



1857 – Julius Plücker, Heinrich Geißler und der Beginn systematischer Gasentladungsforschung in Deutschland

Günter Dörfel und Falk Müller

Low pressure gas discharges are quite complex processes that are hardly to be explained by simplified model descriptions. Therefore and because of the technological difficulties involved in their investigation, gas discharges remained a rather exotic topic until the later decades of the 19th century. The beginning of a systematic and soon also an extensive exploration is closely related to the activities of the mathematician and physicist Julius Plücker and the glassblower Heinrich Geißler and their engagement in Bonn. During the 2nd half of the 19th century, at first the attraction of the discharge phenomena observed and, four decades later, a spectacular discovery – that of the X-radiation, have established in the view of an interested community the results of gas discharge exploration as a predecessor for a change in physical ideology and technical realization. It is the intent of the present paper to illuminate the interactions which dominated the establishment of this new field of research in Bonn and the details of the events and processes of that time, in particular to expose that part played by the glassblower in this field.

Elektrische Entladungen in weitgehend evakuierten Räumen sind sehr komplexe Prozesse, die sich einer einfachen Erklärung entziehen. Deshalb und wegen der mit ihrer Untersuchung verbundenen technischen Probleme waren Gasentladungen bis weit ins 19. Jahrhundert ein eher exotischer Forschungsgegenstand. Der Beginn einer systematischen und bald auch sehr breiten Erforschung ist eng mit den Namen Julius Plücker (1801–1868) und Heinrich Geißler (1814–1879) und deren Wirken in Bonn verbunden. Die Schönheit der schon sehr früh beobachteten Phänomene und, vier Jahrzehnte später, eine spektakuläre Entdeckung – die der Röntgenstrahlen – haben die Gasentladungsforschung der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts schon bald als Vorbereitungsphase für einen Umbruch im physikalischen Denken und technologischen Handeln im Bewusstsein einer interessierten Öffentlichkeit verankert. Gleichmaßen fest gefügt ist die Sicht dieser Öffentlichkeit auf die in der Anfangsphase handelnden Personen und deren Leistungen. Mittlerweile historische Betrachtungen beschreiben auch die heutigen Auffassungen zutreffend.

Vom Jahre 1857 ab widmete Plücker seine experimentelle Tätigkeit einem ganz neuen Gebiete, das er, unbeeinflusst und ungestört durch andere, erschlossen hat: es ist das Gebiet der elektrischen Entladungen. ... Es bedeutete ... einen großen Fortschritt, als Plücker zu diesen Untersuchungen ein neues praktisches Hilfsmittel, die Geißlerschen Röhren einführte. Diesen Röhren, in die der kunstfertige Glasbläser Geißler für ihn die Gase einschloß, gab Plücker selbst den Namen „Geißlersche Röhren“, weil Geißler große Verdienste um ihre Gestaltung hatte, obschon sie ähnlich schon von anderen hergestellt waren. Von Plücker rührte jedoch die



Julius Plücker (links); geb. 16. 6. 1801 in Elberfeld, gest. 22. 5. 1868 in Bonn. (Photo Deutsches Museum München). Heinrich Johann Wilhelm Geißler (rechts), geb. 26. 5. 1814 in Igelshieb (heute zu Neuhaus am Rennweg), gest. 24. 1. 1879 in Bonn. (Vorlage Geißlerhaus Neuhaus a. Rwg.)

Idee, dem mittleren Teil der Röhren die kapillare Form zu geben, um so das schwache Licht zu konzentrieren, wodurch erst die Beobachtung der Entladungsspektren ermöglicht wurde. [Ernst 1933, S. 65]

Plückers Schüler und späterer Forscherkollege Wilhelm Hittorf (1824–1914)¹ arbeitete dem Göttinger Mathematiker und Mitglied der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften Alfred Clebsch (1833–1872) für dessen Gedenkrede auf den Mathematiker und Physiker Plücker seine Auffassung zu:

... Der grosse Electromagnet des physikalischen Cabinets, der im Winter 46/47 auf der Sayner Hütte geschmiedet worden war, blieb ... das Lieblingsinstrument für seine physikalischen Forschungen. Er unterwarf ihm zehn Jahre später die leuchtenden Entladungen, welche durch Inductionsströme in den mit verdünnten Gasen gefüllten Geissler'schen Röhren entstehen, und erzeugte die prächtigen Flächen und Curven, in welche das Licht ... übergeht. Er lehrte zuerst das schwache Licht der verdünnten Gase durch Verengung eines Theiles der Röhre auf Capillardimensionen so zu verstärken, dass deutliche, bestimmbare Spectra gewonnen werden konnten. Vor Bunsen und Kirchhoff sprach er aus, dass die Linien des Spectrum's für jede chemische Substanz characteristisch sind und zur Erkennung derselben in der Analyse verwerthet werden können. [Clebsch 1871, S. 33]

Schon zuvor, in einer seiner großen Arbeiten für die *Annalen*, hatte Hittorf die Geißlersche Vakuumpumpe und den von Daniel Ruhmkorff (1803–1877) etwa zeitgleich entwickelten Funkeninduktor² als die entscheidenden Voraussetzungen für die Gasentladungsforschung – in seiner Diktion für „das Studium des Funkens“ – bezeichnet [Hittorf 1869].

Die Zitate sind zutreffend, aber sie generalisieren auch. Sie verstellen den Blick auf die Feinstruktur der damaligen Konstellationen und Abläufe. Es ist das Anliegen dieser Studie, die Spannungsfelder, die die Begründung einer neuen Forschungsrichtung in Bonn bestimmten, deutlich zu machen und insbesondere auch die Rolle des Glasbläfers in diesem Prozess herauszustellen. Wir folgen dabei der Sicht des August Wilhelm von Hofmann (1818–1892). Unter seinem Vorsitz hatte die Deutsche Chemische Gesellschaft am 27. Januar 1879 des drei Tage vorher verstorbenen Geißler gedacht:

Der Vorsitzende theilt mit, dass er soeben die schmerzliche Nachricht von dem Tode des Hrn. Dr. Heinrich Geissler in Bonn erhalten habe. ... Geissler habe die Kunst, das Glas vor der Lampe zu formen, zu einer Vollendung ausgebildet, welche keiner seiner Vorgänger erreicht habe, und in welcher er, obwohl er treffliche Schüler erzogen hat, sobald nicht übertroffen werden dürfte. Aber wenn auch seine Kunstfertigkeit in der Behandlung des Glases eine geradezu staunenerregende gewesen sei, so würde er doch mit ihr allein nicht die Fülle seiner wissenschaftlichen Apparate habe schaffen können, wenn ihn nicht ein hervorragendes constructives Talent, aber auch gründliche physikalische Kenntnisse zur Seite gestanden hätten.

Vorangestellt war eine Feststellung, die durch die hier zu schildernden Umstände besonderes Gewicht erhält, nämlich

dass diejenigen, welche Geissler für die Verwirklichung eines von ihnen erdachten Instrumentes gewonnen hatten, ihren eigenen Gedanken kaum wieder erkannten, als sie sich im Besitze des aus seiner Meisterhand hervorgegangenen Apparates sahen; ... [Hofmann 1879]

Die damalige Situation in Bonn, Nährboden für die nachfolgend beschriebenen Entwicklungen eines dreiviertel Jahres, hatte ihren Ausgangspunkt in einer personellen Notlösung. Julius Plücker war schon 1836 – also unmittelbar nach seiner Berufung auf die ordentliche Professur für Mathematik 1835 und quasi mit Beginn seiner Lehrtätigkeit 1836 – wegen des Ablebens des Mathematikers und Physikers Karl Dietrich von Münchow (1778–1836) mit der Direktion des Physikalischen Kabinetts betraut und mit den Physikvorlesungen beauftragt worden – vorerst provisorisch. Plücker, dessen Experimentierkunst zunächst ungünstig beurteilt wurde, begegnete dieser Situation mit Fleiß und mit einem Arbeitsstil, der seinen Partnern – den Schülern und späteren Professoren August Beer (1825–1863) und Hittorf, dem Assistenten Theodor Meyer (1825–?), dem Mechaniker Friedrich Fessel (1825–?) – eine herausgehobene Rolle bei experimentellen und technischen Arbeiten zuwachsen ließ.³ Vor diesem Hintergrund entwickelte sich die Partnerschaft zwischen Plücker und Geißler trotz gelegentlicher deutlicher Irritationen zu einer höchst effektiven. Ob und um wie viel deren Leistung höher zu veranschlagen ist als die anderer für die junge Gasentladungsphysik typischer und verdienstvoller Teams – wir nennen stellvertretend für viele Michael Faraday (1791–1867) und John Peter Gassiot (1797–1877), Daniel Ruhmkorff und Jean Antoine Quet (1810–1884), William Crookes (1832–1919) und C. H. Gimmingham⁴ – wird hier nicht diskutiert. Wohl aber, auf welche Weise sich die Konstellation Plücker / Geißler als außergewöhnlich erwies.

Die ersten Schritte

Im Frühjahr 1857 bat der Glastechniker und Instrumentenbauer Heinrich Geißler⁵ den Assistenten Plückers am „physikalischen Cabinet“ in Bonn, Theodor Meyer,

eine von ihm gefertigte schlanke Gasentladungsröhre auf das Problem der Schichtung des elektrischen Lichtes zu untersuchen. Geißler hatte in eine einseitig abgeschlossene Glasröhre zwei Platinelektroden eingeschmolzen, die Röhre mit Quecksilber gefüllt, sie nach dem Barometerprinzip gegen ein Quecksilberreservoir ohne Luftzutritt leer laufen lassen und abgeschmolzen. Damit hatte er ein für damalige Verhältnisse extremes Vakuum erzeugt.⁶ Geißler folgte damit seinem Bruder Friedrich Wilhelm Geißler (1818–?), der in Amsterdam eine solche „Massonsche Röhre“⁷ für den Chemiker Volkert Simon Maarten van der Willigen (1822–1878) hergestellt hatte [Van der Willigen 1856].

