

5. *MECHANIK DES LEBENS*

Mit dem Ende der alten Naturgeschichte um 1800, der Herausbildung des Systems wissenschaftlicher Disziplinen und der damit einhergehenden Neuordnung des Wissens von der Natur gewann die Frage nach dem Verhältnis von belebter und unbelebter Natur neue Aktualität. Lässt sich ‚Leben‘ auf chemisch-physikalische Ursachen zurückführen, oder ist es ein Zustand, der sich einer besonderen ‚Lebenskraft‘ verdankt? Oder eine Eigenschaft, die auftritt, wenn Materie durch natürliche Kräfte in einem bestimmten Komplexitätsgrad organisiert ist? Und wäre es dann prinzipiell möglich, die Funktionsweise von Organen oder die Lebensäußerungen von Organismen auf rein chemisch-physikalische Gesetzmäßigkeiten zu reduzieren? Müsste die Forschung hier nicht an eine prinzipielle Grenze der Erkennbarkeit stoßen? Der Mediziner Johannes Müller (1801–1858), Professor in Bonn und Berlin, hatte aus diesen philosophischen Fragen ein Forschungsprogramm für die experimentelle Physiologie gemacht. In dessen Zentrum stand die Hypothese einer Lebenskraft, deren spezifische Energien sich aus dem Verhältnis von Reiz und physiologischer Antwort bestimmen lassen sollten. Müllers Schüler, allen voran Hermann (von) Helmholtz [→ 7.5.] und Emil Du Bois-Reymond (1815–1895), wandten sich jedoch vom Vitalismus und der teleologischen Natursicht ihres Lehrers ab und entfalteten ein konsequent reduktivistisches Forschungsprogramm: Du Bois auf dem Gebiet der Elektrophysiologie, indem er Lebensvorgänge so in physikalische Experimente umsetzte, dass ‚Lebenskraft‘ als Potentialdifferenz messbar würde; Helmholtz, indem er auf dem Gebiet der Muskelphysiologie den Nachweis zu führen suchte, dass der Energieerhaltungssatz – als oberstes physikalisches Prinzip – auch für Organismen gilt und damit die Annahme einer besonderen Lebenskraft entbehrlich wird.

Die Physiologie ist eine der faszinierendsten Naturwissenschaften des 19. Jahrhunderts. Mit ihr entstand die moderne, naturwissenschaftliche Medizin, und ihre Methoden veränderten die ärztliche Praxis grundlegend. Die Erfolgsgeschichte der Physiologie gründet sich nicht zuletzt darauf, dass es dem Fach gelang, auf experimentellem Weg völlig neue Antworten auf die alten Fragen nach Gesundheit und Krankheit zu geben. Zu einem großen Teil verdankt sich der Erfolg dieser Wissenschaft dem Einsatz von Messinstrumenten, mit deren Hilfe physikalische Parameter registriert und Stoffwechselfvorgänge chemisch-quantitativ analysiert werden konnten.

Obwohl mit dem Kliniker Jakob Henle (1809–1885) physiologische Themen in Heidelberg bereits früh große Bedeutung gewannen, beginnt die eigentliche Institutionalisierung des Faches 1858 mit der Berufung des damals gerade 37jährigen Helmholtz auf den neugeschaffenen Lehrstuhl für Physiologie. Damit war ein Weg in die physikalische Richtung der Physiologie vorgezeichnet, der Helmholtz 1870 dann folgerichtig auf den Lehrstuhl für Physik an der Berliner Friedrich-Wilhelms-Universität führte.

Timothy Lenoir, *The Strategy of Life: Teleology and Mechanics in Nineteenth-Century Biology*, Chicago 1982. – Hans Schäfer, Hans-Günther Sonntag u. Georg Schmidt, „Von der Physiologie zu den ökologischen Fächern“, in: *SEMPER APERTUS* 4 (1985), 165–181. – Soraya de Chardarevian, „Graphical Method and Discipline: Self-Recording instruments in Nineteenth-Century Physiology“, *Studies in the History and Philosophy of Science* 24 (1993), 267–291.

5.1. *MOTORIK UND SINNESORGANE*

In Heidelberg entfaltete Helmholtz ein ungewöhnlich vielfältiges und fruchtbares Forschungsprogramm, und mit dem Umzug in den 1863 vollendeten Friedrichsbau, in dem auch Kirchhoff arbeitete und wohnte, verbesserten sich seine Möglichkeiten erheblich. Im Zentrum seiner Arbeiten standen Fragen der Reizleitung in den Nerven und der Muskelaktion, vor allem aber Untersuchungen zur Sinnesphysiologie. Dabei ging es ihm einerseits um ein physikalisches Verständnis des Hörvorganges, andererseits um die Augenbewegungen und deren Beziehung zum binokularen Sehen und der Orientierung im Raum. Die Gesetze der Mechanik und das Prinzip des Energieerhalts lieferten dabei die theoretischen Bezugsgrößen; Untersuchungsmethoden waren das Experiment und das Modell, Ziel war eine stringent mathematische Formulierung, die anschließend experimentell überprüft wurde.

Die Sinnesphysiologie war für Helmholtz so etwas wie eine Schnittstelle zwischen Philosophie, Erkenntnistheorie, Anatomie und Physik. Angesichts der ausgeprägten philosophischen Interessen von Naturforschern, für die die Philosophie Kants noch Bestandteil des Rigorosums war, versprach gerade die Sinnesphysiologie einen neuen Zugang zu alten erkenntnistheoretischen Fragestellungen – die nun auf einmal mit Methoden der Experimentalforschung lösbar erschienen. In der stark beachteten *Geschichte des Materialismus* aus der Feder des Neukantianers Friedrich Albert Lange, deren erste Auflage 1866 herauskam, erscheint die experimentelle Physiologie deshalb geradezu als „der entwickelte oder der berichtigte Kantianismus“. Hinsichtlich der Frage, ob Kategorien unsere Sinneserkenntnis wie Raum und Zeit dem Menschen eingeboren sind oder erst durch die Verknüpfung von Sinneseindruck und Motorik erlernt werden, was zwischen Vertretern des Nativismus und solchen des Empirismus heftig umstritten war, bezog Helmholtz aufgrund seiner physiologischen Arbeiten eine klar empiristische Position.

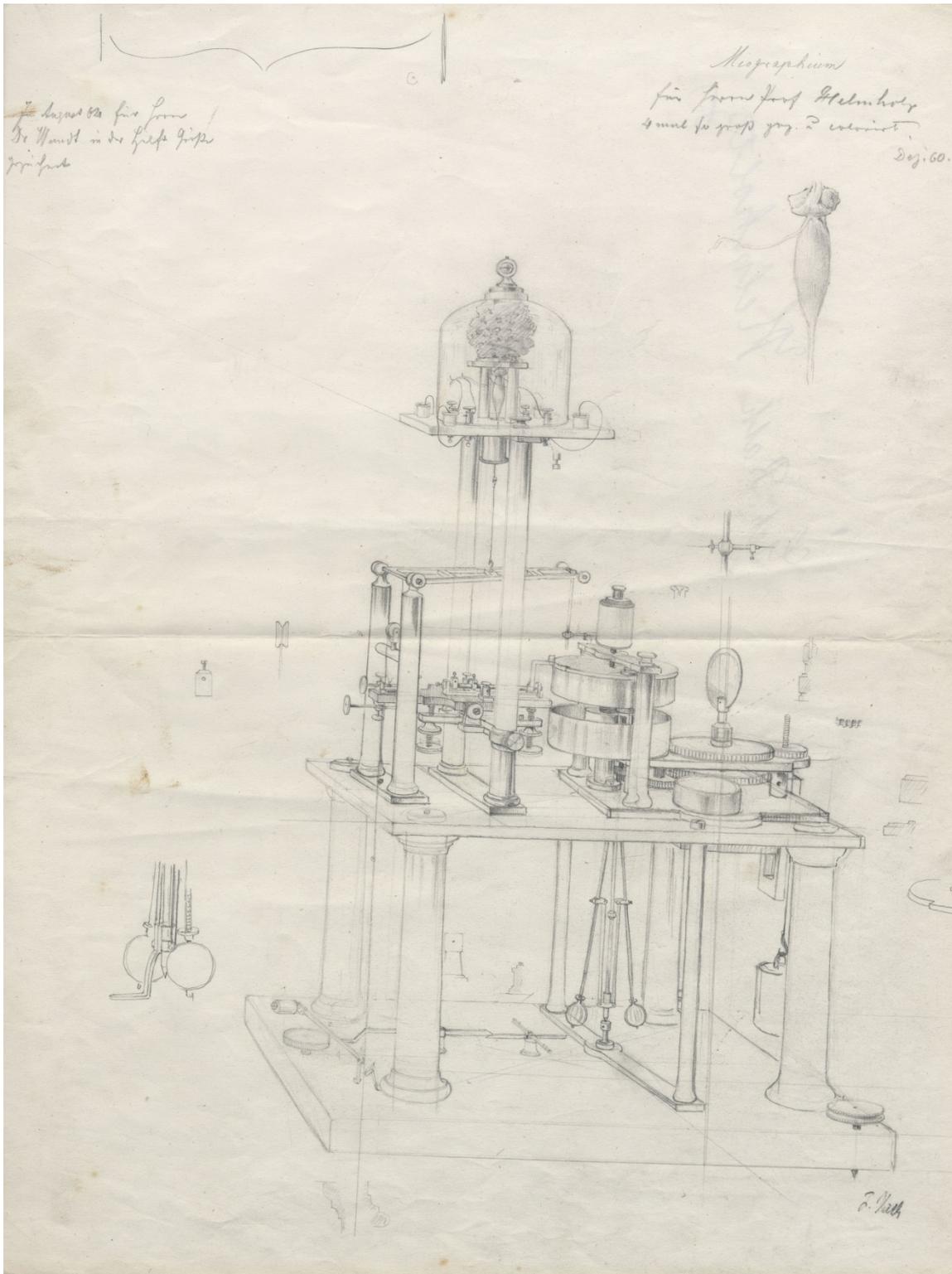
David Cahan (Hg.), *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science*, Berkeley 1993.

CM

5.1.1. *Myographium*

[*20] Bleistiftzeichnung, 41,4 x 31,7 cm; bez.: Im August [18]64 für Herrn Dr Wundt in der Helft Größe gezeichnet / Miographium für Herrn Prof Helmholtz 4mal so groß gez. u. colorirt Dez. [18]60 / F. Veith

Das Myographium ist ein Apparat zur Erzeugung und Aufzeichnung der durch elektrische Stöße hervorgerufenen Zuckungen eines Froschmuskels. Den Prototyp hatte Helmholtz bereits in Königsberg von dem dortigen Mechanikus Egbert Rekoss anfertigen lassen und 1850/52 in *Müller's Archiv für Anatomie und Physiologie* publiziert. Es interessierten ihn dabei die „Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“. Während die Apparatur in der Erstpublikation, einer Vorlage von Helmholtz folgend, eher im Stil einer technischen Schnitt- und Konstruktionszeichnung publiziert ist, fertigte Veith die sehr sorgfältig und zweifellos direkt vom Objekt her aufgenommene Zeichnung in perspektivischer Aufsicht. Dadurch wirkt der Apparat viel plastischer als in der



[*20] Bleistiftzeichnung, 41,4 x 31,7 cm; bez.: Im August [18]64 für Herrn Dr Wundt in der Helft Größe gezeichnet / Miographium für Herrn Prof Helmholtz 4mal so groß gez. u. coloriert Dez. [18]60 / F. Veith.

