

## 4. *MATERIE UND STRAHLUNG*

Neben der Evolutionstheorie Charles Darwins gehört die empirische Neubegründung der Materievorstellungen und des Energiebegriffs zu den großen synthetischen Leistungen der Naturwissenschaften im 19. Jahrhundert. Kam die Frage nach den letzten Grundlagen der stofflichen Welt zunächst aus der Chemie und fand im chemischen Atomkonzept und später im Periodensystem ihre theoretische Fundierung, so entstand die Idee der Einheit und Umwandelbarkeit aller Naturkräfte zunächst im Kontext der spekulativen Naturphilosophie der deutschen Romantik, bevor die in unterschiedlichen Forschungsprogrammen von Physikern, Physiologen und Chemikern verfolgte Idee 1847 durch den Energieerhaltungssatz von Helmholtz zuerst in mathematisch-physikalisch klarer Form formuliert wurde und die Thermodynamik als neue Wissenschaft hervorbrachte. Im verwirrend vielfältigen und theoretisch zunächst schwer fassbaren Bereich der ‚Strahlung‘ verbanden sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts Materielehre und Energiephysik zu einem Forschungsfeld, aus dem mit der Wende zum 20. Jahrhundert die Atomphysik hervorging.

Für Heidelberg sind in diesem Zusammenhang vor allem die Arbeiten von Kirchhoff und Bunsen zum Spektrum des Sonnenlichts und den Emissionsspektren aus Flammenfärbungen zu nennen, die 1859 zur Spektralanalyse [→ 4.1.] und zu Kirchhoffs Formulierung eines allgemeinen Gesetzes für ideale Wärmestrahler führten; ferner die von Bunsen in Zusammenarbeit mit Roscoe durchgeführten Untersuchungen zur chemischen Wirkung von Licht [→ 4.2.], die die Autoren selbst in den Kontext der Erforschung kosmischer Energiebilanzen gestellt haben. Schließlich gehören in diesen Zusammenhang auch Kirchhoffs Arbeiten zu einer allgemeinen Theorie der Elastizität und sein Versuch, diese mit der mathematischen Beschreibung der Ausbreitung von Elektrizität zu einer gemeinsamen mechanischen Theorie zu verbinden. Diese drei Themen markieren die Blütezeit der Heidelberger Physik und Physikalischen Chemie im 19. Jahrhundert. In den Zeichnungen Veiths sind sie mit Blättern von wissenschaftshistorisch herausragender Bedeutung vertreten.

P.M. Harman, *Energy, Force, and Matter: The Conceptual Development of Nineteenth-Century Physics*, Cambridge 1982. – Christa Jungnickel u. Russell McCormmach, *Intellectual Mastery of Nature: Theoretical Physics from Ohm to Einstein*, Bd 1, Chicago 1986, 285–310. – Wolfgang U. Eckart, Klaus Hübner u. Christine Nawa, „Aufschwung der Naturwissenschaften: Bunsen, Kirchhoff und Helmholtz“, in: *Wissenschaftsatlas der Universität Heidelberg*, hrsg. von Peter Meusburger und Thomas Schuch, Knittlingen 2011, 96–100.

CM

### 4.1. *SPEKTRALANALYSE*

Die Spektralanalyse, d.h. die Anwendung spektroskopischer Methoden auf analytisch-chemische Fragestellungen war zweifellos das spektakulärste Ergebnis der Zusammenarbeit zwischen Forschern unterschiedlicher Disziplinen und des Methodentransfers über Fachgrenzen hinweg, wie er in Heidelberg seit den 1850er Jahren praktiziert wurde.

Erste systematische Untersuchungen über die spektrale Zusammensetzung des Lichts reichen bis auf Isaac Newton zurück. Doch meist war nicht das Spektrum selbst Analysegegenstand; vielmehr bildete das prismatisch zerlegte und damit monochromatische Licht ein Hilfsmittel für andere optische Versuche.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wiesen William Hyde Wollaston (1766–1828) und Joseph Fraunhofer (1757–1826) erstmals darauf hin, dass das Sonnenspektrum nicht kontinuierlich verläuft, sondern von dunklen Linien unterbrochen ist. Die Rezeption der nach ihrem Entdecker benannten ‚Fraunhoferschen Linien‘ war zunächst verhalten – nur wenige Forscher verfügten in dieser Zeit über so gute optische Apparaturen, dass Fraunhofers Beobachtung nachvollzogen werden konnte. Fraunhofer war es auch, der als erster einen Theodoliten umbaute, um damit das Sonnenspektrum untersuchen zu können – mit etwas gutem Willen kann man darin einen ersten Vorläufer des Bunsen-Kirchhoffschen Spektrometers erkennen. Allerdings richtete sich Fraunhofers Interesse modern gesprochen auf Absorptions-, Kirchhoffs und Bunsens Interesse jedoch vornehmlich auf Emissionsspektren – zwei Seiten einer Medaille.

Die Leistung Bunsens und Kirchhoffs, die ihnen weltweite Anerkennung sicherte, bestand darin, die Spektralanalyse wissenschaftlich zu fundieren, d.h. eine nachvollziehbare chemische Analysemethode zu entwickeln und diese theoretisch zu begründen. Das bedeutete im Wesentlichen, eine Erklärung für die Koinkidenz heller im Labor erzeugter Spektrallinien mit den dunklen Linien im Sonnenspektrum zu finden und eine plausible Erklärung für die lange Zeit für Verwirrung sorgende Dominanz der Natrium-D-Linie zu liefern.

Spektroskope dienen als Werkzeuge der chemischen Analyse. Da sich einzelnen Elementen charakteristische Spektrallinien zuweisen lassen, ermöglicht die Spektralanalyse einen qualitativen optischen Nachweis geringster Stoffmengen und ist ein Hilfsmittel bei der Entschlüsselung der Zusammensetzung chemischer Verbindungen. Darüber hinaus bietet sie die Möglichkeit der Entdeckung neuer Elemente; Bunsen beispielsweise fand durch sie die Elemente Cäsium und Rubidium. Letztlich ermöglichte sie die Bestimmung der Zusammensetzung der Fixsterne, was zu der Einsicht führte, dass diese – zumindest in Teilen – aus der gleichen Materie zusammengesetzt sind wie die Erde.

Die von Friedrich Veith angefertigten Zeichnungen von Spektralapparaten bieten einen interessanten Einblick in die Instrumentengeschichte: Sie zeigen, wie binnen kurzer Zeit auf den Prototyp [→ 4.1.1.] zunehmend ausdifferenzierte bzw. auf spezielle Bedürfnisse zugeschnittene Modelle folgten.

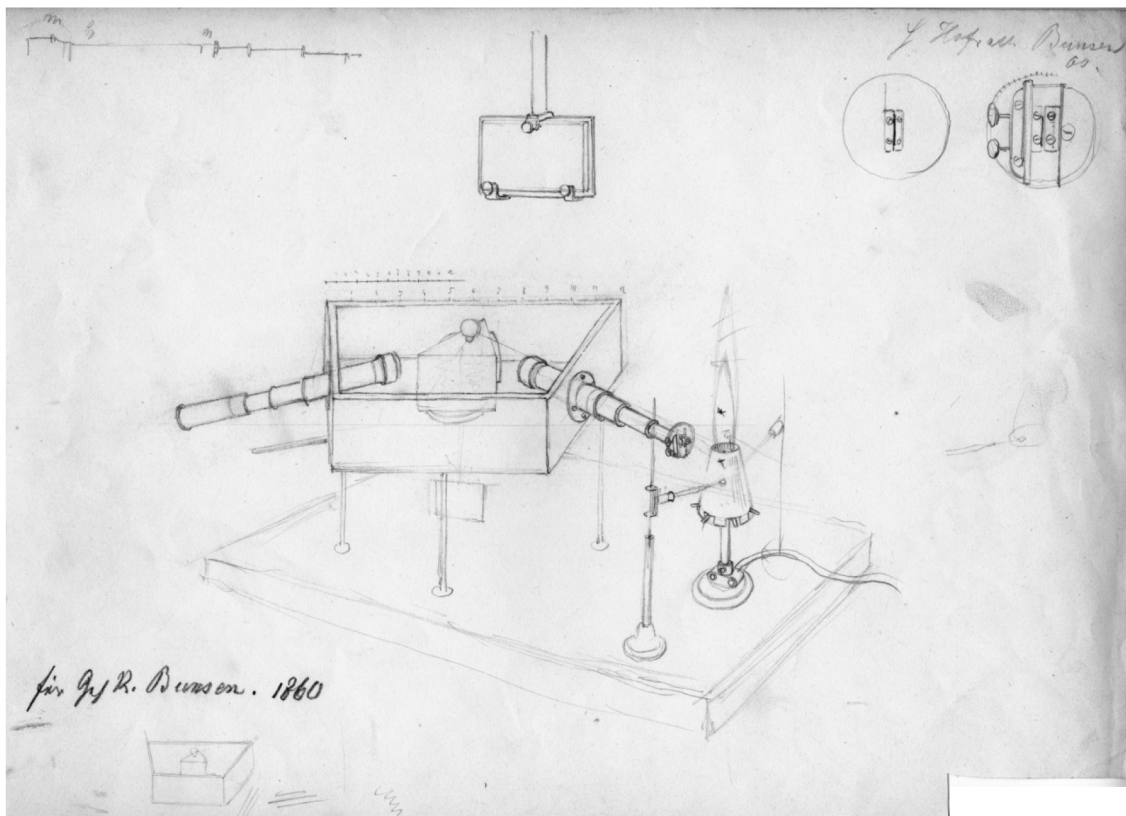
Jochen Hennig, *Der Spektralapparat Kirchhoffs und Bunsens*, München 2003. – Klaus Hentschel, *Zum Zusammenspiel von Instrument, Experiment und Theorie. Rotverschiebung im Sonnenspektrum und verwandte spektrale Verschiebungseffekte von 1880 bis 1960*, Hamburg 1998, Teil 1, 81–84, 96–106. – Klaus Danzer, *Robert W. Bunsen und Gustav R. Kirchhoff: Die Begründer der Spektralanalyse*, Leipzig 1972.

### 4.1.1. Erster Spektralapparat von Kirchhoff und Bunsen

[\*6] Bleistiftzeichnung, 21,3 x 31 cm, rechte untere Ecke beschnitten; bez.: f. Hofrath Bunsen [18]60 / für Geh. R. Bunsen 1860

Der erste Spektralapparat Bunsens und Kirchhoffs entstand in Eigenproduktion. In seiner Einfachheit und Zweckmäßigkeit, aber auch in seiner ein gewisses Experimentiergeschick voraussetzenden Handhabe, trägt er die Handschrift Bunsens, der zahlreiche Geräte dieser Art konstruierte. Die vorliegende Skizze ist eine Vorstudie zu der Abbildung in Bunsens und Kirchhoffs bahnbrechendem Aufsatz „Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen“.

Ins Auge fällt zuerst der trapezförmige, auf drei Beinen stehende Kasten. Er sollte, innen schwarz gestrichen, dazu dienen, Streulicht von der eigentlichen Apparatur fernzuhalten. Bei den späteren Spektralapparaten wurde er durch ein schwarzes, passgenau über das Instrument zu stülpendes Tuch ersetzt. Der Kasten hat aber auch noch eine zweite Funktion: Er hält das Beobachtungsfernrohr und den Kollimator, die in einem Winkel von  $58^\circ$  zueinander stehen. Beim rechten Fernrohr, dem Kollimator, ist das Okular entfernt und durch einen aus zwei Messingscheiden gebildeten Spalt ersetzt worden, der im Brennpunkt der Objektivlinse positioniert ist. Vor diesem Spalt steht ein Bunsenbrenner, in dessen Flammensaum mittels eines an einem Träger befestigten feinen Platindrahtes die zu untersuchende Probe eingebracht wird. Der Brenner, den Bunsen erst drei Jahre zuvor im Rahmen der „Photochemischen Untersuchungen“ [→ 4.2.] der Öffentlichkeit vorgestellt hatte, spielt eine zentrale Rolle für die Durchführung der spektralanalytischen Untersuchungen beider Forscher, liefert er doch eine verhältnismäßig ruhige „Flamme von sehr hoher Temperatur und sehr kleiner Leuchtkraft“.



