Christian Kassung, Sebastian Schwesinger und Christian Seifert

Mit den Haaren hören

1832 – 2014 – 1897

1832. Der Seismograf

Wäre der »academische Bürger an der Hochschule zu München« Lorenz Hengler nicht Priester im katholischen Süddeutschland geworden, so wäre sein Name vermutlich dem vollständigen Vergessen anheim gefallen.[1] Dabei basiert die Seismografie, also die Aufzeichnung von Erdbeben, zu großen Teilen auf seiner Erfindung, dem Horizontalpendel (Abb. 1). Henglers Idee von 1832 ist bestechend einfach: Weil alle nicht senkrechten Kräfte auf ein gewöhnliches Pendel nur mit dem Sinus einwirken, lässt sich dessen Empfindlichkeit dadurch erhöhen, dass man es in die Horizontale neigt. Das Ergebnis ist ein Instrument, das fähig ist, »jede auch noch so geringe Kraft, welche nicht in paralleler Richtung mit der Schwere wirkt, zu messen«.[2] Doch diese extreme Steigerung der Empfindlichkeit hatte auch zur Folge, dass das Pendel Phänomene registrierte, die Hengler eigentlich nicht sehen oder messen wollte. Sein Pendel stand niemals still, weshalb »alle fremden Kräfte müssen abgehalten werden, besonders Luftzug, oder auch Magnetismus, Elektricität etc.«[3] Und dass man ein Labor natürlich niemals ganz von diesen »fremden Kräfte[n]« befreien kann, wusste auch der Physiker und Spiritist Karl Friedrich Zöllner,

1 Zöllner 1873, 141.
2 Hengler 1832, 82.
3 Ebd., 84.

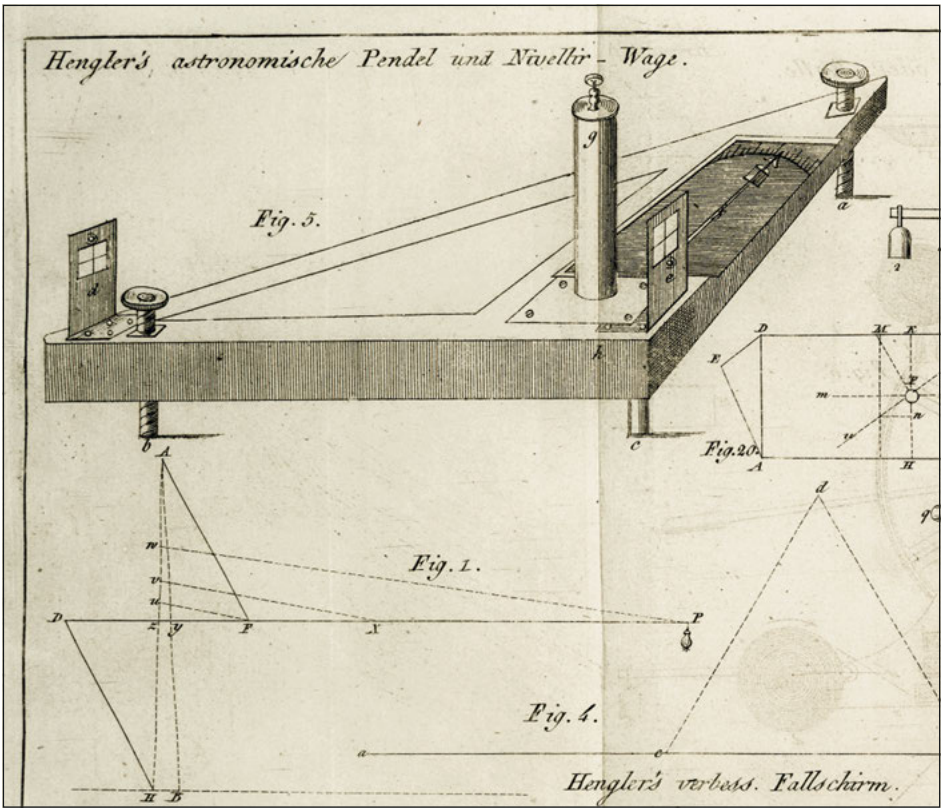

Abb. 1: »Hengler's astronomische Pendel und Nivellir-Wage«.

als er knapp 40 Jahre später Henglers Idee aufgriff, um mittels Horizontalpendel dann eben auch Geistern auf die Spur zu kommen (Abb. 2).

Die sich zwischen Lorenz Hengler und Karl Friedrich Zöllner aufspannende Geschichte ist, ohne dies hier weiter ausführen zu können, paradigmatisch für die mit jedem naturwissenschaftlichen Experiment verbundene Herausforderung:[4] Je genauer eine Messung ist, umso mehr fallen dabei Daten an, deren Verhältnis zum beobachteten Phänomen unsicher bis problematisch ist. Das Diktum des französischen Philosophen Michel Serres, dass man nur sieht, weil man schlecht sieht, trifft ins Herz der naturwissenschaftlichen Epistemologie.[5] Ein Experiment muss grundsätzlich zweierlei leisten: möglichst genau messen und möglichst effektiv filtern. Es operiert dabei zwangsläufig an den Grenzen des Wissens.