Publikation und erweckt den Eindruck von Stabilität und Größe. Tatsächlich handelt es sich aber um ein relativ zierliches Gerät von hoher Komplexität und äußerst filigraner Natur – der Gebrauch des empfindlichen Mechanismus verlangt vom Forscher aufgrund der Schnelligkeit seiner Abläufe viel Fingerspitzengefühl und Sorgfalt. Das originale Helmholtzsche Myographium steht als Teilrekonstruktion in der Dauerausstellung des Heidelberger Universitätsmuseums.

Der Wadenmuskel eines Frosches ist unter einer Glasglocke aufgehängt, oberhalb von ihm befindet sich ein nasser Schwamm, der den Innenraum der Glocke feucht hält. An verschiedenen Stellen des Muskels und des Hüftnervs sind vier Kupferdrähte befestigt, die über Klemmschrauben nach außen in leitender Verbindung mit quecksilbergefüllten Näpfchen stehen, durch die der Strom für die Reizung des Präparates geleitet wird. An der Achillessehne hängt über Häkchen ein Hebel, der an einem Ende an zwei Messing-säulen befestigt ist und dessen anderes Ende über einen weiteren Hebel eine Stahlspitze trägt. Diese zeichnet die Zuckungen des Muskels auf einen sich rasch drehenden, berußten Glaszylinder auf.

Die mechanische Erzeugung einer gleichmäßigen Drehung des Zylinders mit Hilfe eines Uhrwerks stellte zu Helmholtz' Zeit ein noch ungelöstes Problem dar. Für sein Myographium konnte er dieses umgehen, indem er ein Uhrwerk konstruierte, dessen Geschwindigkeitsschwankungen nur langsam auftraten. So konnte er sie bei der bemerkenswert hohen Geschwindigkeit des Zylinders von sechs Umdrehungen pro Sekunde vernachlässigen. Helmholtz fügte einem üblichen Uhrwerk eine Schwungscheibe aus Blei hinzu, die auf derselben Achse wie der Zeichenzylinder befestigt ist und deren Flügel in einer teilweise mit Öl gefüllten Rinne umlaufen. Durch Einstellen dieser Flügel ist eine Regulation der Uhrwerksgeschwindigkeit möglich. Deren Veränderung wird auch anhand eines Fliehkraftreglers sichtbar gemacht, dessen Schwungkugeln mit zunehmender Geschwindigkeit einen größeren Abstand voneinander einnehmen.

Mit der Schwungscheibe ist eine Vorrichtung zum rechtzeitigen Auslösen des elektrischen Schlages verbunden: Ein sog. „Daumen“ am oberen Rand der rotierenden Schwungscheibe betätigt einen Hebel, der auf einem kippbaren, federgelagerten Messingkreuz angebracht ist, wodurch ein Induktionsstrom ausgelöst wird. Durch Kippen des Messingkreuzes kann das Zusammentreffen von Daumen und Hebel manuell verhindert werden.

In der Zeichnung sind die Spulen zur Erzeugung des Induktionsstroms nicht enthalten. Statt dessen finden sich auf dem Blatt einige Zusatzskizzen, die Details der Apparatur vergrößert darstellen: so z.B. den Froschmuskel, die Befestigung der Stahlspitze oder den Fliehkraftregler. Dies sind Aspekte, die für den Bau eines solchen Geräts wichtig sind. Daneben sind allerdings auch Details ausgearbeitet, die eher von ästhetischem Reiz sind, wie z.B. die plastische Ausführung der Holzsäulen, die das Myographium tragen, und in deren Ausführung Veith seine Ausbildung als Künstler nicht verleugnen kann. Anders als die übrigen Blätter aus unseres Bestandes hat er dieses denn auch sorgfältig mit vollem Namen signiert.

Hermann Helmholtz, „Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven: Am 19. Juli 1850 der Physikalischen Gesellschaft in Berlin mitgeteilt“, *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin* (1850), 276–364 u. Taf. VIII. – Ders., „Messungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven“, *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin* (1852), 199–216 u. Taf. VII.

5.1.2. *Abhängigkeit der Ermüdung der Muskeln von ihrer Arbeit*

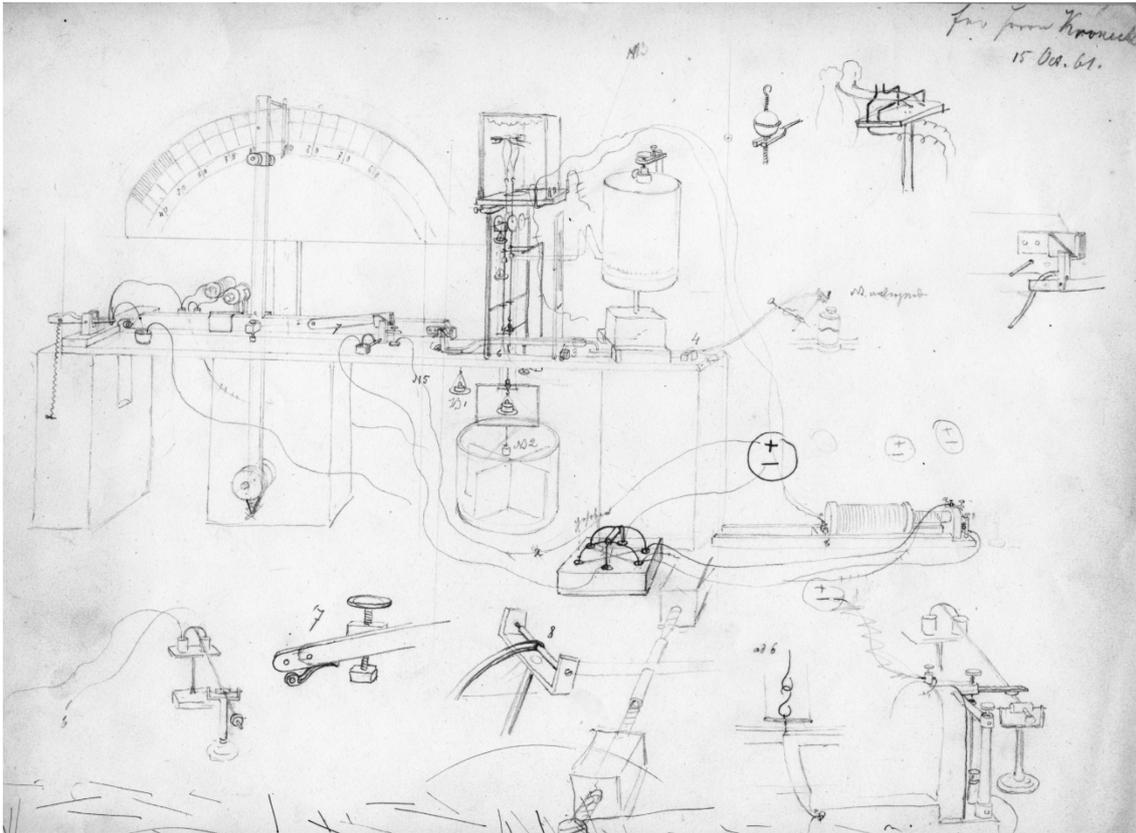
[*37] Bleistiftzeichnung, 22,8 x 30,3 cm; bez.: für Herrn Kronecker, 15. Oct. [18]61

Die Skizze ist die Vorlage für Tafel I aus der Dissertation Hugo Kroneckers *De ratione qua musculorum defatigatio ex labora eorum pendeat* aus dem Jahre 1863, mit der dieser auf Grund von Experimenten, die er 1860/61 bei Wilhelm Wundt in Heidelberg durchgeführt hatte, später bei Emil Du Bois-Reymond in Berlin promoviert wurde. Dargestellt ist eine Messapparatur für Belastungsversuche am Wadenmuskel (*Musculus gastrocnemicus*) des Frosches; einzelne Details sind dabei vergrößert herausgezeichnet. Das Messprinzip beruht auf der Beobachtung, dass die Kontraktionen eines elektrisch gereizten Muskels kontinuierlich abnehmen, also „Ermüdung“ zeigen. Mit der Apparatur wurde eine graphische Darstellung dieser Reaktion mit auswertbarer Skalierung erreicht. Die meisten Einzelteile hat Kronecker von anderen Autoren – z.T. modifiziert – übernommen, worauf er im Text immer wieder hinweist.

Im Zentrum des Versuchsaufbaus ist unter einem Glassturz, dessen Innenraum von einem mit destilliertem Wasser getränkten Schwamm feucht gehalten wird, ein Paar Froschmuskeln aufgehängt, deren *Nervi ischiadici* jeweils mit Kupferdrähten verbunden sind und auf diese Weise galvanisch gereizt werden können. Die elektrische Reizung erfolgt über einen Schlitteninduktor nach Du Bois-Reymond [→ 5.1.7.] mit nachgeschaltetem Stromwender. Während der eine Pol der sekundären Spule mit beiden Muskeln direkt verbunden ist, unterscheiden sich die Anschlüsse des anderen Pols: Derjenige Muskel, der kontinuierlich stimuliert wird, ist direkt mit dem zweiten Pol verbunden, wohingegen der Stromkreis zu dem anderen, bloß intermittierend stimulierten Muskel durch eine links in der Zeichnung gezeigte, als Schalter dienende Pendelvorrichtung für kurze Intervalle von jeweils ca. 0,13 sec geschlossen wird, so dass der Muskel sich periodisch kontrahiert.

Am freien Ende dieses Muskels hängt eine kleine variable Last an einer Schnur, über die die Muskelkontraktionen auf einer – hier nicht im Detail wiedergegebenen Registriervorrichtung, die der von Helmholtz in seinem Myographium [→ 5.1.1.] benutzten entspricht – mit Hilfe eines Schreiberarms aufgezeichnet werden. Im Ruhezustand liegt die anhängende Last auf einer Unterlage, damit der Muskel nicht permanent gedehnt wird. Zur Dämpfung von Torsionsbewegungen ist die Last unten mit einer Art liegendem Schaukelrad in einem ölgefüllten Zylinder verbunden. Über einen Umlenkhebel und einen zweiten Schreiberarm kann die Dauerkontraktion des zweiten Muskels, der permanent von Strom durchflossen wird, simultan aufgezeichnet werden.

Beide Schreiber sind über eine Schnur mit den freien Muskelenden verbunden. Durch Ausgleichsgewichte ist sichergestellt, dass auch noch kleinste Längenänderungen registriert werden. Die Schreiberarme selbst sind auf Elfenbein frei gelagert und übertragen die Muskelkontraktionen auf einen sich drehenden, beruhten Zylinder, so dass auf diesem zwei parallele Kurven in Abhängigkeit von der Zeit entstehen. Die gläsernen Schreibstifte sind vor dem Zylinder V-förmig umgebogen, um mittels Federwirkung für einen konstanten Andruck zu sorgen. Kronecker trieb offenbar großen Aufwand, um zu gewährleisten, dass die Reibung möglichst gering bleibt. Zur Vermeidung von äußeren oder durch Messung selbst hervorgerufenen Störungen sind mehrere Ausgleichs- und Dämpfungsvorrichtungen vorgesehen.



[*37] Bleistiftzeichnung, 22,8 x 30,3 cm; bez.: für Herrn Kronecker, 15. Dez. [18]61.

