

Der Weg des Kymographions in die Akustik

Rüdiger Hoffmann, Dieter Mehnert

TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, 01062 Dresden, Deutschland,

Email: ruediger.hoffmann@tu-dresden.de, di.mehnert@freenet.de

Einleitung

Die historische akustisch-phonetische Sammlung (HAPS) der TU Dresden dokumentiert die Entwicklung der Experimentalphonetik und Sprachtechnologie [1]. Im Rahmen der historischen Sitzungen der DAGA wurden bereits mehrere Gerätegruppen aus der Sammlung vorgestellt. Wir widmen uns diesmal den Ausführungsformen des Kymographen, bei dem ein Schallsignal mit Hilfe eines Zeigers auf den Mantel eines rotierenden Zylinders geschrieben wird. Dieses Aufzeichnungsprinzip ist noch bis in die Nachkriegszeit weithin verwendet worden und wurde erst durch den Sonagraphen abgelöst. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel aus der Sammlung.

Historisch ist bemerkenswert, dass die Entwicklung des „Kymographions“ (Wellenschreibers) auf das Bedürfnis zurückgeht, physiologische Bewegungen aufzuzeichnen. Obwohl es ältere Ansätze gibt, die der Experimentalphonetiker G. PANCONCELLI-CALZIA in einer gründlichen Recherche zusammengestellt hat [2], gilt der bedeutende Physiologe CARL LUDWIG, der das Prinzip zur Registrierung von Blutdruckschwankungen nutzte und 1847 beschrieb, als sein Erfinder. Um 1860 gibt es erste Versuche, das Prinzip für die Aufzeichnung von Schall zu nutzen; zu nennen sind hier die prominenten Namen MACH, POLITZER, HELMHOLTZ, BERNARD und KÖNIG. Der Durchbruch zu einer breiten Anwendung in der Sprachforschung, der zu einer Serienproduktion der Gerätetechnik führte, erfolgte erst durch die Erfindung der nach dem bekannten „Bewegungsforscher“ MAREY benannten Wandlerkapsel und deren Anwendung durch den „Vater der Experimentalphonetik“ ROUSSELOT.

Es zeigt sich, dass die Entwicklung des Kymographen ein Beispiel für die enge Verknüpfung der medizinisch-physiologischen Schulen in Wien und Paris ist, die bisher nur unzureichend erforscht wurde. Wir haben uns einigen Aspekten der französischen Schule bereits in einem früheren Beitrag gewidmet [3], so dass wir uns nachstehend auf die Impulse konzentrieren, die die Entwicklung der kymographischen Aufzeichnungstechnik aus dem deutschsprachigen Raum erhalten hat.

Inspiziert wurde diese kleine Studie durch die Arbeit an der Biografie [4] des Otologen JOHANNES KESSEL (1839 – 1907), der als Postdoktorand mit wichtigen Vertretern der Wiener medizinischen Schule im Kontakt stand und 1871 – 1875 in Prag gemeinsam mit ERNST MACH die Funktion des Mittelohres erforscht hat. Auf diese Arbeiten, die auch in das Umfeld der Entwicklung der Schallaufzeichnung gehören, wurde bereits in einem Beitrag zur DAGA 2013 eingegangen [5].



Abbildung 1: Einfache Ausführung eines Kymographen nach ZUNTZ. Das Gerät ist hier durch einen Mundtrichter, einen Schlauch und eine „Oreille inscriptice“ nach ROUSSELOT zu einem Messplatz für die Aufzeichnung des Phonationsstromes komplettiert worden. HAPS Dresden, Fotografie von R. DIETZEL aus [1].

Zur Entwicklung der Physiologie

Die Entwicklung der wissenschaftlichen Physiologie des Hörens und Sprechens war eine der wichtigsten Voraussetzungen sowohl für die HNO-Heilkunde als auch für die Hörakustik. Grundlegende Erkenntnisse fasste der überragende Physiologe seiner Zeit, JOHANNES MÜLLER (1801 – 1858), 1838 in seinem „Handbuch der Physiologie des Menschen“ zusammen.