4 Siehe hierzu ausführlicher Kassung 2007, 238–252.

5 Siehe Serres 1980.

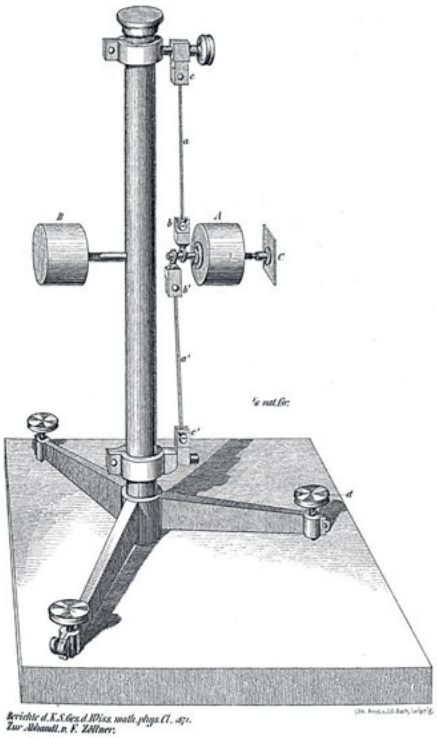

Abb. 2: Horizontalpendel nach Karl F. Zöllner, 1871.

Kommen wir zum Pendel und den mechanischen Kräften zurück, so haben die Experimentalphysiker im 19. Jahrhundert vor allem zwei Strategien entwickelt, um die Genauigkeit einer Messung zu erhöhen. Diesseits des Apparats kann man das Pendel verlängern, den Drehpunkt verschieben, den Zeiger weiter ausschlagen lassen. Je länger der Hebel, umso empfindlicher reagiert das System. Jenseits des Apparats kann man das Pendel in die Horizonale kippen, den Kontaktpunkt verkleinern, die Auflösung erhöhen. Je schmaler der Hebel, umso empfindlicher reagiert das System. Mit einem unendlich dünnen und unendlich langen Stab könnte man alle Geheimnisse dieser Welt ertasten.

Wenn nicht das Tönen der Geheimnisse vom Rauschen des großen Gähnens überlagert wäre, dem Karl Friedrich Zöllner nach 1877 in einer ganzen Reihe von Seancen nachging, während sein immerhin aus einer 2,10 m langen, dünnen Glasstange bestehendes Horizontalpendel im 12 m tiefen Keller des Universitätsgebäudes eher auf die Studenten im sich darüber befindlichen Auditorium denn auf »elektrische und magnetische Kräfte« reagierte.[6] Womit sich die Herausforderung der Experimentalphysik zunehmend von der Generierung zur Interpretation der Daten verschob oder eben dem Filter, der jene Differenzen zuallererst erzeugt, denen diskursive Bedeutungen zugesprochen werden können. Die Skalierung der Messanordnung führt demnach ebenso wie deren gänzliche Neugestaltung zu erheblichen Erkenntnisproblemen, indem der Abstand zwischen Rauschen und Signal sowohl kontinuierlich wie auch sprunghaft abnimmt. Die Kakophonie des Rauschens markiert eine Grenze, jenseits derer alles Fühlen, Tasten und Registrieren buchstäblich sinnlos wird. Der Kontaktpunkt lässt sich nicht beliebig verkleinern und die Skalierung nicht beliebig vergrößern. Wer das Pendel zu weit in die Horizontale neigt oder die Abtastnadel seines Apparats zu stark verkleinert, der zeichnet höchstens sich selbst auf, nicht aber das Phänomen. Anders – und polemisch – formuliert: Wer den Versuch wagte, den Kontaktpunkt bis in den atomaren Bereich hin zu verkleinern, der konnte nur entweder als Spiritist enden oder einen Nobelpreis erhalten.

