

SIRENEN

LÖSUNGEN DES KLANGS VOM KÖRPER¹

PHILIPP VON HILGERS

Was wir aber erreichen können, ist die Kenntnis
der gesetzlichen Ordnung im Reiche des
Wirklichen, diese freilich nur dargestellt in dem
Zeichensystem unserer Sinneseindrücke.
Hermann von Helmholtz

Im anfänglichen Blitzkrieg der deutschen Wehrmacht stürzen Sirenen in ihrer vorerst letzten Bestimmung vom Himmel. Es ist Ernst Udet – ein Kampfflieger des Ersten Weltkriegs, Kunstflieger der Weimarer Zeit und Generalflugzeugmeister im Zweiten Weltkrieg –, der Sirenen am Sturzkampfflugzeug vom Typ Ju 87, besser bekannt als Stuka, anbringen läßt;² wohl auf Weisung des Oberbefehlshabers der Wehrmacht Adolf Hitler.³

Im Verbund mit der Stuka entfaltet die Sirene ihre volle Wirksamkeit und geht mit dem Flugzeug eine unauflösliche Einheit ein: Die Stukas sorgen im Sturzflug für einen stetig anschwellenden Luftstrom. Dieser treibt im Inneren der Sirene eine Scheibe an, die die Luft stoßartig für Bruchteile von Sekunden durch eine Reihe von Öffnungen entweichen läßt. Dabei entsteht ein ebenso ohrenbetäubender wie kontinuierlicher Klang. Im Sturzflug wird er nicht nur immer lauter, sondern auch immer höher, da sowohl Frequenz als auch Amplitude vom zunehmenden Luftdruck abhängen. Vom Boden aus betrachtet oder besser gesagt vernommen, tritt aber noch ein Phänomen hinzu: Durch den sogenannten Dopp-

-
- 1 Bei diesem Text handelt es sich um eine leicht veränderte und gekürzte Version eines Beitrags gleichen Titels, der in der Zeitschrift *Philosophia Scientiae* 7/1 (2003), S. 85–115, erschienen ist. Die Ausgabe der Zeitschrift ist den Forschungen Hermann von Helmholtz' gewidmet und wurde von Christoph Hoffmann und Alexandre Métraux herausgegeben.
 - 2 Len Deighton: *Blitzkrieg. Von Hitlers Triumphphen bis zum Fall von Dünkirchen*, übers. v. H. H. Werner, Bayreuth 1980, S. 208f.
 - 3 Paul Virilio: *Krieg und Kino. Logistik der Wahrnehmung*, übers. von F. Graefe, München, Wien 1986, S. 105f.

lerefekt schraubt sich die Tonhöhe des Sirenenklangs noch zusätzlich höher.⁴ Ernst Mach hatte schon vor der Existenz von Flugzeugen diese Möglichkeit bedacht: Einen von der Höhe herabfallenden Chor, der auf E-Dur gestimmt wäre, würde man am Boden somit in F-Dur hören.⁵ Sirenen im Verbund mit Stukas sind solche durch Sturzflüge transponierte Chöre. Die Wahrnehmung ihres Glissandos extensiviert punktuelle Angriffe der Sturzkampfflieger über alle physischen Grenzen hinaus. Am Ende des Krieges sind ›Teppichbombardierungen‹ in ihrer Ausbreitung jedoch genauso flächendeckend wie der Sirenenalarm, der sie ankündigt. Die Botschaft der Odyssee scheint folglich immer noch zu gelten: Die Warnung vor Sirenen und die Warnung durch Sirenen ist ein und derselbe unlösliche Bann.

