

Röhren für den Durchblick

Röntgens Strahlen und Lenards Röhren im Lichte wenig beachteter oder erst kürzlich aufgefundener Dokumente

Günter Dörfel



Deutsches Röntgen-Museum, Remscheid

Am Abend des 8. November 1895 fand der in Würzburg lehrende Physikprofessor Wilhelm Conrad Röntgen (1845 – 1923) (**Abb. 1**) bei Experimenten mit Gasentladungsröhren erste Hinweise auf eine „neue Art von Strahlen“ von bisher nicht bekannter Durchdringungsfähigkeit. In einer außergewöhnlich intensiven und von der Außenwelt abgeschirmten Arbeitsphase verifizierte und systematisierte er seine Entdeckung der zunächst von ihm so genannten „X-Strahlen“. In den Weihnachtstagen 1895 bereitete er seine Ergebnisse zum Druck in den wenig bekannten „Sitzungsberichten der Würzburger Phys.-medic. Gesellschaft“ vor [1] und verschickte die Separatdrucke in den ersten Januartagen 1896 an die bekanntesten Vertreter seines Fachgebietes. Ein Sturm brach los. Der Röntgenbiograph Otto Glasser zählte für 1896 über tausend Publikationen zur Nachstellung, Variation und Nutzbarmachung von Röntgens Experimenten [2]. Nie zuvor und selten danach hatten Wissenschaftler und Techniker – hier Physiker, Mediziner, Elektrotechniker und Glasbläser – einer wissen-

Abb. 1 Auf dieser weniger bekannten Aufnahme ist Wilhelm Conrad Röntgen mit einer Röntgenröhre in der Hand zu sehen, wie sie 1896 von J. Rosenthal entworfen, von Max Gundelach in Gehlberg (Thüringer Wald) gefertigt und von Reiniger, Gebbert und Schall (Erlangen) vertrieben wurde. Das Baumuster blieb für die gasgefüllten („Ionen“-)Röntgenröhren für etwa ein Vierteljahrhundert bestimmend und wurde dann vollständig von der Elektronen-Röntgenröhre abgelöst.

schaftlichen Entdeckung so schnell zum Durchbruch und zur Nutzung verholfen [3 – 5].

Es fehlte nicht an konkurrierenden Prioritätsansprüchen. Aber letztlich entsprachen sie alle der Erkenntnis, dass man spätestens seit der in der Mitte des 19. Jahrhunderts von dem in Bonn tätigen Glastechniker Heinrich Geißler angestoßenen Gasentladungsforschung [6] die neuen Strahlen zwar immer wieder erzeugt, manchmal auch indirekt bemerkt hatte, aber doch nie entdeckt und beschrieben. Von ganz anderem Kaliber war der Seitenhieb, den Philipp Lenard

in seinem Nobel-Vortrag am 28. Mai 1906 [7] austeilte: Röntgen habe seine Entdeckung als erster Nutzer der von ihm, Lenard, entworfenen Fenster-Röhre „ganz notwendigerweise“ machen müssen. „Es treffen in ihr die ... Kathodenstrahlen die große Fläche des Platins, welches sie, wie man heute weiß, am besten in die damals noch nicht bekannten Röntgenstrahlen verwandelt.“ Damit stellte Lenard nicht nur die wissenschaftliche Leistung Röntgens, sondern – weil Röntgen nach Lenards Empfinden seine wissenschaftliche Vorleistung nicht genügend herausgestellt hatte – auch dessen Redlichkeit infrage (zu Lenards Sichtweise siehe [8, 9]). Röntgen hat sich zu diesen Vorwürfen nicht geäußert und auch sonst wenig über die Genesis seiner neuen Art von Strahlen mitgeteilt. Wir wollen versuchen, den Ereignissen jener Zeit anhand der Geschichten der damals verwendeten Röhren nahezukommen.