6 Zöllner 1869, 283.

2014. Das Rasterkraftmikroskop

Bekanntlich ereignete sich Letzteres: ein Nobelpreis. 1986 gelang es der Forschergruppe um den deutschen Physiker Gerd Binnig, ein Mikroskop zu entwickeln, das so empfindlich auf seine Umwelt reagiert, dass sich damit atomare Oberflächen zeilen- und spaltenweise abtasten lassen. Normalerweise wird ein Rasterkraftmikroskop also dazu verwendet, Oberflächen abzutasten. Oder, wie es in der Patentschrift von Gerd Binnig und Heinrich Rohrer heißt, es »wird eine feine Spitze als Abtastelektrode im Abstand von einigen Zehntel Nanometer rasterartig in parallelen Abtastlinien über die Oberfläche einer leitenden Probe geführt«.[7] Öffentlichkeitswirksam inszeniert wurde diese neue Experimentalpraxis beispielsweise durch *IBM*-Spielereien mit dem Firmenlogo (Abb. 3) oder dem kleinsten Film der Welt *A Boy and His Atom*.[8] Das *IBM*-Nanologo wurde mit einem Rastertunnelmikroskop hergestellt. Dabei kommt eine Abtastelektrode einer elektrisch leitenden Oberfläche so nahe, dass zwischen Taster und Oberfläche ein sogenannter Tunnelstrom fließt. Mithilfe dieser Kraftwirkung lassen sich einzelne Atome verschieben, wobei die Oberfläche auf das eingeschriebene Logo reagiert: Die wellenartigen Muster stellen die Energiezustände der Elekronen an der Oberfläche dar.

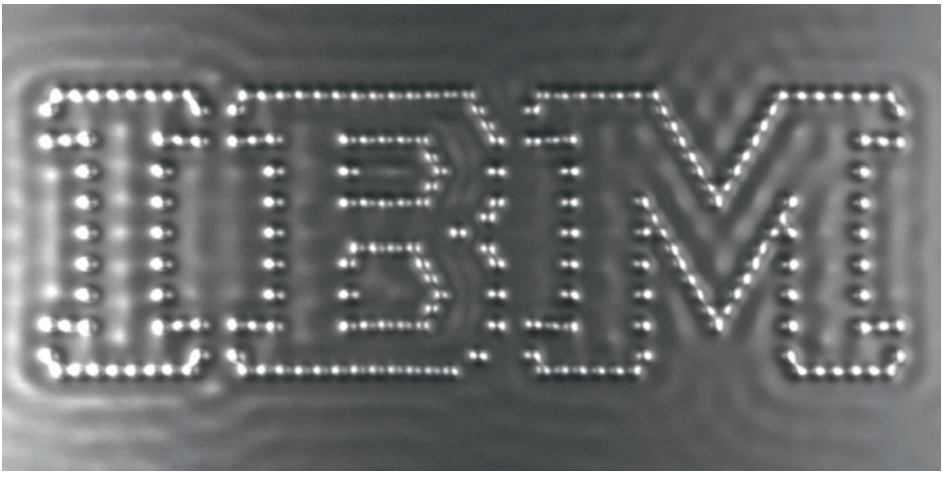

Abb. 3: *IBM*-Nanologo, Video Still aus *A Boy and His Atom*, 1:33 min.

Wir können heute also mechanisch sehr viel genauer und tiefer in die Dinge hineinfühlen als hineinsehen. Oder etwas vorsichtiger formuliert: In der Nanowelt der mikroskopischen Tastspitze bzw. des Cantilevers brechen makroskopische Differenzen wie diejenigen zwischen dem Hören, Tasten und Sehen, dem Kontinuierlichen und dem Diskontinuierlichen, dem Analogen

7 Binnig/Rohrer 1979, 1.

8 Online unter: *http://www.research.ibm.com/articles/madewithatoms.shtml#fbid=pKi2wGYVHv_* (zuletzt aufgerufen: 6. Januar 2015).

und dem Digitalen schlichtweg zusammen. Die Skalierung der epistemischen Anordnung aus Membran und Hebel in den mikroskopischen Bereich hinein verwischt dabei aber nicht nur diese begrifflichen Grenzen, sondern sie ermöglicht zugleich eine vertiefte Reflexion dieser Differenzen im Makroskopischen. Die Konzeption des ›Hörens‹ als Abtastung denkt die Wahrnehmung humaner und nichthumaner Akteure zusammen. Was sich derzeit unter dem Label *Sonic Materialism* als Forschungsperspektive formiert, schließt genau hieran an:[9] Die Berücksichtigung haptischer Wahrnehmungsmodi erweitert das Hören auf den gesamten Körper, das heißt über das vermeintlich privilegierte decodierende Hören mit den Ohren hinaus. Ebenso etabliert sich in dieser materialbasierten Sichtweite eine skulpturale Vorstellung von Klang unabhängig vom tatsächlichen menschlichen Erleben, die sowohl die Grenzen von Fläche und Form als auch von kontinuierlichem und diskontinuierlichem Ereignis im Medium des Klangs hinterfragt.