JOHANNES MÜLLER, der von 1833 bis zu seinem Tode 1858 an der Berliner Universität lehrte, verkörpert wie kein anderer die Herauslösung der Physiologie aus der Anatomie als selbständiges wissenschaftliches Gebiet. Unter seinen Schülern sind insbesondere ERNST WILHELM VON BRÜCKE (1819 – 1892), HERMANN VON HELMHOLTZ (1821 – 1894) und EMIL HEINRICH DU BOIS-REYMOND (1818 – 1896) zu nennen. Zu diesem Kreis schloss der in Marburg habilitierte CARL FRIEDRICH WILHELM LUDWIG (1816 – 1895) im Jahre 1847 engen und dauerhaften Kontakt. Die vier letztgenannten gelten als Begründer der modernen, naturwissenschaftlich begründeten Physiologie. Sie bildeten „jene physikalisch-physiologische Berliner Avantgarde, die sich in klarer antivitalistischer Haltung verschworen hatte, gegen eine nebulos angenommene Lebenskraft nur jene physikalisch-chemischen Kräfte im Organismus gelten zu lassen, die der Materie inhärent waren“ [6]. Es ist logisch, dass sie damit zu den Treibern der Entwicklung der experimentellen Medizin und der technischen Entwicklung von Mess- und Aufzeichnungstechnik zählten.

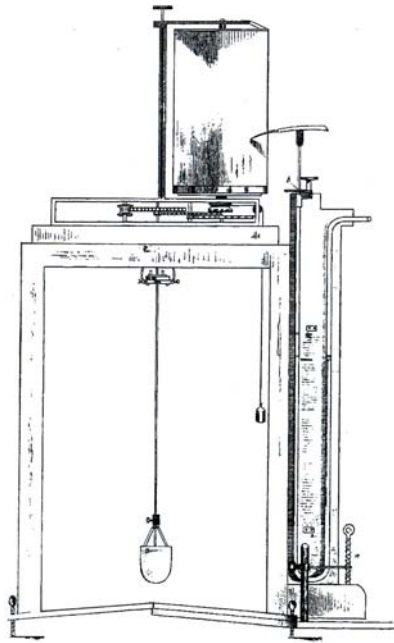


Abbildung 2: Darstellung des Kymographen aus der Erstveröffentlichung von CARL LUDWIG aus dem Jahre 1847 [8].

Brücke und Ludwig in Wien

Die *zweite Wiener medizinische Schule* konzentrierte ein medizinisches Forschungspotential, das damals in Europa vorbildlich war. Auch das Gebiet der Physiologie, das nach moderner Auffassung die Anwendung der Chemie und Physik zur Erklärung der Lebensvorgänge zum Ziel hatte, sollte prominent besetzt werden. Man berief im Jahre 1849 den 30-jährigen ERNST BRÜCKE, den wir als einen der wichtigsten Schüler von J. MÜLLER erwähnt haben. Sein Laboratorium befand sich zunächst im Josephinum und nach dessen Restitution 1854 in der ehemaligen „Gewehrfabrik“. Von dort aus hat er für die gesamte Laboratoriumsmedizin schulebildend gewirkt, so „dass er als der vielseitigste Physiologe seiner Zeit in die Geschichte eingegangen ist“ [6].

Von 1855 bis 1865 arbeitete in Wien ein zweiter großer Physiologe, der ebenfalls schon erwähnte CARL LUDWIG, der als Professor für Physiologie und Physik an das Josephinum berufen wurde und mit BRÜCKE freundschaftlich verbunden war. LUDWIG erhielt 1865 einen Ruf an die sächsische Landesuniversität Leipzig, wo er ein physiologisches Institut aufbaute, das schnell Weltruhm erlangte. Vor diesem Hintergrund verblissen die Leistungen seines Wiener Jahrzehnts zu Unrecht [7].

LUDWIG hatte bereits in seiner Marburger Zeit 1846/47 eine bahnbrechende Erfindung gemacht. Er hat sich häufig mit dem Blutkreislauf befasst und nach einer zuverlässigen Methode gesucht, die Blutdruckschwankungen aufzuzeichnen. Entsprechend Abb. 2 hat er dazu ein Quecksilber-Manometer benutzt. Ein Schwimmer, der sich auf der Flüssigkeit befindet, trägt eine Tintenfeder, die den aktuellen Blutdruck auf eine gleichmäßig rotierende Trommel aufzeichnet [8]. Solche Anordnungen bezeichnete man als Kymographen (Wellenschreiber).