Ein weiteres zentrales Element der Apparatur ist das zwischen den Objektiven der beiden Fernrohre angebrachte Hohlprisma, das für die erste publizierte Versuchsreihe mit Schwefelkohlenstoff gefüllt war, einer Flüssigkeit mit hoher optischer Dispersion. Das Prisma ruht auf einer drehbaren Messingplatte. Über einen an dieser befestigten Spiegel und eine nicht abgebildete Ablesevorrichtung, bestehend aus einem weiteren Fernrohr und einer Skala, wies man den beobachteten Spektrallinien eine bestimmte Position innerhalb des Sonnenspektrums zu, welches als Vergleichsstandard diente. In der Skizze von Veith finden sich zusätzliche Elemente, die in der Lithographie fehlen und auf den Entstehungsprozess der Zeichnung verweisen, wie z.B. der zweite Holzkasten in der unteren Ecke oder auch der angedeutete zweite Probenhalter neben dem Bunsenbrenner. Zudem sind einige Details konstruktiv hervorgehoben, die möglicherweise als Vorlage für einen Mechaniker gedient haben könnten, so der Spiegel samt Halterung und der mit zwei Stellschrauben regulierbare Spalt.

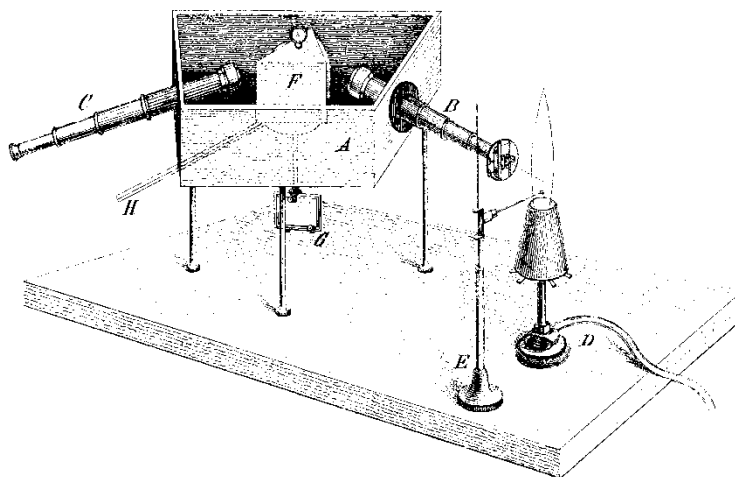
Mit diesem einfachen Prototyp, dessen erste veröffentlichte Abbildung in Poggendorffs *Annalen* etwas unglücklich an den Rand der Lithographie gequetscht wirkt, entwickelten

Bunsen und Kirchhoff die Methodik der Spektralanalyse am Beispiel einiger Alkali- und Erdalkalimetalle

(Natrium, Lithium, Kalium, Strontium, Calcium und Barium) – eine qualitative Nachweismethode von bisher ungekannter Präzision und Empfindlichkeit, der die Autoren bereits in der Erstpublikation das Potential zuschrieben, damit noch weitere, bis-

lang unbekannte Elemente zu entdecken. Darüber hinaus konnten die beiden Forscher die bis dahin nur theoretisch begründete Vermutung von Kirchhoff, dass die Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum den Absorptionslinien chemischer Elemente entsprechen, erstmals experimentell beweisen; damit leisteten sie einen bedeutenden Beitrag zur Astrophysik.

Robert Bunsen u. Gustav Kirchhoff, „Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen“, *Annalen der Physik und Chemie* 110 (1860), 161–189, Taf. VI, Fig. 1. – Robert Bunsen u. Henry Roscoe: „Photochemische Untersuchungen. Zweite Abhandlung. Maassbestimmung der chemischen Wirkungen des Lichts“, *Annalen der Physik und Chemie* 100 (1857), 43–89, sowie Tafeln I und II, 85. – Jochen Hennig, *Die frühen spektroskopischen Arbeiten von Bunsen und Kirchhoff: Experimentelle und historische Analyse mit der Replikationsmethode*, Dipl.-Arbeit, Fachbereich Physik der Universität Oldenburg, Oldenburg 2000.



Prototyp des Spektrometers, Lithographie, ca. 5 x 9 cm, bez.: A. Schütze in Stein gest.; aus: Robert Bunsen u. Gustav Kirchhoff, „Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen“, *Annalen der Physik und Chemie* 110 (1860), 161–189, Taf. VI, Fig. 1.

### 4.1.2. Spektralapparat nach Kirchhoff/Bunsen und Steinheil

[\*7] Bleistiftzeichnung, 20 x 25,9 cm; bez.: Hofrath Bunsen, April [18]61

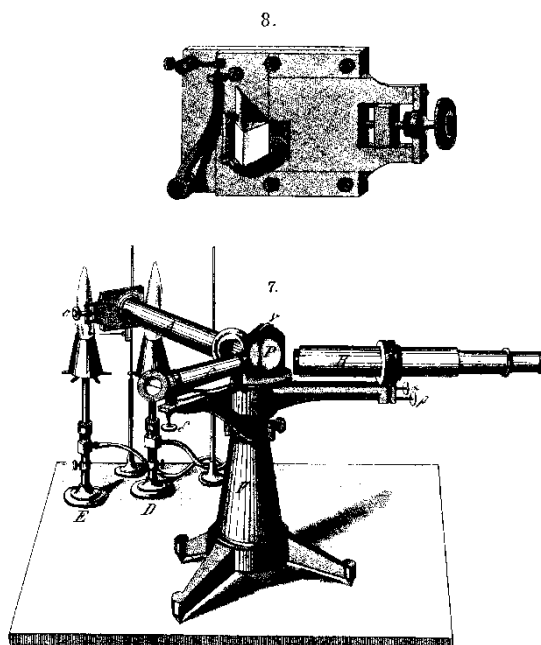
Endete der erste Teil von Bunsens und Kirchhoffs spektralanalytischen Untersuchungen noch mit der geheimnisvollen Andeutung, dass die beiden Forscher mit ihrem neuen Verfahren ein bisher unbekanntes Element innerhalb der Alkaligruppe entdeckt hätten, so wird dieses Element, Cäsium, samt einem weiteren, Rubidium, im zweiten Teil der Abhandlung detailliert vorgestellt.

Einer breiten Darlegung über die physikalischen und chemischen Eigenschaften der neuen Elemente bzw. ihrer Verbindungen folgt die Geschichte ihrer Sichtbarmachung und mit ihr die Vorstellung eines neuen Gerätes: eines Spektralapparats, der nach den Vorgaben Kirchhoffs und Bunsens von einem der renommiertesten Hersteller optischer Instrumente seiner Zeit angefertigt worden war: Carl August Steinheil in München.

Dieser neue Spektralapparat war nicht nur einfacher zu handhaben als der Prototyp [→ 4.1.1.] und erlaubte die Erzeugung hellerer und schärferer Bilder, sondern bot auch neue Funktionen: Zum einen verfügt er am Kollimator über einen regulierbaren Spalt mit Reflexionsprisma, der es ermöglicht, zwei Spektren direkt übereinander abzubilden und so miteinander zu vergleichen. Zum anderen erlaubt es der dritte, jetzt ebenfalls auf der Trägerplatte montierte Tubus, eine Millimeterskala in das Gesichtsfeld des Beobachters einzublenden. Beobachtungs- und Skalenfernrohr sind nicht mehr fest montiert, sondern um die Achse des Instrumentenfußes drehbar und bieten feine Justierungsmöglichkeiten. Weiterhin ist das ursprünglich verwendete Hohlprisma durch ein Flintglasprisma ersetzt, das durch eine Feder fixiert wird.

Beschränkten sich Bunsen und Kirchhoff im ersten Teil ihrer spektralanalytischen Untersuchungen noch darauf, die grundsätzliche Funktionsweise ihres Apparates zu schildern, so enthält die zweite Untersuchung detaillierte Anweisungen zur Handhabung – vielleicht ein Vorgriff darauf, dass dieser rasch Verbreitung finden sollte und bald nicht nur in Steinheils Sortiment, sondern auch in das zahlreicher anderer Instrumentenbauer aufgenommen wurde.

Die Vorlage zu den Abbildungen in der Publikation von 1861 lieferte wiederum der Heidelberger Universitätszeichenlehrer Friedrich Veith. Zu dem Aufsatz gehört allerdings noch eine Detaildarstellung des Spal-



Gustav Kirchhoff u. Robert Bunsen, „Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen: Zweite Abhandlung“, *Annalen der Physik und Chemie* 189 (1861), 337–381, Taf. III, Fig. 7 u. 8.

tes. Sie fehlt auf der vorliegenden Skizze, findet sich aber auf dem Blatt, das Kirchhoffs „Großen Lichtanalyseur“ zeigt [→ 4.1.4.]. Nicht auf der Lithographie, dafür aber in der Zeichnung ist hingegen die Flamme des Bunsenbrenners mit einem in die Flamme eingebrachten Probenstäbchen vergrößert herausgezeichnet.

Gustav Kirchhoff u. Robert Bunsen, „Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen: Zweite Abhandlung“, *Annalen der Physik und Chemie* 189 (1861), 337–381, Taf. III, Fig. 7 u. 8; Reprint in: Gustav Kirchhoff, *Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spektren der chemischen Elemente und weitere ergänzende Arbeiten*, hg. v. Hans Kangro, Osnabrück 1972. – Jochen Hennig, *Der Spektralapparat Kirchhoffs und Bunsens*, München 2003.

CN

### 4.1.3. Details des Spektralapparats

[\*8] Bleistiftzeichnung; 20,3 x 26,7 cm, bez.: Hofrath Bunsen, April [18]61

Die vorliegende Zeichnung zeigt Details des verbesserten Spektralapparats von Kirchhoff/Bunsen und Steinheil [→ 4.1.2.]. Wie die Vorzeichnung zu diesem ist auch dieses Blatt auf den April 1861 datiert.

Besonders hervorgehoben ist die Platte mit dem verstellbaren Spalt und dem vor dessen unterer Hälfte aufgesetzten Prisma. Durch Totalreflexion lenkt dieses die Strahlen einer rechts stehend zu denkenden Lichtquelle durch den Spalt, während die Strahlen der zweiten Lichtquelle frei durch dessen obere Hälfte hindurchgehen. Der Beobachter sieht die beiden Spektren dann direkt übereinander und kann die Lage der Linien miteinander vergleichen. Mit der Stellschraube rechts wird die Breite des Spalts reguliert, um Auflösung und Helligkeit zu optimieren.

Darunter sieht man einen Bunsenbrenner mit Aufsatz. Dieser „conische Schornstein“ sollte bewirken, „dass die Flamme vollkommen ruhig und ohne flackernde Bewegung brennt“.

Der rechts daneben abgebildete Träger hält einen sehr feinen, zu einem Ohr gebogenen Platindraht, mit dem die zu untersuchende Salzperle in den Saum der Gasflamme eingebracht wird.

Robert Bunsen u. Gustav Kirchhoff, „Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen“, *Annalen der Physik und Chemie* 110 (1860), 161–189, Taf. VI, Fig. 1. – Dies., „Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen: Zweite Abhandlung“, *Annalen der Physik und Chemie* 113 (1861), 337–381. – Robert Bunsen, *Flammenreactionen*, 2. Aufl., Heidelberg 1886, 3.

KM

### 4.1.4. „Großer Lichtanalyseur“

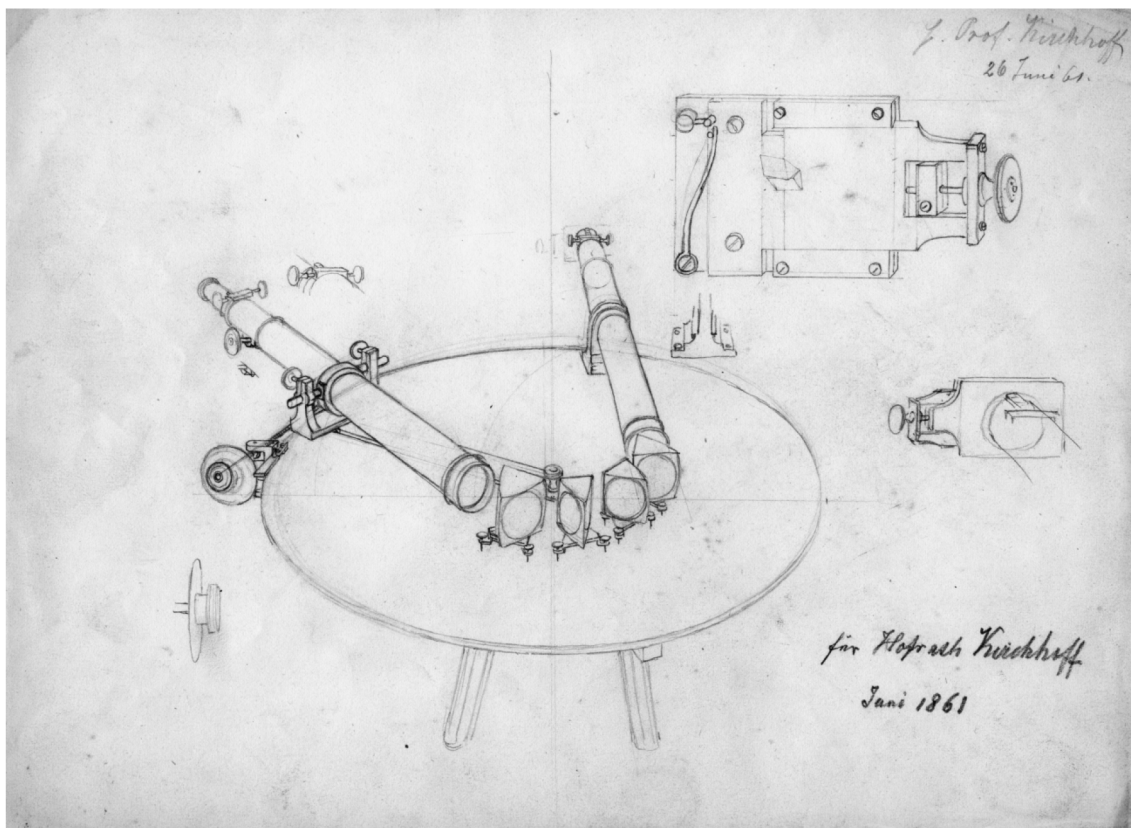
[\*32] Bleistiftzeichnung, 21,7 x 29 cm; bez.: H. Prof. Kirchhoff, 26. Juni [18]61 / für Hofrath Kirchhoff, Juni 1861

