übernahm er eine Professur in Greifswald; 1905 folgte er einem Ruf als o. Prof. und Direktor des physikalischen Instituts der Universität nach Gießen und wurde damit einer der Nachfolger Röntgens in Gießen. In dieser Position war er zwar nicht an der o. g. gutachterlichen Tätigkeit seines jungen Kollegen Cermak für Dessauer beteiligt, stand ihr aber, wenn wir dem Schriftwechsel der Protagonisten folgen<sup>31</sup>, aufgeschlossen gegenüber. König starb am 2. August 1936 in Gießen.

### **Zusammenfassung; Quellenlage; Dank**

Bei dem Versuch, die Spuren zweier konkurrierender wissenschaftlicher Innovationen und die von ihnen hervorgerufenen Reaktionen nachzuzeichnen, erwies sich schnell, dass naturwissenschaftliche Gesichtspunkte allein die Situation nur unzureichend fassen. Wissenschaftliche Leistungen erheblicher Tragweite waren einzufügen in ein sehr komplexes

Umfeld: Historische, technologische, wirtschaftliche und daran geknüpfte rechtliche und politische, aber auch sehr persönliche Aspekte beschreiben ebenfalls das Bild. Den so bestimmten Abläufen haften auch durchaus paradoxe Elemente an. In wirtschaftlicher Hinsicht war es das *Versagen* des Coolidge-Patentes und seines Substituts, des Fürstenaupatentes, welches zu einer letztlich übermächtigen pro-Coolidge-Allianz in Deutschland führte. Und der zahlenmäßig größere Teil der siegreichen Koalitionäre hatte teuer für diesen Sieg zu zahlen. Auf der Gegenseite war es der Erfinder, Lilienfeld, selbst, der seine unter den damaligen *technischen* Gegebenheiten objektiv leistungsfähige Röhre durch einen problematischen *theoretischen* Ansatz in einen bis heute nachwirkenden Misskredit brachte.

Obwohl die hier geschilderten Vorgänge auch sehr namhafte Unternehmen betrafen, ist die Quellenlage problematisch. Viele Akten fielen dem Krieg zum Opfer, die des Röntgenbetriebes von K&S nahezu vollständig. Also mussten oft sekundäre Quellen in Anspruch genommen werden. Immerhin werden, obwohl ein allumfassendes AEG-Archiv nicht besteht, manche der hier relevanten Vorgänge durch vorbereitende und abschriftliche AEG-Akten im Archiv des Deutschen Technikmuseum Berlin belegt. Als hilfreich für die Interpretation der relativ umfangreichen Aktenbestände des Siemens-Medizin-Archivs erwies sich, dass der Erlanger Siemens-Oberingenieur Herbert Graf (1897 – 1978), nach seiner Verabschiedung in den Ruhestand nach 1963 noch als Leiter des Archivs tätig, versuchte, durch Befragung von Zeitzeugen und informierten, der Zeit nahen Zeugen Teile der hier geschilderten Abläufe zu rekonstruieren.<sup>55</sup> Anlass seiner Initiative war der von der wissenschaftlichen Öffentlichkeit kaum wahrgenommene Tod Lilienfelds. So glaube ich, vor dem Hintergrund der zugänglichen wissenschaftlichen Publikationen aus den vom Deutschen Technikmuseum Berlin, von den Technischen Sammlungen Dresden, vom Siemens-Medizin-Archiv Erlangen, vom Universitätsarchiv Leipzig, vom Deutschen Museum München und vom Deutschen Röntgenmuseum Remscheid-Lennep zugänglich gemachten und zu vielen sich stützenden Quervergleichen Gelegenheit gebenden Unterlagen ein zumindest in den Konturen verlässliches Bild gezeichnet zu haben.

Den genannten Einrichtungen und den dort tätigen bzw. tätig gewesenen Unterstützern, Herrn Jörg Schmalfuß (Berlin), Frau Christa Ohländer und Herrn Dr. Helmut Lindner (Dresden), Frau Ursula Buchholz, Frau Doris-Maria Vittinghoff und Herrn Marcel Michels (Erlangen), Herrn Prof. Dr. Gerald Wiemers (Leipzig), den Herren Dr. Alto Brachner und Dr. Wilhelm Füßl (München), Frau Monika Radau und Herrn Ulrich Hennig (Remscheid-Lennep), sei

herzlich für ihre Hilfe und die Erlaubnis zur Verwendung von Bildmaterial gedankt. Herr Siegfried Preßler (Köln), Enkel von Rudolf Pressler, machte in dankenswerter Weise familieninterne Aufzeichnungen zur Firmengeschichte zugänglich.

Aussagen, die die juristischen Konsequenzen aus den US-amerikanischen Patentstreitigkeiten betreffen, stützen sich auf die von Prof. Dr. Robert G. Arns vorgelegte Studie [Arns 1997]. Erwähnt sei auch die hier nur in Teilen relevante Arbeit des gleichen Autors [Arns 1998] zur Geschichte der Transistortechnik. Eine faktenreiche biographische Studie über Julius Edgar Lilienfeld publizierte Prof. Dr. Christian Kleint. Sie enthält im Anhang eine nahezu vollständige Auflistung der Arbeiten und Patente Lilienfelds und auch ein umfangreiches Verzeichnis der mit dem Thema verwandten Arbeiten und Quellen [Kleint 1998]. Sie erlaubt, die hier gegebene ausführliche Darstellung eines speziellen Interessengebietes Lilienfelds einzupassen in eine sehr komplexe Lebensleistung.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Klaus Hübner, Heidelberg. Er war ein kritischer und überaus geduldiger Diskussionspartner und hat manche der hier genutzten Quellen recherchiert und beigeleitet.

## Anmerkungen

\* Prof. Dr.-Ing. habil. Günter Dörfel, c/o Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden, Postfach 27 01 16, D-01171 Dresden; [www.ifw-dresden.de](http://www.ifw-dresden.de); [G.Doerfel@ifw-dresden.de](mailto:G.Doerfel@ifw-dresden.de). Privat.: Zauckeroder Str. 5, D – 01159 Dresden; [guenter\\_doerfel@web.de](mailto:guenter_doerfel@web.de).

<sup>1</sup> Siehe hierzu die Originalarbeiten [Röntgen 1895, 1896] und [König 1896 a, b] bzw. die anhand von Originaldokumenten vorgenommenen Wertungen [Dörfel, Hübner, Landwehr 2003, 2004]. Bezüglich der Einführung von Wolframelektroden sei auf die Patentschrift [DE 165 138] verwiesen.

<sup>2</sup> Walter Friedrich (1883 – 1968) und Paul Knipping (1883 – 1935) bestätigten 1912 durch Röntgenbestrahlung eines Kupfersulfatkristalls die Voraussage Max von Laues (1879 – 1960), dass ein Kristall für Röntgenstrahlen die gleiche Wirkung habe wie ein Beugungsgitter für Lichtstrahlen [Friedrich / v. Laue / Knipping 1912]. Damit war die Röntgenstrahlung als sehr kurzwellige elektromagnetische Strahlung erklärt.

