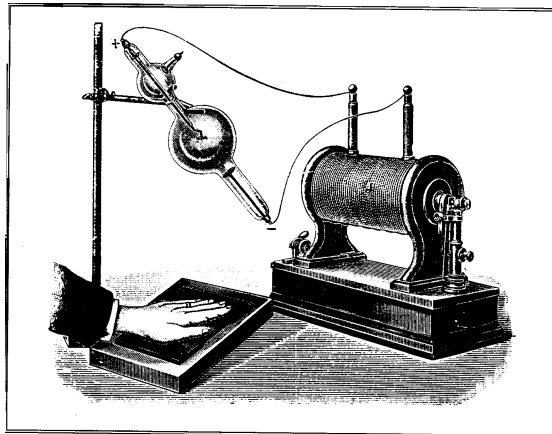


RÜHMKORFF, RÖNTGEN, REGENSBURG

HISTORISCHE INSTRUMENTE ZUR GASENTLADUNG

*Ein Seminarprojekt
am Lehrstuhl für Wissenschaftsgeschichte
der Universität Regensburg*



Unter Mitarbeit von Britta Görs, Martin Kirschke,
Michael Klein, Anna Maerker und Sandra Wilde

mit einem Beitrag von Markus Völk zur
Röntgendiagnostik in Regensburg heute

vorgestellt von Christoph Meinel

Regensburg 1997

Unterstützt durch die Hans R. Jenemann-Stiftung in der Gesellschaft Deutscher Chemiker. Die Hans R. Jenemann-Stiftung fördert Wissenschaft und Forschung auf dem Gebiet der Geschichte wissenschaftlicher Instrumente.

VORWORT

Die materielle Kultur der Wissenschaften ist erst in jüngster Zeit in den Blick der Forschung geraten. Dabei ist die Frage, wie Wissenschaftler mit Hilfe von Instrumenten Erkenntnis gewinnen, in historischer aber auch in philosophischer Hinsicht alles andere als trivial. Doch so lange reine Meß- und Beobachtungsinstrumente als typisch für wissenschaftliche Instrumente schlechthin und die mit ihnen gewonnenen Einsichten als unproblematische Ergebnisse des Abmessens und Hinsehens galten - die Instrumente also gewissermaßen als transparent auf die äußere Wirklichkeit hin erschienen - blieb auch ihr epistemologisches Interesse marginal.

Erst als man begriff, daß ein wesentliches Merkmal der modernen Naturwissenschaft gerade darin besteht, daß sie mit Hilfe von Instrument und Experiment neue Wirklichkeit schafft - ja 'Naturobjekte' wie das Vakuum, das Elektron oder eine neue chemische Substanz überhaupt erst hervorbringt -, und als man daraufhin anfang, das Verhältnis von Instrument, Experiment und Theoriebildung genauer zu untersuchen, nach Akteuren, Laboratoriumspraxis und dem jeweiligen sozialen Umfeld fragte, die Wechselbeziehungen von Wissenschaft, Apparatebau und Instrumentenhandel sowie materialbedingte Umstände in Betracht zog, wurde deutlich, daß Instrumente und Experimente je nach ihrem spezifischen Kontext eine Fülle ganz unterschiedlicher Funktionen besitzen. Es ist gerade die Komplexität und Kontexthaltigkeit der Beziehungen zwischen Instrument, Experiment und Praxis der Wissenschaft, die die Faszination des Arbeitsgebietes ausmacht.

Wissenschaftshistoriker sind gewohnt, mit Texten zu arbeiten, und an Texten orientiert sich zumeist auch die akademische Lehre. Das ist legitim, denn auch die Naturwissenschaften bringen letztlich Texte hervor: Forschungsaufsätze, Lehrbücher, Datensammlungen und Patentschriften. Doch aus Textquellen allein wird man der empirisch-experimentellen Forschungspraxis schwerlich gerecht. Deren Ort ist das Laboratorium, und erst in zweiter Linie der Schreibtisch oder die Bibliothek. Neben das Studium der Textquellen muß die Beschäftigung mit gegenständlichen Quellen treten. Daß dies nicht häufiger geschieht, hat auch äußere Gründe; denn die materiellen Zeugnisse der Wissenschaftskultur vergangener Jahrhunderte sind selten geworden, weil wir achtsamer mit ihnen umgehen als mit anderem Kulturgut. Nur wenige Museen und Sammlungen bieten überhaupt die Möglichkeit, historische wissenschaftliche Instrumente zu studieren; dies mit Studierenden und in didaktischer Absicht zu tun, verbietet sich aber oft schon aus konservatorischen Gründen.

Die Universität Regensburg ist in der glücklichen Lage, eine Sammlung alter physikalischer Instrumente zu besitzen, die in ihren ältesten Stücken auf das 18. Jahrhundert zurückgeht, im wesentlichen aber eine experimentalphysikalische Lehrsammlung aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts darstellt. Da es sich um einen historisch gewachsenen Bestand handelt, dessen Geschichte sich seit dem ausgehenden 18. Jahrhundert archivalisch verfolgen läßt, kann man die ur-

sprüngliche Verwendung in Lehre und Forschung recht genau rekonstruieren. Dabei besitzt der instrumentengeschichtliche Ansatz für den Hochschulunterricht im Fach Wissenschaftsgeschichte besondere didaktische Vorzüge: Denn gegenständliche Quellen wollen ja nicht nur identifiziert und datiert, sondern auch bestimmten Herstellern zugewiesen, wissenschaftshistorisch eingeordnet, auf die Laboratoriumspraxis der Zeit und ihre Verwendung durch Regensburger Wissenschaftler bezogen sein. Die Arbeit mit gegenständlichen Quellen ist vom Material her reizvoll, methodisch vielfältig und schon auf Seminarebene forschungsorientiert, da inhaltlich weitgehend Neuland erschlossen werden muß.

Seit einigen Jahren haben wir uns deshalb am Lehrstuhl für Wissenschaftsgeschichte der Universität Regensburg um die Erschließung und Bearbeitung dieser Sammlung bemüht: zunächst mit dem Ziel einer vollständigen Inventarisierung, später anhand ausgewählter Themenkomplexe. Erste Ergebnisse galten der lokalen Wissenschaftstradition, und in der Ausstellung „Gelehrtes Regensburg - Stadt der Wissenschaft“ sind 1995 erstmals einzelne Stücke aus der Sammlung der Öffentlichkeit präsentiert worden.

Die Ausstellung „Rühmkorff, Röntgen, Regensburg“ ist aus einem Seminarprojekt entstanden und von einer kleinen Gruppe besonders motivierter Studentinnen und Studenten dann im Detail ausgearbeitet worden. Daß wir die Geschichte der elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen zum Thema gewählt hatten, hat einen dreifachen Grund: zum einen wurden vor 100 Jahren die Röntgenstrahlen und das Elektron entdeckt; zum anderen ist gerade dieses Kapitel aus der Geschichte der Experimentalphysik in der Regensburger Sammlung recht gut dokumentiert, und zum dritten schließlich bot sich hier die Chance, ein nicht durch Sekundärliteratur erschlossenes Gebiet von den Instrumenten und Textquellen her forschungsorientiert anzugehen.

Äußerer Grund für die Terminwahl der Ausstellung war schließlich die Tatsache, daß vom 26.-29. September 1997 die 80. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Geschichte der Medizin, Naturwissenschaft und Technik in Regensburg stattfindet und das Rahmenthema „Instrument - Experiment“ lautet. Doch nicht nur den Tagungsteilnehmern, sondern auch Universität und Stadt insgesamt gilt unser Vorhaben. Denn wir wollen damit auch an ein Stück Regensburger Wissenschaftsgeschichte erinnern, wie diese sich insbesondere in der raschen Rezeption der Röntgenschen Entdeckung greifen läßt. Um von der frühesten überlieferten Regensburger Röntgenaufnahme, die am 26. Juli 1896 im hiesigen Lyzeum angefertigt wurde, schließlich den Bogen zur Gegenwart zu schlagen, haben wir Prof. Dr. Stefan Feuerbach vom Institut für Röntgendiagnostik im Universitätsklinikum gebeten, die kleine Ausstellung mit einem Ausblick auf diagnostischen Möglichkeiten und die Forschungsschwerpunkte ihrer Regensburger Arbeitsgruppe zu beschließen.

C.M.

1. *EINLEITUNG*

Aufstieg und Transformation der Physik gehören zu den bemerkenswertesten Vorgängen in der Wissenschaftsgeschichte des 19. Jahrhunderts. Verstand man unter 'Physik' anfangs noch die Naturlehre im allgemeinen, so erhielt der Begriff später eine sehr viel engere Bedeutung und bezeichnete im wesentlichen das Studium von Mechanik, Elektrizität, Wärme und Licht mit experimentellen und mathematischen Methoden. Oberstes Ziel war, wie James Clerk Maxwell 1875 in der *Encyclopedia Britannica* feststellte, die Zurückführung der Phänomene auf eine einheitliche mechanische Erklärung, auf Bewegungszustände von Materie und die damit verbundenen Energieänderungen.

In der Thermodynamik hatte sich ein solches Programm der Vereinheitlichung bereits bewährt. Die nächste Aufgabe waren die mechanischen Äther- und Feldtheorien, die im Werk Maxwells gipfelten und zur elektromagnetischen Theorie des Lichtes führten. Eine weitere Stütze erhielt die mechanistische Sichtweise schließlich durch die kinetische Theorie der Gase. Folglich blieb bis in die 1890er Jahre hinein die mechanische Weltsicht nahezu unangefochten. Ungebrochen war auch die Zuversicht, auf diese Weise letztlich zu einer vollständigen Erklärung der Natur vordringen zu können. Ja mehr noch: Viele Physiker waren überzeugt, daß alle wesentlichen Naturgesetze und Methoden bereits gefunden seien und es nur mehr darauf ankomme, die experimentellen Befunde in den bereits fertigen Rahmen einzuordnen. Sie glaubten, daß bei Präzisionsmessungen, bei den mathematischen Hilfsmitteln und in der Vereinheitlichung und Axiomatisierung des Wissens durchaus noch Fortschritte möglich seien, die Grundlagen der wissenschaftlichen Physik aber ein für allemal feststünden.

In der Tat konnte das Fach auf eine überaus erfolgreiche und folgerichtige Entwicklung zurückblicken. Diese hatte um 1800 begonnen und zur glänzenden Karriere der mathematischen Physik, zumal in Deutschland, geführt. Im technischen Fortschritt, in Telegraphie, Telephon und elektrischem Licht lagen die Leistungen schließlich jedermann vor Augen. Auch im Transfer der physikalischen Methode in andere Disziplinen manifestierten sich Prestige und Einfluß des Faches: Experimentelle Physiologie, Astrophysik und die neue Psychologie wären ohne die Erfolge der Physik nicht entstanden.

Doch tauchten im ausgehenden 19. Jahrhundert eine Reihe von Anomalien auf, die sich in die großen, vereinheitlichenden Ansätze der Thermodynamik, der Elektrodynamik und der Mechanik bewegter Teilchen nicht einfügen wollten, sondern im Gegenteil geeignet waren, die Einheit und Geschlossenheit des physikalischen Weltbildes zu erschüttern. Nicht immer waren es neue Entdeckungen, die dies bewirkten. Oft wurden Arbeitsgebiete, die lange ein Schattendasein geführt hatten, erst jetzt als problematisch erkannt; und es spricht manches dafür, daß es nicht zuletzt auch die sozialen und politischen Widersprüche des Fin de Siècle waren, die die Physiker sensibilisiert hatten, die Anomalien innerhalb ihres eigenen Faches ernst zu nehmen. Dabei wurde deutlich, wie we-

nig die atomare und molekular-kinetische Materieauffassung mit den grundlegenden Theorien der Mechanik, der Thermodynamik und der Elektrodynamik zu vereinbaren war. So damit geriet ein Problem in den Blick, das bis dahin eher die Chemiker beschäftigt hatte: die Frage nach Konstitution und Struktur der Materie. War aber die Tür zur Erforschung der Atomstruktur erst einmal aufgetan, sollte die klassische, mit kontinuierlichen Energien arbeitende Physik rasch zu Problemen führen.

Eines der Schlüsselgebiete, auf denen sich der Durchbruch zur modernen Atomphysik anbahnte, war die Physik der elektrischen Entladung in verdünnten Gasen. Ihre Anfänge reichen weit zurück. Bereits im 17. Jahrhundert hatte man seltsame Leuchterscheinungen in evakuierten Glasröhren registriert, doch stellten sich technische Schwierigkeiten und mangelnde Reproduzierbarkeit einer weiteren Untersuchung entgegen. Erst im frühen 19. Jahrhundert konnten Humphry Davy (1778-1829) und sein Schüler Michael Faraday (1791-1867) in London mit verbesserten Batterien die Stromleitung in Gasen bei verschiedenen Drücken und Spannungen genauer untersuchen. Faradays Versuche mit dem „Elektrischen Ei“, einer Frühform der Vakuumröhre, eröffneten dann in den 1830er Jahren die systematische Untersuchung der Leuchterscheinungen beim Durchgang von Strom durch verdünnte Gase. Innovationen bei den Hochspannungsquellen und den Vakuumpumpen sowie in der Glastechnik verhalfen dem wegen seiner eindrucksvollen Effekte faszinierenden Gebiet zu enormer Breitenwirkung, doch jahrzehntelang kam man über die verwirrende Phänomenologie nicht recht hinaus. Erst nachdem die Röntgenstrahlen entdeckt und die Elektronen als Elementarteilchen erkannt waren, rückte die Gasentladungsphysik ins Zentrum der physikalischen Forschung. Denn hier lag bereits ein immenses empirisches Material vor, das im Grunde noch überhaupt nicht verstanden war und damit den Erklärungs- und Wissenschaftsanspruch der Physik in besonderer Weise herausforderte. Mit einigem Recht läßt sich daher die Erforschung der Gasentladungen einschließlich ihrer experimentell-apparativen Voraussetzungen als die eigentliche Vorbereitungsphase der modernen Physik betrachten - und zugleich natürlich als Initialphase technischer Anwendungen, die uns bis heute umgeben: Leuchtstoffröhren, Röntgentechnik, Kathodenstrahlröhren und Fernsehbildschirme.

Die neuere Wissenschaftsgeschichte hat - in bewußter Abkehr vom empiristisch-induktivistischen Postulat - deutlich gemacht, wie theoriebeladen das Experimentieren in der Naturwissenschaft häufig ist. Einige Wissenschaftstheoretiker sind noch weiter gegangen und haben das Experiment auf die Aufgabe reduziert, Hypothesen zu überprüfen und die Entscheidung zwischen konkurrierenden Theorien zu treffen. Die Erforschung der elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen ergibt ein völlig anderes Bild für das Verhältnis von Theorie und Experiment. Anders als in der Geschichte der Relativitätstheorie, der Quantenphysik, der Thermodynamik und vielen Bereichen der klassischen Physik haben wir hier den Fall eines Forschungsgebietes, in dem das Experiment mehr als zwei Generationen hindurch der Theorie weit vorauseilte und gerade die führenden Köpfe auffällig zurückhaltend mit 'Erklärungen' waren. Zwar

dürfte um die Jahrhundertmitte vielen Physikern bewußt gewesen sein, daß das Studium der Gasentladung tiefere Einsichten in die Struktur der Materie verheiß, doch fehlte es völlig an brauchbaren Hypothesen, nach denen Experimente hätten geplant werden können. Allenfalls Leitvorstellungen ganz anderer Art waren unterschwellig am Werk: exploratorische, intuitive Zugänge, die mehr die manipulative Kontrolle von Effekten als die Verknüpfung von Phänomen und Erklärung betrafen.

Wenige Gebiete physikalischer Forschung waren derart komplex wie die Physik der Gasentladungen. Scheinbar jede neue Entdeckung brachte zugleich neue Rätsel hervor, statt die Zahl offener Fragen zu reduzieren. Schon die Entscheidung, ob ein beobachteter Effekt auf physikalische Zusammenhänge, auf chemische Reaktionen in der Gasphase, auf chemische Reaktionen mit dem Elektrodenmaterial, auf Oberflächeneffekte oder gar auf bloße Zufälligkeiten der Apparatur zurückzuführen sei, war alles andere als trivial. Zentral war die Rolle der Instrumentation auf diesem Forschungsgebiet, und neu war der Umstand, daß die Apparaturen eben nicht aufgrund theoretischer Vorgaben entworfen werden konnten, sondern technische Intuition erforderten, um dann ihrerseits neue Fakten zu schaffen und damit Innovationen zu generieren.

Ein solches Arbeitsgebiet bringt einen eigenen Forschungsstil hervor, der vermutlich nicht untypisch ist für eine Wissenschaft, die ins Neuland noch unbekannter Wissensgebiete vordringt. Da ging es zunächst darum, Komplexität zu akzeptieren, um apparativ-manipulative Herrschaft über die Phänomene zu erlangen. Taktile und visuelle Sensibilität waren hierbei ebenso vonnöten wie der Blick für Details oder die Fähigkeit, mit Instrumenten und Apparaturen denken und handeln zu lernen. Wo Theorien versagten, weil sich mit ihrer Hilfe Effekte von Nebeneffekten nicht unterscheiden, experimentelle Fragestellungen nicht formulieren und mögliche Ergebnisse nicht voraussagen ließen, brauchte der Forscher für Problemwahl und Relevanzbewertung andere Kriterien als beim 'klassischen', theoriegeleiteten Experimentieren.

Es scheint geradezu, als ließe sich in der frühen Geschichte der Gasentladungsphysik eine eigene Motivationsstruktur und Psychologie des Forschungsprozesses ausmachen: Die Bereitschaft zum Risiko, faktisches Wissen zu schaffen, auch ohne dessen theoretische Relevanz schon im Blick zu haben, sowie die intuitive Überzeugung, daß es gerade dort interessant werden könnte, wo Apparatur und Natur Widerstand leisten und sich dem Zugriff des Wissenschaftlers entziehen, indem sie ihn mit immer neuen Überraschungen an der Nase herumführen. Auch die Schönheit und Vielfalt der Phänomene scheint eine Rolle gespielt zu haben - und natürlich der Wille, das veränderliche Spiel der Farben und Formen kontrollieren und selbst hervorbringen zu können. Ein wesentlicher Teil der experimentellen Arbeit war deshalb genau darauf gerichtet, das Fluktuieren der Phänomene zu beenden und einzelne Effekte in technisch reproduzierbarer Weise zu stabilisieren. Und da dies nur mit Hilfe von Apparaturen gelang, sollte man besser von einem Prozeß der Erfindung sprechen; denn Instrumente werden erfunden und nicht entdeckt wie Naturgegenstände.

Die Wissenschaftsgeschichte hat sich mit der Gasentladungsphysik des 19. Jahrhunderts wenig befaßt. Lediglich als Vorstufe zur modernen Atom- und Quantenphysik hat die Forschung mit Kathoden- und Röntgenstrahlen, die Entdeckung der Radioaktivität und die Herausbildung der Spektroskopie aus theoretischer Perspektive Beachtung erfahren. Die Hundertjahrfeiern der Entdeckung von Röntgenstrahlen und Elektron haben uns 1995 bzw. 1997 zwar Bücher, Kataloge, Aufsätze und Reprints beschert; doch die eigentliche Forschungsgeschichte dieses Gebiets, die die Geschichte der Experimente und Instrumente einbeziehen müßte, ist bisher erst in Ansätzen erforscht.

Auch die vorliegende Arbeit kann diese Lücke nicht schließen. Ihr Ziel ist vielmehr, auf die Bedeutung eines weithin vergessenen Gebietes der Physikgeschichte hinzuweisen, dessen wissenschaftsgeschichtliche Erforschung noch aussteht. Sie will einige seiner Besonderheiten deutlich machen und zugleich über die Beschäftigung mit 'Realien' einen möglichen Zugangsweg aufzeigen. Da die historische Instrumentensammlung der Universität Regensburg den Fundus bildet, geht es weder darum, modernes physikalisches Wissen über die historisch-didaktische Hintertür einzuführen, noch kann es die Aufgabe sein, die Geschichte der Gasentladungsphysik von Faraday bis Thomson halbwegs vollständig zu präsentieren. Vielmehr ist die Auswahl der Themen primär vom Bestand der Sammlung her bestimmt. Und da diese im 19. Jahrhundert als Lehrmittelsammlung mit didaktischer Zielsetzung angelegt worden war, dokumentiert sie auch nicht eigentlich Forschungsgeschichte, sondern bereits die Ergebnisse der Bemühungen, die flüchtige Phänomenologie der Gasentladung in apparativen Anordnungen reproduzierbar zu stabilisieren. In dieser Hinsicht dokumentiert die Ausstellung ein Stück populärer Rezeptionsgeschichte. Systematisch ist die Ausstellungskonzeption insofern, als sie chronologisch angelegt ist, mit den technischen Voraussetzungen der Erzeugung von Hochspannung und Vakuum beginnt, danach die bunte Vielfalt der Geissleröhren vorstellt, anschließend mit den Kathodenstrahlen das damals spektakulärste Arbeitsgebiet aufgreift und schließlich dessen Auswirkungen bis in die Regensburger Reaktionen auf die Röntgenschen X-Strahlen verfolgt. Daß der zeitliche Rahmen beim Ersten Weltkrieg endet, hat einen doppelten Grund: Zum einen kam damals der Ausbau der Lehrmittelsammlung zum Stillstand und sind spätere Entwicklungen nur mehr zufällig dokumentiert; zum anderen endet um diese Zeit auch die Epoche einer Experimentierkunst, die, auf Theorie und Mathematik weitgehend verzichtend, die Physik anschaulich und anhand einzelner Effekte darg estellt hat.

Erwin N. Hiebert, „Electric Discharge in Rarefied Gases: The Domination of Experiment: Faraday, Plücker, Hittorf,“ in: *No Truth Except in the Details: Essays in Honor of Martin J. Klein*, hrsg. von A.J. Kox und Daniel M. Siegel, Dordrecht 1995, S. 95-134.

C.M.

2. HOCHSPANNUNG IM LABOR - FUNKENINDUKTOREN

Die spektakulären Fortschritte der Physik in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wären ohne die gleichzeitige Entwicklung der Hochspannungstechnik nicht möglich gewesen. Nachdem Michael Faraday (1791-1867) in London 1831 die elektromagnetische Induktion entdeckt hatte, war es möglich, Hochspannung auch anders als mit den traditionellen Elektrisiermaschinen zu erzeugen. Eine frühe Form des elektrischen Transformators stellen die Funkeninduktoren, auch Rühmkorff-Induktoren genannt, dar. Ihre Funktionsweise basiert wie bei modernen Wechselstrom-Transformatoren auf der elektromagnetischen Kopplung zweier Leiterspulen.

Induktoren wurden benötigt, um niedrige Batteriespannungen in Hochspannungen zu transformieren. Da Batterien Gleichstrom erzeugen, die Transformation jedoch prinzipiell nur bei sich zeitlich ändernden elektrischen Strömen möglich ist, entwickelte sich gleichzeitig die Unterbrechertechnik. Kombiniert mit einem automatischen Unterbrecher, der den Strom zerhackt, entstanden so Apparate, welche permanent annähernd stabile Spannungen bis zu mehreren Millionen Volt erzeugen konnten. Sie fanden ihre Anwendung überall dort, wo Hochspannung im Labor benötigt wurde, insbesondere beim Betrieb von Geisslerischen oder Crookeschen Röhren. Ebenso waren sie unentbehrlich für den Betrieb von Röntgenröhren. Außerdem sind sie als fester Bestandteil des Instrumentariums von drei wichtigen physikalischen Entdeckungen zu finden: der Hertzschen Dipolstrahlung (1886), der Röntgenstrahlung (1895) und der Entdeckung des Elektrons (1897). Die Induktoren wurden auch außerhalb der physikalischen Laboratorien verwendet: bei der elektrischen Zündung von Explosivstoffen, als Zündspulen für Verbrennungsmotoren, in der medizinischen Elektrotherapie oder um in Schauversuchen Funken von spektakulärer Länge zu erzeugen.

Der Bau von Transformatoren geht unmittelbar auf die Faradaysche Entdeckung zurück. In der Zeit zwischen 1836 und 1838 entwickelten der irische Priester und Physiklehrer Nicholas Callan (1799-1864) und der amerikanische Physiker Charles G. Page (1812-1868) unabhängig voneinander experimentelle Anordnungen, mit denen sich hohe Spannungen und große Funkenlängen erzeugen ließen.

Callan veröffentlichte seine Ergebnisse 1837 in der in London erscheinenden Zeitschrift *The Annals of Electricity*. Dort beschrieb er ein Experiment, in dem er einen hufeisenförmigen Eisenstab zuerst mit einem 50 Fuß langen, sehr dicken Kupferdraht umwickelte und darüber nochmals einen etwa 25mal längeren, dünneren Draht wand. Er untersuchte die Induktionseffekte in der äußeren Sekundärspule, indem er den Strom einer kleinen Batterie durch die Primärspule fließen ließ und diesen mit einem handbetriebenen Kontaktunterbrecher modulierte. Als er dieselbe Anordnung in größeren Dimensionen herstellte, war die Spannung, die an der Sekundärspule entstand, so hoch, daß Callan einen Funken Schlag zwischen den Drahtenden beobachten konnte.

Page forschte im Jahre 1835 an einem Aufbau, der nur eine Kupferspule beinhaltete. Er schloß sie jedoch an mehrere Stromkreise an und fand auf diese Weise, daß durch Induktionseffekte Spannungen transformiert werden konnten. Seine Ergebnisse sind im *American Journal of Science and Arts* vom Oktober 1836 veröffentlicht. Etwa zwei Jahre später stellte er einen Apparat vor, der nun aus zwei getrennten Spulen bestand. Als Primärspule benutzte er einen isolierten Kupferdraht, der auf eine Holzwalze mit Eisenkern gewickelt war. Die Sekundärspule befand sich auf einem weiteren Holzzylinder über der Primärspule. Page integrierte eine magnetgetriebene Wippe in seine Anordnung, die als automatischer Unterbrecher diente.

Annähernd zeitgleich erschienen auch anderenorts Beschreibungen von Induktoren. Der französische Physiker Antoine-Philibert Masson (1806-1860) präsentierte zusammen mit dem Instrumentenkonstrukteur Louis François Clément Breguet (1804-1883) im Jahre 1841 einen Induktor, der den später sehr bekannten Rühmkorff-Induktoren als Prototyp gedient haben soll. Im deutschsprachigen Raum wurde von dem Frankfurter Arzt Christian Ernst Neef (1782-1849) im Jahre 1838 auf der Versammlung der deutschen Naturforscher und Ärzte in Freiburg einer der ersten elektromagnetischen Induktionsapparate vorgestellt.

Georges Shiers, „The Induction Coil,“ *Scientific American* 224 (1971), 80-87.

2.1. Heinrich Daniel Rühmkorff (Hannover 1803 - Paris 1877)

Portrait aus: Emil Kosack, Heinrich Daniel Rühmkorff, Leipzig 1903

Rühmkorff war eines von zehn Kindern eines bei der Post beschäftigten Stallknechts. Bis zu seinem achtzehnten Lebensjahr absolvierte Rühmkorff eine Lehre bei dem Mechaniker Wellhausen in Hannover. Danach wanderte er durch Deutschland und verbrachte darauffolgend etwa 18 Monate in Paris, wo er Assistent eines Physiklehrers war. Im Jahre 1824 ging Rühmkorff nach England und arbeitete bei Joseph Bramah (1749-1814), der als Erfinder der hydraulischen Presse gilt.

Im Jahre 1827 kehrte er nach Hannover zurück, begab sich jedoch schon bald wieder nach Paris. Nach einigen kürzeren Arbeitsverhältnissen fand er dort eine Anstellung in der Instrumentenwerkstatt von Charles Chevalier, der insbesondere für seine optischen Instrumente bekannt war. Als Spezialist für elektrische Instrumente machte sich Rühmkorff im Jahre 1855 selbständig und gründete eine kleine Werkstatt in der Rue Champollion. Sein Geschäft fand bald weite Anerkennung: Auf der Weltausstellung im Jahre 1855 erhielt er die Medaille 1. Klasse und den Orden der Ehrenlegion.

Rühmkorff konstruierte seine ersten Induktoren um 1850. Sie zeichneten sich durch ihre große Kapazität bei sehr hohen Spannungen aus. So war es mit einem Rühmkorff-Induktor möglich, Funken bis zu einer Länge von über 30 cm zu erzeugen. Er soll dies unter anderem durch eine verbesserte Isolierung der ver-

wendeten Drähte erreicht haben. Zudem wickelte er die Sekundärspule auf einen Glaszylinder und brachte auch an den Enden der Spulen Glasscheiben an, um die Spannungsverluste so gering wie möglich zu halten. Bald spezialisierte sich Rühmkorff ganz auf die Herstellung von Induktoren. Er verstand es, neue wissenschaftliche Erkenntnisse sofort technisch umzusetzen, und konnte folglich die leistungsfähigsten Induktoren der damaligen Zeit anbieten. 1864 erhielt er dafür den mit 50000 Francs dotierten Preis für die wichtigste Entdeckung auf dem Gebiet der angewandten Elektrizität.

Weitere technische Neuerungen kamen von Armand-Hippolyte Fizeau (1819-1896), einem französischen Experimentalphysiker, der 1853 den Unterbrecher mit einem Kondensator verband und so den störenden Unterbrechungsfunken verringern konnte. Drei Jahre später entwickelte der französische Physiker Jean Foucault (1819-1868) eine neue Form des Quecksilberunterbrechers, den Rühmkorff auch sofort für seine Apparate nutzte. Weitere Verbesserungen am Induktor schlugen der deutsche Physiker Johann Christian Poggendorff (1796-1877) im Jahr 1854 und der Bostoner Mechaniker Edward S. Ritchie (geb. 1814) im Jahr 1857 vor, beide entwickelten eine leistungsfähigere Sekundärspulenanordnung. Ritchie empfahl, die Sekundärspule aus mehreren spiralförmigen Flachspulen aufzubauen.

Um das Jahr 1860 war die Entwicklung der Induktoren wohl auf ihrem Höhepunkt angelangt. In der Folgezeit änderten sich die Induktorformen nur mehr wenig, weitere Leistungssteigerungen erreichten die Hersteller entweder durch Vergrößerung des Geräts oder durch Verbesserung der Unterbrechungstechnik.

Emil Kosack, *Heinrich Daniel Rühmkorff*, Leipzig 1903. - Bernard S. Finn, „Heinrich Rühmkorff,“ in: *Dictionary of Scientific Biography*, Bd 11, New York 1980, S. 603-604. - Paolo Brenni, „Nineteenth-Century French Instrument Makers, IV: Heinrich Daniel Ruhmkorff, 1803-1877,“ *Bulletin of the Scientific Instrument Society* 41 (1994), 4-8.

2.2. Technik der Funkeninduktoren

Funkeninduktoren zeigen sowohl in ihrer Form als auch in ihrer Physik deutliche Eigenheiten, die sie von den heute gebräuchlichen Spannungstransformatoren unterscheiden. Dies begründet sich hauptsächlich darin, daß sie anfangs zum Betrieb mit Gleichstrom konstruiert wurden. Doch auch als schon längst Wechselstromnetze in den Labors üblich waren, stellte der Induktor noch eine gebräuchliche Hochspannungsquelle dar. Er umging nämlich die Schwierigkeit, eine extrem hohe Spannung gleichrichten zu müssen.

Nach der physikalischen Theorie der elektromagnetischen Induktion, die von Michael Faraday und Joseph Henry in den 30er Jahren des 19. Jahrhunderts entwickelt wurde, ist es möglich, mit elektrischen Kreisströmen Magnetfelder zu erzeugen. Ebenso erzeugt ein sich änderndes Magnetfeld in einer von ihm durchdrungenen Leiterschleife einen sich ändernden elektrischen Strom. Dieses Prinzip macht es möglich, daß mit einer Anordnung von zwei Spulen, die ja multiple Leiterschleifen darstellen, elektrische Spannungen transformiert wer-

den können. Dabei verhalten sich die elektrischen Spannungen an den Spulen wie das Verhältnis zwischen den Windungszahlen.

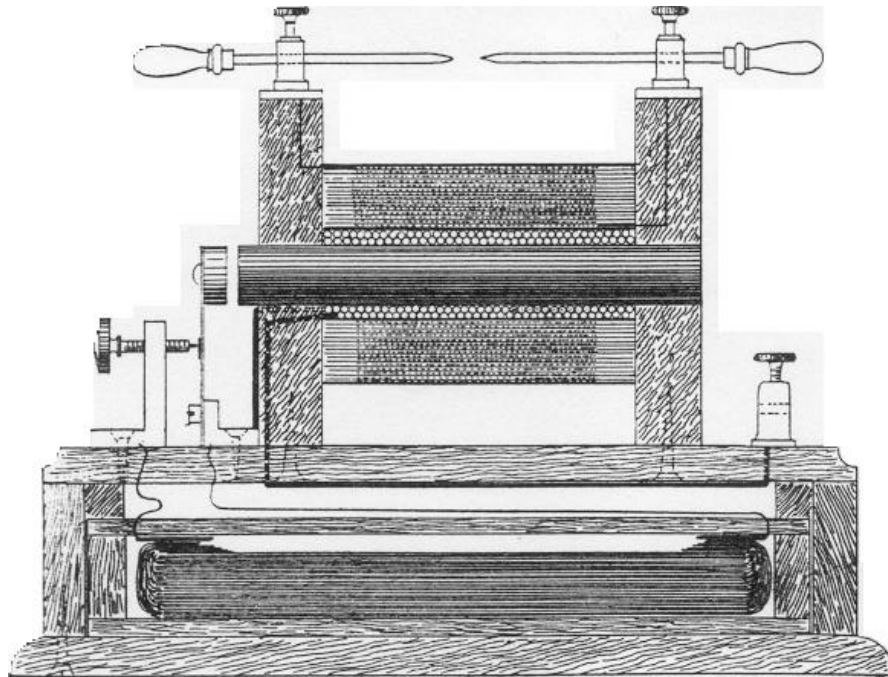
Die nötige Anordnung zur Erzeugung von Hochspannungen besteht demnach aus einer Primärspule, die mit relativ wenigen Windungen gewickelt ist, und einer Sekundärspule mit sehr vielen Windungen, die in nächster Nähe angebracht ist. Wird nun die Primärspule von einem zu- oder abnehmenden Strom durchflossen, so erzeugt dieser ein Magnetfeld. Das Magnetfeld induziert wiederum in der Sekundärspule einen Strom. Es entsteht somit eine Sekundärspannung, die sehr viel höher ist als die Primärspannung. Meist ist die Primärspule noch um einen Eisenkern gewickelt, was zu einer Verstärkung des Magnetfeldes führt. Insofern stimmt die Induktorentechnik vollkommen mit jener der Wechselstromtransformatoren überein.