Das hier dargestellte Spektroskop ist ein Spezialinstrument zur Analyse des Lichts der Sonne und der Fixsterne. Es zeichnet sich durch seine besonders hohe Auflösungsfähigkeit aus. Mit den Messreihen, die Kirchhoff damit erhielt, beginnt die Entschlüsselung der physischen Beschaffenheit der Sonne. Kirchhoff hatte das Gerät nach seinen Angaben von dem angesehenen Münchener Instrumentenbauer Carl August Steinheil anfertigen lassen.

gen lassen. Friedrich Veiths Zeichnung stellt eine Vorstudie zu der Tafel in Kirchhoffs 1861 erschienener Publikation „Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente“ dar.

Diese zeigt zwei auf eine runde eiserne Platte montierte Fernrohre, optisch verbunden durch vier hintereinander geschaltete Glasprismen. Durch einen regulierbaren Spalt am rechten Fernrohr fällt Sonnenlicht ein, wird im weiteren Strahlengang prismatisch zerlegt, und mit Hilfe des links abgebildeten Fernrohrs kann dann das Spektrum betrachtet werden.

In der oberen rechten Ecke der Zeichnung ist die am rechten Fernrohr angebrachte, allerdings eher schlecht zu erkennende, Vorrichtung zur Regulierung des Lichteinfalls



einschließlich eines Vergleichsprismas vergrößert herausgezeichnet. Eine solche Vorrichtung findet sich auch schon im zweiten Teil von Bunsens und Kirchhoffs spektralanalytischen Untersuchungen [→ 4.1.3.]. Sie erlaubt die gleichzeitige Abbildung zweier Spektren übereinander, indem nur die obere Hälfte des verstellbaren Spaltes frei, die untere jedoch durch ein kleines Glasprisma überdeckt ist, über das – durch ein Schirmchen vor der ersten Lichtquelle geschützt – ein zweiter Lichtfunken oder eine zweite Flammenfärbung in den Strahlengang eingeblendet werden kann.

Wie schon bei Bunsens und Kirchhoffs allererstem Spektralapparat [→ 4.1.1.] ließ sich auch hier eine – im Bild nicht gezeigte – Ablesevorrichtung anbringen. Dabei konnten den Linien im Spektrum mit Hilfe eines Skalenfernrohrs über einen Spiegel bestimmte Zahlenwerte zugeordnet werden.

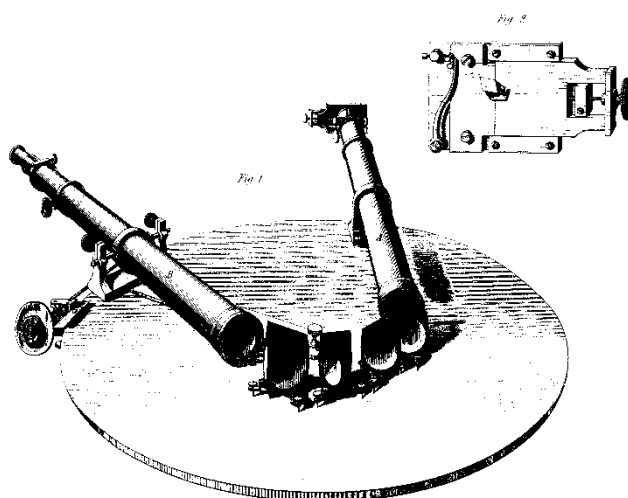
In Veiths Vorzeichnung zu den „Untersuchungen über das Sonnenspectrum“ sind bestimmte Einzelheiten besonders hervorgehoben: Unmittelbar neben dem Spektralappa-

rat finden sich Details der Halterungen und Verstelleinrichtungen, etwas prominenter ist in der rechten Bildhälfte der Anschluss des regulierbaren Spaltes an den Kollimator angedeutet.

Kirchhoffs Spezialapparat wurde mit hohem Aufwand gefertigt. Aus der zugehörigen Untersuchung erfahren wir beispielsweise, dass neben der vierfachen Prismenanordnung zwei besonders lichtstarke, vierzigfach vergrößernde Fernrohre verwendet wurden, um eine möglichst hohe Auflösung zu erzielen. Zudem verfügt die Apparatur über zahlreiche Einstellungsmöglichkeiten, so des Spaltes, der Fernrohre und der Prismen – Indizien dafür, dass wir es hier mit einem recht kostbaren Spezialapparat zu tun haben, der dem Experimentator einiges Geschick abverlangte.

Kirchhoffs Bemühungen, die Spektren der Sonne und der Fixsterne zu entschlüsseln, und die damit verbundenen intensiven Beobachtungen schädigten seine Augen so sehr, dass er zeitweise arbeitsunfähig wurde und die Arbeiten von seinem Assistenten zu Ende führen ließ.

Der Spektralapparat, der unter dem Namen „Großer Lichtanalyser“ in das Steinheilsche Verkaufssortiment aufgenommen wurde, sollte seine Erfinder lange überleben: Das Instrument wurde – mit geringfügigen Verbesserungen – in dieser Form fast hundert Jahre lang hergestellt. Die Originalapparatur befindet sich heute im Deutschen Museum in München (Inv.-Nr. 1972).



Gustav Kirchhoff, „Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente“, *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften*, Berlin 1861 (1862), 63–95, Taf. III, Fig. 1 u. 2.

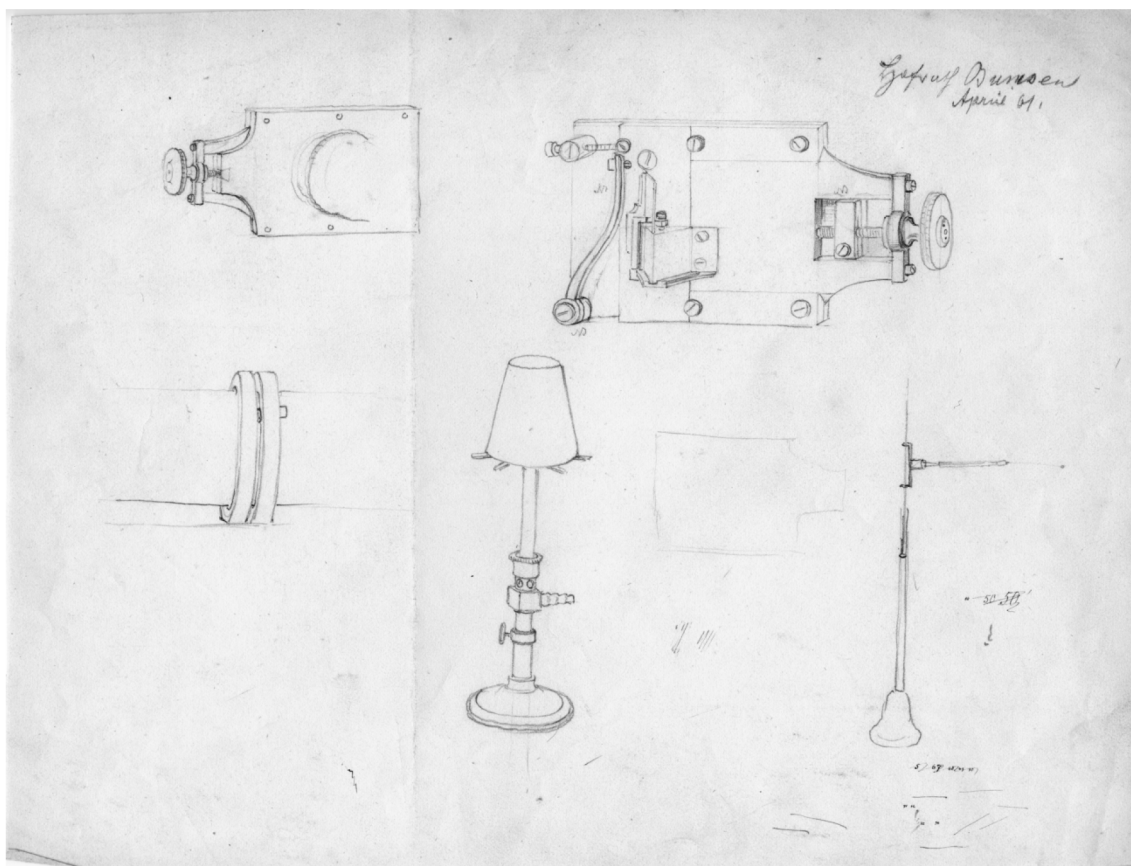
Gustav Kirchhoff, „Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente [gelesen in der Akademie der Wissenschaften, Berlin, am 11. Juli 1861 v. G. Magnus]“, *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften*, Berlin 1861 (1862), 63–95, Taf. III, Fig. 1 u. 2. – Gustav Kirchhoff, *Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente und weitere ergänzende Arbeiten*, hg. v. Hans Kangro, Osnabrück 1972. – Jochen Hennig, *Der Spektralapparat Kirchhoffs und Bunsens*, München 2003. – Ders., „Die frühen spektroskopischen Arbeiten von Bunsen und Kirchhoff: Experimentelle und historische Analyse mit der Replikationsmethode“, Dipl.-Arbeit, Fachbereich Physik der Universität Oldenburg, Oldenburg 2000. – Klaus Hentschel, *Zum Zusammenspiel von Instrument, Experiment und Theorie. Rotverschiebung im Sonnenspectrum und verwandte spektrale Verschiebungseffekte von 1880 bis 1960*, Hamburg 1998, Teil 1, 81–84, 96–106.



#### 4.1.5. Kleiner Spektralapparat zum Gebrauch in Laboratorien

[\*9] Bleistiftzeichnung, 21,8 x 20,5; bez.: H, Hofr. Bunsen, Oct. [18]61.

Dieser Spektralapparat funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie derjenige, den Bunsen und Kirchhoff im zweiten Teil ihrer spektralanalytischen Untersuchungen [→ 4.1.2.] vorgestellt hatten, ist aber zeitlich etwas später anzusetzen. Es ist gleichsam die etwas preiswertere Variante ‚für den Hausgebrauch‘, vom Aufbau her etwas schlichter, kleiner und weniger leistungsfähig, und auch die zahlreichen Einstellmöglichkeiten des zweiten Modells fehlen. So ist beispielsweise die Befestigung der drei Fernrohre grundsätzlich anders gelöst: Beobachtungs- und Skalenfernrohr sind nicht mehr einzeln drehbar, sondern über eine neue Halterung, die im Detail herausgezeichnet ist, fest auf der Grundplatte montiert, die um ihre vertikale Achse gedreht werden kann.



Details des Spektralapparats; 20,3 x 26,7 cm, bez.: Hofrath Bunsen, April [18]61 [→ 4.1.3.].

Veiths Skizze enthält nahezu dieselben Elemente wie die letztlich veröffentlichte Abbildung. Lediglich am oberen und unteren linken Rand seiner Zeichnung finden sich zusätzlich ‚Fingerübungen‘: angedeutete Details der Okulare.

Ebenso wie eine weitere Abhandlung von Bunsen und Kirchhoff über die Eichung der Spektralapparate im gleichen Band von Fresenius' *Zeitschrift für analytische Chemie* unterstreicht die kurze Veröffentlichung „Kleiner Spektralapparat zum Gebrauch in Laboratorien“, dass Wissenschaft kein einseitig vom Forscher nur an die Wissenschaftlergemeinschaft gerichteter Prozess ist, sondern Dialogcharakter besitzt, auch wenn die Quellen oft nur eine Seite sichtbar werden lassen. Die Unterschiede zwischen den viel

komplexeren Spektralapparaten für die Spitzenforschung und diesem eher für Unterrichtslaboratorien entwickelten Modell machen darüber hinaus deutlich, welche Bedeutung der Materialität solcher Artefakte in der Geschichte der Wissenschaften zukommt.