Die epistemische Reichweite beim Kollaps dieser gewohnten Differenzen gilt es aber auch durch neue Formen der Experimentalisierung konkret produktiv zu machen. Zurückbezogen auf das Experimentalsystem des Rasterkraftmikroskops lässt sich so beispielsweise der Cantilever mit dem Hören von Oberflächen zusammendenken. Was würde passieren, wenn wir nicht wie bisher Oberflächen abtasten, sondern – indem die Detektionsfunktion der epistemischen Konfiguration aus Membran und Hebel invertiert wird – tasten, wie Oberflächen auf ihre Umwelt reagieren? Aus dem ins Extrem verkleinerten Kontaktpunkt wird eine maximal dünne Kontaktfläche, eine Membran, die schwingen kann. Wir verwandeln das Rasterkraftmikroskop in ein Rasterkraftaudioskop, indem wir einen möglichst kleinen Hebel an einer möglichst dünnen Membran befestigen. Oder metaphorisch gesprochen: Was würde ein Haar hören, wenn wir es auf wenige Nanometer Dicke verkleinerten (Abb. 4)?

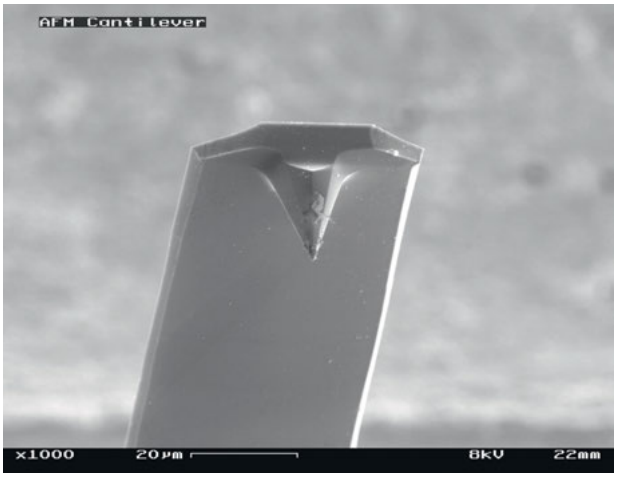

Abb. 4: Cantilever eines Rasterkraftmikroskops (AFM).

9 Vgl. beispielsweise das *haptic hearing* bei Anahid Kassabian oder den *non-cochlear sound* bei Will Schrimshaw.

Im Idealfall ist die aufgehängte Membran eine einatomar dünne Graphenschicht, deren Herstellung jedoch mit einem nicht unerheblichen handwerklichen Aufwand verbunden ist. Sie wird durch Entblättern von einem Graphitblock hergestellt, der auf einem dotierten Siliziumwafer liegt.[10] Dieser ist mit einer wenige zehn Mikrometer dünnen elektrisch isolierenden Oxidschicht überzogen. Das auf der Oxidschicht präparierte Graphen wird mit einer entsprechenden elektrischen Goldelektrode lithografisch kontaktiert. In einem zweiten lithografischen Prozess wird ein schmaler Graben unter dem Graphen geätzt, sodass die Membran frei und ihren physikalischen Eigenschaften entsprechend schwingen kann.[11] Die zweite Elektrode bildet der dotierte Siliziumwafer selbst. Diese Probe fungiert zugleich als ein Kondensator, das heißt, es kann durch Anlegen einer elektrischen Spannung an die Elektroden eine Kraft auf die Graphenmembran ausgeübt werden, wodurch diese entsprechend dem Spannungsverlauf schwingt. Die Superposition dieser erzwungenen Schwingungen mit den Eigenschwingungen des aufgehängten Graphens sorgt für die notwendige Verstärkung der messbaren Amplituden.

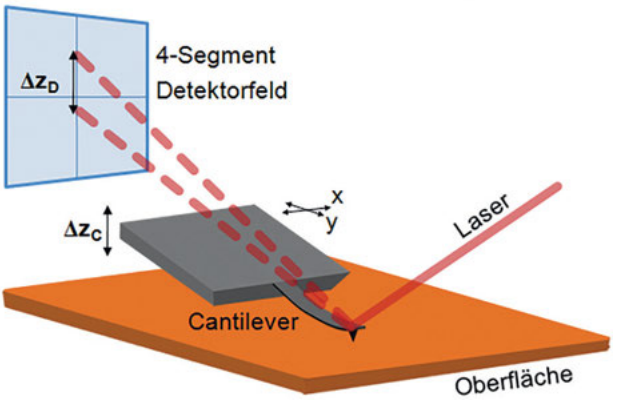

Abb. 5: Prinzip eines Rasterkraftmikroskops: Cantilever, Laser, Detektor.

Als Hebel, der die Bewegungen der Graphenschicht detektiert, dient nun das Rasterkraftmikroskop. Ähnlich wie Zöllner die Bewegungen des Pendels über einen Spiegel vergrößerte, besteht das Rasterkraftmikroskop neben dem Cantilever aus einem Laser, einem aus vier Segmenten bestehenden Detektor und einem Controller (Abb. 5). Der Cantilever ist ein wenige Mikrometer langer Schwingarm, an dessen Ende sich eine feine Spitze befindet. Diese hat im besten Fall einen Spitzenradius von wenigen Nanometern und ermöglicht somit eine atomare Auflösung. Die Spitze tastet nun also die Oberfläche ab, wobei sehr komplexe Wechselwirkungskräfte entstehen, was qualitativ hier jedoch vernachlässigt werden kann. Das andere Ende des Cantilevers hängt herstellungsbedingt an einem einige Millimeter großen Körper, um eine bessere Handhabung der Spitze und deren festen Einbau in die Apparatur zu ermöglichen.