Die Arbeiten Kroneckers zur Muskelermüdung stehen im Kontext der Helmholtzschen Arbeiten zur Energiebilanz bei der Muskelarbeit und wenden den von diesem erfundenen und in Heidelberg fortentwickelten Myographen [→ 5.1.1.] auf eine konkrete muskelphysiologische Fragestellung an. Diese führte hier zu dem Ergebnis, dass von zwei Muskeln, die in gleicher Weise mechanisch belastet und durch Stromstöße gleicher Intensität zur Kontraktion veranlasst werden, derjenige, der zur über längere Zeit andauernden Kontraktion gezwungen wird, dabei aber keine mechanische Arbeit verrichten kann, rascher und stärker ermüdet, als derjenige Muskel, dem Gelegenheit gegeben wird, durch häufigen Wechsel von Ruhe und Erregung mechanische Arbeit zu leisten.

Hugo Kronecker, *De ratione qua musculorum defatigatio ex labora eorum pendeat*, Berlin 1863. – Ders., „Über die Ermüdung und Erholung der quergestreiften Muskeln“, in: *Arbeiten aus der Physiologischen Anstalt zu Leipzig*, 1871, 177–266. – Ders., „Über die Gesetze der Muskelermüdung“, *Monatsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 1870, 6629–6640.

MF

5.1.3. Stimmgabel auf Resonanzkörper

[*21] Bleistiftzeichnung, 15,5 x 15,6 cm; bez.: für Hofr. Helmholtz, 1862

Während seiner Laufbahn hat Helmholtz sich vielfach mit Tönen, Klängen und Harmonien beschäftigt. Dabei strebte er wie bei allen seinen physiologischen Arbeiten danach, sämtliche Naturscheinungen – in diesem Fall das menschliche Hörempfinden – auf einfache physikalische Kräfte zurückzuführen. Nach Helmholtz' Resonanztheorie soll

in der Gehörschnecke jede Frequenz eine bestimmte Stelle des Corti-Organs erregen, dessen Fasern wie Resonanzsaiten in den Rahmen der Schnecke eingespannt sind und je einer definierten Frequenz entsprechen. Für diesen reduktivistischen Forschungsansatz dienten Helmholtz neben Stimmgabeln die unterschiedlichsten Tonquellen als Untersuchungsobjekte: Musikinstrumente aller Art, Sirenen, Gläser, die menschliche Stimme oder sogar ein sich bewegender Muskel. Der Entstehungszeitpunkt der vorliegenden Zeichnung legt die Vermutung nahe, dass sie als Vorlage für die Abbildung in Helmholtz' *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* diene, welche 1862 in Druck ging und im folgenden Jahr erschien. Darin setzt er sich umfassend mit dem menschlichen Hörempfinden auseinander: So geht es ihm nicht nur um physiologische und physikalische Aspekte, sondern auch um musikwissenschaftliche und sogar harmonie-ästhetische Fragen. Noch zu Helmholtz' Lebzeiten erfuhr dieses Werk drei weitere Auflagen, und seine Bedeutung erstreckt sich weit über den Bereich der wissenschaftlichen Fachwelt hinaus. Die Stimmgabel auf dem Resonanzkörper beispielsweise ist bis heute ein im Schulunterricht beliebtes Mittel zur praktischen Demonstration von akustischen Phänomenen.

Neben Helmholtz' umfassendem Werk *Die Lehre von den Tonempfindungen* enthält auch sein im Winter 1857 in Bonn gehaltener Vortragszyklus „Über die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonie“ eine der vorliegenden Zeichnung entsprechende Abbildung.

Das Gerät besteht aus einer stählernen Stimmgabel, die in einer Halterung auf einem Resonanzkörper aus Holz angebracht ist, welcher selbst auf den Ton der Gabel abgestimmt ist. Helmholtz verwendete diese Vorrichtung, um das Phänomen des Mitschwingens anschaulich darzustellen.

Bringt man eine solche Stimmgabel z.B. durch Streichen mit einem Geigenbogen zum Schwingen, so wird eine zweite, ebenso gestimmte in der Nähe nach kurzer Zeit mitschwingen. Nun kann man bei der ersten etwa durch Auflegen der Hand deren Schwingung dämpfen, die zweite klingt weiter und regt die erste bei Freigabe wiederum an, usw.

Helmholtz wählte Stimmgabeln, da diese relativ schwer in Mitschwingung zu versetzen sind. Zum einen haben sie im Vergleich zu beispielsweise einer Saite eine relativ hohe träge Masse, zum anderen bringt sie nur zum Schwingen, was genau auf sie abgestimmt ist. Dabei reichen schon sehr kleine Verstimmungen wie etwa ein kleines Wachsplättchen auf einem Zinken einer der beiden Gabeln, um das Mitschwingen merklich zu verringern. Die Befestigung auf Resonanzkästen, die selbst auf den Ton der Gabel gestimmt sind, ist erforderlich, um den Effekt zu zeigen.

Hermann Helmholtz, *Die Lehre von den Tonempfindungen als Physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* [1863], 6. Aufl. hg. v. R. Wachsmuth, Braunschweig 1913, Fig. 13. – Hermann Helmholtz, „Ueber die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonie“, in: Ders., *Populäre wissenschaftliche Vorträge*, Heft 1, Braunschweig 1865, 55–91, Fig. 7.

5.1.4. *Ophthalmotrop nach Knapp*

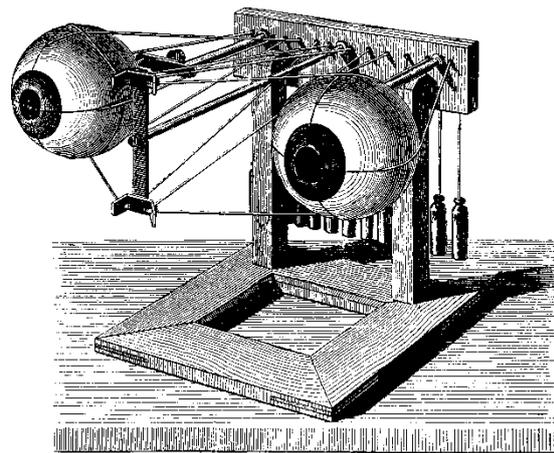
[*45] Bleistiftzeichnung, 12,5 x 15,6 cm; bez.: Dr. Roscoe, [18]61

Um die Augenbewegungen und insbesondere die Wirkung der an den Augäpfeln angreifenden Muskeln zu demonstrieren, hatte Christian Ruete, außerordentlicher Professor für Sinneskranke in Göttingen und später Ordinarius für Augenheilkunde in Leipzig, 1845 ein Modell konstruiert, das rasch populär wurde und von dem verschiedene, auch kommerziell vertriebene, Varianten existieren. Die bekannteste ist das 1861 von dem Heidelberger Privatdozenten Hermann Knapp (1832–1911) verbesserte Modell.

Knapp hatte sich im Wintersemester 1859/60 in Heidelberg für Augenheilkunde habilitiert und von 1861 an auch klinisch-ophthalmologische Vorlesungen angeboten. 1862 errichtete er mit einem staatlichen Zuschuss eine zunächst privat geführte Augenklinik, für die er 1865 ein persönliches Extraordinariat und einen laufenden Etat bekam. Als Otto Becker aus Wien 1868 Direktor der Heidelberger Augenklinik und ordentlicher Professor wurde, ging Knapp in die Vereinigten Staaten von Amerika und gründete in Greenwich Village, Manhattan, das New York Ophthalmic and Aural Institute, das heute Teil der Columbia University ist.

Um den Bewegungsapparat des Auges in einem Modell darzustellen, hatte Knapp die beiden Augäpfel auf einem Kugelgelenk um ihren Mittelpunkt drehbar gelagert und Äquator, Hornhaut und Meridiane auf ihnen markiert. Dort, wo die Muskeln angreifen, sind Fäden befestigt: jeweils vier, die den geraden Augenmuskeln entsprechen, führen durch vier nebeneinander liegende Löcher des dahinter befestigten Brettchens; jeweils zwei, die den beiden schiefen Augenmuskeln entsprechen, sind über kleine Umlenkrollen an einem senkrechten Balken geführt, der sich auf Höhe der Pupillen befindet. Jeder einzelne Faden wird durch ein angehängtes Gewicht gestrafft.

Die theoretische Grundlage liefert das Listingsche Gesetz (1853), wonach sich mit einem Modell, welches um beliebige Achsen drehbar ist, die daraus resultierenden Raddrehwinkel ohne explizite Berechnung darstellen lassen. Das Besondere an dem vorliegenden Modell war, dass man damit in jeder Sehachsenstellung und jedem Raddrehwinkel angeben konnte, welche Muskeln zur Erhaltung dieser Augenstellung wirksam sind. Dabei verändern sich die Drehachsen der Muskeln am Augapfel bei Änderung der Augenstellung wie am lebenden Auge. Das Modell dient außerdem zur Ablesung der Veränderungen der Muskellängen beim Wechsel von einer Augenstellung zu einer anderen, wofür am hinteren Teil des Modells eine Skala angebracht ist.



Ophthalmotrop nach Ruete/Knapp, Holzstich, aus: Hermann von Helmholtz, *Handbuch der physiologischen Optik*, 3. Aufl., Bd 3, Hamburg, Leipzig 1910, 102.

Roscoe, der die Zeichnung bei Veith in Auftrag gab, hat selbst nicht auf diesem Gebiet gearbeitet. Möglicherweise hat er dieses eindrucksvolle Demonstrationsmodell bei sei-

nem Aufenthalt in Heidelberg kennengelernt und wollte eine Skizze davon mit nach England nehmen.

Christian Ruete, *Ein neues Ophthalmotrop*, Leipzig 1857. – Hermann von Helmholtz, *Handbuch der physiologischen Optik*, 3. Aufl., Bd 3, Hamburg, Leipzig 1910, 101–102 (Abb.). – Robert Hampe, *Das Augenmuskelmodell nach Wilhelm Wundt*, Schriftliche Hausarbeit zur Prüfung für das Lehramt Gymnasium, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg 2004, v.a. 10–12. – Otto Becker, *Die Universitäts-Augenklinik in Heidelberg: Zwanzig Jahre klinischer Thätigkeit*, Wiesbaden 1888. – G.B. Kara, „History of New York eye and ear infirmary: One hundred fifty years of continuous service“, *New York State Journal of Medicine* 73 (1973), 2801–2808.