Die Lenardsche Fensterröhre

Im Jahre 1889 war Heinrich Hertz nach seinen berühmten Arbeiten zu Erzeugung und Empfang elektromagnetischer Wellen in Karlsruhe als Nachfolger von Rudolf Clausius an die Universität Bonn berufen worden. In der Nachbarschaft der Geißlerschen Werkstatt wandte er sich wieder Gasentladungsexperimenten zu und fand, dass Kathodenstrahlung – ihr Wesen als Elektronenstrom war noch nicht erkannt – eine dünne Metallfolie zu durchdringen vermag. Er ermunterte seinen Assistenten Lenard, ein Entladungsrohr zu bauen, das die Kathodenstrahlen vermittels eben jener Folie – dem späteren „Lenard-Fenster“ – aus dem Entladungsraum entlassen und einer direkten Untersuchung zugänglich machen konnte. Über diese Röhre berichtete Lenard 1893 auf Vermittlung von Hertz der Königlich-Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin [10]. Für diese

Röhre interessierten sich besonders die in Wolfenbüttel forschenden und mit Lenard gut bekannten Gymnasialprofessoren Julius Elster und Hans Geitel. Lenard übermittelte ihnen eine Konstruktionsskizze (**Abb. 2a**). Schon im Frühsommer des gleichen Jahres hatte der in Braunschweig tätige Glastechniker Louis Müller-Unkel diese Röhre für die Wolfenbütteler Forscher nachgebaut (**Abb. 2b**). Müller-Unkel war Absolvent der Geißlerschen Werkstatt in Bonn und stand sowohl Hertz als auch Elster und Geitel bei deren lichtelektrischen Experimenten als Hersteller der „lichtelektrischen Apparate“, der Photozellen, zur Seite.

Das starke Interesse an seiner doch ziemlich komplizierten und schwer handhabbaren Experimentalröhre veranlasste Lenard, im Sinne einer schnellen Verbreitung auf eine glas- und vakuumtechnisch verbesserte, von den vielen Kittungen befreite Version zu drängen. Der Geißler-Nachfolger Franz Müller in Bonn zeigte sich nicht interessiert. Müller-Unkel griff Lenards Anregung auf und stellte seinen Entwurf im August 1893 Elster und Geitel – nicht Lenard! – zur Begutachtung vor (**Abb. 2c**). Das Lenard-Fenster war nunmehr auf ein frontseitig eingeschmolzenes Platinröhrchen aufgesetzt. Auf diese Röhre verwies Lenard 1894 in seiner großen Arbeit für die Annalen [11]. Dabei stellte er die hohe Spannungsfestigkeit der Müller-Unkelschen Röhre heraus, die der Glasbläser mit der für den Kathodenanschluss gewählten Einschmelztechnik erreicht hatte. Bei entsprechender Evakuierung – nach damaliger Praxis wurde die Kathodenstrahlröhre permanent an eine (meist Geißlersche) Vakuumpumpe angehängen betrieben – musste diese Röhre bei sehr hoher Spannung zünden und brennen und so besonders energiereiche Kathodenstrahlen erzeugen. Eine solche Röhre (**Abb. 2d**) bestellte Röntgen am 4. Mai 1894 zum Preis von 36,50 Mark; das besagt die im Kopierbuch des Physikalischen Instituts der Universität Würzburg festgehal-