Sirenen bewegen sich im Verbund mit Stukas durch die Luft, werden von ihr angetrieben, um nichts anderes als Luft zu modulieren. Ihr Reservoir ist endlos, ihr Klangkörper der grenzenlose Raum. Raumgreifender und totalitärer können Instrumentierungen kaum sein. Mechanische Sirenen sind aber keineswegs erst aus den Weltkriegen hervorgegangen, sondern aus Diskursen und Experimenten des 19. Jahrhunderts. Denn hundert Jahre zuvor erfolgt der Einbruch dreifacher Relativität: Bewegte Beobachter, bewegte Klangquellen und bewegte Trägermedien erzeugen Phänomene von einer Ambivalenz, die Forscher um 1850 nicht zur Ruhe kommen lassen.⁶

-
- 4 Gehen nämlich von einer Klangquelle nicht nur Impulse oder Schallwellen aus, sondern wird sie selbst in die gleiche Richtung bewegt, dann treffen die Schallwellenfronten in kürzeren Abständen auf Ohren am Zielort und bewirken einen Frequenzanstieg.
 - 5 Ernst Mach: »Ueber die Aenderung des Tones und der Farbe durch Bewegung«, in: *Annalen der Physik und Chemie* 116 (1862), S. 333–338, hier S. 334.
 - 6 Ernst Mach: »Ueber die Controverse zwischen Doppler und Petzval, bezüglich der Aenderung des Tones und der Farbe durch Bewegung«, in: *Zeitschrift für Mathematik und Physik* 6 (1861), S. 120–126, hier S. 123.
 Wenn in Albert Einsteins spezieller Relativitätstheorie – zumindest in ihrer populären Fassung – Eisenbahnen zur Ausstattung von Gedankenexperimenten gehören, dann waren um 1850 ganze Eisenbahnzüge noch realer Bestandteil von Experimentalsystemen zur Untersuchung des akustischen Doppelereffekts (vgl. Christoph Hendrik Diederik Buijs-Ballot: »Akustische Versuche auf der Niederländischen Eisenbahn, nebst gelegentlichen Bemerkungen zur Theorie des Hrn. Prof. Doppler«, in: *Annalen der Physik und Chemie* 66 [1845], S. 321–351); auch wenn »Eisenbahnen«, wie Ernst Mach lakonisch anmerkt, »als Experimentiermittel nicht Jedermann zu Gebote« standen (Ernst Mach: »Über die Änderung des Tones und der Farbe durch Bewegung«, in: *Sitzungsberichte der Mathematisch- Naturwissen-*

I Sireneninformationen

Von 1819 an eröffnen Sirenen Klänge, die nicht an die Erscheinung von Klangkörpern gebunden sind und statt dessen von Zeichensystemen ausgehen: Das gilt für den Gesang unsichtbarer Nymphen in Homers *Odyssee* genauso wie für die Klanggenerierung eines durch und durch szientifischen Instruments. Es sind immerhin noch die gleichen basalen Praktiken des Schreibens und Bezifferns, die so verschiedene Klangquellen mit demselben Wort namhaft machen. So lassen sich Sirenen, die mythischen wie die technischen, im selben Raum der Schrift und der Einschreibungen beleuchten. Wenn deshalb Hermann von Helmholtz in seiner *Lehre von den Tonempfindungen* als verbindliches klangliches Referenzsystem die Sirene an den Anfang stellt, dann gilt es zu bemessen, inwieweit eine Schrift längst mit der Sirene von einem Zeichensystem ihre Referenzen bezieht. Einfach ein Klangkörper sind Sirenen keinesfalls; sie scheinen Zeichensysteme zu formieren und selbst nichts anderes zu sein.

Historische Tiefenschichten, die ein unlängst angelaufenes Forschungsprogramm freizulegen unternimmt,⁷ liefern hierzu die kontrastive Folie. Zu ihr zählen die zeichentheoretisch tiefliegenden Befunde, dass die *Odyssee* Homers – anders noch als die frühere *Ilias* – mit dem griechischen Vokalalphabet ihr Spiel treibt, von und mit Stimmen spricht oder singt, die losgelöst von der körperlichen Präsenz heroischer Gestalten auf eine Hörerschaft ihre spurenreiche Wirkung ausüben. Ohne die Kontinuität einer technischen Entwicklung zu behaupten, die von Homer bis Helmholtz führe, bleibt zu fragen, ob Sirenen 800 Jahre vor Christus und jene nach 1800 mehr verbindet als ein recht freier Gebrauch einer Metapher. Denn wie schon die vokalalphabetische Schrift ermöglicht auch die technische Sirene, einen radikalen Sprung zwischen den Modalitäten des Auditiven und Visuellen zu unternehmen. Bemerkenswert ist zudem die Verschränkung musikalischer und mathematischer Zeichenkonzepte, die seit den Tagen der Pythagoreer alle Vorzeichenwechsel übersteht.