<sup>3</sup> Nach einem ausführlichen Prospekt „Röntgenröhren“ des Anlagenbauers K&S, 1910. Die Hervorhebungen folgen dem Original

<sup>4</sup> J. E. Lilienfeld: „Beschreibung der Röntgenröhre und ihrer physikalischen Eigenschaften“ und Dr. W. J. Rosenthal: „Die praktische Anwendung der Röntgenröhre“; beides in [Lilienfeld / Rosenthal 1911/1912], der überhaupt ersten Publikation zur neuen Röhre. In [Rosenthal 1913] werden die Eigenschaften der Röhre und die jeweiligen praktischen klinischen Konsequenzen aus der Einstellung der technischen Parameter anhand vieler Röntgenaufnahmen ausführlich dargestellt.

<sup>5</sup> Goldstein war sich seiner Erkenntnisse zunächst offenbar nicht sicher. Jedenfalls hatte er seine Ergebnisse in einem verschlossenen Umschlag bei der Wiener Kaiserlichen Akademie hinterlegt und erst später veröffentlicht. Die Umstände werden ausführlicher beschrieben in [Hübner 2000].

<sup>6</sup> Friedrich Dessauer beschrieb eine therapeutische Röntgenquelle, bei der zwei antiparallel geschaltete Röntgenröhren von einem als Transformator betriebenen Induktor angeregt werden. Beide Röntgenröhren, dem Stand der Technik entsprechend Ionen-Röhren, liegen in Reihe mit je einer „bekannten Gundelachschen Ventilröhre“ an der Wechselspannungsquelle [Dessauer 1907], so dass eine Rückzündung (das ist die Zündung bei umgekehrter Polarität der Betriebsspannung) der Röntgenröhren sicher vermieden wird.

<sup>7</sup> Elektrische Entladungen in verdünnten Gasen zeigen eine stark nichtlineare Charakteristik des Potentialgefälles längs der Entladungsrichtung. Die stärksten Spannungsabfälle treten in Kathoden- und Anoden-Nähe auf und werden als Kathoden- und Anodenfall bezeichnet. Längs der dazwischen liegenden „positiven Säule“ ist das Spannungsgefälle vergleichsweise gering.

<sup>8</sup> Es sei darauf hingewiesen, dass das Richardson-Gesetz von der im Exponenten stehenden Kathodentemperatur dominiert wird. Insofern sind die *quantitativen* Unterschiede zwischen beiden Fassungen gering, jedenfalls im Bereich der technisch interessierenden Temperaturen und Parameter. Das erklärt die lange problemlose Anwendung der heute als unzutreffend geltenden Fassung (1\*). Diese weitgehende Unempfindlichkeit gegenüber dem Faktor  $\sqrt{T}$  bzw.  $T^2$  zeigt sich anschaulich bei der Herleitung der später verwendeten Abschätzung (13).

<sup>9</sup> Verwiesen sei hier auf [Lossau 1995, S. 110] und [Wolfschmidt 1995, S. 87]. Wir machen darauf aufmerksam, dass die Kombination von Glühkathode und Gasentladungsraum nicht a priori physikalisch unsinnig ist – eine hinreichend sauerstoffarme Gasbeladung vorausgesetzt. Sog. Glühkathoden-Thyratrons, Röhren, deren gasentladungsbedingtes Schalten leicht und wohl definiert gesteuert werden kann, aber auch gasgefüllte Glühkathoden-Gleichrichterröhren waren in der Mitte des 20. Jahrhunderts weit verbreitete Bauelemente der technischen Leistungselektronik. Möglicherweise hat das Wissen um diese Technik die langjährige Kolportage des Vorurteils um das schlechte Vakuum der Lilienfeld-Röhre unbewusst begünstigt.

<sup>10</sup> Neben Lilienfeld nahm auch Walter Schottky (1886 – 1976) zu Langmuirs deutscher Veröffentlichung Stellung [Schottky 1914]. Er legte dar, auf welche Weise er schon 1912 das Raumladungsgesetz hergeleitet hatte. Publiziert hatte er seine Rechnungen vorher nicht. Wenn wir Schottkys Diktion folgen, dann ging es ihm nicht um Prioritätsfragen. Er wollte vielmehr einen Vorwurf, den er aus Langmuirs Arbeit herauslas, dass sich nämlich die Theoretiker um einen wichtigen Sachverhalt nicht gekümmert hätten, entkräften.

<sup>11</sup> Die Bezeichnungen, hier „Urmodell 1911“, aber auch für die nachfolgenden Bauformen „Urmodell II“ und „Urmodell III“, beziehen sich auf die vom Röhrenhersteller bei der Stiftung der Röhren für das DMM geprägten und vom DMM übernommen Bezeichnungen und kennzeichnen die verschiedenen Entwicklungsstufen der technischen Röhre.

<sup>12</sup> Bei der Darlegung der juristischen Belange des Lilienfeld-Coolidge-Konfliktes in den USA stützen wir uns auf den nicht nur diesbezüglich ausführlichen Bericht [Arns 1997].

<sup>13</sup> Zur gleichen Zeit wurden vergleichbare Einrichtungen („Zusatzeinrichtungen für gasfreie Röntgenröhren“) auch von der RGS nahen Polyphos Elektrizitätsgesellschaft München angeboten.

<sup>14</sup> Nach einer von dem leitenden AEG-Mitarbeiter Dr. Konrad Norden (1876 – ?) hinterlassenen Niederschrift „Röntgentechnik“ (Deutsches Technikmuseum Berlin (DTMB), Archiv, 1.2.060 A 05058, „Röntgenröhre“) wurde die Röntgenabteilung auf Veranlassung Emil Rathenaus 1902 aufgelöst. Dass die Röntgenaktivitäten der AEG aber nie ganz zum Erliegen kamen, entnehmen wir einer Notiz in der AEG-Zeitung vom Januar 1905: „Der bisherige zur Schwachstromabteilung gehörige Betrieb von Röntgen-Apparaturen wird vom 1. Januar 1905 an als „Abteilung für Röntgeneinrichtungen“ organisiert ...“. Das betreute Sortiment hat sich aber, wenn wir die technischen Mitteilungen beobachten, in den Folgejahren kaum weiterentwickelt. Norden war während der Einführung der Coolidge-Röhre als Fachautor hervorgetreten [Norden 1916]. Er war Mitunterzeichner der hier im Mittelpunkt stehenden sog. Coolidge-Verträge der AEG mit der GE und mit Siemens & Halske.

<sup>15</sup> Zu Einzelheiten hierzu siehe [Pohl 1988].

<sup>16</sup> Knipping war während des Krieges in Dahlem am Kaiser-Wilhelm-Institut „mit militärtechnischen Arbeiten“ beschäftigt [Stintzing 1938]. Möglicherweise schloss dies Themen zur Vakuum-Elektronik mit ein. Die Art seiner rechtlichen Anbindung an die AEG geht aus dem aufgefundenen Archivmaterial nicht hervor.