EM

5.1.5. *Ophthalmotrop zur Modellierung der Augenbewegung*

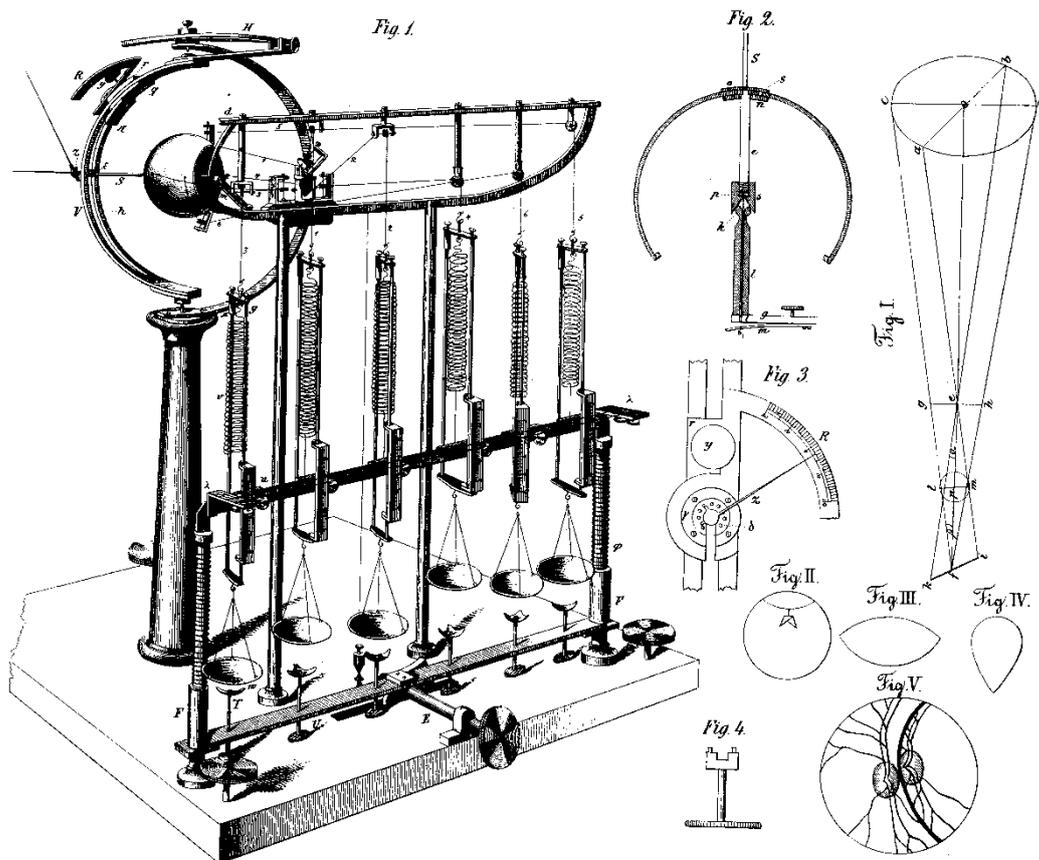
[*54] Bleistiftzeichnung, 28,9 x 21,5 cm; bez.: H. Dr. Wundt, 2. Juni [18]62

Im Umkreis der Knappschen Augenklinik [→ 5.1.4.] und der Helmholtzschen Arbeiten zur Sinnesphysiologie [→ 5.1.3.] bildete sich in Heidelberg ein neues, interdisziplinäres Arbeitsfeld heraus, dessen Programm Helmholtz mit einem im Mai 1863 vor dem Naturhistorischen Verein zu Heidelberg gehaltenen Vortrag „Über die Bewegungen des menschlichen Auges“ skizziert hatte. Sein damaliger Assistent Wilhelm Wundt, der später der Begründer der Experimentellen Psychologie werden sollte, hat dieses Gebiet gemeinsam mit Helmholtz bearbeitet.

Man hat Wundts Ophthalmotrop, das an das kurz zuvor von Hermann Knapp entwickelte, viel einfachere Augenmodell [→ 5.1.4.] anschloss, „the most sophisticated model of the nineteenth century“ (Simonsz/Tonkelaar, 103) genannt. Angefertigt hat es der Heidelberger Optiker und Mechaniker Ludwig Zimmermann. Das Modell sollte simulieren, wie sich das menschliche Auge unter Einwirkung der Kräfte der angreifenden Muskeln verhält und damit sozusagen eine physikalisch-mechanische Theorie der Augenstellungen liefern, um daraus experimentell die Gesetze der Augenbewegungen zu entwickeln. Der große Vorzug des Wundtschen Modells lag in der Möglichkeit, die angreifenden Kräfte und die resultierenden Stellungen zu quantifizieren.

Wundt verfolgte mit seinem Ophthalmotrop drei Ziele: Einmal wollte er mit Hilfe seines Modells die Theorie stützen, dass sich dieses in der Tat wie das menschliche Auge verhält, und zwar sollte die Statik der Augenstellung dem (von Helmholtz übernommenen) Prinzip des geringsten Gesamtwiderstandes entsprechen. Zweitens sollte das Modell sowohl die Praxis der Augenheilkunde verwissenschaftlichen, als auch die weitere Erforschung der Augenbewegung ermöglichen. Vor allem bei Schielpatienten sah Wundt ein gutes Einsatzgebiet für sein Modell. Nicht zuletzt diente das Ophthalmotrop zur Untersuchung, wie sich das Auge von einer Sehachsenstellung in eine andere bewegt, um daraus eine Gesetzmäßigkeit für solche Bewegungen aufzustellen.

Den Bulbus des Auges repräsentiert in diesem Modell eine Kugel aus Messing, welche mit Hilfe eines Kugelgelenkes in ihrem Mittelpunkt frei drehbar gelagert ist. Damit sich der Schwerpunkt des künstlichen Bulbus im Mittelpunkt befindet, wurde an der hinteren Öffnung des Bulbus ein entsprechend schwerer Bleiring angebracht. Idee wie auch Koordinaten, Muskelansätze und Muskelursprünge waren von Ruete und Knapp übernommen [→ 5.1.4.]. Wo die Augenmuskeln ansetzen, sind Bohrungen im Bulbus ange-



Wilhelm Wundt, „Beschreibung eines künstlichen Augenmuskelsystems zur Untersuchung der Bewegungsgesetze des menschlichen Auges im kranken und gesunden Zustande“, *Archiv für Ophthalmologie* 8/2 (1862), Taf.

bracht, von denen aus Fäden bis zu den jeweiligen Ursprungsorten gespannt sind. Dort befinden sich auf Spitzen gelagerte Rollen, die die Fäden – z.T. über weitere Rollen – zu den Modellmuskeln umleiten. Zur Minderung der Reibung verwandte Wundt im Bereich des Bulbus Silber- und im weiteren Verlauf feine Seidenfäden. Aus der Position der Muskelansätze ist zu ersehen, dass es sich um ein Modell des linken Auges handelt.

Zur Bestimmung der Sehachsenstellung spielen der Vertikalkreis und der Horizontalkreis eine wichtige Rolle. Am Vertikalkreis ist der höhenverstellbare Winkelkreis angebracht. Dessen Skala dient zur Messung des Raddrehwinkels. Der Vertikalkreis läuft drehbar auf Spitzen und kann für die dynamische Untersuchung (Untersuchung der Augenbewegung) ganz aus dem Instrument entfernt werden.

Die sechs am Bulbus angreifenden Modellmuskeln sind durch Federn dargestellt, deren unteres Ende mit dem Gestell und deren oberes Ende mit den Fäden, welche zu den Ansätzen des Bulbus laufen, verbunden sind. Verändert man die Stellung der Sehachse, so dass sich der Muskel verlängern würde, kommt es zu einer Dehnung der Feder.

Die aktiven Kräfte der Muskeln werden im Modell durch Gewichte simuliert. Dafür sind am oberen Ende der Federn Bügel fixiert, an denen Waagschalen hängen. Die durch das Auflagegewicht verursachte Kraft dehnt die Feder und simuliert so die Mus-

kelarbeit. Dabei kann die Kraft durch die Größe der Gewichte reguliert und damit quantifiziert werden.

Für die Untersuchungen der Augenbewegung aus beliebiger Augenstellung heraus sind unter den Waagschalen höhenverstellbare Auflageschälchen auf einer querlaufenden Metallleiste angebracht, die sich mit Hilfe eines mit einem Rändelrad verstellbaren Exzentrers verschieben lässt, so dass, wenn zuvor alle Waagschalen die Träger gerade leicht berühren, sämtliche angreifenden Gewichtskräfte gleichzeitig zu wirken beginnen.

Wilhelm Wundt, „Beschreibung eines künstlichen Augenmuskelsystems zur Untersuchung der Bewegungsgesetze des menschlichen Auges im kranken und gesunden Zustande“, *Archiv für Ophthalmologie* 8/2 (1862), 88–114, Taf., Fig. 1. – Robert Hampe, *Das Augenmuskelmodell nach Wilhelm Wundt*, Schriftliche Hausarbeit zur Prüfung für das Lehramt Gymnasium, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg 2004. – H.J. Simonsz u. I. den Tonkelaar, „Nineteenth-century mechanical models of eye movements, Donders' law, Listing's law and Helmholtz' directions circles“, *Documenta Ophthalmologica* 74 (1990), 95–112.

EM

5.1.6. *Akkommodation des Auges*

[*51] Bleistiftzeichnung, 20,3/20,7 x 19,3 cm; bez.: für Baron von Trautfeder im April [18]66

Mit der 1862 gegründeten, zunächst privat betriebenen Augenklinik von Jakob Hermann Knapp [→ 5.1.4.], die seit 1868 von Otto Becker als Universitäts-Augenklinik weitergeführt wurde, besaß Heidelberg eines der frühen Zentren für ophthalmologische Forschung. Dieses Fachgebiet verdankte seinen Aufschwung nicht zuletzt der Verwendung physikalischer Instrumente wie des von Helmholtz schon 1850 in Königsberg erfundenen Augenspiegels zur Darstellung des Augenhintergrundes oder seines Ophthalmometers, mit dem sich die Krümmung der Hornhaut messen lässt. Neu war aber vor allem das systematische Experimentieren am lebenden Tier.

Trautvetter hatte bereits in Kiew an Kaninchen, Katzen und Hunden Versuche angestellt, um herauszufinden, welche Nerven für die Akkommodation, d.h. die Anpassung der Augenlinse an unterschiedliche Distanzen, verantwortlich sind und ob diese den Ziliarmuskel oder die Iris innervieren. Dazu wurden Nervus sympathicus, N. oculomotorius bzw. N. trigeminus chirurgisch freigelegt und galvanisch gereizt. Kontrahierte die Augenlinse, so zeigte sich dies am veränderten Reflexionsmuster von punktförmigen äußeren Lichtquellen auf Hornhaut und Linsenkapsel, den sogenannten Purkinje-Sansonschen Bildchen.

Die in Russland angestellten Versuchsreihen Trautvetters hatten jedoch zu keinem klaren Ergebnis geführt. Er beschloss daher, sich an „Helmholtz, diesen genialen Physiologen und Spezialisten in der Lehre von der Accommodation zu wenden“ (Trautvetter, 131), und wiederholte die Experimente in dessen Heidelberger Laboratorium. Dabei wurden nun auch die Einflüsse des intraokularen Drucks und die Beteiligung der Iris untersucht. An Tauben und Hühnern gelang Trautvetter schließlich der Nachweis, dass der Ziliarmuskel (Musculus ciliaris) die Akkommodation der Linse bewirkt und vom N. oculomotorius innerviert wird – tatsächlich allerdings vom N. parasympathicus, dessen Strang Trautvetter von dem des N. oculomotorius nicht unterschied.