Meyer beobachtete außergewöhnlich schöne und deutliche Schichtungen der Leuchterscheinung.⁸ Es entwickelte sich eine intensive Zusammenarbeit. „Bei Geisslers bekanntem Interesse an der Lösung wissenschaftlicher Fragen bedurfte es kaum einer besonderen Aufmunterung, ... weitere Röhren zur Darstellung des Phänomens anzufertigen“ [Meyer 1858, S. III]. In der Zusammenfassung seiner Arbeiten schilderte Meyer die verwendeten Instrumente, die Experimentiertechniken, aufgelistet in 12 Punkten die beobachteten Phänomene und, ebenfalls nach Punkten aufgelistet, seine („vorläufige“) Auffassung über deren wissenschaftliche Ausdeutung. Aus heutiger Sicht bemerkenswert an seiner sehr selten gewordenen Broschüre sind, zusammengefasst auf drei Tafeln, die wohl ersten farbigen Darstellungen von elektrischen Gasentladungen und, wissenschaftlich bedeutsamer, die überhaupt erste Skizze von Geißlers Vakuumpumpe.

Dem äußeren Anschein nach nahezu gleichzeitig – signiert mit „Bonn, 27. December 1857“ – veröffentlichte Plücker seine erste Arbeit „Ueber die Einwirkung des Magneten auf die elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen“ [Plücker 1858]. In zunächst 38 Paragraphen⁹ berichtete er über die beobachteten Phänomene. Dabei würdigte er sehr ausführlich die technischen Leistungen Geißlers, prägte den Begriff „Geißlersche Röhren“ und ging auch auf die Vorleistungen von Ruhmkorff, Quet, Humphry Davy (1778–1829) und Dominique Francois Jean Arago (1786–1853) ein. Physikalischer Ausdeutungen enthielt er sich. Auffällig ist, dass Plückers Assistent Meyer in dieser Arbeit nicht erwähnt wird.

Über eine wissenschaftliche Konkurrenzsituation

Nicht unwesentlich für eine Analyse der damaligen Gegebenheiten ist das (wahrscheinlich!) irreführende Erscheinungsdatum („Berlin 1858“) von Meyers Arbeit. In der 2. Sitzung der Sektion Physik der 33. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte 1857 in Bonn, am 21. September, hielt Meyer den ersten Vortrag.

Theod. Meyer gab, nach kurzer Andeutung der Veranlassung zu einer Reihe von Beobachtungen, *die in einer am heutigen Tage erscheinenden Broschüre enthalten sind*,¹⁰ eine Übersicht der wichtigsten derselben, nämlich der Phänomene der Schichtung des electrischen Lichtes in verdünnten Medien, der großen Ablenkbarkeit desselben und der Wirkung des Magneten auf dasselbe ... [Amtlicher Bericht 1857]

Es ist also davon auszugehen, dass das Erscheinungsjahr in Meyers Broschüre, „Berlin 1858“, vordatiert ist.¹¹

Am 4. Sitzungstag der Naturforschertagung in Bonn, am 23. September, schloss Plücker die Liste der Vortragenden:

Prof. Plücker zeigte Versuche, betreffend die Stratification des electr. Lichtes und die Modification desselben unter Einwirkung des Magneten.

Am Morgen des gleichen Tages hatte er über seine bisherigen Spezialgebiete berichtet:

Prof. Plücker gab:

1. eine kurze Andeutung über die Theorie des magnetischen Verhaltens der Krystalle und führte diese auf die Poisson'sche Theorie des Magnetismus zurück.
2. eine mathematische Bestimmung der magnetischen und optischen Axen der Krystalle.

Am Rande sei ein hier nicht in inhaltlicher Hinsicht, wohl aber für die Gesamtsituation aufschlussreicher Beitrag vom 22. September erwähnt:

Mechaniker Geissler sprach über die Einrichtung eines neuen von ihm selbst erfundenen Barometers, und zeigte ein solches vor. (Alle Zitate:[Amtlicher Bericht 1857])

Plückers Beitrag über die Schichtung des elektrischen Lichtes mag nachgeschoben wirken; aber auch er hat eine öffentliche Vorgeschichte. In der Sitzung der „physicalischen Section“ der „Niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde zu Bonn“ am 9. Juli „hielt Prof. Plücker einen Vortrag über die elektrischen Lichtströmungen durch Räume, die verdünnte Gase enthalten, und über die merkwürdigen Einwirkungen, welche dieselben durch den Magnet erhalten“ [Kölnische Zeitung 1857]. Der Text ist sachlich und sachkundig – vermutlich stützt er sich auf eine Vorlage Plückers – und ist offenbar den Protokollen der genannten Sitzung entnommen. Jedenfalls erschien er später wortgleich in den das Jahr resümierenden Sitzungsberichten [Sitzungsberichte 1857]. Der Bericht zitiert bezüglich der beobachteten Schichtungen der Leuchterscheinungen frühere Beobachtungen von Ruhmkorff und Quet [Quet 1852] am „Elektrischen Ei“ und erwähnt auch eines von Meyers Experimenten. In diesem eingengten Sinne wird Meyer sogar absolute wissenschaftliche Priorität eingeräumt. Es geht um die vermittels eines nassen Fadens (also eines elektrischen Widerstandes) „verzögerte“ Entladung einer Leydener Flasche (also eines elektrischen Kondensators) durch die Gasentladung in der Geißlerschen Röhre. Dieses Experiment hatte durchaus wissenschaftliche Bedeutung. Mangels anderer leistungsfähiger Anregungsapparate wurden die Entladungen üblicherweise impulsförmig durch einen Induktor ausgelöst. Die kontinuierliche (wenn auch naturgemäß stetig abnehmende) Speisung der Gasentladung durch die in der Leydener Flasche gespeicherte Energie vermittels eines den Entladungsstrom begrenzenden Widerstandes konnte im Detail andersartige und insbesondere gleichmäßigere Erscheinungen erzeugen und weitere Einsichten vermitteln. Aber mit der Prioritätszuweisung irrte der Berichterstatter. Ein solches Experiment hatte schon Van der Willigen beschrieben (Abb. 1), und Poggendorff hatte auf dessen Besonderheiten hingewiesen [Poggendorff 1856]. Dieses allerdings mit dem mittlerweile klassischen voluminösen „Elektrischen Ei“ nach Faraday und nicht mit Geißlers schlanken Röhren. Letztere werden im Bericht der Kölnischen Zeitung ausführlich gewürdigt. Herausgehoben werden Experimente mit einer 16 Zoll (!) langen Röhre, die „etwa 400 schwarze Streifen in dem hellen Lichte“ zeige. Der Bericht schließt mit Hinweis auf einen Experimentalvortrag am Folgetage, bei dem „der Vortragende (Plücker) ... auf dem physicalischen Cabinette einige der schönen Erscheinungen,

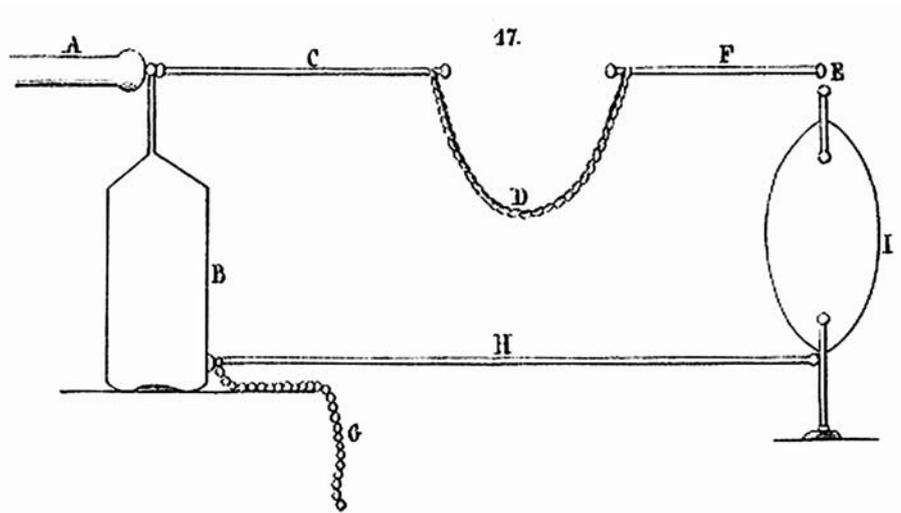


Abb. 1. Speisung der Entladung im elektrischen Ei durch die in der Leydener Flasche gespeicherte Energie nach [Van der Willigen 1856]. (B – Leydener Flasche; I – Entladungsröhre; C, F, H – metallische Leiter; D – „eine 4 Decimeter lange feuchte Schnur“). Die Leydener Flasche wird über den Kontakt A von einem Induktor geladen.

die unter dem Einflusse des Magnets noch überraschender wurden“, zeigte. „Eine ausführliche Arbeit wird die näheren Details enthalten“. Das war offenbar der Ausblick auf Plückers Arbeit für die *Annalen* [Plücker 1858]. Physikalische Interpretationen vermied Plücker. Im Gegenteil: „Er sieht in dem Auftreten der schwarzen Schichten ... eine bisher noch ganz ungeklärte Erscheinung...“.