<sup>17</sup> Das wird in der in Anm. 14 zitierten Niederschrift und in [Albers-Schönberg 1916/1917] übereinstimmend angegeben.

<sup>18</sup> Nach Patentblatt 41 (1917) Nr. 36 v. 5. September 1917, S. 585.

<sup>19</sup> Ausgeführt im Brief des CHFM-Geschäftsführers Dr. Liebermann an RGS-Direktor Berger in Sachen Lizenzfertigung von Fürstenau-Coolidge-Röhren bei CHFM vom 3. Dez. 1919. Dort beklagt sich Liebermann auch über unlauteres Vorgehen von Dessauer beim Erwerb des Fürstenau-Patentes für die Veifa-Werke. (Quelle: SMA (Siemens-Medizin-Archiv) 860, „Fürstenau-Coolidge-Röhre“, Provinienz: Direktionsbüro Berger, RGS Erlangen.)

<sup>20</sup> Die Veifa-Werke (Veifa: Vereinigte Elektro-Institute Frankfurt – Aschaffenburg) gingen aus zwei von Dessauer gegründeten Instituten (Aschaffenburg 1901, Frankfurt 1907) hervor. 1920 verkaufte er die Firma an RGS. Den Verkaufserlös brachte er in eine Stiftung ein, die seine weiteren Forschungen finanzieren sollte.

<sup>21</sup> Die abschriftliche Urteilsbegründung (Quelle: SMA(Siemens-Medizin-Archiv)Z(Zwischenarchiv) „Patente: AEG-Coolidge-Patentanmeldung“) nennt K&S als Kläger, Fürstenau und Veifa als Beklagte. In div. Schriftverkehr zwischen den betroffenen Firmen werden CHFM und auch Siemens & Halske als Parteien auf Seiten des Klägers bezeichnet bzw. sie bezeichnen sich selbst so. Es ist anhand des eingesehenen Materials aber nicht sicher zu entscheiden, ob diese Formulierungen juristische Positionen oder nur Interessenlagen beschreiben.

<sup>22</sup> Wenn auch zunächst für die Anwendung in Ionen-Röhren gedacht, so war der Inhalt des Wolfram-Patentes DE 165 138 sehr grundsätzlicher Natur. Der Schutzanspruch lautete kurz: „Röntgenröhre, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden, insbesondere die Antikathode aus Niob oder Wolfram bestehen“. Dieses Patent war schon Gegenstand früheren Lizenz austausches zu Ionen-Röhren. Eine starke Position entstand insofern, als S&H die Konditionen dieses Tausches nicht auf die Geschäfte mit Elektronenröhren übertragen hatte. Das Problem bestand im absehbaren Auslaufen des Patentes. Dem versuchte S&H durch eine neue spezielle Antikathodenkonstruktion [DE 296 334] zu begegnen

<sup>23</sup> Quelle: SMAZ „Verträge“

<sup>24</sup> Nach der als Manuskript gedruckten vertraulichen Schrift „Über die Lilienfeldröhre, 3 Vorträge gehalten bei der Vertreterkonferenz München am 18./19.12.1916 von Dr. Th. Christen, Prof. Lilienfeld, Ober-Ingenieur Janus, Reiniger, Gebbert & Schall A.-G.“. Sie wird aufbewahrt in der Bibliothek des Deutschen Röntgenmuseums Remscheid-Lennep und im Siemens-Medizin-Archiv, dort SMAZ „Unterlagen zur Veröffentlichung zur Geschichte der medizinischen Röntgenröhren“.

<sup>25</sup> Bezüglich der an [Lilienfeld 1910] anknüpfenden Arbeiten sei auf [Lilienfeld 1911, 1912, 1914 e, 1919 a, 1920 a] verwiesen.

<sup>26</sup> Quelle: SMAZ „Technische Entwicklung Röntgenröhren – 1937“. Der langjährige K&S-Mitarbeiter Oberingenieur Johannes Frenzel, 1921 – 1945 Mitglied der Deutschen Röntgengesellschaft und bis 1936 in deren Literatuausschuss tätig, datierte in seinen dem Erlanger Archiv überlassenen Erinnerungen den angesprochenen Vertrag auf den 1. August 1918.

<sup>27</sup> Hierzu und zur Firmengeschichte insgesamt siehe auch [Busch 2003].

<sup>28</sup> Nach einem Protokoll vom 12. Mai 1920; abgelegt wie bei Anm. 19.

<sup>29</sup> Nach einer RGS-Direktionsnotiz vom 9. März 1920; abgelegt wie bei Anm. 19.

<sup>30</sup> Quelle: SMA. Nach mehreren übereinstimmenden Niederschriften ohne Signatur, die nach dem 2. Weltkrieg auf Grund von Zeitzeugen-Befragungen entstanden waren. Zu den Spannungen zwischen Liebermann und Dessauer siehe auch Anm. 19.

<sup>31</sup> Die Sachverhalte erschließen sich aus dem Schriftwechsel zwischen Dessauer, Cermak und RGS. (Quelle: Deutsches Röntgenmuseum (DRM), Zwischenarchiv, NL Dessauer, Korrespondenz Cermak 1918, AltSignatur 222.II., und Korrespondenz Cermak 1919). Es scheint, dass sich der RGS-Vorstand Dessauers Strategie zur Verteidigung des Fürstenau-Patentes anschloss. (Nach einer Vorstandsnotiz v. 4. Febr. 1918. Quelle: SMAZ „RGS Briefe und Notizen 1912 – 1931.)

<sup>32</sup> Dieser Streit schlug sich insbesondere in [Lilienfeld 1918], [Dessauer 1919], [Dessauer / Back 1919], [Lilienfeld 1919 c], [Lilienfeld 1919 d] nieder.

<sup>33</sup> S&H hatte sich schon im Juli 1924 mit der AEG geeinigt. Im Juni 1925 wurde die Vereinbarung auf die nunmehr durch Übernahme entstandene gesamte Siemens-Gruppe mit S&H, RGS, Veifa, und Phönix ausgedehnt. (Nach DTMB, Archiv, I.2.060 A 05058, „Röntgenröhre“.)

<sup>34</sup> Festgelegt in einem Nachtrag zum o. a. sog. Coolidge-Vertrag zwischen AEG und GE. (Nach DTMB, Archiv, I.2.060 A 04381, Blatt 22).

<sup>35</sup> Mit einer bandförmigen Glühkathode und geeigneten Abschirmelementen wird auf der Antikathode ein strichförmiger Brennfleck erzeugt. Aus der Sicht eines Objektes, das von nur wenig gegen die Antikathoden-Ebene geneigten Röntgenstrahlen getroffen wird, schrumpft dieser Brennfleck zu einem (nahezu) punktförmigen Gebilde. Das lässt sich insofern vorteilhaft nutzen, als für Röntgenstrahler das Lambertsche Kosinusetz nicht gilt, und die Abstrahlung in dieser flachen Richtung nahezu der Abstrahlung in Normalen-Richtung entspricht [Röntgen 1897]. Daraus erklärt sich die hohe röntgenoptische Qualität der Röhre. Der Erfinder, der Röntgenarzt Dr. Otto Goetze (1886 - ?), zur Zeit der Erfindung in Halle / Saale tätig, ist nicht mit dem hier ebenfalls erwähnten Techniker und Röntgenpionier Robert Goetze, Leipzig, verwandt. Hierzu siehe [Dörfel 2003].