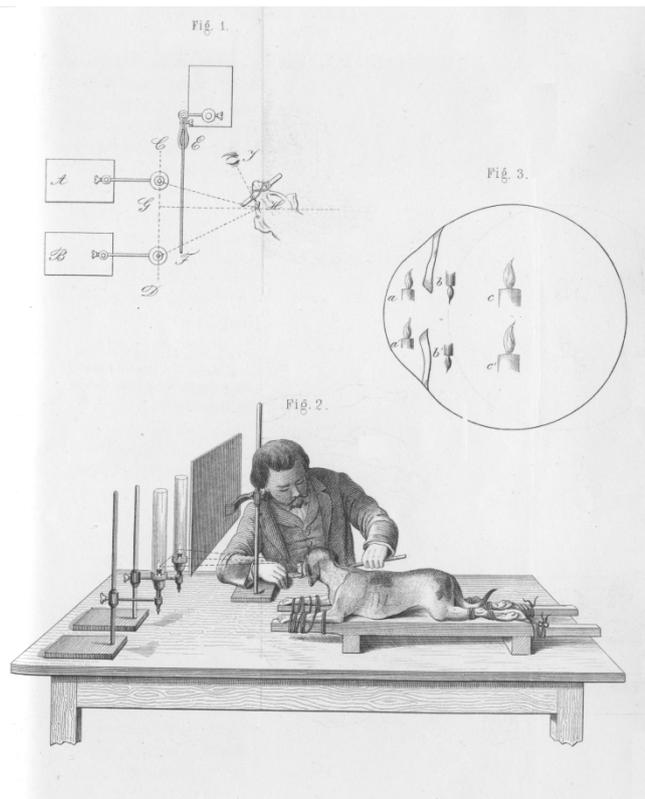
Die Zeichnung zeigt die Versuchsanordnung in Schrägansicht und darüber in Aufsicht. Im verdunkelten Labor wird das Versuchstier – in der Zeichnung ein Hund – auf einer beweglichen Holzlade fixiert und bekommt einen Stock zwischen die Zähne, an dem der Experimentator zugleich die Stellung des Tierkopfes und damit der Augen einstellen kann. Vor dem Versuchstier steht ein Paar Gaslampen, deren Licht axial auf die Pupille des Tierauges fällt. Ein an einem Stativ befestigter Schirm verhindert, dass ihr Licht den Experimentator blendet. Nun wird entweder der N. sympathicus am Hals des lebenden Versuchstiers freigelegt oder dessen Schädeldach aufgesägt, die beiden Großhirnhälften entfernt, um Zugang zu den N. oculomotorius bzw. trigeminus zu bekommen. Die Nervenstränge werden durchtrennt und mittels aufgesetzter

Elektroden gereizt. Der Experimentator bringt sein Auge nun auf Höhe des Tierauges und beobachtet, ob sich beim Anlegen von Spannung das Reflexionsmuster der beiden Lichtquellen in dessen Auge verändert. Um Störungen auszuschalten, durchtrennte Trautvetter nötigenfalls vorher die Augenmuskeln oder schnitt die Augenlider heraus.

Mit der Zeichnung von Veith war der Autor der Arbeit allerdings nicht völlig zufrieden: Der Stock erschien ihm zu lang geraten, und außerdem hätte der Experimentator gebückter dargestellt werden sollen, Auge in Auge mit dem Hund.

Unter den erhaltenen Blättern Veiths ist dieses das einzige, das einen Menschen und ein Tier zeigt – und zwar sowohl in der Zeichnung wie auch in der danach ausgeführten Lithographie mit der Geste einer geradezu fürsorglichen Hinwendung zu dem Hund, gerade so, als spiele er mit diesem Fass-den-Stock. Man mag dies als das künstlerische Fortwirken eines konventionellen Bildtypus deuten, oder sollte Veith hier bewusst oder unbewusst das blutige und qualvolle Versuchsgeschehen verdrängt haben? Eine Anti-Vivisektions-Bewegung hat sich in Deutschland jedenfalls erst 1879 formiert.

D. von Trautvetter, „Ueber den Nerv der Accomodation“, *Archiv für Ophthalmologie* 12 (1866), 95–149, Taf. II. – Wolfgang Jaeger, „Theodor Leber und die Begründung der Experimentellen Ophthalmologie“, in: *SEMPER APERTUS* 2 (1985), 321–331. – Hubert Bretschneider, *Der Streit um die Vivisektion im 19. Jahrhundert*, Stuttgart 1962. – Christine Nawa und Christoph Meinel, „Augen-Blicke fixiert“, in: *Ikongraphie des Gehirns*, hrsg. von Matthias Bruhn, Bildwelten des Wissens: Kunsthistorisches Jahrbuch für Bildkritik, Bd 6/1, Berlin 2008, 58–62.

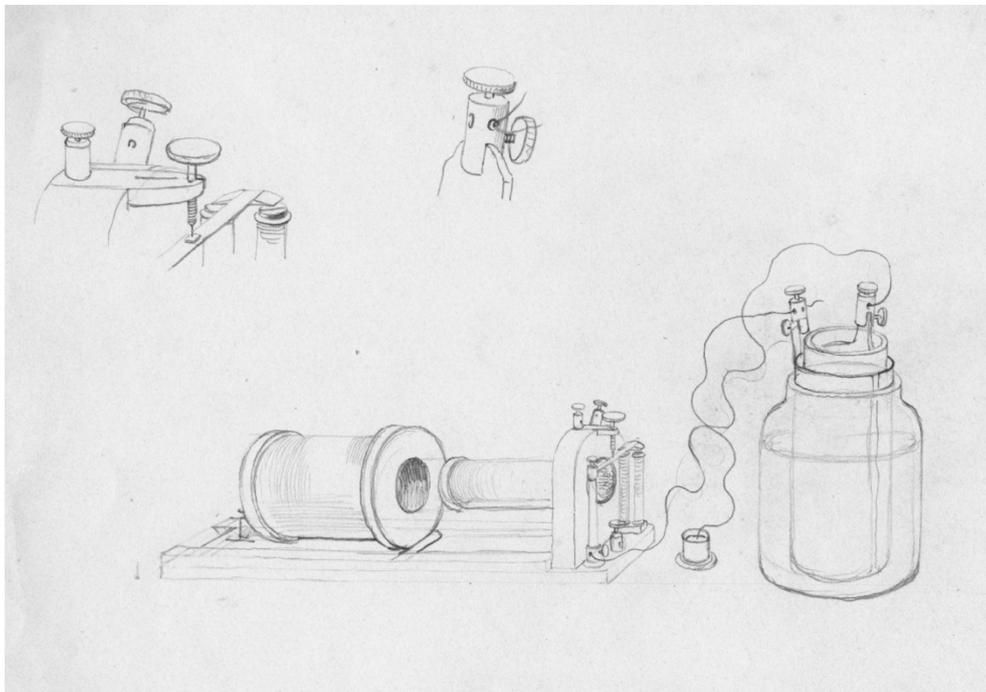


Lithographie aus: D. von Trautvetter, „Ueber den Nerv der Accomodation“, *Archiv für Ophthalmologie* 12 (1866), 95–149, Taf. II.

5.1.7. Schlitteninduktor und Grovesche Zelle

[*55] Bleistiftzeichnung, 21 x 30,5 cm, bez.: H. Dr. Wundt, Agst [18]64

In den *Untersuchungen über die thierische Elektrizität*, mit denen Emil Du Bois-Reymond die experimentelle Elektrophysiologie begründete, ist 1848 eine „Inductions-vorrichtung“ erstmals erwähnt, die als ‚Schlitteninduktor‘ bald zur Standardausrüstung aller physiologischen Laboratorien gehören sollte und für die Behandlung von Nervenkrankungen auch Eingang in die ärztliche Praxis fand. Du Bois hatte sich das Gerät für nervenphysiologische Untersuchungen im Jahre zuvor von Werner Siemens in Berlin bauen lassen. Es handelt sich um einen Transformator mit variabler Kopplung, dessen Spannung durch Verschieben der Sekundärspule gegen die Primärspule eingestellt werden kann. Du Bois-Reymond untersuchte damit die physiologische Wirkung der Elektrizität, insbesondere Nerven- und Muskelaktionsströme sowie die Geschwindigkeit der Nervenleitung. Instrumente und physikalische Messgeräte spielten im Forschungsprogramm des Berliner Physiologen, das auf die Widerlegung der Lebenskraft-Hypothese zielte, eine zentrale Rolle.



Als Spannungsquelle dient ein Grovesches Element, d.h. eine Batterie aus Zink in verdünnter Schwefelsäure und Platin in konzentrierter Salpetersäure, getrennt durch eine poröse Tonwand. Die Spannungsquelle wird über einen Unterbrecher – hier vergrößert herausgezeichnet ein sogenannter Wagnerscher Hammer, in der Erstpublikation von 1848 statt dessen noch ein sich drehendes Spitzenrad – oder auch direkt mit der waagrecht montierten Primärspule verbunden. Auf Einkerbungen der Grundplatte gleitet, wie auf einem Schlitten, die sekundäre Induktionsspule. Diese kann nach Belieben ganz oder nur teilweise über die Primärspule geschoben werden, um die gewünschte Stromstärke einzustellen. Zur besseren elektromagnetischen Kopplung wurden Bündel von Eisenstäben in den inneren Hohlraum der Primärspule eingeführt.

Die zu den physiologischen Untersuchungen genutzten Stromstöße aus der Sekundärspule lassen sich auf dreierlei Weise erzeugen: bei Dauerstrom durch die Primärspule

zum einen durch rasches Ein- und Herausschieben der Sekundärspule, zum anderen durch Unterbrechung des primären Stromkreises, wobei damals in der Regel ein Quecksilbernäpfchen als Schalter diente. Wird, drittens, zwischen Batterie und Primärspule ein Wagnerscher Hammer geschaltet, so erhält man einen gepulsten Induktionsstrom.

Wilhelm Wundt, der diese Zeichnung in Auftrag gegeben hat, dürfte den Schlitteninduktor kennengelernt haben, als er noch Student bei Du Bois und dessen Lehrer Johannes Müller in Berlin war. Ob die Zeichnung Veiths als Vorlage für eine Publikation gedacht war, ließ sich nicht ermitteln.

Emil Du Bois-Reymond, *Untersuchungen über die thierische Elektrizität*, Bd 1, Berlin 1848, 446–447.

EM

5.2. *PHYSIOLOGIE UND PATHOLOGIE*

Auch die Heidelberger Medizin erlebte den für das 19. Jahrhundert typischen Umschwung von der morphologisch-anatomischen Betrachtungsweise hin zu einer Untersuchung von funktionalen Zusammenhängen. Mit Jakob Henle, dessen *Zeitschrift für rationelle Medizin* „physiologische und pathologische Fakta auf physikalische und chemische zurückzuführen und sie dadurch mit den Erscheinungen der toten Natur unter gemeinsame Gesichtspunkte zu bringen“ suchte, war bereits 1844 ein Vertreter der modernen, naturwissenschaftlich begründeten Anatomie und Histologie auf den Heidelberger Lehrstuhl berufen worden. Seine wichtigsten Leistungen liegen in der Erforschung und Systematik der Epithelien. Doch die kollegialen Verhältnisse in der Fakultät waren nicht zum Besten bestellt, so dass Henle bereits 1852 einen Ruf nach Göttingen annahm. Sein Nachfolger wurde Friedrich Arnold (1803–1890), der in Heidelberg zuvor schon Prosektor gewesen war und als hervorragender Präparator galt, den neueren, naturwissenschaftlichen und instrumentengestützten Arbeitsweisen gegenüber aber reserviert blieb. Stärkere wissenschaftliche Impulse gingen von der 1866 neu begründeten Professur für Pathologische Anatomie aus, die dessen Sohn Julius Arnold innehatte und die 1870 in ein Ordinariat umgewandelt und 1877 um ein Extraordinariat für Richard Thoma ergänzt wurde.

Friedrich Veith hat für eine Reihe von Heidelberger Anatomen und Medizinern gezeichnet, darunter auch Hunderte mikroskopischer Bilder, die zum Druck bestimmt waren, aber bislang nicht ermittelt werden konnten. Die erhaltenen Bleistiftzeichnungen für Richard Thoma, Julius Arnold und Adolf Weil hat Veith vielleicht deshalb in die hier vorgestellte Sammlung aufgenommen, weil sie nicht Gewebeproben und anatomische Präparationen, sondern komplexe Apparaturen darstellen.

Hermann Hoepke, „Die Heidelberger Anatomen in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts“, in: *SEMPER APERTUS* 2 (1985), 145–157. – Wilhelm Doerr, „Der anatomische Gedanke und die Heidelberger Medizin“, in: *SEMPER APERTUS* 4 (1985), 92–125.