Genau dazu äußerte sich Meyer in seiner (vermutlich) im Herbst 1857 herausgekommenen Arbeit kontrovers und polemisch. „Ich glaube nicht, dass das Phänomen der Schichtung überhaupt in dem Grade noch unerklärt ist, wie von der einen und der anderen Seite vermuthet oder gar öffentlich ausgesprochen worden“ [Meyer 1858, S. 26]. Der Adressat dieser Bemerkung war ganz offensichtlich Plücker. Wahrscheinlich war es der beabsichtigte Weggang aus Bonn – siehe¹¹ –, der Meyer zu dieser Auseinandersetzung mit dem Ordinarius ermutigte. Plückers Arbeitszeugnis für Meyer war schon im August 1857 ausgefertigt und von Meyer in Marburg eingereicht worden. Sein wissenschaftlicher Irrtum, der diese Kontroverse auslöste, ist ihm nicht anzulasten.¹²

Auch Plücker hat von ihm verwendete frühe Geißlersche Röhren skizziert, und zwar in einem an Faraday gerichteten Brief vom 1. Juli 1857. Sie unterscheiden sich äußerlich nicht von den Entladungsröhren (Abb. 2), die Meyer in Fig. VI, Tafel III [Meyer 1858] wiedergab. Plücker bemühte sich im genannten Brief um Faradays Unterstützung beim Ausgleich in einem wissenschaftlichen Streit mit John Tyndall (1820–1893), der mit Missverständnissen angereichert war; es ging um magnetische Eigenschaften von Kristallen. Am 17. August lud Plücker Faraday zur Teilnahme an der 33. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte ein. Faraday hielt sich

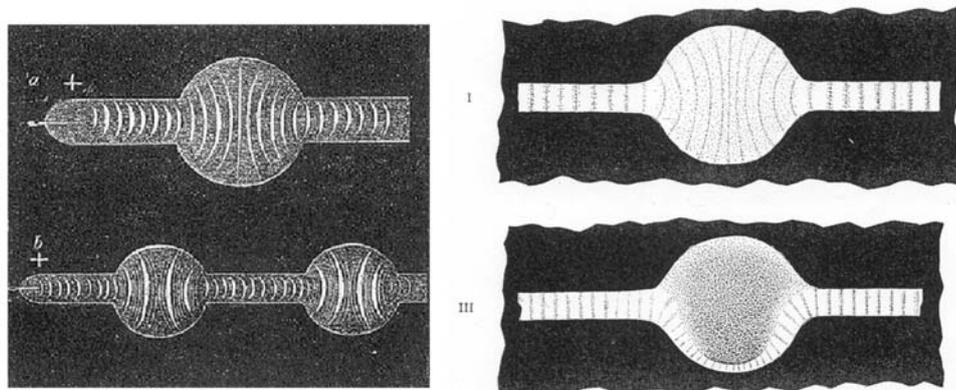


Abb. 2. Zwei der von Meyer verwendeten Entladungsröhren a und b (nach einer Lithographie aus [Meyer 1858, Tafel III, Fig. VI] vom September 1857) im Vergleich mit den von Plücker im Brief an Faraday vom 1. Juli 1857 [Williams 1971] skizzierten Röhren I u. III.

zurück und sagte seine Teilnahme an der Bonner Versammlung mit Brief vom 27. August ab [Williams 1971]. Ob Plücker mit seiner Einladung an Faraday vorrangig um Unterstützung seiner kristalltheoretischen Arbeiten und den diesbezüglichen Ausgleich mit Tyndall werben wollte, oder ob ihm mehr an Faradays Zeugenschaft für seinen Experimentalvortrag zur Gasentladungsphysik während der Naturforscherversammlung gelegen war, kann nur gemutmaßt werden. Ausgeschlossen werden kann der letztgenannte Beweggrund nicht; schließlich gehörte Faraday zu den Vätern dieser Forschungsrichtung. Es darf hingegen davon ausgegangen werden, dass Faraday durch Plückers Experimente dazu motiviert wurde, die Erforschung von Gasentladungserscheinungen zusammen mit Gassiot wieder aufzunehmen.

Geißlers Vakuumpumpe

Qualitative und quantitative Ansprüche, die Geißler an sich und seine Röhren stellte, veranlassten ihn, noch in der Frühphase seiner Zusammenarbeit mit Meyer über effektive Evakuierungsmöglichkeiten nachzudenken. Ob man das Ergebnis seiner Überlegungen (Abb. 3) als die Instrumentalisierung des o. a. Barometerprinzips ansieht, oder ob man das bewegte Quecksilber als ideal abdichtenden Kolben einer mechanischen Pumpe interpretieren will, ist Geschmackssache. In jedem Falle geht es darum, ein (möglichst großes) evakuiertes Gefäß immer wieder an den zu evakuierenden Rezipienten anzuschließen, dieses anschließend abzutrennen und die übergeströmte Gasmenge aus dem Gefäß gegen die freie Atmosphäre zu verdrängen. Voraussetzung für die Erreichbarkeit eines hohen Endvakuums ist, dass ein sogenanntes totes Volumen im Pumpengefäß vermieden wird. Geißler hat insbesondere unter diesem Gesichtspunkt seine Pumpe über die Jahre mehrfach verbessert und ist schließlich dem Dampfdruck des Quecksilbers nahe gekommen. Für die hier gestellten Fragen sind folgende Details seiner schon 1857 publikationsreifen Erfindung von Bedeutung (Abb. 4):

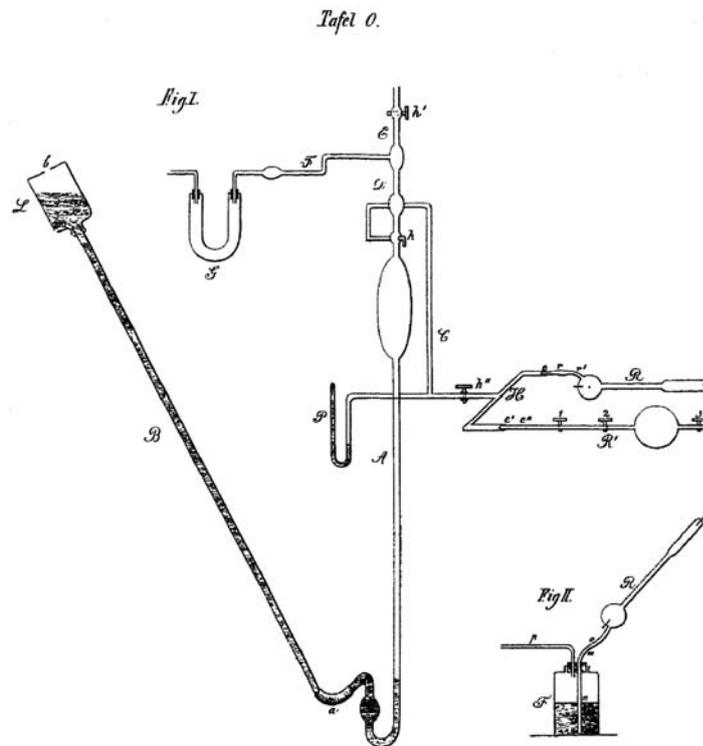


Abb. 3. Früheste bekannte Skizze von Geißlers Vakuumpumpe aus dem Jahre 1857 [Meyer 1858]. Zentrales Element ist der Mehrweghahn *h*. Gibt er die Verbindung des Volumens *A* mit der Außenatmosphäre frei, so tritt bei Anheben des Reservoirs *B* Quecksilber bis zum Hahn *h* ein. Nach Absperren der Außenatmosphäre und Absenken des Reservoirs fällt der Quecksilberspiegel in *A* nach dem Barometerprinzip. In dieses bis zum Dampfdruck des Quecksilbers evakuierte Volumen strömt nach Betätigung der Hähne *h* und *h''* das Gas aus der Gabel *H* und der Röhre *R* über. Dieses wird nach Absperren des Rezipienten und Öffnen von *h* durch Anheben des Reservoirs *B* gegen die Außenatmosphäre verdrängt. Abhängig vom Volumen des Rezipienten und der „toten Volumina“, vom angestrebten Vakuum und von der Leckrate ist dieser Vorgang mehr oder weniger oft und regelmäßig zu wiederholen.

- Der skizzierte Rezipient ist eine Gasentladungsröhre (*R*) mit zwei eingeschmolzenen Elektroden. Sie weist in der Nähe der eingeschmolzenen Elektroden Aufweitungen auf und im Mittelteil – erstmalig! – eine ausgeprägte Verengung.
- Angeschlossen ist auch ein zweites Gefäß (*R'*). Dieses ist mit einem wohl definierten Gas gefüllt. Durch ein entsprechendes Regime der Hähne (*h''*),²¹³ kann die Röhre „*R*“ bestmöglich evakuiert, mit Gas aus „*R'*“ befüllt und auf vorgegebenen Enddruck evakuiert werden.

Ob Geißler mit der Verengung des Mittelteils schon eine bewusste Erhöhung der Leuchtdichte anstrebte, oder ob es zunächst ganz einfach um eine Minimierung des

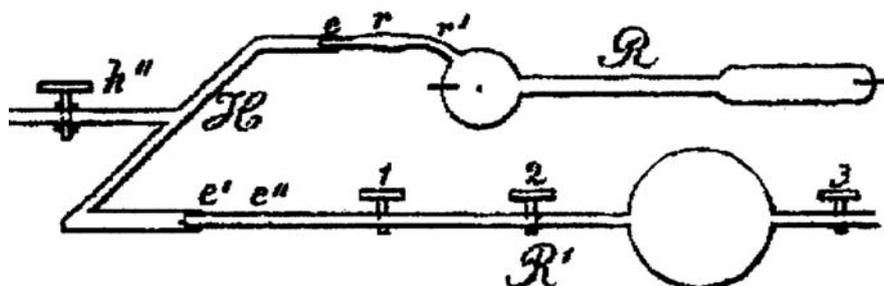


Abb. 4. Die nach Abb. 3 an die Pumpe angeschlossene Entladungsröhre R einschließlich der Vorrichtung zur Beladung der Röhre mit definierten Gasen. Ist die Röhre R und die sie tragende Gabel H bis zum Hahn 2 evakuiert und der Hahn h'' geschlossen, so wird durch Schließen von Hahn 1 und vorübergehendes Öffnen von 2 das geringe Volumen zwischen den Hähnen 1 und 2 zur dosierten Zugabe von Fremdgas aus dem Reservoir R' in die Röhre R genutzt. Fig. II, Bestandteil von Abb. 3, zeigt die entsprechende Vorrichtung zum Beladen der Röhre R mit Quecksilberdampf.

zu evakuierenden Volumens ging, geht aus Meyers Bericht nicht hervor. Immerhin findet sich in einem Begleitbrief Geißlers vom 2. Februar 1858 an Justus von Liebig (1803–1873) in München, die Lieferung verschiedener Thermometer betreffend, eine aufschlussreiche Anmerkung:

Bereits seit (einem) *Dreiviertel Jahr* beschäftige ich mich mit den *Lichterscheinungen*, welche stattfinden wenn man durch Glasröhren in welchen Platindrähte eingeschmolzen und so evakuiert sind, dass nur noch eine sehr geringe Menge von irgend einem Gas darin zurückbleibt, den Strom von dem Rühmkorffschen Inductionsapparat hindurch leitet Diesen Röhren, welche ich früher anfertigte für die schönen Erscheinungen, habe ich nun seit ich selbst einen Rühmkorffschen Apparat besitze, noch eine andere Seite abgewonnen, *welche vielleicht von einiger Bedeutung in der Wissenschaft werden dürfte. Da sich nämlich ein Gas in den Röhren bei Durchleitung des Stromes sehr wesentlich von einem anderen unterscheidet, so habe ich den Umstand benutzt um selbst Gase damit zu bestimmen ... , und wenn man nur 1/10 Cubik-Centimeter davon hat ...* . [Geißler 1858]

Die Aufweitung der Röhre in Elektrodennähe wird durch physikalische Gründe erzwungen, die Hittorf später systematisch untersuchte, und die mit zunehmender Evakuierung bestimmend werden.¹⁴ Man bedenke, dass angesichts dieser Aufweitungen die oben erwogene Volumensersparnis durch die kapillare Verengung des Mittelteiles der Röhre in engen Grenzen bliebe, und dass der extreme Strömungswiderstand der Kapillare die Evakuierung erschweren musste. Wir dürfen also nicht ausschließen, dass Geißler diese Röhrenform in Zuge seiner Beschäftigung „mit den Lichterscheinungen“ schuf, wohl aber, dass es dabei bereits um spektroskopische Analysen gegangen sei.