10 Erklärtes Verfahren in Eilers 2013.

11 Siehe Garcia-Sánchez 2008, 1399–1403, sowie Eska 1997, 73.

Wenn also das eine Ende des Schwingarms fixiert ist, muss das andere Ende, an dem sich der Kontaktpunkt befindet, der Oberfläche folgen. Dadurch verändert sich die Position der Spitze kontinuierlich. Ein am Spitzenende reflektierter Laserstrahl überträgt diese Bewegung entsprechend vergrößert auf einen Detektor, welcher das optische Signal in ein elektrisches umwandelt und über einen Controller (der auch zur Steuerung des Rasterkraftmikroskops dient) die aufgearbeiteten Daten ausgibt. Rastert man nun nicht eine Oberfläche ab, sondern lässt den Cantilever auf der Membran ruhen, so wird aus dem Abtasten einer Oberfläche ein Abtasten (oder Hören) *mit* einer Oberfläche.

Die untenstehende Abbildung zeigt den aktuellen Stand der Laborarbeit, eine nanoskopische Membran durch Entblättern auf einer bereits vorgefertigten Fingerelektrode herzustellen (Abb. 6). Zu sehen ist zunächst eine Höhenbildaufnahme durch ein Rasterkraftmikroskop mit einer Seitenlänge von ca. 20 x 20 µm. Klar erkennbar ist eine Differenzierung von Goldschicht, Graben (etwa 2,5 µm breit) und aufliegender Graphenschicht. Betrachtet man die gleiche Situation als Cross Section, also als Profil des Höhenverlaufs, so entsteht ein nicht unerheblicher Interpretationsbedarf des Höhenbildes. Wir sehen von links beginnend eine hohe Goldschicht, den sich ihr anschließenden Graben sowie die nach rechts auslaufende Graphenschicht. Allerdings messen wir in dieser Cross Section eine Schichtdicke des Graphens von etwa 6 bis 7 nm, was ca. 15 bis 18 Lagen entspricht. Dies lässt nur eine Schlussfolgerung zu: Die Graphenschicht liegt auf dem Graben auf, statt wie gewünscht diesen zu überspannen. Offensichtlich ließ sich beim Entblättern bisher noch keine ausreichend dünne Graphenschicht erzeugt. Erst in der Zusammenschau beider Darstellungen wird somit klar, dass die Präparationsmethoden weiter verfeinert werden müssen, um die gewünschten Membranschwingungen detektieren zu können.

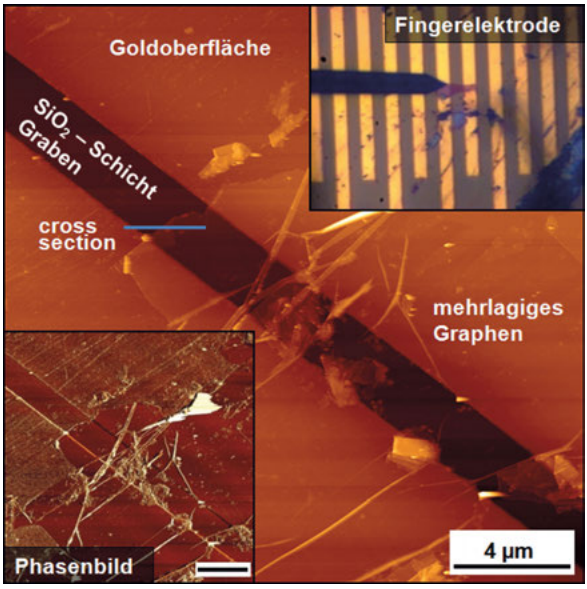

Abb. 6: Höhen- und Phasenbild der Probe.

1897. Das Grammophon

Blicken wir nun noch einmal, von diesem konkreten Versuchsaufbau ausgehend, zurück in die Wissenschaftsgeschichte, so führt dies erneut zum Klang zurück, genauer gesagt zur Klang- und Hörforschung. Vor allem beim Hörsinn finden sich Membranen, deren kleinste Bewegungen abgetastet werden. So ist das vielleicht beste Rasterkraftmikroskop schlichtweg unser Ohr. Mit einer Dicke von ungefähr 0,1 mm ist das Trommelfell zwar vergleichsweise ›klobig‹. Trotzdem detektiert es Auslenkungen im Bereich eines Zehnmillionstelmeters, also von 0,01 nm.[12] Das Trommelfell ist eine Membran, die geringste Druckveränderungen der Umwelt so filtert, dass nur ein bestimmter Frequenzbereich wahrgenommen wird – eben als Klangereignis. Ohne entsprechende physiologische und kognitive Filter jedoch – wir erinnern uns an das Diktum von Michel Serres – würden wir jedes Kopfschütteln unserer Nachbarinnen und Nachbarn hören. Damit sind wir bei der alles entscheidenden Frage der Klangforschung im 19. Jahrhundert: Worin besteht die bedeutungsgenerierende Differenz von Klängen? Und wie realisiert das Ohr die entsprechenden Filter?