Der entscheidende physikalische Unterschied zwischen den beiden Techniken liegt in der Modulation des eingespeisten Stromes. Die Effekte des abrupt beginnenden bzw. unterbrochenen Stromflusses bewirken, daß die Spannung beim Induktor bei Unterbrechung des Stromkreises um einiges höher ist als beim Schließen. Dies erklärt sich aus der Selbstinduktion der Primärspule, denn der ansteigende Strom erzeugt nach Schließung des Stromkreises ein Magnetfeld. Dieses induziert aber auch in der Primärspule einen Strom, der ersterem genau entgegen läuft. Das führt zu einem zeitlich verzögerten Stromverlauf in der Primärspule. Die Spannung an der Primärspule nimmt dabei, ausgehend vom Wert der Batteriespannung, stetig ab.

Beim Öffnen des Stromkreises reißt der Strom hingegen plötzlich ab. Das Magnetfeld ändert sich daraufhin sehr schnell und versucht seinerseits wieder einen Strom in der Primärspule zu induzieren. Da der Stromkreis aber unterbrochen ist, läuft der induzierte Strom gegen die geöffneten Kontakte an, und es entstehen hohe Spannungen. Die Spannung wächst an, bis sich ein Funke bildet, der den Stromfluß ermöglicht. Die Funktion des Kondensators beruht, einfach ausgedrückt, auf der Verzögerung des Öffnungsfunkens. Dazu muß die Kondensatorkapazität für jede Apparatur optimiert werden.

Der Spannungsverlauf an der Sekundärspule entspricht in seinem Verlauf dem an der Primärspule. Allerdings sind die Werte der Spannung dem Verhältnis der Windungszahlen entsprechend höher. Das bedeutet, daß der Induktor einen kurzen Hochspannungsstoß liefert, dem aber eine entgegengesetzte Spannung geringerer Stärke folgt. Für die Praxis war dies jedoch unwichtig, da die üblichen Anwendungen meist nicht auf die schwächere Spannung reagierten. So bricht z.B. der Entladungsstrom in einer Geissleröhre kurz ab, was aber schon bei 50 Unterbrechungen pro Sekunde mit bloßem Auge gar nicht beobachtbar ist.

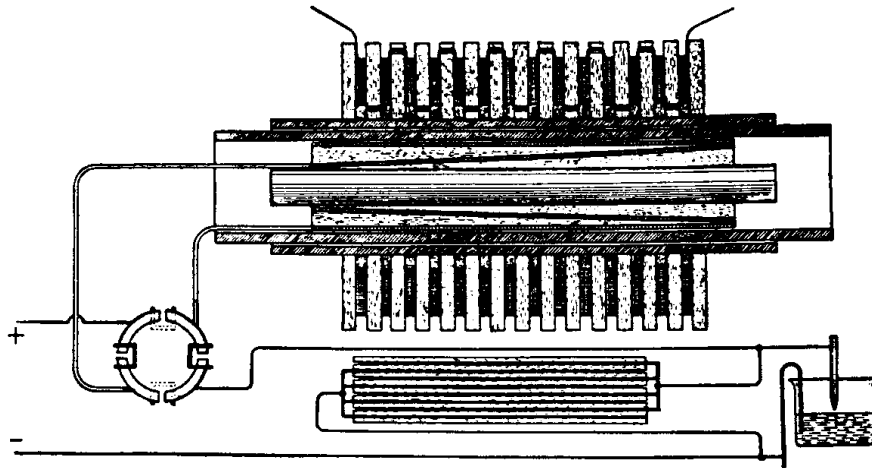
Bis auf sehr wenige Ausnahmen haben Induktoren eine typische äußere Form. Sie bestehen aus einem zylindrischen Spulenkörper, der auf einer Holzkonsole angebracht ist. Beträchtlicher ist der Unterschied in der Größe. Die Länge variiert von etwa zehn Zentimetern bis zu Ausmaßen von über einem Meter. Allgemein gilt: Je größer der Spulenkörper eines Induktors, desto leistungsfähiger ist er.



Im inneren Aufbau unterscheiden sich die kleinen Funkeninduktoren von den größeren. Ein kleiner Induktor ist in der Lage, Spannungsspitzen bis zu einer Million Volt zu erzeugen. Seine Primärspule besteht meist aus zwei Lagen eines mit Baumwolle umsponnenen Kupferdrahtes von einigen Metern Länge, der auf eine Eisenstange gewunden ist. Darauf ist, nur durch einige Lagen paraffin-getränktes Papier getrennt, direkt ein mit einer Harz-Paraffin-Mischung isolierter Draht zur Sekundärspule gewickelt. Dieser hat eine Länge von einigen tausend Metern.

Zur Stromunterbrechung ist am Induktor ein einfacher Unterbrecher angebracht, ein sogenannter Wagnerscher oder Neefscher Hammer. Er besteht aus einem Eisenstück, das an einem federnden Metallplättchen befestigt ist, und einem feststehenden, mit einer Schraube verstellbaren Platinkontakt. Der Unterbrecher ist so angebracht, daß das Eisenstück vom Magnetfeld des Eisenkerns angezogen wird und so das Metallplättchen vom Platinkontakt trennt. Die Unterbrechung erfolgt genau zu dem Zeitpunkt, wenn der Strom in der Primärspule maximal ist, und endet, wenn das Magnetfeld auf einen minimalen Wert abgefallen ist.

Zur Minimierung des Unterbrechungsfunkens ist der Induktor mit einem Kondensator versehen. Dieser befindet sich meist in dem Holzkasten, auf dem der Induktor montiert ist. Der Kondensator besteht aus mehreren Lagen Stanniolstreifen, die durch paraffin-getränktes Papier getrennt sind. Seine Kapazität ist von der Größe des Induktors und der Art des verwendeten Unterbrechers abhängig. Zusätzlich ist oft noch ein einfacher Stromwender am Induktor angebracht, der das Umpolen der Batteriespannung erleichtert.



Bei großen Induktoren, d.h. bei Apparaten mit Sekundärspulen von mehr als 30000 Windungen, entstehen Schwierigkeiten bei der Isolation der Spulen. Da die Spannungen enorm hoch sind, würde eine einfache Anordnung, wie sie oben beschrieben ist, schnell zum Kurzschluß und somit zur Zerstörung des Induktors führen. Um dem vorzubeugen, ist einerseits die in Isoliermasse eingebettete Primärspule in einem Ebonitrohr montiert, das sie von der Sekundärspule trennt. Weit wichtiger ist jedoch die spezielle Wicklung der sekundären Spule. Sie ist aus vielen flachen Einzelspulen zusammengesetzt, die durch Isolierscheiben räumlich voneinander getrennt sind. Dies soll verhindern, daß zwei Drahtabschnitte benachbart sind, zwischen denen schon viele Windungen liegen und die damit allzugroße Spannungs differenz aufweisen.

Natürlich werden durch die höheren Spannungen großer Induktoren auch höhere Ansprüche an Unterbrecher, Kondensator und Stromwender gestellt. Das führte bei einigen Apparaten zur Aufspaltung des Geräts in einen reinen Spulenkörper und Zusatzapparaturen. Insbesondere gilt dies für den Entlader, der im Falle kleiner Induktoren aus zwei direkt auf dem Spulenkörper montierter Metallspitzen besteht, bei großen Geräten aber entweder gesondert auf dem Kondensatorkasten angebracht ist oder auf Stative gestellt eine Extraeinheit bildet.

Ernst Ruhmer, *Konstruktion, Bau und Betrieb von Funkeninduktoren und deren Anwendungen*, Leipzig 1904 (Abb. S. 23 und 34). - Max Kohl, *Preisliste Nr. 21: Physikalische Apparate*, Chemnitz [1905], S. 742-747. - S. Valentiner, „Auf Induktion beruhende Apparate,“ in: H. Geiger, Karl Scheel (Hrsg.), *Handbuch der Physik, Band XVI: Apparate und Meßmethoden für Elektrizität und Magnetismus*, Berlin 1927, S. 87ff. - Georges Shiers, „The Induction Coil,“ *Scientific American* 224 (1971), 80-87.

2.3. Die Funkeninduktoren des Lyzeum in Regensburg

Das Regensburger Lyzeum [→ 8.7.], eine Schule, die zwischen Gymnasium und Universität angesiedelt war, besaß in seiner Lehrmittelsammlung fünf Funkeninduktoren und einige Schlitteninduktoren. Sie stammen alle aus der Zeit von 1878 bis 1910 und befinden sich heute in der historischen Sammlung der Universität. Außerdem ist zahlreiches Zubehör der Induktoren erhalten geblieben, wie etwa Funkenständer und Unterbrecher. Die Vielzahl dieser Instrumente im Physikalischen Kabinett des Lyzeum verdeutlicht die Bedeutung der Induktoren für Demonstrationen und Forschung.

2.3.1. Kleiner Funkeninduktor, 1910

Holz, Messing, Eisen, Kupfer, Ebonit, Isoliermasse, Pappe, Platin u.a.; 10,5 x 22 x 14 cm;
Inv.-Nr.: 026624800

Mit diesem Funkeninduktor konnte die niedrige elektrische Spannung einer Batterie in Hochspannung transformiert werden. Der Apparat besteht aus einem zylindrischen Körper, der an beiden Seiten durch quadratische Ebonitplatten abgeschlossen ist. An den beiden Klemmen auf dem Körper kann die Hochspannung abgegriffen werden. Innerhalb des Zylinders befinden sich die Primär- und die Sekundärspule, in deren Zentrum ein aus vielen ausgeglühten Metallstäben gefertigter Eisenkern angebracht ist. Zur Stromunterbrechung dient ein Wagnerscher Hammer, der seitlich des zylindrischen Körpers befestigt ist. Er besteht aus einem Metallstück, das, durch einen federnden Metallstreifen geführt, zwischen einem verstellbaren Stromkontakt und dem Eisenkern hin und her schwingen kann. Die gesamte Apparatur ist fest auf einen Holzkasten montiert, auf dem sich außerdem ein Stromwender und Kabelklemmen befinden. Im Inneren des Kastens ist ein Kondensator untergebracht, der die Leistung des Unterbrechers erhöht. Allerdings ist in diesem Gerät ein Elektrolytkondensator eingebaut, der wohl nachträglich als Ersatz für den ursprünglichen Papier-Stanniol-Kondensator eingelötet wurde.

Wahrscheinlich handelt es sich um denjenigen Funkeninduktor, den das Lyzeum im Jahre 1910 gekauft hat. Im alten Inventar ist dieser mit einer Funkenlänge von 5 cm und einen Preis von 100 Mark verzeichnet (Inv.-Nr. V/327).

2.3.2. Kleiner Funkeninduktor

Holz, Messing, Eisen, Kupfer, Ebonit, Isoliermasse, Paraffin, Papier, Stanniolpapier; 17 x 37 x 18 cm; Inv.-Nr.: 026622100

Im übrigen ähnlich wie 2.3.1. ist der Spulenkörper hier an beiden Seiten mit quadratischen Ebonitscheiben isoliert, und auf dem Holzkasten befindet sich ein walzenförmiger Stromwender. Im Inneren des Bodensockels ein Kondensator aus paraffiniertem Papier und Stanniolpapier.

2.3.3. *Funkeninduktor, 1896*

Holz, Messing, Eisen, Kupfer, Ebonit, Isoliermasse, Filz, Paraffin, Papier, Stanniolpapier u.a.; 25 x 45 x 27 cm; bez.: Leipziger Glasinstrumentenfabrik, Robert Götze, Leipzig, Halle a. S., P.K.M. 1498; Inv.-Nr.: 026581000

Sonst ähnlich wie 2.3.1. ist der Eisenkern dieses Induktors massiv. Auf dem Holzkasten sitzt ein Stromwender mit Hebel. Am Spulenkörper des Apparates ist ein Teil der Schutzschicht abgeblättert. Dadurch ist die Isoliermasse zu erkennen, in die die Sekundärspule eingebettet ist. Im Inneren des Bodensockels befindet sich ein Kondensator aus paraffiniertem Papier und Stanniolpapier.

Dieses Instrument ist im 1896 Inventar des Lyzeum als „Funkeninduktor 15 cm Funkenlänge“ erwähnt (Inv.-Nr. V/216, 365 Mark). Später ist der Vermerk „Schraube von Wagner-Hammer beschädigt“ hinzugesetzt. Die Verstellerschraube des Unterbrechers besteht jetzt aus einer mit zwei Muttern fixierten Schraube.

2.3.4. *Großer Funkeninduktor*

Holz, Messing, Eisen, Kupfer, Ebonit, Isoliermasse, Platin u. v. m.; 30 x 68,5 x 33,5 cm; bez.: Anschluß für Kondensator; Inv.-Nr.: 026621300

Sonst ähnlich wie 2.3.1. befindet sich hier auf dem Holzkasten ein Stromwender. Der ursprüngliche Kondensator ist später durch zwei modernere Elektrolytkondensatoren ersetzt worden.

2.3.5. *Schlitteninduktorium, 1884/85*

Holz, Messing, Eisen, Kupfer, Seide u. v. m.; 12,5 x 40 x 15,5 cm; Inv.-Nr.: 026625600

Ein Schlitteninduktorium wurde eingesetzt, um variable Hochspannungen zu erzeugen. Sein Aufbau entspricht im Prinzip dem eines Funkeninduktors. Jedoch läßt sich bei diesem Apparat die Sekundärspule in einer Führungsschiene gegen die Primärspule verschieben. Je nachdem, wie weit sich Primär- und Sekundärspule überragen, ändert sich die magnetische Kopplung zwischen den Spulen und damit auch die Höhe der resultierenden Spannung. Der Unterbrecher dieses Induktors besteht aus einem einfachen Relais, das zwei kleine Spulen zur Steuerung des Schaltvorganges benutzt. Auf der Grundplatte des Instruments befindet sich außer den Klemmen für die Verkabelung noch ein Hauptschalter.

Das Gerät ist mit der Nummer V/114 im Inventar des Lyzeum Regensburg aufgeführt und wurde 1884/85 zu einem Preis von 86 Mark gekauft.

2.3.6. *Großer Funkeninduktor, 1900*

Holz, Messing, Eisen, Kupfer, Ebonit, Isoliermasse u.v.m., auf Mahagonigestell; 57 x 138 x 45 cm; bez.: Max Kohl, Werkstätten für Präzisionsmechanik & Elektrotechnik, Chemnitz i/S.,

1306; dabei drei Schaltstöpsel, bez.: „Weiche Röhren“, „Mittelweiche Röhren“, „Harte Röhren“; Inv.-Nr.: 026532200

Dieses Induktorium wurde zur Herstellung von Röntgenaufnahmen gefertigt. Es kann einen Funken von über 60 cm Länge erzeugen. Der für 100 V Gleichspannung ausgelegte Apparat besteht aus der Primärspule, die sich im mittleren dünneren Zylinder befindet, und der Sekundärspule im dickeren Teil des Instruments. Die gesamte Anordnung steht auf einem hölzernen Sockel, dieser auf einem eigenen Wagen. Unterbrecher, Schalter und sonstiges Zubehör bilden eigenständige Apparate, die dem Induktorium zugeschaltet wurden. Zudem ist es bei diesem Instrument möglich, die Selbstinduktion der Primärspule mit Hilfe von Schaltstöpseln zu verändern, da die Primärspule aus mehreren Teilen aufgebaut ist, die sich einzeln zuschalten lassen. Durch Änderung der Selbstinduktion kann die Ausgangsleistung des Induktoriums geregelt werden.

Der Apparat wurde im Schuljahr 1900/01 vom Lyzeum gekauft. Er kostete 1510 Mark und wird in der Inventarliste des Physikalischen Kabinetts unter der Nummer V/271 geführt. Die Herstellerfirma Max Kohl AG war 1876 in Chemnitz gegründet worden und entwickelte sich rasch zu einem der führenden Lieferanten für Schul-Laborgerätebedarf.

Max Kohl, *Preisliste Nr. 21: Physikalische Apparate*, Chemnitz [1905], S. 743.

2.4. Simon-Unterbrecher, 1901/02

Glas, Keramik, Metall; 54 cm, Ø 21,5 cm; Inv.- Nr.: 026555100

Der Simon-Unterbrecher, nach dem Göttinger Physiker Hermann Simon (1870-1918) benannt, gehört zur Gruppe der Elektrolyt-Unterbrecher, die für sehr große Funkeninduktoren verwendet wurden. Er besteht aus einem großen Glasgefäß, in das die Elektrolytflüssigkeit eingefüllt wird. An der Seite des Gefäßes befindet sich eine Elektrode. Die zweite Elektrode befindet sich in einem zapfenförmigen Porzellan-Diaphragma, das an seiner Unterseite ein kleines Loch besitzt. Der Porzellanzapfen ist in den Deckel des Gefäßes eingelassen und hängt in der Mitte des Glases. Das Prinzip des Unterbrechers besteht darin, daß die beiden Elektroden mit einer starken Spannungsquelle verbunden werden und so ein Stromfluß im Elektrolyten entsteht. Innerhalb des kleinen Loches ist die Stromdichte dann sehr hoch, so daß sich die Flüssigkeit dort erhitzt, verdampft und eine Gasblase bildet. Der Strom ist nun so lange unterbrochen, bis sich die Blase löst und der Elektrolyt in das Loch zurückströmt. Ist der Stromfluß wieder hergestellt, beginnt der Ablauf von neuem. Mit Hilfe dieser Vorrichtung läßt sich eine Unterbrechungsfrequenz von über 1000 Unterbrechungen pro Sekunde erreichen.

Hermann Simon, „Neuer Flüssigkeitsunterbrecher,“ *Annalen der Physik* 68 (1899), 860-868.

Mi.K.

2.5. *Glühlichtoszillograph*

Glas, Nickelelektroden; 19 x 3 cm; bez.: RGS 229; Inv.-Nr. 000041370

Funkeninduktoren liefern Wechselspannung mit hoher 'Öffnungsspannung' und einer kleinen, gegenpoligen 'Schließungsspannung'. Um die Stromrichtung sichtbar zu machen, hatte 1904 der Berliner Physiker und spätere Direktor der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt Ernst Gehrke (1878-1960) eine Glimmlampe mit langen geraden Elektroden, engem Elektrodenabstand und mäßigem Vakuum vorgeschlagen. Da die Ausdehnung des Glimmlichts an den Elektroden ein Maß für die Stromintensität ist, kann man z.B. im rotierenden Spiegel den Verlauf des Wechselstroms sichtbar machen.

Bei Röntgenröhren wurde die Vorrichtung als Indikator für Umkehrströme benutzt. Verbindet man nämlich einfache Röntgenröhren direkt mit dem Induktor, so gelangt auch die falschpolige Schließungsspannung an die Elektroden und verursacht einen 'Umkehrstrom', der Lebensdauer und Funktion der Röhre empfindlich beeinträchtigt. Schaltet man eine Gehrke-Röhre in den Stromkreis, so ist bei richtigem Stromfluß nur die zum negativen Pol des Induktors weisende Stabelektrode von Glimmlicht umgeben. Fließt der Entladungsstrom jedoch auch in umgekehrter Richtung, dehnt sich das Glimmlicht auf die Gegenelektrode aus. Als Maß für die Intensität des Umkehrstroms konnten Markierungen auf dem Glasmantel angebracht werden.

Die seit 1885 bestehende Herstellerfirma „Vereinigte Physikalisch-Medizinische Werkstätten von Reiniger, Gebbert und Schall“ in Erlangen, seit 1895 von Max Gebbert allein geführt, wuchs durch geschickte Fusionen zu einem der bedeutendsten Hersteller im Bereich der Medizintechnik. 1922 kaufte RGS die Röntgenröhren-Werke Phönix und Veifa, 1924 übernahm jedoch Siemens & Halske die Anteilmehrheit, und 1931 wurde der Firmenname in Siemens Reiniger Werke AG geändert.

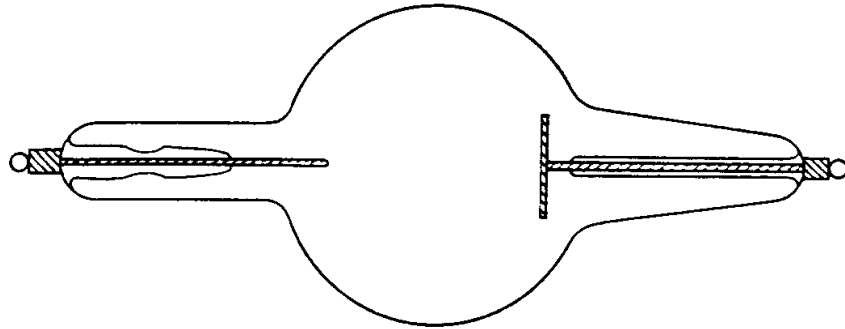
Ernst Gehrke, „Eine einfache Methode zur Bestimmung des Stromverlaufs hochgespannter Wechselströme,“ *Berichte der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 6 (1904), 176-178. - Ders., „Erscheinungen der Glimmentladung an den Elektroden,“ in: *Handbuch der Radiologie*, hrsg. von Erich Marx, Bd 3, Leipzig 1916, S. 170-244, hier S. 193-196.

2.6. *Zwei Gasfunkenstrecken, nach 1917*

Glas, Aluminium; 38 x 15 cm; bez.: „Gasfunkenstrecke D.R.P. 299593, Inland, Elektrodenabstand 10 cm, 178979“ bzw. „... Elektrodenabstand 6 cm, 170742“; Inv.-Nr. 021512000 bzw. 020443900

Da bei Induktoren gegenpolige Öffnungs- und Schließströme auftreten, schaltete man beim Betrieb von Röntgenröhren meist 'Ventilröhren' vor, die dafür sorgten, daß nur die eine Halbphase des Induktionsstromes wirksam wird. Anderenfalls hätte der Rückstrom die Antikathode zerstört und unkontrollierte Entladungen („Schließungslicht“) verursacht. Als 'Ventilröhren' dienten anfangs einfache Funkenstrecken zwischen Spitzen- und Plattenelektrode, die zur

Schalldämpfung in einem Glaszylinder eingeschlossen waren. Um chemische Reaktionen mit der Luft und die Korrosion des Elektrodenmaterials zu verhindern, schlägt das 1917 erteilte Deutsche Reichspatent 299593 der Reiniger, Gebbert & Schall AG vor, die Funkenstrecke in einen abgeschmolzenen, CO₂-gefüllten Glaskolben zu legen. Der Elektrodenabstand legt die Arbeitsspannung fest. Die beiden Stücke tragen keine Herstel-



lerangabe, stammen aber wohl von der Firma C.H.F. Müller in Hamburg, die während des Weltkriegs die Röhrenproduktion für das Erlanger Stammhaus von Reiniger, Gebbert & Schall übernommen hatte.

D.R.P. 299593 vom 25. Juli 1917. - Paul Rønne, Arnold B.W. Nielsen, *Development of the Ion X-Ray Tube* (Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium, Bd 35), Kopenhagen 1986, S. 39-40, 45, 237-241 (Abb. S. 240).

C.M.

3. HOCHVAKUUM UND QUECKSILBERLUFTPUMPEN

Die Erforschung der vielfältigen Erscheinungen, die sich an Gasentladungsröhren beobachten lassen, führte technisch-instrumentelle Innovationen und experimentelle Forschung zusammen. Um die apparativen Voraussetzungen zu schaffen, mußten einerseits leistungsfähige Vakuumpumpen und andererseits labortaugliche Hochspannungsquellen erfunden werden. Deren fortlaufende Verbesserung ergab sich wiederum aus den wachsenden Ansprüchen des fortschreitenden neuen Arbeitsgebietes der Physik.

Da die Experimentatoren für ihre Versuche mit den Röhren ein extrem hohes Vakuum benötigten, das jedoch mit herkömmlichen Kolbenpumpen nicht zu erreichen war, griffen sie auf eine schon lange bekannte, vorerst aber noch uneffiziente und aufwendige Methode zurück - das Torricellische Vakuum. Technische Raffinesse und handwerkliches Geschick trugen dazu bei, daß diese Methode zu brauchbaren Apparaturen führte, die sich in mehreren Formen von Quecksilberluftpumpen zeigen. Diese Pumpen gehörten bald zum Standardinstrumentarium jedes Labors. Quecksilberluftpumpen stellten aber nicht nur ein Hilfsmittel der Röhrentechnik dar, sie öffneten darüber hinaus den Zugang zu

einer neuen Dimension des Vakuums und schufen somit die Grundlage für die Hochvakuumphysik.

Das Prinzip der Quecksilberluftpumpen entspricht dem des Barometers, das der Florentiner Physiker Evangelista Torricelli (1608-1647) im 17. Jahrhundert entdeckt hatte. Torricelli füllte ein Glasrohr, das ein offenes und ein geschlossenes Ende hatte, mit Quecksilber. Danach drehte er das Rohr vorsichtig um und stellte es mit der schmaleren Seite nach unten in ein Gefäß mit Quecksilber. Dabei beobachtete er, daß das Quecksilber nur zum Teil aus dem Rohr ausfließt und sich im oberen Teil des Rohres ein Vakuum bildet. Dieses Vakuum hat einen extrem niedrigen Druck von unter einer Millionstel Atmosphäre. Dies bedeutet jedoch nicht, daß ein völlig leerer Raum vorliegt, da auch bei diesem Druck noch einige Milliarden Atome pro Liter vorhanden sind. Den Wissenschaftlern des 19. Jahrhunderts reichte dieses Vakuum jedoch aus. Sie standen nur vor dem Problem, daß sie größere und vor allem von der Pumpe unabhängige Gefäße evakuieren wollten. Dies führte zur Entwicklung von teils sehr komplizierten Pumpanlagen.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts fanden zwei Typen von Quecksilberluftpumpen die weiteste Verbreitung: Die Geissler-Toeplersche Pumpe und die Sprengelsche Pumpe. Von beiden existierten zudem unzählige Varianten, die meist kleine Verbesserungen ihrer Urformen darstellten. In Joseph Fricks *Physikalische Technik* von 1905 werden allein 21 verschiedene Formen der Geissler-Toeplerschen Pumpe aufgezählt.

Mit Beginn des 20. Jahrhunderts verloren die Quecksilberluftpumpen ihre Bedeutung für die Hochvakuumphysik. In wissenschaftlichen Labors wurden sie durch die rotierenden Quecksilberpumpen abgelöst und ab 1915 auch durch die Diffusionspumpen, die noch höhere Vakuua ermöglichten. Beide Pumpen wurden von dem Freiburger Privatdozenten Wolfgang Gaede (1878-1945) entwickelt, der später Nachfolger von Heinrich Hertz in Karlsruhe werden sollte und als der eigentliche Begründer der Hochvakuumtechnologie gilt. Da mit der raschen Verbreitung elektrischer Glühlampen von 1881 an das Vakuum auch industriell an Bedeutung gewann, entstanden zudem motorbetriebene Kolbenluftpumpen. Diese waren einfach zu betreiben und ermöglichten durch moderne Ventile und spezielle Öle ein Vakuum, das zum Betrieb von Gasentladungsröhren ausreichte. Diese Eigenschaften ließen sie auch für Demonstrationsexperimente populär werden.

Die Entwicklung der Quecksilberluftpumpen zeigt, wie stark praktische Fähigkeiten von Technikern und Instrumentenherstellern in den wissenschaftlichen Betrieb einfließen. Die Fähigkeiten von Heinrich Geissler, der Techniker war, von Hermann Sprengel, der aus der angewandten Chemie kam, und von Charles Gimingham, der alle technischen Arbeiten in Crookes' Labor ausführte, trugen entscheidend zur Verbesserung der Vakuumtechnik bei. Alle drei waren mit dem Glasblasen vertraut, was zur Konstruktion der Pumpen notwendig war, jedoch von kaum einem Wissenschaftler beherrscht wurde. Andererseits kamen viele nützliche Verbesserungsvorschläge von Seiten der Wissenschaftler und wurden von Technikern in die Apparatur integriert. Eine ständige Kommunika-

tion von Praktikern und Wissenschaftlern trug im Falle der Hochvakuumphysik dazu bei, daß neue Entdeckungen gemacht wurden. Die außerordentlichen Erfolge dieser Technik ermöglichten es, daß sich ein neues Teilgebiet der Physik etablierte.

Es ist nicht bekannt, ob sich eine Quecksilberluftpumpe in der Sammlung des Regensburger Lyzeum befand. Da das ältere Inventar nur Röhren verzeichnet, die schon vom Hersteller evakuiert worden waren, ist dies eher unwahrscheinlich. Erst 1907 kaufte das Lyzeum eine moderne Kolbenluftpumpe [→ 3.5.], mit der es möglich war, auch solche Experimente durchzuführen, bei denen die Röhre während des Experiments evakuiert werden mußte.

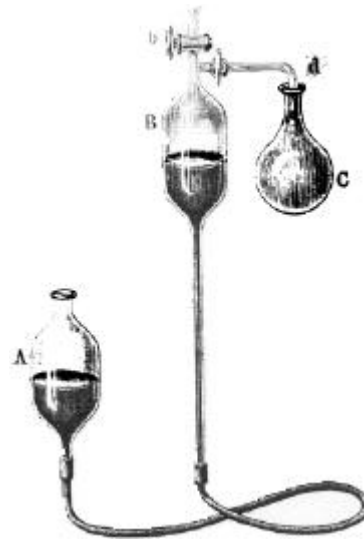
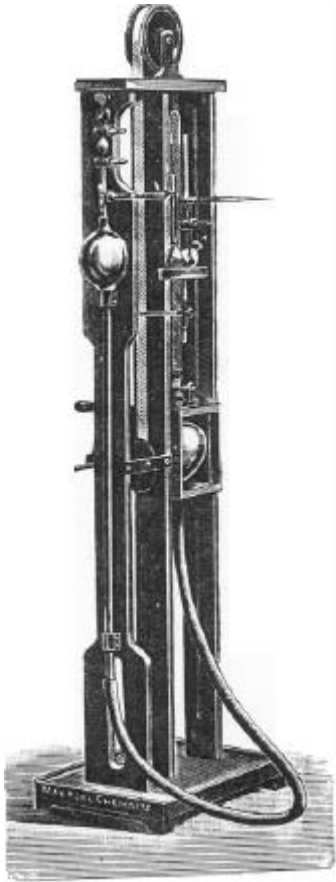
Joseph Frick, *Physikalische Technik oder Anleitung zu Experimentalvorträgen*, 7. Aufl., Braunschweig 1905, Bd. 1, S. 927-940. - Wilhelm Hallwachs, „August Toepler: Nachruf,“ *Sitzungsberichte der Königlich-Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften* 64 (1912), 479-497. - K.R. Webb, „Sprengel and the Vacuum Pump (1865),“ *Chemistry in Britain* 1 (1965), 569-571. - Robert DeKosky, „William Crookes and the Quest for Absolute Vacuum in the 1870s,“ *Annals of Science*, 40 (1983), 1-18. - Alto Brachner, „Wolfgang Gaede,“ in: *Dictionary of Scientific Biography*, Bd 17, New York 1990, S. 328-331.

3.1. Einfache Geisslerpumpe

Schemazeichnung aus: Joseph Frick, *Physikalische Technik*, Bd. I/2, Braunschweig 1905, S. 932, Fig. 2612 und 2613

Heinrich Geissler entwickelte seine Pumpe im Zusammenhang mit den Experimenten an den Geisslerschen Röhren [→ 4.]. Die Abbildung zeigt das Prinzip der Geisslerschen Pumpe sowie eine komplette Apparatur, wie sie im Handel erhältlich war. Den Hauptteil der Pumpe bildet ein Gefäßbarometer, das aus zwei Behältern besteht, die über einen flexiblen Schlauch miteinander verbunden sind. Der Behälter **A** dient als Reservoir für das Quecksilber. Der Behälter **B** hat zwei Ausgänge, die jeweils mit Glashähnen gesperrt bzw. geöffnet werden können. Am seitlichen Ausgang **a** ist der zu evakuierende Rezipient **C** an der Dichtung **d** montiert. Ausgang **b** führt ins Freie oder in ein Gasauffanggefäß.