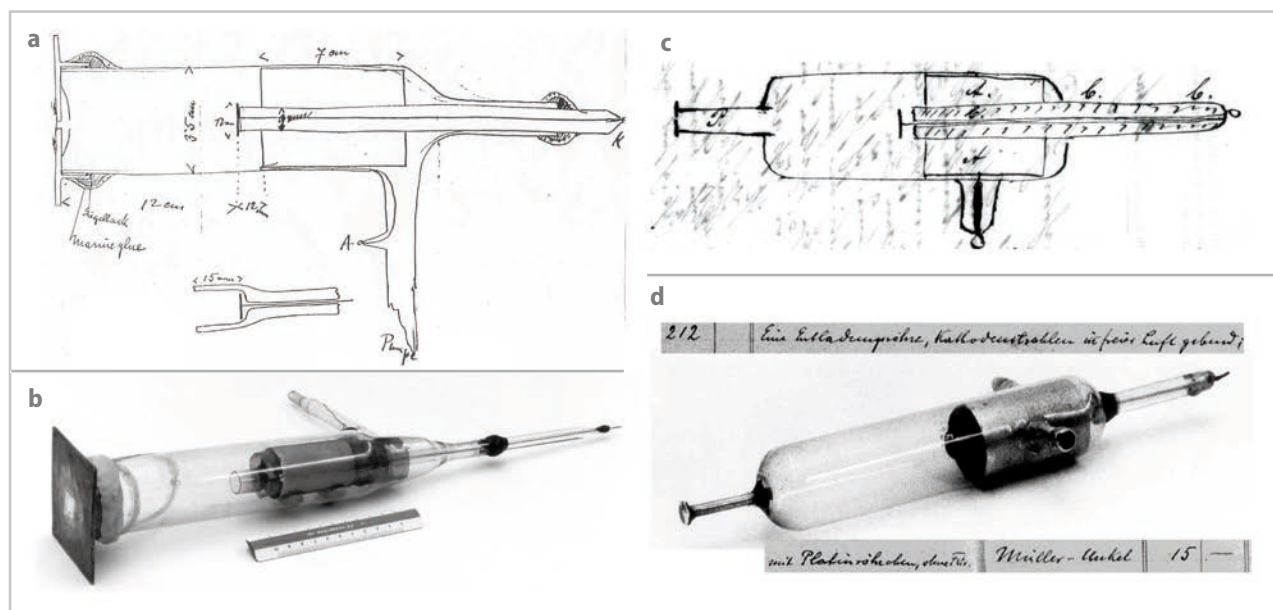


Abb. 2 Wie Lenards Experimentalröhre (a: Konstruktionsskizze für Elster und Geitel, b: Röhre) dürfte auch der Nachbau von Müller-Unkel für Elster und Geitel im Frühsommer 1893 ausgesehen haben. Müller-Unkel legte einen Entwurf der von Lenard angeregten glastechnisch verbesserten Röhre (c) Elster und Geitel zur Begutachtung vor. Lenard hat eine Müller-Unkelsche Lenard-Röhre (d) erworben. Dies belegen seine Eintragungen im Inventarbuch des Physikalischen Instituts der Universität Bonn (oben und unten eingerückt): „2/2 Eine Entladungsröhre, Kathodenstrahlen in freier Luft gebend, mit Platinröhren, ohne F[en]st[er], Müller-Unkel 15. –“.

Staatsbibliothek Berlin – Preussischer Kulturbesitz, Sammlung Darmstaedter, Sign. F. 1e. 1890 („Philipp Lenard“), Bl. 212; Phys. Inst. d. Univ. Bonn, Aufnahme Fotografik Rauchfild, Dresden; Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel, Nachlass Elster und Geitel, A. Briefwechsel, Nr. 324; Phys. Inst. d. Univ. Bonn

tene Bestellkorrespondenz. Röntgen muss diese Bestellung sehr spontan ausgelöst haben; hatte er doch gerade zwei Tage vorher bei Müller-Unkel einen „Apparat zu lichtelektrischen Versuchen nach Elster u. Geitel“ geordert.

Nach dem Tod von Hertz am Neujahrsmorgen 1894 übernahm Lenard kommissarisch die Leitung des Bonner Instituts. Seine erste Eintragung im Inventarbuch, am 2. Februar, betrifft die Anschaffung der Müller-Unkelschen Röhre zum Preis von 15 Mark (Abb. 2d). Mit diesem Vorzugspreis dankte der Glasbläser für Lenards Anregungen und die damit eröffneten geschäftlichen Möglichkeiten. Lenards Charakterisierung im Inventarbuch – „Kathodenstrahlen in freier Luft gebend“ – war ein gezielter Hinweis darauf, dass der technologische Fortschritt der von Müller-Unkel geschaffenen Röhre mit einer funktionellen Einschränkung erkaufte war: Auf den sphärischen Frontbereich der neuen Röhre ließ sich kein evakuierbarer oder anders befüllbarer Untersuchungsraum aufsetzen, so wie ihn Lenard gelegentlich auf die metallene Frontplatte seiner Experimentalröhre (Abb. 2a,b) gekittet hatte. Die Kathodenstrahlen mussten „in freier Luft“ untersucht werden. Lenard hatte mit Blick auf seine Experimentalröhre immer von „Kathodenstrahlen in Gasen von atmosphärischem Druck und im äussersten Vakuum“ (Hervorhebung Dörfel) gesprochen [10, 11]. Diese funktionelle Einschränkung überwand wenig später Müller-Unkels früherer Partner und späterer Konkurrent Richard Müller-Uri mit einer geschickten Schlifftechnik.¹⁾

Röntgens Bestellkorrespondenz in der heißen Phase

Folgen wir Röntgens Kopierbuch weiter, stehen insbesondere Hittorfsche Vakuumröhren im Zentrum seines Interesses

[13]. Diese schlanken Entladungsröhren mit stiftförmigen Elektroden gehen auf Johann Wilhelm Hittorf und Heinrich Geißler zurück; Geißler verwandte sie als Indikatoren für das mit seiner Pumpe erreichte bzw. erreichbare Vakuum. Sie zeichnen sich (bei entsprechender Evakuierung) durch sehr hohe Brennspannungen aus. Röntgen unterstrich sein Interesse an besonders hochgespannten Entladungen mit seiner Bitte, die Anschlussdrähte mit Glas zu überfangen (Abb. 3).