<sup>36</sup> Angezeigt im Patentblatt 49 (1925) Nr. 16, S. 491.

<sup>37</sup> Nach einer RGS-Vorstandsnotiz v. 3. Jan. 1924. Der Unterzeichner, Kommerzienrat William Niendorf, war während Röntgens Entdeckung Mechaniker bei RGS, später Werkmeister, danach Vorstandsmitglied und schließlich Mitglied des Aufsichtsrates. Quelle: SMAZ „RGS Briefe und Notizen 1912 – 1931“. Die Akzentuierungen (Unterstreichungen) im wörtlich zitierten Auszug wurden vom Verfasser vorgenommen.

<sup>38</sup> Einzeldarstellungen hierzu geben [Eichhorn 1995], [Dörfel 2003], [Dörfel/Müller 2003, 2006].

<sup>39</sup> Der wie Lilienfeld im österreichischen Galizien aufgewachsene Puluj, damals Dozent an der Wiener Universität, hatte seine Apparate als Demonstrationsobjekte *gegen* von Crookes vertretene Auffassungen von „strahlender Materie“ [Crookes 1879] entworfen [Puluj 1883].

<sup>40</sup> Hierzu äußerten sich in den 60er Jahren der Physiker Dr. Gerhard Pressler, Neffe von Otto Pressler und zu dieser Zeit Leiter des inzwischen halbstaatlichen Betriebes „Deutsche Glimmlampen-Gesellschaft Pressler, Leipzig“, und Oberingenieur Johannes Frenzel, Dresden. Siehe auch Anm. 26.

<sup>41</sup> Nach *65 Jahre Müller 1865 – 1930, vom Werden der Röntgen-Röhren*. In den hier zitierten und weiteren firmeninternen Festschriften wird auch des Firmengründers und Röntgenpioniers Carl Heinrich Florenz Müller (1845 – 1912) gedacht. Auch er entstammte einer der Glastechnikerfamilien auf dem hohen Thüringer Wald. Er kam 18-jährig aus Piesau, einem Nachbarort von Igelshieb, dem Geburtsort Heinrich Geißlers, nach Hamburg und machte sich dort 1868 selbständig. Eine ausführliche Darstellung der Lebensumstände gibt [Lange 1995].

<sup>42</sup> Nach *Technische Mitteilungen für Röntgenbetriebe* Nr.1, CHF Müller 1927. Es läge in der Logik der Abläufe begründet, wenn Lilienfeld diesen Sachverhalt zum Gegenstand seiner o. a. Klage gemacht hätte.

<sup>43</sup> Der diesbezügliche Schriftwechsel ist abgelegt unter SMAZ „Briefe und Notizen 1912 – 1931“.

<sup>44</sup> Verwiesen sei auf [Lilienfeld / Rother 1920] und auch darauf, dass Rother in seiner Habilitationsschrift [Rother 1926] auf Lilienfelds Arbeiten zur Feldemission Bezug nahm. Die Zusammenarbeit Lilienfelds mit Hoffmann wird durch [Lilienfeld / Hofmann 1920] dokumentiert.

<sup>45</sup> Hierzu siehe [Dörfel 2003].

<sup>46</sup> In einer mit „Ad.“ signierten Notiz in *Photographische Rundschau* 1896, Heft 6, S.188 heißt es: „Man sollte glauben, dass das Arbeiten mit X-Strahlen allmählich nachliesse. Dass dem jedoch nicht so ist, beweist, um nur einen Fall anzuführen, dass der bekannte Glasbläser Götze in Leipzig noch mehrere hundert Hittorf'sche Röhren auszuführen hat. Diese Aufträge beschäftigen ihn für wenigstens noch ein Jahr.“

<sup>47</sup> Verwiesen sei auf [N. N. 1896]. Eine gleiche Röhre, ebenfalls der AEG für das Jahr 1896 zugeordnet, wird auch im Medical Historical Museum der Universität Kopenhagen gezeigt und in [Ronne / Nielsen 1986] abgebildet.

<sup>48</sup> Nach dem handgeschriebenen, dem Habilitationsgesuch beigegeben Lebenslauf. Universitätsarchiv Leipzig, Signatur PA 695. Wir weisen darauf hin, dass Lilienfelds Vater gelegentlich als Brauereibesitzer bezeichnet wird. Das muss nicht unbedingt im Widerspruch zu der im Lebenslauf gemachten Angabe stehen.

<sup>49</sup> In Elektrolyt-Kondensatoren werden durch elektrochemisch ausgelöste Oxidation Isolierschichten (also Dielektrika) von außergewöhnlicher Effizienz (geringer Dicke, hoher Spannungsfestigkeit und großer Dielektrizitätskonstanten) aufgebaut und aufrechterhalten. Damit wird eine extreme Kapazität pro Flächeneinheit (anwendungstechnisch gesehen pro Volumeneinheit) erreicht. Die Funktionsfähigkeit ist an die Voraussetzung gebunden, dass die Amplitude der angelegten Wechselspannung die sie tragende Gleichspannung vorgegebener Polarität nicht überschreitet. Elektrolytkondensatoren wurden mit der Verbreitung der Rundfunktechnik zum Massenartikel.

<sup>50</sup> Lilienfeld hat ab 1924 mehrere Transistorstrukturen angegeben. Die zitierte Erfindung nach US 1,900,018 kommt den späteren realen Bauelementen am nächsten und behinderte Shockleys diesbezügliche Patentanmeldung entscheidend [Arns 1998].

<sup>51</sup> Nach dem von Coolidge anlässlich seines Promotionsverfahrens eingereichten Lebenslauf (Abb. 15). Universitätsarchiv Leipzig, Signatur Phil. Fak. Prom. 1546.

<sup>52</sup> Auszugsweise nach einem undatierten Lebenslauf, offensichtlich vorgelegt im Rahmen seiner Bemühungen um Rehabilitierung unmittelbar nach Kriegsende 1945. Universitätsarchiv Leipzig, Signatur PA 193.

<sup>53</sup> Nach seinem anlässlich des Promotionsverfahrens eingereichten Lebenslauf. Universitätsarchiv Leipzig, Signatur Phil. Fak. Prom 8615.

<sup>54</sup> Nach einem undatierten aber offensichtlich im Zusammenhang mit Königs am 30. Juli 1891 erfolgter Ernennung zum außerordentlichen Professor handgeschriebenen Lebenslauf. Universitätsarchiv Leipzig, Signatur PA 647.