Am Leitfaden dieser Grundfrage entwickelten Forscher wie Ernst Chladni, Achim von Arnim, Johann Wilhelm Ritter oder Hans Christian Ørsted einen eigenen Raum der Sichtbarkeit unter einem enormen technischen Aufwand.[13] Die zentrale experimentelle Strategie der Verwandlung von Klängen in Bilder zum Zwecke ihrer nachgängigen Vermessung, Analyse und Interpretation kennt dabei zwei grundlegende Spielarten: einerseits den Graphen – die in der Fläche operierende Anzeichnung – und andererseits die Glyphe als die im Raum operierende Aufzeichnung. Für den Graphen lassen sich als vielleicht eindrücklichstes Beispiel die manometrischen Flammen von Rudolph Koenig anführen (Abb. 7). ›Tönende Luftwellen‹ werden dabei in sichtbare Schwingungen verwandelt, indem diesseits einer Membran ein brennbares Gas strömt, sodass Schallereignisse jenseits der Membran den Gasstrom geradezu unmittelbar beeinflussen können:[14] Die Flammen schwingen präzise im Takt der Klänge. Stellt man die Flammen über rotierende Spiegel oder Rußbilder still, so lassen sich beispielsweise Kongruenzen zwischen einzelnen Vokalen und bestimmten Flammenbildern feststellen oder zumindest diskutieren.

Nun können diese Graphen bekanntlich nicht in Klänge zurückverwandelt werden, wohl aber Glyphen, so wie sie beim Grammophon von einer wiederum an einer Membran befestigten Nadel direkt ins Metall geschnitten werden und somit zu einer »écriture *naturelle*« werden.[15] Was die Vermutung nahelegt, dass der 3D-Code der Schallplattenrille sehr viel mehr Eigenschaften eines Klangs speichert als die zweidimensionale Spur der Graphen: »[C]et instrument, nul ne l'ignore, c'est le phonographe.«[16] Allerdings zu dem Preis, dass messbare Eigenschaften des

12 Vgl. Eska 1997, 73.
13 Siehe Rieger 2009, 62–73.
14 Koenig 1872, 161.
15 Marichelle 1897, 11 (Hervorh. i. Original).
16 Ebd., 10.

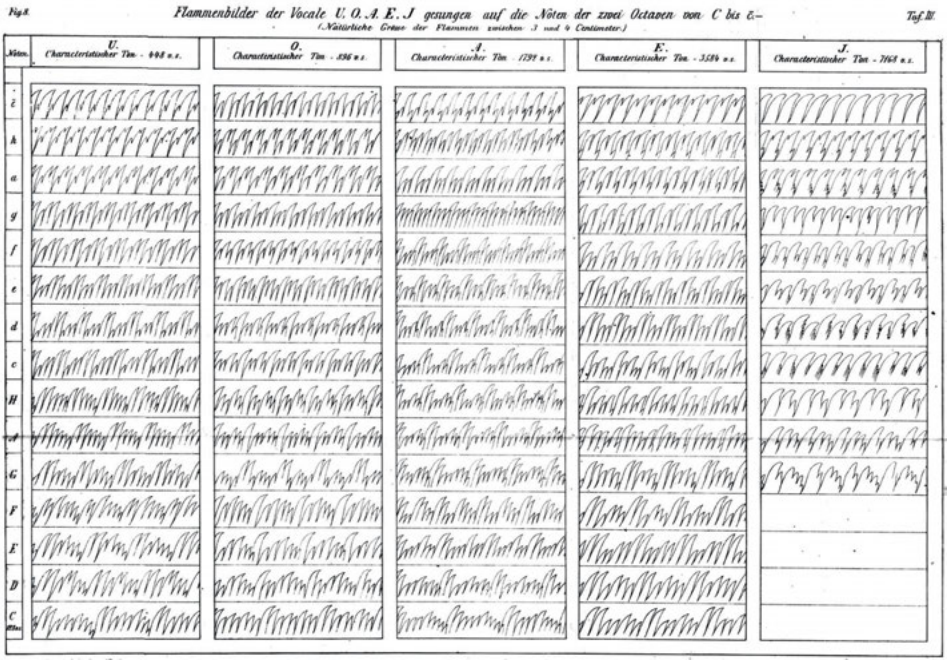

Abb. 7: »Flammenbilder der Vocale«.