Aufschlussreich ist auch ein Nebensatz im o. a. Brief. Die Röhren, die Geißler „früher anfertigte für die schönen Erscheinungen“, also die formenreichen dekorativen, im wissenschaftlichen Sinne weitgehend zweckfreien Gebilde, die im Bewusstsein einer breiteren Öffentlichkeit als die eigentlichen Geißlerschen Röhren gelten, sind also kein Folgeprodukt der Spektralröhren. Sie stellen vielmehr eine eigene Kategorie dar, offensichtlich älter als die der Spektralröhren.¹⁵

Versuch einer Wertung

Versuchen wir, die Ereignisse eines für die Etablierung der Gasentladungsforschung wichtigen halben Jahres – Meyer datierte den Beginn jener Aktivitäten mit „Frühjahr“ [Meyer 1858], Geißler sprach im Februar 1858 von einem ein dreiviertel Jahr zurückliegenden Beginn [Geißler 1858], mit der 33. Naturforscherversammlung im September 1857 wurden die Konturen sichtbar – anhand der zugänglichen Publikationen und Dokumente zu werten.

Die Initiative, sich in Bonn der Gasentladungsforschung zuzuwenden, ging von Heinrich Geißler aus. Und Geißler war es auch, der die technischen Voraussetzungen dafür schuf, und zwar auf einem bis dahin noch nicht erreichten vakuumtechnischen Niveau. Wir finden in den zugänglichen Äußerungen der Beteiligten keine Hinweise, dass Geißler diese Leistung abverlangt worden wäre, wohl aber viele, dass die eröffneten Möglichkeiten gern in Anspruch genommen wurden. Dass Geißler seine Initiative an den Assistenten Meyer und nicht an den Ordinarius Plücker herantrug, mag in der damals intensiven Beschäftigung Plückers mit Problemen der Kristallografie und des Magnetismus begründet sein. Frühere gemeinsame Arbeiten – siehe z. B. [Plücker 1852] – lassen Berührungängste oder andere Vorbehalte jedenfalls unwahrscheinlich erscheinen.

Die Reserviertheit Plückers gegenüber Meyer und dessen Arbeiten hängt wohl mit Meyers voreiliger und polemisch vorgetragener Erklärung des physikalischen Hintergrundes der beobachteten Erscheinungen zusammen. Man kann den Vorbehalt des Mathematikers Plücker nachvollziehen, dass man von einer halbwegs konsistenten Theorie noch weit entfernt sei.¹⁶ Bezeichnend ist, dass Plücker, trotz großer Erfolge in der Gasentladungsforschung, in seinen letzten Lebensjahren wieder der axiomatischen Begründung einer neuen (projektiven) Geometrie nachging.

Aus dem Vorwort der Dissertation Meyers kann man eine gewisse Verbitterung über Plückers Einflussnahme auf seine wissenschaftliche Arbeit herauslesen.

Nachdem ich 2 Jahre Assistent im hiesigen physikalischen Cabinet gewesen, wünschte ich eine selbständige, wo möglich *von allen fremden Einflüssen freie Arbeit* auszuführen. ... Ich hatte bereits mit Herrn Geissler, dem bekannten Glaskünstler hieselbst, den Gegenstand fixirt, nämlich thermometrisch-barometrische Höhenbestimmungen mit Hilfe eines neuen Instrumentes, als mein verehrter Lehrer, Herr Professor Plücker auf die Mittheilung hin bemerkte, er wolle, da kostspielige Apparate erforderlich sein würden, den Gegenstand mit Herrn Geissler weiter verfolgen, und ich möchte stattdessen untersuchen, in welchem Verhältnis der resultierende Magnetismus zu demjenigen stehe, der in einem magnetischen Körper durch verschiedenen starke erregende Kräfte hervorgebracht werden könne. [Meyer 1857]

Auch der Umstand, dass Meyer seine Arbeit in Marburg einreichte, deutet in diese Richtung. Wir wissen nicht, ob Plücker zum angekündigten Thema tatsächlich gearbeitet hat; auch nicht, ob das von Meyer erwähnte „neue Instrument“ mit jenem Barometer identisch ist, welches Geißler am 22. September 1857 der Naturforscherversammlung vorstellte (siehe oben). Meyer fasste seine Verärgerung über das unterbundene Thema einerseits und das aufgedrängte Thema andererseits in eine kaum verdeckte inhaltliche Kritik:

Die Bestimmungen sollten gemacht werden mittelst der Methode der Abwägungen, deren sich Plücker bekanntlich bei vielen seiner magnetischen Untersuchungen bedient hat und noch fortwährend bedient.¹⁷ ... Im Verlaufe der weiteren Entwicklungen wird sich zeigen, dass ich,

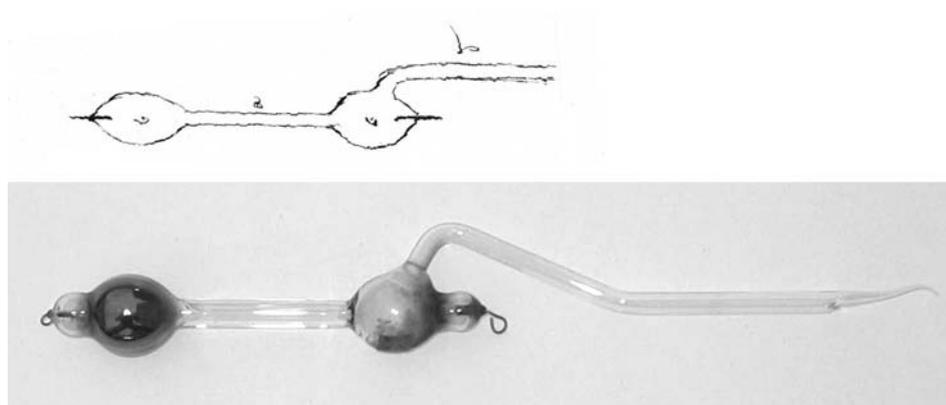


Abb. 5. Spektralröhre (wahrscheinlich) nach einer Handskizze Hittorfs für [Plücker; Hittorf 1864] (Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Handschriftenabteilung, Nachlass Plücker 2: A8) im Vergleich zu einer Spektralröhre aus Geißlers Werkstatt (Geißlerhaus Neuhaus a. Rwg.; Schenkung der Universität Bonn, Physikalisches Institut). Der Niederschlag im Inneren der Letzteren weist auf intensiven Gebrauch hin.

um überhaupt brauchbare Resultate zu erlangen, den von Plücker angesprochenen Gedanken, dessen Ausführung, mit Ausnahme weniger Bestimmungen, späteren Zeiten vorbehalten bleibt, vorerst habe fallen lassen müssen. [Meyer 1857]

Raum für persönliche Kontroversen eröffneten diese wechselseitigen wissenschaftlichen Vorbehalte wohl nicht. Meyer hatte, als seine Dissertation gedruckt wurde, Bonn schon verlassen. Über eine wissenschaftliche Karriere ist nichts bekannt.¹⁸

Plücker ist unumstritten der Begründer der Spektralanalyse elektrisch angeregter Gase und gilt insofern auch als der Erfinder der Spektralröhre mit ihrer mittigen Verengung (Abb. 5). Bezüglich des letztgenannten Aspektes bedürfen die Darstellungen der Laudatoren und Biografen – [Ernst 1933], [Clebsch 1871] siehe oben; [Eichhorn 1995, S. 222] – einer Kommentierung. Plücker schrieb in seiner die Spektroskopie begründenden Arbeit [Plücker 1859], dass er „die Geißler’sche Röhre mit ihrem engen Theile“ vor den Spalt der Spektralapparatur aufgestellt habe. Von einer speziellen Konstruktion der Röhre nach eigenen Überlegungen und Vorgaben ist aber keine Rede. Vielmehr finden wir das konstruktive Grundmuster – aufgeweitete Elektrodeneinschmelzungen und verengtes Mittelteil – schon in Geißlers Vakuumapparatur von 1857 (Abb. 3 u. 4). Auch Geißlers schon zeitig und mit deutlichem Prioritätsanspruch geäußertes Bemühen, die Art der angeregten Gase an Hand der Leuchterscheinungen bestimmen zu wollen – siehe die o. g. Bemerkungen gegenüber von Liebig – korrespondiert mit der besseren Farbwahrnehmung im verengten Mittelteil der Röhre. Was das Einbringen unterschiedlicher Gase betrifft, so bekundete Plücker in seiner ersten großen Arbeit zur Gasentladungsforschung [Plücker 1858], dass er nach ersten mit verdünnter Luft und Quecksilberdampf beladenen Röhren solche mit dem Dampf ätherischen Öls, Phosphor und Wasserstoff in Auftrag gegeben habe. Dabei berief er sich auf „frühere“ Vorgänge, offensichtlich auf

Ich habe hier in Bonn schon verschiedene Male mit Herrn Professor Plücker wissenschaftliche Arbeiten unternommen und diesen viele Zeit geopfert, aber ich habe nie etwas anderes davon gehabt als daß Plücker in seinen Mittheilungen später sagte ich hätte ihm hülfreiche Hand dabei geleistet, während ich doch alles was Experimentiren anging, gethan habe. [Geißler 1858]

Abb. 6. Faksimile (Ausschnitt) eines Briefes Geißlers an J. von Liebig v. 2. Febr. 1858 [Geißler 1858]. (Bayrische Staatsbibliothek Abt. Handschriften und Seltene Drucke)

die Experimente von Faraday und Van der Willigen (siehe [Van der Willigen 1856]). Die weitere Darstellung mit durchaus kritischem Unterton lässt anklagen, dass ihm diese Entwicklung zwischenzeitlich außer Kontrolle geraten war.