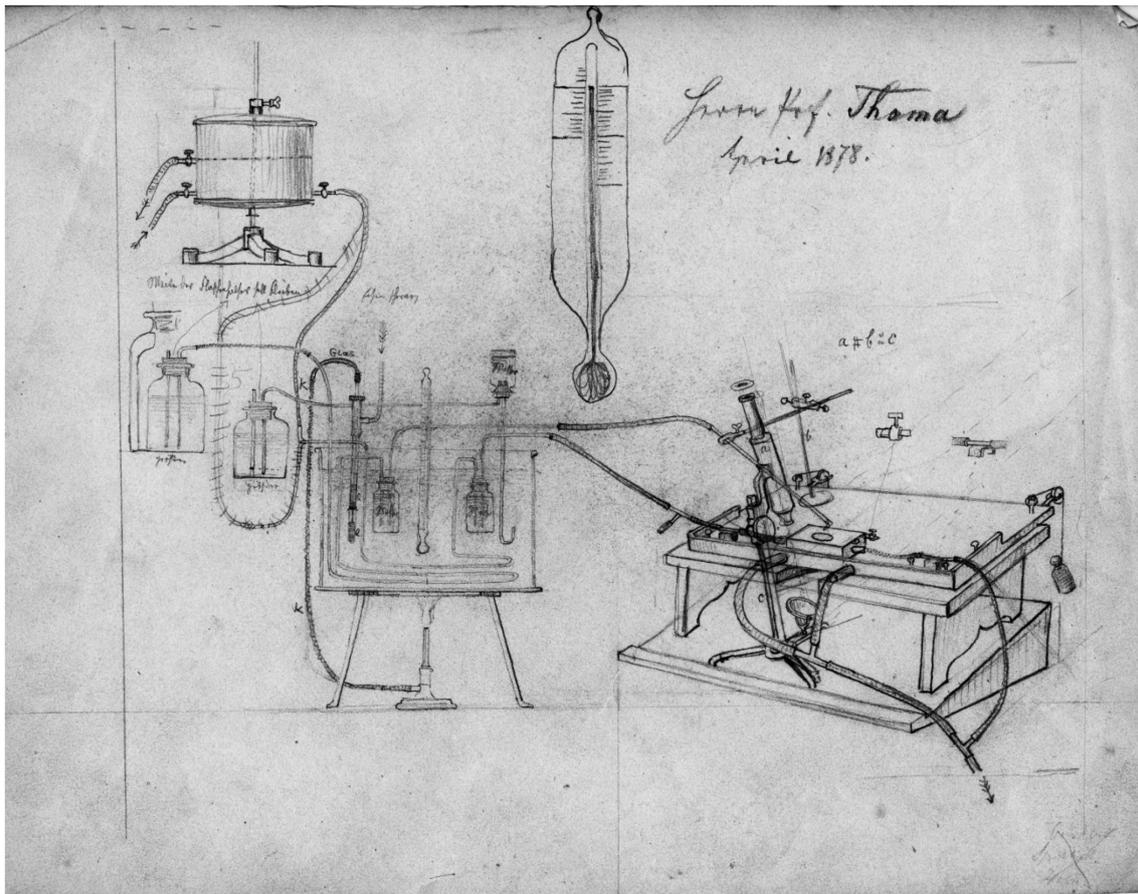
CM

5.2.1. *Mikroskopische Untersuchungen des Blutkreislaufes*

[*50] Bleistiftzeichnung, 21,5/22 x 27,2/28,2 cm; bez.: Herrn Prof. Thoma, April 1878 [verso: unter dem Objektisch zum Durchpausen mit Graphit geschwärzt]

Der auf der Zeichnung dargestellte Apparat diente der mikroskopischen Beobachtung von Entzündungen der Kapillargefäße, die zu Störungen der Blutzirkulation führen. Mit seiner Hilfe konnte Richard Thoma den Einfluss des Salz- und Wassergehaltes der Gewebssäfte auf die Form- und Ortsveränderung der weißen Blutkörperchen, die Form der Auswanderung derselben und die sich daraus ergebenden Zirkulationsstörungen erstmals an Warmblütern untersuchen.

Die Histologen und Physiologen Salomon Stricker in Wien und Burdon Sanderson in England hatten bereits 1870 einen analogen Apparat für ähnliche Untersuchungen konstruiert, doch Thoma perfektionierte diesen so weit, dass er fast selbständig und sehr zuverlässig arbeitete, so dass man Versuche über sechs bis acht Stunden durchführen konnte. Dabei war es dem Beobachter möglich, bis zu zwei Stunden abwesend zu sein, ohne dass der Versuch unterbrochen werden musste.



Die Zeichnung besteht aus drei Teilen: dem Beobachtungstisch, auf dem auch das Versuchstier zu liegen kommt, einem Wasserbad zur Erhitzung der Kochsalzlösung und des Wassers sowie einem Wassertank. Sie entspricht weitgehend der im November 1878 in *Virchows Archiv* abgedruckten Tafel mit der genauen Beschreibung des Versuchsaufbaus und den erzielten Ergebnissen. In der publizierten Version sind zusätzlich einige Details des Objektisches und der Aufbau des Wärmekastens zu sehen; dazu links unten die Signatur des Zeichners Friedrich Veith, rechts unten die des Lithographen Albrecht Schütz und des Lithographischen Instituts Berlin.

Der Beobachtungstisch (rechts im Bild) steht auf einem Holzkeil, so dass eine Neigung entsteht. Auf dem Tisch befindet sich ein lackiertes Eichenholzbrett, auf welches das Versuchstier gelegt wurde. Gewichte rechts und links am hinteren Rand des Brettes verhindern das Abrutschen. Tisch und Eichenholzplatte besitzen eine nach unten hin konisch erweiterte Aussparung, unter die der Beleuchtungsspiegel eines Mikroskops geschoben wird. Darüber befindet sich ein geschlossener Wärmekasten aus Metall, in dessen Ober- und Unterseite Glasscheiben eingelegt sind, so dass eine Beleuchtung von unten möglich ist. Rechts und links des Kastens sind Röhren angebracht, um körperwarmes Wasser durch den Kasten zu leiten. Um die sich gelegentlich ansammelnden Luftblasen, die die Sicht beschränken, aus dem Kasten entweichen zu lassen, gibt es ein kleines Luftröhrchen rechts oben. Auf die obere Glasscheibe dieses Wärmekastens wird zur Untersuchung das Dünndarm-Mesenterium des mit Curare betäubten Versuchstieres aufgelegt und ständig mit Spüllösung befeuchtet. Die Schläuche, die vom Tisch weg führen, leiten das Wasser aus dem Wärmekasten und die Spülflüssigkeit in das Abwasser des Labors.

Über dem Beobachtungstisch ist ein Mikroskop angebracht, dessen Objektiv auf die von unten beleuchtete obere Glasplatte des Wärmekastens zeigt und das zur Untersuchung des durch die Kapillaren fließenden Blutes dient.

Links davon steht ein durch einen Bunsenbrenner beheiztes Wasserbad, in dem sowohl das Wasser für den Wärmekasten, als auch die Spüllösung für das zu untersuchende Gewebe erwärmt werden. Von den links daneben abgebildeten Mariotteschen Flaschen sorgt die eine für einen konstanten Wasserstand, während die andere die Spülflüssigkeit enthält. Zwei weitere Flaschen innerhalb des Wasserbades sollen die sich bildenden Gasblasen abfangen. Der Wärmeerhaltung wegen sind alle Verbindungsschläuche mit Flanell umwickelt.

Mit Hilfe dieser Versuchsanordnung schloss Thoma, dass pathologische Entzündungen im Kapillarkreislauf durch randständige weiße Blutkörperchen verursacht würden, die an der Gewebswand anhaften und diese anschließend durchdringen. Die Randstellung hänge dabei von der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes ab, und der jeweilige Zustand des Zellplasmas entscheide darüber, ob die weißen Blutkörperchen durch die Zellmembran dringen und dort eine Entzündung verursachen können. Experimentell konnte Thoma mit seiner Apparatur sowohl die Fließgeschwindigkeit des Blutes als auch – durch entsprechende Veränderung der Konzentration der Spüllösung – den Zustand des die Kapillaren umgebenden Gewebes verändern.

Richard Thoma, „Über entzündliche Störungen des Capillarkreislaufes bei Warmblütern“, *Virchows Archiv* 74 (1878), 360–393, Taf. XII. – Wilhelm Doerr, „Der anatomische Gedanke und die Heidelberger Medizin“, in: *SEMPER APERTUS* 4 (1985), 92–125.

SG

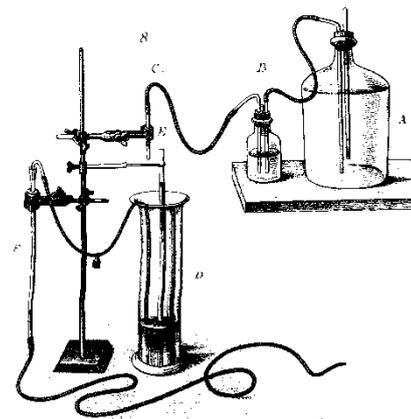
5.2.2. *Infusionsgerät für Blut- und Lymphgefäße*

[*2] Bleistiftzeichnung, 20,2 x 25,5 cm; bez.: für Herrn Prof. Arnold, Oct. 1875

Im Rahmen von Untersuchungen über Blut- und Lymphgefäße richtete Julius Arnold seine Aufmerksamkeit vor allem auf die Kittsubstanz der Endothelien, der Zellschicht an der Innenfläche der Blut- und Lymphgefäße. Fest stand, dass unter bestimmten Verhältnissen eine Lockerung in der Verbindung der Endothelien zustande kommt, wodurch kleine Gebilde und gefärbte Substanzen diese stärker durchdringen und zwischen den Endothelzellen an der Stelle der sogenannten Kittleisten austreten.

Im Januar 1876 erschien im 66. Band von *Virchows Archiv* ein Artikel von Arnold mit dem Titel „Über die Kittsubstanz der Endothelien“, in dem eine gedruckte Version der Zeichnung mit Abbildungen eingefärbter Gewebeproben enthalten ist. Arnolds Untersuchung galt dem Verhalten fein verteilter Farbstoffe, genauer: von indigschwefelsaurem Natron und Tusche. In einer dritten Versuchsreihe injizierte er erst gelbes Blutlaugensalz und spülte dann das zu untersuchende Gewebe mit Hilfe einer von Thoma entwickelten Apparatur [→ 5.2.1.] mit Eisen(III)chlorid, was zur Ausfällung von feinverteiltem Berliner Blau führte. Mit Hilfe des abgebildeten Apparats unternahm Arnold etwa 500 Versuche an Fröschen und Kaninchen.

Auf der rechten Seite der Zeichnung ist eine Mariottesche Flasche dargestellt, der, um den Tropfstrom konstant zu halten, eine kleine Flasche nachgeschaltet ist, bevor das Wasser in die Tropfkanüle fließt. Am Boden der kleinen Flasche mündet die Abflussröhre der Mariotteschen Flasche, sowie die mit der Tropfkanüle in Verbindung stehende Glasröhre. Durch eine dritte Glassäule steht der abgeschlossene Innenraum der Flasche mit der Umwelt in Verbindung. Da sich der Wasserstand in der kleinen Flasche immer nach dem Stand der unteren Öffnung der in der Mariotteschen Flasche den Druck bestimmenden Röhre richtet, ist ein gleichmäßiges Fließen des Wassers gewährleistet.



Infusionsgerät, Detail aus: Julius Arnold, „Über die Kittsubstanz der Endothelien“, *Virchows Archiv* 66 (1876), 78.