In Helmholtz' Werk *Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* dient die Sirene zur Integration verschiedener Forschungsfelder. Wissenschaftshistorisch fällt damit

schaftlichen Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 41 [Wien 1860], S. 543–560, hier S. 549).

7 Das von Friedrich Kittler geleitete Forschungsprogramm untersucht am Hermann von Helmholtz-Zentrum für Kulturtechnik innerhalb eines Forschungsbereichs, der der Verschränkung von Bild, Schrift und Zahl nachgeht, den Einsatz der Mathematik am Leitfaden des griechischen Vokalalphabets und der pythagoreischen Fundierung der Musik.

nicht nur ein weiteres Mal das Licht auf einen Forscher, dessen universelles Wirken schon bei Zeiten gerühmt wird. Denn im Schatten dieses Lichts harrt bis heute der Verdacht, jede Wissenschaft reiche nur soweit, wie die Medien, die sie beherrscht oder von denen sie beherrscht wird. Egal ob Sinnesorgan, Experimentalsystem oder Untersuchungsgegenstand, egal ob Physik, Physiologie oder Psychologie: Von einer bestimmten Zeit an versucht Helmholtz in dem jeweiligen Bereich ohne Unterschied mit Zeichensystemen Zeichensysteme freizulegen. Die Erkundung des Klangs, vor allem des Klangs der Stimme, spielt dabei eine Schlüsselrolle.

Die Initiation und Namensgebung der Sirene durch den an der *École polytechnique* geschulten Physiker Cagniard de la Tour beruhte auf einer experimentell streng umrissenen Hörsituation, in die der uneinholbare Klang einer menschliche Stimme einbricht und die gleichzeitig sicherstellt, dass alle bis dahin vertrauten Verweise auf menschliche Körper systematisch ausschlossen sind. Cagniard spielt mit seiner Namensgebung folglich nicht bloß nur auf einen Mythos an, sondern ruft im Namen der Sirene ein Klang- und Zeichensystem auf, das Stimmen in Absenz ihrer Körper festschreibt. Wie anders die Sirene Klang und Stimme in Beziehung zum Körper und zum Zeichen setzt, zeigen sowohl im 18. Jahrhundert aufgekommene *Sprechmaschinen* als auch die Geschichte der Klangaufzeichnung. Erst in der Sirene, so die These, finden Klangsynthese und Klanganalyse zu einer gemeinsamen Kodierungsform.

II Entwurf der Sirene

Baron Charles Cagniard de la Tour, der von seiner Erfindung der Sirene erstmals 1819 in den *Annales de Chimie et de Physique* berichtet, erklärt im einleitenden Passus ein Steuerungsprinzip geradewegs zum physikalischen Wirkungsprinzip selbst:

»Wenn der von den Instrumenten erzeugte Klang grundsätzlich von der regelmäßigen Folge vervielfachter Stöße abhängt, den sie an die atmosphärische Luft durch ihre Schwingungen abgeben, wovon die Physiker überzeugt sind, scheint es selbstverständlich anzunehmen, daß mit der Hilfe eines Mechanismus, der so zusammengesetzt ist, daß er die Luft mit derselben Geschwindigkeit und mit derselben Regelmäßigkeit anschlägt, ein Klang hervorgerufen wird.«⁸

8 Charles Cagniard de la Tour: »Sur la Sirène, nouvelle machine d'acoustique destinée à mesurer les vibrations de l'air qui constituent le son«, in: *Annales de Chimie et de Physique* 12 (1819), S. 167–171, hier

Es sind folglich nicht Schwingungen, die den Klang ursächlich hervorbringen, sondern eine Reihe von Stößen. Schwingungen, wie sie etwa von Saiteninstrumenten herrühren, nimmt die Luft nur in der Form einer Reihe von Stößen auf. Das aber heißt, dass Musikinstrumente keineswegs mehr als grundlegende Mechanismen der Klangerzeugung anzusehen sind. Denn die Sirene tritt nunmehr als Mechanismus an, der alle notwendigen und hinreichenden Elemente zur Klangerzeugung zusammenbringt. Dass der Natur immer eine Kontinuität zu unterstellen ist, wird damit fragwürdig. Nicht mehr zwingend ist die infinitesimale, schrittweise Annäherung der Zeichensysteme an unauflösliche Kontinuitäten, sondern zum Programm wird offensichtlich, die Diskontinuität diskreter Zeichensysteme wirkungsmäßig selbst in das Experimentalsystem einzulassen.