Robert Bunsen u. Gustav Kirchhoff, „Kleiner Spectralapparat zum Gebrauch in Laboratorien“, *Zeitschrift für analytische Chemie* (1862), 139–140. – Dies., „Die Spectren der Alkalien und alkalischen Erden“, *Zeitschrift für analytische Chemie* (1862), 1–2.

CN

## 4.2. PHOTOCHEMIE

Die Erforschung chemischer Reaktionen, die durch Einwirkung von Licht initiiert werden, war Hauptgegenstand einer fast zehn Jahre dauernden gemeinsamen Forschungsarbeit von Robert Bunsen mit seinem Schüler Henry E. Roscoe in Heidelberg, die auch dann noch fortgesetzt wurde, als Roscoe bereits wieder nach England zurückgegangen war. Die Ergebnisse wurden von beiden in zwei Teilen, zusammen sechs Abhandlungen umfassend, publiziert.

Der erste Teil ihrer Experimente auf diesem Gebiet war die Erforschung lichtinduzierter Kettenreaktionen in wässrigen Lösungen von Jod, Brom und v.a. Chlor. Die chemische Wirkung von Licht auf die Reaktion der Gase Wasserstoff und Chlor war bereits 1809 von Joseph Louis Gay-Lussac und Louis Jacques Thenard erkannt worden. Quantitativ haben diese Reaktion aber erst der Engländer John Draper (1811–1882) und der Münchner Privatdozent Wilhelm Wittwer (1822–1908) untersucht, welcher 1861 Lyzealprofessor in Regensburg wurde. Bunsen und Roscoe konnten bei ihren Untersuchungen zwar an diese Vorarbeiten anknüpfen, brachten aber gleichzeitig entscheidende methodische und instrumentelle Verbesserungen ein, die zu viel genaueren Ergebnissen führten und den Forschern gestatteten, die Chlorknallgas-Reaktion in einer „Aktinometer“ genannten Apparatur als Messinstrument für die chemische Wirkung des Lichtes zu verwenden.

Im zweiten Teil ihrer photochemischen Experimente beschäftigten sich Bunsen und Roscoe mit dem Sonnenlicht als Energiequelle, den Auswirkungen von Licht in Abhängigkeit von der Strahlungsintensität sowie mit den spezifischen Wirkungen des gestreuten und direkten Lichts.

Die ersten Resultate aus diesen Untersuchungen hat Roscoe bereits 1855 vor der British Association for the Advancement of Science vorgetragen. Die endgültigen Ergebnisse ihrer Arbeit publizierten Bunsen und Roscoe zwischen 1856 und 1862 gemeinsam in einer Artikelserie, und zwar sowohl in Deutschland (*Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie*) als auch in England (*Royal Institution Proceedings, Philosophical Magazine*). Diese Arbeiten – ein frühes Beispiel langfristiger Forschungskoooperation zwischen etablierten Experimentalwissenschaftlern über große Distanzen hinweg – fanden unter den Zeitgenossen große Beachtung. Darüber hinaus sind sie voll kleiner, aber bedeutsamer apparativer Innovationen, von denen der 1857 publizierte Bunsenbrenner wohl die bekannteste ist.

Die photochemischen Untersuchungen von Bunsen und Roscoe führten zur Formulierung des Reziprozitätsgesetzes (Bunsen-Roscoe-Gesetz), das in der Photographie von Bedeutung ist. Es besagt, dass die Schwärzung der lichtempfindlichen Schicht dem Produkt aus Belichtungsintensität und Belichtungsdauer proportional ist.

Wilhelm Ostwald, Begründer der Physikalischen Chemie, hat die „Photochemischen Untersuchungen“ von Bunsen und Roscoe 1892 in seine bekannte Reihe *Klassiker der exakten Wissenschaften* aufgenommen und dazu bemerkt:

„Die photochemischen Untersuchungen von Bunsen und Roscoe verdienen den Namen einer klassischen Arbeit in zweierlei Hinsicht. Einmal haben sie für ihren Gegenstand grundlegend und vorbildlich gewirkt, indem in ihnen die vorher zwar in einzelnen

Punkten ermittelten, aber noch nicht systematisch untersuchten allgemeinen Gesetze der chemischen Wirkungen des Lichtes einem außerordentlich umfassenden und ins einzelne gehenden Studium unterzogen worden sind, welches als Grundlage und Ausgangspunkt für alle weiteren Forschungen auf diesem Gebiet gedient hat. Sodann aber kann man nicht anstehen, sie nicht nur als ein klassisches Vorbild, sondern geradezu als das klassische Vorbild für alle späteren experimentellen Arbeiten auf dem Gebiete der physikalischen Chemie zu bezeichnen. – Eine gleiche Summe von chemischer, physikalischer und rechnerischer Geschicklichkeit, von Scharfsinn im Ersinnen der Versuche und von Geduld und Ausdauer in ihrer Durchführung, von eingehendster Sorgfalt an jeder kleinsten Erscheinung und ausgiebigstem Weitblick den größten meteorologisch-kosmischen Verhältnissen gegenüber, findet sich in keiner anderen wissenschaftlichen Arbeit auf diesem Gebiete wieder.“

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, v.a. S. 142–159. – Georg Lockemann, *Robert Wilhelm Bunsen: Lebensbild eines deutschen Naturforschers*, Stuttgart 1949, 129–139. – Henry Enfield Roscoe, *Ein Leben der Arbeit: Erinnerungen*, Leipzig 1919, 49.

PK

#### 4.2.1. Chlorknallgas-Aktinometer

[\*42] Bleistiftzeichnung, 21,2 x 31,4 cm; bez.: Herr Dr. Roscoe, Juni [18]56

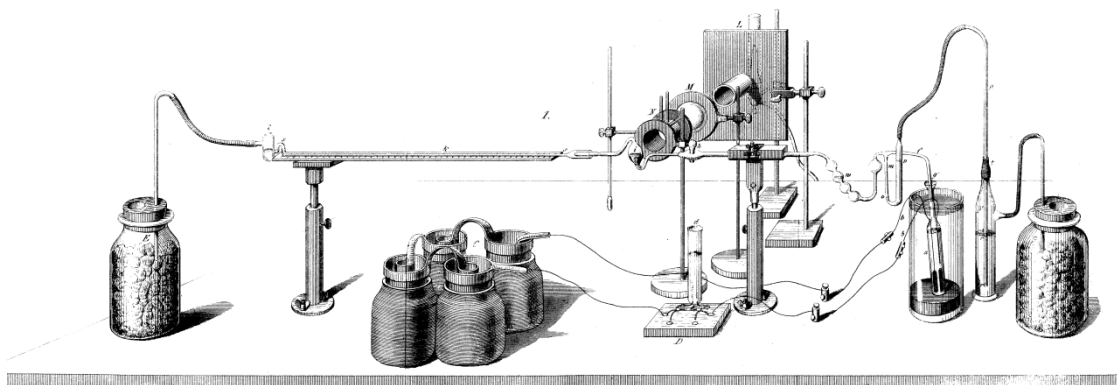
Das Chlorknallgas-Aktinometer ist eine Apparatur zur Messung der chemischen Wirkung des Lichts. Es wurde von Bunsen entwickelt und wies gegenüber Drapers „Tithonometer“ maßgebliche Verbesserungen auf, so dass viel genauere Messergebnisse erzielt werden konnten. Das von Veith gezeichnete Blatt diente offenbar 1857 als Vorzeichnung für die Originalpublikation in Poggendorffs *Annalen der Physik und Chemie*.

Bei den Messungen arbeitete man mit einem elektrolytisch erhaltenen Chlor-Wasserstoff-Gemisch. Dieses wurde in der Apparatur kontrolliert mit Licht bestrahlt. Das in exothermer – und bei mangelnder Vorsicht sehr heftig verlaufender – Reaktion entstehende Chlorwasserstoffgas wurde sogleich von dem als Sperrflüssigkeit dienenden Wasser absorbiert, und aus der Volumenabnahme ließ sich die Menge des verbrauchten Chlorknallgases ermitteln; dies war das gesuchte Maß für die chemische Wirkung des Lichtes.

Die Zeichnung zeigt den Aufbau der ungeheuer komplexen Apparatur, bei der allein schon die vorbereitende Sättigung des als Sperrflüssigkeit dienenden Wassers 3–9 Tage erforderte. Rechts im Hintergrund stehen vier Zink-Kohle-Batterien [sog. Bunsen-Elemente → 6.1.7.]. Sie liefern den Strom für die elektrolytische Freisetzung von Chlor und Wasserstoff aus wässriger Salzsäure. Links davor sieht man einen Druckregulator, der über eine Kautschukleitung an die davor befindliche Elektrolysezelle angeschlossen ist. Die Richtung des Stroms kann dabei mit Hilfe des unten noch einmal vergrößert herausgezeichneten Polwenders umgeschaltet werden, bei dem ein abnehmbarer Bügel aus Kupferdraht in mit Quecksilber gefüllte Näpfchen auf einer Holzplatte eintaucht.

Das erhaltene Chlorknallgas wird durch eine mehrgliedrige Waschvorrichtung zum eigentlichen Zentrum des Apparats, dem Reaktionsgefäß in der Mitte der Zeichnung, geleitet, um dort belichtet zu werden. Die Lichtquelle, Bunsens „Kastenflamme“

[→ 4.2.4.], befindet sich dabei hinter einem Schirm und ist auf der Zeichnung nicht zu sehen. Zusätzlich war das Reaktionsgefäß durch einen mit Wasser gefüllten Glaszylinder vor der Strahlungswärme der Flamme geschützt. Das entstehende Chlorwasserstoffgas wird in ein langes Glasrohr geleitet, auf dessen Skala die Änderung des Gasvolumens abgelesen werden kann.



Robert Bunsen u. Henry Roscoe, „Photochemische Untersuchungen. Zweite Abhandlung: Maassbestimmung der chemischen Wirkungen des Lichts“, *Annalen der Physik und Chemie* 100 (1857), 43–88, Taf. II, Fig. 1.

Die Untersuchung war alles andere als problemlos. So berichten die Autoren von ungewöhnlich aufwendigen „Präliminarversuchen [ ... ], die unsere Geduld über ein halbes Jahr lang auf die härteste Probe gestellt haben“, und einer Reihe von Fällen, bei denen „der Apparat durch eine heftige Explosion zertrümmert wurde.“ Aus heutiger Sicht sind die Ergebnisse allerdings wenig aussagekräftig, zumal eine Reihe der von Bunsen und Roscoe ausführlich untersuchten Effekte, so z.B. das etwas verzögerte Ingangkommen der Reaktion, noch nicht wirklich verstanden waren. Den genauen Mechanismus der Chlorknallgas-Kettenreaktion haben erst Walther Nernst und Max Bodenstein um 1900 aufklären können.

Robert Bunsen u. Henry Roscoe, „Photochemische Untersuchungen Zweite Abhandlung: Maassbestimmung der chemischen Wirkungen des Lichts“, *Annalen der Physik und Chemie* 100 (1857), 43–88, Taf. II, Fig. 1. – Ursula Boberlin, *Photochemische Untersuchungen von R. Bunsen und H. Roscoe im Vergleich mit den Arbeiten J.W. Drapers und W.C. Wittwers: Anfänge der quantitativen Photochemie im 19. Jahrhundert*, Berlin 1993, 142–148.

PK

#### 4.2.2. Details des Chlorknallgas-Aktinometers

[\*12] Bleistiftzeichnung, 21,3 x 25,1/25,8 cm; bez.: Hofr. Bun[sen] / für Hofr. Bunsen, 1860

Die ins Reine gezeichneten Vorlagen, die dann zur Publikation an die Lithographenanstalt gingen, setzte Friedrich Veith häufig aus einzelnen Vorzeichnungen zusammen. Diese umfassten sowohl Gesamtübersichten der Apparatur [→ 4.2.1.], oft mit vergrößert herausgezeichneten Details, als auch auf separaten Blättern festgehaltene besondere Teile der jeweiligen Versuchsanordnung. Das – möglicherweise erst im Nachhinein – auf 1860 datierte und für Bunsen gezeichnete Blatt zeigt einzelne Elemente des Chlorknallgas-Aktinometers, welche sich auch schon auf einem 1856 für Henry Roscoe gezeichneten

ten Blatt [→ 4.2.1.] finden, so dass davon auszugehen ist, dass beide Blätter tatsächlich in unmittelbarem zeitlichen Zusammenhang entstanden sind.