Zur Bedienung der Pumpe mußte zuerst der Hahn bei **b** geöffnet und der bei **a** geschlossen werden. Dann wurde der Behälter **A** angehoben, bis sich **B** vollständig mit Quecksilber gefüllt hatte und die gesamte Luft bzw. das Gas aus **B** entwichen war. Danach wurde **b** verschlossen, **a** geöffnet und **A** wieder gesenkt. Das Quecksilber zieht nun durch sein eigenes Gewicht die Luft aus dem Rezipienten **C** in den Behälter **B**.



Durch mehrmaliges Wiederholen dieses Vorgangs konnte der Experimentator eine Gasentladungsröhre oder andere Rezipienten evakuieren. Dieser Vorgang bean-

spruchte jedoch viel Zeit und Kraft. Oft mußte eine Röhre mehrere Tage lang ausgepumpt werden, um ein bestimmtes Experiment durchführen zu können. Erste Erleichterung brachte zwar eine Hebevorrchtung mit Seilwinde für das Quecksilberreservoir, da jedoch Hähne und Dichtung nie völlig luftdicht waren, durften keine Pausen während des Vorganges gemacht werden. Somit war die Evakuierung eine mühselige Arbeit, die meist von mehreren Labordienern erledigt werden mußte.

Max Kohl, *Preisliste Nr. 21: Physikalische Apparate*, Chemnitz [1905], S. 270.

3.2. *Geissler-Toeplersche Quecksilberluftpumpe*

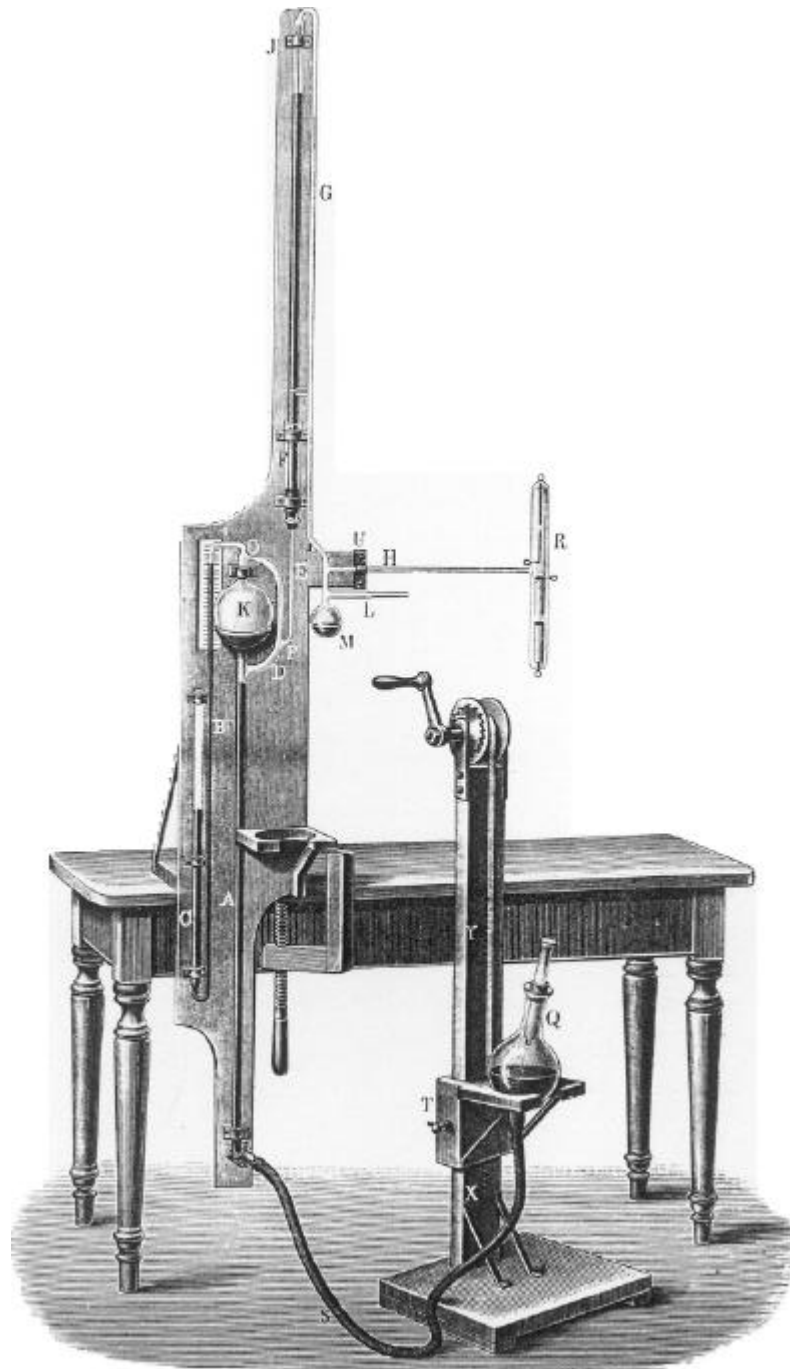
Schemazeichnung aus: Joseph Frick, *Physikalische Technik*, Bd I/2, Braunschweig 1905, S. 936, Fig. 2618

Eine grundlegende Verbesserung der Geisslerschen Pumpe stammt von dem Physiker August Toepler. Toepler wurde 1836 als Sohn eines Lehrers und Musikers in Brühl bei Bonn geboren. Entgegen dem Willen seines Vaters studierte er 1855-1858 am Königlichen Gewerbeinstitut (später Technische Hochschule) in Berlin praktische Chemie. Seit 1859 arbeitete er an der Königlichen

Landwirtschaftlichen Akademie in Poppelsdorf bei Bonn, wo er auch mehrere Jahre die Professur für Physik, Technologie und Chemie vertrat. Von Poppelsdorf aus promovierte Toepler 1860 mit einem physikalischen Thema an der Universität Jena. Vier Jahre nach seiner Promotion folgte Toepler einem Ruf als Chemieprofessor an das Baltische Polytechnikum in Riga. 1869 trat er eine Stellung als ordentlicher Professor für Physik an der Universität Graz an, wo er mit Ludwig Boltzmann zusammenarbeitete. Im Herbst 1879 ging Toepler mit seiner Familie nach Dresden, um eine Professur an der dortigen Technischen Hochschule anzutreten. Toepler starb 1912 in Dresden.

Seine Vorschläge zur Verbesserung der Quecksilberluftpumpe veröffentlichte Toepler 1862 in *Dingler's Polytechnischem Journal* unter dem Titel „Ueber eine einfache Barometerluftpumpe ohne Hähne, Ventile, und schädlichen Raum“. Bei der Vakuumpumpe hat Toepler die fehleranfälligen, oft undichten Hähne [→ **a**, **b** in 3.1.] durch automatisch arbeitende Ventile ersetzt. Den Hahn **b** [→ 3.1.] ersetzte er durch ein U-förmiges Quecksilberbarometer, dessen offener Schenkel einen sehr viel größeren Durchmesser hatte als der dem Gefäß **B** zugewandte Schenkel. So konnte die aus **B** herausgedrückte Luft im breiten Schenkel Blasen bilden und entweichen, während der dünne Schenkel dies nicht zuließ. Die dem Rezipienten zugewandte Verbindung **a** setzte Toepler nun unterhalb des Behälters **B** an, so daß sich diese von selbst verschloß, wenn das Quecksilber durch Heben des Reservoirs **A** anstieg. Der große Vorteil von Toeplers Neuerungen bestand nicht nur darin, daß beim Evakuieren das lästige Hähneverstellen wegfiel, sondern vor allem darin, daß die Pumpe nun weniger anfällig gegen 'Lecks' war.

Die Abbildung zeigt eine einfache Ausführung einer Quecksilberluftpumpe nach dem Geissler-Toeplerschen Prinzip. Mit dieser Pumpe konnte ein Hochvakuum bis zu etwa 1/10000 Atmosphären ($\sim 10^{-4}$ bar) hergestellt werden. Das Kernstück der Pumpe ist das Reservoir **Q**, das mit einem Kautschukschlauch **S** über eine Glasröhre **A** mit dem Gefäß **K** verbunden ist. **B** und **C** bilden das Auslaßbarometer, das auch



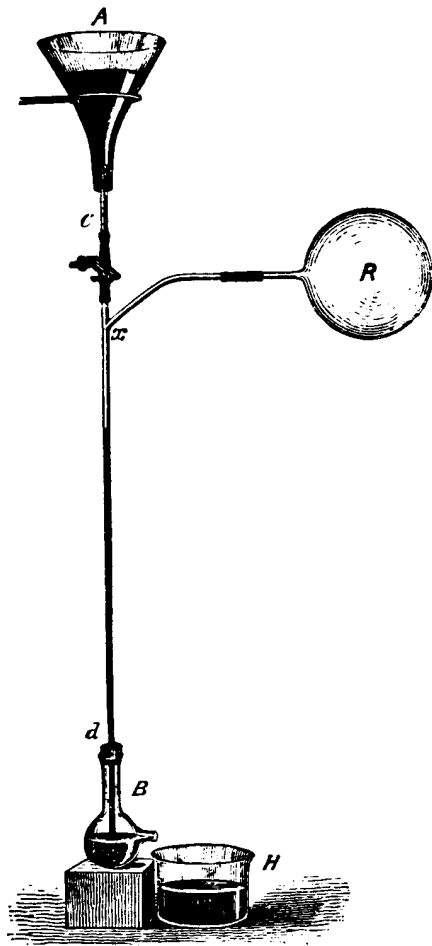
als Sprengelsche Pumpe verwendet werden kann, wenn das Quecksilber über **O** nach **B** läuft. **D** ist die Verzweigung, die über ein Quecksilberventil **F** zum Rezipienten **R** führt. Wird das Reservoir **Q** angehoben, so drückt das Quecksilber die Luft aus **K** über **B** und **C** heraus. Wird es wieder gesenkt, so saugt das Quecksilber über **D**, **P**, **E**, **J**, **G**₁ und **H** die Luft aus dem Rezipienten.

August Toepler, „Ueber eine einfache Barometer-Luftpumpe ohne Hähne, Ventile, und schädlichen Raum,“ *Polytechnisches Journal* 163 (1862), 426-432. - Max Kohl, *Preisliste Nr. 21: Physikalische Apparate*, Chemnitz [1905], S. 270.

3.3. Sprengelsche Quecksilberluftpumpe

Schemazeichnung nach: Hermann Sprengel, „Researches on the Vacuum,“ *Journal of the Chemical Society* 18 (1865), 9-21, hier S. 11; 10 x 4,5 cm

Die zweite weit verbreitete Pumpenform wurde von Hermann Sprengel erfunden. Sprengel wurde 1834 in Schillerslage bei Hannover geboren. Er promovierte 1858 in Heidelberg und ging danach nach England, wo er drei Jahre bei Sir Benjamin Brodie am Lehrstuhl für Chemie in Oxford Assistent war. 1862 zog Sprengel nach London und forschte am Royal College of Chemistry. Von 1865-1870 arbeitete er in der chemischen Industrie. Anschließend stellte er private Forschungen an. Seine wissenschaftlichen Arbeiten beschäftigten sich weitgehend mit Explosivstoffen. Insbesondere versuchte Sprengel neue ‘Sicherheitssprengstoffe’ zu finden. Sprengel wurde 1878 Mitglied der Royal Society, und 1893 verlieh ihm der deutsche Kaiser den Titel eines ‘Königlich Preußischen Ehrenprofessors’. Ohne je große finanzielle Gewinne aus seinen Entdeckungen gezogen zu haben, starb er 1906 in London.



Sprengel veröffentlichte 1865 im *Journal of the Chemical Society* eine Arbeit mit dem Titel „Researches on the Vacuum,“ in der er eine neuartige Quecksilberluftpumpe beschrieb. Diese Pumpe unterschied sich grundlegend von der Geissler-Toeplerschen Pumpe, da sie sowohl in der Konstruktion als auch in der Bedienung sehr viel einfacher war. Wie Geissler nutzte auch Sprengel das barometrische Prinzip. Anstatt jedoch das Quecksilber durch Auf- und Abbewegen eines Reservoirs als flüssigen Kolben zu verwenden, ließ Sprengel das Quecksilber portioniert nach unten fließen.

Sprengels Vakuumpumpe besteht prinzipiell aus einer langen, vertikalen Glasröhre von etwa 1,5 Meter Länge und etwa 2,5 mm Durchmesser. An der oberen Öffnung der Röhre ist ein trichterförmiges Reservoir A angebracht, und das untere Ende wird in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß B eingetaucht. Die Röhre hat in ihrem oberen Teil eine Verzweigung x, an der der zu evakuierende Rezipient R angeschlossen ist. Knapp oberhalb der Ver-

zweigung **x** befindet sich ein Hahn **C**,
der so reguliert werden kann, daß das
Quecksilber in mehr oder weniger
großen Portionen durch die Röhre
fließt.

Unterhalb des Gefäßes **B** ist eine Auffangwanne **H** für das durchgelaufene Quecksilber aufgestellt.

Die Bedienung der Pumpe ist einfach. Der Experimentator wartet, bis sich die Quecksilbersäule in der Röhre ein Stück unter die Verzweigung **x** gesenkt hat. Dann betätigt er den Hahn und läßt eine Portion Quecksilber in die Röhre einfließen. Diese fließt an der Verzweigung **x** vorbei und schließt dabei ein gewisses Gasvolumen ein, welches sie dann nach unten in das Gefäß **B** befördert. Da sich das Reservoir dabei langsam leert, muß der Experimentator nach einiger Zeit das Quecksilber aus der Auffangwanne **H** wieder in **A** gießen.

Wie auch bei der Geissler-Toeplerschen Pumpe fanden sich schnell Verbesserungsvorschläge, und es entstanden viele Varianten der ursprünglichen Pumpenform. Die nützlichsten Änderungen waren die Automatisierung des portionierten Quecksilberdurchflusses, ein Ventil in Form eines zweischenkligen Barometers als Schutz vor einem Durchschlag bei leerem Reservoir **A** und die Anbringung einer Vorpumpe, da die Wirkung der Sprengelschen Pumpe erst bei niedrigen Drücken optimal ist. Eine Variante der Sprengelschen Pumpe wurde von William Crookes [→ 6.1.] und seinem Assistenten Charles Gimmingham entwickelt, um die Versuche mit den Crookesschen Röhren zur strahlenden Materie durchzuführen. Crookes glaubte, mit noch komplizierteren Apparaturen ein Vakuum bis zu einer Billionstel Atmosphäre herstellen zu können.

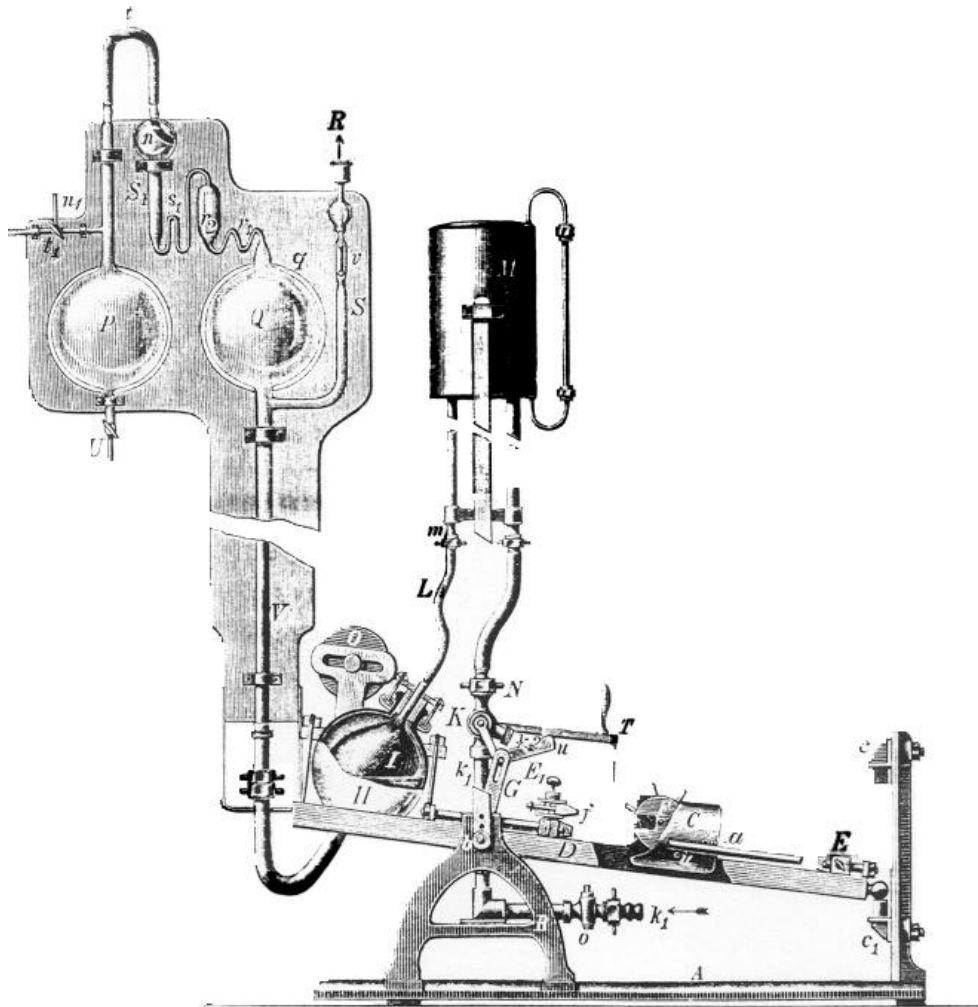
Hermann Sprengel, „Researches on the Vacuum,“ *Journal of the Chemical Society* 18 (1865), 9-21. - Max Kohl, *Preisliste Nr. 21: Physikalische Apparate*, Chemnitz [1905], S. 271. - K.R. Webb, „Sprengel and the Vacuum Pump (1865),“ *Chemistry in Britain* 1 (1965), 569-571. - Robert K. DeKosky, „William Crookes and the Quest for Absolute Vacuum in the 1870s,“ *Annals of Science* 40 (1983), 1-18.

3.4. *Rapssche Quecksilberluftpumpe*

Schemazeichnung aus: August Raps, „Selbstthätige Quecksilberluftpumpe,“ *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 11 (1891), S. 259

Der Berliner Physiker August Raps (1865-1920), später Direktor bei Siemens & Halske, stellte im Jahr 1891 eine Quecksilberluftpumpe vor, die vollkommen automatisch arbeitet. Es war ein Exemplar dieses Typs, das Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) im November 1895 bei der Entdeckung der X-Strahlen verwendete. Die eigentliche Pumpe (**I**, **V**, **Q**, **r₁**, **r₂**, **S** und **v**) entspricht bis auf Details einer Geissler-Toeplerschen Quecksilberluftpumpe. Vollkommen neu war hingegen die automatische Steuerung des Quecksilberflusses, deren Hauptbestandteile die Wippe **D** und die Wasserluftpumpe **M** bilden. Die Zeichnung zeigt die Pumpe in der Phase, in der das Quecksilber aus **Q** über **V** in das Reservoir **I** zurückläuft und den Rezipienten evakuiert. Füllt sich nun das Reservoir **I** über ein bestimmtes Gewicht an Quecksilber, so kippt die Wippe und schaltet dabei über den Wasserhahn **K** die Wasserluftpumpe ein. Diese drückt nun das Quecksilber aus dem Reservoir **I** in die Vakuumpumpe zurück. Hat sich das Reservoir **I** geleert, so bewegt sich die Wippe wieder in ihre Ausgangsposition zurück und unterbricht dabei die Wasserzufuhr der Hilfspumpe

M, woraufhin das Quecksilber wieder in I strömt. An an eine Druckwasserleitung angeschlossen, arbeitete die Pumpe vollkommen selbstständig.



August Raps, „Selbstthätige Quecksilber-Luftpumpe,“ *Annalen der Physik* 43 (1891), 629-637; 48 (1893), 377-379. - Ders., „Selbstthätige Quecksilberluftpumpe,“ *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 11 (1891), S. 256-262.

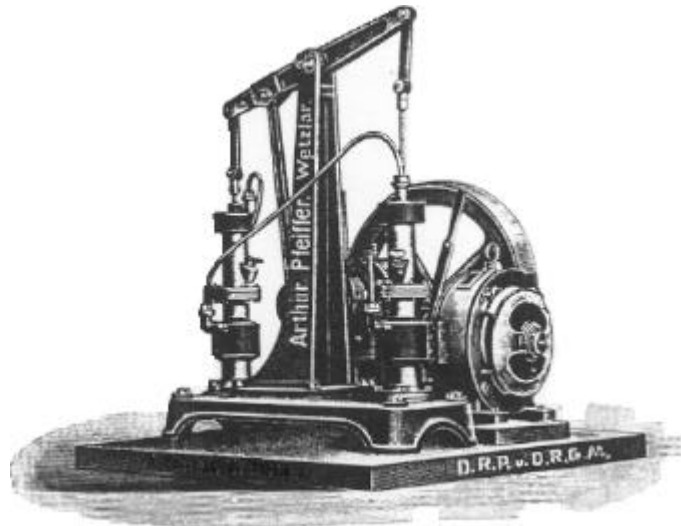
3.5. Duplex-Geryk-Öl-Luftpumpe, 1907

Messing, Kupfer, Gußeisen, Stahl, Lederdichtungen; 67,5 x 60 x 57 cm; bez.: A. Pfeiffer, Wetzlar, D.R.P., No 9641, Fleuss Patent, Made in Germany; Schwungrad bez.: 30 Touren; Inv.-Nr.: 026467900

mit zugehörigem Elektromotor; Eisen; ohne Herstellerangabe; bez.: 110 V Gleichstrom, 1/8 PS; Inv.-Nr. 076540700

Der Nachteil der Quecksilberluftpumpen bestand in ihrer großen Empfindlichkeit, der umständlichen Reinigung und der Tatsache, daß stets mindestens eine geübte Hilfskraft zum Betrieb der Pumpe benötigt wurde. Auch Kolbenpumpen waren in Handhabung und Wartung kompliziert.

Die kompakten, ein- oder zweizylindrigen Pumpen des von Arthur Pfeiffer in Wetzlar angebotenen Typs besaßen diese Nachteile nicht und setzten sich deshalb in Schulen und kleinen Labors rasch durch. Das Konstruktionsprinzip stammt aus den 1890er Jahren und geht auf den englischen Erfinder Henry Albert Fleuss zurück. Die wichtigste Neuerung war, daß Kolben und Ventile vollkommen in Öl eingetaucht waren, so daß kein Totvolumen entstand. Um die Nutzung der Rechte entspann sich bald ein heftiger Streit zwischen dem Rechteinhaber Arthur Pfeiffer, der Leipziger Instrumentenfirma Max Kohl sowie E. Leybold's Nachfolger in Köln.



Mit Hilfe dieser Pumpe war es möglich, ein Vakuum mit einem Druck von bis zu 0,0002 mm Hg ($\sim 0,00026$ mbar, Herstellerangaben) zu erreichen. Dazu mußte jedoch verhindert werden, daß verdampftes Öl in den Rezipienten gelangte. Dies gelang durch Zusatzapparate, welche an der ausgestellten Pumpe nicht vorhanden sind. Die Luftpumpe besteht aus zwei Zylindern, die hintereinander geschaltet sind. Die Kolben werden von Hand oder durch den Gleichstrommotor über eine Welle und einen Balken angetrieben. Der Balken ermöglicht zudem die richtige Steuerung des Pumpvorganges, so daß der zweite Zylinder (in dem das Kupferrohr unten einmündet) für ein Vorvakuum im ersten Zylinder sorgt.

Die Pumpe wurde 1907 vom Lyzeum Regensburg angeschafft. Im Inventar ist sie 1908 „nebst Zubehör“ mit einem Wert von 1282 Mark aufgeführt (II/77).

Arthur Pfeiffer, *Spezial-Liste IV: Geryk-Oel-Luftpumpen*, Wetzlar o.J. - Joseph Frick, *Physikalische Technik*, Braunschweig 1905, S. 929-930. - Max Kohl, *Preisliste Nr. 21: Physikalische Apparate*, Chemnitz [1905], S. 269. - Manfred Dunkel, *Geschichte der Firma E. Leybold's Nachfolger von 1850 bis 1966*, Köln 1973, S. 32-35.

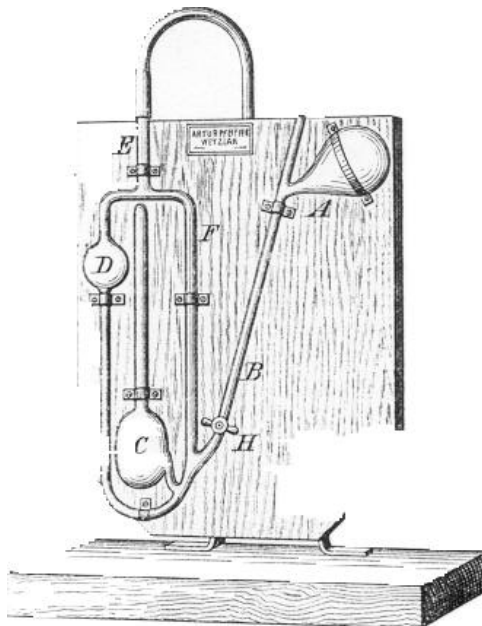
3.6. *Vakuummeter nach Reiff*

Holz, Glas, Metall, Quecksilber; 24 x 23,5 x 13 cm; bez.: Arthur Pfeiffer, Wetzlar, Germany
Allemagne; Inv.-Nr.: 026754600

Dieses Kompressionsbarometer für Präzisionsmessungen wurde 1907 vorgestellt. Es besteht aus einem birnenförmigen Quecksilberreservoir, das über eine Glasröhre mit der eigentlichen Meßapparatur verbunden ist. Daneben ist eine von 140-40 [mm Hg] geteilte Skala befestigt. Am Ende der Röhre befindet sich ein gläserner Absperrhahn. Die Meßvorrichtung ist in drei Kapillaren geteilt, die unten mit der Röhre verbunden sind. Die äußeren Kapillaren laufen parallel zur inneren und münden am oberen Teil der Apparatur wieder ineinander, wo sich anschließend die Verbindung zum Rezipienten befindet. Am unteren Teil der inneren Kapillare befindet sich ein bauchiges Gefäß, das in eine feine, oben geschlossene Kapillare mündet. Zwischen der geschlossenen und der rechten Kapillare ist eine von 1-10 geteilte Skala befestigt. An der Rückseite befindet sich eine Achse, die es erlaubt, das Ganze zu drehen.

Zur Messung muß das Vakuummeter in eine Lage gebracht werden, in der das Quecksilber aus allen drei Kapillaren in die Röhre abfließt und die verdünnte Luft aus dem Rezipienten einströmen kann. Wird die Apparatur wieder in die Senkrechte gebracht, steigt das Quecksilber in allen Kapillaren empor. In der mittleren Kapillare wird jedoch die Luft komprimiert. Letzteres führt zu einem Unterschied in der Steighöhe zwischen innerer und äußerer Röhre. An der linken Skala kann nun sowohl das Luftvolumen in der geschlossenen Kapillare als auch der Höhenunterschied zwischen den Quecksilbersäulen abgelesen werden. Da beide Kapillaren den gleichen Durchmesser haben, ergibt sich der Druck

im Rezipienten aus dem Höhenunterschied multipliziert mit dem Verhältnis des komprimierten Luftvolumens zum Gesamtvolumen der mittleren Kapillare.



Hermann Reiff, „Eine neue und handliche Form des Kompressions-Vakuummeters,“ *Physikalische Zeitschrift* 8 (1907), 124-125. - Ders., „Ein neues Kompressions-Vakuummeter mit direkt ablesbarer linearer Teilung und mehreren dekadischen Meßbereichen nebst einer Skizze der Entwicklung dieser Instrumententypen,“ *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 34 (1914), 97-106 (Abb.). - Arthur Pfeiffer, *Spezial-Liste IV: Geryk-Oel-Luftpumpen*, Wetzlar o.J., S. 30-31.

Mi.K.

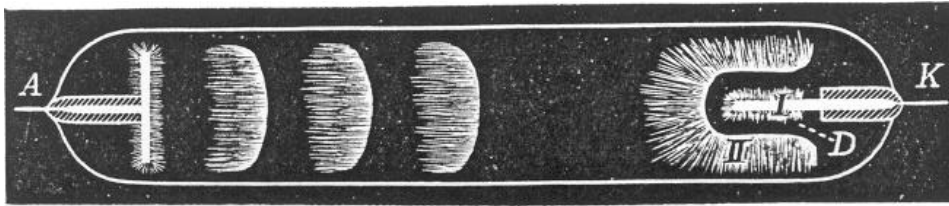
4. GEISSLERRÖHREN

In den 1850er Jahren entwickelte der Physiker und Mathematiker Julius Plücker (1801-1868) in Bonn eine Entladungsröhre, die er nach dem herstellenden Glasbläser Heinrich Geissler (1815-1879) „Geisslersche Röhre“ nannte. Diese brachte Geissler zu Schauversuchen und für optisch spektakuläre Darbietungen in den Handel. Ermöglicht wurde die Herstellung dieser Röhre durch eine von Geissler konstruierte Quecksilberpumpe, die den Druck bis auf 2 Torr senken konnte [→ 3.1.]. Damit wurde die experimentelle Erforschung von Entladungen in hochverdünnten Gasen ermöglicht und ein faszinierendes neues Gebiet der Physik eröffnet.

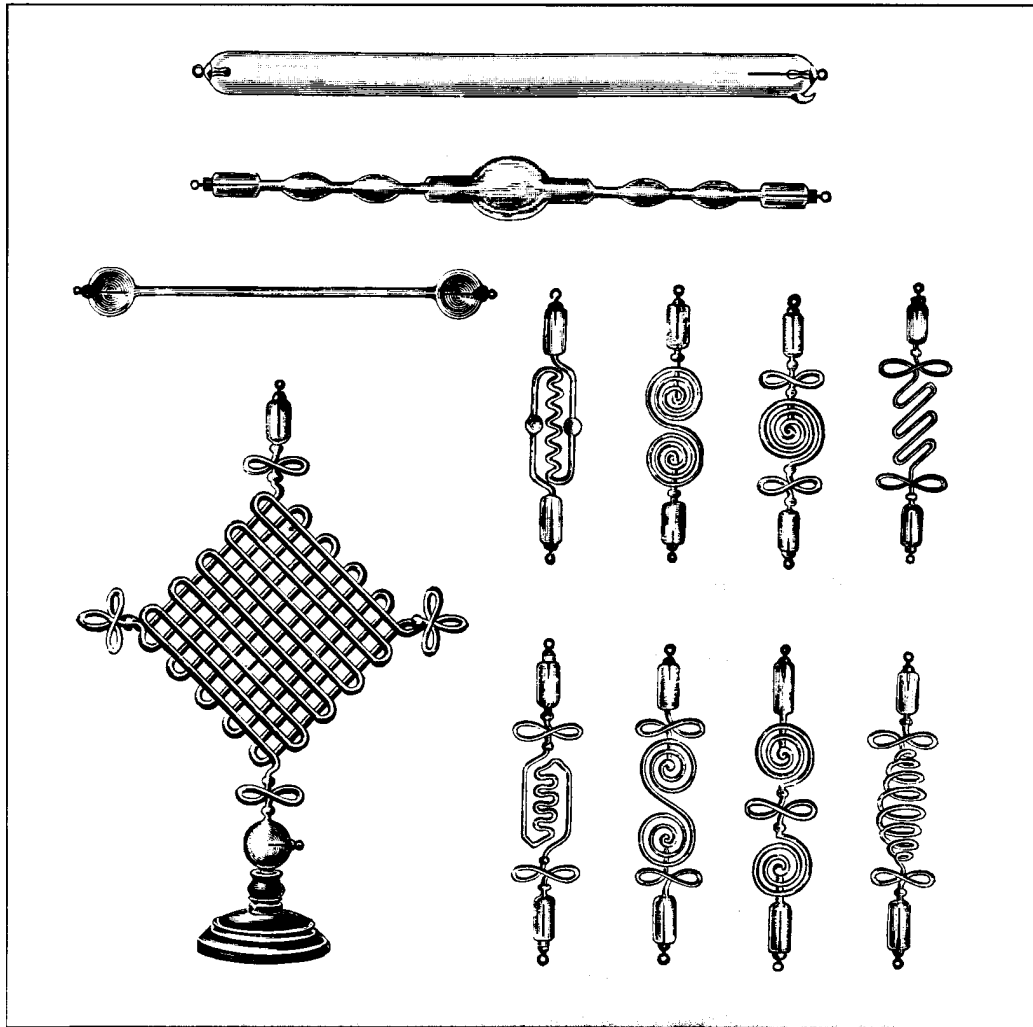
Die Geisslersche Röhre ist eine Glimmentladungsröhre. Ausgangspunkt zu ihrer Entwicklung war das Phänomen des Überspringens eines elektrischen Funkens. Dieser erhält mit der Erhöhung der Spannung eine immer größere ‘Schlagweite’, wobei die Luft dem Funken einen sehr großen Widerstand entgegenstellt. Die Untersuchung der Auswirkungen einer Verdünnung der Luft stand anfangs noch aus. Dieser Frage nahmen sich Mitte der 1850er Jahre Pierre Gassiot (1797-1877) in Frankreich und Julius Plücker (mit Geissler) in Bonn an. Sie schmolzen das Entladungsgefäß nach der Evakuierung ab oder schlossen einen vorhandenen Hahn. Als Elektroden wurden zwei Drähte in das Glas eingeschmolzen oder eingekittet.