Röntgens Arbeitsintensität hatte Folgen. Anfang 1896 – die ersten Separatdrucke hatten ihre Adressaten erreicht – hakte er bei Müller-Unkel nach: „Fast alle Apparate, die Sie mir schickten, sind aufgebraucht; aber ich habe auch was Hübsches damit erreicht (Hervorhebung Dörfel). Nun gilt es auszubessern und neue zu bestellen. ... Dann schicken Sie mir noch einen Apparat nach beiliegender Skizze, der sich wenig von den früheren unterscheidet. Schicken Sie mir diese Röhre möglichst bald und warten Sie bei der Fertigstellung der Vacuumröhren (d. h. der Hittorfschen Röhren).“ Offenbar bildet das Würzburger Kopierbuch Röntgens Aktivitäten nicht vollständig ab. Dort finden sich weder Angaben über die vor dem 27. Nov. 1895 gekauften Hittorf-Röhren, noch wird die am 6. Januar 1896 erwähnte Röhre beschrieben, die offenbar bei der Vorbereitung seiner zweiten Mitteilung wichtig war [14]. Eine letztlich nicht vollständig aufzuklärende Rolle kommt einer vom Autor in Berlin aufgefundenen Bestellung zu. Am 15. November 1895 richtete Röntgen eine Anfrage an einen unbekanntenen Adressaten – der Briefumschlag ist nicht erhalten (Abb. 4). Es ist kaum vorstellbar, dass diese Anfrage, eine Woche nach der folgenschweren ersten Wahrnehmung der neuen Strahlen, nicht im Zusammenhang mit diesem Generalthema steht; aber in welchem?

Zwei Aspekte sind in Betracht zu ziehen: Röntgen hatte in seiner ersten „vorläufigen“ Mitteilung auch das Absorptionsverhalten von Kalkspat und Quarz beschrieben. Die Vermutung, dass die Durchlässigkeit richtungsabhängig sein könnte, fand er nicht bestätigt. Ob Röntgen die gewünschten Dünnschliffe tatsächlich erhielt, ist ungewiss. Sicher ist, dass sie für seine mitgeteilten Transmissionsexperimente viel zu dünn gewesen wären. Aber das muss Röntgen zum Zeitpunkt der Bestellung noch nicht gewusst haben. Problematisch erscheint unter diesem Gesichtspunkt auch die laterale Dimension dieser Schliffe. Wir müssen davon ausgehen, dass Röntgen zumindest am Beginn seiner Experimente weit entfernt von einer annähernd punktförmigen Strahlenquelle gearbeitet hat und so auf Absorber größerer Dimension angewiesen war. Er beschreibt diese Dimension nicht genau. Lediglich mit Blick auf einen mit Bleifarbe bestrichenen Holzquader benennt er den Querschnitt als quadratisch mit 20 Millimeter Kantenlänge.

Bleibt die Möglichkeit, dass Röntgen die Dünnschliffe als Fenster für seine Müller-Unkelsche Lenard-Röhre gedacht hatte. Sie wären nach ihrer auf die Fläche bezogenen Masse den von Lenard für sein Fenster gebrauchten Aluminiumfolien nahegekommen. Auch von den lateralen Dimensionen her wären die Dünnschliffe als Lenard-Fenster geeignet. In-

Universitätsarchiv Würzburg UAWü WR3; Ausschnitt aus Bild Nr. 34786 der Objektsammlung des Deutschen Museums München.