Links sieht man das zur elektrolytischen Entwicklung von Chlor dienende Standgefäß mit zwei Elektroden, die daneben noch einmal herausgezeichnet sind. Es handelt sich um von Bunsen durch Auskochen mit Königswasser und nachfolgendem Glühen in Chlorgas speziell präparierte Kohleelektroden mit einer in Glas eingeschmolzenen Zuleitung aus Platindraht.

Rechts daneben – und auch in der Publikation mit einer eigenen Abbildung bedacht – ein doppelter Metallschirm, dessen Öffnung mit zwei klaren, lichtdurchlässigen Glimmerplättchen bedeckt ist, und vor der sich eine innen geschwärzte Metallkapsel befindet, die zur Aufnahme des eigentlichen, ca. 7 ml fassenden Belichtungsgefäßes („Insolationsgefäßes“) dient und zum Schutz vor Fremdlicht mit einem Deckel verschlossen werden kann.

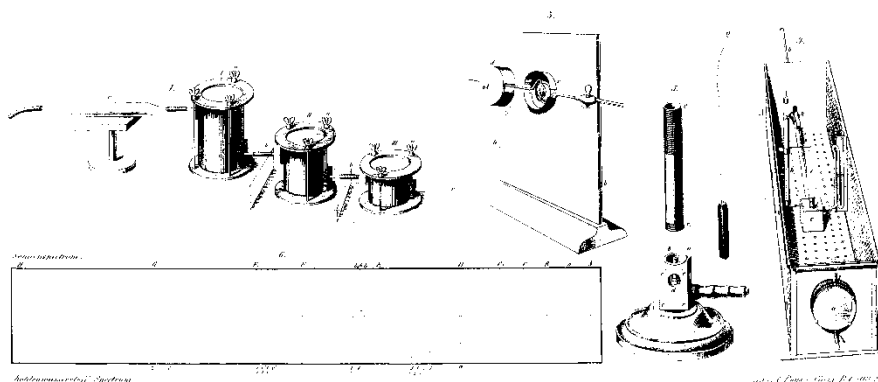
Robert Bunsen u. Henry Roscoe, „Photochemische Untersuchungen. Zweite Abhandlung: Maassbestimmung der chemischen Wirkungen des Lichts“, *Annalen der Physik und Chemie* 100 (1857), 43–88, Taf. I, Fig. 2 u. 3; Taf. II, Fig. 1. – Ursula Boberlin, *Photochemische Untersuchungen von R. Bunsen und H. Roscoe im Vergleich mit den Arbeiten J.W. Drapers und W.C. Wittwers: Anfänge der quantitativen Photochemie im 19. Jahrhundert*, Berlin 1993, bes. S. 144.

CM

### 4.2.3. Photochemische Induktion

[\*43] Bleistiftzeichnung, 14,5 x 18,8 cm; bez.: H. Dr. Roscoe, 1862

Dass die durch Licht induzierte Chlorknallgasreaktion erst mit einer gewissen Zeitverzögerung in Gang kommt, hatte bereits Draper beobachtet und mit einem besonderen („allotropischen“) Zustand des Chlorgases zu erklären versucht. Bunsen und Roscoe postulierten für dieses Phänomen eine eigene Theorie – die der „chemischen Induktion“. Sie verstanden darunter die zur Überwindung eines Verbindungswiderstandes der Gasteilchen notwendige Schwelle, d.h. eine Art Aktivierungsenergie. Für diese waren nach Ansicht von Bunsen und Roscoe das Volumen des belichteten Gases und die Lichtintensität maßgeblich.



Robert Bunsen u. Henry Roscoe, „Photochemische Untersuchungen. Zweite Abhandlung: Maassbestimmung der chemischen Wirkungen des Lichts“, *Annalen der Physik und Chemie* 100 (1857), 43–88, Taf. I. Die zur Untersuchung dieser Verhältnisse erdachte Versuchsanordnung ist in derselben Veröffentlichung wie das Aktinometer [→ 4.2.1.] und der Belichtungsapparat

[→ 4.2.4.] beschrieben. Ihre Funktionsweise war relativ unkompliziert. Drei in Reihe verbundene, luftdichte Metallzylinder von unterschiedlicher Höhe wurden mit Chlorknallgas gefüllt und gleichmäßig belichtet. Als Lichtquelle wurde wieder eine Flamme benutzt, wobei sich zwischen dem Brenner und den Reaktionsgefäßen eine Konvexlinse und ein Schirm befanden, was eine gezielte Beleuchtung von bestimmten Sektoren erlaubte.

Die Theorie der „chemischen Induktion“ wurde allerdings in den achtziger Jahren des 19. Jahrhunderts durch Jacobus Henricus van't Hoff in Zweifel gezogen. Erst Anfang des 20. Jahrhunderts konnte endgültig bewiesen werden, dass es sich um kein eigenständiges physikalisch-chemisches Phänomen handelt, sondern dass Verunreinigungen der Sperrflüssigkeit im Apparat für das verzögerte Eintreten der Reaktion verantwortlich sind.

Robert Bunsen u. Henry Roscoe, „Photochemische Untersuchungen. Zweite Abhandlung: Maassbestimmung der chemischen Wirkungen des Lichts“, *Annalen der Physik und Chemie* 100 (1857), 43–88, Taf. I., Fig. 1. – Ursula Boberlin, *Photochemische Untersuchungen von R. Bunsen und H. Roscoe im Vergleich mit den Arbeiten J.W. Drapers und W.C. Wittwers: Anfänge der quantitativen Photochemie im 19. Jahrhundert*, Berlin 1993, 152–159.

PK

#### 4.2.4. Belichtungsapparat – „Kastenflamme“

[\*44] Bleistiftzeichnung, 19,2 x 9,2 cm; bez.: Herr Dr. Roscoe, July 56

Das Aktinometer [→ 4.2.1.] erfordert eine konstante Lichtquelle. Dafür hat Bunsen mit Roscoe einen eigenen Belichtungsapparat entwickelt. In ihm war die Flamme nicht nur vor äußeren Einflüssen geschützt, sondern er ermöglichte auch den konstanten Abstand der Lichtquelle zur übrigen Apparatur.

Als Lichtquelle dient ein Leuchtgasbrenner in einem innen geschwärzten Kasten mit durchlöcherem Boden. Mittels eines Schiebers lässt sich die Position der Flamme exakt einstellen. Daran befindet sich auch ein Regulator, um die Höhe der Flamme konstant zu halten. Der Lichtauslass erfolgt über ein rundes Glasfenster im Vorderteil des Kastens. Um die Wirkung von farbigem Licht auf die Chlorknallgasreaktion zu untersuchen, kann die Flamme des Brenners mittels poröser Kohlestückchen, die mit einer entsprechenden Salzlösung getränkt sind, angefärbt werden.

Das Blatt diente als Vorzeichnung für die Originalpublikation von Bunsen und Roscoe in Poggendorffs *Annalen der Physik und Chemie* von 1857.

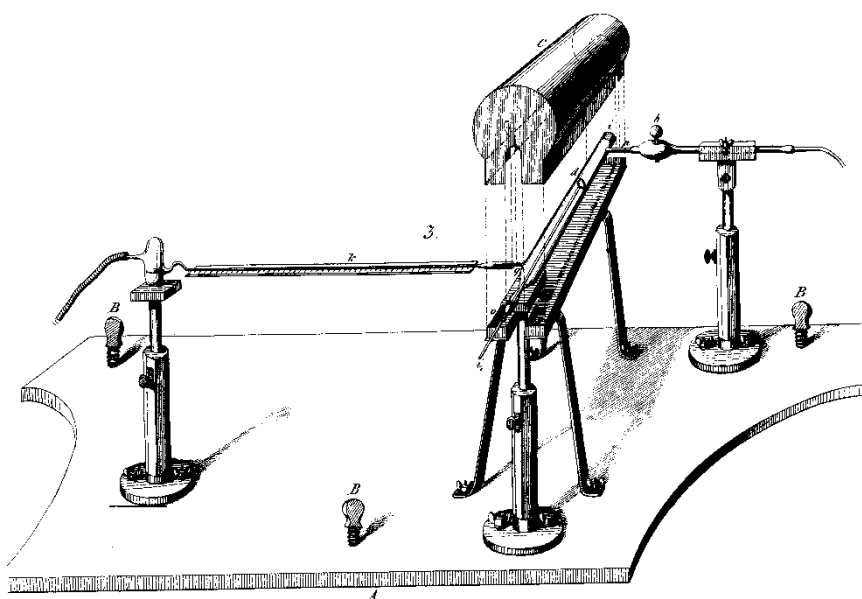
Robert Bunsen u. Henry Roscoe, „Photochemische Untersuchungen. Zweite Abhandlung: Maassbestimmung der chemischen Wirkungen des Lichts“, *Annalen der Physik und Chemie* 100 (1857), v.a. S. 60–62 u. Taf. I. – Ursula Boberlin, *Photochemische Untersuchungen von R. Bunsen und H. Roscoe im Vergleich mit den Arbeiten J.W. Drapers und W.C. Wittwers: Anfänge der quantitativen Photochemie im 19. Jahrhundert*, Berlin 1993, 148–151.

PK

#### 4.2.5. *Verhältnis von optischer und chemischer Extinktion*

[\*13] Bleistiftzeichnung, 21,4 x 30 cm; bez.: für Hofr. Bunsen 1860 / Hofr. Buns[en]

Von Roscoe schon in Glasgow angestellte Versuche über den Zusammenhang zwischen Gasmasse und chemischer Wirkung schienen darauf hinzudeuten, dass das vom Chlorknallgas absorbierte Licht nicht vollständig in Wärme umgewandelt wird, sondern außerdem noch eine sogenannte „chemische Extinktion“ stattfindet. Gemeinsam mit Bunsen in Heidelberg versuchte Roscoe deshalb die Frage zu klären, ob es sich bei der lichtinduzierten Chlorknallgasreaktion um eine quantitative Umwandlung von Lichtenergie in mechanische Arbeit handelt. Dazu wurden zunächst die Extinktionskoeffizienten von Chlor- und Chlorknallgas in Abhängigkeit von Schichtdicke und Verdünnung untersucht. Die Bestimmung erfolgte mit Hilfe des Aktinometers [→ 4.2.2.]. An Stelle des flachen Belichtungsgefäßes kam jedoch nun eine lange Glasröhre als „Insolationsgefäß“ zum Einsatz, deren plangeschliffene Vorderseite der Lichtquelle zugewandt war und bei dem ein in der Röhre laufender Schieber, dessen Stempel oben rechts noch einmal vergrößert herausgezeichnet ist, eine Variation der Gassäule erlaubte. Zum Schutz vor Fremdlicht und Wärme wurde eine Blechhaube auf die Röhre aufgesetzt.



Belichtungsapparatur, Lithographie, ca. 13 x 18 cm; aus: Robert Bunsen u. Henry Roscoe, „Photochemische Untersuchungen. Vierte Abhandlung: Optische und chemische Extinktion der Strahlen“, *Annalen der Physik und Chemie* 101 (1857), 235–263, Taf. II, Fig. 3.

Auf einer gekehlten Grundplatte, die mit drei Stellschrauben geneigt werden kann, steht auf Stativen das Belichtungsrohr mit darin laufendem Glasschieber, dessen Handgriff nach vorne durch eine Kautschukkappe geführt ist. Von rechts hinten strömt das Chlorknallgas über einen Hahn zu und entweicht nach der Belichtung links vorne durch das Skalenrohr des Aktinometers.

Vor dem Versuch wird das Belichtungsrohr zur Hälfte mit Wasser gefüllt und die gesamte Apparatur mit der Grundplatte so geneigt, dass sich das Wasser vor der Zuleitungsrohre sammelt und von dem eintretenden Gasmisch durchströmt wird. Dann



wird das gesamte Gasvolumen „induziert“, d.h. durch das geöffnete Fenster der Dunkelkammer belichtet. Wenn das Skalenrohr des Aktinometers das Erreichen des Induktionsmaximums anzeigt, stellt man die Apparatur wieder horizontal.

Die Versuche ergaben, dass bei der photochemisch induzierten Chlorknallgasreaktion eine der geleisteten Arbeit äquivalente Menge an Licht verloren geht – was aus heutiger Sicht allerdings nur für die initiale Dissoziation von  $\text{Cl}_2$  in zwei Chloratome gilt. Doch wurden Mechanismus und Kinetik der Chlorknallgasreaktion erst um 1900 von Walther Nernst und Max Bodenstein aufgeklärt. Die von Bunsen und Roscoe beobachteten Absorptionsunterschiede von Chlor und Chlorknallgas wurden in Wirklichkeit von Verunreinigungen im Aktinometer-Sperrwasser verursacht.