Klangs nur aus der Transformation der Glyphen in Graphen gewonnen werden können. Also wurde die Rille mittels Tastnadel in Kurven übersetzt, was jedoch wenig brauchbare Ergebnisse lieferte. Der Phonetiker Giulio Panconcelli-Calzia resümiert in seinem *Quellenatlas zur Geschichte der Phonetik*: »Daß auf diese Weise nur sehr mangelhafte Ergebnisse zu erzielen waren, steht heute fest; die so erhaltenen Kurven reichen im günstigsten Fall zur Ausmessung der Tonhöhe.«[17] Im weiteren Verlauf wurden Mikroskope, fotografisches Papier, bewegte Spiegel und Ähnliches verwendet, um den Rillen sozusagen auf die Spur zu kommen.

Aus der Masse dieser Medienverbünde möchten wir abschließend ein Verfahren zur Überführung der Glyphen in den Bereich des Sichtbaren genauer beleuchten, weil uns dieses wesentlich für das Verhältnis von Historisierung und Experimentalisierung zu sein scheint. Hector Marichelle, Professor am Pariser Institut für Taubstumme, legte 1897 ein umfängliches Werk zur *Parole d'après le tracé du phonographe* vor. Zwischen dem Realen der Glyphe und dem Symbolischen des Graphen vermittelte hier nicht erneut ein Apparat, sondern die Hand des Professors selbst. Marichelle hockte über dem Mikroskop und blickte direkt in die Schallspur, um diese mit der freien Hand nachzuzeichnen. So wie das Ohr besser als jedes Phonoskop die Stimme auf der Platte in Vokale und Konsonanten zerlegt, so erkennt die Hand besser als jeder Kymograf die Vokale und Konsonanten in der Rille. Die Umzeichnung Marichelles ist ein epistemischer

17 Panconcelli-Calzia 1940, zit. nach Rieger 2009, 98.

Prozess, ein Bildakt im weiteren Sinne (Abb. 8). Um dies zu beweisen, stellte er seine Graphen den Flammenbildern gegenüber, was natürlich eine Inszenierung war: Schlägt sich das Reale noch voll in der Form der Flammen nieder, bestechen die phonographischen Figuren durch symbolhafte Eindeutigkeit.

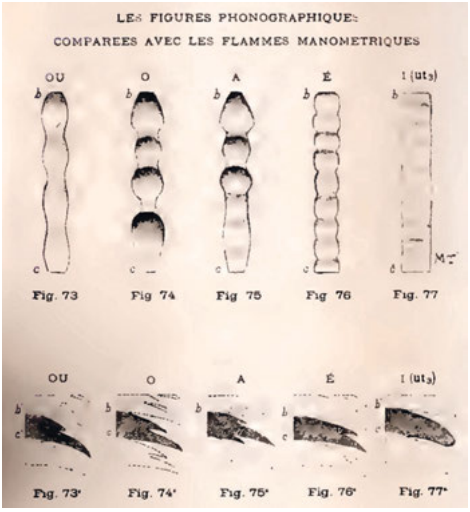

Abb. 8: »Les figures phonographiques comparées avec les flammes manometriques«.

Es ist also eine doppelte Übersetzung, die Marichelle benötigte, um die symbolische Ebene zu erreichen, indem er den sprachlichen Lautstrom der Zylinderrille mit dem Zeichenstift digitalisierte. Marichelle vertraute der Operation des Tastens, das immer zugleich ein Hören der Oberfläche ist, genauso wie die heutigen Experimentalphysikerinnen und -physiker, die mit einem Rasterkraftmikroskop arbeiten. Der interpretatorische Sprung im Prozess der Bildgebung ereignet sich dabei gleichermaßen innerhalb der Wissensgeschichte wie in der aktuellen Forschung. Bilder spielen in der Wissensproduktion der Naturwissenschaften nicht bloß auf der symbolischen Ebene eine entscheidende Rolle. Die Produktion dieser Bilder setzt sehr konkrete Operationen voraus (und das heißt natürlich auch Instrumente und Apparate), die grundsätzlich als epistemische Praktiken zu verstehen und auf ihre bedeutungsgenerierende Funktion hin zu untersuchen sind.

Literatur

Binnig, Gerd/Rohrer, Heinrich (1979): ***Scanning Apparatus for Surface Analysis Using Vacuum-Tunnel Effect at Cryogenic Temperatures (Gerät zur rasterartigen Oberflächenuntersuchung unter Ausnutzung des Vakuum-Tunneleffekts bei kryogenischen Temperaturen)***. Patent CH643397, 20. September.

Eilers, Stefan (2013): ***Strukturelle und Elektronische Eigenschaften von Nanographen-Graphen-Systemen sowie Schnitt- und Faltverhalten von Graphen***. Diss., Humboldt-Universität zu Berlin. Online unter: *http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/eilers-stefan-2013-04-05/PDF/eilers.pdf* (zuletzt aufgerufen: 6. Januar 2015).