Um zu sichtbaren Erscheinungen zu gelangen, muß zuerst die Luft mit einer Pumpe allmählich verdünnt werden; um die Spannung anzulegen, benötigt man eine Elektrisiermaschine, einen Hochspannungsakkumulator oder einen Induktionsapparat. Bei 760 mm Hg ist noch nichts zu erkennen; bei 50 mm sieht man kurze bläuliche Strahlen an den Elektroden, bei 10 mm ein helles violettes Lichtband und bei 1-3 mm ein sich bis zur Rohrbreite ausdehnendes Licht. Dabei wird die Kathode von einem bläulichen Licht umgeben, das von dem violetten jedoch durch einen Dunkelraum getrennt ist. Die leuchtende Entladung von der Anode aus wird als „positives Licht“ bezeichnet und hat bei Luft als Restgas eine violette Farbe. Bei genügender Luftverdünnung sind in dieser Erscheinung zusätzlich Schichtungen zu erkennen. Dabei haben die Schichten bei bestimmten Drücken ganz spezielle Dicken und auch die positive Säule eine ganz bestimmte Ausdehnung, so daß von diesen Merkmalen auf den Druck geschlossen werden kann.

Geissler gab seinen Röhren z.T. sehr kunstvolle Formen. In diesen Gebilden kam es zu einer leuchtenden Entladung, die der Krümmung der Röhre folgte. Die entstehende Farbe ist dabei vom verwendeten Gas abhängig, so daß „Spektralröhren“ sich als Lichtquellen definierter Wellenlänge benutzen lassen. Seit den 1930er Jahren fanden Geisslerröhren als farbige „Neonröhren“ in der Reklame vielfältige Verwendung; um 1938 kamen sie mit weiß fluoreszierendem Innenbelag auch als Leuchtstoffröhren in den Handel.



Die Lichterscheinungen in der Röhre sind Phänomene der Glimmentladung. An der Kathode werden drei Schichten unterschieden, die unter dem Namen „negatives Glimmlicht“ zusammengefaßt werden: **I** die erste Kathodenschicht, **D** der „Hittorfsche (oder Crookesche) Dunkelraum“ und **II** die zweite Kathodenschicht. Die aus **I** austretenden Elektronen werden in **D** beschleunigt und besitzen in **II** eine genügend hohe Geschwindigkeit, um beim Auftreffen auf ein Gasmolekül durch Ionenstoß ein Elektron herauszuschlagen, wodurch zusätzlich ein Kation resultiert: Das Gas wird ionisiert. Das Kation bewegt sich nun in Richtung der Kathode und läßt dort **I** entstehen. Die Elektronen aus **II** bewegen sich in Richtung der Anode, werden beschleunigt und besitzen bald genügend Energie zur Ionisation; es entsteht das „positive Licht“. Bei genügender Gasverdünnung kommt es zu mehrfachen Ionisationen, wodurch mehrere Schichten entstehen. Zwischen dem negativen Glimmlicht und dem positiven Licht befindet sich ein dunkler Raum, der „Faradaysche Dunkelraum“. Dessen Ausdehnung nimmt bei zunehmendem Vakuum ebenfalls zu, da das positive Licht gleichzeitig an Ausdehnung einbüßt. Bei stärkerem Vakuum verschwinden diese Leuchterscheinungen, und es entstehen schließlich Kathodenstrahlen.



Aufgrund ihrer eindrucksvollen Leuchterscheinungen und der nahezu unbegrenzten Vielfalt möglicher Glasformen wurden die Geisslerröhren rasch zu beliebten Demonstrationsobjekten. Die Kataloge von Lehrmittelversandhäusern der Zeit präsentierten alle erdenklichen Variationen, selbst Röhren mit den fluoreszierenden Häuptionen von Kaiser Wilhelm, Bismarck und Moltke - die in unterschiedlichen Größen lieferbar waren - scheinen sich einer gewissen Beliebtheit erfreut zu haben. War damit die Grenze zwischen Populärwissenschaft und Wissenschaftskitsch auch überschritten, so warben die elektrischen Spielzeuge doch zugleich für einen neuen und in seinen theoretischen Grundlagen noch kaum verstandenen Phänomenbereich und machten auf diese Weise ein Forschungsgebiet populär, das schließlich nicht nur zur Entdeckung der Röntgenstrahlung führte, sondern auch einen Einstieg in die moderne Atomphysik eröffn etc.

E. Ruhmer, *Konstruktion, Bau und Betrieb von Funkeninduktoren und deren Anwendung, mit besonderer Berücksichtigung der Röntgentechnik*, Leipzig 1904, S. 159. - Max Kohl, *Preisliste Nr. 21: Physikalische Apparate*, Chemnitz [1905], S. 761-765. - Leo Graetz, *Die Elektrizität und ihre Anwendungen*, Leipzig 1912, S. 298-303 u. 313-315 (Abb. S. 302). - Willy Wien u.a. (Hrsg.), *Handbuch der Experimentalphysik*, Bd 13/3, Leipzig 1929, S. 314-317. - Wilhelm Westphal, *Physik*, Berlin 1939, S. 327-328. - Hans Kangro, „Johann Heinrich Wilhelm Geissler,“ in: *Dictionary of Scientific Biography*, Bd 5, New York 1972, S. 340-341. - *100 Jahre Röntgenstrahlen: Ausstellungskatalog*, hrsg. von der

4.1. Heinrich Geissler (Ingelshieb 1815 - Bonn 1879)

Brustbild, Photographie; Deutsches Museum München - Tafel aus: Gedenkblatt zur Erinnerung an Heinrich Geissler, Bonn: Dr. H. Geisslers Nachfolger, 1890; 7 S.; 20,5 x 13,5 cm; Deutsches Museum München

Die Biographie von Johann Heinrich Wilhelm Geissler bietet das ungewöhnliche Beispiel eines geschickten Handwerkers aus dem ländlichen Thüringen, der schließlich zu akademischen Ehren gelangte.

Die Gegend um Suhl, aus der Geissler stammte, war von Glashütten und der Lampenglasbläserei geprägt, und auch Geisslers Familie war eine Handwerkerfamilie. Sein Vater wird beschrieben als „Glasperlenmacher“ oder Glaskünstler und hatte auch das Amt eines Schultheißen inne. Da das Glasbläserhandwerk für die Gegend typisch war (auch die in der Herstellung von Röntgenröhren später bedeutende Familie Müller-Uri lebte hier), verwundert es nicht, daß Heinrich und seine beiden Brüder dieses Handwerk erlernten. Einer von ihnen zog nach Berlin als „Glaskünstler“ und als Mechaniker für meteorologische Instrumente, der andere ging nach Amsterdam, wo er u.a. für den Physiker Volkert van der Willigen (1822-1879) Glasapparaturen fertigte. Nach seiner Lehre ging Geissler nach München, um sich wissenschaftlich weiterzubilden, und hielt sich später acht Jahre in Holland auf. Insgesamt ist über seinen Lebensweg recht wenig bekannt, entsprechend widersprüchlich sind auch die Angaben zu seinem Werdegang in der Literatur. So wird beispielsweise als Ankunftszeitpunkt in Bonn, wo sich Geissler als Instrumentenmacher niederließ, sowohl 1854 als auch 1852 angegeben.

Seine für verschiedene Wissenschaftler angefertigten Instrumente genossen einen ausgezeichneten Ruf, besonders seine Thermometer, die aufgrund ihrer feinen Kapillare eine hohe Präzision besaßen. Weiterhin stellte Geissler Barometer und Areometer her. 1852 fertigte er ein Vaporimeter an, mit dem über den Dampfdruck der Alkoholgehalt im Wein gemessen werden konnte, 1863 folgte ein Maximumthermometer. Da seine Arbeitskraft auch an der Bonner Universität in Anspruch genommen und hoch geschätzt wurde, erhielt Geissler dort 1868 die Ehrendoktorwürde verliehen, ohne je größere Abhandlungen verfaßt zu haben. 1874 schließlich gründete er in Bonn in Zusammenarbeit mit Franz Müller eine kleine Firma.

Sehr wichtig wurde für Geissler die Zusammenarbeit mit Julius Plücker, der bei Arbeiten über die Spannkraft der Gase Geisslers Vaporimeter verbesserte. Geissler fertigte für Plücker einige Instrumente, so 1858 die „Geisslerschen Röhren,“ wie Plücker sie genannt hat. Dabei war Geissler die Lösung des Problems gelungen, die Elektroden in das Glas einzuschmelzen, wobei die unterschiedliche thermische Ausdehnung die Hauptschwierigkeit darstellte. Er nahm dazu Platindrähte als Elektroden, hüllte diese in einen Bleiglasmantel ein und

schmolz sie anschließend in das Glas der Röhre ein. Später wurde dann das teure Platin durch billigere Metallegierungen ersetzt, zusätzlich hat Geissler ausgewählte Glassorten benutzt. Da er außerdem eine Quecksilberpumpe zur Erzeugung niedrigster Drücke entwickelt hatte, heißt es in der *Neuen Deutschen Biographie* zu Recht: „Mit der Geisslerschen Röhre begann die moderne Vakuumtechnik.“

Mit Hilfe der Geisslerschen Röhre konnte Plücker im Physikalischen Kabinett der Universität Bonn Versuche vorführen und die Abhängigkeit der Leuchterscheinungen von der Art des Gases oder dem Druck demonstrieren. Durch das verhältnismäßig gute Vakuum war er weiterhin in der Lage, die Schichtungen genauer zu untersuchen, die im ‘Elektrischen Ei’ schon vorher, jedoch undeutlicher zu sehen gewesen waren. 1859 schließlich entdeckte er mit dieser Röhre die später (1876 von Goldstein) als „Kathodenstrahlen“ bezeichneten Strahlen.

Bei der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte wurde die Geisslersche Röhre 1864 durch den Berliner Physiker Johann Christian Poggendorff (1796-1877) einem größerem Publikum vorgeführt. Bei diesem Anlaß demonstrierte Geissler auch seine Quecksilberluftpumpe.

Der Nekrolog auf Geissler in den *Berichten der Deutschen Chemischen Gesellschaft* hebt den kreativen Ideenaustausch mit Plücker hervor und betont, daß Geissler stets mehr eigene Ideen in die bei ihm bestellten Instrumente gesteckt habe, als seine Auftraggeber gefordert hatten.

August Wilhelm Hofmann, „Sitzungsbericht von 27.01.1879,“ *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* 12 (1879), 147-148. - Wolfgang Huschke, *Forschungen über die Herkunft der Thüringischen Unternehmerschicht des 19. Jahrhunderts*, Baden-Baden 1962, S. 56-57 u. 34-35. - Adolf Wißner, „Johann Heinrich Wilhelm Geissler,“ in: *Neue Deutsche Biographie*, Bd 6, Berlin 1964, S. 159. - Hans Kangro, „Johann Heinrich Willhelm Geissler,“ in: *Dictionary of Scientific Biography*, Bd 5, New York 1972, S. 340-342. - Karl Eichhorn, „Heinrich Geissler, 1814-1879: His Life, Times and Work,“ *Bulletin of the Scientific Instrument Society* 27 (1990), 17-19.

Ma.K.

4.2. Julius Plücker (Elberfeld 1801- Bonn 1868)

Brustbild, Photographie; Deutsches Museum München

Julius Plücker war der älteste Sohn eines Kaufmanns in Elberfeld. Da es an seinem Geburtsort kein Gymnasium gab, zog er nach Düsseldorf. Nach der erfolgreichen Absolvierung der dortigen Schule studierte er an den Universitäten Bonn, Heidelberg und Paris. Im Laufe seines Studiums konzentrierte er sich immer mehr auf die Fächer Mathematik und Physik, speziell auf das Gebiet Theoretische Physik. Über eine mathematische Fragestellung promovierte er und habilitierte sich 1825 zum Privatdozenten der Mathematik. Nach vierjähriger Tätigkeit an der Universität Bonn ging er nach Berlin, wo er als Professor an einem Gymnasium lehrte. Anschließend begab er sich nach Halle, wo er als a.o. Professor tätig war. 1836 nach Bonn zurückgekehrt, übernahm er die Pro-

fessur für Mathematik und Physik. Mit seinen innovativen Studien zur analytischen Geometrie, die sich stark an die französische Schule anlehnten, stand Plücker im Gegensatz zu dem bedeutenden deutschen Mathematiker Jacob Steiner (1796-1863), der einen rein synthetischen Aufbau der Geometrie favorisierte. Die deutschen Mathematiker haben Plückers Arbeiten erst lange nach dessen Tod zu würdigen gelernt.

Von der fehlenden Anerkennung offenbar entmutigt, wandte sich Plücker 1847 ziemlich unvermittelt von der Mathematik ab und der Experimentalphysik zu, die er anfangs nur aushilfsweise vertreten hatte. Sein Forschungsprogramm knüpfte dabei an die Arbeiten Michael Faradays an, mit dem er 15 Jahre lang in Briefwechsel stand und dessen Theorie des Elektromagnetismus Plückers Leiterschleife wurde. Eine der ersten Untersuchungen galt dem Verhalten von Kristallen im Magnetfeld. In sieben klassisch gewordenen Aufsätzen (1858-1862) untersuchte er die unterschiedlichsten Einflüsse auf die Entladung in verdünnten Gasen, variierte Druck, Spannung und Temperatur, Röhrenform und Elektrodenmaterial, und studierte insbesondere das Verhalten im Magnetfeld. Diese Forschung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit Geissler, der auch die schwierigsten apparativen Aufgaben kongenial löste. Aus den Ergebnissen erkannte Plücker, daß die erzeugten Spektren charakteristisch für chemische Substanzen sind, und er war überzeugt, aus ihren Veränderungen Aufschlüsse über die molekulare Konstitution zu erhalten.

Plückers Arbeitsstil war intuitiv, sein Experimentieren darauf gerichtet, die komplexen und faszinierenden Effekte instrumentell kontrollieren zu können. An theoretische Deutungen oder gar an die Anwendung der ihm vertrauten Mathematik hat sich Plücker bei diesen Arbeiten nie heran gewagt.

Alfred Clebsch, „Zum Gedächtnis an Julius Plücker,“ *Abhandlungen der K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen* 16 (1871), 1-40. - *Julius Plückers gesammelte wissenschaftliche Abhandlungen*, hrsg. von A. Schoenflies und Fr. Pockels, Leipzig 1895-1896. - Wilhelm Ernst, *Julius Plücker*, Bonn 1933. - Erwin N. Hiebert, „Electric Discharge in Rarefied Gases: The Domination of Experiment: Faraday, Plücker, Hittorf,“ in: *No Truth Except in the Details: Essays in Honor of Martin J. Klein*, hrsg. von A.J. Kox und Daniel M. Siegel, Dordrecht 1995, S. 95-134.

B.G.

4.3. Die Farbenpracht der Geisslerschen Röhren

Handkolorierte Lithographie aus: W.H. Theodor Meyer, Beobachtungen über das geschichtete elektrische Licht sowie über den merkwürdigen Einfluss des Magneten auf dasselbe nebst Anleitung zur experimentellen Darstellung der fraglichen Erscheinungen, Berlin: J. Springer, 1858, Taf. II; 32 x 23 cm; Universitätsbibliothek Regensburg, Sign. 00/UR 6000 M613

Das Bild aus einem von Heinrich Geissler in Auftrag gegebenen Band zeigt die Schichtungen in einer Geisslerschen Röhre, u.a. bei Annäherung eines Magneten oder des menschlichen Körpers. Stromführende Leiter oder Magneten verändern die Lage der Schichten.

Das Regensburger Lyzeum hat für seine physikalische Sammlung die ersten acht Geisslerröhren offenbar 1868/69 beschafft. Im folgenden Jahr kam ein Satz Geisslerröhren für Phosphoreszenzversuche und 1872/73 eine weitere Serie hinzu. 1879/80 kaufte man fünf weitere Geisslerröhren und 1884/85 vier doppelte, mit fluoreszierenden Substanzen gefüllte Geisslerröhren. Das Geräteinventar listet 1891 acht nicht näher bezeichnete Geisslerröhren, fünf in Gestalt kleiner Tiere und vier mit chemischen Substanzen gefüllte auf.

The Nicholas Webster Collection of Geissler and Crookes' Tubes and Other Laboratory Apparatus [Auktionskatalog vom 26 Sept 1991], Christie's Sale 1597, London 1991.

4.3.1. Einfache Geisslersche Röhre

Glas, Metallelektroden; 28 x 4 cm; bez.: Rich. Müller-Uri, Braunschweig, „Pos. Licht“; Inv.-Nr. 020285100

Einfache Ausführung der Geisslerschen Röhre mit Stabelektroden, wie sie Geissler bereits für Plücker hergestellt hatte. Am Ansatzrohr wurde die Röhre nach dem Evakuieren abgeschmolzen und konnte nun auch dort verwandt werden, wo keine Vakuumpumpen zur Verfügung standen. Das Stück dürfte schon vor 1891 in die Sammlung des Lyzeum gelangt sein.

Die „Glastechnische Werkstätte für Physikalische Demonstrationsapparate“ von Richard Müller-Uri in Braunschweig war auf Gasentladungsröhren und Glastechnik spezialisiert, richtete aber auch komplette Physikalische Kabinette und Chemische Laboratorien ein.

4.3.2. Drei kunstvoll gearbeitete Geisslersche Röhren

Glas, Metallelektroden; 21,5 x 2 cm, 21,5 x 2,5 cm, 14,5 x 2,5 cm; Inv.-Nr. 000029397

Bei diesen effektiv leuchtenden Röhren ist der Entladungsraum zwischen den Elektroden durch unterschiedliche Führung des Glases kompliziert geformt. Ein Teil der Strecke besteht dabei jeweils aus gelblichem Uranglas, das bei der Glimmentladung fluoresziert.

4.3.3. Drei ummantelte Geisslersche Röhren

Glas, Metallelektroden; 21 x 2 cm; Inv.-Nr. 000029395

Diese Geisslersche Röhren besitzen mit Stopfen verschließbare Glasmäntel, in die Flüssigkeiten eingefüllt werden können. Diese lassen sich durch das zwischen den Elektroden auftretende Entladungslicht zum Leuchten anregen. Dadurch kommt es zu einer Verstärkung des optischen Effekts der Röhre. Nach diesem Prinzip arbeiten auch moderne Leuchtstoffröhren.

Auf den anhängenden Etiketten sind die Füllungen mit Fluorescein, Petroleum und Anilin angegeben. Die Stücke dürften vor 1891 in die Sammlung des Regensburger Lyzeum gelangt sein.

4.3.4. Ummantelte Geisslersche Röhre

Glas, Metallelektroden; 23 x 3 cm, Inv.-Nr. 000041324

In dem mit einem Korkstopfen verschlossenen Glasmantel, der mit wässriger Fluoresceinlösung gefüllt ist, mäandert die Glaskapillare, durch welche die Glimmentladung erfolgt und dabei den Farbstoff hell aufleuchten läßt.

4.3.5. Einfache Spektralröhre

Glas, Metallelektroden; 36,5 x 3,5 cm; Inv.-Nr. 000029388

In der kapillaren Entladungsstrecke dieses Röhrentyps werden Gase zum hellen Leuchten angeregt. Auf diese Weise lassen sich die charakteristischen Spektrallinien von Metaldämpfen und Gasen gut demonstrieren. Das Füllgas ist in diesem Fall nicht bekannt.

4.3.6. 12 Spektralröhren mit unterschiedlicher Füllung

Glas, Metallelektroden; 23,5 x 2 cm; Inv.-Nr. 000029997

Diese einfachen Geisslerschen Röhren sind mit verschiedenen Gasen gefüllt, die beim Anlegen der Hochspannung in ihrer charakteristischen Farbe aufleuchten. Bei anderen Typen brachte man auch Hähne an den Röhren an, so daß sich unbekannte Gase einbringen ließen, deren spektroskopische Eigenschaften ermittelt werden sollten. Hier sind die Füllungen auf den Etiketten wie folgt benannt: HCl, N, NO, NH₃, H₂O, CO, CO₂, Cl, SiBr, SiF, SnCl.

4.3.7. Vier Geisslersche Spektralröhren

Glas, Metallelektroden; 20,5 x 1,5 cm und 1,5 x 2 cm; Inv.-Nr. 000029376

Nach Ausweis der angebrachten Etiketten enthalten die Röhren Sauerstoff, Kohlendioxid, Quecksilberchlorid und Quecksilberjodid.

4.3.8. Helium-Spektralröhre

Glas, Metallelektroden; 18 x 1,5 cm; bez.: He; Inv.-Nr. 000041326

Die Elektroden der mit verdünntem Helium gefüllten Spektralröhre sind als Hohlzylinder ausgebildet.

4.3.9. Acht gewinkelte Spektralröhren

Glas, Metallelektroden, 15 x 7,5 cm; Inv.-Nr. 000029382

Bei diesem Typus verläuft die Entladungskapillare im rechten Winkel zu den beiden parallel versetzten Polen mit zylinderförmigen Elektroden. Auf diese Weise kann man durch den Glasmantel hindurch die hell leuchtende Säule entlang ihrer Achse beobachten und erhält so größere Intensitäten. Die Gasfüllungen und -drücke sind folgendermaßen bezeichnet: H 0,5 mm, H 5 mm, N 0,5 mm, N 2 mm, O 0,5 mm, O 2 mm. Zwei Röhren sind unbezeichnet.

4.4. Glimmentladungsröhre zu Demonstrationszwecken

Glas, Metallelektroden, Messing; 23,5 x 6,5 cm; mit Messinghalterungen von 23,5 cm; Inv.-Nr. 000029380

Sorgfältig ausgeführte Entladungsröhre mit seitlich angesetzten Elektroden, dazu vier Messinghalterungen mit Schraubgewinden. Wie die komplette Anordnung aussieht, ist nicht bekannt.

4.5. Vakuum-Skala nach Cross, 1903

Glas, Metallelektroden, Holzgestell; 54 x 37,5 x 20 cm; bez.: Richard Müller-Uri, Braunschweig; Inv.-Nr. 026751100

Als Vergleichsstandard zur optischen Bestimmung von Drücken in Glimmentladungsröhren hatte Charles R. Cross (1848-1921), Physikprofessor am Massachusetts Institute of Technology, eine Skala aus Geissleröhren mit definierten Drücken angegeben. Diese besteht aus sechs senkrecht stehenden Vakuumröhren von 50 cm Länge, deren obere Elektrode als Stift und deren untere als Scheibe ausgeführt sind. Auf der rückseitig eingeklebten gedruckten Beschreibung des Herstellers sind die Charakteristika der einzelnen Röhren wie folgt aufgeführt. I: 40 mm Hg (leuchtender Faden, „De la Rive-Vakuum“), II: 10 mm Hg (aufgelöste leuchtende Bänder, „De la Rue-Vakuum“), III: 6 mm Hg (Geisslersches homogenes Licht), IV: 3 mm Hg (Schichtenbildung, „Gassiot-Vakuum“), V: 0,14 mm Hg (leuchtende Wolken, „Tesla-Licht“), VI: 0,03 mm Hg (Crookes' Glasfluoreszenz, „Röntgen-Vakuum“).

Das Gerät wurde 1903 für 45 Mark die Sammlung des Lyzeum beschafft (Inv.-Nr. V/292). Auf einem beiliegenden Zettel sind handschriftlich die Entladungsspannungen bei Betrieb mit der Influenzmaschine vermerkt, und zwar I: 2600 V, II: 2400 V, III: 800 V, IV: 700 V, V: 1900 V, VI: 2600 V.

Handbuch der Experimentalphysik, hrsg. von Willy Wien u.a., Bd. 13/3, Leipzig 1929, S. 320.

Ma.K.

4.6. *Halterung für Geisslersche Röhren*

Holz, Messing, Ebonit; 30 x 37 x 10 cm; Inv.-Nr. 026790200

In derartigen Gestellen wurden die Geisslerschen Entladungsröhren beim Betrieb üblicherweise befestigt. Die in kleinen Ösen endenden Elektroden wurden dazu in die Haken der Ketten gehängt, die von den Isolatorarmen des Gestells herabhängen und mit den Polen der Spannungsquelle verbunden waren.

4.7. *Holtzsche Doppel-Ventilröhre*

Glas; 58 x 9,5 cm; Inv.-Nr. 021511200

Der Berliner Privatgelehrte und spätere Greifswalder Physiker Wilhelm Holtz (1836-1913), der sich als Konstrukteur der Holtzschen Elektrisiermaschine einen Namen gemacht hatte, entdeckte 1867, daß gläserne Trichterventile, in eine mit verdünntem Wasserstoffgas gefüllte Entladungsröhre eingeschmolzen, nicht nur Lage und Aussehen der Leuchterscheinungen, sondern auch die Richtung des Entladungsstromes beeinflussen. Denn der Innenwiderstand der Röhre ist extrem hoch, wenn die Spitzen der Trichter zur Kathode weisen, zeigen sie jedoch zur positiven Elektrode, geht der Entladungsstrom ungehindert hindurch. Die Holtzsche Röhre stellt somit eine frühe Gleichrichteranordnung dar. Publiziert und gründlich untersucht hat sie der Berliner Physiker Johann Christian Poggendorff (1796-1877), der die Erstveröffentlichung mit der Bemerkung einleitete: „Seitdem Hr. Geissler in Bonn die nach ihm benannten elektrischen Röhren erfunden hat, sind sie in Gestalt und sonstiger Einrichtung mannigfach abgeändert worden; allein die meisten dieser Abänderungen haben nur geringen wissenschaftlichen Werth, dienen mehr zur Belustigung als zur Belehrung. Dagegen dürfte diejenige, welche ich hier mit Bewilligung ihres Erfinders beschreiben werde, einigen Anspruch auf Beachtung seitens der Physiker haben ...“

Der vorliegende Bautyp als Doppel-Ventilröhre besitzt in jeder der parallelen Entladungsstrecken vier Trichterventile, deren Spitzen gegenläufig angeordnet sind. Je nach Polung der Spannungsquelle nimmt der Strom entweder den einen oder den anderen Weg, was an den begleitenden Leuchterscheinungen gut zu beobachten ist. In zeitgenössischen Katalogen wird die Röhre als Hilfsmittel empfohlen, um die Polung einer Hochspannungsquelle festzustellen, da in der leuchtenden Hälfte der Röhre die Spitzen der Trichter stets auf den positiven Pol zeigen.

J.C. Poggendorff, „Untersuchung, veranlaßt durch eine von Hrn. Holtz erfundene neue elektrische Röhre,“ *Annalen der Physik* 134 (1868), 1-45. - W. Holtz, „Nachträgliche Notiz über eine neue elektrische Röhre,“ *Annalen der Physik* 155 (1875), 643-644. - W. Holtz, „Über das Trichterventil in evacuirten Röhren,“ *Annalen der Physik* 170 (1880), 336. - Max Kohl, *Preisliste Nr. 21: Physikalische Apparate*, Chemnitz [1905], S. 264. - Ferdinand Ernecke, *Preisliste Nr. 30 über Physikalische Apparate*, Berlin [ca. 1912], Nr. 8866.

4.8. *Fluoreszenz-Ventilröhre*

Glas, Metallelektroden; 23 x 4,5 cm; Inv.-Nr. 000041327

Die fast schon verspielte Konstruktion vereinigt verschiedene Effekte: Die Abhängigkeit der Leuchtkraft vom Durchmesser der Kapillare, die Gleichrichterwirkung des Trichterventils und die Fluoreszenzanregung. Die Entladungstrecke verläuft von der Kathode durch einen fein zulaufenden Glastrichter ins Innere eines fluoreszierenden Glaskörpers aus Uraglas, dann um dessen Außenhaut und durch die kleinen Löcher seiner Halterung zu der seitlich aufgesetzten Anode.

4.9. *Demonstrationen nach Katalog*

Ferdinand Ernecke, Preisliste Nr. 30 über Physikalische Apparate, Berlin [ca. 1912]; 672 S.; 16 x 12 cm; Universitätsbibliothek Regensburg, Sign. 00/UB 4060 E71-30+2

Mit dem Aufstieg der experimentellen Naturwissenschaften, die zunehmend auch in die Schulen Einzug hielten, entstand im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts ein florierender Versandhandel, der Vorlesungsapparaturen oder sogar komplette Schullabors frei Haus lieferte. Der Instrumentenhandel war international organisiert und drängte auf einen hart umkämpften Markt. Die Umgehung von Gebrauchsmuster- und Patentschutz waren fast an der Tagesordnung. Zu den erfolgreichsten deutschen Firmen gehörten die Werkstätten für Präzisionsmechanik und Elektrotechnik Max Kohl in Chemnitz, die Feinmechanischen Werkstätten von E. Leybold's Nachfolger in Köln und die 1859 gegründete Firma von Ferdinand Ernecke in Berlin-Tempelhof. Ihr 13798 Nummern umfassendes Sortiment deckte sämtliche Bereiche des Schul- und Hochschul-Physikunterrichts ab.

Wissenschaftshistorisch sind diese didaktischen Instrumente nur scheinbar trivial. In einer Zeit, die die Experimentalphysik in weiten Bereichen bloß phänomenologisch ordnete, übernahmen sie offenbar die Aufgabe der nichtverbalen Kommunikation und optischen Kodifizierung des Wissens. Gerade die massenhafte Reproduktion von Apparaturen, die - unabhängig vom Hersteller - auch über lange Zeiträume praktisch nicht vom einmal etablierten Stereotyp abweichen, sicherte ihren Erfolg. Heftiger Wettbewerb, aufwendig bebilderte Firmenkataloge und effiziente Vertriebssysteme erhöhten den Druck in Richtung auf eine internationale Standardisierung. Wissenschaftshistorische Untersuchungen zu diesen Zusammenhängen stehen freilich noch aus.

Ferdinand Ernecke: Ein halbes Jahrhundert deutscher Feinmechanik, Berlin 1909.

C.M.

5. *DIE NEUEN STRAHLEN: KATHODEN- UND KANALSTRAHLEN*

Die erste Phase im Studium der Gasentladungen galt der Verfeinerung der Experimentiertechnik, der technischen Beherrschung von Glas und Elektrodenmaterial sowie der Fortentwicklung der Hochspannungsquellen und Vakuumpumpen. Bei den Entladungen mit ihrem verwirrenden Formen- und Farbenreichtum stand die Phänomenologie ganz im Vordergrund. An wirkliche physikalische Erklärungen hat sich kaum einer herangewagt; allenfalls gab die Hoffnung, auf diesem Wege etwas über die molekulare Konstitution der Gase und deren Chemie in Erfahrung bringen zu können, dem Arbeitsgebiet eine gewisse theoretische Relevanz. Mit der verbesserten Vakuumtechnik rückte ein Problemfeld ins Zentrum des physikalischen Interesses, das nur mittelbar mit den Farben und Formen der Geissleröhren zu tun hatte. 1859 fand nämlich Julius Plücker [→ 4.2.] bei stark evakuierten Röhren, daß die leuchtende Glimmentladung verschwand, der 'Faradaysche Dunkelraum' sich ausdehnte, schließlich das Glas in der Nähe der Kathode zu fluoreszieren begann und die Fluoreszenz auf Magnetfelder reagierte. Zehn Jahre später gelang Plückers ehemaligem Schüler Wilhelm Hittorf [→ 5.1.] der Nachweis, daß die Fluoreszenz von einer neuen Art unsichtbarer Strahlen herrührt, diese sich geradlinig ausbreiten und wie Licht von festen Hindernissen ausblenden lassen. Eugen Goldstein [→ 5.4.] hat sie später „Kathodenstrahlen“ genannt.

Indem Hittorf 1869 beschloß, die unglaublich komplexe Phänomenologie der Leuchterscheinungen beiseite zu lassen und sich ausschließlich der Frage nach den Entstehungsbedingungen und der Natur des „negativen Glimmlichts“ anzunehmen, begann die zweite Phase im Studium der Gasentladungen. Im Zentrum stand die Physik der Kathodenstrahlen. Erneut waren enorme apparative Probleme zu lösen, und erneut initiierten technische Innovationen in der Hochspannungs- und Vakuumtechnik sowie der Konstruktion von Entladungsröhren neue physikalische Fragestellungen. Dabei eilten die Experimente der Theorie weit voraus. Die Interpretation der erhaltenen Ergebnisse blieb dagegen für Jahrzehnte ein Rätsel: Der englische Elektrotechniker Cromwell F. Varley (1828-1883) hielt die Kathodenstrahlen für unbekannte Teilchen. William Crookes [→ 6.1.] deutete sie als Gasmoleküle, die an der Kathode negative Ladung aufnehmen und dann von der Kathode abgestoßen werden. Ihre leichte Ablenkbarkeit durch magnetische Felder deutete auf negativ geladene Teilchen hin; doch daß sie von elektrischen Feldern scheinbar unbeeinflusst blieben, war recht irritierend. Mit Hittorf und Heinrich Hertz (1857-1894) hielten die meisten deutschen Physiker die Kathodenstrahlen für Ätherwellen, während ihre britischen Kollegen eher der Korpuskularhypothese anhingen. Doch insgesamt war man von einem wirklichen Verständnis der Phänomene weit entfernt, und es waren deshalb oft Außenseiter und Quereinsteiger, die sich mit dieser undurchsichtigen Materie abgaben, wobei es ihnen oft mehr auf die Beherrschung experimenteller Effekte ankam als auf deren theoretische Durchdringung.