Das offenbar nachträglich auf 1860 datierte Blatt – die ursprüngliche Beschriftung ist beschnitten und weist kein Datum auf – wäre damit zeitlich *nach* der Erstpublikation von 1857 anzusetzen. Derartige Fälle sind in dem Bestand sonst aber nicht belegt. Es ist deshalb anzunehmen, dass es sich auch hier um eine Vorzeichnung für die Originalpublikation handelt und diese auf 1857 zu datieren wäre. Dafür spricht auch, dass die hier noch in Vorder- und Rückansicht gezeichnete Blechhaube, die auf das Reaktionsrohr aufgesetzt wird, in der publizierten Tafel in eine einzige Haube zusammengezeichnet wurde, die die rückwärtige Öffnung halbtransparent erkennen lässt. Ob dies bereits Veith in der Reinzeichnung oder erst der Lithograph getan hat, ist nicht mehr festzustellen.

Robert Bunsen u. Henry Roscoe, „Photochemische Untersuchungen. Vierte Abhandlung: Optische und chemische Extinktion der Strahlen“, *Annalen der Physik und Chemie* 101 (1857), 235–263. – Ursula Boberlin, *Photochemische Untersuchungen von R. Bunsen und H. Roscoe im Vergleich mit den Arbeiten J.W. Drapers und W.C. Wittwers: Anfänge der quantitativen Photochemie im 19. Jahrhundert*, Berlin 1993, 164–171.

KM

#### 4.2.6. *Photometrische Untersuchung des Himmelslichts*

[\*46] Bleistiftzeichnung, 20 x 16,2 cm; bez.: Dr. Schiel, 1859

Zur Untersuchung der chemischen Wirkung des vom wolkenlosen Himmel ausgestrahlten Lichtes hatten Bunsen und Roscoe eine Vorrichtung [→ 4.2.8.] konstruiert, um das Licht des Zenits über einen um  $45^\circ$  geneigten Spiegel durch ein in den Fensterladen ihrer Dunkelkammer eingelassenes Rohr und durch zwei Glimmerblättchen auf das Belichtungsgefäß (,Insolationsgefäß‘) zu leiten. Als „chemische Lichteinheit“ diente die Wirkung auf das im Belichtungsgefäß befindliche Chlorknallgas, normiert auf die Einheit der einminütigen Einwirkung einer Vergleichsflamme in 1 m Entfernung.

Oberhalb des schematisch gezeichneten Versuchsaufbaus – das Insolationsgefäß links darüber noch einmal vergrößert herausgezeichnet – sind die Maße für Röhrenöffnung, Abstand zum Belichtungsgefäß und Neigung des Spiegels notiert; sie entsprechen in etwa den publizierten Zahlen.

Das Blatt ist auf die Entstehungszeit der Arbeit von Bunsen und Roscoe datiert und zeigt Details der 1862 in den *Annalen der Physik* publizierten Tafel. Dass die Zeichnung Jakob Schiel zugeschrieben ist, deutet darauf hin, dass dieser – damals gerade erst aus den Vereinigten Staaten nach Heidelberg zurückgekehrt – an der Vorbereitung der Pu-

blikation beteiligt war, wenngleich Bunsen und Roscoe ihre Messungen im Wesentlichen bereits 1856–1858 vorgenommen hatten.

Robert Bunsen u. Henry Roscoe, „Photochemische Untersuchungen. Fünfte Abhandlung: Die Sonne“, *Annalen der Physik und Chemie* 108 (1859), 193–273, Taf. I.

CM

#### 4.2.7. *Fettfleck-Photometer und Spiegel*

[\*47] Bleistiftzeichnung, 14,8 x 19 cm; kopfstehend bez.: Dr. Schiel, [18]59 [verso: wohl Vorzeichnung zu → 4.2.6.]

Im Zusammenhang mit meteorologischen Problemen suchten Bunsen und Roscoe die Frage zu klären, wie sich die einzelnen Bestandteile des Sonnen- und Himmelslichts hinsichtlich des von ihnen postulierten Unterschieds zwischen optischer und „chemischer Extinktion“ [→ 4.2.5.] verhalten. Dazu wurde das Sonnenlicht mit Hilfe des Metallspiegels eines Heliostaten in die Dunkelkammer geleitet, dort prismatisch zerlegt und auf seine chemischen Wirkungen hin untersucht, während das Licht des wolkenlosen Himmels direkt bestimmt wurde. Die Ergebnisse, an denen auch der damals stellungslose Privatdozent Jakob Schiel beteiligt war, wurden 1859 im fünften Teil der „Photochemischen Untersuchungen“ von Bunsen und Roscoe unter dem einfachen Titel „Die Sonne“ in den *Annalen der Physik und Chemie* zusammengefasst. Von den in der Arbeit vorgestellten Apparaturen haben sich unter den von Veith gezeichneten Blättern Skizzen zu unterschiedlichen Photometern erhalten.

Bei Verwendung eines Spiegels können Absorption oder Polarisation das Ergebnis der Lichtstärkebestimmung verfälschen. Um die „chemische Lichtstärke“ [→ 4.2.6.] mit der Intensität einer nicht reflektierten Lichtquelle zu vergleichen, benutzte Bunsen das von ihm erfundene Fettfleck-Photometer: Ein weißes Blatt Papier wird mit einem Stearinfleck versehen und in einem Tubus axial so befestigt, dass es durch ein seitlich angebrachtes Okularrohr betrachtet werden kann. Beleuchtet man das Papier nun von beiden Seiten mit genormten Lichtquellen (hier: gleich hellen Kerzenflammen), von denen das Licht der einen über einen um 45° geneigten Spiegel gelenkt wird, so wird der Fettfleck immer dann unsichtbar, wenn die Lichtstärke auf beiden Seiten gleich ist. Die abschwächende Wirkung des Spiegels ergibt sich aus dem Verhältnis der Entfernungen beider Lichtquellen vom Papier.

Die skizzierte Versuchsanordnung zeigt offenbar einen schlichten Vorversuch zu dem dann tatsächlich publizierten Photometertyp [→ 4.2.8.].

Robert Bunsen u. Henry Roscoe, „Photochemische Untersuchungen. Fünfte Abhandlung: Die Sonne“, *Annalen der Physik und Chemie* 108 (1859), 193–273, bes. S. 213–215, und Taf. I, Nr. 8.

CM

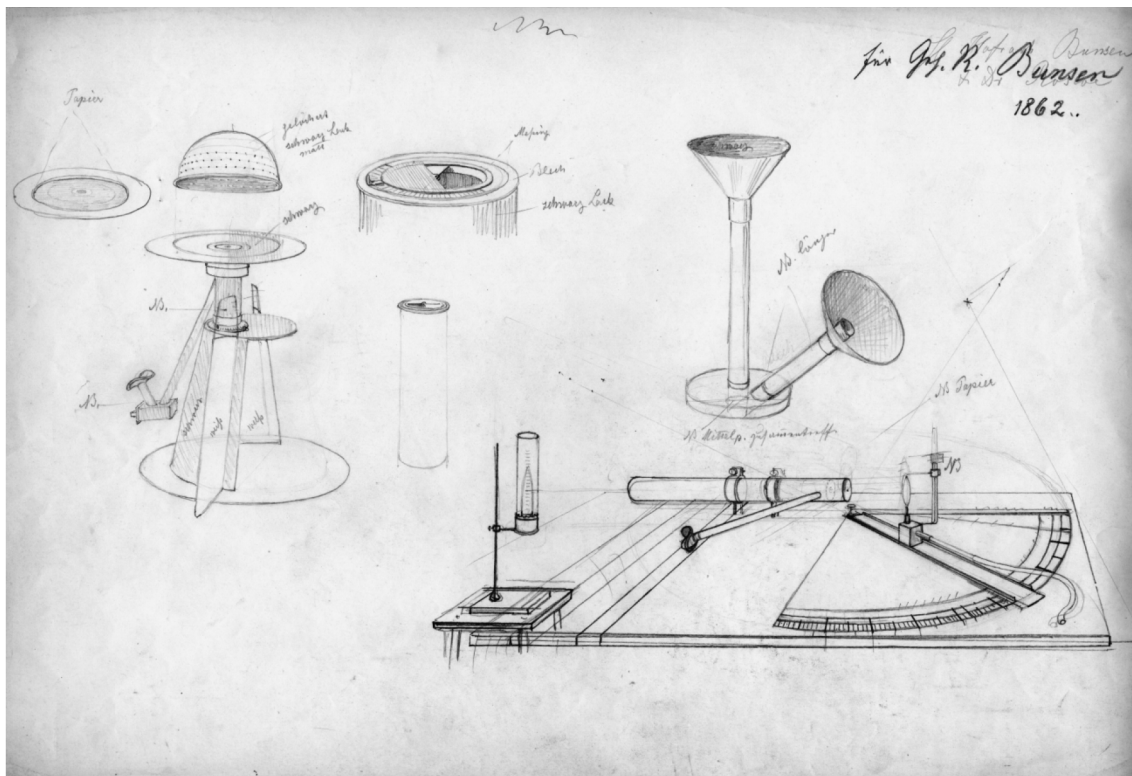
#### 4.2.8. *Chemische Wirkung der Bestandteile des Sonnenlichts*

[\*14] Bleistiftzeichnung, 21,7 x 33,7 cm; bez.: H. Hofr. Bunsen & Dr. Roscoe / für Geh. R. Bunsen, 1862

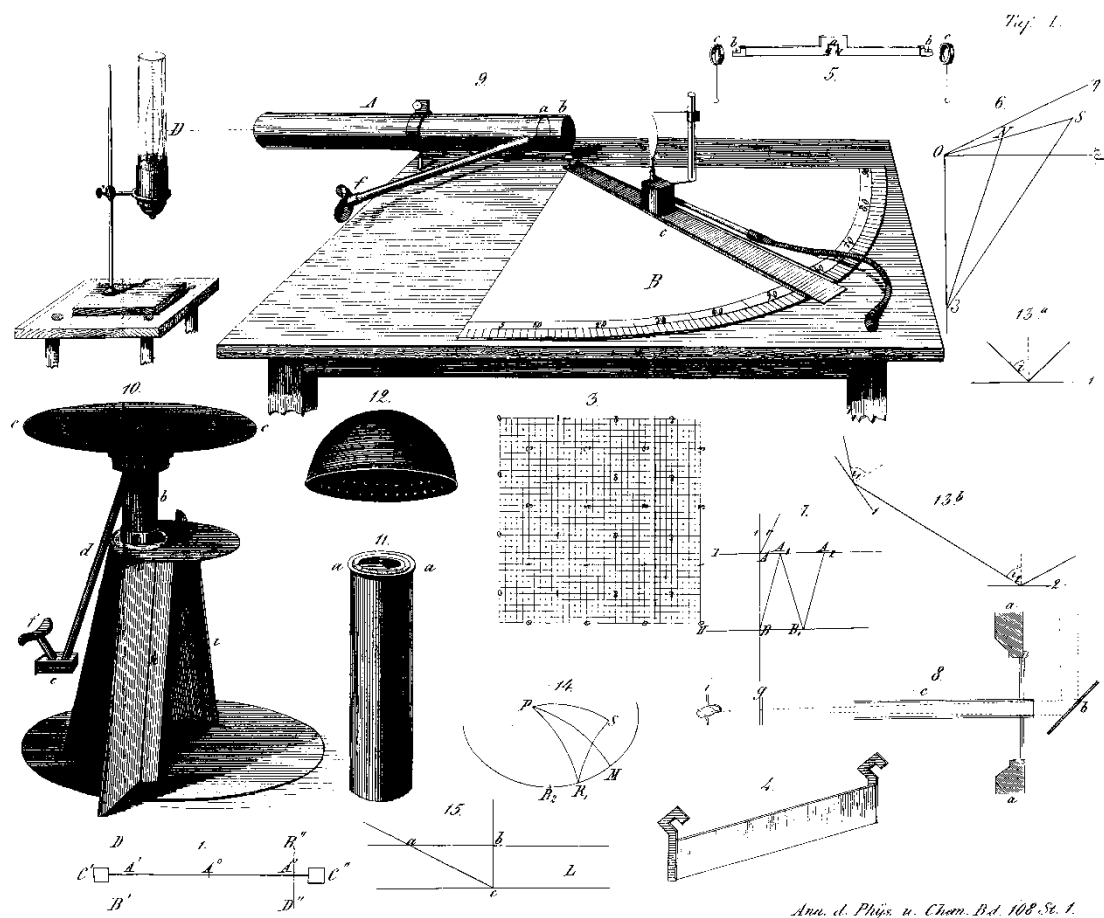
Die fünfte, „Die Sonne“ überschriebene „Photochemische Untersuchung“ von Bunsen und Roscoe beginnt wie ein Werbetext für erneuerbare Energien: „Der unermeßliche

Vorrath an lebendiger Kraft, welchen die Natur im Sonnenkörper aufgespeichert hat, fließt unablässig mit den Sonnenstrahlen in den Weltraum ab. Was die Erde [ ... ] an Kraft verwendet, stammt fast ausschließlich aus dieser Quelle.“ (S. 193). Unter dem neuen Paradigma des Energieerhalts ging es den Autoren hier speziell darum, die von den einzelnen Bestandteilen des Sonnenlichts zu leistende chemische Arbeit zu bestimmen.