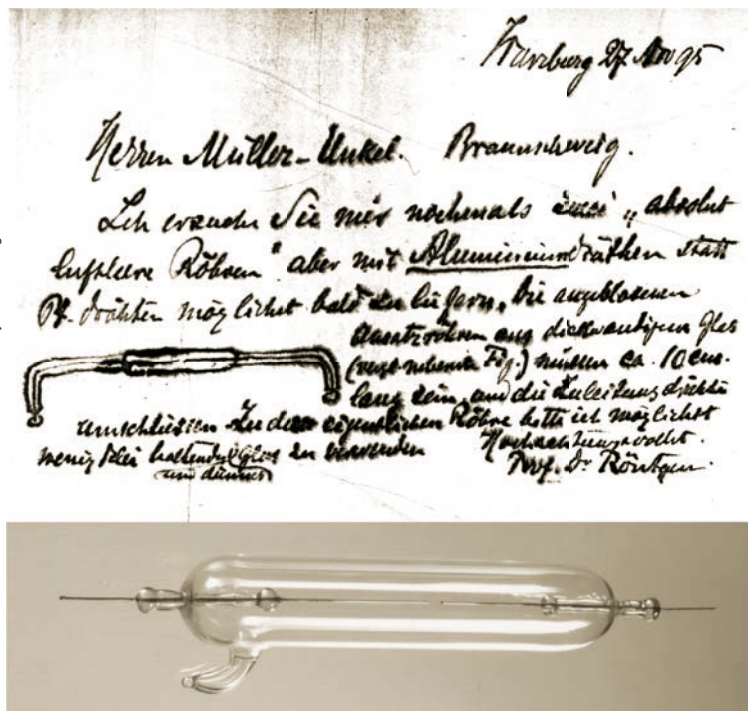


Abb. 3 Röntgens Bestellung vom 27. November 1895 nach dem Kopierbuch des Physikalischen Instituts der Universität; unten eine (nicht modifizierte!) Nachbildung der von Röntgen mehrfach gekauften Hittorfschen Röhren.

1) Die offensichtlich nicht nur fachlichen Verwandtschaften vieler hier benannter Glastechniker werden in [12] thematisiert.

sofern ist nicht auszuschließen – entgegen dem Eindruck, den die im Würzburger Kopierbuch festgehaltene Bestellkorrespondenz vermittelt –, dass die Müller-Unkelsche Lenard-Röhre in der Frühphase der Röntgenexperimente, zumindest in deren Planung, doch eine herausgehobene Rolle gespielt haben könnte. Für die späten Experimente müssen wir das ausschließen. Röntgen hat seine Fenster-Röhre (neben anderen Röhren) 1907 dem Deutschen Museum München überlassen. Sie trug anstelle des frontseitigen Platinröhrchens eine plane Abdeckung aus Aluminium. Offenbar war die Röhre zu Bruch gegangen und so hergerichtet worden, wie von Röntgen implizit beschrieben [1]. Er hat dort angegeben, dass die X-Strahlung nicht nur an der Glaswand der Entladungsröhren erzeugt werde, „sondern wie ich an einem mit 2 mm Aluminiumblech abgeschlossenen Apparat beobachten konnte, auch an diesem Metall. Andere Substanzen sollen später untersucht werden.“

Glaswand versus Platinröhrchen

Lenard hat seine Bemerkung, dass Röntgen der erste Benutzer der Müller-Unkelschen Lenard-Röhre gewesen sei, selbst relativiert. Er merkte in seinem Nobelvortrag an, dass er die Röhre „soweit es ... möglich war geprobt, und sogleich zur Anwendung empfohlen ... hatte“. Folgt man Lenards Labortagebüchern, so zeigt sich, dass er Ende Oktober und Anfang November 1893 mit der von Müller-Unkel zur Erprobung zeitweilig überlassenen Röhre experimentiert und ein wesentliches Kapitel seines vielbeachteten Artikels [11] erarbeitet hatte. Lenard konnte die Anfang 1894 gekaufte Röhre wegen anderer beruflicher Verpflichtungen wohl nicht in Betrieb nehmen – er hatte Hertz die Herausgabe dessen Werkes „Die Prinzipien der Mechanik“ versprochen, und er musste sich um die Umstände seiner Berufung nach Breslau kümmern.

Auch Lenards Unterstellung, Röntgen habe die neuen Strahlen „ganz notwendigerweise“ am Platinröhrchen der Müller-Unkelschen Lenard-Röhre finden müssen, steht im Widerspruch zu seinem eigenen Vorgehen. Zur hier in Rede stehenden Zeit in Aachen tätig, suchte Lenard nach den von Röntgen beschriebenen neuen Strahlen mit einer Müller-Unkelschen Fensterröhre, und zwar mit einer neuen, die er im Januar 1896 aus Braunschweig erhielt. Seinem damaligen Verständnis nach waren die neuen Strahlen lediglich eine magnetisch besonders steife Art der von ihm intensiv untersuchten magnetisch ablenkbaren, gewissermaßen seiner Kathodenstrahlen. Konsequenterweise lenkte er die Kathodenstrahlen magnetisch auf die Glaswand ab und untersuchte die magnetische Ablenkbarkeit der dort entstehenden neuen Strahlen (Abb. 5) – ohne Erfolg. Mitte Februar bemerkte er Materialabhängigkeiten bei der Erzeugung der neuen Strahlen, und er stellte am 29. Februar explizit fest, dass von der Platineinschmelzung intensive Röntgenstrahlung ausgehen kann. Anfang 1896 hatten auch Röntgen [14] und der unabhängig von ihm in Frankfurt/Main arbeitende Walter König [15] gefunden, dass eine konkave Kathode der Entladungsröhre und eine in den Brennpunkt gestellte Platin-Elektrode („Antikathode“) eine effektive Quelle für die neuen Strahlen darstellten. Königs Röhren hatte der in