Die Elemente, die die Sirenen ausmachen, sind Serien von Lochungen. Sie verdichten Luft zu einem Strom, doch sie sind keineswegs nur operable Elemente. Sie bedienen auch Zeichenvorstellungen, indem sie die Möglichkeit eröffnen, als diskrete Zeichen beliebig gesetzt und gelesen zu werden (siehe Abb. 1 u. 2).

Cagniard erwähnt die Verwendung des Lochkartenprinzips zwar nicht, doch diagrammatisch listet er Zahlen von Lochungen und alte Tonsilben auf, was der Transponierung einer mittelalterlichen, auf der Stimme basierenden Codierung in eine völlig neue maschinelle gleichkommt. Die funktionale Verwandtschaft der perforierten Scheibe der Sirene zur Lochkarte, die seit 1807 zur Steuerung von Jacquards Webstühlen massenweise im Umlauf ist, ist sicherlich nicht bloß eine Koinzidenz.

Eindrucksvoll stellt Cagniard unter Beweis, dass sein Mechanismus nicht an eine spezifische Materialität gebunden ist. Cagniard taucht das Instrument unter Wasser und stellt fest, dass sie bei gleicher Konfiguration, aber nun bei strömenden Wasser, den gleichen Ton trifft – zudem einen Ton wie von einer »voix humaine«⁹. Als das Instrument die Eigenschaft aufweist, auch »im Wasser zu klingen«,¹⁰ heißt sie – in jedem Wortsinn – ihrem Erfinder: Sirene.¹¹

S. 167f. Im Original heißt es: »Si le son produit par les instrumens est dû principalement, comme le croient les physiciens, à la suite régulière des chocs multipliés qu'ils donnent à l'air atmosphérique par leurs vibrations, il semble naturel de penser qu'au moyen d'un mécanisme qui serait combiné pour frapper l'air avec la même vitesse et la même régularité, on pourrait donner lieu à la production du son«.

9 C. Cagniard: »Sur la Sirène«, S. 168.

10 Ebd., S. 171.

11 Seit dem Mittelalter treten in den Epen Sirenen als Amphibien auf (worauf mich dankenswerter Weise Friedrich Kittler hinwies) – eine literarische

Fig. 1.

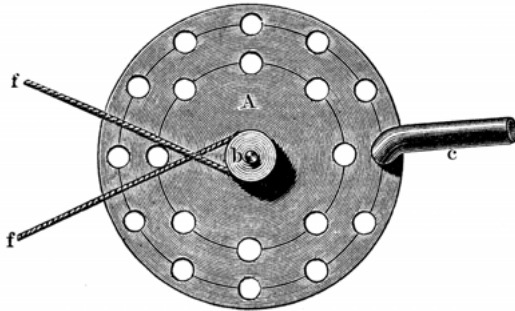


Abbildung 1: Einfachste Form der Sirene nach Seebeck.¹²

Die schwingenden Körper wechseln, der identifizierbare Klang – der menschlichen Stimme nach wie vor gleich – bleibt. Doch die »Chocs«,¹³

Stoffanwandlung mit weit reichenden Folgen: Richard Wagners Vorspiel des Nibelungenrings, das Rheingold, hebt ja der Bühnenfiktion nach mit einem Gesang der drei Rheintöchter an, der unter Wasser statthat.