Die dritte Phase der Beschäftigung mit den Gasentladungen begann 1896, als Joseph John Thomson (1856-1940), von Röntgens Entdeckung der X-Strahlen

inspiriert, zu einer quantitativen und experimentell abgesicherten Theorie der Stromleitung in verdünnten Gasen vordrang und ein Jahr später die Lösung der Kathodenstrahl-Kontroverse in Händen hatte: Zum einen konnte er zeigen, daß die Bündelung der Kathodenstrahlen durch Magnetfelder zur Ladungsverdichtung führt, so daß Ladung und Strahlung identisch sein mußten. Zweitens wies er deren Ablenkung im elektrischen Feld nach und entkräftete damit die Einwände von Hertz. Und drittens gelang es ihm, das Masse/Ladungs-Verhältnis des unbekanntes Ladungsträgers mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen. J.J. Thomson hat damit den Grund für die heutige Auffassung gelegt, daß die sogenannten Kathodenstrahlen Ströme von Elektronen mit diskreter, wenn auch kleiner Masse und einer Geschwindigkeit deutlich unterhalb der Lichtgeschwindigkeit sind. Die folgenreichste und radikalste Idee Thomsons aber war die, daß er seine „Korpuskeln“ als reale Bestandteile des Atoms ansah und damit dem ersten ‘Elementarteilchen’ die Anerkennung der Physiker sicherte.

Für den Nachweis, daß Elektronen Korpuskeln sind, hat J.J. Thomson 1907 den Physik-Nobelpreis erhalten; genau 30 Jahre später ging der Preis an seinen Sohn George P. Thomson (1892-1975), und zwar paradoxerweise für den Nachweis, daß Elektronen sich wie Wellen verhalten.

Johannes Stark, *Das Wesen der Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen*, Leipzig 1904. - G.C. Schmidt, *Die Kathodenstrahlen*, Braunschweig 1904. - Philipp Lenard, *Über Kathodenstrahlen: Nobel-Vortrag 1907*, 2. Aufl., Berlin/Leipzig 1920. - H. Greinacher, *Über die Klassifizierung der neuen Strahlen*, Braunschweig 1906. - Isobel Falconer, „Corpuscles, Electrons and Cathode Rays: J.J. Thomson and the ‘Discovery of the Electron’“, *British Journal for the History of Science* 20 (1987), 241-176. - Peter A. Keller, *The Cathode-Ray Tube: Technology, History and Applications*, New York 1991. - Erwin N. Hiebert, „Electric Discharge in Rarefied Gases: The Domination of Experiment: Faraday, Plücker, Hittorf,“ in: *No Truth Except in the Details: Essays in Honor of Martin J. Klein*, hrsg. von A.J. Kox und Daniel M. Siegel, Dordrecht 1995, S. 95-134.

C.M.

5.1. Wilhelm Hittorf (Bonn 1824 - Münster 1914)

Brustbild, Photographie; Deutsches Museum München

Wilhelm Hittorf hat Mathematik und Naturwissenschaften in Berlin und Bonn studiert, wo er 1846 bei Julius Plücker über die Eigenschaften der Kegelschnitte promovierte. Ein Jahr später ging er als Privatdozent für Chemie und Physik an die Akademie in Münster, wurde dort 1852 a.o. Professor und vier Jahre später ordentlicher Professor. Seine Arbeitsschwerpunkte waren die Elektrochemie und die Elektroluminiszenz. Seine Studien zur Ionenbeweglichkeit in Lösung (1853-1859) legten den Grund für die Elektrolytische Theorie der Lösungen, die mit den Namen von Svante Arrhenius, Jacobus Henricus van't Hoff und Wilhelm Ostwald verbunden ist, während Hittorfs Beitrag erst sehr viel später allgemeine Anerkennung erfuhr.

Eine gemeinsam mit seinem Lehrer Plücker durchgeführte Untersuchung zum Leuchten verschiedener Gase in Geissleröhren führte ihn 1864 auf das Gebiet

der elektrischen Gasentladung. Dabei gelang es ihm, aus der letztlich sterilen Komplexität dieses Arbeitsgebietes ein Problem herauszugreifen, das sich als außerordentlich fruchtbar erweisen sollte: die Frage nach der Natur des Ladungstransports im „negativen Glimmlicht“. Hittorf wies nach, daß die neuen Strahlen sich geradlinig ausbreiten, Fluoreszenz erregen, scharfe Schatten werfen und sich im Magnetfeld ablenken lassen. In minutiösen empirischen Untersuchungen, die physikalische wie chemische Aspekte umfaßten und zahllose technisch-apparative Neuerungen erforderten, konnte Hittorf im Laufe von 15 Jahren die Physik der Kathodenstrahlen als wohldefiniertes und experimentell gut zu handhabendes Arbeitsgebiet etablieren.

Daß Hittorfs Arbeiten nicht die verdiente Aufmerksamkeit erfahren haben, hat mehrere Gründe. Zum einen ist da die Fülle empirischer Details, die ihre Lektüre erschwert und den inneren Zusammenhang nicht deutlich genug hervortreten läßt. Zum anderen war Hittorf offenbar ein bescheidener und alle Publicity scheuender Mensch, der noch dazu nicht an einer der aufstrebenden deutschen Universitäten, sondern an einer katholischen Akademie lehrte, die im wesentlichen Lehrer und Priester ausbildete und erst 1875 das Promotionsrecht erlangte, so daß Hittorf kaum wirkliche Forschungsstudenten hatte. Viele der von ihm ausgearbeiteten Experimente und Apparaturen verbinden sich daher bis heute mit dem Namen des begnadeten Popularisators William Crookes [→ 6.1.], der diese - und damit sich selbst - ungleich besser in Szene zu setzen verstand.

Adolf Heydweiler, „Johannes Wilhelm Hittorf,“ *Physikalische Zeitschrift* 16 (1915), 161-179. - Gerhard C. Schmidt, *Wilhelm Hittorf*, Münster 1924. - Philipp Lenard, *Große Naturforscher: Eine Geschichte der Naturforschung in Lebensbeschreibungen*, 3. Aufl., München 1937, S. 304. - Hans Schimank, „Johann Wilhelm Hittorf,“ *Physikalische Blätter* 12 (1964), 571-577. - Erwin N. Hiebert, „Electric Discharge in Rarefied Gases: The Domination of Experiment: Faraday, Plücker, Hittorf,“ in: *No Truth Except in the Details: Essays in Honor of Martin J. Klein*, hrsg. von A.J. Kox und Daniel M. Siegel, Dordrecht 1995, S. 95-134.

B.G.

5.2. „der dunkelste Theil der heutigen Electricitätslehre“

Wilhelm Hittorf, „Über die Electricitätsleitung der Gase: Erste Mittheilung,“ *Annalen der Physik und Chemie* 136 (1869), S. 1-31, 197-234; Universitätsbibliothek Regensburg, Sign. 00/UA 2050-212

Die auf den 9. Oktober 1868 datierte Arbeit ist der erste von sechs klassischen Aufsätzen, in denen Hittorf bis 1884 die Physik der Kathodenstrahlen begründete. Sie beginnt mit einem eher entmutigenden Blick auf den Forschungsstand: „Der dunkelste Theil der heutigen Electricitätslehre ist unstreitig der Vorgang, durch welchen in den gasförmigen Körpern die Fortpflanzung des Stromes vermittelt wird. Während für die festen oder flüssigen Leiter ... die thatsächlichen Verhältnisse in Zusammenhang gebracht sind und in dem Ohm'schen Gesetze das verkettende Band gewonnen haben, besitzen unsere Kenntnisse über die Leitung der Gase trotz der Bemühungen ausgezeichneter Physiker noch

einen entschieden fragmentarischen Charakter und stützen sich vielfach auf Beobachtungen, welche unvollständig und isoliert blieben.“

Hittorfs Ausgangspunkt war die Beobachtung, daß die Stomleitung im ‘positiven Licht’ der Entladungsröhre den Verhältnissen in Elektrolyten und Metallen entspricht, während im ‘Hittorfschen Dunkelraum’ und im ‘negativen Glimmlicht’ offenbar andere Verhältnisse vorherrschten. Seine Vermutung, die von der Kathode ausgehenden „Strahlen des negativen Lichts“ besäßen Wellennatur, wurden zum Ausgangspunkt einer fast dreißig Jahre währenden Kontroverse um die Natur dieser Strahlung, die erst durch Joseph John Thomson und die ‘Entdeckung des Elektrons’ zum Abschluß kommen sollte. Für Hittorf selbst jedoch lag in dem Versuch, die Elektrizität als eine Ätherschwingung zu interpretieren, nichts geringeres als die Verheißung, die Allgemeingültigkeit des mechanistischen Weltbildes zu erweisen: „Täusche ich mich nicht, so sind diese Verhältnisse [im kathodischen Glimmlicht] äußerst günstig, um uns Schlüsse auf den Vorgang des elektrischen Stromes selbst zu gestatten; es ist nicht unmöglich, daß die Gase auf unserem Gebiete, wie in der Lehre von der Wärme, am leichtesten das Wesen der Erscheinungen erkennen lassen und die moderne Physik von ihren letzten Imponderabilien, den elektrischen befreien werden.“ (S. 223).

C.M.

5.3. *Hittorf-Röhre*

Glas, Metallelektroden, ergänzter Holzfuß; 16 x 27 x 9 cm; Inv.-Nr. 021509000

Mit einfachen birnenförmigen Röhren dieser Art hat Hittorf seine Experimente zur Kathodenstrahlung durchgeführt, und ähnliche Röhren hat auch noch Röntgen bei der Entdeckung der X-Strahlen benutzt. Die Elektroden sind scheibenförmig ausgebildet. Die kleinere Anode ragt aus dem seitlichen Ansatz in den Entladungsraum hinein, die größere Kathode ist axial angebracht.

5.4. *Eugen Goldstein (Gleiwitz 1850 - Berlin 1930)*

Portrait aus: „Eugen Goldstein zur Feier seines Siebzigsten Geburtstages,“ Die Naturwissenschaften 8 (1920), S. 715

Eine weitere Erscheinung in den Gasentladungsröhren erhielt von ihrem Entdecker Eugen Goldstein den Namen ‘Kanalstrahlen’, da diese nur hinter einer mit Kanälen versehenen Kathode zu beobachten sind. Die moderne Physik bezeichnet diese Strahlen als Ionenstrahlen. Es handelt sich dabei um einen gebündelten Strom von elektrisch geladenen Atomen im Hochvakuum. Die Versuche an Kanalstrahlen brachten wichtige Erkenntnisse zur atomaren Struktur der Materie, so führten sie u.a. zur Entdeckung der Isotope und der Massenspektroskopie.

Goldstein war der Sohn eines jüdischen Weinhändlers. Er absolvierte das Gymnasium in Ratibor und besuchte in den Jahren 1869/70 die Universität in Breslau. Danach wechselte er an die Berliner Universität, wo er einige Zeit bei dem Physiker Hermann Helmholtz (1821-1894) arbeitete. 1881 promovierte er über „Eine neue Form elektrischer Abstoßung“. Darin beschrieb Goldstein u.a. die elektrostatische Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen.

Zeit seines Lebens sah sich Goldstein mit dem Problem konfrontiert, eine besoldete Forschungsstelle zu finden, so daß er den Großteil seiner wissenschaftlichen Arbeiten als Privatgelehrter verfaßte. Dabei erhielt er zwar oft finanzielle Unterstützung, die jedoch nie für mehr als ein kleines Privatlabor und einen Labordiener ausreichte. Immer wieder mußte er seine Forschungen unterbrechen. Ein möglicher Grund für die mangelnde Integration in den zeitgenössischen Forschungsbetrieb dürfte in Goldsteins jüdischer Abstammung zu finden sein. Viele jüdische Physiker konnten nur in der damals noch wenig angesehenen theoretischen Physik Fuß fassen. Auch Goldstein konnte nur kurzfristig eine wirkliche Forschungsstellung als Physiker mit gesichertem Etat erlangen: am Potsdamer Observatorium von 1888 bis 1890. Daneben richtete er in dieser Zeit das Physikalische Kabinett der Berliner Urania ein. Diese war ursprünglich eine Volkssternwarte und wurde später in eine naturwissenschaftliche Volkshochschule umgewandelt. Um diese Ausstellung attraktiv und lehrreich zu gestalten, stellte Goldstein auch Experimente aus, die das Publikum selbsttätig durch einen kleinen Handgriff bedienen konnte. Er entwickelte damit eine museumsdidaktische Methode, die das Deutsche Museum in München aufgriff und auch heute noch präsentiert.

In den Jahren 1890 bis 1896 arbeitete Goldstein als Gast in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Danach erhielt er ein aus den Mitteln der Potsdamer Sternwarte finanziertes Laboratorium, wo er bis 1927 mit einem Laboranten forschte.

Fast alle seine veröffentlichten Arbeiten handeln von der elektrischen Entladung in hochverdünnten Gasen. Hauptsächlich wurde Goldstein durch seine Entdeckung der Kanalstrahlen im Jahre 1886 bekannt. Er lieferte jedoch auch entscheidende und stark beachtete Beiträge zum Phänomen der Kathodenstrahlen, die diesen Namen erst durch Goldstein erhielten.

In seiner ersten Arbeit aus dem Jahre 1876 zeigte Goldstein auf, daß Kathodenstrahlen scharfe Schatten werfen. Zudem berichtete er, daß sie senkrecht von der Kathode ausgesandt werden, eine Tatsache, die zur Konstruktion von konkaven Kathoden zur Fokussierung der Strahlen führte. 1880 konnte Goldstein den Einfluß von Magnetfeldern auf die Kathodenstrahlung experimentell belegen. Goldstein versuchte zudem William Crookes' Vorstellung zu widerlegen, der die Kathodenstrahlung als eine Art Strom geladener molekularer Partikel interpretierte. Dazu zeigte er, daß die mittlere freie Weglänge der Kathodenstrahlen um ein 100faches größer ist als die von Molekülen. Zudem beschrieb Goldstein, daß beim emittierten Licht der Kathodenstrahlung nur wenig bzw. gar keine Dopplerverschiebung zu beobachten sei, obwohl er dies für Moleküle erwarten müßte.

Auch in den weiteren Jahren stand die Kathodenstrahlung im Mittelpunkt von Goldsteins Forschungen. Er fand, daß Salze, wenn sie bestrahlt werden, ihre Farbe verändern, daß die Strahlung an der Anode eine Art Reflexion erleidet und daß sich parallele Strahlen voneinander weg biegen. Als unglaublich vielseitiger Experimentator entwickelte Goldstein für seine Experimente zahlreiche Röhren mit jeweils anderer Elektrodenanordnung.

Im Jahre 1886 veröffentlichte Goldstein in den *Sitzungsberichten der Akademie der Wissenschaften zu Berlin* eine Arbeit mit dem Titel „Über eine noch nicht untersuchte Strahlungsform an der Kathode induzierter Ladungen“. Dieser Strahlung gab Goldstein vorerst den Namen „Canalstrahlen“, da es sich um leuchtende Strahlen handelt, die hinter einer durchlöcherten Kathode entstehen, also aus Kanälen austreten.

Goldstein publizierte noch weitere Entdeckungen zu den Kanalstrahlen, in denen er die Wellenlängen des emittierten Lichts untersuchte, das von unterschiedlichen Metallen und Oxiden ausgeht, wenn diese von Kanalstrahlen getroffen werden. Auch fand er, daß die Entladungsröhre eine effiziente Quelle positiver Strahlung sein könne. Die letzten zwei Jahrzehnte seines Lebens widmete Goldstein den Phänomenen der Anodenentladung und der abgestuften Form der positiven Säule in der Entladungsröhre. Da diese Arbeiten jedoch nicht dem damaligen wissenschaftlichen Interesse entsprachen, wurden sie nicht weiter beachtet.

Otto Reichenstein, „Eugen Goldstein,“ *Die Naturwissenschaften* 8 (1920), S. 717-721. - H. Rausch v. Traubenberg, „Die Bedeutung der Kanalstrahlen für die Entwicklung der Physik,“ *Die Naturwissenschaften*. 18 (1930), 773-776. - Eduard Rüchardt, „Zur Entdeckung der Kanalstrahlen vor fünfzig Jahren,“ *Die Naturwissenschaften* 24 (1936), 465-467. - Henk de Regt, „Eugen Goldstein, Wilhelm Wien, en de kanaalstralen, 1886-1912,“ *Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 12 (1989), 110-129.

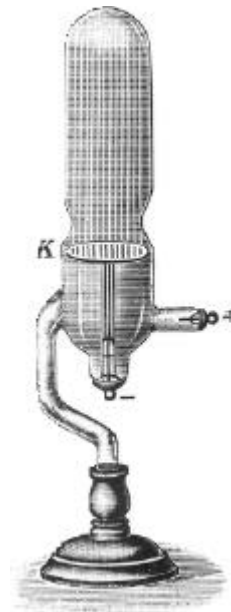
5.5. Kanalstrahlröhre

Glas, Metall; 31,5 cm, Ø 13,5 cm; Inv.-Nr. 076453000

Als Goldstein 1886 die Entdeckung der neuen, noch unerforschten Strahlungsart präsentierte, erregte er damit relativ wenig Aufsehen. Es dauerte elf Jahre, bis die erste Reaktion auf dieses Thema veröffentlicht wurde. Erst dann erschien Goldsteins Aufsatz in den *Annalen der Physik und Chemie*, und die Kanalstrahlen fanden das Interesse der Fachwelt.

Goldstein beschrieb in seiner Arbeit, daß er bei der geplanten Untersuchung des blauen Kathodenlichts an einer Netzkathode auf eine unerwartete Erscheinung gestoßen sei. Anstatt des blauen Lichtes fand er eine gelbe Leuchterscheinung. Diese erfüllte den gesamten Raum zwischen der Kathode und der Glaswand. Sein erster Schluß war, daß diese Leuchterscheinung farblich der zweiten Leuchtschicht vor der Kathode sehr ähnlich sei.

Um weitere detaillierte Experimente durchzuführen, konstruierte Goldstein eine Röhrenform, die später als einfache Kanalstrahlröhre bekannt wurde. Damit untersuchte er zuerst das Richtungsverhalten der Strahlung bei verschiedenen Kathodenformen und versuchte, die Ursache der Farbgebung herauszufinden. Außer einer eingehenden spektralen Untersuchung der Phänomene fand Goldstein auch, daß sich die Kanalstrahlen im Unterschied zu den Kathodenstrahlen durch magnetische und elektrische Felder nicht ablenken ließen.



Mit Hilfe der vorliegenden Röhre konnten sowohl Kanalstrahlen, als auch Kathodenstrahlen erzeugt werden. Der gläserne Mantel hat eine annähernd ovale Form und besitzt drei Ausbuchtungen für die Elektrodenanschlüsse sowie ein Absaugrohr, das an eine Vakuumpumpe angeschlossen werden kann. In der Röhre befindet sich eine kurze Anode, eine scheibenförmige Elektrode und ein metallenes Sieb. Wird die flache Elektrode als Kathode verwendet, so entstehen Kathodenstrahlen, deren Phänomene auch hinter dem Sieb beobachtbar sind, falls dieses geerdet ist. Ist das Sieb hingegen als Kathode geschaltet, so lassen sich in dem etwa 14 cm tiefen dahinter befindlichen Glasrohr die Leuchterscheinungen der Kanalstrahlung beobachten.

Eugen Goldstein, „Über eine noch nicht untersuchte Strahlungsform an der Kathode inducirter Entladungen,“ *Annalen der Physik* 64 (1898), 38-48. - Max Kohl, *Preisliste Nr. 21: Physikalische Apparate*, Chemnitz [1905], S. 770. - Leo Graetz, *Die Elektrizität und ihre Anwendungen*, 17. Aufl., Stuttgart 1914, S.319 (Abb.).

5.6. Kanalstrahlröhre nach Wien

Glas, Metall; 51 cm, Ø 12 cm; Inv.Nr. 021510400

Eine genauere Untersuchung der Kanalstrahlen findet sich erst in einer Arbeit des Physikers Wilhelm Wien (1864-1928) aus dem Jahre 1897. Wien zeigte zunächst, daß es sich bei der Kathodenstrahlung um negativ geladene Massepartikelchen handelt und bestimmte deren spezifische Ladungsdichte. Da die Kanalstrahlen die Kathode in entgegengesetzter Richtung verlassen wie die Kathodenstrahlen, schrieb er ihnen eine positive Ladung zu. Es gelang Wien, diese Ladung zu messen. In einem weiteren Aufsatz in den *Annalen der Physik* beschrieb er Anordnungen, mit denen er die Kanalstrahlen durch elektrische und magnetische Felder ablenken konnte. Dabei fand er, daß das Verhältnis der Masse zur elektrischen Ladung der Kanalstrahlen etwa 10000mal größer ist als das bei Kathodenstrahlen gemessene.

Weitere Arbeiten zu den Kanalstrahlen stammen von den englischen Wissenschaftlern Joseph John Thomson (1856-1940) und Francis William Aston

(1877-1945) sowie dem deutschen Physiker Johannes Stark (1874-1957). Im folgenden sind nur die wichtigsten Forschungsergebnisse angegeben, die alle aus den Jahren 1905 bis 1915 stammen.

Stark entdeckte 1900, daß die Spektrallinien der Kanalstrahlen eine Dopplerverschiebung zeigen. Es gelang ihm, mit Hilfe des von Kanalstrahlen erregten Leuchtens die Aufspaltung der Spektrallinien im elektrischen Feld zu zeigen. Für diesen nach ihm benannten Starkeffekt, den er später (1906/07) selbst als die entscheidende empirische Bestätigung der Speziellen Relativitätstheorie und der Lichtquantenhypothese ansah, erhielt Stark 1919 den Nobelpreis.

Die wohl wichtigste Anwendung der Kanalstrahlen erforschten Aston und Thomson: Thomson ließ die Kanalstrahlen durch elektrische und magnetische Felder laufen, die so angeordnet waren, daß die Richtungsänderungen aufeinander senkrecht standen, die sog. Parabelmethode. Zwar waren die Effekte bei seiner ersten Anordnung noch sehr ungenau, es zeigte sich aber qualitativ, daß sich damit Teilchen von unterschiedlicher Masse trennen ließen. Durch Verbesserung der verwendeten Geräte entstand so der erste Massenspektrograph. Aston fand auf diesem Wege, daß auch bei Atomen eines einzigen Elements mehrere spezifische Massen vorkommen. Diese Beobachtung konnte er sich nur durch die Annahme erklären, daß chemische Elemente aus mehreren verschieden aufgebauten Atomen bestehen. Die Ergebnisse veröffentlichte er in der in vielen Auflagen erschienenen Monographie *Isotopes* 1922 in London.



Die vorliegende Röhre diente dazu, die unterschiedliche Ladung der Kanalstrahlen und der Kathodenstrahlung zu demonstrieren. Die längliche Röhre besitzt vier Elektroden. Die stabförmige Anode befindet sich im seitlichen Ansatzrohr. An den Enden der Röhre sind zwei Scheibenelektroden angebracht, und etwa in der Mitte des Gefäßes ist ein geerdetes Metallsieb befestigt. Wird die flache Elektrode, die sich auf der Seite der Anode befindet, als Kathode verwendet und die gegenüberliegende Elektrode über ein Galvanometer mit der Erdung verbunden, so läßt sich am Meßgerät ein Strom ablesen, dessen negativer Pol an der Elektrode liegt. Dieser Strom stammt von der Ladung der Kathodenstrahlung, welche somit negativ ist. Wird das Sieb als Kathode geschaltet, so dreht sich die Stromrichtung am Galvanometer um. Dies zeigt, daß Kanalstrahlen positiv geladen sind.

Willy Wien, „Über die elektrostatische Ablenkung der Kathodenstrahlen,“ *Verhandlungen der physikalischen Gesellschaft zu Berlin* 1897, 165-172. - Ders., „Untersuchungen über die elektrische Entladung in verdünnten Gasen,“ *Annalen der Physik* 65 (1898), 440-452. - Max Kohl, *Preisliste Nr. 21: Physikalische Apparate*, Chemnitz [1905], S. 771. - Leo Graetz, *Die Elektrizität*, Stuttgart 1912, S. 312. - H. Rausch v. Traubenberg, „Die Bedeutung der Kanalstrahlen für die Entwicklung der Physik,“ *Die Naturwissenschaften*. 18 (1930), 773-776. - Eduard Rüchardt, „Zur Entdeckung der Kanalstrahlen vor fünfzig Jahren,“ *Die Naturwissenschaften* 24 (1936), 465-467. - Francis Aston,

„Kanalstrahlen und Atomphysik,“ ebd., S. 467-469. - Henk de Regt, „Eugen Goldstein, Wilhelm Wien, en de kanaalstralen, 1886-1912,“ *Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 12 (1989), 110-129.

Mi.K.

6. **WILLIAM CROOKES UND DIE STRAHLENDE MATERIE**

Im Anschluß an die Untersuchungen von Michael Faraday, William R. Grove (1811-1896) und John P. Gassiot (1797-1877) aus den späten 1850er Jahren war das Studium der Gasentladung zu einer Domäne der deutschen Physiker geworden, mit Bonn und, von 1868 an, Münster als den Zentren. Doch galt das Gebiet als eine experimentell schwierige und theoretisch unergiebigere Kuriosität, die sich eher für Außenseiter und Liebhaber denn für ernste Naturforscher schickte. Dies änderte sich erst, als William Crookes, ein überaus versierter Experimentator und erfolgreicher Wissenschaftsjournalist, sich von 1875 an der Sache annahm. Als spekulativer Kopf erkannte Crookes ihre mögliche Bedeutung für die Theorie der Materie, setzte die Debatte um einen neuen Aggregatzustand und die Korpuskular- oder Wellennatur der Strahlung erst eigentlich in Gang und machte auf diese Weise die Erforschung der Gasentladung in ganz Europa rasch populär. Dabei war es nicht zuletzt die wirkungsvolle Inszenierung der physikalischen Effekte mit geheimnisvoll leuchtenden Strahlen und sich drehenden 'Lichtmühlen', die kontroverse Deutungen provozierte und damit letztlich den Weg in die moderne Atomphysik und die Entdeckung des ersten Elementarteilchens, des Elektrons, bahnte.

Robert K. DeKosky, „William Crookes and the Fourth State of Matter,“ *Isis* 67 (1976), 36-60.

6.1. **William Crookes (London 1832 - London 1919)**

Photographie nach: British Chemists, hrsg. von Alexander Findlay und William H. Mills, London 1947, S. 10; 15 x 10 cm

William Crookes war das älteste von 16 Kindern des Londoner Schneiders Joseph Crookes. Seine wissenschaftliche Ausbildung begann er 1848 als Student von August Wilhelm Hofmann am Royal College of Chemistry in London; dort arbeitete er von 1850 bis 1854 als Hofmanns persönlicher Assistent. In dieser Zeit wurde Michael Faraday an der Royal Institution auf Crookes aufmerksam und machte ihn mit Charles Wheatstone und George Stokes bekannt. Der Einfluß dieser drei Männer führte dazu, daß sich Crookes schließlich von traditionellen chemischen Problemen abwandte und begann, sich mit physikalischer Chemie zu beschäftigen. So untersuchte er unter anderem auf eine Anregung Wheatstones hin die Möglichkeiten der Photographie.

1854 wurde er durch Wheatstones Einfluß Superintendent der meteorologischen Abteilung des Radcliffe Observatorium in Oxford; ein Jahr später unter-

richtete er Chemie am College of Science in Chester. Schließlich ließ er sich 1856 als Privatgelehrter in seiner Heimatstadt nieder, wo er photographische und wissenschaftliche Zeitschriften herausgab, aber auch als Chemiker in seinem eigenen Labor arbeitete. Doch er machte sich insbesondere als Herausgeber der erfolgreichsten und wichtigsten dieser Zeitschriften, den im Dezember 1859 gegründeten *Chemical News*, einen Namen. Daneben beschäftigte sich Crookes auch mit recht unterschiedlichen Gebieten, z.B. mit dem elektrischen Licht, mit chemischen und spektroskopischen Untersuchungen der Seltenen Erden, mit Düngemitteln und Abwasserproblemen, und seit den 1870er Jahren mit Erscheinungen des Spiritismus.

Im Jahr 1861 entdeckte er, gleichzeitig mit dem französischen Chemiker Auguste Lamy, mit Hilfe der neuen Spektralanalyse das Element Thallium in Selenrückständen und untersuchte dessen Eigenschaften. Lamy erhielt 1862 für seine Entdeckung auf der Internationalen Ausstellung in London eine Medaille; Crookes wurde daraufhin 1863 in die Royal Society aufgenommen. Bis 1871 bemühte Crookes sich darum, das Atomgewicht von Thallium zu bestimmen, indem er mit einer sehr feinen Waage arbeitete, die in einem eisernen evakuierbaren Kasten montiert war. Bei seinen Arbeiten mit dieser Waage bemerkte er, daß warme Körper etwas leichter erschienen als kalte. Mit der Hilfe von Charles H. Gillingham, der von 1870-1882 sein Assistent war und sich auf Glasblasen und die Technik von Vakuumpumpen [→ 3.3.] verstand, begann Crookes eine gründliche Untersuchung dieser von ihm entdeckten Anomalie. Während dieser Versuche glaubte er, einen Strahlungsdruck von Wärme und Licht gefunden zu haben, was ihn 1875 zur Entwicklung der sogenannten Lichtmühlen oder Radiometer führte. Damit versuchte er den Druck des Lichtes nachzuweisen, wie es die Korpuskulartheorie, aber auch die elektromagnetische Theorie Maxwells, postulierten. Die moderne Erklärung, daß nämlich der Temperaturunterschied des verdünnten Gases zu beiden Seiten der Radiometerflügel die Drehung bewirkt, lehnte Crookes ab.

Einige Zeit später begann er sich mit der Kathodenstrahlung zu beschäftigen - einem Gebiet, das bis dahin nur von deutschen Experimentalforschern bearbeitet worden war. Bei einem Vortrag vor der Naturforscherversammlung in Sheffield 1879 beschrieb Crookes seine Beobachtungen. Dieser Vortrag erregte wegen der umfangreichen Versuche und seinem provokanten Titel „Strahlende Materie oder der Vierte Aggregatzustand“ in weiten Kreisen Aufsehen [→ 6.2.]. Die Erscheinungen selbst waren zwar weitgehend schon 1869 von Hittorf in seiner Arbeit „Über die Electricitätsleitung der Gase“ beschrieben worden, doch erst Crookes hat sie populär gemacht. Der magnetische und elektrische Charakter dieser Strahlen, ihre Wärmewirkung und ihre Abstoßungskräfte waren die Ausgangspunkte für seine Definition der Kathodenstrahlen. Er verstand sie als bewegte materielle Teilchen, die ihre negative elektrische Ladung durch ihren Kontakt mit der Kathode erhalten, dann von dieser als elektrisch gleich geladene Massen abgestoßen werden und sich mit diesem Impuls durch die Röhre bewegen. Ausgehend von der Beobachtung, daß sich der sogenannte Dunkle Kathodenraum mit zunehmender Verdünnung immer weiter ausbreitet

und schließlich das Anodenlicht ganz zurückdrängt, bezeichnete Crookes diesen molekularen Zustand des Gases nicht mehr als gasartig, sondern nannte ihn den 'Vierten Aggregatzustand' und die Materie in diesem Fall 'Strahlende Materie'. Seine Erfolge bei der Herstellung der für diese Versuche nötigen sehr hohen Vakua machten schließlich die Entdeckung der Röntgenstrahlung und des Elektrons erst möglich.

Ab 1898 beschäftigte sich Crookes mit der Radioaktivität, entdeckte 1903 die Ionisationswirkung von α -Teilchen und entwickelte daraufhin das Spintariskop, eine frühe Form des Szintillationszählers.

Der unabhängige Privatgelehrte Crookes wurde 1897 geadelt; 1910 wurde ihm der Verdienstorden verliehen. Er war 1898 Präsident der British Association und von 1913 bis 1915 Präsident der Royal Society.

Philipp Lenard, *Über Kathodenstrahlen: Nobel-Vortrag 1907*, 2. Aufl., Berlin/Leipzig 1920. - E.E. Fournier d'Albe, *The Life of Sir William Crookes O.M., F.R.S.*, London 1923. - W.H. Brock, „William Crookes,“ in: *Dictionary of Scientific Biography*, Bd 3, New York 1972, S. 474-483. - Robert K. DeKosky, „Spectroscopy and the Elements in the Late 19th Century: The Work of Sir William Crookes,“ *British Journal for the History of Science* 6 (1973), 400-423. - Ders., „William Crookes and the Fourth State of Matter,“ *Isis* 67 (1976), 36-60.

6.2. Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand

William Crookes, *Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand*, hrsg. von Heinrich Gretschel, Leipzig: Quandt & Händel, 1882; 41 S.; 23 x 15 cm; Universitätsbibliothek Passau, Sign. UH 6200 C948

Der Vortrag, den Crookes im August 1879 auf der 49. Jahresversammlung der British Association for the Advancement of Science in Sheffield gehalten hatte, wurde bereits im Oktober des gleichen Jahres ins Deutsche übersetzt und veröffentlicht. Crookes faßte damit die von ihm gewonnenen Ergebnisse über die 'Strahlende Materie' zusammen und erläuterte seine Darstellungen dabei anhand von zahlreichen Experimenten. In diesem Zusammenhang klärte er auch den Begriff der Strahlenden Materie, den Faraday bereits 60 Jahre vorher eingeführt hatte, als er darauf hinwies, daß die Materie in vier Zuständen - fest, flüssig, gasförmig und strahlend - auftrate, die sich in ihren wesentlichen Eigenschaften voneinander unterscheiden. Crookes war der Ansicht, daß die von ihm beobachteten Erscheinungen durch die Bewegung von Gasmolekeln in den evakuierten Röhren hervorgerufen werden. Damit gehörte er zu den Vertretern der sogenannten Emissionstheorie, für die die elektrischen Wirkungen im Vordergrund standen, während die sogenannte Äthertheorie, die insbesondere von deutschen Physikern vertreten wurde, die optischen Wirkungen für wichtiger hielt und sich an die Wellentheorie des Lichts anlehnte.