Leipzig niedergelassene Robert Goetze gefertigt, ein Schüler von Geißler. Diese Röhren sollten ursprünglich dazu dienen, die Wärmewirkung von Kathodenstrahlen zu demonstrieren, und waren von den schon 1879 von William Crookes bzw. dessen Glastechniker Charles Gimmingham in die Gasentladungsphysik eingeführten Entladungsgefäßen abgeleitet [16]. Platinelektroden führten also keineswegs „ganz notwendigerweise“ zu den neuen Strahlen.

Fazit

Ein hochbegabter Experimentator – Lenard –, sehr selbstbewusst, aber auch als sehr hilfsbereit wahrgenommen, international anerkannt und schon für den ersten Physik-Nobelpreis im Gespräch, kommt mit der Tatsache nicht zurecht, dass ihm die bedeutungsvollste Entdeckung der letzten Jahre entgangen ist. Er verengt die aus physikhistorischer Sicht durchaus interessante Frage, welche der von Röntgen benannten Entladungsröhren an jenem Abend des 8. November des Jahres 1895 tatsächlich an dessen „größeren Ruhmkorff“, einem leistungsfähigen Funkeninduktor, angeklemt war, auf die Behauptung, dass es die nach

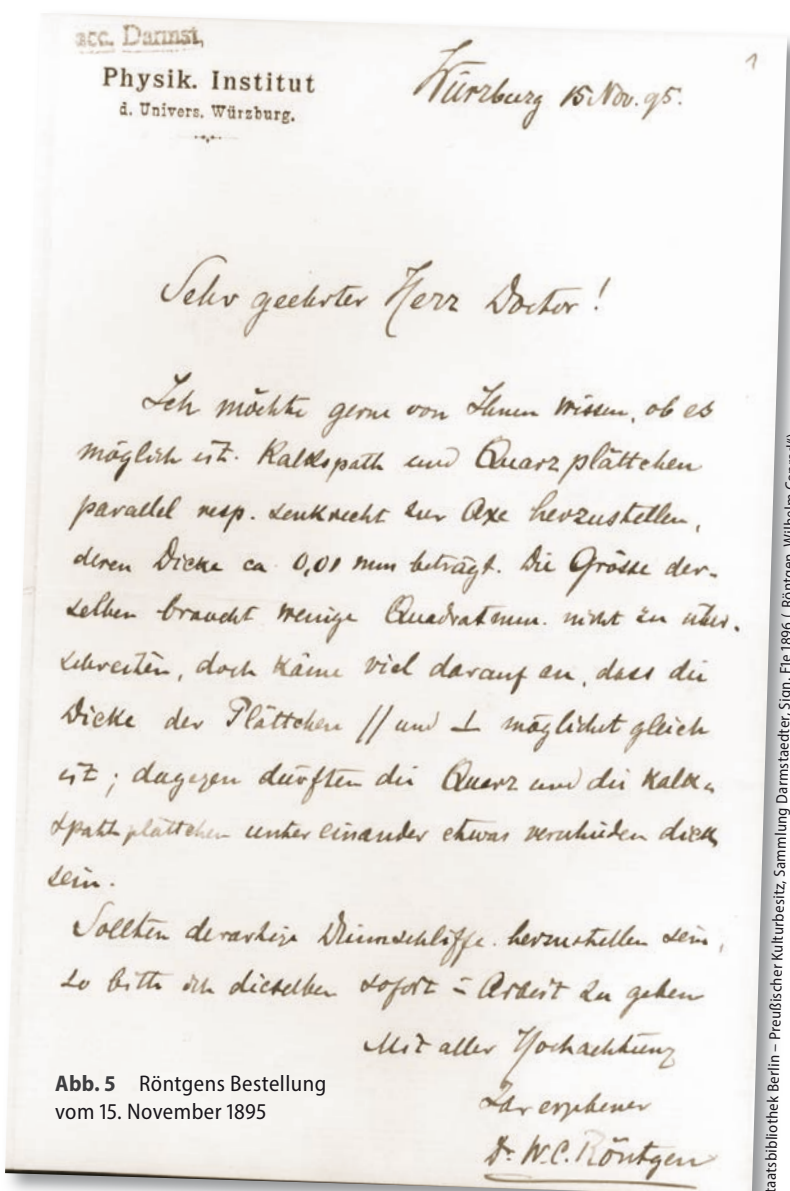


Abb. 5 Röntgens Bestellung vom 15. November 1895

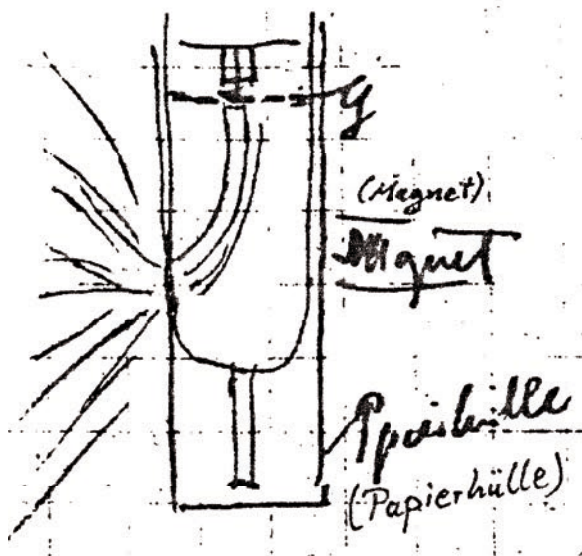


Abb. 5 Lenard versuchte am 25. Januar 1896, die von Röntgen entdeckten Strahlen zu sehen. Er schreibt: „Gelingt mit Röhre von Müller-Unkel und BaPtCy sehr schön. ... Flußpat und Ur[an]glas leuchten auch.“ In den folgenden Tagen erweiterte Lenard seine Versuchseinrichtung und fragte nach der magnetischen Ablenkbarkeit der an der Glaswand erzeugten Röntgenstrahlen.