<sup>55</sup> Neben den unter Anm. 26 u. 40 Genannten waren u. a. E. Streller, Direktor des Deutschen Röntgenmuseums Remscheid-Lennep, Prof. Dr. H. Lossen, Vorsitzender der Deutschen Röntgengesellschaft, Prof. Dr. W. Ilberg, Direktor des Physikalischen Institutes der Karl-Marx-Universität Leipzig und der bereits erwähnte Dr. W. Hofmann Briefpartner Grafs in Sachen Lilienfeld und seiner Röhre. Übrigens finden sich auch in den fragmentarischen AEG-Aktenbeständen des DTMB ähnliche, allerdings weniger gewichtige im Nachhinein angebrachte Kommentierungen – ebenfalls Zeichen eines später erwachten Bedürfnisses nach sorgfältiger Dokumentierung und Klärung früherer Abläufe.

## Literatur

Albers-Schönberg, H. E.: „Die gasfreien Röhren in der röntgenologischen Praxis“. *Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen* 24 (1916 / 1917), S. 423 – 446.

Albers-Schönberg, H. E.: „Leistungen und Rentabilität gasfreier Röhren“. *Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen* 26 (1918 / 1919), S. 30 – 32.

Arns, Robert G.: “The High-Vacuum X-Ray Tube: Technological Change in Social Context”. *Technology and Culture* 38 (1997), S. 852 – 890.

Arns, Robert G.: “The other transistor: early history of the metal-oxide-semiconductor field-effect transistor”. *Engineering Science and Education Journal* 7 (1998), S. 233 – 240.

- Busch, Uwe: *Über die Entwicklung der radiologischen Technik in Erlangen*. Von der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg genehmigte Inaugural-Dissertation. Erlangen 2003.
- Cole, Lewis Gregory: „Vorläufige Mitteilung über die diagnostische und therapeutische Verwendung des Coolidge-Rohres“. *Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen* 22 (1914 / 1915), S. 29 – 34, Tafel IV.
- Coolidge, W. D.: „A Powerful Röntgen Ray Tube With A Pure Electron Discharge“. *The Physical Review* 2. Ser. 2 (1913), S. 409 – 430.
- Coolidge, W. D.: „Röntgenröhre mit reiner Elektronenentladung. (Auszug aus einer Abhandlung in der Physical Review, Dezember 1913.)“. *Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen* 22 (1914 / 1915), S. 18 – 29.
- Crookes, William: „On Radiant Matter“. *The Chemical News and Journal of Physical Science* 40 (1879), S. 91 – 107, S. 127 – 131. Fortgesetzt in Form eines Briefes an William Stokes (1819 – 1903) als „On a Fourth State of Matter“. *Chemical News* 40 (1879), S. 275 – 276. Deutsch als
- Crookes, William: *Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand*. Verlag von Quandt & Händel, Leipzig 1879.
- Dessauer, Friedrich: „Eine neue Anwendung der Röntgenstrahlen.“ *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 9 (1907), S. 49 – 60.
- Dessauer, Friedrich: „Über einen neuen Hochspannungstransformator und seine Anwendung zur Erzeugung durchdringungsfähiger Röntgenstrahlen. Entgegnung auf die Bemerkungen des Herrn Lilienfeld“. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 21 (1919), S. 27 – 30.
- Dessauer, F. ; Back, E.: „Über Röntgenstrahlerregung mit sehr hohen Spannungen“. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 21 (1919), S. 168 – 200.
- Dörfel, Günter; Hübner, Klaus; Landwehr Gottfried: *Hittorfsche Vakuumröhren für Röntgen*. Berliner Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik Bd. 30. ERS-Verlag, Berlin und Liebenwalde 2003.
- Dörfel, Günter: „Robert Goetze – Wirken und Wirkung eines Thüringer Glastechnikers“. *Rudolstädter Heimathefte* 49 (2003), H. 3/4, S. 79 – 85; H. 5/6, S. 150 – 155.
- Dörfel, Günter; Müller, Falk: „Crookes' Radiometer und Geißlers Lichtmühle – Kooperation oder Konkurrenz?“ *Internationale Zeitschrift für Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften, Technik und Medizin* N.S. 11 (2003), S. 171 – 190.
- Dörfel, Günter; Hübner, Klaus; Landwehr Gottfried: „Röntgens frühe Gasentladungsexperimente im Lichte bisher unveröffentlichter Korrespondenzen und Niederschriften“. In: Wessel, Horst A. (Hrsg.): *Jahrhunderte der Hochspannung, Geschichte der Elektrotechnik* Bd. 21. VDE-Verlag, Berlin und Offenbach 2004.
- Dörfel, Günter; Müller; Falk: „1857 – Julius Plücker, Heinrich Geißler und der Beginn systematischer Gasentladungsforschung in Deutschland“. *Internationale Zeitschrift für*

*Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften, Technik und Medizin* N.S. 14 (2006), S. 26 – 45.

Edison, T. A.: „The action of heat *in vacuo* on metals.” *The Chemical News and Journal of Physical Science* 40 (1879), S. 152 – 154.

Eichhorn, Karl: „Heinrich Geißler (1814 – 1879) – Leben und Werk des thüringischen Glasinstrumentenbauers und Pioniers der Vakuumtechnik“. *Jahrbuch 1995 des Hennebergisch-Fränkischen Geschichtsvereins* Bd. 10, S. 207 – 233.

Elster, J. und Geitel, H.: „Einige Demonstrationsversuche zum Nachweis einseitiger Elektrizitätsbewegung in verdünnten Gasen bei Anwendung glühender Elektroden.“ *Annalen der Physik und Chemie* NF 38 (1889), S. 27 – 39 u. S. 676.

Fleming, J. A.: „A further Examination of the Edison Effect in Glow Lamps”. *Philosophical Magazine* 42, Fifth Series, (1896), S. 52 – 102.

Finn, Bernard S.: „Edison, Thomas Alpha“. In: Gillispie, Charles Coulston: *Dictionary of Scientific Biography, Vol. 4*. Charles Scribner’s Sons, New York 1981.

Fricke, Rudolf G. A.: *J. Elster & H. Geitel – Jugendfreunde, Gymnasiallehrer, Wissenschaftler aus Passion*. Döring Verlag, Braunschweig 1992.

Friedrich, Walter; von Laue, Max; Knipping, Paul: „Interferenzerscheinungen bei Röntgenstrahlen“. *Sitzungsberichte der bayrischen Akademie der Wissenschaften, Math.-phys. Kl.*, München 1912, S. 303 – 322.

Goldstein, E.: „Über Elektrizitätsdurchgang durch Vacua“. *Anzeiger der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften – Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse* 21 (1884), S. 58 – 59.

Hübner, Klaus: *Eugen Goldstein und die frühe Verwertung der Röntgenschen Entdeckung in Berlin*. ERS-Verlag, Berlin 2000.

Hübner, Klaus: *Eine Original-Versuchsanordnung von Röntgen für das Deutsche Museum*. GNT-Verlag, Berlin, München, Diepholz 2003.

Kleint, Christian: „Julius Edgar Lilienfeld: Life and Profession“. *Progress in Surface Science* 57 (1998), S. 253 – 327.

Knipping, Paul: „Die Entwicklungsgeschichte der Röntgenröhre“. *Die Naturwissenschaften* 8 (1920), S. 965 – 968.