Das Wasser aus der kleinen Flasche tropft aus einem ausgezogenen Glasröhrchen, dessen Halteklemme noch einmal vergrößert herausgezeichnet ist, in einen Glaszylinder. In diesem befindet sich eine Bürette, die auf einer schwimmenden Korkplatte befestigt ist und sich je nach Tropfenanzahl langsamer oder schneller hebt. An der Unterseite ist eine Kautschukröhre angebracht, die durch die Korkplatte hindurch nach oben durchgezogen wird. Durch diesen Schlauch wird die in der Bürette enthaltene Injektionsflüssigkeit geleitet. Sein Ende steckt bündig in der ganz links abgebildeten Glasröhre, welche wiederum in einen Kautschukschlauch mündet, an dessen Ende eine Glaskanüle aufgesteckt ist. Bevor diese Kanüle in die Vene des Versuchstieres eingeführt wird, muss der gesamte Zuleitungsbereich bereits mit Infusionsflüssigkeit gefüllt sein.

Julius Arnold, „Über die Kittsubstanz der Endothelien“, *Virchows Archiv* 66 (1876), 77–109.

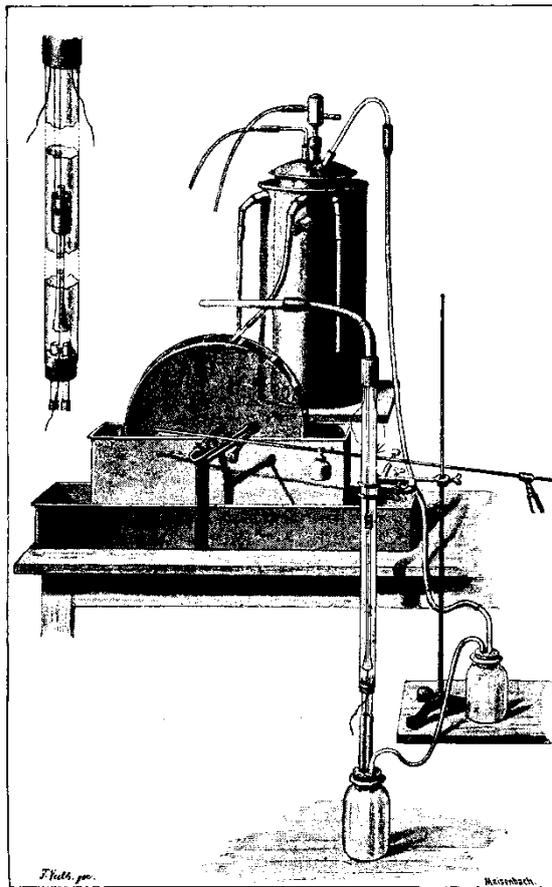
SG

5.2.3. Staubmaschine

[*3] Bleistiftzeichnung, 30,3 x 23,5 cm; bez.: Staubmaschine für Geh. Rath Arnold, Mrz 1885

Die toxische Wirkung von Feinstaub ist in der Arbeitsmedizin seit langem bekannt. Den aktuellen Forschungsstand und seine eigenen experimentellen Untersuchungen dokumentierte Julius Arnold 1885 in seinem Buch *Untersuchungen über Staubinhalation und Staubmetastasen*. Die darin befindliche Abbildung einer „Staubmaschine“ ist von Friedrich Veith, dem Zeichner der Vorlage, signiert.

Der dargestellte Apparat fand bei einer Versuchsreihe über die Inhalation von Feinstäuben Verwendung. Mit Hilfe seiner Staubmaschine gelang es Arnold, Bedingungen einer hohen Staubbelastung bei Tieren zu simulieren. Zu diesen Zwecken verwendete er eine Mischung aus Ultramarin und Schmirgel, die sich insofern für seine Versuche anbot, als Ultramarin im Körper dank seiner Farbe leicht zu erkennen ist. Durch Beimischung von



Staubmaschine, Offset, 17,2 x 10,5 cm, bez. F. Veith gez. / Meisenbach, aus: Julius Arnold, *Untersuchungen über Staubinhalation und Staubmetastasen*, Leipzig 1885, 29.

Glasröhre eingesetzt. Diese wird mit Hilfe eines Bindfadens schwebend über den Öffnungen der Röhrrchen im Gummipfropfen gehalten. Über die Veränderung des Abstandes zwischen Trichter und den unteren beiden Glasröhrrchen lässt sich die Staubmenge dosieren.

Wird Luft in die Staubröhre geblasen, wirbelt diese den Staub in der Röhre auf. Ein Teil wird durch die Kanüle abgeführt, der Rest fällt zurück in die große Staubröhre und gelangt so wieder vor den Trichter. Für die Luftzufuhr verwendete Arnold eine Wasserstrahlpumpe [→ 6.3.8.], die er in einen nach unten offenen Zinkbehälter einsetzte, der seinerseits in einem zweiten, ebenso hohen und offenen Behälter stand. Im Deckel des inneren Zylinders befinden sich außer den Öffnungen für die Pumpe noch zwei weitere, von denen die eine den Luftstrom herauslässt, während die andere mit einem Manometer verbunden ist. Am äußeren Zylinder befinden sich drei Abflussröhren, von denen eine als Überlauf und eine als Abfluss zum Wasserrad dient. Die dritte Röhre wird verschlossen, kann aber geöffnet werden, um den Druck zu erniedrigen. Die Luft aus dem Inneren des Zylinders wird durch ein mit Calciumchlorid gefülltes Glas und von da in den unter der Staubröhre befestigten Staubbehälter geleitet. Das von der Pumpe angetriebene Wasserrad betreibt eine Art Schüttelapparat: ein elastischer Stab, welcher durch einen an der Achse des Wasserrades befestigten Arm gehoben wird und beim Zurück-

Schmirlgel verhinderte er die Verklumpung des benötigten Ultramarins. Auf diese Weise konnte Arnold die Wege des inhalierten Staubes durch den Körper nachvollziehen und erhielt Rückschlüsse auf bestimmte Ablagerungsstellen und die sich daraus entwickelnden krankhaften Veränderungen des Lungengewebes.

Der Versuchsapparat besteht aus einem Kasten, in dessen Front eine dicke Glasscheibe eingesetzt ist. An den Seiten sind Öffnungen angebracht, die dem Einbringen des Staubes durch Kanülen sowie der Ventilation dienen. Der für die Versuche benötigte Feinstaub wird in einer Gasröhre erzeugt, die über einen Gummischlauch mit der Öffnung des Kastens verbunden ist. Diese Staubröhre ist unten durch einen doppelt durchbohrten Gummipfropfen verschlossen, in dem zwei weitere Glasröhrrchen mit kleineren Öffnungen stecken. Je größer die Staubart, desto größer müssen auch die Öffnungen der beiden Röhrrchen sein, damit genügend Staub durch das System transportiert wird. In die große Staubröhre ist eine lange, nach unten trichterförmig geöffnete

schnellen auf einen anderen Stab schlägt, der an der Staubröhre befestigt ist. Durch diese Rüttelbewegungen wird gewährleistet, dass der Staub im Inneren der Röhre stets gut vermischt ist.

Mit Hilfe dieser Staubmaschine setzte Arnold Kaninchen über lange Zeit kontrolliert einer hohen Staubbelastung aus. Waren die Versuchstiere letztendlich gestorben, sezierete Arnold die Tierkörper, um die Wege des eingeatmeten Staubes zu analysieren. Er dokumentierte die Veränderungen der Lunge und des Lymphgefäßsystems der Tiere und ließ Skizzen der betroffenen Organe zeichnen. Aus den Ergebnissen seiner Staubexperimente schaffte es Arnold, Rückschlüsse auf die Feinstaubempfindlichkeit des Lungengewebes zu ziehen.

Julius Arnold, *Untersuchungen über Staubinhalation und Staubmetastasen*, Leipzig 1885, 27–31.

MP

5.2.4. *Exspirationsapparat zur Untersuchung der Atemgase*

[*52] Bleistiftzeichnung, 22,4 x 32,5 cm; bez.: für Prof. Weill, 1879 [verso: → 5.2.5.]

Mit der zunehmenden Einsicht in die physiologischen Abläufe bei der Atmung wuchs im 19. Jahrhundert bei den Physiologen der Wunsch, die Störungen des Gasaustausches bei krankhaften Veränderungen der Lunge zu beschreiben und besser zu verstehen. Auch Adolf Weil arbeitete auf dem Gebiet der Pathologie der Lunge und der Bronchien. Eines seiner Spezialgebiete war die physikalische Diagnostik des Gasaustauschs bei Pneumo- und Hydrothorax. Mit dem Begriff Pneumothorax bezeichnet man die Anwesenheit von Luft oder Gas im Raum zwischen Lungenhaut und innerer Brustwand (Pleuraspalt), wobei die Lunge komplett oder partiell kollabiert. Beim Hydrothorax befindet sich statt dessen eine Ansammlung seröser Flüssigkeit im Pleuraspalt, ein sogenannter Pleuraerguss.

Veith hat für Weil insgesamt drei Skizzen angefertigt, die für sich genommen schwer zu interpretieren sind, weil sie bloß Vorzeichnungen für Teilstücke des Versuchsaufbaus darstellen, den Weil 1879 in seinem Aufsatz „Zur Pathologie des Hydrothorax und Pneumothorax“ publiziert hat. Ihr innerer Zusammenhang erschließt sich erst aus dem Vergleich mit der in *Virchows Archiv* abgedruckten Lithographie. Es handelt sich um eine Apparatur, mit der Weil gemeinsam mit Richard Thoma Untersuchungen zu Veränderungen des Lungenvolumens und des Kohlensäuregehalts der Atemluft von Kaninchen und Hunden mit Hydrothorax oder Pneumothorax im Vergleich zu gesunden Tieren anstellte.

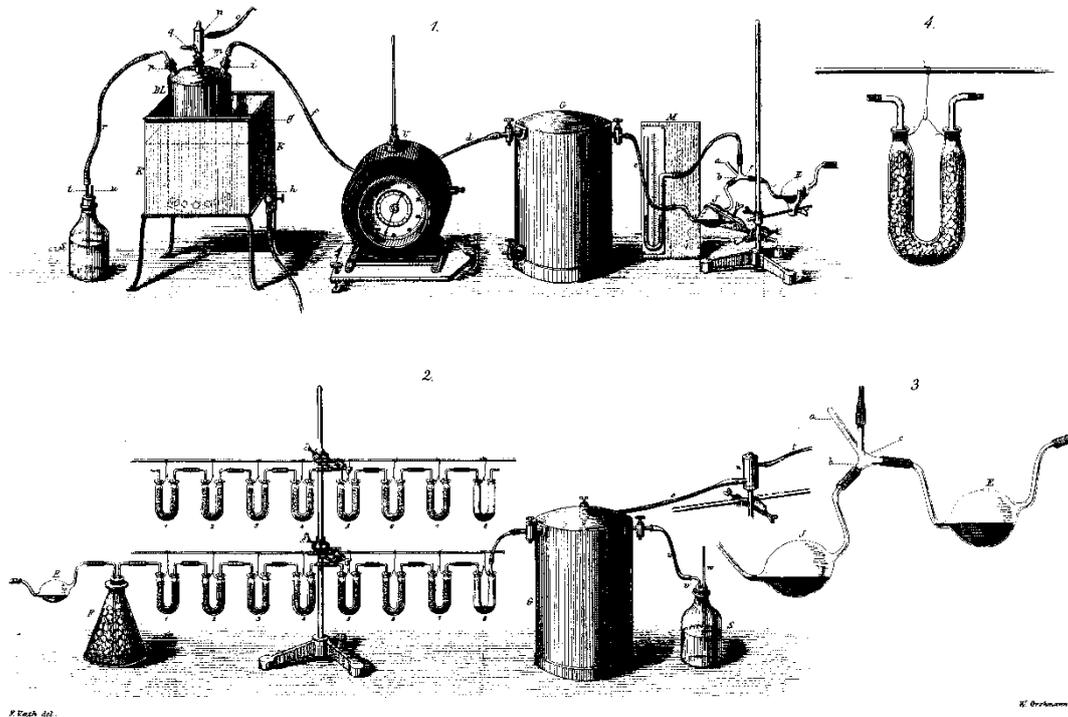
Der dargestellte Respirationsapparat lässt sich in zwei grundlegende Komponenten unterteilen: Zum einen in den Inspirationsapparat, der der Bestimmung der eingeatmeten Luftmenge dient, und zum anderen in den Exspirationsapparat, der zur Bestimmung des Kohlensäuregehalts der ausgeatmeten Luft verwendet wird.