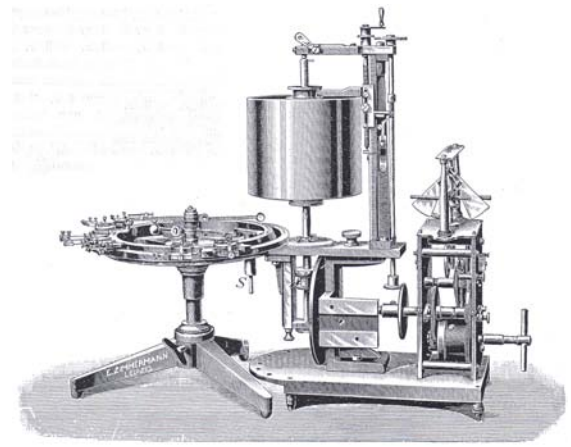


Abbildung 3: Kommerziell verfügbares „Kymographion nach LUDWIG-BALTZAR“ aus einem Katalog von 1928 [9]. Das Grundgerät (ohne den links beigeestellten sog. Zeitsinnapparat) kostete 1.200 Reichsmark.

Wie erwähnt, war das Verfahren, ein bewegliches Objekt mit einem Zeiger zu versehen, der eine Kurve auf eine sich gleichmäßig bewegende Papierbahn schreibt, nicht grundsätzlich neu. Der Kymograph nach LUDWIG stellte jedoch eine Standardlösung dar, die ein aktuelles Bedürfnis zur Registrierung der verschiedensten Größen befriedigte und sich in kurzer Zeit verbreitete und vervollkommnete. Bei seiner klassischen, per Katalog bestellbaren Ausführung (z. B. Abb. 3) erfolgt die Aufzeichnung, indem die Trommel mit berußtem Papier bespannt wird, in dessen Rußschicht der Schreibstift die Kurve einkratzt.

Auch der französische Physiologe und spätere bedeutende „Bewegungsforscher“ ETIENNE JULES MAREY (1830 – 1904) hat sich wohl bei LUDWIG in Wien aufgehalten, von wo er 1860 nach Paris zurückkehrte. Dort entwickelte er eine spezielle Applikation, den Pulswellenzeichner (Sphygmograph), auf den wir in [3] eingegangen sind. Seine Arbeiten führten zur Entwicklung der sog. MAREYSchen Kapseln, die es gestatten, akustische Schwingungen, die z. B. über einen Schlauch zugeführt werden, mittels einer Membran in eine Zeigerbewegung umzusetzen. Das war die Voraussetzung für den weit verbreiteten Einsatz des Kymographen zur Aufzeichnung von Sprachsignalen, der auf den Begründer der experimentellen Phonetik, PIERRE-JEAN ROUSSELOT (1846 – 1924), zurückgeht [10].

Es soll erwähnt werden, dass auch BRÜCKE sich die Physiologie der Stimme und Sprache als ein zusätzliches Arbeitsfeld erschlossen hat. So hat er sich darum bemüht, eine phonetische Transkription einzuführen, lange bevor die erst 1886 gegründete IPA die im Prinzip heute noch verwendete Transkription festlegte [11].

Im Jahre 1871 konstruierte BRÜCKE einen Labiographen (ein Gerät, mit dessen Hilfe man die Bewegung der Lippen auf einer Kymographentrommel aufzeichnen kann; vgl. Abb. 4) und verwendete ihn zu Messungen der Silbendauer, mit denen er einen Brückenschlag zur Linguistik initiierte [12].



Abbildung 4: G. PANCONCELLI-CALZIA demonstriert die Anwendung eines Labiographen. Parallel dazu erfolgt die Aufzeichnung des Kehltones mit Hilfe einer MAREYSchen Kapsel. Aufzeichnungsgerät ist ein Kymograph mit einer Trommel, die mit rußgeschwärztem Papier bespannt ist. Reproduktion nach einem Glasplatten-Negativ in der historischen akustisch-phonetischen Sammlung (HAPS) der TU Dresden.