Koch, F. J.: „Die Röntgenröhre nach Dr. J. E. Lilienfeld“. *Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen* 23 (1915 / 1916), S. 2 – 8.

König, Walter: „Ueber Aufnahmen mit Röntgenstrahlen im physikalischen Verein zu Frankfurt a. Main“. *Verhandlungen der physikalischen Gesellschaft zu Berlin* (Sitzung v. 28. Febr. 1896), 15 (1896 a), S. 74 – 76.

- König, Walter: „Ueber Röntgen-Lampen“. *Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ)* 17 (1896 b), H. 20 v. 14. Mai, S. 302 – 303.
- König, Walter: *Die Röntgen-Aufnahmen und die neuen Einrichtungen der physikalischen Abtheilung des Institutes des Physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M.*. Sonderabdruck aus dem Jahresbericht des Physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. 1895 / 96, S. 64 – 69. C. Naumanns Druckerei, Frankfurt a. M. 1897.
- Küpferle, L. u. Lilienfeld, J. E.: *Grundlagen therapeutischer Anwendung von Röntgenstrahlen*. Speyer & Kaerner, Universitätsbuchhandlung, Freiburg i. B. und Leipzig 1917.
- Lange, Hans-Jürgen: Carl Heinrich Florenz Müller – ein Thüringer Glasbläser in Hamburg“. In: *100 Jahre Röntgenstrahlen – Thüringer Beiträge*. Ilmenau 1995.
- Langmuir, Irving: „The Effect Of Space Charge And Residual Gases On Thermionic Currents In High Vacuum“. *The Physical Review* 2. Ser. 2 (1913), S. 450 – 486.
- Langmuir, Irving: „Thermionenströme im hohen Vakuum“. *Physikalische Zeitschrift* 15 (1914) S. 348 – 353 u. S. 516 – 526.
- Lilienfeld, J. E.: „Über neuartige Erscheinungen in der positiven Lichtsäule der Glimmentladung (Zweite Mitteilung. Positive Elektronen)“. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 9 (1907), S. 125 – 135.
- Lilienfeld, J. E.: „Über neuartige Erscheinungen in der positiven Lichtsäule der Glimmentladung – Das Potentialgefälle in der Funktion der Stromdichte“. *Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. Mathematisch-physische Klasse* 60 (1908), S. 212 – 222.
- Lilienfeld, J. E.: „Die Elektrizitätsleitung im extremen Vakuum (Leipziger Habilitationsschrift)“. *Annalen der Physik* 32 (1910), S. 673 – 738
- Lilienfeld, J. E.: „Die Elektrizitätsleitung im extremen Vakuum“. *Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-Physische Klasse* 63 (1911), S. 534 – 539.
- Lilienfeld, J. E.; Rosenthal, W. J.: „Eine Röntgenröhre von beliebig und momentan einstellbarem, vom Vakuum unabhängigem Härtegrad“. *Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen* 18 (1911 / 1912), S. 256 – 263.
- Lilienfeld, J. E.: „Die Elektrizitätsleitung im extremen Vakuum“. *Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-Physische Klasse* 64 (1912), S. 420 – 428.
- Lilienfeld, J. E.: „A Reply To Mr. Irving Langmuir’s Paper “The Effect Of Space Charge And Residual Gases On Thermionic Currents In High Vacuum”.“ *The Physical Review* 2. Ser. 3 (1914 a), S. 364 – 365.
- Lilienfeld, J. E.: „Entgegnung auf die Arbeit : „Thermionenströme im hohen Vakuum“ von Irving Langmuir“. *Physikalische Zeitschrift* 15 (1914 b), S. 744 – 746.

- Lilienfeld, J. E.: „Eine von der Erhöhung des Zündpotentials frei Röntgenröhre“. *Berichte über die Verhandlungen der Königlich-Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-Physische Klasse* 66 (1914 c), S. 76 – 79.
- Lilienfeld J. E.: „A Reply To Mr. W. D. Coolidge’s Paper “A Powerful Röntgen Ray Tube With A Pure Electron Discharge”.” *The Physical Review* 2. Ser. 3 (1914 d), S. 366.
- Lilienfeld J. E.: „Die Elektrizitätsleitung im extremen Vakuum“. In: *Annalen der Physik* 43 (1914 e), S. 24 -46.
- Lilienfeld, J. E.: „Erwiderung auf die Veröffentlichung von Dr. W. D. Coolidge „Röntgenröhre mit reiner Elektronenentladung“ [diese „Fortschritte“, XXII, 1, S. 18]“. *Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen* 22 (1914 / 1915), S. 418 – 420.
- Lilienfeld, J. E.: „Die Elektrizitätsleitung im extremen Vakuum – Entstehung einer weitgehend homogenen Röntgenstrahlung“. *Berichte über die Verhandlungen der Königlich-Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-Physische Klasse* 69 (1917), S. 226 – 261.
- Lilienfeld, J. E.: „Einige Bemerkungen zu der Arbeit des Herrn Dessauer, Über einen neuen Hochspannungstransformator und seine Anwendung zur Erzeugung durchdringungsfähiger Röntgenstrahlen“. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 20 (1918), S. 159 – 164.
- Lilienfeld, J. E.: „Die Hochvakuum-Röntgenröhren“. *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik* 16 (1919 a), S. 105 – 189.
- Lilienfeld, J. E.: „Die Elektrizitätsleitung im extremen Vakuum. Röntgenspektren bei verschiedenen Entladungsbedingungen“. *Berichte über die Verhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-Physische Klasse* 71 (1919 b), S. 113 – 144.
- Lilienfeld, J.E.: „Über einen Hochspannungstransformator und seine Anwendung zur Erzeugung durchdringungsfähiger Röntgenstrahlen. Antwort auf die Entgegnung des Herrn F. Dessauer.“ *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 21 (1919 c), S. 265 – 268.
- Lilienfeld, J, E.: „Bemerkungen zur Arbeit: „Über Röntgenstrahlenerregung mit sehr hohen Spannungen“ von F. Dessauer und E. Back.“ *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 21 (1919 d), S. 504 – 505.
- Lilienfeld, J. E.; Rother, Franz: „Untersuchungen über die sichtbare blaugraue Brennfleckstrahlung an der Lilienfeldröhre“. *Physikalische Zeitschrift* 21 (1920), S. 249 – 256. (Ergänzt um eine Berichtigung auf S. 360.)
- Lilienfeld, J. E.: „Zur Hochvakuumentladung“. *Annalen der Physik* 4. Folge 61 (1920 a), S. 221 – 263.
- Lilienfeld, J. E.: „Zur Elektrizitätsleitung im extremen Vakuum. (Eine neue Art des Elektronenübertritts ins Hochvakuum)“. *Berichte über die Verhandlungen der*

- Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, mathematisch-physische Klasse* 72 (1920 b), S. 31 – 47.
- Lilienfeld, J. E.; Hofmann, W.: „Konstante hochohmige Meß- und Belastungswiderstände“. *Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ)* 41 (1920), S. 870 – 873.
- Lilienfeld, J. E.: „The Auto-Electronic Discharge and its Application to the Construction of a New Form of X-Ray Tube“. *American Journal of Roentgenology* 9 (1922), S. 172 – 179.
- Lossau, Norbert: *Röntgen – Eine Entdeckung verändert unser Leben*. vgs verlagsgesellschaft, Köln 1995.
- N. N.: „Röntgenröhren der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft“. *Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ)* 17 (1896), S. 349 – 350.
- Norden, K.: „Die Technik der Kathodenstrahlen“. *Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ)* 37 (1916), S. 640 – 643.
- Otremba, Heinz; Gerlach, Walter: *Wilhelm Conrad Röntgen – Ein Leben im Dienste der Wissenschaft*. Ein Liebhaberdruck aus dem Echter-Verlag, Würzburg 1965.
- Pohl, Manfred: *Emil Rathenau und die AEG*. Hase & Köhler, Mainz 1988.
- Puluj, J.: *Strahlende Materie und der sogenannte vierte Aggregatzustand*. Verlag Carl Gerold's Sohn, Wien 1883.
- Richardson, O. W.: “The Electrical Conductivity Imparted to a Vacuum by Hot Conductors.” *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 201, Reihe A (1903), S. 497 – 549.
- Richardson, O. W.: “The Distribution of Molecules of a Gas in a Field of Force, with Applications to the Theory of Electrons.” *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 26, 6. Series, (1914), S. 633 – 647.
- Röntgen, W. C.: „Ueber eine neue Art von Strahlen (Vorläufige Mittheilung)“. *Sitzungsberichte der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg*; S. 132 – 141, Würzburg 1895. Auch in: *Annalen der Physik und Chemie* 64 (1898), S. 1 – 11.
- Röntgen, W. C.: „Über eine neue Art von Strahlen, 2. Mittheilung“. *Sitzungsberichte der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg*; S. 11 – 19, Würzburg 1896. Auch in: *Annalen der Physik und Chemie* 64 (1898), S. 12 – 17.
- Röntgen, W. C.: „Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen, Dritte Mittheilung“. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften* (1897), S. 576 – 592. Auch in: *Annalen der Physik und Chemie* 64 (1898), S. 18 – 37.
- Ronne, Paul; Nielsen, Arnold B. W.: *Development of the Ion X-Ray Tube – With a Description of the Collection in the Medical Historical Museum, University of Copenhagen*. ACTA HISTORICA SCIENTIARUM NATURALUM ET



- MEDICINALIUM, Edidit Bibliotheca Universitatis Hauniensis Vol. 35. C. A. Reitzel Publishers, Copenhagen 1986.
- Rosenthal, W. J.: „Die Lilienfeldsche Röntgenröhre“. *Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen* 20 (1913), S. 448 – 453; Tafel XXII.
- Rother, F.: „Über den Austritt von Elektronen aus kalten Metallen (Leipziger Habilitationsschrift)“. *Annalen der Physik* 81 (1926), S. 317 – 372.
- Schottky, W.: „Die Wirkung von Raumladungen auf Thermionenströme im hohen Vakuum“. *Physikalische Zeitschrift* 15 (1914), S. 526 – 528.
- Stamer, Willi: *100 Jahre Röntgenröhren – Vom einfachen Röntgenrohr zur Hochleistungs-Drehanodenröhre*. Philips Medizin Systeme, Hamburg 2004.
- Stintzing, H.: „25 Jahre Röntgen-Strahlen-Beugung – Dem Andenken Paul Knippings, ihres Mitentdeckers und Gründers des Röntgeninstituts der Technischen Hochschule Darmstadt.“ *Zeitschrift für technische Physik* 19 (1938), S. 104 – 105.
- Wehnelt, A.: „Dunkler Kathodenraum“. *Annalen der Physik und Chemie* 65 (1898), S. 511 – 542.
- Wehnelt, A.: „Über den Austritt negativer Ionen aus glühenden Metallverbindungen und damit zusammenhängende Erscheinungen.“ *Annalen der Physik* 14 (1904), S. 425 – 468.
- Wehnelt, A.: „Ein elektrisches Ventilrohr.“ *Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Societät Erlangen* 37 (1905). S. 264 – 269.
- Wehnelt, A. und Trenkle, W.: „Die Erzeugung sehr weicher Röntgenstrahlen.“ *Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Societät Erlangen* 37 (1905), S. 312 – 315.
- Wolfschmidt, Gudrun: „Von der Röhre zum Röntgenteleskop – Röntgengeräte im Deutschen Museum“. In: Brachner, A; Eckert, M; Blum, M; Wolfschmidt, G.: *Röntgenstrahlen – Entdeckung, Wirkung, Anwendung*. Deutsches Museum, München 1995.
- Zehnder, Ludwig: *W. C. Röntgen – Briefe an Zehnder*. Rascher & Cie. A.-G., Zürich, Leipzig und Stuttgart 1935.

## Patentliteratur

(Es werden nur die im Text auch angesprochenen Patentschriften aufgelistet. Den Nummern werden die in der Patentliteratur üblichen Landeskenner vorangestellt. Die Formulierungen folgen dem Original. Stichwörter zum Inhalt der jeweiligen Schrift sind kursiv geschrieben angehängen.)

CH 69 401: „Verfahren und Röhre zur Erzeugung von Röntgenstrahlen“. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin (Deutschland), angemeldet am 18. April 1914, Priorität: Ver. St. v. A. 9. Mai und 8. September 1913, veröffentlicht am 16. Juni 1915.  
*Deutschsprachige Version des gestrafften Coolidge-Grundsatzpatentes.*

CH 92 897: „Röhre zur Erzeugung von Röntgenstrahlen“, Zusatzpatent zum Hauptpatent Nr. 69 401. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin (Deutschland), Gesuch eingereicht: 12. Dezember 1917, Priorität: Ver. St. v. A., 16. Dezember 1916, veröffentlicht am 1. Februar 1922.  
*Ausgestaltungspatent entsprechend Coolidge-Patent US 1,218,423.*

DE A. 25 396: „Röntgenröhre“. Diese Anmeldung der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin vom 7. Februar 1914 wurde im Reichsanzeiger vom 15. April 1915 bekannt gemacht und im Patentblatt 39 (1915) Erster Halbband, Mittwoch, 21. April 1915, Nr. 16, S. 364 mitgeteilt. Für die 14 Ansprüche werden unterschiedliche US-Prioritäten (v. 9. Mai und vom 8. September 1913) in Anspruch genommen.  
*Deutsche Anmeldung des gestrafften Coolidge-Grundsatzpatentes entsprechend CH 69 401.*

DE 157 845: „Elektrisches Ventil“. Dr. Arthur Wehnelt in Erlangen. Patentiert im Deutschen Reiche vom 15. Januar 1904 ab, ausgegeben den 13. Januar 1905.  
*Glühkathoden-Gleichrichterröhre.*

DE 165 138: „Röntgenröhre“. Siemens & Halske Akt.-Ges. in Berlin. Patentiert im Deutschen Reiche vom 8. November 1904 ab, ausgegeben den 8. November 1905.  
*Röhre mit Wolframelektroden.*