Links oben in der Zeichnung (bzw. rechts unten auf der Lithographie) befinden sich die sogenannten Voitschen Quecksilberventile als das zentrale Element des gesamten Respirationsapparates. Diese kleinen, entgegengesetzt wirkenden Ventile sorgen dafür, dass nur durch den jeweils entsprechenden Apparateteil ein- bzw. ausgeatmet wird. Zudem besitzen sie eine sehr feine Kalibrierung bezüglich Druckschwankungen und sorgen dadurch für geringen Widerstand, so dass das Versuchstier problemlos mehrere

Stunden ein- und ausatmen kann. Sie sind durch kurze Kautschukschläuche über ein T-Rohr verbunden. Dieses besitzt zusätzlich zu dem freien Ende, das bei der späteren Versuchsdurchführung mit der Trachealkanüle des Tieres verbunden wird, noch eine weitere, vierte Öffnung, die an ein Manometer [→ 5.2.5.] angeschlossen ist.

Virchow's Archiv Bd. LXXV

Taf. XI.



Adolf Weil u. Richard Thoma, „Zur Pathologie des Hydrothorax und Pneumothorax“, *Virchows Archiv* 75,3 (1879), 483–514, Taf. XI.

In der unteren Hälfte ist eine mit dem Expirationsventil verbundene Flasche zu sehen. Diese ist mit in Schwefelsäure getränkten Bimssteinstücken gefüllt und dient der Entfeuchtung der Expirationsluft. Mit den acht dahinter in Reihe geschalteten U-Röhrchen wird der Kohlensäuregehalt der Expirationsluft über die Gewichtszunahme des Systems durch das gebundene CO_2 bestimmt.

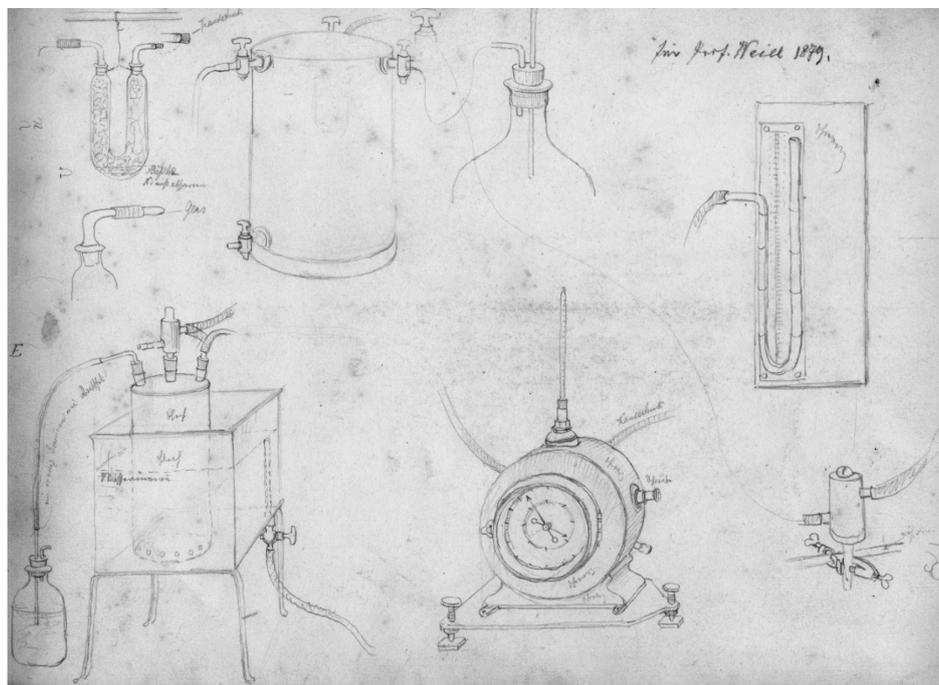
Zur Vervollständigung des Expirationsapparats ist das hintere Ende der in Reihe geschalteten U-Röhrchen durch einen kurzen Schlauch mit einem Gasometer verbunden. Dieser ist jedoch ebenso wie eine daran angeschlossene Wasserstrahlpumpe [→ 6.3.8.] nicht mehr auf der Veithschen Skizze festgehalten. Bei den Messungen dienen diese beiden Komponenten dem Druckausgleich des Systems zu annähernd Atmosphärendruck, bzw. dazu, die Expirationsluft aus dem Gasometer, den U-Röhrchen und der Flasche zu saugen. Ein Gasometer ähnlicher Funktionsweise ist in der zweiten Skizze [→ 5.2.5.] dargestellt.

Adolf Weil u. Richard Thoma, „Zur Pathologie des Hydrothorax und Pneumothorax“, *Virchows Archiv* 75,3 (1879), 483–514, Taf. XI. – Paul Heger, „Hugo Kronecker“, *Münchener Medizinische Wochenschrift* 61 (1914), 1692–1631.

5.2.5. *Inspirationsapparat zur Untersuchung der Atemgase*

[*52^v] Bleistiftzeichnung, 22,4 x 32,5 cm, bez.: für Prof. Weill, 1879 [verso: → 5.2.4.]

Die auf der Rückseite der voranstehend beschriebenen Anordnung gezeichnete Skizze weist ausschließlich Komponenten des Inspirationsteils der Versuchsapparatur auf, mit Ausnahme des in der linken oberen Ecke des Blattes abgebildeten U-Röhrchens. Dieses Element zeigt eine vergrößerte Darstellung eines der im vorangegangenen Abschnitt [→ 5.2.4.] beschriebenen U-Röhrchen, inklusive dessen Füllung mit in Schwefelsäure getränktem Bimsstein. Am rechten oberen Rand der Zeichnung ist das mit dem vierten Ausgang des T-Rohres verbundene Manometer festgehalten. Dieses dient dazu, die durch die Atembewegungen des Versuchstieres verursachten Druckschwankungen direkt abzulesen.



In der Mitte der oberen Bildhälfte ist ein Gasometer zu sehen, der im fertigen Versuchsaufbau über eine Öffnung mit dem Inspirationsausgang der sogenannten Voitschen Quecksilberventile verbunden ist. Seine Aufgabe ist es, mit Hilfe seines Fassungsvermögens von etwa 15 Litern den Gang der an einer weiteren Öffnung angeschlossenen Gasuhr möglichst gleichmäßig zu gestalten. Diese Gasuhr, die in der Mitte der unteren Bildhälfte skizziert ist, wird zur Messung der pro Zeitintervall eingeatmeten Luftmenge verwendet. Neben dem Hinweis, dass Max Pettenkofer als erster auf die Nutzungsmöglichkeit eines solchen Messgerätes bei physiologischen Untersuchungen hingewiesen habe, erfahren wir aus der Veröffentlichung Weils, dass es sich hier um eine handelsübliche Gasuhr mit beliebiger Skala handelt. Sie wird mittels einer auf drei Schrauben stehenden Platte horizontal ausgerichtet und muss in größeren Zeitabständen nachge-
eicht werden. Ein Thermometer in der Gasuhr zeigt die Gastemperatur an.

Angeschlossen an den Eintrittshahn der Gasuhr folgt links daneben eine Teilapparatur, die durch Verdichtung der Luft dem Versuchstier das Einatmen erleichtert. Sie besteht aus einem bis zur Mündung des Ablaufrohres mit Wasser gefüllten Blechkasten, einem

darin stehenden Blechzylinder, einer Wasserstrahlpumpe [→ 6.3.8.] sowie einer als Druckregulator und Sicherheitsventil dienenden Flasche. Mit der im Flaschenhals befindlichen Röhre werden die Druckverhältnisse im System so eingestellt, dass bei jeder Inspiration die entsprechende Luftmenge durch den Gasometer und die Gasuhr nachströmt.

Die für die Verdichtung der Luft verantwortliche Wasserstrahlpumpe ist als vergrößertes Detail in der rechten unteren Ecke des Blattes zu sehen. Wenn die eine Öffnung mit einem Wasserhahn verbunden wird und so das fließende Wasser durch die Pumpe in den Blechzylinder gelangt, saugt der Wasserdurchfluss durch eine weitere Öffnung im Nebenanschluss Luft in den Zylinder, was dort zu einer Verdichtung führt.

Adolf Weil u. Richard Thoma, „Zur Pathologie des Hydrothorax und Pneumothorax“, *Virchows Archiv* 75,3 (1879), 483–514, Taf. XI.

MF

5.2.6. *Prototyp des Expirationsapparats*

[*53] Bleistiftzeichnung, 21,5 x 30,3 cm, bez.: Herrn Prof. Dr. Weill, 21. Mai [18]79 / Breite 11 cm max. [Zeichnung stark verwischt]

Bei der mit einem – vermutlich der maßstäblichen Übertragung dienenden – mit Ziffern beschrifteten Gitternetz unterlegten Skizze dürfte es sich um einen Vorläufer des Weilschen Expirationsapparats [→ 5.2.4.] handeln. Auf der linken Seite erkennt man den Aufsatz, durch den ausgeatmet wird. Dieser ist über einen Schlauch mit einem T-Rohr verbunden, dessen einer Ausgang an ein Manometer angeschlossen ist, an dem sich die Druckschwankungen der Atemluft ablesen lassen. Der andere Ausgang führt über ein Quecksilberventil in eine Flasche, in der die ausgeatmete Luft aufgefangen wird. Ein Wiederausströmen der Luft wird durch einen Bunsenschen Quetschhahn verhindert, der den Kautschukschlauch zwischen Quecksilberventil und T-Rohr abklemmt. Die Druckveränderungen innerhalb der Flasche zeigt das mit der Flasche verbundene Manometer an. Nach Öffnung des Hahns verändert sich der Wasserstand im Steigrohr, weil der Überdruck innerhalb der Flasche zusätzliches Wasser in die Pipette drückt. Wird der Hahn wieder geschlossen, sobald sich am Manometer der Ausgangsdruck wieder eingestellt hat, lässt sich anhand der Volumenänderung der Wassermenge im Steigrohr das Volumen der ausgeatmeten Luft bestimmen.

Vergrößert herausgezeichnet sind das Voitsche Quecksilberventil mit Manometer (rechts) und ein Quetschhahn – dessen Erfindung Bunsen zugeschrieben wird und der in dieser Form bis heute Verwendung findet.

Adolf Weil u. Richard Thoma, „Zur Pathologie des Hydrothorax und Pneumothorax“, *Virchows Archiv* 75,3 (1879), 483–514, Taf. XI.

MF