seinen Anregungen von Müller-Unkel geblasene Röhre gewesen sein müsse. Er versteigt sich in die Unterstellung, Röntgen habe die Bestellung Hittorfscher und anderer Röhren nur ausgelöst, um von der ausschließlichen Verwendung der Müller-Unkelschen Lenard-Röhre abzulenken [8]. In dem Bestreben, die Reputation des Protagonisten der „Deutschen Physik“ – hierzu siehe [9], dort insbesondere Andreas Kleinert: Philipp Lenard und die „Deutsche Physik“ – herauszustellen, wurde diese Sicht während des Dritten Reiches offensiv in die Öffentlichkeit getragen [13]. Sie erhielt zwischenzeitlich ein Gewicht, welches ihr im naturwissenschaftlichen Sinne gar nicht zukommt. Die herausgestellten Unterstellungen haben Lenards Verdienste nicht aufgewertet, dem Ansatz einer „Deutschen Physik“ nicht aus geistiger Enge und rassistischer Verstrickung verholten und zur Entdeckungsgeschichte der Röntgenstrahlen letztlich keinen verwertbaren Beitrag geleistet.

Kehren wir zur Faktenlage zurück: Röntgen hatte „eine Hittorfsche Vacuumröhre, oder einen genügend evacuierten Lenard’schen, Crookes’schen oder ähnlichen Apparat“ als Quelle der neuen Strahlen benannt (Hervorhebung Dörfel). Welche Röhre mit dem Datum des 8. November 1895 herauszustellen wäre, kann nach den bislang erschlossenen Quellen auch heute nicht gesagt werden. Weitgehend verdrängt wurde durch die beschriebenen Querelen die Intention Röntgens, mit „genügend evacuierten“ Röhren zu arbeiten. Das war wohl die Umschreibung der Absicht, abweichend von den üblichen Vorführungen und Nachstellungen den bei besonders hochgespannten, d. h. hochenergetischen Entladungsexperimenten auftretenden Effekten nachzugehen. Letztlich erwies sich das als die Voraussetzung dafür, dass die immer entstehende Röntgenstrahlung die Entladungsgefäße mit hinreichender Intensität auch verlassen und die damaligen Nachweis-

instrumente – zunächst fluoreszierende Materialien, dann auch Fotoplatten, Elektroskope usw. – ansprechen konnte.