- 12 Entnommen aus Hermann von Helmholtz: Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik, 6. Ausg., Braunschweig 1913, S. 21. Das Prinzip der Sirene blieb während der ganzen Zeit ihrer experimentellen Anwendung im Grunde gleich. Nur verzichtete man sehr bald auf Cagniards Realisierung des Antriebs der Scheibe durch den Luftstrom und sah statt dessen einen unabhängigen Antrieb vor, um mit der Erhöhung des Luftdrucks eine Erhöhung der Lautstärke zu erreichen ohne gleichzeitig die Frequenz der angeblasenen Löcher und damit einen Anstieg der Tonhöhe zu verursachen. Helmholtz gibt in seiner Lehre von den Tonempfindungen eine präzise Beschreibung der Sirene: »A ist eine dünne Scheibe aus Pappe oder Blech, welche um ihre mittlere Achse b mittels der um ein größeres Rad laufenden Schnur ff schnell gedreht werden kann. Längs des Randes der Scheibe ist eine Reihe von Löchern in gleichen Abständen von einander angebracht, in der Zeichnung 12; eine oder mehrere andere Reihen gleichabstehender Löcher befindet sich auf anderen konzentrischen Kreislinien [hier acht Löcher]; c ist ein Röhrchen, welches gegen eines der Löcher gerichtet wird. Läßt man nun die Scheibe geschwind umlaufen, und bläst durch das Röhrchen c, so tritt die Luft frei aus, so oft eines der Löcher der Scheibe an der Mündung des Röhrchens vorbeigeht, während der Austritt der Luft gehindert ist, so oft ein undurchbohrter Teil der Scheibe vor der Mündung des Röhrchens steht« (ebd.).

- 13 C. Cagniard: »Sur la Sirène«, S. 168.

die die Sirene der Luft wie auch dem Wasser beibringt, bezeichnen reine Ereignisse. Die Sirene ist nunmehr eine Klangquelle, ohne ein Klangkörper zu sein. Sie ist ein System, das zunächst einzig den Beweis führt, mehr als nur ein Medium in exakt bestimmbar Zustände zu zwingen. Die Sirene spart damit erfolgreich den Platz aus, der seit dem 18. Jahrhundert mit dem Begriff des Äthers belegt ist.

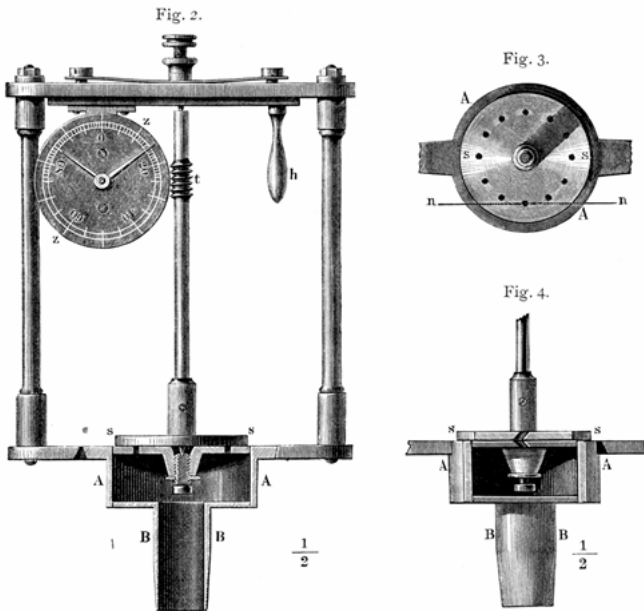


Abbildung 2: Darstellung von Cagniards Sirene, wie sie Helmholtz in seiner *Lehre von den Tonempfindungen* gibt.¹⁴

Zwar legt die Sirene ihr mechanisches Prinzip in bestechender Weise offen, doch sie verschiebt die Klangformation ins Unvorstellbare: Sie stellt nur Tatsachen und Vorgänge sicher, gibt aber dadurch alle erdenklichen Formen zu berechnen auf. Bei klingenden Saiten konnte es noch um

14 Entnommen aus H. Helmholtz: *Die Lehre von den Tonempfindungen*, S. 23. Die Komprimierung der Luft in einem Windkasten A und die Anzahl der Löcher in demselben, die mit der Scheibe übereinstimmt, bringen einen sehr lauten Ton zustande. Der Schnitt durch das Instrument in Fig.4 zeigt, wie durch schräg aufeinander gerichtete Luftkanäle die Scheibe durch den Luftstrom angetrieben werden kann. In Fig.2 ist ein einstellbares Zählwerk z zu erkennen, das die Umdrehungen der Scheibe misst.