Um zu einer Gesamtbilanz zu gelangen, musste die Wirkung des direkten und des von der Atmosphäre gestreuten Lichtes gemessen und verglichen werden. Dazu musste zunächst die Abhängigkeit der Intensität vom Einfallswinkel bestimmt werden. Im Modellversuch bedienten die Forscher sich dazu einer Variante des von Bunsen erfundenen Photometers [→ 4.2.7.], das in der rechten unteren Hälfte der Zeichnung dargestellt ist.



Vor dem horizontal liegenden Blechrohr, welches am Ende durch das Photometer-Papierblatt verschlossen ist, befindet sich ein mit einer Winkelskala versehener Viertelkreis, dessen Mitte genau im Mittelpunkt des Papierblattes liegt. Darauf befindet sich eine verschiebbare Messlatte, auf der sich eine Standard-Lichtquelle, z.B. die „Kastenflamme“ [→ 4.2.4.], auf beliebige Winkel und Entfernungen vom Ende des Rohres einstellen lässt. Zum Vergleich dient eine zweite, gleichartige Flamme hinter der anderen Öffnung des Rohrs, und mit Hilfe des seitlich angebrachten Okularrohrs betrachtet man den Stearinleck auf dem beidseitig beleuchteten Papier. Je nach dem Verhältnis der Beleuchtungsstärke auf beiden Seiten erscheint dieser einmal weiß auf dunklem Grund, verschwindet bei gleicher Intensität, oder tritt dunkel auf hellem Untergrund hervor.



*Ann. d. Phys. u. Chem. B.d. 108. St. 1.*

Photometer, Lithographie, ca. 18 x 19 cm; aus: Robert Bunsen u. Henry Roscoe, „Photochemische Untersuchungen: Fünfte Abhandlung: Die Sonne“, *Annalen der Physik und Chemie* 108 (1859), 193–273, Taf. I.

Um die gleiche Messung am Himmelsgewölbe ausführen zu können, wurde das Photometer vertikal ausgerichtet und das seitliche Okularrohr mit einem kleinen Spiegelkasten versehen, um bequemer beobachten zu können. Innerhalb des Blechrohres befindet sich eine Blende in Gestalt eines offenen Halbkreises, über den sich eine ebenfalls halbkreisförmige Metallscheibe so drehen lässt, dass ein bestimmter Kreissektor offen bleibt. Auf diese Weise lässt sich der Lichteinfall von der als Vergleich genutzten konstanten Lichtquelle regulieren.

Um die gesamte Lichtwirkung des Firmaments zu bestimmen, wurde die Lichtstärke, mit der der gesamte Himmel auf einen Punkt der Erdoberfläche einstrahlt, mit derjenigen Lichtstärke verglichen, welche zur selben Zeit von einer gemessenen Kugelkreisfläche des Zenits auf denselben Punkt fällt. Dazu bediente man sich einer Halbkugel, die über das Photometerdiaphragma gesetzt wurde und mit angebrachten Löchern von gleichem Durchmesser versehen war (in der Zeichnung links). Bei der Beobachtung stellt man die Halbkugel über das Diaphragma und öffnet den unteren Kreissektor so weit, dass der Ring auf dem Papierdiaphragma gerade verschwindet. Um hingegen lediglich einen bestimmten Ausschnitt des Himmels zu vermessen, benutzte man den rechts oben gezeichneten Röhrenaufsatz. Die Versuche ergaben, dass die chemische Wirkung der Sonne immer mehr zunimmt, je näher sie sich dem Zenit befindet.

Robert Bunsen u. Henry Roscoe, „Photochemische Untersuchungen. Fünfte Abhandlung: Die Sonne“, *Annalen der Physik und Chemie* 108 (1859), 193–273, Taf. I. – Georg Lockemann, *Robert Wilhelm Bunsen: Lebensbild eines deutschen Naturforschers*, Stuttgart 1949, bes. S. 132–136.

KM

#### 4.2.9. *Pendelapparat zur Einstellung der Belichtungsdauer und*

#### 4.2.10. *Belichtungsmesser*

[\*11] Bleistiftzeichnung, 21,6 x 32,2 cm; bez.: Hofr. Bunsen & Prof. Roscoe, Augst [18]62 / für Hofrath Bunsen & Dr. Roscoe, Aug. [18]62

[\*10] Bleistiftzeichnung, 19,6 x 28,2; bez.: für Hofrath Bunsen, Aug. [18]52

Während Bunsen und Roscoe die photochemische Wirkung des Sonnenlichts zunächst für den wolkenlosen Himmel untersucht hatten, dehnten sie ihren Ansatz in der sechsten und letzten Abhandlung der „Photochemischen Untersuchungen“ unter dem Titel „Meteorologische Lichtmessungen“ auf die chemische und folglich auch biologische Lichtwirkung indirekter Lichtquellen, hier: des bedeckten Himmels, aus. Dazu ließ sich das weniger empfindliche Chlorknallgas-Aktinometer [→ 4.2.1.] allerdings nicht verwenden. Die Forscher verfielen daher auf eine andere Nachweismethode, die dem an den damaligen Fortschritten der Photographie außerordentlich interessierten Bunsen besonders nahe lag: die Verwendung eines Papierstreifens, auf den lichtempfindliches Silberchlorid aufgetragen war. Dessen Schwärzung in Folge der Lichteinwirkung wurde dann mit einer aus einer Zinkoxid-Ruß-Mischung erhaltenen Grauskala als Normwert verglichen.

Den zur Regulierung der Belichtungszeit konstruierten Pendelapparat zeigt die erste, allein mit Bunsens Namen bezeichnete Skizze von Veith. Ein eisernes Gestell trägt eine Metallplatte, in der sich ein Schlitz befindet. Über diesem liegt ein geschwärztes Glimmerblatt, das von einem schwingenden Pendel über den Schlitz hin- und zurückgeschoben wird, so dass dieser an unterschiedlichen Stellen unterschiedlich lange belichtet werden kann. Unter diesen Schlitz schiebt man mit der rechts gezeichneten Metallkassette das lichtempfindliche Photopapier ein – eine Technik, die eindeutig aus der Photographie übernommen wurde. Nun löst man den das Pendel zunächst fixierenden Sperrhaken (oben noch einmal vergrößert herausgezeichnet), wartet die der gewünschten Belichtungszeit entsprechende Zahl von Pendelschwingungen ab und lässt das Pendel anschließend wieder einhaken. Auf diese Weise ließen sich die Zeiten, die zu gleichen Schwärzungen des Photopapiers führten, auf hundertstel Sekunden exakt messen.

Den zugehörigen Belichtungsmesser, auf der Skizze des Pendelapparats rechts unten nur schemenhaft angedeutet, zeigt ein zweites Blatt, das – offenbar nachträglich und irrtümlich – auf August 1852 datiert wurde, aber aus inhaltlichen Gründen zu dem anderen, für Bunsen und Roscoe gefertigten Blatt und damit in den August 1862 gehört.

Auf ein Holzbrettchen mit Skala wird der im Pendelapparat belichtete und dadurch geschwärzte Silberchlorid-Papierstreifen in einer Halterung vor der normierten Grauskala aufgebracht und über eine große Sammellinse mit dem gelben Licht der Natriumflamme eines Bunsenbrenners beleuchtet. Durch Einstellen des Schiebers mit der Grauskala bestimmt man den Punkt gleicher Schwärzung. An der darüber befindlichen Skala kann man nun eintragen, welcher Belichtungsdauer der Papierstreifen im Pendelapparat jeweils ausgesetzt war.

Robert Bunsen u. Henry Roscoe, „Photochemische Untersuchungen. Sechste Abhandlung: Meteorologische Lichtmessungen“, *Annalen der Physik und Chemie* 117 (1862), 529–562. – Georg Lockemann, *Robert Wilhelm Bunsen: Lebensbild eines deutschen Naturforschers*, Stuttgart 1949, bes. S. 136–137. – Ursula Boberlin, *Photochemische Untersuchungen von R. Bunsen und H. Roscoe im Vergleich mit den Arbeiten J.W. Drapers und W.C. Wittwers: Anfänge der quantitativen Photochemie im 19. Jahrhundert*, Berlin 1993, 194–196.

KM

### 4.3. *EIGENSCHAFTEN VON FESTKÖRPERN*

In seiner Heidelberger Rektoratsrede *Ueber das Ziel der Naturwissenschaften* hatte Gustav Kirchhoff 1865 es zur wichtigsten Aufgabe der Naturforschung erklärt, alle Naturerscheinungen letztlich auf Bewegung unveränderlicher Materien zurückzuführen. Die Mechanik war für ihn Grund- und Bezugswissenschaft, und aus mechanischen Gesetzmäßigkeiten, sollte sich der Gang der Natur, bei bekannten Ausgangsbedingungen, nicht bloß vorhersagen, sondern auch menschlichen Zwecken verfügbar machen lassen. Die Vereinigung der Molekularkräfte, der elektrischen Wirkungen, von Wärme und chemischer Reaktivität, die einheitliche Beschreibung von ponderabler Materie und elektromagnetischem Äther durch konsequente Reduktion auf Mechanik, war Kirchhoffs Ziel.

In den Zeichnungen Friedrich Veiths sind aus diesem Forschungsprogramm nur zwei Themen vertreten: die Untersuchungen von Augustus Matthiessen zur elektrischen Leitfähigkeit der Alkali- und Erdalkalimetalle [→ 4.3.1.] und die Experimente von Michail Okatow zur Elastizität von Festkörpern – beides Arbeiten, die von Gastwissenschaftlern im Mathematisch-Physikalischen Seminar bei Kirchhoff durchgeführt wurden.

Gustav Kirchhoff, *Ueber das Ziel der Naturwissenschaften*, Heidelberg 1865. – Christa Jungnickel u. Russell McCormach, *Intellectual Mastery of Nature: Theoretical Physics from Ohm to Einstein*, Bd 1, Chicago 1986, 295–297.

CM

#### 4.3.1. *Natrium- und Kaliumpresse*

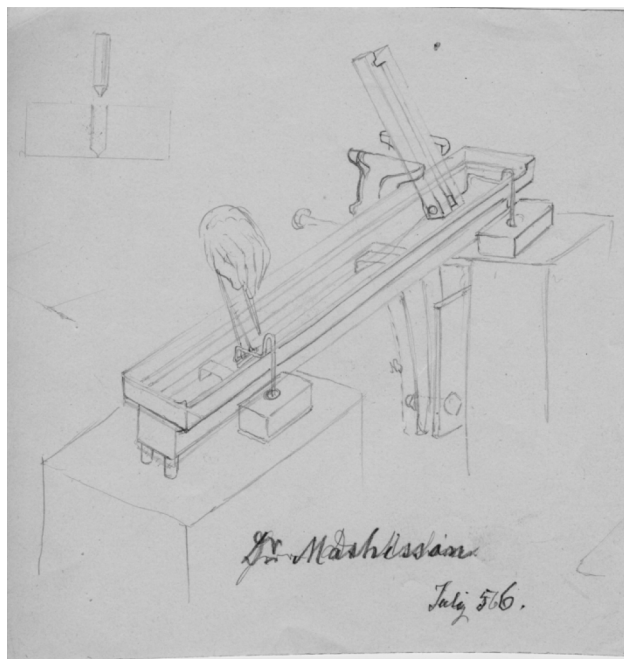
[\*39] Bleistiftzeichnung, 15,2 x 14,7 cm; bez.: Herrn Dr. Mathissin, July 56 / überschrieben mit: Dr. Mathisson, Juli [18]56

Als Augustus Matthiessen 1853 nach Heidelberg kam, arbeitete er zunächst im Laboratorium von Robert Bunsen und beschäftigte sich fast ausschließlich mit der Erforschung der Elemente aus den ersten zwei Hauptgruppen der Alkali- und Erdalkalimetalle. Von besonderem Interesse waren für ihn dabei ihre elektrolytische Darstellung und ihre physikalischen Eigenschaften, v.a. die elektrische Leitfähigkeit. Wie die Veröffentlichungen aus seinen letzten zwei Jahren in Heidelberg belegen, wechselte Matthiessen für die Erforschung der letzteren in das Physikalische Laboratorium von Gustav Kirchhoff. Bei diesen Untersuchungen konnte er an ältere Arbeiten von Antoine Becquerel anknüpfen, dessen Ergebnisse er dank technischer Verbesserungen revidieren konnte.