Aber Herr Geißler hat seitdem manche andere, einfache und zusammengesetzte, Gase versucht und zugleich die Form der Röhren mannigfach abgeändert. In den meisten Fällen ist es bis jetzt schwer mit Bestimmtheit anzugeben, was für Gase die Geißler'schen Röhren enthalten. [Plücker 1858, 103, S. 89]

Auf der Tafel mit 21 Abbildungen, die der Arbeit beigegeben war, findet sich noch kein Hinweis auf die später [Plücker 1859] so erfolgreich genutzte mittige Verengung der Röhren.

Die durch die o. a. Zitate beschriebene Situation war ganz offensichtlich der etwas ungeduldige Ausfluss aus den mit dem neuen Pumpsystem geschaffenen Möglichkeiten. Auch in dieser Hinsicht wird sichtbar, dass das übliche Schema – hier der systematisch vorgehende und weit blickende Wissenschaftler als Auftraggeber, dort der über alle Maßen geschickte und genau arbeitende Instrumentenbauer als Auftragnehmer – zu eng gefasst ist. Die Wechselwirkungen zwischen beiden waren komplexer; wir finden Geißler häufig in der Rolle des Anregenden, Treibenden und des Partners – mit allen Irrungen und Wirrungen, die eine solche Konstellation mit sich bringt. Das war auch Geißlers damaliges Empfinden. Im schon oben zitierten Brief an Justus von Liebig (Abb. 6) schrieb er:

Ich habe hier (in) Bonn schon verschiedene Male mit Herrn Professor Plücker wissenschaftliche Arbeiten unternommen und diesen viele Zeit geopfert, aber ich habe nie etwas anderes davon gehabt als daß Plücker in seinen Mittheilungen später sagte ich hätte ihm hülfreiche Hand dabei geleistet, während ich doch alles was Experimentiren anging, gethan habe. [Geißler 1858]

Vorher hatte Geißler angemerkt, dass er, wenn sich das nur einigermaßen mit seinen Verhältnissen vereinbaren ließe, gern von Bonn nach München ginge.¹⁹ Man beachte, dass Geißler weder hier noch anderswo die Kompetenz seiner Partner in Frage stellte. Es ging ihm lediglich darum, dass, wenn immer eine experimentelle Tätigkeit das Attribut „wissenschaftlich“ verdient, dieses auch seiner Tätigkeit zukommt. Der Mathematiker Plücker wusste Geißlers Arbeit wohl zu schätzen. Aber er hatte zu der hier in Rede stehenden Zeit noch nicht selbst erfahren, dass der neue Forschungsgegenstand mit einem vorwiegend am axiomatischen Vorgehen geschulerten Arbeiten nicht zu erschließen war. Wohl deshalb war seine damalige Auffassung vom wissenschaftlichen Arbeiten noch eng gefasst.²⁰ Wir dürfen aber davon ausgehen, dass die gegenseitige Wertschätzung die geschilderten Irritationen überstand und sich festigte. Jedenfalls ist die Ehrenpromotion Geißlers durch die Philosophische Fakultät der Friedrich Wilhelms Universität Bonn im Jahre 1868 ohne oder gegen ein Zutun Plückers undenkbar.

Die von Plücker wahrgenommenen Konflikte lagen auf anderer Ebene: Auch wenn kein Prioritätenstreit ausgetragen wurde, so empfand Plücker doch seine spektroskopischen Anregungen und Untersuchungen im Gefolge der Arbeiten und Erfolge von Robert Wilhelm Bunsen (1811–1899) und Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) als zu wenig beachtet. Hittorf meinte später [Hittorf 1899], Plücker habe anlässlich eines Besuches in Heidelberg Bunsen zu seiner und Kirchhoffs berühmten Arbeit [Kirchhoff, Bunsen 1860], zumindest aber zu der für den Erfolg entscheidenden Verwendung eines Prismas an Stelle farbiger Filtergläser bei Bunsens flammenspektroskopischen Untersuchungen angeregt. Aber das ist eine subjektive und wohl wegen des historischen Abstandes auch ungenaue Sicht. Kirchhoff musste zu der in Frage stehenden Zeit nicht auf die Verwendung eines Prismas aufmerksam gemacht werden [Kirchhoff 1863], ebenso wenig wie auch andere Physiker (siehe z. B. ¹⁵ und die Arbeit [Esselbach 1856]). Auch bei seinen mathematischen Arbeiten sah sich Plücker mangelnder Akzeptanz und sogar Behinderungen ausgesetzt [Eccarius 1980].²¹ Dass seine und auch Hittorfs Leistungen unter dem Eindruck der publizistischen Wirkung von Crookes' späteren Arbeiten zur Gasentladungsforschung [Crookes 1879] vorübergehend in den Hintergrund gerieten, musste er nicht mehr erleben. Aber die historische Wahrnehmung folgt anderen Gesetzen. Während heute in allen von Plücker langjährig und systematisch bearbeiteten Feldern überwiegend die Fortsetzer zitiert werden, gilt er mit und – wie hier zu zeigen war – auch wegen Geißler als Initiator eines sowohl wissenschaftlich als auch technologisch fruchtbaren Zeitalters.

Dank

Schon bei früheren Überlegungen zu physik- und technikhistorischen Problemen hatten wir Veranlassung, uns mit den Pionieren der Gasentladungsphysik und unausweichlich auch mit der Leistung und Nachwirkung des Technikers Heinrich Geißler auseinander zu setzen (siehe u. a. [Dörfel 2003a], [Dörfel 2003b], [Dörfel, Müller 2003], [Müller 2004]). Hilfe erfuhren wir dabei von vielen Kollegen und Institutionen. Die Wertung der Spätfolgen verstärkte die Frage nach den Anfängen. Herr Prof. Dr. Karlheinz Althoff vom Physikalischen Institut der Friedrich Wilhelms Universität Bonn eröffnete uns Zugang zu frühen Gasentladungsröhren aus der Geißlerschen Werk-

statt. Frau Dr. Schipper und Frau Dr. von Moisy, Bayrische Staatsbibliothek München, und Frau Mund, Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, ermöglichten die Auswertung und Wiedergabe seltener Texte, Autografen und Skizzen. Frau Prof. Dr. Auerbach, Hessisches Staatsarchiv Marburg, machte uns die Promotionsakte Theodor Meyers zugänglich. Eine starke Anregung, die Abläufe in der hier geschilderten historisch kurzen Phase zu analysieren, empfingen wir durch die fundierte Geißler-Biografie Karl Eichhorns [Eichhorn 1995]. Den Herren Dr. habil. Klaus Hentschel, Bern, Prof. Dr. Klaus Hübner, Heidelberg, Dr. habil. Hermann Mai, Dresden, und Dr. Ernst Wehreter, Berlin, verdanken wir manche kritische Anregung und hilfreiche Diskussion zu physikalischen und wissenschaftshistorischen Fragen. Allen Unterstützer(inne)n, den genannten und den namentlich nicht aufgeführten, danken wir herzlich.

Anmerkungen

- 1 Johann Wilhelm Hittorf, der nach ziemlich breit angelegten naturwissenschaftlichen Studien 1846 bei Plücker mit einer Arbeit über Kegelschnitte promoviert hatte, ging 1847 nach Münster. Zunächst wirkte er als Privatdozent, später als Professor. Bevor er sich Anfang der sechziger Jahre unter dem Einfluss Plückers der Gasentladungsphysik zuwandte – erste Ergebnisse publizierte er in [Hittorf; Plücker 1865] –, hatte er schon viel beachtete Arbeiten zur physikalischen Chemie veröffentlicht. Bezüglich einer ausführlichen Würdigung der Arbeiten Hittorfs zur Gasentladung, seiner Arbeitsweise und des Umfeldes sei auf [Müller 2004] verwiesen. In diese Arbeit sind auch frühe biografische Würdigungen ([Heydweiller 1915], [Schmidt 1930]) eingegangen.
- 2 Ein Funkeninduktor – nach damaligem Sprachgebrauch ein „Ruhmkorff“ – ist durchaus mit der klassischen Zündspule im Verbrennungsmotor vergleichbar. Eine im niederohmigen Primärstromkreis herbeigeführte Stromunterbrechung induziert wegen der hohen Änderungsgeschwindigkeit des Stromes in einer mit sehr viel mehr Windungen ausgestatteten und magnetisch angekoppelten Sekundärspule einen sehr hohen Spannungsimpuls. Die Leistung Ruhmkorffs bestand in der technologischen Beherrschung dieser hohen Spannung und – vor allen Dingen – in einer Bauweise, die die letztlich spannungsbegrenzenden Eigenkapazitäten minimierte. Eine Analyse des letztgenannten Gesichtspunktes gab Johann Christian Poggendorff (1796–1877) [Poggendorff 1855].
- 3 Das ist Hittorfs Sicht in seiner Zuarbeit für Clebsch [Clebsch 1871]. Hinsichtlich der Abläufe bzw. deren Wertung siehe [Ernst 1933] bzw. [Schubring 1989]. Die erwähnte Geringschätzung der Experimentierkunst Plückers schreibt Ernst dem Kurator der Universität Bonn zu. Aus einem in anderem Zusammenhang zitierten Schreiben ist zu schließen, dass ein Herr von Rehfues damals Kurator war. Plücker war sich dieses Urteils bewusst und litt darunter. Er nahm aber erst seinen mit den Entdeckungen zum magnetischen Verhalten kristalliner Körper aus dem Jahre 1847 gestiegenen Bekanntheitsgrad als Physiker zum Anlass, auf die in Aussicht gestellte bessere Bezahlung zu drängen [Ernst 1933, S. 45]. Wegen der kriegsbedingten Verluste von Universitätsakten sind wir hier und bei vergleichbaren Einschätzungen i. d. Regel auf frühe Sekundärliteratur angewiesen.
- 4 Insbesondere zur letztgenannten Kollaboration siehe [Müller 2004, S. 136 ff.], [Gay 1996] und [Dörfel; Müller 2003].
- 5 Heinrich Geißler, im thüringischen Igelshieb (heute zu Neuhaus a. Rwg.) aufgewachsen und von Kind an mit der Glasbläserei vertraut, wurde schon zeitig auf die Bedeutung des Glasapparatebaus im Umfeld wissenschaftlicher Einrichtungen aufmerksam. Er unternahm mehrere Geschäfts- und Studienreisen – Aufenthalte in München, Bonn und Den Haag sind belegt –, ließ sich um 1850 in Bonn nieder und wurde durch eine Vielzahl technischer Erfindungen und technologischer Entwicklungen bekannt. (Bezüglich der biografischen und genealogischen