Arbeiten von Ernst Mach

Weder BRÜCKE noch LUDWIG haben persönlich entscheidende Beiträge zur Physiologie des Hörens geliefert. Dennoch ist ihr indirekter Einfluss, den sie auf zahlreiche Schüler ausgeübt haben, wesentlich. Beide waren Mitglieder der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, und in dieser Eigenschaft haben sie 1863 dafür gesorgt, dass der damalige Privatdozent ERNST MACH eine Förderung seiner Untersuchungen zur „Schallleitung im menschlichen Gehörorgan“ erhielt, die er dann später gemeinsam mit KESSEL durchführte [5].

MACH hat sich 1862/63 mit dem Pulswellenzeichner beschäftigt und immerhin drei Beiträge über ihn geschrieben, in denen er

- eine mathematische und experimentelle Analyse des Kymographen und der Sphygmographen von VIERORDT und von MAREY durchführt [13],
- diese Untersuchungen zu einer Theorie des „Mitschwingens“ verallgemeinert und durch weitere Experimente belegt [14] und
- eine konstruktive Verbesserung des MAREYSchen Sphygmographen vorschlägt [15].

MACH bezieht sich darauf in seiner ersten Publikation über die „Theorie des Gehörorgans“ [16] und argumentiert: „Das Ohr ist auch ein Kymographion. Es zeichnet die Schallwellen in die Labyrinthflüssigkeit, wo dieselben vom Gehörnerv aufgenommen werden.“ Auch in seiner Selbstbiographie von 1913 (zit. in [17]) hat er diesen Zusammenhang hergestellt: „Meine Arbeiten richteten sich einstweilen zunächst nach den Bedürfnissen der Mediziner und Physiologen. So wurde ich auf die Theorie des Kymographions, der Pulswellenzeichner und der Registrierapparate geführt, was wieder zu Arbeit[en] über das Gehörorgan leitete.“

Experimente von Adam Politzer

Die Herausbildung der Otologie als Spezialdisziplin ist in Wien und weit darüber hinaus mit dem Namen von ADAM POLITZER (1835 – 1920) verbunden [18]. Er hat sein Postdoktorat bei CARL LUDWIG begonnen, wo er sich bei physiologischen Experimenten auf das Ohr konzentrierte und wahrscheinlich auch mit MAREY in Kontakt gekommen ist.

In den Jahren 1860 und 1861 hat POLITZER die für sein Fachgebiet wichtigsten Einrichtungen besucht und seine physiologischen Untersuchungen zunächst in Würzburg fortgesetzt. Er hat sich danach kurz bei HERMANN HELMHOLTZ in Heidelberg aufgehalten, bevor er nach Paris ging. Dort waren seine Lehrer CLAUDE BERNARD (1813 – 1878, Physiologe und Begründer der experimentellen Medizin in Frankreich), RUDOLPH KOENIG (1832 – 1901, Akustiker) und PROSPER MENIÈRE (1799 – 1862, Taubstummenlehrer und Otologe).

Da damals die Schwingungsverhältnisse und die Schallleitung im Ohr besonderes Interesse beanspruchten, wurde besonders die Zusammenarbeit von POLITZER mit dem Instrumentenbauer KOENIG wichtig, der seit 1858 in Paris eine Werkstatt für die Konstruktion akustischer Apparate betrieb und u. a. für die „grafische Methode“ Bedeutendes geleistet hat [19]. Sein „Catalogue des appareils d'acoustique construits“ wurde berühmt. KOENIG hatte den 1857 zum Patent angemeldeten Membran-Phonautographen nach É.-L. SCOTT DE MARTINVILLE verbessert, bei dem der Schall über ein Hohlparaboloid auf eine Membran geführt wird, die eine Schreibfeder trägt, mit der eine Aufzeichnung auf einer Kymographentrommel erfolgt [20] (Abb. 5).