Crookes schloß seinen Vortrag in Sheffield mit folgenden prophetischen Worten: „Beim Studium dieses vierten Zustandes der Materie scheinen wir endlich unter unseren Händen und im Bereich unserer Prüfung die kleinen untheilbaren Theilchen zu haben, von denen man mit gutem Grunde voraussetzt,

dass sie die physikalische Grundlage des Weltalls bilden. Wir haben gesehen, dass in einigen ihrer Eigenschaften die strahlende Materie ebenso materiell ist als dieser Tisch, während sie in anderen Eigenschaften fast den Charakter strahlender Energie annimmt. Wir haben tatsächlich das Grenzgebiet berührt, wo Materie und Kraft in einander überzugehen scheinen, das Schattenreich zwischen dem Bekannten und Unbekannten, welches für mich immer besondere Reize gehabt hat. Ich denke, dass die grössten wissenschaftlichen Probleme der Zukunft in diesem Grenzlande ihre Lösung finden werden und selbst noch darüber hinaus; hier, so scheint mir's, liegen letzte Realitäten.“

Die ungeheure Faszination, die die neuartigen Phänomene der Gasentladung ausübten, erklärt sich zum einen aus der Gewißheit, hier Antworten auf die alte Frage nach der Struktur der Materie finden zu können; zum anderen aber aus der Hoffnung, damit ein Fenster zum Reich der materielosen Kräfte und Geister aufgetan zu haben. Crookes galt als eine der Leitfiguren des britischen Spiritismus, 1897 war er Präsident der Society for Psychical Research. Er gehörte zu denjenigen, die dachten, die physikalische Naturwissenschaft lasse wichtige Bereiche der Wirklichkeit außer acht, und empirische Forschung solle sich auch der paranormalen Erscheinungen annehmen. Im 'vierten Aggregatzustand' glaubte er, mit den Mitteln experimenteller Forschung sich jener anderen Welt nähern zu können.

William Crookes, *Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand*, Leipzig 1882. - A.E. Woodruff, „William Crookes and the Radiometer,“ *Isis* 57 (1966), 188-198. - *Crookes and the Spirit World: A Collections of Writings by ... William Crookes in the Field for Psychical Research*, hrg. von R.G. Medhurst, New York 1972. - Robert K. DeKosy, „William Crookes and the Fourth State of Matter,“ *Isis* 67 (1976), 36-60. - David M. Knight, *The Transcendental Part of Chemistry*, Chatham 1978, S. 91-123. - Robert K. DeKosy, „William Crookes and the Quest for the Absolute Vacuum in the 1870's,“ *Annals of Science* 40 (1983), 1-18.

6.3. Crookesche Röhren

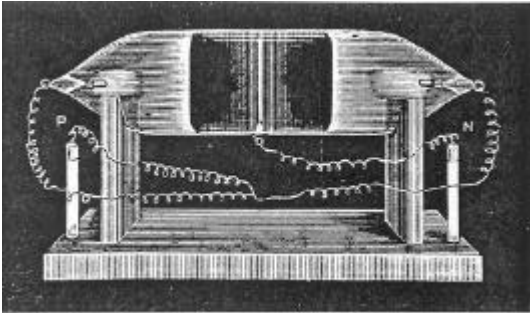
Die hier vorgestellten Vakuumröhren können alle, bis auf die Vakuumröhren mit den fluoreszierenden Materialien [→ 6.3.6. und 6.3.7.], den Vorlesungsversuchen von Crookes aus dem Jahr 1879 zugeordnet werden. Die Popularität seines Vortrages „Strahlende Materie oder der Vierte Aggregatzustand“ führte dazu, daß insbesondere die Abbildungen der für die Versuche verwendeten Röhren direkt von anderen Autoren übernommen wurden und die den Abbildungen folgende Numerierung der Röhren auch in Herstellerkatalogen verwendet wurde. Die beiden letzten Vakuumröhren sind zwar nicht identisch mit den Crookeschen Röhren, können aber Crookes' Versuchen über die Fluoreszenz verschiedener Materialien zugeordnet werden.

In die physikalische Sammlung des Regensburger Lyzeum kamen die hier gezeigten Stücke zwischen 1879 und 1898 auf Betreiben von Konstantin Wittwer [→ 8.9.].

Max Kohl, *Preisliste Nr. 21: Physikalische Apparate*, Chemnitz [1905], S. 765-767. - *The Nicholas Webster Collection of Geissler and Crookes' Tubes and Other Laboratory Apparatus* [Auktionskatalog vom 26 Sept 1991], Christie's Sale 1597, London 1991.

6.3.1. *Crookessche Röhre No. 1, 1879/80*

Glas, Metallelektroden; 21,5 x 5,5 cm; Inv.-Nr.: 076462900



Diese Röhre diente zur Darstellung des sog. „Dunklen Kathodenraumes“. Sie enthält drei Elektroden: Die mittlere Elektrode in Form einer Metallscheibe wurde für den Versuch negativ und die beiden äußeren, länglichen Elektroden, die miteinander verbunden wurden, positiv geschaltet. Bei geringer Evakuierung der Röhre zeigt sich zu beiden Seiten der negativen Elektrode ein

dunkler Raum, der von einem schwachen Leuchten begrenzt wird. Bei steigender Evakuierung der Röhre vergrößert sich der dunkle Raum zu beiden Seiten der Metallscheibe.

Diese Röhre wurde im Schuljahr 1879/80 beschafft und ist mit anderen zusammen im Inventar des Lyzeum von 1891 in der Abteilung Elektrizität und Magnetismus unter der Nr. V/86: „8 Crooks App. über strahlende Materie“ mit einem Zeitwert von 47,25 Mark aufgeführt.

William Crookes, *Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand*, Leipzig 1882, S. 8.

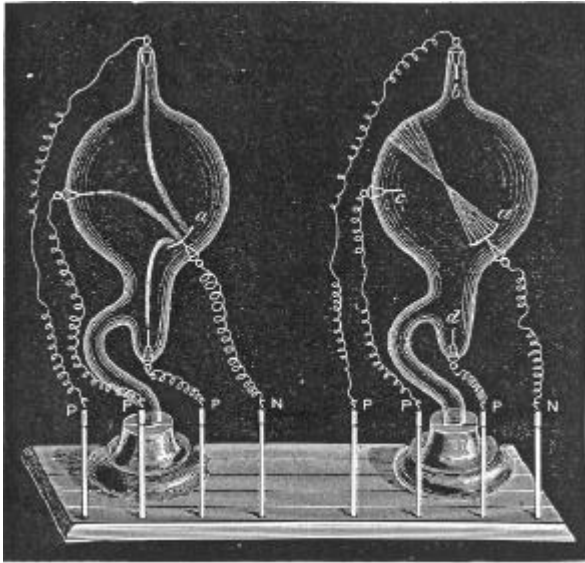
6.3.2. *Crookessche Röhre No. 7, 1879/80*

Glas, Metallelektroden, brauner Holzfuß; 40 x 13 cm; bez.: E. Leybold's Nachf., 8684, Cöln A/Rh.; Inv.-Nr.: 026786400

Mit Hilfe dieser kugelförmigen Röhre wurde dargestellt, daß sich die „strahlende Materie“ in gerader Linie bewegt, d.h. im Gegensatz zum Strahlengang bei geringer Evakuierung der Röhre, wo sich die Strahlen von der einen Elektrode zur anderen bewegen.

In der Röhre befinden sich vier Elektroden: Die halbschalenförmige Kathode ist negativ, die anderen drei Elektroden können abwechselnd positiv geschaltet werden. Bei einer geringen Evakuierung der Röhre werden die Strahlen von der negativen zur jeweils eingeschalteten positiven Elektrode gelenkt. Bei höchster Verdünnung verhalten sich die Strahlen jedoch anders: Von der negativen Elektrode ausgehend, erzeugen sie genau auf der gegenüberliegenden Seite der Röh-

re einen fluoreszierenden Kreis am Glas - und zwar unabhängig davon, welche der drei positiven Elektroden gerade eingeschaltet ist.



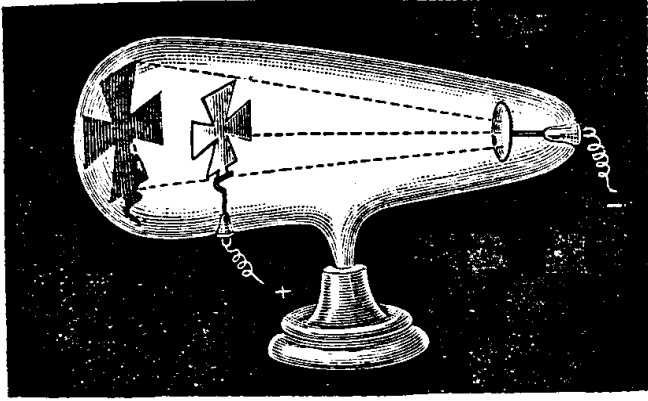
Diese Röhre wurde von der Firma E. Leybold's Nachfolger in Köln a. Rh. bezogen und gehört wahrscheinlich zu den Apparaten zu Versuchen über strahlende Materie, die 1879 für das Lyzeum angeschafft wurden. Die 1850 aus der Weinhandlung Martin Kothe in Köln hervorgegangene Instrumentenfirma von Ernst Leybold entwickelte sich rasch zu einem der führenden Instrumentenhersteller und Lieferanten für Laboratoriumsgerätschaften.

William Crookes, *Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand*, Leipzig 1882, S. 17. - Manfred Dunkel, *Geschichte der Firma E. Leybold's Nachfolger von 1850 bis 1966*, Köln 1973.

6.3.3. Crookes'sche Schattenkreuzröhre No. 9, 1897

Glas, Metallelektroden, Holzfuß; 25 x 24 x 12,5 cm; bez.: Rich. Müller-Uri, Braunschweig; Inv.-Nr.: 026872000

Die sogenannte Schattenkreuzröhre diente dem Nachweis, daß die „strahlende Materie“ einen festen Körper nicht durchdringen kann. Die birnenförmige Röhre enthält zwei Elektroden und ein Metallkreuz, das beweglich auf einem Scharnier befestigt ist. Am spitzen Ende des Gefäßes befindet sich die negative Elektrode, die positive ist im hohlen Fuß der Röhre untergebracht. Zu Beginn des Versuches wird das Kreuz senkrecht gestellt; die von der negativen Elektrode ausgehenden Strahlen, die nicht von dem Metallkreuz aufgehalten werden, erzeugen am anderen Ende der Röhre Fluoreszenz - das Kreuz wirft einen dunklen Schatten. Nach einiger Zeit beginnt sich das Glas dort zu erwärmen, wo die Strahlen auftreffen. Ein weiterer Effekt der Strahlen ist die sogenannte Ermüdung des Glases.



Diese Erscheinung läßt sich gut beobachten, wenn das Kreuz mit Hilfe des Scharniers aus dem Strahlengang gekippt wird. Dann fluoreszieren nämlich die bisher beschatteten Bereiche des Glases stärker fluoreszieren als ihre Umgebung, die den Strahlen schon länger ausgesetzt war.

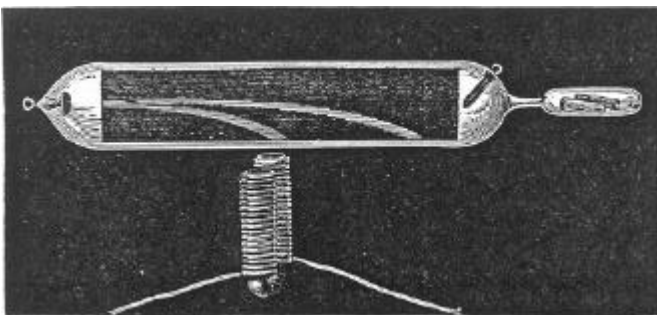
Die Schattenkreuzröhre wurde von Richard Müller-Uri in Braunschweig hergestellt und 1897 für 12 Mark vom Lyzeum erworben.

William Crookes, *Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand*, Leipzig 1882, S. 20. - Wilhelm Schenz, *Das erste Jahrhundert des Lyzeums Albertinum Regensburg 1810 bis 1910*. Regensburg 1910, S. 174.

6.3.4. Crookesche Röhre No. 15, 1879

Glas, Metallelektroden, Holzfuß; 13 x 33,5 x 10,5 cm; bez.: Rich. Müller-Uri, Braunschweig; Inv.-Nr.: 026891700

Mit dieser Röhre wurde gezeigt, daß die „strahlende Materie“ von einem Magneten abgelenkt wird. Die Röhre enthält an jeweils einem Ende eine stiftförmige Anode und eine scheibenförmige Kathode. In der Röhrenachse ist ein phosphoreszierender Schirm befestigt, der vor dem negativen Pol einen rechten Winkel bildet. Im abgewinkelten Teil des Schirmes befindet sich eine Öffnung. Im Normalfall wird eine gerade Linie durch die ganze Röhre hindurch projiziert, aber sobald man einen Magneten an die Röhre hält, krümmt sich die Linie in Richtung des Magneten. Gegenüber der negativen Elektrode befindet sich ein Kaliröhrchen, das, wenn es erhitzt wird, das Vakuum erniedrigt. Dies hat den Effekt, daß sich die Linie stärker krümmt. Bei geringer Evakuierung der Röhre wird zwar die Linie auch von dem Magneten abgelenkt, kehrt aber dann wieder auf ihren ursprünglichen Kurs zurück; bei hoher Evakuierung wird die Ablenkung der Strahlen beibehalten.



Hersteller dieser Röhre war Richard Müller-Uri in Braunschweig, und auch sie ist wohl zu den Apparaten zu Versuchen über strahlende Materie zu rechnen, die 1879 für das Lyzeum angeschafft wurden.

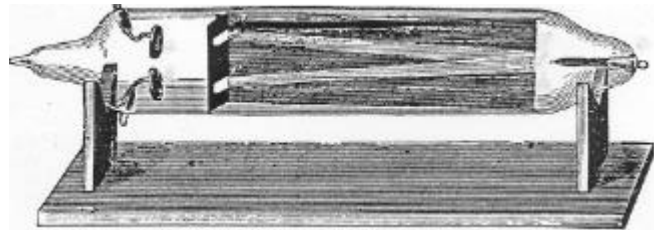
William Crookes, *Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand*, Leipzig 1882, S. 27.

6.3.5. *Zwei Crookessche Röhren No. 18, 1879*

Glas, Metallelektroden, auf Holzständern; 13 x 30 x 11 cm bzw. 17 x 26,5 x 11 cm; bez.:
Rich. Müller-Uri, Braunschweig; Inv.-Nr.: 026865800 bzw. 026863100

Diese beiden ähnlichen Röhren sollten zum Nachweis dienen, daß sich zwei Linien strahlender Materie gegenseitig abstoßen. Die Röhre enthält drei Elektroden: Die beiden übereinander angebrachten Scheibenkathoden am einen Ende wurden jeweils negativ, die Elektrode am anderen Ende der Röhre positiv geschaltet. Entlang der Röhrenachse befindet sich ein phosphoreszierender Schirm, auf dem der jeweilige Strahlengang verfolgt werden kann. Vor den beiden negativen Elektroden bildet der Schirm einen rechten Winkel; hier befinden sich zwei Öffnungen im Schirm, um den Strahlengang zur besseren Beobachtung zu begrenzen.

Wurde nur eine der beiden negativen Elektroden geschaltet, ergab sich ein gerader Strahlenverlauf; schaltete man aber die beiden negativen Elektroden gleichzeitig, so stießen sich die Strahlengänge gegenseitig ab.

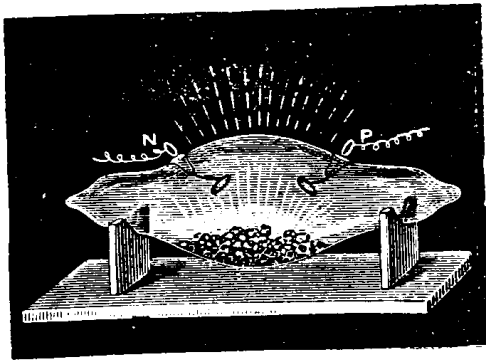


Beide Röhren wurden von Richard Müller-Uri in Braunschweig hergestellt und gehörten zu den Apparaten zu Versuchen über strahlende Materie, die 1879 für das Lyzeum angeschafft wurden.

William Crookes, *Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand*, Leipzig 1882, S. 30.

6.3.6. *Zwei Vakuumröhren mit fluoreszierendem Material*

Glas, Metallelektroden; 11 x 11 x 5,5 cm und 13 x 6 x 4,5 cm; Inv.-Nr.: 000029384



Die zitronenförmigen Vakuumröhren wurden dazu benutzt, um zu zeigen, wie verschiedene Materialien beim Auftreffen der „strahlenden Materie“ fluoreszieren. Die eine der beiden Röhren enthält zwei scheibenförmige Elektroden, die in den kleinen Fortsätzen untergebracht sind, sowie kleine Stückchen Koralle, die zum Fluoreszieren gebracht wurden. Die andere

Röhre enthält zwei ringförmige Elektroden, die in den Röhrenraum hineinragen, sowie faserige Kristalle.

William Crookes, *Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand*, Leipzig 1882, S. 13.

6.3.7. *Vakuumröhre mit fluoreszierenden Substanzen, 1879*

Glas, Metallelektroden, Holzfuß; 34 x 15 x 11 cm; bez.: Rich. Müller-Uri, Braunschweig; Inv.-Nr.: 026890900

Mit Hilfe dieser Vakuumröhre konnte die Fluoreszenz verschiedener Materialien dargestellt werden. In der Röhre befinden sich sechs verschiedene kristalline Substanzen, die auf einem Glasfuß befestigt sind. Über ihnen ist die negative Elektrode in Form einer runden Metallscheibe befestigt; die positive Elektrode ist seitlich unterhalb der Proben angebracht. Für stärkste Fluoreszenz empfahl Crookes eine Verdünnung von 1 Millionstel Atmosphäre (0,00076 mm Quecksilbersäule).

Hergestellt wurde diese Röhre von Richard Müller-Uri in Braunschweig, und auch sie gehört wohl zu den Apparaten zu Versuchen über strahlende Materie, die 1879 für das Lyzeum angeschafft wurden.

S.W.

7. *JOHANN PULJ UND DIE THEORIE DER GASENTLADUNG*

Kaum hatte Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) seine Entdeckung der X-Strahlen veröffentlicht, war die Zahl derer, die eigene Priorität oder doch mindestens Mitentdeckerschaft anmeldeten, begreiflicherweise groß. Denn die Apparaturen, derer sich Röntgen bedient hatte, waren seit Jahrzehnten in praktisch jedem physikalischen Laboratorium in Gebrauch. Wie bei allen naturwissenschaftlichen Entdeckungen ist es jedoch eine Sache, einen neuen Effekt zu

produzieren, und eine ganz andere Sache, diesen auch in seiner Bedeutung zu erkennen und bekannt zu machen. Zu denjenigen Physikern, die schon vor Röntgen offenbar um Haaresbreite an der Entdeckung der Röntgenstrahlen vorbeigegangen waren, gehörten u.a. William Crookes, der bereits 1879, oder A.W. Goodspeed und W.N. Jennings in Philadelphia, die 1890 die Schwärzung von Photoplaten in der Nähe von Kathodenstrahlröhren bemerkt hatten, oder auch Philipp Lenard und andere deutsche Physiker, denen die Fluoreszenzerscheinungen in der Umgebung laufender Kathodenstrahlröhren durchaus bekannt waren. In jüngster Zeit ist auch der galizische Experimentalphysiker Johann Puluj zum 'Vorläufer' Röntgens stilisiert worden. Den Zeitgenossen war er indes eher als Fachmann für Elektrotechnik, aus der Kontroverse mit Crookes um die Natur der Kathodenstrahlen und als Erfinder eines nach ihm benannten Typs von Entladungsröhren bekannt, für die er 1881 auf der Elektrischen Ausstellung in Paris eine Medaille erhielt. In diesem Zusammenhang begegnet er uns auch in der Physikalischen Sammlung des Regensburger Lyzeum.

7.1. *Johann Puluj (Grzymalów 1845 - Prag 1918)*

Reproduktion eines Photos aus: Sammelschrift der Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Ärztlichen Sektion der Sevcenko-Gesellschaft der Wissenschaften in Lemberg 27 (1928), Taf. 1; Universitätsbibliothek Göttingen

Johann Puluj (ukrain.: Ivan Puliui) wurde im selben Jahr wie Röntgen - 1845 - in Grzymalów im österreichischen Galizien geboren. Sein Vater, ein Grundbesitzer, hatte für ihn die Priesterlaufbahn vorgesehen; daher studierte Puluj an der Universität Wien zunächst ab 1865 Theologie. Im Jahre 1869 erhielt er die niederen Weihen, wechselte dann jedoch zur Philosophischen Fakultät, wo er bis 1872 Mathematik und Physik studierte und im Anschluß bis 1874 im physikalischen Labor Viktor von Langs (1838-1921) arbeitete. Nach einjährigem Aufenthalt an der Militärakademie in Fiume 1874 und an der Universität Straßburg 1875, wo er bei August Kundt (1839-1894) promovierte, war Puluj von 1876 bis 1884 als Assistent von Langs in Wien tätig, wo er sich 1877 habilitierte. Ein von ihm in dieser Zeit entwickelter Apparat zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents wurde auf der Weltausstellung in Paris 1878 prämiert. Seine ersten Arbeiten behandelten die innere Reibung von Gasen und die Diffusion von Dämpfen; als Privatdozent hielt Puluj in Wien bis 1883 Vorlesungen zur kinetischen Gastheorie und zur mechanischen Wärmetheorie.

Während der Privatdozentur begann Puluj sich zunehmend mit der Erforschung der Entladungen in evakuierten Röhren zu beschäftigen. Die von ihm in diesem Zusammenhang entwickelten und nach ihm benannten Röhren wurden 1881 auf der Elektrischen Ausstellung in Paris prämiert.

Eine erweiterte Zusammenstellung seiner Veröffentlichungen zu Glimmentladungen in Vakuumröhren erschien 1883 unter dem Titel *Strahlende Elektroden-Materie und der sogenannte vierte Aggregatzustand*. Darin legte Puluj seine Ergebnisse der

Untersuchungen der „strahlenden Materie“ dar und kritisierte anhand dieser und der Ergebnisse von Crookes dessen Interpretationen. Insbesondere bestritt Puluj die Existenz eines „vierten Aggregatzustandes“ und wandte sich gegen Crookes Überzeugung, mit der „strahlenden Materie“ ein „offenes Thor in die vierdimensionale Welt“ zu besitzen. Zum Abschluß der von Puluj beschriebenen Apparate und Versuchsdurchführungen zog er folgende Schlußfolgerungen: Er verfocht eine ‘unitarische’ Deutung der Elektrizität im Gegensatz zu der damals populären ‘dualistischen’ Theorie, die von der Existenz zweier ungleichnamiger Elektrizitäten ausging. Puluj hingegen deutete positive und negative Ladung als Überschuß bzw. Mangel an Äther, der jedes Atom und Molekül wie eine Atmosphäre von teilchenspezifischer Dichte und Ausdehnung umgibt. Mit Hilfe dieses Modells erklärte Puluj z.B. die Phosphoreszenzerscheinungen in Röhren so, daß beim Auftreffen der negativen Elektrodenteilchen ein Ätherausgleich stattfindet. Die Erschütterung beim Aufprall rufe auf der Glasoberfläche Ätherwellen hervor, ähnlich dem Auftreffen von Regentropfen auf eine ruhende Wasseroberfläche.

Nach der Veröffentlichung dieses Werks wurde Puluj im Jahre 1884 als Professor für Physik an die Deutsche Technische Hochschule in Prag berufen.

Bereits im März 1896, wenige Monate nachdem Röntgen seine vorläufige Mitteilung „Über eine neue Art von Strahlen“ veröffentlicht hatte, publizierte Puluj in den Sitzungsberichten der Wiener Akademie die Ergebnisse eigener Versuche zur Entstehung und Fortpflanzung der X-Strahlen. Diese hatte er mit Hilfe einer von ihm bereits zuvor entwickelten phosphoreszierenden Lampe durchgeführt. Im zweiten Teil der Mitteilung beschrieb Puluj die Herstellung und Interpretation photographischer Aufnahmen von menschlichen und tierischen Körpern und Körperteilen mit den neuen Strahlen, darunter gesunde und verletzte Hände, ein totes Meerschweinchen sowie der Körper eines totgeborenen Kindes [→ 7.2.].

Die gegenüber Röntgens ersten Aufnahmen verbesserte Qualität der Pulujschen Bilder und deren schnelle Veröffentlichung sowie die Tatsache, daß Röntgen testamentarisch die Vernichtung seiner gesamten wissenschaftlichen Aufzeichnungen veranlaßte (was auch geschah), haben zu der Vermutung geführt, Puluj sei der eigentliche Entdecker der Röntgenstrahlung gewesen. Puluj selbst, der nach dem Erscheinen des o.g. Artikels und eines Nachtrags dazu nichts mehr zu den Röntgenstrahlen veröffentlichte, hat jedoch keinerlei Prioritätsansprüche gestellt. Auch in einem Nachruf von 1918 wird seine Beschäftigung mit den X-Strahlen nicht erwähnt.

Puluj hatte sich bereits früh mit Fragen der Elektrotechnik befaßt und sich seit der Übernahme der Professur in Prag 1884 für die Schaffung eines eigenen Lehrstuhls für Elektrotechnik eingesetzt, dessen erster Inhaber er von der Einrichtung im Jahre 1902 bis zu seinem Ruhestand 1916 war. In dieser Zeit erhielt Puluj für seine wissenschaftlichen Verdienste zahlreiche Ehrungen, darunter den Orden der Eisernen Krone (1908) und die Verleihung des Hofrattstitels (1910).

Johann Puluj, *Strahlende Elektroden-Materie und der sogenannte vierte Aggregatzustand*, Wien 1883. - „Nachruf: Professor Dr. Johann Puluj,“ *Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau* 15 (1918), 184. - Roman Cehelskyi, „Dr. Johann Puluj als wissenschaftlicher Forscher“ [russ.], *Sammelschrift der Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Ärztlichen Sektion der Sevcenko-Gesellschaft der Wissenschaften in Lemberg* 27 (1928), 1-28. - J. Braunbeck, „Johann Puluj,“ in: *Österreichisches biographisches Lexikon*, Wien 1971, S. 333. - Stefan May, „Knapp die Unsterblichkeit verfehlt,“ *Süddeutsche Zeitung*, Nr. 46 (24/25. Februar 1996).

7.2. *Arbeitszimmer Johann Pulujs in Prag*

Reproduktion eines Photos aus: *Sammelschrift der Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Ärztlichen Sektion der Sevcenko-Gesellschaft der Wissenschaften in Lemberg* 27 (1928), Taf. 2; Universitätsbibliothek Göttingen

Für die Aufnahme ausgestellt sind die von Puluj entwickelten physikalischen Apparate. Im Schrank befinden sich auf den drei oberen Borden verschiedene Arten von Röhren; rechts daneben sind einige der Röntgenaufnahmen zu erkennen, die Puluj in seiner Veröffentlichung vom März 1896, „Über die Entstehung der Röntgen'schen Strahlung und ihre photographische Wirkung,“ beschrieben hatte. Auf dem Tisch rechts im Bild ist vorne der preisgekrönte Apparat zur Bestimmung des Wärmeäquivalents zu sehen.

7.3. *Puluj-Radiometer*

Von William Crookes' noch heute beliebter 'Lichtmühle' von 1875 ausgehend, hat Puluj verschiedene Radiometertypen entwickelt, um die Rotation der Flügelrädchen unter dem Einfluß von Licht und anderen Strahlen zu untersuchen. Die Deutung der Phänomene mithilfe der Annahme eines Strahlungsdruckes geschah im Rahmen der Korpuskulartheorie des Lichts. Anders als bei Crookes aber wurden die Pulujschen Radiometer nicht mit Licht, sondern mit Kathodenstrahlung 'angetrieben'. Dabei überlagern sich verschiedene Effekte, so daß eine druckabhängige Umkehr der Rotationsrichtung eintritt. Durch Untersuchung der 'normalen und anomalen Rotation' hoffte Puluj, seine Auffassung, es gebe nur eine einzige Art von Elektrizität, experimentell bestätigen zu können. Die ersten Radiometer dieser Art wurden im Auftrag Pulujs von der Firma Goetze in Leipzig hergestellt.

Alle drei vorhandenen Puluj-Röhren wurden 1889/90 für die Abteilung 'Electricität und Magnetismus' der Physikalischen Sammlung des Lyzeum beschafft und sind im Inventar unter der Nr. V/185 aufgeführt.

Max Kohl, *Preisliste Nr. 21: Physikalische Apparate*, Chemnitz [1905], S. 768-769.

7.3.1. Radiometer mit drehbarer Glasglocke, 1889/90

Glas, Aluminium, Glimmer, Holzfuß; 29,5 x Ø 8 cm; Inv.-Nr.: 026867400

Die zitronenförmige Röhre mit geschwungenem Glasfuß ist eine kunstvoll ausgeführte Variante eines von Puluj in „Strahlende Elektroden-Materie“ beschriebenen Radiometers. Es diente dem experimentellen Beweis der von Puluj entwickelten Theorie der Bewegungserscheinungen, die zuerst Crookes in seinen ‘Lichtmühlen’ beobachtet hatte.

Das Radiometer besteht aus zwei festen Aluminiumflügeln als Kathode und einer auf einer Spitze drehbar gelagerten Glasglocke. Die beiden Metallflügel sind auf jeweils einer Seite mit Glimmerplättchen als Isolator belegt. Die Glasglocke ist mit phosphoreszierender Substanz verziert, deren Leuchten im Experiment als Maß für den Grad der Evakuierung diente.

Bei geringer Evakuierung beobachtete Puluj, daß die Glasglocke in Richtung der von den Flügeln emittierten Elektrodenteilchen rotiert. Bei starker Evakuierung kehrte sich die Drehrichtung der Glocke um.

Johann Puluj, *Strahlende Elektroden-Materie*, Wien 1883, S. 45, Fig. 38.

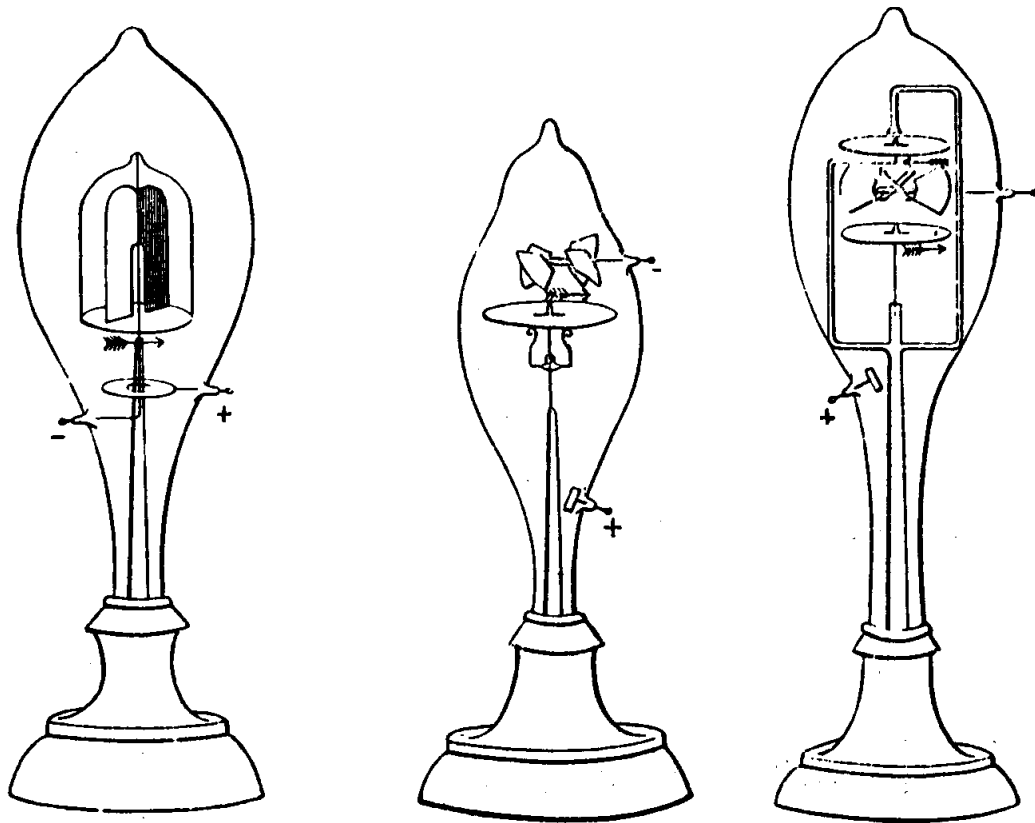
7.3.2. Radiometer mit phosphoreszierender Scheibe, 1889/90

Glas, Aluminium, Glimmer, Holzfuß; 27 x 10,5 x 7 cm; Inv.-Nr.: 026870400

Die birnenförmige Röhre enthält eine auf einer Spitze drehbare, horizontal gelagerte Glimmerscheibe, die mit phosphoreszierenden Substanzen bestrichen ist. Darüber ist die Kathode befestigt. Diese besteht aus einem in Viertel unterteilten Aluminiumblättchen, dessen Sektoren schraubenförmig gegen die darunterliegende Glimmerscheibe schräg gestellt sind. Die obere Seite der Elektrode ist mit Glimmer belegt, damit Entladungen nur nach unten erfolgen.