Techniken der Visualisierung ihrer Schwingungen gehen. Diese Möglichkeit schließen die transparenten Trägermedien der Sirene – Luft und Wasser – von Anfang an aus. Statt dessen werden Präformationen der Beschreibbarkeit und Berechenbarkeit durch Elemente der Aussparung vor Augen gestellt und uneinsehbare Vorgänge dennoch kodiert. Cagniards Sirene folgt damit in aller Stringenz einem mathematischen Programm, das auf Leonhard Euler zurückgeht.

Mit Euler bricht sich eine Mathematik Bahn, die aufzeigt, wie auf dem Papier mit Diskontinuitäten und Unstetigkeiten umzugehen und jeder auf Kontinuität gründenden Naturvorstellung vorzuhalten ist. Wenn aber Euler zum Entsetzen d'Alemberts den Ausnahmefall der »choc des corps«,¹⁵ der das Kontinuitätsgesetz unterläuft, zur Regel erklärt, dann löst er die modellierende Mathematik aus Evidenz- und Plausibilitätsbereichen der *Physis*. Vielmehr verspricht erst Eulers Programm, Klänge diesseits von Elementen und Materialeigenschaften der Instrumente zu berechnen und zu synthetisieren, d.h. auch Signal und Stimme.

III Stimme/Apparat

Ist nun der Klang von Cagniards Sirene der einer Stimme oder der eines Instruments? Wieweit reicht die Analogie, die Cagniard selbst zieht, wenn er mit einem Instrument eine menschliche Stimme vernimmt, die ihm »Sirene« heißt? Der Unterschied von Instrument und Stimme ist schon der peripatetischen Schule mit ein Grund, in der Mathematik die Möglichkeit der Umfassung beider zu suchen.¹⁶ Das Instrument, das der Geometrisierung und Proportionstheorie am meisten entgegenkommt, ist ohne Zweifel das Saiteninstrument. Doch ausgerechnet deshalb erwächst noch einer ersten immanenten Musiktheorie ein Mittel der Ablehnung und der Selbstbegründung. So verwirft Aristoxenos eine Theorie der Musik, die mit euklidischen Mitteln auf die Teilung des Kanons und damit einzig auf die Einteilung konkreter Saiten hinauslief. Erstens, so Aristoxenos, sei eine harmonische Ordnung des Melos auf die Musikinstrumente nicht vollständig abzubilden. Denn wäre das möglich, dann klänge

15 Zitiert nach Bernhard Siegert: »Schüsse, Schocks und Schreie: Zur Undarstellbarkeit der Diskontinuität bei Euler, d'Alembert und Lessing«, in: Inge Baxmann, Michael Franz und Wolfgang Schäffner (Hg.), *Das Laokoon-Paradigma: Zeichenregime im 18. Jahrhundert*, Berlin 2000, S. 300.

16 Wilfried Neumaier: *Was ist ein Tonsystem? Eine historisch-systematische Theorie der abendländischen Tonsysteme*, gegründet auf die antiken Theoretiker Aristoxenos, Eukleides und Ptolemaios, dargestellt mit Mitteln der modernen Algebra, Frankfurt a. M. – Bern – New York 1986, S. 12.

ein Instrument, egal wie man es spielt, nie falsch, was offenkundig nicht der Fall ist.¹⁷ Und zweitens vermag das Ohr immer schon mehr an Musik zu vernehmen, als eine einzelne Stimme oder ein einzelnes Instrument hervorbringen kann.¹⁸ Sind äußere Intervallgrenzen durch die Klangquellen selber gesetzt, so werden Binnenintervalle der Geometrie unterworfen. Um aber unendlichen Intervallbildungen zu begegnen und statt dessen die Auswahl musikalischer Intervalle zu begründen, bietet Aristoxenos eine Analogie auf, die auf der Ordnung des Alphabets beruht: Denn es zeigt sich, dass »nicht durch jede Art von Zusammensetzung der Buchstaben [...] eine Sylbe«¹⁹ entsteht. Um es kurz zu machen, es sind unterschiedliche Praktiken der Musik, die die pythagoreische Einheit von Mathematik und Musik in unterschiedliche Praktiken der Notation aufbrechen.