Auf die Experimente zu den Schwingungen der Gehörknöchelchen, die POLITZER mit dem Phonautographen (bzw. vornehmlich mit dessen Kymographentrommel) unternommen hat, ist er schriftlich erst im Jahre 1864 in seinem Beitrag für den Eröffnungsband des *Archivs für Ohrenheilkunde* eingegangen [21]. Ihm wurde aber durch Veranlassung von CLAUDE BERNARD die Ehre zuteil, seine Ergebnisse persönlich in der Pariser Académie des Sciences vorzutragen [19, 22]. Zeitnah hat HELMHOLTZ eine Bemerkung zu POLITZERS Experimenten in seine „Lehre von den Tonempfindungen“ 1863

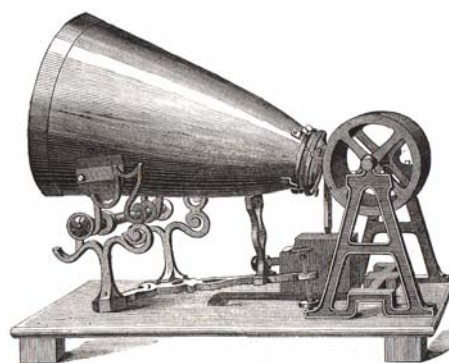


Abbildung 5: Der Phonautograph nach SCOTT und KOENIG in einer Darstellung aus dem Jahre 1865 [20].



Abbildung 6: Aufzeichnung einer Schwebung mit dem Phonographen aus [23].

aufgenommen [23]. Er beschreibt dort, dass man mit dem Phonographen akustische Schwebungen besonders gut sichtbar machen kann, und merkt zu Abb. 6 an: „Ähnliche Zeichnungen endlich sind von Herrn Dr. POLITZER ausgeführt worden, indem das schreibende Stielchen direct an das Gehörknöchelchen (die Columella) einer Ente angesetzt, und dann ein schwebender Ton durch zwei Orgelpfeifen hervorgebracht wurde, wodurch also nachgewiesen ist, dass auch die Gehörknöchelchen den Schwebungen zweier Töne nachfolgen.“

Schlussbemerkung

Aus der Geschichte der nichtelektronischen Schallaufzeichnungsverfahren haben wir hier eine Facette beleuchtet, die in der Technikgeschichte weniger bekannt ist. Später, gegen Ende des 19. Jahrhunderts, vervollkommneten sich die Aufzeichnungsverfahren in zwei Richtungen. Die erste ist die Perfektionierung der kymographischen Technik, die hauptsächlich an die Entwicklung der Wandlerkapseln von MAREY und anderen Experimentalphonetikern gekoppelt war.

Mit der zweiten Entwicklungsrichtung meinen wir den Phonographen von EDISON, der wie der Kymograph das Prinzip der Aufzeichnung auf einer Walze verwendet. Insbesondere wird der Phonograph (Abb. 5) als Vorläufer des Phonographen angesehen. Der Vorteil des Phonographen war natürlich, dass man das Aufgezeichnete wieder hörbar machen konnte. Allerdings hat PANCONCELLI-CALZIA nachgewiesen, dass CH. CROS in Frankreich noch vor EDISON ein Verfahren entwickelt hat, kymographische Aufzeichnungen wieder hörbar zu machen, indem er diese klischieren ließ [2].