Puluj beobachtete bei diesem Radiometer bei Drücken oberhalb 0,02 mm Hg eine ‘normale’ Rotation der Glimmerscheibe, die der Richtung der senkrechten Emission von Elektrodenteilchen aus der Kathode entsprach. Bei stärkerer Evakuierung erfolgte die Rotation der Scheibe in entgegengesetzter ‘anomaler’ Richtung.

Johann Puluj, *Strahlende Elektroden-Materie*, Wien 1883, S. 55, Fig. 44.



7.3.3. *Puluj-Radiometer mit zwei rotierenden Scheiben, 1889/90*

Glas, Aluminium, Glimmer, Holzfuß; 28,5 x 14 x 8 cm; Inv.-Nr.: 026892500

Im Gegensatz zu dem zuvor beschriebenen Radiometer befinden sich bei diesem sowohl ober- wie unterhalb der schraubenförmigen Elektrode drehbar gelagerte Glimmerscheiben, die mit phosphoreszierender Substanz bemalt sind. Bei dieser Anordnung ist die Aluminiumkathode nicht beschichtet und emittiert daher sowohl nach oben wie nach unten.

Bei geringer Evakuierung von 0,06 mm Hg beobachtete Puluj normale Rotation, wobei beide Scheiben in entgegengesetzter Richtung rotierten. Bei stärkerem Evakuieren gingen beide Scheiben in 'anomale' Rotation über und wechselten die Drehrichtungen.

Johann Puluj, *Strahlende Elektroden-Materie*, Wien 1883, S. 56, Fig. 45.

A.M.

8. RÖNTGEN IN REGENSBURG

Am 8. November 1895 entdeckte der Würzburger Physikprofessor Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) beim Experimentieren mit Crookes- und Hittorff-Röhren eher zufällig ganz neuartige Strahlen, die weder Licht noch Kathodenstrahlen waren, Fluoreszenz verursachten, feste Gegenstände durchdrangen und Photoplatten schwärzten.

Das ursprüngliche Motiv und die genauen Umstände der Röntgenschen Entdeckung sind bis heute ein Rätsel, da Röntgen sich hierzu nie äußern wollte, ja überhaupt nur ein einziges Mal, nämlich am 23. Januar 1896 in der Würzburger Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft, öffentlich über die neuen Strahlen vorgetragen und sich sogar vor dem obligatorischen Nobel-Vortrag 'gedrückt' hat sowie schließlich testamentarisch die Vernichtung all seiner Aufzeichnungen durchsetzte.

Röntgens extreme Zurückhaltung ist freilich nicht untypisch für die Einstellung vieler Physiker seiner Zeit, die die Aufgabe der Wissenschaft in der minutiösen Untersuchung der Erscheinungen und der exakten Bestimmung meßbarer Werte sahen, theoretische Spekulationen oder auch nur die Frage nach den Ursachen der Phänomene jedoch als bloße Metaphysik von sich wiesen. „Ich bin kein Prophet und liebe das Prophezeien nicht,“ soll Röntgen auf die Frage eines Reporters geantwortet haben. „Ich setze meine Untersuchungen fort, und sobald meine Resultate sich bestätigen, werde ich sie veröffentlichen.“ Auf die physikalische Erklärung der Röntgenstrahlung oder die Kontroverse zwischen Korpuskular- und Wellentheorie hat er sich nie eingelassen, und tatsächlich konnte Arnold Sommerfeld (1868-1951) noch 1905 feststellen: „Es ist eigentlich eine Schmach, daß man 10 Jahre nach der Röntgenschen Entdeckung noch immer nicht weiß, was in den Röntgenstrahlen eigentlich los ist.“

Das Interesse der Physiker konzentrierte sich daher zunächst auf die neuartigen Phänomene, die Instrumentenhersteller arbeiteten an apparativen Verbesserungen, die Mediziner erkundeten die diagnostische Verwendung und die breite Öffentlichkeit ließ sich von der Phantasie in strahlende Zukunftswelten tragen. Daß mit den Röntgenstrahlen tatsächlich das Tor zur Atomphysik und der tieferen Einsicht in die Struktur der Materie aufgetan worden war, wurde allerdings erst kurz vor dem Ersten Weltkrieg deutlich.

Johannes Stark, „Zur Geschichte der Entdeckung der Röntgenstrahlen,“ *Physikalische Zeitschrift* 36 (1935), 280-283. - Willy Wien, „Zur Entdeckung der Geschichte der Röntgenstrahlen,“ *Physikalische Zeitschrift* 36 (1935), 536. - Otto Glasser, *Wilhelm Conrad Röntgen und die Geschichte der Röntgenstrahlen* [1931], 2. Aufl., Berlin 1959. - K.H.P. Bienek, *Medizinische Röntgentechnik in Deutschland: Historische Entwicklung und moderne Tendenzen*, Stuttgart 1994. - *Forschung mit Röntgenstrahlen: Bilanz eines Jahrhunderts*, hrsg. von Friedrich H.W. Heuck und Eckard Macherauch, Berlin 1995. - *100 Jahre Röntgenstrahlen, Ausstellungskatalog*, hrsg. von der Universität Würzburg, Würzburg 1995. - A. Brachner, M. Eckert, M. Blum, G. Wolfschmidt, *Röntgenstrahlen: Entdeckung, Wirkung, Anwendung*, München 1995.

8.1. Eine neue Art von Strahlen, 1895

Wilhelm C. Röntgen, Über eine neue Art von Strahlen, Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Gesellschaft zu Würzburg 1895 [S. 132-141]; Sonderdruck, 10 S., 21 x 15 cm; Universitätsbibliothek Regensburg, Sign. 221/U 358110 (Provenienz: Stadt Bamberg)

In sechswöchiger angespannter Arbeit hatte Röntgen die wichtigsten Eigenschaften der X-Strahlen untersucht. Am 28. Dezember 1895 übergab er das Manuskript seiner ersten „Vorläufigen Mittheilung“ *Über eine neue Art von Strahlen* dem Sekretär der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft zu Würzburg. Schon vier Tage später bekam er die Sonderdrucke, die er zusammen mit Röntgenaufnahmen und Neujahrsgrüßen sofort an etwa 100 Kollegen verschickte.

Der großen Nachfrage wegen mußte die kleine Broschüre insgesamt viermal nachgedruckt werden. Bei dem vorliegenden Sonderdruck handelt es sich um die zweite Auslieferung der sog. „1. Auflage“ mit separatem Umschlagtitel und „Ende 1895“ als Erscheinungsdatum.

Otto Glasser, *Wilhelm Conrad Röntgen und die Geschichte der Röntgenstrahlen* [1931], 2. Aufl., Berlin 1959, S. 14-24. - Wilhelm Conrad Röntgen, *Über eine neue Art von Strahlen*, mit einer biographischen Einleitung von Walther Gerlach, hrsg. von Fritz Krafft, München 1972. -

8.2. Der erste Bericht, 16. Januar 1896

Kopie aus: Regensburger Anzeiger Nr. 27 vom 16. Januar 1896, Vorabend-Blatt; Staatliche Bibliothek Regensburg

Die Nachricht von Röntgens Entdeckung eilte wie ein Lauffeuer durch die Welt. Zu denen, denen Röntgen zu Neujahr 1896 einen Sonderdruck seiner Arbeit überreicht hatte, gehörte Franz Exner (1849-1926), Direktor des II. Physikalisch-Chemischen Instituts der Universität Wien. Am 4. Januar 1896 berichtete dieser im Assistentenkolloquium davon. Schon am nächsten Tag meldete *Die Presse* auf der Titelseite „Eine sensationelle Entdeckung“. Es folgten Berichte in der *Frankfurter Zeitung* (7.1.1896), im *Berliner Tagblatt* und im *New Yorker Electrical Engineer* (8.1.), im *Würzburger Anzeiger* (9.1.), in der *Lübecker Eisenbahnzeitung* (10.1.), im *Lancet* und dem *British Medical Journal* (11.1.), im Pariser *Le Matin* (13.1.), in *Nature*, der *New York Times* (16.1.) und vielen anderen mehr.

Der *Regensburger Anzeiger* ließ sich etwas mehr Zeit. Am Sonntag, dem 12. Januar 1896, findet sich unter der Rubrik „Telephon-Nachrichten“ die vierzeilige Notiz, daß Professor Röntgen vom Kaiser eingeladen sei, „einen Vortrag über seine neueste Erfindung zu halten“. Was es damit auf sich hatte, erfuhren die Leser jedoch erst am 16. Januar, als Röntgens Portrait die Titelseite schmückte und der Text von seinem „neuen Licht“ sprach, „über dessen Urwesen er sich selbst noch nicht klar ist, das ihm jedoch z.B. gestattet, durch Holz, Metall, Papier, durch die Haut durch zu photographieren.“ Der Bericht schloß mit dem Hinweis, daß einer Pester Quelle zufolge „der ungarische Physiker“ Philipp

Lenard die gleiche Entdeckung schon 1894 in Bonn gemacht habe. Am 18. Januar wurde dieser erste Bericht durch die aus der *Neuen Fränkischen Volkszeitung* übernommene Röntgenaufnahme einer Hand ergänzt.

Otto Glasser, *Wilhelm Conrad Röntgen und die Geschichte der Röntgenstrahlen* [1931], 2. Aufl., Berlin 1959, S. 175-189. - *100 Jahre Röntgenstrahlen: Ausstellungskatalog*, hrsg. von der Universität Würzburg, Würzburg 1995. - Uwe Busch, „100 Jahre Anwendung der Röntgenstrahlen in der Medizin - Fortschritte der Radiologie im Jahr 1896,“ *Röntgenpraxis* 49 (1966), 264-273. - Peter Voswinkel, „Leben und Wirken von Wilhelm Conrad Röntgen,“ *Focus MUL* 12 (1996), 198-206.

8.3. *Belichtungszeit: eine Stunde, Januar 1896*

Regensburger Anzeiger Nr. 36 vom 21. Januar 1896, Vorabend-Blatt; Zeitungsband, 47 x 35 cm; Staatliche Bibliothek Regensburg

Am 21. Januar 1896 druckte die sonst mit Abbildungen sparsame Tageszeitung wiederum auf der Titelseite einen Bericht über Röntgenaufnahmen aus der Wiener Photographischen Lehranstalt. Man sieht links die Quecksilber-Luftpumpe mit zu evakuierenden Hittorf-Röhren, rechts auf dem Tisch den Rühmkorff-Induktor und die auf einem Stativ befestigte Röntgenröhre. Der daneben sitzende Proband legt seine Hand auf eine Photoplatte. Die Belichtungszeit betrug eine ganze Stunde!

8.4. *„nichts Weltbewegendes“, Januar 1896*

Kopie aus: Illustriertes Extrablatt zum Regensburger Anzeiger Nr. 13 vom 30. Januar 1896; Staatliche Bibliothek Regensburg

Am 30. Januar 1896 brachte das *Illustrierte Extrablatt zum Regensburger Anzeiger* - zwischen die 27. Folge des Romans „Die Tochter des Flüchtlings“ und die Witzecke eingeschoben - weitere „Röntgen'sche Schattenbilder“. Doch im Gegensatz zum Jubel der übrigen Presse suchte der mit R.W. zeichnende Autor die Sache herunterzuspielen, sah die „ausschweifendsten Erwartungen“ als ein „Zeichen unserer nervösen, hastenden Zeit“ und war sicher, „von dieser neuen Entdeckung nichts Weltbewegendes zu erwarten ... Nach derartigen, so wenig präzisen, immer nur ein Schattenbild (Silhouette) bietenden Aufnahmen aber Knochenbrüche etc. besser erkennen zu wollen, als durch die bisherigen Methoden, zu solcher Erwerbung [!?] gehört eine ungewöhnlich starke Dosis von Optimismus, vielleicht schon - Naivetät.“ Die dem Artikel beigegebenen, undeutlichen Bilder eines Vogelskeletts und eines menschlichen Rumpfes (nach Vorlagen der Photographischen Lehranstalt Wien) sollten schließlich „den Beweis liefern, daß, selbst wenn ein Mensch es dahin brächte, 12-15 Stunden *unbeweglich* den X-Strahlen ausgesetzt zu liegen (wenn dieses Strahlen selbstverständlich überhaupt fähig wären, auch eine solche Masse zu durchdringen), erst gar nichts gewonnen wäre, da ... *besten Falles* ein zu gar nichts zu verwerthender Schattenriß ... das Resultat der halbtägigen Belichtung wäre.“

8.5. *Der erste öffentliche Vortrag, März 1896*

Kopie aus: Regensburger Anzeiger Nr. 118 vom 5. März 1896, Morgenausgabe; Staatliche Bibliothek Regensburg

Für den 8. März wird - zum ersten Mal in Regensburg - im Hotel zum Goldenen Kreuz am Haidplatz ein öffentlicher „Projektionsvortrag“ über „Die Röntgen'schen X-Strahlen“ angekündigt. Veranstalter ist der Kaufmännische Verein Regensburg, der Vortragende ein Dr. Hans Hess aus Nürnberg.

8.6. *Regensburger Enthüllungen, April 1896*

Kopie aus: Regensburger Anzeiger Nr. 118 vom 19. April 1896, Morgenausgabe; Staatliche Bibliothek Regensburg

Waren die ersten Presseberichte eher sachlich, auf Popularisierung und die medizinische Anwendung aus, so schweifte die Phantasie doch bald auch in andere Richtungen aus: zu erfahren, was hinter verschlossenen Türen geschieht („Wenn man auf Röntgen schwört,“ 4. Februar Morgenausgabe) oder zum Trick zweier Pariser Redakteure, mittels der X-Strahlen verschlossene Briefe zu lesen („Die Röntgenstrahlen und das Briefgeheimniß,“ 22. Februar Vorabendblatt). Auch die schon von William Crookes her bekannte Verbindung von Entladungsexperimenten und übersinnlichen Phänomenen erfuhr neuen Auftrieb: Die Morgenausgabe des *Regensburger Anzeigers* vom 19. April 1896 kündigte für den darauffolgenden Sonntag, den 26. April, im großen Saal des Neuen Hauses um 20 Uhr eine Vorstellung über „Röntgen'sche X-Strahlen“ und „Photographie mit unsichtbaren Strahlen“ an, bei der „alle bisherigen Versuche mit Geisler-Hittorf-Crooke'schen [!] Röhren“ vorgeführt werden sollten, „verbunden mit den Enthüllungen sämtlicher Experimente Mr. Stuart Cumberlands und Homes und Fey über Spiritismus und Gedankenlesen etc. etc.“. Weiterhin verhiess das Programm die „Lösung des Räthsels des 19. Jahrhunderts durch die einzig dastehenden Aufklärer Richard Lané und Frau Ida Lané-Ney, welche sich zu ihrer besonderen Aufgabe gemacht haben, das geehrte Publikum in die großen Geheimnisse des Spiritismus einzuweihen, dadurch, daß sie sämtliche Experimente wahrheitsgetreu erklären.“ Ob freilich dem Regensburger Publikum tatsächlich die verheißene „Aufklärung“ oder eher okkultistischer Schabernack im Stil des Fin de Siècle geboten wurde, darüber hat der *Anzeiger* leider nicht mehr berichtet.

Im großen Saale des Neuen Hauses.

Sonntag, den 26. April, 8 Uhr Abends
nur eine Vorstellung!

Röntgen'sche X-Strahlen!

über die

Photographie mit unsichtbaren Strahlen.

Alle bisherigen glänzenden Versuche mit **Geisler-Pit-
torf-Crooke'schen Röhren** werden vorgeführt, u. U.
das Photographieren eines Portemonnaies, einer Hand etc.,
durch eine halbzöllige Holzplatte und die Vorführung der
sofort entwickelten Platte, verbunden mit den

Entwicklungen sämtlicher Experimente Mr. Stuart Cumberlands und Homes & Fey

über Spiritismus und Gedankenlesen etc. etc.

Lösung des Räthfels des 19. Jahrhunderts

durch die einzig dastehenden Aufklärer

Richard Lané und Frau Ida Lané-Mey,

welche es sich zu ihrer besonderen Aufgabe gemacht haben,
das geehrte Publikum in die **großen Geheimnisse des
Spiritismus** einzuweihen, dadurch, daß sie sämtliche
Experimente **wahrheitsgetreu erklären.**

**Sperre 1 Mk. 50 Pfg., 1. Platz 1 Mk., Entree
50 Pfg. Billetvorverkauf in der J. G. Boekenacker's-
chen Musikalienhandlung, sowie an der Abendkassa.**

8.7. *Königliches Lyzeum Regensburg, 1910*

Mischtechnik, Deckfarben auf goldfarben grundierter Pappe; 41,5 x 53,5 cm; bez.: B. Dittmar, Regensburg; Historisches Museum der Stadt Regensburg, Inv.-Nr. G 1956/75

Neben Botanischer Gesellschaft (gegründet 1790) und Naturwissenschaftlichem Verein (gegründet 1846) war das Königliche Lyzeum die wichtigste Institution Regensburgs für die Pflege der Naturwissenschaften. Seit seiner Gründung 1810 erfuhr die Experimentalphysik hier besondere Pflege. Zwar trat in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Forschung immer stärker zurück, weil die Schule in dieser Hinsicht mit der Entwicklung der Hochschullaboratorien nicht Schritt halten konnte. Doch waren die Professoren bemüht, die raschen Fortschritte der Physik wenigstens in der Lehrmittelsammlung zu dokumentieren und im Unterricht zu behandeln.

Nach dem Ersten Weltkrieg bricht diese Tradition weitgehend ab. Das Lyzeum widmet sich überwiegend der Ausbildung von Priestern, und die Naturwissenschaftler unter den Professoren wenden sich der Populärwissenschaft zu. 1936 schließlich wurden die letzten noch verbliebenen naturwissenschaftlichen Professuren zum Einzug vorgesehen. Folglich verzeichnet auch die Physikalische Sammlung seit den 1920er Jahren kaum noch Neuzugänge. Erst nach dem Zweiten Weltkrieg, als medizinisch-naturwissenschaftliche Universitätsinstitute aus Würzburg und München nach Regensburg verlegt wurden, um dem Mangel an Studienplätzen abzuhelpfen, kam von außen ein Neuanstoß, der letztlich in die Gründungsgeschichte der heutigen Universität überleitet.

Die fiktive Vogelschauperspektive zeigt den Gesamtkomplex des ehem. Dominikanerklosters, der von 1810 an das Lyzeum beherbergte. 1872/75 kam der zum Platz weisende Gebäuderiegel für das „Alte Gymnasium“, 1905 der Sternwartenturm hinzu. Bis zur Gründung der Universität hat die Philosophisch-Theologische Hochschule, wie das Lyzeum seit 1923 hieß, das alte Klostergebäude genutzt, und hier hatte auch die Physikalische Sammlung ihren Ort, aus der die in der Ausstellung gezeigten Stücke stammen.

Wilhelm Schenz, *Das erste Jahrhundert des Lyzeum Albertinum Regensburg 1810 bis 1910*, Regensburg 1910. - Bernhard Heß, „Die Naturwissenschaften an der Philosophisch-Theologischen Hochschule Regensburg im 19. und 20. Jahrhundert,“ in: *Naturwissenschaftliche Forschung in Regensburgs Geschichte*, hrsg. von Josef Bartels, Regensburg 1980, S. 145-171. - *Gelehrtes Regensburg - Stadt der Wissenschaft: Stätten der Forschung im Wandel der Zeit*, hrsg. von der Universität Regensburg, Regensburg 1995, S. 191-198.

8.8. Inventarbuch des Physikalischen Kabinetts, 1892-1927

Inventarium des physicalischen Cabinetes und der Sternwarte des k. Lyceums in Regensburg; Handschrift auf lithographierten Bögen, 185 S.; 33 x 21 cm; Universität Regensburg

Die Lehrmittelsammlung des Regensburger Lyzeum geht in ihrem Grundstock auf das 18. Jahrhundert und das Physikalische Kabinett des Klosters St. Emmeram zurück. An den erhaltenen Inventarlisten der Jahre 1811 und 1858 läßt sich ihre Entwicklung verfolgen. Die bedeutendsten Zuwächse erfuhr die Sammlung zwischen 1875 und 1914.

Das Inventarbuch ist in folgende Abteilungen gegliedert: Maße und Gewichte, Mechanik, Molekularphysik, Wärmelehre, Elektrizität und Magnetismus, Optik, Chemische Sammlung, Bücher, Möbel, Sternwarte. Es wurde von Konstantin Wittwer, Lyzealprofessor für Physik, Chemie und physische Geographie, am 1. Januar 1892 begonnen und hält für diesen Zeitpunkt auch den Bestand älterer Gerätschaften fest. Soweit bekannt, sind zu jedem Stück Kaufpreis und Zeitwert notiert. 1891 errechnete sich ein Gesamtwert von 18815,04 Mark für Physikalische Sammlung und Bibliothek, dazu 8990,92 Mark für die Sternwarte.

Gewissenhaft sind auch später die jährlichen Zu- und Abgänge bis zum Jahr 1927 notiert. Die Seiten 78/79 enthalten die Neuzugänge der Abteilung

‘Elektrizität und Magnetismus’ der Jahre 1895 bis 1899: Unter den Nummern V/233-236 sind für 1898 Röntgeneinrichtungen vermerkt.

Wilhelm Schenz, *Das erste Jahrhundert des Lyzeum Albertinum Regensburg 1810 bis 1910*, Regensburg 1910, S. 174. - *Gelehrtes Regensburg - Stadt der Wissenschaft: Stätten der Forschung im Wandel der Zeit*, hrsg. von der Universität Regensburg, Regensburg 1995, S. 191-198.

V

X 79

Verzeichnis der Ausgabeposten					Summierung	
Rechnungsjahr	Posten	Bezeichnung	Debit	Kredit	Saldo	Vermerk
			16		8116 59	
228	1	Kauf von 1000 Stück Holz		10		V
229	1	Kauf von 1000 Stück Holz		90		V
230	1	Kauf von 1000 Stück Holz		30		V
231	1	Kauf von 1000 Stück Holz		25		V
232	1	Kauf von 1000 Stück Holz		150		V
233	1	Kauf von 1000 Stück Holz		4		V
234	1	Kauf von 1000 Stück Holz		20		V
235	1	Kauf von 1000 Stück Holz		33		V
236	1	Kauf von 1000 Stück Holz		50		V
237	1	Kauf von 1000 Stück Holz		12		V
238	1	Kauf von 1000 Stück Holz		20		V
239	1	Kauf von 1000 Stück Holz		25		V
240	1	Kauf von 1000 Stück Holz		7 50		V
241	1	Kauf von 1000 Stück Holz		18		V
242	1	Kauf von 1000 Stück Holz		25		V
		<u>Abgang</u>			9296 19	
		<u>Abgang</u>				
5	X	Kauf von 1000 Stück Holz		5 50		
10	X	Kauf von 1000 Stück Holz		100		
15	X	Kauf von 1000 Stück Holz		2 50		
14	X	Kauf von 1000 Stück Holz		3		
17	X	Kauf von 1000 Stück Holz		2 2		

8.9. **Konstantin Wittwer (Oberdorf 1822 - Regensburg 1908)**

Photographie; 14 x 10 cm, in Rahmen 27 x 23 cm; Prägestempel: H. Hoffmann Regensburg 1897; Inv.-Nr. 000041368

Nach einer Apothekerlehre in Kempten studierte Wilhelm Konstantin Wittwer in München Pharmazie, Chemie und Physik. Nach der Promotion 1848 hörte er in Göttingen Vorlesungen über Astronomie, Geodäsie und Experimentalphysik. 1850 wurde er in München mit einer Arbeit über die Farben des Regenbogens habilitiert. Seine Bemühungen um eine a.o. Professur scheiterten jedoch. Deshalb nahm Wittwer 1861 die Stelle am Lyzeum in Regensburg an, wo er zunächst Naturgeschichte, dann Physik und Chemie unterrichtete und von 1863 an auch die Sternwarte betreute. Bei seiner Pensionierung erhielt er 1897 den Titel eines Hofrates.

Wittwers in München durchgeführte Untersuchungen über die Einwirkung von Sonnenlicht auf Chlorwasser (1855) zeigen ihn als einen der Pioniere der photochemischen Kinetik. Doch die scharfe - und nicht immer gerechtfertigte - Kritik Robert Bunsens an Wittwers Methode zerstörte dessen akademische Karriere. Wittwer hat Aufsätze und Lehrbücher zur physikalischen Chemie und zu geographisch-meteorologischen Themen verfaßt. Von seiner Tätigkeit als Experimentalphysiker zeugt sein *Lehrbuch der Physik zum Gebrauch in den Schulen und für den Selbstunterricht* (Regensburg 1866). Auch technischen Fragen ist er nachgegangen: 1881 erhielt er in Paris eine Silbermedaille für ein neuartiges Telegraphen-Läutewerk.

Das Portrait stammt aus einer um 1898 zusammengestellten Bildnisgalerie der Regensburger Lyzealprofessoren in einheitlichem Format und Rahmen. Auf dem Passepartout ist handschriftlich notiert: „Hofrat Dr. Konstantin Wittwer / ord. öff. Lyzealprofessor, Physiker u. Chemiker / von 1861-1897“. Die Rückseite trägt den Vermerk „† 30ter Januar 1908. R.I.P. Chr.“

Wilhelm Schenz, *Das erste Jahrhundert des Lyzeum Albertinum Regensburg 1810 bis 1910*, Regensburg 1910, S. 316-318 und Taf. 9. - Ursula Boberlin, *Photochemische Untersuchungen von R. Bunsen und H. Roscoe im Vergleich mit den Arbeiten J.W. Drapers und W.C. Wittwers: Die Anfänge der quantitativen Photochemie im 19. Jahrhundert*, Berlin 1993.

8.10. **Röntgenaufnahme, 26. Juli 1896**

Positivabzug auf braungetöntem Photopapier, 17,5 x 23,5 cm, auf Karton 26 x 30 montiert, in braunem Holzrahmen mit Blumenprofil 30,5 x 35,5 cm; handschriftlich bez.: Hand des Rektors Dr. Schenz, Hand des Rektors Dr. Seitz / Aufnahme mittels der Röntgenschen Strahlen durch den kgl. Lyzealprofessor und Konservator Dr. Konstantin Wittwer den 26. Juli 1896; Inv.-Nr. 051807400 (Provenienzvermerk „vom späteren Landgerichtspräsidenten Dr. Schneider“)

Die Hand des Würzburger Anatomen Alfred von Koelliker, von Röntgen am 23. Januar 1896 mit den neuen X-Strahlen photographiert, wurde rasch zum Symbol der neuen Technologie. Am gleichen Tag brachte auch *Nature* die Übersetzung

von Röntgens Erstpublikation mit dem Bild der Hand seiner Frau. Ein halbes Jahr später durchleuchtete Konstantin Wittwer in Regensburg die linken Hände des neuernannten Lyzealrektors, des Alttestamentlers Wilhelm Schenz, und seines Vorgängers, des Bischöflichen Geistlichen Rats und Professors der Moraltheologie Anton Seitz. Der apparative Aufwand dürfte gering gewesen sein, da das Physikalische Kabinett des Lyzeum zahlreiche für diesen Zweck brauchbare Entladungsröhren und Induktoren besaß. Daß der denkwürdige Augenblick im Bilde festgehalten und für die Nachwelt gerahmt wurde, zeigt jedoch, daß man sich seiner Symbolkraft bewußt war: Fast wie zum Segensgruß halten die Leiter der führenden Bildungsreinrichtung Regensburgs ihre Hand über das in der eigenen Schule erbrachte Zeugnis für die Leistung moderner Wissenschaft.

8.11. Einfache Röntgenröhre

Glas, Metallelektroden, ergänzter Holzfuß; 26 x 8,5 cm; Inv.-Nr. 026530600

Bei den frühesten Röntgenröhren gingen die Röntgenstrahlen diffus von der fluoreszierenden Glaswand der Röhre aus. Schon 1896 aber führte man eine sogenannte Antikathode als dritte Elektrode ein und formte die Kathode hohlspiegelartig, um die von ihr ausgehende Strahlung zu fokussieren. Im Betrieb schlagen die durch Stoßionisation erzeugten positiven Ionen Elektronen aus der Kathode heraus, die beim Aufprall auf die Anode Röntgenstrahlung (Bremsstrahlung) erzeugen. Intensität und Härte (Durchdringungsvermögen) der Röntgenstrahlung hängen dabei von der Betriebsspannung ab.

Bei der vorliegenden schlichten Ausführung einer gashaltigen Röntgenröhre sind Anode und die im Winkel von 45° geneigte Antikathode mit Platinauflage leitend miteinander verbunden. Die fokussierende Kathode ragt durch das lange Ansatzrohr weit an den Entladungsraum heran. Damit die Entladungen nur von der Frontseite der Elektroden aus erfolgen, sind deren Stiele durch Glasröhrchen abgeschirmt. Der seitliche Ansatz wurde nach dem Evakuieren abgeschmolzen und dient nun zum Aufstellen auf einem Holzfuß. Die mit der Antikathode verbundene Hilfskathode ist im Prinzip entbehrlich. Sie diente nach dem Evakuieren dazu, um im ersten Betrieb das innere Vakuum zu erhöhen, ohne die Antikathode zu beschädigen.

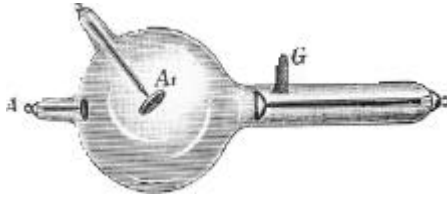
Röhren dieses Typs wurden von zahllosen Herstellern von 1896 an bis in die 1920er Jahre gefertigt. Die Antikathode besteht meist aus einer Platinfolie auf einer Aluminium- oder Nickelscheibe. Gegenüber den modernen Hochvakuumröhren mit Glühkathode haben gashaltige Röhren jedoch den Nachteil, daß sie beim Betrieb von selbst 'härter' und damit für kontrastreiche Röntgenaufnahmen untauglich werden, da ein Teil der Gasionen an den Metall- und Glasteilen der Röhre gebunden wird, so daß der Gasdruck abnimmt.

Paul Rønne, Arnold B.W. Nielsen, *Development of the Ion X-Ray Tube* (Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium, Bd 35), Kopenhagen 1986, S. 63.

8.12. *Einfache Fokusröhre*

Glas, Metallelektroden, ergänzter Holzfuß; 30 x 12 cm; Inv.-Nr. 000041328

Schlichte Ausführung einer kleinen Röntgenröhre, Anode und Antikathode sind plattenförmig ausgebildet, die um 45° geneigte Antikathode mit Platin belegt. Die Zuführungen von Kathode und Antikathode sind mit Glasröhrchen umkleidet, um Entladungen von diesen Stellen aus zu unterdrücken. Der die hohlspiegelartig geformte Kathode umfassende Teil der Röhre ist mit schwarzer Pappe umkleidet, die



beim Betrieb feucht gemacht wurde. Auf diese Weise ließ sich die statische Aufladung des Glases ableiten, die die Gasteilchen bindet, das Vakuum erhöht und die Röhre 'härter' werden läßt.

Paul Rønne, Arnold B.W. Nielsen, *Development of the Ion X-Ray Tube* (Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium, Bd 35), Kopenhagen 1986, S. 64.

8.13. *Zwei einfache Röntgenröhren*

Glas, Metallelektroden; 19 x 15 x 10 cm; Inv.-Nr. 000029386

Gashaltige Röntgenröhren mit engem Abstand zwischen hohlspiegelförmiger Kathode und der mit Platinfolie belegten Antikathode sowie im rechten Winkel dazu angebrachter scheibenförmiger Anode. Am abgeschmolzenen Glasrohr wurde die Röhre evakuiert.

8.14. *Röntgenaufnahmen 1905/07*

Pappkarton der Trockenplatten-Fabrik Kranseder & Co. in München mit 15 entwickelten Bromsilber-Glasplatten, 13 x 18 cm; Inv.-Nr. 000041360

Die Platten zeigen Röntgen-Negative und sind auf Etiketten beschriftet: Hagn 1905 (Hand), Fuß von H. Leutnant Halenke 1905 Nat. Ver. (Mittelfuß lateral), Hammerstaller Hand 1905 (Hand mit Nagel), Hammerstaller Arm II (Unterarm mit Hemdknopf), Kraus 1905 (Hand mit Ringen), Gymn. Pr. Lott. 1905 Nat. Ver. (Hand), Pedell Stephan 1905 (Hand mit Ring), Seidelmeier W.S. 1905/06 Zeigefinger angebr. Wurm (Hand), Bender 1907 (Hand mit Ringen), Schweigern 1907 (Hand), Metzner (Hand mit Ring), Hr. Pregler (Hand mit Ring), unbez. (Hand), unbez. (Hand mit Ring), unbez. (Zirkelkasten), Walde (Hand, 9 x 12 cm). Zur Polsterung inliegend Ausrisse aus der Hessischen Landeszeitung vom 4. August 1919. Offenbar stammt die Sammlung aus dem Umkreis des Regensburger Naturwissenschaftlichen Vereins.