Daten und der Würdigung seiner Arbeiten sei auf die Arbeiten von Karl Eichhorn [Eichhorn 1995], [Eichhorn 1984] verwiesen.) Die konzeptionelle und handwerkliche Perfektionierung seiner Instrumente im Sinne von Reproduzierbarkeit der ihnen zu Grunde liegenden Effekte unabhängig von Ort, Zeit und Exemplar begründeten seine wissenschaftsgeschichtliche Ausnahmestellung. Damit und über seine bzw. seines Nachfolgers zeitweiligen Mitarbeiter – sie kamen wie auch sein Nachfolger aus der alten Heimat – begründete er gewissermaßen eine Schule, deren Glieder an vielen Entdeckungen der Folgejahre und deren Ausgestaltung beteiligt waren. (Dazu siehe u. a. [Dörfel, Müller 2003], [Dörfel 2003a,b].)

Hingewiesen sei auf Umstände, die in der biografischen Literatur zu unterschiedlichen und scheinbar widersprüchlichen Angaben führten: Im Geburtsjahr Geißlers war Igelshieb dem Herzog zu Sachsen-Coburg untertan. Zur Zeit seiner Abwanderung gehörte Igelshieb zu Sachsen-Meiningen-Saalfeld. Diese Umordnung der Ernestinischen Herzogtümer (1826) wurde durch das Aussterben derer zu Sachsen-Gotha veranlasst. Kirchlich und schulisch war Igelshieb mit Lauscha (bis 1826 zu Coburg, danach zu Meiningen-Saalfeld), zeitweilig aber auch mit Neuhaus im Fürstentum Schwarzburg-Rudolstadt verbunden. So vielfältig die Anbindungen von Igelshieb, so unterschiedlich finden sich Angaben zu Geißlers Herkunft.

- 6 Im Idealfall herrscht oberhalb der Säule eines Quecksilberbarometers der Dampfdruck des Quecksilbers, also ca. 10^{-3} Torr (0,13 Pa) bei Zimmertemperatur („Torricellisches Vakuum“). Dieser wird aber nur erreicht, wenn das Quecksilber sauber destilliert und das Barometergefäß durch Auskochen und Überhitzung gereinigt ist. Möglicherweise ist auch diese Einsicht Geißler zuzuschreiben. Jedenfalls wies schon Meyer bei seiner Beschreibung der Geißlerschen Vakuumpumpe auf diese Prozedur hin, und zwar mit Verweis auf die bei (Quecksilber-) Barometern übliche (!) Vorgehensweise [Meyer 1858, S. 6]. Um die Kultivierung und wissenschaftliche Durchdringung dieser Technologien machte sich insbesondere Hittorf verdient.
- 7 Unter den Nachahmern der Experimente Michael Faradays (1791–1867) mit dem „elektrischen Ei“ war Antoine-Philbert Masson (1806–1860) der wohl der Erste, der den Stromdurchgang durch eine nach dem Barometerprinzip evakuierte schlanke Röhre untersuchte. Die zunächst aufgetretenen Schwierigkeiten bei der Zündung seiner 30 cm (!) langen Röhre überwand er mit dem gerade verfügbar gewordenen verbesserten Ruhmkorffschen Induktor. Von Schichtungen der Leuchterscheinungen berichtete er nicht [Masson 1853].
- 8 Das Phänomen der „Schichtung“ („Stratification“) des elektrischen Lichtes“ ist eine Erscheinung innerhalb der positiven Säule einer Gasentladung (also jenes ausgedehnten Gebietes der Entladungsstrecke abseits der Spannungsgefälle in Elektrodennähe). Unter von Gasart, Gasdruck, Stromstärke und Geometrie des Entladungsraumes abhängigen Umständen bilden sich periodisch wiederholende Raumladungsgebiete. Es handelt sich dabei gewissermaßen um eine visuelle Entsprechung des quantentheoretisch bedeutsamen Franck-Hertz-Versuches ([Franck; Hertz 1913], Nobelpreis 1925), wonach die Anregung von Gasatomen durch Elektronenstoß bei bestimmten diskreten Energien erfolgt. Bei diesen Energieniveaus wird der Elektronenstoß ein unelastischer; die Elektronen verlieren ihre kinetische Energie. Sie müssen nun eine gewisse Spannungsdifferenz, also eine gewisse weitere Strecke im Entladungsraum, durchlaufen, um hinreichende Energie zur erneuten Anregung zur Lichtemission zu erlangen usw. Die Abfolge von leuchtenden und dunklen Bereichen in der Entladungsröhre erinnert so an die Folge von Strom-Maxima und -Minima über der Anregungsspannung beim Franck-Hertz-Versuch. Schichtungen sind oft nicht wahrnehmbar, z.B. auch dann, wenn diese die Entladungsstrecke schnell durchlaufen. Das Phänomen der Schichtung ist eine in der Frühzeit der Gasentladungsphysik viel diskutierte und als charakteristisch angesehene Erscheinung, während es in der modernen Gasentladungsphysik und den darauf aufbauenden technischen Entladungsgefäßen, bei denen die positive Säule oft keine Rolle spielt und durch die Gefäßgeometrie unterdrückt wird, von geringerer Bedeutung ist. Die Akzentverschiebung mag auch dadurch bedingt sein, dass die Herausbildung von Schichtungen durch gewisse Beimengungen zum Trägergas begünstigt werden kann. (Dadurch wird die Ausbildung metastabiler Anregungszustände, welche die lokalen Leuchtgebiete verschmieren, beeinträchtigt.) Diese Beimengungen waren früher kaum vermeidbare Verunreinigungen der verwendeten Gase; heute müssen sie gezielt eingebracht werden. Eine erste umfangreiche, mit vielen Befunden unterlegte Beschreibung der Schichtung gab John P. Gassiot [Gassiot 1858, 1859]. Eine frühe moderne Deutung des Phä-

- nomens findet sich in [Compton u. a. 1924], eine Diskussion der Bedingungen, unter denen sich die Schichtung herausbildet, in [Bär 1927]; sehr detaillierte Untersuchungen und Interpretationen aus der Dresdener Schule sind in [Güntherschulze; Meinhardt 1938] zusammenfassend dargestellt.
- 9 In einigen Fortsetzungen (siehe [Plücker 1858]) erhöhte er die durchnummerierten Aussagen auf 117. Die Paragraphen 118 bis 214 sind seiner die Spektralanalyse begründenden Arbeit [Plücker 1859] zugeordnet.
 - 10 Die Hervorhebungen hier und im Folgenden wurden von den Autoren vorgenommen.
 - 11 Meyer betrieb ab Mitte 1857 seine Promotion in Marburg und seinen Weggang nach Berlin, wo er sich um eine Stelle am Königlichen Telegraphenamtwortungsbüro beworben hatte. Seinen Promotionsunterlagen hatte er neben Zeugnissen und der magnetischen Fragen gewidmeten Dissertation [Meyer 1857] auch ein Exemplar der o.g. Broschüre beigegeben. Da Meyer erst im November 1857 promoviert wurde, er lebte zu dieser Zeit schon in Berlin, konnte er sich weder der Naturforscherversammlung in Bonn noch seiner Prüfungskommission in Marburg als „Dr. W. H. Theodor Meyer“ – so im Deckblatt seines Buches – vorgestellt haben. Andererseits musste ihm daran gelegen sein, als promovierter Autor in die Fachliteratur einzugehen. Wir ziehen aus diesen Abläufen den Schluss, dass Meyer 1857 einen Vorabdruck seiner Broschüre vorlegte und die offizielle Drucklegung auf das Jahr 1858 verschob. Die Erarbeitung einer zweiten Broschüre zum gleichen Thema erscheint angesichts von Meyers Verpflichtungen in Bonn, Marburg und Berlin ausgeschlossen und würde auch im Widerspruch zu seinem Vorwort, signiert mit „Bonn, im September 1857“, stehen.
 - 12 Meyer sah die Schichtung durch „eine discontinuirliche Entladung“ verursacht, eine Begriffsbildung, die in seinem Kontext schwer zu interpretieren ist. Darunter verstand er ausdrücklich nicht die impulsförmige Anregung der Röhre durch den Funkeninduktor. (Schließlich führte er als Argument für seine Deutung auch das o. g. genannte Experiment der (durch einen Widerstand „verzögerten“) Anregung durch die Leydener Flasche einer Elektrisiermaschine an, wobei er Schichtungen beobachtet hatte. Dabei interpretierte er die „verzögerte“ Entladung nicht als eine Eigenschaft der Kondensator-Widerstand-Röhre-Kombination, sondern als eine spezifische Eigenschaft der Elektrisiermaschine, die, im Gegensatz zum Funkeninduktor, die „Röhre ... zu laden vermag.“) Es scheint, dass Meyer noch nicht von einem geschlossenen Stromkreis ausging, sondern das voneinander unabhängige Einleiten unterschiedlicher „Electricitäten“ annahm. Wahrscheinlich verstand er unter „discontinuirlich“ die von ihm wahrgenommene (selbstverständlich!) gegensätzliche Polarität der Elektroden der Entladungsröhre, die „jede für sich ... gewisse Mengen inducirter Electricitäten zur Ausgleichung veranlassen“ [Meyer 1858, S. 26]. Im Gegensatz dazu vertraten Plücker und Hittorf die Ansicht, es handle sich bei den Entladungen um ein elektrodynamisches und unter Umständen kontinuierlich verlaufendes Phänomen. Dominant blieb aber im deutschen Kontext eine elektrostatische Potentialtheorie, die die Leuchterscheinungen durch diskontinuierlich verlaufende Entladungsfunken erklären wollte [Müller 2004].
 - 13 Die Funktionsfähigkeit der Geißlerschen Pumpe war unmittelbar an die Funktionsfähigkeit der Hähne gebunden. Bei jedem Pumpzug betätigt – das gilt hier insbesondere für Hahn h – und damit extrem beansprucht, mussten sie ihre vakuumtechnische Qualität dauerhaft behalten. Auch diese wenig wahrgenommene Entwicklung ging auf Geißler zurück. Noch Mitte des 20. Jahrhunderts hießen eingeschliffene, vakuumtaugliche Hähne in Fachkreisen „Geißlersche Hähne“ [Woytacek 1932]. Zu den technologischen Leistungen Geißlers gehört auch die Perfektionierung der Metall-Glas-Verschmelzungen. Hierzu, aber auch bei anderen vakuumtechnischen Handhabungen, erfuhr Geißler einen bedeutsamen und auch geschäftlich wirksamen Erfahrungsrückfluss von Seiten Hittorfs – auch wenn sich die Zusammenarbeit aus Hittorfs Sicht nicht immer problemlos gestaltet hatte. Hittorfs Erfahrungsschatz erwuchs aus seiner sehr sorgfältigen und sauberen Arbeitsweise, aber auch aus der konsequenten Nutzung der Spektralanalyse als Frühindikator für glastechnisch oder technologisch bedingte Schädigungen der Vakuumröhren [Müller 2004], [Dörfel; Hübner; Landwehr 2003].
 - 14 Hittorf hat mit seiner „Umwegröhre“ gezeigt, dass bei sehr hoher Evakuierung die elektrische Entladung zwischen zwei in einem engen Entladungsrohr dicht gegenüber stehenden Elektroden kaum zündet, wohl aber in einem sehr viel längeren Umweg, sofern die Einschmelz-