Literatur

- [1] MEHNERT, D.: Historische phonetische Geräte. Katalog der historischen akustisch-phonetischen Sammlung (HAPS) der TU Dresden, erster Teil. Dresden: TUDpress 2012 (Studentexte zur Sprachkommunikation, Band 62).
- [2] PANCONCELLI-CALZIA, G.: Zur Geschichte des Kymographions. Zeitschrift für Laryngologie, Rhinologie, Otologie und ihre Grenzgebiete 26 (1935) 3, S. 196 – 207.
- [3] MEHNERT, D.; HOFFMANN, R.; DIETZEL, R.; KORDON, U.: Über den Ursprung der Mareyschen Kapseln. In: HOFFMANN, R. (Hrsg.): Sammeln und Forschen. Gesammelte Beiträge über historische phonetische Geräte. Dresden: TUDpress 2010 (Studentexte zur Sprachkommunikation, Bd. 55), S. 72 – 80.
- [4] HOFFMANN, R.; LÖBE, L.-P.; PFEIFFER, W.: „Ich holte meine Prager Schriften“ – Leben und Werk des Otologen Johannes Kessel. Dresden: TUDpress, erscheint 2015.
- [5] HOFFMANN, R.; LÖBE, L.-P.: Die gemeinsamen Arbeiten von Johannes Kessel and Ernst Mach in Prag 1871 – 1874. Proceedings of the International Conference on Acoustics, AIA-DAGA 2013, Merano, 18. – 21. 3. 2013.
- [6] LESKY, E.: Meilensteine der Wiener Medizin. Große Ärzte Österreichs in drei Jahrhunderten. Wien, München, Bern: Wilhelm Maudrich 1981.
- [7] LESKY, E.: Zu Carl Ludwigs Wiener Zeit 1855 – 1865. Sudhoffs Archiv für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften 46 (1962) 2, S. 178 – 182.
- [8] LUDWIG, C.: Beiträge zur Kenntnis des Einflusses der Respirationsbewegungen auf den Blutlauf im Aortensysteme. [Joh. Müllers] Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin (1847), S. 243 – 268, Tabellenanhang S. 269 – 302, Tafeln X – XIV.
- [9] ZIMMERMANN, E. [Firma]: Psychologische und physiologische Apparate. Liste 50, Leipzig und Berlin 1928.
- [10] ROUSSELOT, P.-J.: Principes de phonétique expérimentale. Paris / Leipzig: Welter 1897 – 1908. 2^{ème} édition en deux tomes. Paris: Welter 1924.
- [11] BRÜCKE, E.: Grundzüge der Physiologie und Systematik der Sprachlaute für Linguisten und Taubstummenlehrer. Wien: Gerold 1856. – 2. Auflage 1876.
- [12] BRÜCKE, E.: Die physiologischen Grundlagen der neuhochdeutschen Verskunst. Wien: Gerold 1871.
- [13] MACH, E.: Zur Theorie der Pulswellenzeichner. Sitz.ber. d. math.-naturwiss. Classe d. kaiserl. Akademie der Wissenschaften 46 (1862), II. Abt., S. 157 – 174.
- [14] MACH, E.: Über die Gesetze des Mitschwingens. Sitz.ber. d. math.-naturwiss. Classe d. kaiserl. Akademie der Wissenschaften 47 (1863), II. Abt., S. 33 – 48.
- [15] MACH, E.: Über eine neue Einrichtung des Pulswellenzeichners. Sitz.ber. d. math.-naturwiss. Classe d. kaiserl. Akademie der Wissenschaften 47 (1863), II. Abt., S. 53 – 56.
- [16] MACH, E.: Zur Theorie des Gehörorgans. Sitz.ber. d. math.-naturwiss. Classe d. kaiserl. Akademie der Wissenschaften 48 (1863), II. Abt., S. 283 – 300.
- [17] HOFFMANN, D.; LAITKO, H. (Hrsg.): Ernst Mach. Studien und Dokumente zu Leben und Werk. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften 1991.
- [18] MUDRY, A.: Adam Politzer – A life for otology. Asuncion: Wayenborgh S. A. 2010 (The History of Otology, vol. 1).
- [19] PANTALONY, D.: Altered sensations. Rudolph Koenig's acoustical workshop in nineteenth-century Paris. Dordrecht etc.: Springer 2009 (Archimedes, Bd. 24).
- [20] PISKO, F. J.: Die neueren Apparate der Akustik. Für Freunde der Naturwissenschaft und der Tonkunst. Wien: Gerold 1865.
- [21] POLITZER, A.: Untersuchungen über Schallfortpflanzung und Schalleitung im Gehörorgane im gesunden und kranken Zustande. I. Experimental-physiologischer Theil. Archiv für Ohrenheilkunde 1 (1864), S. 59 – 73.
- [22] LESKY, E.: Die Wiener medizinische Schule im 19. Jahrhundert. Graz / Köln: Böhlau 1965 (Studien zur Geschichte der Universität Wien, Bd. VI).
- [23] HELMHOLTZ, H.: Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Braunschweig: Vieweg und Sohn 1863.
- [24] POLITZER, A.: Beiträge zur physiologischen Akustik und zur Diagnostik der Gehörkrankheiten (mit Demonstration). [Redaktioneller Bericht in:] K. k. Gesellschaft der Ärzte, Sitzung vom 12. Mai 1865. Wiener Medizinische Wochenschrift 15 (1865) 41, Sp. 738 – 740.