DE 256 534: „Verfahren zur Erzeugung von Röntgenstrahlen beliebig einstellbaren Härtegrades unabhängig vom Vakuum“. Dr. Julius Edgar Lilienfeld in Leipzig. Patentiert im Deutschen Reiche vom 11. Oktober 1911 ab, ausgegeben den 14. Februar 1913.  
*Erstes Grundsatzpatent zur Lilienfeld-Röhre (Urmodell 1911).*

DE 268 107: „Vorrichtung zum Betreiben von Entladungsröhren“ – Zusatz zum Patent 256 534. Dr. Julius Edgar Lilienfeld in Leipzig. Patentiert im Deutschen Reiche vom 22. Dezember 1911 ab, längste Dauer: 10. Oktober 1926, ausgegeben den 9. Dezember 1913.  
*Schaltungstechnik zum Betrieb der ersten Lilienfeld-Röhre (Urmodell 1911).*

DE 268 597: „Röntgenröhre“ – Zusatz zu Patent 256 534. Dr. Julius Edgar Lilienfeld in Leipzig. Patentiert im Deutschen Reiche vom 9. Januar 1912 ab, ausgegeben den 22. Dezember 1913.  
*Ausgestaltung der ersten Lilienfeld-Röhre (Urmodell 1911).*

DE 271 306: „Verfahren zur Erzeugung von Röntgenstrahlen beliebig einstellbaren Härtegrades unabhängig vom Vakuum“. Dr. Robert Fürstenau in Berlin. Patentierte im Deutschen Reich vom 30. April 1912 ab, ausgegeben den 10. März 1914.

*Glühkathoden-Röntgenröhre.*

DE 274 258: „Röntgenröhre mit beliebig einstellbarem Härtegrad“. Zusatz zum Patent 271 306. Dr. Robert Fürstenau in Berlin. Patentierte im Deutschen Reich vom 2. Mai 1912 ab, ausgegeben den 13. Mai 1914.

*Röntgenröhre mit Glühkathode und Gasreservoir.*

DE 296 334: „Wolframkathode für Röntgenröhren mit sehr hohem Vakuum“. Siemens & Halske Akt.-Ges. in Siemensstadt b. Berlin. Patentierte im Deutschen Reich vom 27. Januar 1916 ab, ausgegeben 3. Februar 1917.

*Nachfolgepatent des grundsätzlichen Wolframelektroden-Patentes DE 161 138.*

DE 313 957: „Hochvakuum-Röntgenröhre mit Glühkathode“. Allgemeine Electricitätsgesellschaft in Berlin. Patentierte im Deutschen Reich vom 18. September 1914 ab, US-Priorität vom 29. Oktober 1913, ausgegeben am 4. August 1919.

*Coolidge-Röhre mit elektrostatischer Fokussierungselektrode.*

DE 331 931: „Röntgenröhre zur Erzeugung von Röntgenstrahlen beliebig einstellbaren Härtegrades unabhängig vom Vakuum“. Dr. Julius Edgar Lilienfeld in Leipzig. Patentierte im Deutschen Reich vom 16. November 1913 ab, ausgegeben am 19. Januar 1921.

*Zweites Grundsatzpatent zur Lilienfeld-Röhre (Urmodell II, III).*

DE 332 644: „Röntgenröhre zur Erzeugung von Röntgenstrahlen beliebig einstellbaren Härtegrades unabhängig vom Vakuum“. Zusatz zum Patent 331 931. Dr. Julius Edgar Lilienfeld in Leipzig. Patentierte im Deutschen Reich vom 21. Januar 1914 ab. Ausgegeben am 5. Februar 1921.

*Details zur Ausgestaltung des Entladungsraumes für die „Primärentladung“.*

DE 332 645: „Verfahren zur Erzeugung von Röntgenstrahlen“. Zusatz zum Patent 331 931. Dr. Julius Edgar Lilienfeld in Leipzig. Patentierte im Deutschen Reich vom 21. Januar 1914 ab. Ausgegeben am 4. Februar 1921.

*Schaltungstechnisches Detail zum Betrieb der Röhre.*

DE 366 550: „Hochvakuumröntgenröhre mit Glühkathode“. Allgemeine Electricitätsgesellschaft in Berlin. Patentierte im Deutschen Reich vom 2. Dezember 1917 an, US-Priorität vom 16. Dezember 1916, ausgegeben am 8. Januar 1923.

*Ausgestaltungspatent zum Coolidge-Grundsatzpatent entsprechend CH 92 897 u. US 1, 218,423.*

DE 370 022: „Verfahren und Glühkathodenröntgenröhre zur Erzeugung scharfer Röntgenbilder“. Dr. Otto Goetze in Frankfurt a. M.. Patentierte im Deutschen Reich vom 3. Februar 1918 ab, ausgegeben am 28. Februar 1923.

*Grundsatzpatent für die „Strichfokusröhre“ oder „Goetze-Röhre“.*

US 1,082,933: “Tungsten and Method of Making the same for Use as Filaments of Incandescent Electric Laps and for other Purposes”. William D. Coolidge, of Schenectady, New York, Assignor to General Electric Company, a Corporation of New York. Application filed June 19, 1912, patented Dec. 30, 1913.

*Grundsatzpatent für Wolfram-Glühfäden.*

US 1,122,011: „Process and Apparatus for Producing Roentgen Rays“. Julius Edgar Lilienfeld of Leipzig, Germany. Application filed October 2, 1912, patented Dec. 22, 1914.

*US-Fassung des ersten Grundsatzpatentes zur Lilienfeld-Röhre (Urmodell 1911).*

US 1,203,495: “Vacuum-Tube”. William D. Coolidge, of Schenectady, Assignor to General Electric Company, a Corporation of New York. Application filed May 9, 1913, patented Oct. 31, 1916.

*Grundsatzpatent für die Coolidge-Röntgenröhre.*

US 1,218,423: “Röntgen-Ray Tube”. Julius Edgar Lilienfeld of Leipzig, Germany. Application filed April 17, 1914, patented Mar. 6, 1917.

*US-Fassung des zweiten Grundsatzpatentes zur Lilienfeld-Röhre (Urmodell II, III).*

US 1,355,126: “X-Ray Tube”. William D. Coolidge, of Schenectady, New York, Assignor to General Electric Company, a Corporation of New York. Application filed December 16, 1916, patented Oct. 12, 1920.

*Ausgestaltungspatent zum Grundsatzpatent der Coolidge-Röhre.*

US 1,555,437: “Electrical Discharge Apparatus”. Irving Langmuir, of Schenectady, New York, Assignor to General Electric Company, a Corporation of New York. Application filed October 1913, renewed February 29, 1924, patented Oct. 20, 1925.

*Sehr allgemeiner Schutzanspruch (32 Ansprüche!) für eine Röhre mit Glühkathode, Steuergitter, Anode (Triode).*

US 1,900,018: “Device for Controlling Electric Current”. Julius Edgar Lilienfeld, of Brooklyn, New York. Application filed March 28, 1928, patented Mar. 7, 1933.

*Feldeffekt-Transistor.*