- stelle der Elektroden hinreichend weit ist. Die nahe Wand beeinflusst die Energiebilanz der die Entladung einleitenden oder tragenden Ladungsträger. Folgerichtig musste die Umgebung der Elektroden aufgeblasen werden [Hittorf 1869], [Dörfel; Linschmann 2003], [Müller 2004].
- 15 Damit und mit anderen Bemerkungen Geißlers gegenüber von Liebig korrespondiert auch eine Bemerkung Gassiot's. In einem zwischen Anfang Januar und Anfang März 1858 formulierten Anhang zum ersten Teil seiner Bakerian Lecture [Gassiot 1858] berichtete er, dass er auf Geißlers Röhren aufmerksam gemacht worden sei, und darauf, dass eine Menge über Geißlers Experimente mit dem Ruhmkorff in Deutschland publiziert worden sei. Die Röhren, die sich Gassiot daraufhin beschaffte, erregten wegen ihrer kunstvollen Formen und wegen der schönen geschichteten Leuchterscheinungen seine Bewunderung. Aber gerade die Komplexität ihrer Form mache sie für eine sorgfältige Untersuchung des Phänomens ungeeignet, meinte er. Er kenne die Beschreibung der Experimente Geißlers nicht, nehme aber an, dass diese Röhren für einen anderen als den von ihm verfolgten Zweck konstruiert worden seien und verwies auf seine eigenen Röhren von einfacher, für den genannten Zweck besser geeigneten Form. Interessant an Gassiot's Bemerkung ist auch, dass sein Informant („Dr. Esselbach of Bonn“) wohl ganz selbstverständlich davon ausging, dass bei den in Bonn beschriebenen Experimenten Geißler nicht nur als Lieferant der Röhren, sondern auch als Experimentator eine Rolle spielte. Dieser Informant war wahrscheinlich Ernst Esselbach (1832–1864), Schüler von Wilhelm Weber (1804–1891) und Hermann von Helmholtz (1821–1894), ab 1858 als Mitarbeiter von Siemens & Halske in Berlin und London. Esselbach hatte unter Helmholtz' Anleitung in Königsberg eine spektraloptische Arbeit angefertigt [Esselbach 1856]. Seine Anwesenheit in Bonn könnte mit der Erarbeitung einer gemeinsamen Vorabinformation zusammenhängen, die Helmholtz – dieser hatte 1855 eine Professur für Anatomie und Physiologie in Bonn angetreten – für die Berliner Akademie mit einem Zusatz versehen hatte [Esselbach; Helmholtz 1855]. Diese zeitlichen Abläufe legen den Schluss nahe, dass sich Gassiot's Bemerkungen auf Geißlers frühe formenreiche Röhren bezogen und nicht auf die späteren Spektralröhren. Bemerkenswert für die hier geschilderte Situation ist, dass für Helmholtz' Bonner Jahre keine Kooperationen mit Plücker bekannt wurden [Rechenberg 1995].
 - 16 Erinnert sei an Philipp Lenards (1862 – 1947) spätere Bemerkungen, die sich auf den Stand der 80er Jahre beziehen. Man sähe in G. Wiedemanns „Lehre von der Elektrizität“ [Wiedemann 1885] auf fast 500 Druckseiten viele Theorien über das „Elektrische Verhalten der Gase“, „die einander teilweise bis zur gegenseitigen Ausschließung widersprechen, was ... den trostlosen Eindruck hinterlässt, daß man hier wohl viel sich bemüht habe, aber im Endresultat doch nicht mehr wisse, als in ganz wenigen Worten zu sagen wäre“. Diese Betrachtung ist der 2. Auflage des Abdruckes seiner Nobel-Vorlesung beigegeben [Lenard 1920, S. 73].
 - 17 Plücker nutzte für seine magnetischen Messungen eine der (unmagnetischen!) Waagen, „die in neuester Zeit Hr. Geis(s)ler hierselbst aus Glasröhren anfertigt ... Sie enthielt außer der feinen Schneide ... kein Eisen und überhaupt kein Metall ... , wobei sie für 0,0001 Gr. einen sehr merklichen Ausschlag gab“ [Plücker 1851]. In einer Fußnote verwies Plücker auf aktuelle Bemühungen Geißlers, noch größere Empfindlichkeiten zu erreichen.
 - 18 W. H. Theodor Meyer wird in Poggendorffs biografischem Handwörterbuch im Gegensatz zu Plücker, Hittorf, Geißler u. a. Wissenschaftlern seines Umfeldes nicht erwähnt, weder in der ersten Auflage [Poggendorff 1863] noch in den nachfolgenden erweiterten und bis heute (von der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig herausgegebenen) aktualisierten Auflagen und Ergänzungen noch in anderen biografischen Nachschlagewerken. Außer der hier im Mittelpunkt stehenden Schrift [Meyer 1858] und seiner Dissertation [Meyer 1857] sind auch keine anderen Publikationen nachweisbar. Ausführlichere biografische Daten, so weit sie im Rahmen dieser Untersuchungen ermittelt werden konnten, müssen einer eigenständigen Notiz vorbehalten bleiben [G. Dörfel: „Wilhelm Theodor Meyer, Geißlers Partner und Plückers Kontrahent – eine biografische Skizze“, in Vorbereitung]. Erwähnt sei lediglich, dass die Angabe, Meyer habe bis 1864 an der Universität Bonn gearbeitet [Eichhorn 1995], so nicht bestätigt werden kann.
 - 19 Justus von Liebig hatte in einem Brief v. 12. Juli 1857, in dem er sich für die Lieferung von Thermometern bedankte und eine Rechnung über 11 Taler beglich, anerkennend bemerkt, dass er Geißler gern in München hätte [Geißler 1858].

- 20 Die axiomatische Arbeitsweise Plückers war zumindest für seine Arbeiten zur projektiven Geometrie bestimmend. Auch seine kristallphysikalischen Arbeiten verleugnen den Mathematiker nicht. Es ist davon auszugehen, dass sein notgedrungen rein phänomenologischer und manchmal spekulativer Umgang mit den Sachverhalten der Gasentladungsphysik, welcher manche Unsicherheiten und Unstetigkeiten einschloss, aus eigener Sicht nur eine Übergangsphase war – sowohl für den Forschungsgegenstand als auch für seinen eigenen wissenschaftlichen Weg.
- 21 Bezüglich einer umfassenderen Darstellung siehe [Müller 2004, S. 20, S. 42 ff.].