Dank

Der Autor hat das Glück, auf viele Mitwirkungen und Zuarbeiten zurückgreifen zu können. Karl Heinz Althoff, Bonn, machte Dokumente und Instrumente der Universität Bonn zugänglich. Gottfried Landwehr (†), Würzburg, ermöglichte den Zugriff auf die wieder aufgefundene Bestellkorrespondenz Röntgens. Klaus Hübner, Heidelberg, steuerte eigenständig recherchierte und analysierte Sachverhalte bei. Ohne die Zusammenarbeit mit dem Deutschen Museum München, der Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel, der Staatsbibliothek Berlin, Preussischer Kulturbesitz, und dem Museum Geißlerhaus Neuhaus a. Rwg. wären die diesem Text vorgelagerten Untersuchungen nicht möglich gewesen.

Literatur

- [1] W. C. Röntgen, Ueber eine neue Art von Strahlen (Vorläufige Mitteilung), Sitzungsberichte der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg (1895) und Ann. Physik Chemie **64**, 1 (1898)
- [2] O. Glasser, Wilhelm Conrad Röntgen und die Geschichte der Röntgenstrahlen, Springer, Berlin und Heidelberg (1995)
- [3] H. Otremba und W. Gerlach, Wilhelm Conrad Röntgen – Ein Leben im Dienste der Wissenschaft, Echter-Verlag, Würzburg (1965)
- [4] G. Landwehr, Physikalische Blätter **51**, 1069 (1995)
- [5] A. Haase, G. Landwehr und E. Umbach, Röntgen Centennial – X-rays in Natural and Life Sciences, World Scientific, Singapur (1997)
- [6] F. Müller und G. Dörfel, Physik Journal, Mai 2014, S. 39
- [7] P. Lenard, Über Kathodenstrahlen, Ambrosius Barth, Leipzig (1906); erweitert: Walter de Gruyter & Co., Berlin und Leipzig (1920)
- [8] A. Schirrmacher (Hrsg.), Philipp Lenard: Erinnerungen eines Naturforschers, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg (2010)
- [9] W. Füßl und J.-G. Hagmann (Hrsg.), Konstruierte Wirklichkeit – Philipp Lenard 1862–1947, Deutsches Museum München (2012)
- [10] Ph. Lenard, Sitzungsberichte der Königlich-Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (1893) I. S. 3-7. (Auszugsweise auch in Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie **17** (1893) S. 481)
- [11] Ph. Lenard, Ann. Physik Chemie **51**, 225 (1894), Tafel IV, Fig. 1–12
- [12] G. A. Fricke, G. Dörfel und H. Schaedel, Braunschweigisches Jahrbuch für Landesgeschichte **98** (2017), S. 125
- [13] G. Dörfel, K. Hübner und G. Landwehr, Hittorfsche Vakuumröhren für Röntgen, ERS-Verlag, Berlin u. Lichtenwalde (2003), erweitert in: H. A. Wessel (Hrsg.), Jahrhunderte der Hochspannung, Geschichte der Elektrotechnik, Bd. 21, VDE Verlag, Berlin u. Offenbach (2004)
- [14] W. C. Röntgen, Sitzungsberichte der Würzburger Physikal.-medic. Gesellschaft (1896), S. 3 und Ann. Physik Chemie **64**, 12 (1898)
- [15] W. König, Jahresbericht des Physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. 1895/96, S. 64
- [16] W. Crookes, The Chemical News XL (1879), S. 91–93, 104–131; deutsch: Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand, Verlag von Quandt & Händel, Leipzig (1879)
- [17] B. Ruff, Lenards Arbeiten und Äußerungen über Röntgenstrahlen. Staatsexamensarbeit, Institut für Angewandte Physik, Universität Heidelberg (1997)

Der Autor



Günter Dörfel war viele Jahre Vorstandsmitglied im Fachverband Geschichte der Physik der DPG. Nach Ausbildung, Promotion und Habilitation in der Elektro- und Regelungstechnik leitete er von 1992 bis 2000 den Bereich Forschungstechnik am Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden.

Prof. Dr. Günter Dörfel, c/o Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden, Postfach 270116, 01171 Dresden