Die Zeichnung zeigt eine Natriumpresse, wie sie Matthiessen für die Herstellung von Drähten aus weichen Metallen wie Natrium oder Kalium benutzt hat. Die Drähte wurden zur Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit gebraucht. Die Möglichkeit, aus Alkali- und Erdalkalimetallen Drähte zu pressen, war jedoch nicht nur für die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit von Bedeutung, sondern diente ihm auch zur Bestimmung ihrer Stellung in der thermo-elektrischen Spannungsreihe.

Da Alkali- und Erdalkalimetalle mit vielen Stoffen (wie Sauerstoff oder Wasser) sehr leicht reagieren, ist die Arbeit mit ihnen schwierig und erforderte einen für die damalige Zeit beträchtlichen materiellen Aufwand sowie bestimmte technische Neuerungen.

Die Presse bestand im Wesentlichen aus einem massiven Stahlstück, in das eine runde Höhlung hineingebohrt war, die sich an einem Ende zu einer kleinen Öffnung verengte (oben links). Das Metall wurde mit einem stählernen Stempel mit Hilfe eines Schraubstocks in die Bohrung hineingepresst und durch die kleine Öffnung herausgetrieben. Der austretende Draht wurde sogleich von einer speziellen Klemme erfasst, so dass man damit gerade und relativ lange Drähte auch aus besonders weichen Metallen herstellen konnte. Wegen der extrem leichten Oxidierbarkeit musste dieses Ver-



fahren unter Ausschluss von Luft und Feuchtigkeit durchgeführt werden. Matthiessen tauchte deshalb die ganze Apparatur in einen mit Petroleum gefüllten Trog. Um die relativ kleine Presse durch den Schraubstock zu betätigen, wurde sie zwischen zwei eisernen Balken befestigt, von denen der eine die Presse festhält und der andere den Stempel drückt (rechts oben). Die Hand auf der Zeichnung ist gerade dabei, den frisch ausgepressten Draht mit einer kleinen Zange in der Klemme zu fixieren. Die Klemmen selbst waren mit Draht an zwei Holzklötzen (rechts vom Trog) befestigt. Der Trog mit dem zugehörigen Schraubstock steht auf zwei Sockeln, deren Höhe die Handhabung der Presse erleichtern sollte.

Matthiessens Natriumpresse vermittelt einen guten Eindruck von der hohen Bedeutung des manipulativen Geschicks beim Experimentieren und der wichtigen Rolle auch kleiner, apparativ-technischer Innovationen in den Experimentalwissenschaften des 19. Jahrhunderts.

[Augustus Matthiessen,] „Ueber die Leitfähigkeit für Elektricität von Kalium, Natrium, Lithium, Magnesium, Calcium und Strontium, mitgetheilt v. G. Kirchhoff“, *Annalen der Physik und Chemie* 100 (1857), 177–193, Taf. III. – [Augustus Matthiessen], „Darstellung des Lithiums, von R. Bunsen, Briefliche Mittheilung“, *Annalen der Chemie und Pharmacie* 94 (1855), 107–111. – Augustus Matthiessen „Ueber die thermo-elektrische Spannungsreihe, mitgetheilt v. G. Kirchhoff“, *Annalen der Physik und Chemie* 103 (1858), 412–428. – Augustus Matthiessen „Ueber die elektrische Leitungsfähigkeit der Metalle“, *Annalen der Physik und Chemie*, 103 (1858), 428–434. – Ders., „Ueber die elektrische Leitfähigkeit der Legirungen“, *ebd.* 110 (1860), 190–221.

PK

#### 4.3.2. *Detail aus dem Apparat zur Leitfähigkeitsmessung*

[\*40] Bleistiftzeichnung, 14,8 x 17,8 cm; bez.: Dr. Mathiessen, 1856

Die vergleichenden Widerstandsmessungen an den einzelnen Metallen wurden von Matthiessen nicht nur unter konstanten Bedingungen durchgeführt; er untersuchte auch die Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der Temperatur. Dazu presste er die Metalle



unter Ausschluss von Luft in dünne Glasröhren, in welche an zwei Stellen Platindrähte eingeschmolzen wurden. Die Zeichnung zeigt Details seiner Apparatur (oben; bez.: „NB: Die Kugel beim ersten App. leer“), sowie ein Detail der vorgesehenen Halterung für die gefüllte Glasröhre (unten; bez.: „gefüllt“).

[Augustus Matthiessen], „Ueber die Leitfähigkeit für Elektrizität von Kalium, Natrium, Lithium, Magnesium, Calcium und Strontium, mitgetheilt v. G. Kirchhoff“, *Annalen der Physik und Chemie* 100 (1857), bes. S. 187–188 u. Taf. III.

PK

### 4.3.3. *Materialuntersuchungen an Stahlstäben*

[\*41] Bleistiftzeichnung, 21,3 x 30,1 cm; bez.: für einen älteren poln. Professor / für Dr. Ochow, 1863

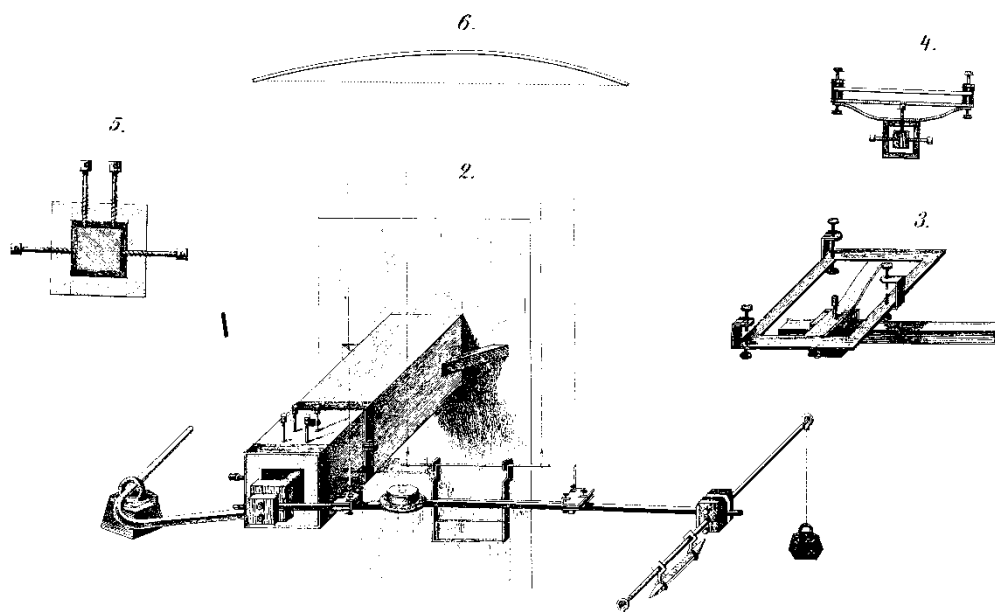
Materialuntersuchungen von festen Stoffen, vor allem Metallen, spielten besonders im 19. Jahrhundert eine große Rolle in der Physik. Mit den Fortschritten der Chemie hielten neue Theorien Einzug in die Materialwissenschaft. Die Vorstellung von Molekülen, aber ganz allgemein mikroskopische Theorien, erlaubten einen neuen Blick auf die Ursachen verschiedener thermischer und mechanischer Eigenschaften von Festkörpern. Das Verständnis von Elastizitätsmodulen, Ausdehnungskoeffizienten oder Steifigkeiten von Metallen war zum Beispiel für den rasch fortschreitenden Maschinenbau immens wichtig. Kein Wunder also, dass auch in Heidelberg an diesen Fragen geforscht wurde. Eine theoretische Abhandlung von Kirchhoff befasst sich mit dem „Verhältnis der Quercontraction zur Längendilatation bei Stäben von federhartem Stahl“.

Durch Messung dieses Verhältnisses konnte geprüft werden, ob gehärteter Stahl als homogen und in allen Richtungen gleichmäßig elastisch angenommen werden darf. Kirchhoff entwickelte dazu eine Theorie, die dieses Verhältnis in Abhängigkeit vom Torsions- und Biegungswinkel angibt. Über die Messung dieser Winkel konnten wichtige Materialdaten abgeleitet werden.

Der Professor für Mechanik und Mathematiklehrer Michail Okatow aus St. Petersburg arbeitete im Winter 1862/63 mit Kirchhoff zusammen und entwickelte neue Versuchsanordnungen. Dabei fand er heraus, dass die elastischen Eigenschaften sowohl von der Art des Stahls als auch von der Form und den Maßen des Stabes abhängen. Außerdem untersuchte Okatow die Veränderung der Werte, nachdem der Stahl ausgeglüht und abgekühlt worden war: Bei allmählichem Abkühlen erhielt er einen isotropen Stab; beim gezogenen und gehärteten Stahl hingegen ergaben sich anisotrope Stäbe.

In der Zeichnung ist eine Befestigungsmöglichkeit für Stahlstäbe dargestellt, deren Biegung und Torsion untersucht werden sollte. Die Bleistiftskizzen sind eine Vorstudie zu den Tafeln in Okatows Artikel für die *Annalen der Physik und Chemie* mit dem Titel „Ueber das Verhältnis der Quercontraction zur Längendilatation bei Stahlstäben“.

Ein Quader ist an einer Wand befestigt, angeschlossen ist eine Art Schraubstock, in den die Stahlstäbe eingespannt werden können. Diese Vorrichtung ermöglichte eine Bewegung und Neigung des Stabes, denn Okatow maß die betreffenden Winkel über Lichtzeiger. Die dafür benötigten beiden Spiegel waren auf dem Stab direkt über kleine Spiegelhalter angebracht. Einen Spiegelhalter sieht man in einer Detailzeichnung rechts. Die Justierschrauben des Stabträgers sind links oben vergrößert dargestellt.



Michail Okatow, „Ueber das Verhältniß der Quercontraction zur Längendilatation bei Stahlstäben“, *Annalen der Physik und Chemie* 119 (1863), 11–42; Taf. II.

Der Stab wurde zu Beginn des Experiments so eingestellt, dass er waagrecht aus dem Träger nach rechts herausragte. Über den Träger konnten nun die Lichtzeiger so justiert werden, dass die Torsions- und Biegewinkel mit zwei Fernrohren betrachtet werden konnten. Die Fernrohre sind nicht dargestellt. Okatow befestigte am rechten Ende des Stabes einen Ausleger im rechten Winkel. Mit einem Gewicht an diesem Ausleger konnte er nun sowohl ein Drehmoment um die Längsachse des Stabs als auch eine Kraft auf das Stabende selbst ausüben. Außer den beiden Spiegelträgern ist auf der Skizze noch eine Dosenlibelle und eine Skala am Stab selbst zu sehen, am Ausleger befindet sich eine Wasserwaage.

Das Blatt war ursprünglich mit „für einen älteren poln[ischen] Professor“ bezeichnet worden. Möglicherweise hat Veith den Namen schon damals nicht richtig verstanden und bei der späteren Ordnung des Bestandes dann „für Dr. Ochow“ darüber gesetzt.

Michail Okatow, „Ueber das Verhältniß der Quercontraction zur Längendilatation bei Stahlstäben“, *Annalen der Physik und Chemie* 119 (1863), 11–42; Taf. II. – Gustav Kirchhoff, „Ueber das Verhältniß der Quercontraction zur Längendilatation bei Stäben von federhartem Stahl“, *Annalen der Physik und Chemie* 108 (1859), 369–392. – Christa Jungnickel u. Russell McCormach, *Intellectual Mastery of Nature: Theoretical Physics from Ohm to Einstein*, Bd 1, Chicago 1986, 295–297.

BM

#### 4.3.4. Detail für einen Übertragungsmechanismus

[\*56] Bleistiftzeichnung, 22 x 29,5 cm; bez.: 1874 gezeichnet für Dr. ?

Die Zeichnung zeigt in vier unterschiedlichen perspektivischen Aufsichten technisch-konstruktive Details einer Vorrichtung, bei der ein mit einem Pendel oder Hebel verbundenes Zahnrad in ein als Zahnstange ausgebildetes Kreissegment eingreift. Der

Zweck der Vorrichtung ließ sich nicht ermitteln, und es ist das einzige Blatt im Bestand, das sich keinem Auftraggeber zuordnen und daher auch keiner bestimmten Publikation zuordnen ließ. Als Veith den Bestand seiner Vorzeichnungen zusammenstellte und beschriftete, war ihm der Name des Forschers, für den er gezeichnet hatte, vermutlich bereits entfallen, so dass er auf das Blatt bloß „gezeichn. für Dr. ?“ schrieb.

CM