Literatur

- Amtlicher Bericht über die 33. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Bonn im September 1857*, S. 160–177.
- Bär, R(ichard): „Die Glimmentladung“. In: *Elektrizitätsbewegung in Gasen; Handbuch der Physik Bd. 14*, hrsg. v. W(ilhelm). Westphal, Verlag von Julius Springer: Berlin 1927, S. 171–307.
- Clebsch, Alfred: „Zum Gedächtnis an Julius Plücker“; Gelesen in der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften den 2. December 1871. *Abhandlungen der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen* 16 (1871), S. 1–40.
- Compton, K(arl) T(aylor); Turner, L(ouis) A(lexander); McCurdy, W(illiam) H(arold): „Theory and Experiments relating to the Striated Glow Discharge in Mercury Vapor“. *Physical Review, Second Series*, 24 (1924), S. 597–615.
- Crookes, William: *Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand*. (Nach einem Vortrag v. 22. August 1879 in Sheffield.) Quandt & Händel: Leipzig 1879.
- Dörfel, Günter (a): „Robert Goetze – Wirken und Wirkung eines Thüringer Glastechnikers“. *Rudolstädter Heimathefte* 49 (2003) H. 3/4, S. 79–85, H. 5/6, S. 150–155.
- Dörfel, Günter (b): „Louis Müller-Unkel (1853–1938) – Glastechniker in Braunschweig“. *Braunschweigisches Landesmuseum, Informationen und Berichte* 1 / 2003, S. 3–25.
- Dörfel, Günter; Müller, Falk: „Crookes' Radiometer und Geißlers Lichtmühle – Kooperation oder Konkurrenz?“. *Internationale Zeitschrift für Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften, Technik und Medizin N. S.* 11 (2003) H. 3, S. 171–190.
- Dörfel, Günter; Linschmann, Wolfgang: „Über eine modifizierte Hittorf'sche Umwegröhre“. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 52 (2003) H. 7, 37–39.
- Dörfel, Günter; Hübner, Klaus; Landwehr, Gottfried: *Hittorfsche Vakuumröhren für Röntgen – Zum 150. Geburtstag des Glasbläfers Louis Müller-Unkel*. ERS-Verlag: Berlin und Lichtenwalde 2003.
- Eccarius, W(olfgang): „Der Gegensatz zwischen Julius Plücker und Jakob Steiner im Lichte ihrer Beziehungen zu August Leopold Crelle, Hintergründe eines wissenschaftlichen Meinungsstreites“. *Annals of Sciences* 37 (1980) 2, S. 189–213.
- Eichhorn, Karl: „Heinrich Geißler – Leben und Werk eines Pioniers der Vakuumtechnik“. *Schriftenreihe Deutsches Röntgen-Museum* Nr. 6, März 1984.
- Eichhorn, Karl: „Heinrich Geißler (1814–1879) – Leben und Werk des thüringischen Glasinstrumentenbauers und Pioniers der Vakuumtechnik“. *Jahrbuch 1995 des Hennebergisch-Fränkischen Geschichtsvereins* (Bd. 10), S. 207–233.
- Ernst, Wilhelm: *Julius Plücker – Eine zusammenfassende Darstellung seines Lebens und Wirkens als Mathematiker und Physiker auf Grund unveröffentlichter Briefe und Urkunden*. Inaugural-Dissertation, Philosophische Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn: Bonn 1933.
- Esselbach, Ernst: „Eine Wellenmessung im Spectrum jenseits des Violetts“. *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* 98 (1856), S. 513–546, Tafel V, Fig. 1–7.
Die der Berliner Akademie vorgelegte Vorabmitteilung, ergänzt durch einen Zusatz von H. Helmholtz, erschien in *Monatsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 1855, S. 757–761 („Gesamtsitzung v. 6. Decbr. 1855“).
- Franck, J(ames) Hertz, G(ustav): „Über Zusammenstöße zwischen Gasmolekülen und langsamen Elektronen.“ *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 15 (1913), S. 373–390.
- Gassiot, John P(eter): „On the Stratification and the Dark Band in Electrical Discharges as obser-

- ved in Torricellian Vacua – The Bakerian Lecture”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 148 (1858), S. 1–17 u. Plate I, Fig. 2–12 und 149 (1859), S. 137–160.
- Gay, Hannah: „Invisible Resources: William Crookes and his circle of support, 1871–1881“. *British Journal for the History of Science* 29 (1996), S. 311–336.
- Geißler, Heinrich: Brief v. 02.02.1858 an Justus von Liebig; Bayrische Staatsbibliothek München, Liebigiana, IIB, Geißler, H..
- Güntherschulze, A(dolf); Meinhardt, H(einz): „Die geschichtete positive Säule“. *Zeitschrift für Physik* 110 (1938), S. 95–117.
- Heydweiller, A(dolf): „Johann Wilhelm Hittorf“. *Physikalische Zeitschrift* 9/10 (1915), S. 161–179.
- Hittorf, W(ilhelm); Plücker, J(ulius): „On the Spectra of Ignited Gases and Vapours with Especial Regard to the Different Spectra of the Same Elementary Gaseous Substance“. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 155 (1865), S. 1–30.
Aus Anlass des 80. Geburtstages Hittorfs von A. Heydweiller mit Unterstützung von mehr als 300 Personen und Institutionen als Neudruck herausgegeben bei Johann Ambrosius Barth: Leipzig 1904.
- Hittorf, Wilhelm: „Ueber die Electricitätsleitung der Gase; Vierte Mitteilung“. *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* 136 (1869), S. 1–31 u. S. 197–234 sowie Tafeln I u. II.
- Hittorf, Wilhelm: Brief an Kayser v. 14.11.1899; Staatsbibliothek Berlin Preußischer Kulturbesitz, Sammlung Darmstaedter, F1e1869(3).
- Hofmann, August Wilhelm von: Nachruf auf Heinrich Geißler (ohne Titel) unter „Sitzung vom 27. Januar 1879“. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* 12 (1879), S. 147–148.
- Kirchhoff, Gustav; Bunsen, Robert : „Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen“. *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* 110 (1860), S. 161–189, Tafel V u. Tafel VI, Fig. 1.
- Kirchhoff, Gustav: „Zur Geschichte der Spectral-Analyse und der Analyse der Sonnenatmosphäre“. *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* 118 (1863), S. 94–111.
- Kölnische Zeitung Nr. 201, 1857; Mittwoch, 22. Juli; Beilage. („Niederrheinische Gesellschaft für Natur- und Heilkunde zu Bonn“.)
- Lenard, P(hilipp): *Über Kathodenstrahlen. Nobel-Vortrag gehalten in öffentlicher Sitzung der Königl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften zu Stockholm* (am 28. Mai 1906). Zweite, durch viele Zusätze vermehrte Auflage. Vereinigung wissenschaftlicher Verleger, Walter de Gruyter & Co.: Berlin und Leipzig 1920. (1. Auflage bei Johann Ambrosius Barth: Leipzig 1906.)
- Masson, A(ntoine-Philibert): „Note sur la lumière électrique“. *Comptes rendus hebdomadaires des seances d l'Academie des sciences* 36 (1853), S. 255–256.
- Meyer, W(ilhelm) H. Theodor: *Bestimmungen über die Intensität des freien Magnetismus in künstlichen Magneten, nebst Untersuchungen über Coercitivkraft*; Inaugural-Dissertation mit Genehmigung der philosophischen Facultät zu Marburg. Marburg 1857.
- Meyer, W(ilhelm) H. Theodor: *Beobachtungen über das geschichtete elektrische Licht sowie über den merkwürdigen Einfluss des Magneten auf dasselbe nebst Anleitung zur experimentellen Darstellung der fraglichen Erscheinungen*. Verlag von Julius Springer: Berlin 1858.
- Müller, Falk: *Gasentladungsforschung im 19. Jahrhundert*. GNT-Verlag: Berlin und Diepolz 2004.
- Plücker, J(ulius): „Ueber das magnetische Verhalten der Gase“. *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* 83 (1851), S. 87–108.
- Plücker, J(ulius): „Studien über Thermometrie und verwandte Gegenstände von Plücker und Geißler“. *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* 86 (1852), S. 238–279.
- Plücker, J(ulius): „Ueber die Einwirkung des Magneten auf die elektrischen Entladungen in verdünnten Gasen“. *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* 103 (1858), S. 88–106, S. 151–157; weiter 104 (1858), S. 113–128, S. 622–630; 105 (1858), S. 67–84; 107 (1859), S. 77–113, Tafeln I–III.
- Plücker, J(ulius): „Ueber die Constitution der elektrischen Spectra der verschiedenen Gase und Dämpfe“. *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* 107 (1859), S. 497–539.
- Poggendorff, J(ohann) C(hristian): „Beitrag zur Kenntniß der Inductions-Apparate und deren Wirkung“. *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* 94 (1855), S. 289–333.
- Poggendorff, J(ohann) C(hristian): „Ueber die Schichtung des elektrischen Lichts (XIX. Notizen)“. *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* 99 (1856), S. 175–176.
- Poggendorff, J(ohann) C(hristian): *Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der*

- exacten Wissenschaften – enthaltend Nachweisungen über Lebensverhältnisse und Leistungen von Mathematikern, Astronomen, Physikern, Chemikern, Mineralogen, Geologen usw. aller Völker und Zeiten.* 2 Bde., Johann Ambrosius Barth: Leipzig 1863.
- Quet, (Jean Antoine): „Sur divers phénomènes électriques“. *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'Academie des sciences* 36 (1853), S. 1012–1015.
- Rechenberg, Helmut: *Hermann von Helmholtz – Bilder seines Lebens und Wirkens.* VCH Verlagsgesellschaft: Weinheim 1995.
- Schmidt, G(erhard) C(arl): „Wilhelm Hittorf“. *Westfälische Lebensbilder* 1 (1930), S. 127–148.
- Schubring, Gert: „The Rise and Decline of the Bonn Natural Science Seminar“. *Osiris* 5 (1989), S. 57–93.
- Sitzungsberichte der Niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde zu Bonn, S. LXXXVIII–XC. Verhandlungen des naturhist. Vereins d. preuss. Rheinlande u. Westfalens* 14 (1857).
- Van der Willigen, V(olkert) S(imon) M(arten): „Ueber das geschichtete Licht im elektrischen Ei“. *Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie* 98 (1856), S. 494–500 sowie Tafel III, Fig. 17.
- Wiedemann, G(ustav): *Lehre von der Elektrizität, Bd. 4.* Vieweg: Braunschweig 1885.
- Williams, L. Pearce: *The Selected Correspondence of Michael Faraday; Volume 2, 1849–1866.* University Press: Cambridge 1971.
- Woytacek, Carl: *Lehrbuch der Glasbläserei einschließlich der Anfertigung der Aräometer, Barometer, Thermometer, maßanalytischen Geräte, Vakuumröhren und Quecksilberluftpumpen.* Verlag von Julius Springer: Wien 1932.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. habil. Günter Dörfel
 Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden
 Postfach 27 01 16
 D-01171 Dresden
 E-mail: G.Doerfel@ifw-dresden.de

Dr. rer. nat. Falk Müller
 Historisches Seminar
 Arbeitsgruppe Wissenschaftsgeschichte
 Johann Wolfgang Goethe-Universität
 Grüneburgplatz 1
 D-60629 Frankfurt am Main
 E-mail: falk.mueller@em.uni-frankfurt.de