Eska, Georg (1997): ***Schall & Klang. Wie und was wir hören***. Basel/Boston/Berlin: Birkhäuser Verlag.

García-Sánchez, Daniel et al. (2008): ***Imaging Mechanical Vibrations in Suspended Graphene Sheets***. In: Nano Letters, vol. 8, no. 5, pp. 1399–1403.

Hengler, Lorenz (1832): ***Astronomische Pendelwage, nebst einer neuen Nivellirwage, erfunden und dargestellt von Lorenz Hengler, akademischen Bürger an der Hochschule zu München***. In: Polytechnisches Journal, Jg. 43, Nr. 2, S. 81–92.

Kassabian, Anahid (2013): ***Ubiquitous Listening. Affect, Attention, and Distributed Subjectivity***. Berkeley/Los Angeles/London: University of California Press.

Kassung, Christian (2007): ***Das Pendel. Eine Wissensgeschichte***. München: Wilhelm Fink.

Koenig, Rudolph (1872): ***Die manometrischen Flammen***. In: Annalen der Physik und Chemie, Jg. XCLVI, Nr. 6, S. 161–199.

Marichelle, Hector (1897): ***La parole d'apres le tracé du phonographe***. Paris: Librairie Ch. Delagrave.

Panconcelli-Calzia, Giulio (1940): ***Quellenatlas zur Geschichte der Phonetik***. Hamburg: Hansischer Gildenverlag.

Rieger, Stefan (2009): ***Schall und Rauch. Eine Mediengeschichte der Kurve***. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.

Schrimshaw, Will (2013): ***Non-Cochlear Sound: On Affect and Exteriority***. In: Biddle, Ian/Thompson, Marie (eds.): Sound, Music, Affect. Theorizing Sonic Experience. New York/London: Bloomsbury, pp. 27–44.

Serres, Michel (1987): ***Der Parasit***. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.

Zöllner, Johann Karl Friedrich (1869): ***Ueber eine neue Methode zur Messung anziehender und abstossender Kräfte***. In: Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. Mathematisch-Physische Classe, Nr. 21, S. 281–284.

Zöllner, Johann Karl Friedrich (1871): ***Ueber den Ursprung des Erdmagnetismus und die magnetischen Beziehungen der Körper***. In: Berichte über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. Mathematisch-Physische Classe, Nr. 23, S. 479–575.

Zöllner, Johann Karl Friedrich (1873): ***Zur Geschichte des Horizontalpendels***. In: Annalen der Physik, vol. 226, no. 9, pp. 140–150. Online: *http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18732260909/epdf* (last access: 29 May 2015).

ckassung@culture.hu-berlin.de
Principal Investigator
Basisprojekte: **Analogspeicher, Piktogramme**
Disziplin: **Kulturwissenschaft**

Christian Kassung ist seit 2006 Professor für Kulturtechniken und Wissensgeschichte an der Humboldt-Universität zu Berlin. Kassung ist Vizedirektor des Hermann von Helmholtz-Zentrums für Kulturtechnik. Seinen Forschungsschwerpunkten der Wissens- und Kulturgeschichte der Naturwissenschaften, vor allem der Physik, der Geschichte und Praxis technischer Medien sowie der Literatur- und Kulturtheorie spürt er am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung* in zahlreichen Positionen und Projekten nach.

sebastian.schwesinger@hu-berlin.de
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Basisprojekt: **Analogspeicher**
Disziplin: **Kulturwissenschaft, Sound Studies**

Sebastian Schwesinger studierte International Management und Controlling an der Hochschule für Ökonomie & Management und der Hogeschool Zeeland, anschließend Kulturwissenschaft, Musikwissenschaft und Philosophie an der Humboldt-Universität zu Berlin und der London Metropolitan University. Am Exzellenzcluster *Bild Wissen Gestaltung* forscht er zum Verhältnis von Klang, Materialität und Infrastrukturdesign. Daneben leitet er ein Lehr- und Forschungsprojekt zur Auditiven Kulturwissenschaft, produziert künstlerisch-wissenschaftliche Hörstücke, ist Gründer des experimentellen Medienprojekts *soniK RadiofabriK* und Mitglied des *gamelab.berlin*.

christian.seifert@physik.hu-berlin.de
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Basisprojekt: **Analogspeicher**
Disziplin: **Physik**

Christian Seifert machte einen Abschluss als Kommunikationselektroniker bei Siemens und studierte im Anschluss Physikalische Technik mit Fachrichtung Medizinphysik und Physik an der Technischen Fachhochschule Berlin und der Humboldt-Universität zu Berlin. Seit 2009 arbeitet er an letzterer als wissenschaftlicher Mitarbeiter und erforscht im Rahmen seiner Promotion, wie sich kleinste elektrische Ströme und Einzelmoleküle kontrollieren lassen.