8.15. Karl Stöckl (Eichstätt 1873 - Regensburg 1959)

Reproduktion nach Photographie, 6,5 x 5 cm, aus: Franz-Xaver Eggersdorfer, Die Philosophisch-Theologische Hochschule Passau: Dreihundert Jahre ihrer Geschichte, Passau 1933, S. 328; Universitätsbibliothek Passau, Sign. 75/BO 1267 E29 P5 (mit Widmung Stöckls an die Bibliothek der Phil.-Theol. Hochschule Regensburg)

Karl Stöckl hat in München Physik und Mathematik für das Lehramt studiert und 1900 bei dem Experimentalphysiker Eugen Lommel (1837-1899) promoviert. Danach war er Assistent am Physikalischen Institut der Universität Tübingen, Adjunkt der Meteorologischen Zentralstation in München und Lehrer am Neuen Gymnasium in Würzburg. 1904 wurde er a.o. Physikprofessor am Lyzeum in Passau. 1919 als o. Professor für Physik und Astronomie an das Lyzeum zu Regensburg versetzt, lehrte er hier bis 1936 Experimentalphysik, Astronomie und Meteorologie. Ohne selbst forschend tätig zu sein, blieb er als Übersetzer und Referateautor für zahlreiche naturwissenschaftliche Fachzeitschriften auf der Höhe des physikalischen Wissens. Außerdem hat er zahllose populärwissenschaftliche Aufsätze verfaßt. Im 'erweiterten Lehrbetrieb' der Philosophisch-Theologischen Hochschule nahm Stöckl nach dem Krieg noch einmal seine Vorlesungen auf und leitete bis zu seinem Tode die Sternwarte, die zunehmend als Volkssternwarte genutzt wurde.

An der Röntgentechnik interessierten Stöckl vor allem die medizinischen Aspekte; mit der Physik der Entladungs- und Röntgenröhren hat er sich kaum beschäftigt. Zudem war längst deutlich geworden, daß die Lyzeen in den Naturwissenschaften mit den Universitäten und ihren Laboratorien nicht würden Schritt halten können. An Neuzugängen finden wir unter Stöckl deshalb in den 1920er Jahren nur noch vereinzelte Anschaffungen, die exemplarisch besonders wichtige Entwicklungen vorstellen sollten: 1921 eine Braunsche und eine Wehnelt-Röhre, 1925 ein Vakuumrohr nach Thomson. Später überließ das Domkapitel Stöckl die Röntgeneinrichtung des früheren Ägypten-Krankenhauses.

Personalakte Stöckl, Universitätsarchiv Regensburg, PTH 194. - Bernhard Heß, „Die Naturwissenschaften an der Philosophisch-Theologischen Hochschule Regensburg im 19. und 20. Jahrhundert,“ in: *Naturwissenschaftliche Forschung in Regensburgs Geschichte*, hrsg. von Josef Barthel (Schriftenreihe der Universität Regensburg, Bd 4), Regensburg 1980, S. 145-171. - Martin Zehrer, „Die Entwicklung der Naturwissenschaften an der Philosophisch-Theologischen Hochschule Regensburg, 1923-1968,“ *Acta Albertina Ratisbonensia* 47 (1991), 169-265.

8.16. Mariele und der kleine Ignaz, 1909

Pappkarton: Dr. Schleussner's Gelatine-Emulsionsplatten, bez.: „Hand von Maria und Ignaz,“ mit 3 entwickelten Bromsilber-Glasplatten, 13 x 18 cm, Inv.-Nr. 000041362

Die drei von Karl Stöckl belichteten Röntgenplatten sind auf den 23. September 1909 datiert und auf Etiketten beschriftet: „Mariele's Hand. Exposition 1 Sekunde. Fehler bei der Entwicklung (nicht sofort alles überdeckt.)“ - „Maries Hand. Epiphysen noch nicht knöchern fest verbunden. Expos. 3 Sec.“ - „Hand des kl. Ignaz, der aber nicht ruhig hielt. Fehler auch in der Platte.“ Maria (geb.

22. Aug. 1906) und Ignaz (17. Jan. 1908) waren die beiden ältesten Kinder Stöckls.

8.17. Sammlung von Röntgenogrammen, 1913

Braune Kladde mit Leinenrücken, 28 S., 33,5 x 22 cm, im Etikett beschriftet: „Sammlung von Röntgenogrammen aus verschiedenen Heften, Nov. 1913. Stöckl - Ising“; Inv.-Nr. 000041364

Die von Stöckl in Passau angelegte Kladde enthält eingeklebt medizinische Röntgenaufnahmen unterschiedlicher Herkunft, zumeist aus den *Fortschritten aus dem Gebiet der Röntgenstrahlen*. Befund und Diagnose sind teils handschriftlich hinzugesetzt.

Auf dem Vorsatz von Stöckl gesammelte Sinnsprüche wie „Security is mortels chiefest enemy.“ - „Willst Kranken du helfen, dann forsche, zweifle, forsche, frag Andere, aber sei ehrlich u. gewissenhaft.“ - „Herrschende Meinungen sind Narcotica gegen den Schmerz des Unwissens.“ - „Vertraue Gott u. liebe deinen Nächsten.“

8.18. Mappe mit Röntgenaufnahmen, 1907/13

Pappmappe, 50 x 40 cm, bezeichnet „Stöckl,“ mit 15 Papier-Positivabzügen von Röntgenfilmen, ca. 30 x 40 cm, dazu ein Notizblatt 16,5 x 21 cm; Inv.-Nr. 000029381

Die Mappe enthält neun Thoraxaufnahmen von Juni - September 1907 mit rückseitig notierten Anamnesen und Diagnosen (Tuberkulose, Aortenaneurysma, Lungenemphysem). Sechs weitere, undatierte Aufnahmen zeigen einen Frauenkopf im Profil, zwei davon sind mit handschriftlichen Legenden versehen, und das beiliegende Notizblatt weist ihn als „Kopf von Regina“ aus. Hübsch ist die zu einem Schatten im Bereich des Haarknotens hinzugesetzte Bemerkung: „falsche eingelegte Haare zweifelhafter Qualität (Schmutz). Die ächten Haare sind weggeleuchtet.“

8.19. Selbsthärtende Siederohr-Therapieröhre, 1917/24

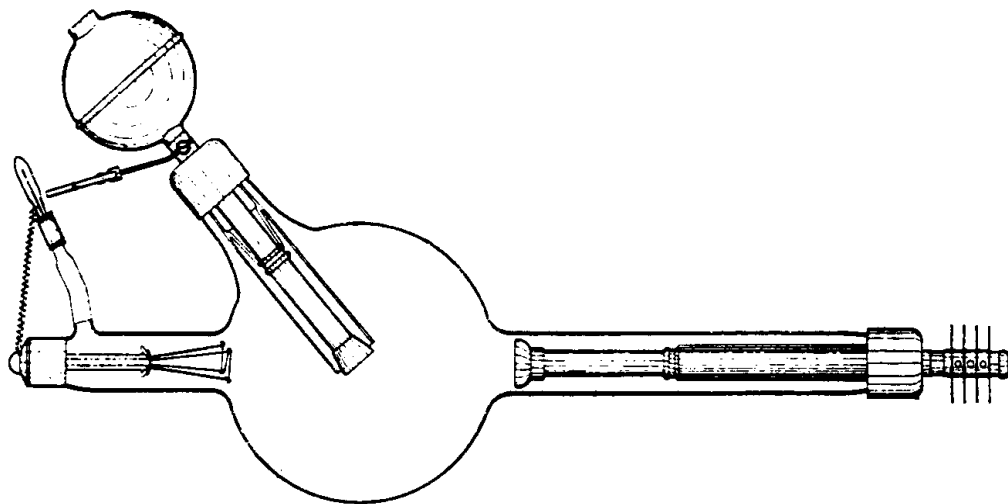
Glas, Elektroden aus Stahl, Kupfer und Platin, verchromtes Wassergefäß; 70 x 40 cm, Kugeldurchmesser 20 cm; bez.: Müller-Siederohr Tiefentherapie Inland, Original Müller Röntgenröhre, Nr. 174082; Kathode bez.: 230/10 P, Anode bez.: X; Inv.-Nr. 026636100

Die Technik der gashaltigen Röntgenröhren für diagnostische Zwecke war um die Jahrhundertwende bereits recht ausgereift; auch wenn sie in die ärztliche Praxis erst kurz vor dem Ersten Weltkrieg verstärkt Einzug hielt. Für Regensburg z.B. verzeichnet das *Röntgen-Taschenbuch* vor 1919 nur drei niedergelassene Ärzte, jedoch keine Klinik, mit Röntgeneinrichtungen. Neue apparative Impulse gingen nach 1900 insbesondere von der Strahlentherapie aus, die anfangs vor allem zur Behandlung von Hauterkankungen eingesetzt wurde. Höhere Anforderungen stellte die Röntgenbestrahlung tiefliegender Gewebe, da hierbei

härtere Strahlen zum Einsatz kamen und Dosis sowie Areal exakt eingehalten werden mußten.

Bis zum Ersten Weltkrieg hat man Röntgenröhren grundsätzlich ohne Glühkathode betrieben. Mit der Idee des Amerikaners William D. Coolidge (1873-1975), als Kathode und Elektronenquelle einen Wolfram-Glühdraht zu benutzen, begann 1913 die Entwicklung der Elektronen-Röntgenröhren. Ihr Vorzug bestand vor allem darin, daß sich Intensität (mittels der Heizspannung) und Härte der Röntgenstrahlung (mittels der Beschleunigungsspannung) unabhängig von einander einstellen lassen. Bei den gashaltigen Röhren mußten andere Vorkehrungen getroffen werden, um Leistung und Durchdringungsfähigkeit zu regulieren.

Die vorgestellte Therapieröhre ist 1916/17 von H. Wintz an der Universitäts-Frauenklinik in Erlangen entwickelt worden und war lange das Flaggschiff des Hamburger Herstellers C.H.F. Müller, der aus patentrechtlichen Gründen den konkurrierenden Coolidge-Bautyp nicht produzieren durfte. Strahlungshomogenität und Lebensdauer galten als unübertroffen. Die Strahlung reicht bereits in den Härtebereich von Gammastrahlung.



Die Röhre besitzt eine Kathode mit Rippenkühler sowie ein Siedewassergefäß, dessen Wassersäule tief in die von einem Glasmantel abgeschirmte Antikathode hineinreicht, um diese auf konstanter Betriebstemperatur zu halten. Das Prinzip der Wasserkühlung hatte 1899 Bernhard Walter (1861-1950) C.H.F. Müller vorgeschlagen. Gegen Zerspringen ist das Wasserreservoir aus Metall ausgeführt, und ein seitlich geführtes, gebogenes Glasröhrchen erlaubt die Kontrolle des Wasserstandes.

Mit dem als Anode in den Kugelraum hineinragenden Glühwendel, dessen Anschlüsse nur nach dem Abschrauben der metallenen Schutzkappe zugänglich sind, läßt sich die Röhre nachhärten, indem man einen Teil des Metalls oder Oxides verdampft. Im Röntgenbetrieb dient der Wendel als kalte Anode.

Am seitlichen Ansatz der Röhre sitzt eine Osmoregulierung, wie sie Paul Villard (1860-1934) bereits 1897 erfunden hatte. Sie beruht auf der Fähigkeit von Wasserstoff, durch Palladium hindurchzudiffundieren. Sinkt der Gasdruck beim Röntgenbetrieb ab, so daß die Röhre zu 'hart' wird, so leitet man eine Gasflamme auf einen durch ein Gitter geschützten Palladiumstab. Binnen Sekunden diffundiert Wasserstoff aus der Flamme durch das heiße Metall und erhöht den Innendruck der Röhre, so daß wieder genügend ionisierbare Gasteilchen zur Verfügung stehen. In diesem Fall ist eine Osmoregulierung mit Selbstzündung vorgesehen, bei welcher zwischen der Mündung des Mikrobrenners und dem Palladiumstab Zündfunken überspringen. Der Gasstrom wird dabei vom elektromagnetischen Ventil eines vom Betriebsstrom der Röhre abhängigen 'Regenerierautomaten' freigegeben, sobald die Röhre zu hart zu werden droht. Ein zu dieser Röhre passender Regenerierautomat nach Wintz befindet sich ebenfalls in der Regensburger Sammlung.

Damit war ein völlig neues Prinzip in die Röntgentechnik eingeführt worden. Kam es den Herstellern bisher darauf an, daß sich das Vakuum im Inneren der Röhre nur langsam erhöht, ist die selbsthärtende Röhre gerade daraufhin angelegt, sehr schnell 'hart' zu werden. Der Regenerierautomat arbeitet also ständig, immer wieder gelangen minimale Gasmengen durch das Palladiumröhrchen ins Innere, und ebenso rasch wird dieses Gas durch Ionisierung wieder gebunden. Die dadurch verursachten Härteschwankungen sind so gering, daß die Röhre über Stunden konstant arbeitet.

Die 1868 von dem Hamburger Glasbläser Carl Heinrich Florenz Müller (1845-1912) gegründete Firma C.H.F. Müller stellte seit 1874 Crookes- und Geissleröhren und von 1887 an - als eine der ersten in Deutschland - elektrische Glühlampen her. 1896 begann CHFM mit der Produktion von Röntgenröhren, die auch nach der Übernahme durch Philips, Eindhoven, im Jahre 1924 unter der angestammten Firmenbezeichnung fortgeführt wurde.

H. Wintz, „Die selbsthärtende Siederöhre, das Tiefentherapierohr,“ *Münchener Medizinische Wochenschrift* 64 (1917), 944-945. - „Müller-Siederöhre für Tiefentherapie und Dauerdurchleuchtung,“ *Röntgen-Taschenbuch* 8 (1919), 183-189. - Paul Rønne, Arnold B.W. Nielsen, *Development of the Ion X-Ray Tube* (Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium, Bd 35), Kopenhagen 1986, S. 22-24, 34-37, 224-236 (Abb. S. 230).

8.20. Die Elektrizität und ihre Anwendungen

Leo Graetz, Die Elektrizität und ihre Anwendungen, 23. Aufl., Stuttgart: Engelhorn, 1928; XVI + 818 S., 739 Abb., 22 x 14,5 cm; Universitätsbibliothek Regensburg, Sign. 00/UH 1000 G753 (23)

Das 1883 erstmals herausgekommene Kompendium der Elektrizitätslehre wurde rasch zum Bestseller, da das Gebiet wegen seiner technischen Anwendungen enormes Interesse erfuhr. Leo Graetz (1856-1941) war in Straßburg Schüler des Physikers August Kundt (1839-1894), bei dem auch Röntgen in Zürich, Würzburg und Straßburg als Assistent gearbeitet hatte. 1893 wurde Graetz a.o.,

1908 o. Professor für Physik und damit unmittelbarer Kollege von Röntgen in München. Dort lernte Stöckl ihn kennen. Später hat Stöckl mehrere Neuauflagen der *Elektrizität* durchgesehen und korrigiert. Die vorliegende 23. und letzte Auflage trägt die handschriftliche Widmung „S. 1. Freunde Prof. Dr. K. Stöckl mit bestem Dank überreicht vom Verf.“ Stöckl hat sie mit Nachträgen versehen und die Seiten 1-304 herausgerissen, offenbar, um sie korrigiert an den Verlag zu schicken. Die beabsichtigte Neuauflage ist aber nicht mehr zustande gekommen. Ihr Scheitern ist nicht ohne symbolische Kraft. Denn es signalisiert das Ende einer Epoche, in der die Experimentalphysik auf mathematische Herleitung und theoretische Fundierung weitgehend verzichten und stattdessen eine anschauliche, an den Effekten und den Apparaturen ausgerichtete Physik darbieten konnte.

C.M.

9. RÖNTGENDIAGNOSTIK IN REGENSBURG HEUTE

Bis 1919 verfügten nach Ausweis des *Röntgen-Taschenbuchs* in Regensburg lediglich drei niedergelassene Ärzte, jedoch noch keine Klinik, über Röntgeneinrichtungen. Heute ist diese Technik aus der Medizin nicht mehr fortzudenken. Gerade in jüngster Zeit haben die bildgebenden Verfahren ganz enorme Fortschritte gemacht und die ärztliche Diagnostik entscheidend erweitert. Um die ersten Anfänge der Röntgentechnik in Regensburg mit den vielfältigen Möglichkeiten eines modernen Universitätsklinikums zu konfrontieren, endet die Ausstellung mit einem Ausblick auf die gegenwärtigen Arbeitsschwerpunkte des Instituts für Röntgendiagnostik. Den Text verfaßte Dr. Markus Völk unter Mitarbeit von PD. Dr. Dr. Paul Held, Dr. Rüdiger Fründ, Dr. Michael Strotzer und Prof. Dr. Stefan Feuerbach.

9.1. Das Institut für Röntgendiagnostik am Klinikum der Universität

Bereits 1969 gab es Pläne, die die Vervollständigung der Universität Regensburg durch den Bau eines eigenen Klinikums vorsahen. Im Rahmen der Inbetriebnahme des Klinikums im Mai 1992 wurde auch das Institut für Röntgendiagnostik eröffnet. Im September des gleichen Jahres wurde der Kernspintomograph in den klinischen Betrieb integriert.

Am Institut für Röntgendiagnostik sind derzeit 20 ärztliche Mitarbeiter, ein Diplombiologe, 17 Medizinisch-technische Röntgenassistentinnen, 6 Mitarbeiter im administrativen Bereich und 4 Zivildienstleistende beschäftigt.

Das Institut verfügt für die Patientenversorgung über einen Kernspintomographen (MR), einen Spiral-Computertomographen (CT), einen Angiographiearbeitsplatz, zwei Durchleuchtungsarbeitsplätze mit Angiographiezusatz, zwei konventionelle Röntgenarbeitsplätze, einen Thoramaten, ein Farbdoppler-

Sonographiegerät und eine Polytrauma-Diagnostik-Einheit. Um unnötige Transporte von Schwerverletzten zu vermeiden, wurde letztere mittlerweile in den Schockraum der Notaufnahme umgesetzt. Ferner sind ein Osteoporose-Meßplatz, ein Mammographiegerät mit stereotaktischem Punktionszusatz sowie die Ausstattung zu intravasculärem Ultraschall vorhanden. Zusätzlich steht ein weiterer Spiral-Computertomograph zu Forschungszwecken zur Verfügung, dieser wird aber ebenfalls für die Patientenversorgung eingesetzt.

Mit dieser Ausstattung kann das Institut das gesamte Spektrum röntgendiagnostischer Leistungen und interventioneller Maßnahmen abdecken. Für das Jahr 1996 zeigt die Leistungsstatistik folgende Situation: 1977 MR-Untersuchungen, 14177 CT-Untersuchungen, 2370 Angiographien, 1332 interventionelle Maßnahmen, 2220 Durchleuchtungsuntersuchungen, 22328 Skelettaufnahmen, 30508 Thoraxübersichtsaufnahmen.

Zur Zeit wird ein neuer Kernspintomograph mit einer Feldstärke von 1,5 Tesla als weltweit erste Installation dieses Typs (0-Seriengerät) in Kooperation mit der Firma Siemens installiert.

Im Rahmen des Dritten Bauabschnittes werden ein neuer Spiral-Computertomograph sowie eine Zwei-Ebenen-Angiographieanlage in Betrieb genommen. Für 1997/1998 ist eine klinikweite PACS-Installation (Picture Archiving and Communication System) geplant.

Wie aus der vorhandenen und der geplanten apparativen Ausstattung ersichtlich, liegen die Schwerpunkte des Instituts im Bereich der modernen Schnittbildverfahren und vor allem auf dem Gebiet der interventionellen Radiologie.

9.2. Forschungsschwerpunkte

Neben zahlreichen kleineren Forschungsvorhaben liegen die besonderen Forschungsschwerpunkte der verschiedenen Arbeitsgruppen des Instituts auf der perkutanen Nekroektomie der infizierten, nekrotisierenden Pankreatitis, der CT- und MR-Angiographie, der Erforschung von Veränderungen der Hirnmetaboliten mit Hilfe der Protonen-MR-Spektroskopie, der Untersuchung fokaler Lebererkrankungen mit superparamagnetischen MR-Kontrastmitteln, insbesondere zum Nachweis von Lebermetastasen kolorektaler Karzinome und der klinischen Erprobung von neuartigen Flachbilddetektoren aus amorphem Silizium.

9.2.1. Perkutane Nekroektomie der infizierten, nekrotisierenden Pankreatitis

In Regensburg wurde eine Technik entwickelt, bei der infizierten, nekrotisierenden Pankreatitis nekrotisches Gewebe unter Durchleuchtungskontrolle perkutan zu entfernen und mit Hilfe perkutan applizierter, großlumiger Katheter verflüssigte Nekrosen abzuleiten. Operative Eingriffe, die mit einer hohen

Morbidität und Mortalität belastet sind, können so in vielen Fällen vermieden werden.

9.2.2. CT- und MR-Angiographie

Sowohl die Computertomographie als auch die Kernspintomographie erlauben die Darstellung des Blutflusses. Die Mechanismen der Bildgebung sind allerdings bei beiden Methoden zum Teil sehr unterschiedlich. Bei der Computertomographie wird die Dichteerhöhung der intravasalen Blutsäule nach intravenöser Applikation von jodhaltigem Röntgenkontrastmittel ausgenutzt. Bei der MR-Tomographie besteht die Möglichkeit, ohne Kontrastmittel fließendes Blut darzustellen (Time-of-flight-MR-Angiographie und Phasen-Kontrast-MR-Angiographie). Es besteht außerdem die Möglichkeit zur verbesserten MR-tomographischen Gefäßdarstellung nach intravenöser Applikation von gadoliniumhaltigen MR-Kontrastmitteln oder nach Applikation von eisenhaltigen superparamagnetischen MR-Kontrastmitteln. Im Gegensatz zur röntgenologischen Gefäßdarstellung nach transarterieller Einlage eines Kunststoffkatheters und entsprechender intraarterieller Kontrastmittelinjektion wird bei der MR-Angiographie und der CT-Angiographie allenfalls intravenös Kontrastmittel appliziert, wodurch die Untersuchung weniger invasiv ist. Zur Bewertung der klinischen Wertigkeit dieser Untersuchungsverfahren beschäftigt sich unser Institut hauptsächlich mit der Darstellung der hirnversorgenden Arterien vor geplanter Halbsgefäß-Operation.

9.2.3. Protonen-MR-Spektroskopie zur Erfassung von Veränderungen der Hirnmetaboliten

Die MR-Spektroskopie ist ein Verfahren zur nicht-invasiven Bestimmung von Stoffwechselprodukten. Sie hat ihren Ursprung in der chemischen Analytik und zählt dort zu den physikalischen Verfahren mit der höchsten Aussagekraft. Sie beruht auf dem gleichen physikalischen Effekt wie die Kernspintomographie. Mit der Einführung von Kernspintomographen mit einer magnetischen Feldstärke von 1,5 Tesla wurde diese Methode auch am Menschen anwendbar. Vorzugweise werden Hirnmetabolite und Energiestoffwechselprodukte untersucht. Dies kann als zusätzliche Diagnostik zu einer normalen MR-Bildgebung erfolgen. Da kein Kontrastmittel verwendet wird, ist auch nicht mit Nebenwirkungen für den Patienten zu rechnen. Dargestellt werden im Gehirn unter anderem Metaboliten, die als Neurotransmitter, osmolar regulative Substanzen oder als Bestandteile der Zellmembran gelten. Von den energiereichen Metaboliten ist besonders der universelle Energieträger der Zelle, das ATP mit seinen Vorstufen, analysierbar. Das besondere Augenmerk gilt den Stoffwechselstörungen und den sogenannten nicht-entzündlichen Gehirnveränderungen. Untersucht werden Patienten mit Leber und Nierenschädigungen, HIV-Positive, Organtransplantierte sowie Patienten mit erblichen oder erworbenen Stoffwechselstörungen. Ziel ist es, neue diagnostische Möglichkeiten zu erschließen und

so z.B. psychometrische Tests zu ersetzen oder die Aussage der bildgebenden Verfahren zu ergänzen. Auch erhofft man sich Einblicke in die Pathophysiologie der Stoffwechselfvorgänge.

9.2.4. Superparamagnetische MR-Kontrastmittel zur Untersuchung fokaler Lebererkrankungen

Bei superparamagnetischen Eisenoxidpartikeln (SPIO) handelt es sich um eine neue Gruppe von korpuskulären MR-Kontrastmitteln, die spezifisch durch das retikuloendotheliale System (RES) aufgenommen werden und zu einer organspezifischen Anreicherung des Kontrastmittels führen (Leber, Milz, Knochenmark). Durch die physikalischen Eigenschaften dieser eisenhaltigen Partikel (umhüllt mit Dextran) kommt es zu einer Signalverminderung in der Leber im T2-gewichteten Bild, was zu einer Erhöhung des Kontrastes zwischen Leberläsionen, die kein SPIO aufnehmen, und dem umgebenden Leberparenchym führt. Dieser Effekt läßt sich bei der Diagnose von Lebermetastasen, vor allem bei der präoperativen Planung vor Metastasenresektion, klinisch nutzen. Schwerpunkt klinischer Studien an unserem Institut war der Vergleich zwischen der sehr sensitiven, jedoch relativ invasiven CTAP (Computertomographie während Arterioportographie) und MR-Tomographie nach intravenöser Applikation von SPIO bei Patienten mit malignen Lebererkrankungen (Leberzellkarzinom oder Metastasen anderer Primärtumore). Ein klinischer Nutzen dieser Methode ist vor allem bei Patienten mit kolorektalem Karzinom zu erwarten, da hierbei die rechtzeitige Detektion von Leberabsiedelungen die Option zur kurativen Operation und damit einer statistisch belegbaren Verlängerung der Überlebenschance eröffnet. Neben der Entdeckung von Lebermetastasen besteht außerdem großes klinisches Interesse an der Differenzierung von Metastasen und zufällig entdeckten gutartigen Leberläsionen (vor allem Zysten und kavernösen Hämangiomen). Für diese Differenzierung eignet sich die Ausnutzung des T1-Effektes von SPIO während der Blutpool-Phase, wobei hier im Gegensatz zu Lebermetastasen bei kavernösen Hämangiomen eine deutliche Signalserhöhung zu beobachten ist.

9.2.5. Flachbilddetektoren aus amorphem Silizium

Die Entwicklung von Flachbilddetektoren auf der Basis von amorphem Silizium ist eine neuartige digitale Röntgentechnologie, welche sowohl im Bereich der konventionellen Skelett- und Lungendiagnostik als auch im Bereich der digitalen Subtraktionsangiographien und der Durchleuchtung einsetzbar ist.

Bei dieser Technologie beruht der Bildgebungsprozeß auf mehreren Schritten. Zunächst treffen die Röntgenstrahlen auf einen thalliumdotierten Caesiumjodid-Szintillator und werden dort in sichtbares Licht umgewandelt. Das so erzeugte Licht trifft nun auf eine Matrix von Photodioden aus amorphem Silizium und wird hier in elektrische Ladungen umgewandelt. Die so erzeugten digitalen

Rohdaten werden durch Verstärkung sowie spezielle Hard- und Software zu einem Monitorbild aufgearbeitet und stehen in Echtzeit auf dem Bildschirm zur Verfügung. Die großen Vorteile für den klinischen Alltag liegen zum einen in der Vermeidung von Fehlbelichtungen durch den großen dynamischen Umfang des Systems, sowie in der Möglichkeit einer Dosisreduktion bedingt durch die hohe Quantenausbeute der Detektoren. Außerdem steht auf dem Monitor ein Röntgenbild zur Diagnostik zur Verfügung, das auch digital nachverarbeitet werden kann. Durch die digitale Bildgebung ist eine problemlose Einbindung in eine PACS- und Telemedizinumgebung möglich.

Die klinische Erprobung sowie mehrere Phantomuntersuchungen haben ein Dosisreduktionspotential von bis zu 75% ergeben. Nach diesen ersten vielversprechenden Versuchen sind weitere Versuche mit einem größeren Detektor geplant. Dieser bietet die Möglichkeit, das gesamte Spektrum der konventionellen Radiologie einschließlich der Lungendiagnostik abzudecken.

M.V.

ZEITTADEL, 1850-1916

- 1850 Heinrich Rühmkorff (Paris) konstruiert seine ersten Funkeninduktoren.
- 1855 Heinrich Geissler (Bonn) ermöglicht mit der Quecksilber-Luftpumpe und den von Julius Plücker (Bonn) entworfenen Röhren das Studium elektrischer Entladungen in verdünnten Gasen.
- 1858 Michael Faraday (London) beginnt seine Experimentaluntersuchungen zur Gasentladung.
- 1859 J. Plücker beobachtet bei niedrigen Drücken eine unsichtbare neue Strahlung, die von Magneten abgelenkt wird.
- 1862 August Toepler (Poppelsdorf) konstruiert seine Barometer-Luftpumpe.
- 1865 Heinrich Sprengel (London) verbessert die Geisslersche Vakuumpumpe und findet die Glasfluoreszenz beim Auftreffen der Kathodenstrahlen.
- 1869 Wilhelm Hittorf (Münster) zeigt die geradlinige Ausbreitung der Kathodenstrahlen; John P. Gassiot (London) demonstriert ihre Ladung.
- 1871 Cromwell F. Varley (London) behauptet die Teilchennatur der Kathodenstrahlung und beweist ihre negative Ladung; William Crookes (London) hält sie für an der Kathode ionisierte Gasmoleküle.
- 1876 Eugen Goldstein (Berlin) führt den Begriff 'Kathodenstrahlen' ein.
- 1879 Mit seinem Vortrag in Sheffield löst W. Crookes die breite Diskussion um die Natur der Kathodenstrahlen aus.
- 1881 Mit der Elektrischen Ausstellung in Paris beginnt der Siegeszug der Edison-Glühlampe.
- 1883 Heinrich Hertz (Kiel) kann eine elektrostatische Ablenkung der Kathodenstrahlen nicht nachweisen und hält sie deshalb für longitudinale Ätherwellen.
- 1884 Wilhelm Hittorf (Münster) untersucht die Schichtung des Entladungslichts.
- 1886 E. Goldstein entdeckt die positiv geladenen 'Kanalstrahlen'.
- 1890 Arthur Schuster (Manchester) schätzt aus der magnetischen Ablenkung der Kathodenstrahlen ihr Masse/Ladungsverhältnis ab.
- 1891 Für die britischen Physiker steht die Teilchennatur der Kathodenstrahlen fest; George Johnston Stoney (Dublin) nennt die Ladungseinheit „Elektron“ und schätzt ihren Wert ab; August Raps (Berlin) konstruiert die automatische Quecksilberluftpumpe.

- 1892 Heinrich Hertz (Bonn) zeigt, daß Kathodenstrahlen dünne Metallfolien durchdringen, und nimmt dies als Beleg ihrer Wellennatur.
- 1893 Philipp Lenard (Bonn) baut eine Röhre mit Aluminiumfenster, um mit der durchgelassenen Strahlung experimentieren zu können.
- 1894 Joseph John Thomson (Cambridge) mißt die Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen.
- 1895 Jean Perrin (Paris) baut die Teilchenhypothese der Kathodenstrahlung gegen die Wellenauffassung aus.
- 1895 Wilhelm Conrad Röntgen (Würzburg) entdeckt die von den Kathodenstrahlen hervorgerufenen X-Strahlen; J.J. Thomson gelingt die Ablenkung von Kathodenstrahlen durch statische Ladungen.
- 1896 Ferdinand Braun (Straßburg) baut die erste Kathodenstrahlröhre und legt mit Franz Müller (Bonn) die Grundlagen für deren technische Anwendung in der 'Braunschen Röhre'; Leo Arons (Berlin) konstruiert die Quecksilber-Hochdrucklampe.
- 1897 J.J. Thomson zeigt, daß die Kathodenstrahlen negativ geladene 'Korpuskeln' von weniger als 1/1000 Wasserstoffmassen sind; George Francis FitzGerald (Dublin) interpretiert sie als freie Elektronen.
- 1898 Wilhelm Wien (Aachen) erklärt die Natur der Kanalstrahlen.
- 1899 J.J. Thomson bestimmt Masse und Ladung des Elektrons.
- 1900 Johannes Stark (Göttingen) zeigt den Dopplereffekt der Kanalstrahlen.
- 1903 J.J. Thomson stellt sein 'Rosinenkuchen'-Atommodell vor.
- 1904 Arthur Wehnelt (Erlangen) entwickelt die oxidbeschichtete Glühkathode für stärkere Emissionsleistung; Paul Villard (Paris) entdeckt die Gamma-Strahlen.
- 1905 Die Firma Heraeus in Hanau bringt Quecksilber-Hochdrucklampen aus Quarzglas in den Handel.
- 1906 Max Dieckmann und Gustav Glage, Assistenten von F. Braun in Straßburg, patentieren die erste Bildröhre auf Basis der Braunschen Röhre.
- 1908 Friedrich Dessauer (Aschaffenburg) demonstriert die therapeutische Wirkung von Röntgenstrahlen.
- 1911 Ernest Rutherford (Manchester) entwirft sein Atommodell mit positivem Kern und kreisenden Elektronen; William D. Coolidge (New York) erfindet die Glühkathode.
- 1912 Max von Laue, Walter Friedrich und Paul Knipping (München) entdecken die Röntgenbeugung am Kristallgitter.
- 1913 William Henry und William Lawrence Bragg (Adelaide) bestimmen die Wellenlänge der Röntgenstrahlung; Alexandre Dufour (Paris) konstru-

iert den ersten Hochgeschwindigkeits-Oszillographen; J.J. Thomson erklärt Goldsteins 'Kanalstrahlen' als geladene Wasserstoffatome.

1916 Das Bohr-Sommerfeldsche Atommodell liefert eine erste theoretische Deutung für die Entstehung der Röntgenstrahlung.