Gerade die Inwendigkeit und Unsichtbarkeit des Stimmapparates erweitert die Exteriorität der Zeichensysteme, während Instrumente, ob ihrer abzählbaren Elemente wie Löchern, Saiten und/oder Stegen, immer schon Registern, Merkmalen und Einteilungen unterliegen. Doch über Epochen sind Berechnung von Instrumenten und Führung von Stimmen unterschiedlichen Zeichenoperationen unterstellt. Guido von Arezzos *Antiphonal*, das die Vier-Linien-Notation der Partitur begründet, wendet sich ausdrücklich zuallererst an die Stimmführung und nicht an Instrumente. Mehr noch zielt sein Notationssystem gerade darauf, Instrumente abzulösen, die bis dahin der Singstimme im Zweifelsfalle Halt geben.²⁰

Klangkörper indes zeigen mathematisch analysierbare Formen immer unterhalb der Schwelle anhaltender oder geräuscharmer Klänge. Das gilt

17 Paul Marquard (Hg.): *Aristoxenu Harmonikon ta sozomena*. Die harmonischen Fragmente des Aristoxenus, Griechisch und Deutsch mit kritischem und exegetischem Kommentar und einem Anhang die rhythmischen Fragmente des Aristoxenus enthaltend, Berlin 1868, S. 59–61. Zum Primat des Melos siehe Oliver Busch: *Logos syntheseos: Die Euklidische Sectio Canonis, Aristoxenos, und die Rolle der Mathematik in der antiken Musiktheorie*, Berlin 1998, S. 128. Zum Problem der theoretischen Beschränkung allein auf Saiteninstrumente siehe W. Neumaier: *Was ist ein Tonsystem?*, S. 119; 144.

18 P. Marquard: *Aristoxenu Harmonikon ta sozomena*, S. 20; 29. Der Knabe etwa vermag den Gesang des Mannes genauso gut zu hören, wie dieser ihn, aber stimmlich-musikalisch trennt sie eine Oktave. Analoges gilt für das Verhältnis von Jungfrauenflöten und langen Flöten.

19 Ebd., S. 53.

20 Hans Oesch: *Guido von Arezzo. Biographisches und Theoretisches unter besonderer Berücksichtigung der so genannten odonischen Traktate*, Bern 1954, S. 5f.

für Mersennes Monochords mit extrem schweren und langen Saiten – wie man sie vorher nur im Tennisspiel anzuwenden wußte –,²¹ ebenso für Robert Hookes Rad mit schlagenden Stiften²² und schließlich auch für Daniel Bernoullis und Eulers hängende Kette²³ – obschon letztere über die Bestimmung absoluter Tönhöhen weit hinausführen und der Visualisierung von Teilschwingungen gelten. Allein Taylors Verwendung des Hemmungsrades einer Zimmeruhr in Verbindung mit dem »Hookeschen Rad« ist der Versuch, die Generierung eines gleich bleibenden Klangs durch Bewegung diskreter Elemente konsequent vorzuschreiben.²⁴

Nur um den Preis, die Ordnung von Musikinstrumenten völlig unangetastet zu lassen, gelingt es um 1800, Tonfolgen automatisch aufzurufen und/oder aufzuzeichnen.²⁵ Maschinen bedienen nun die ehemals anthropozentrisch ausgerichteten Schnittstellen von Maschinen. Dazu verkoppeln per Stiftwalzen und später per Lochkarten gesteuerte Musikapparate Maschinen mit eindeutigen Zeichensystemen und machen bestimmte Klangereignisse erstmalig zu reversiblen Prozessen. Doch ausnahmslos sitzen Maschinen den gegebenen Registern und Klaviaturen anderer Maschinen auf. Von Kempelens Sprechmaschine schafft zwar darüber hinaus den Schritt, konsonantische Laute zu fixieren, ohne auf die präparierte Glottis und den Pharynx von Leichen zurückzugreifen wie Anatomen vor ihm. Seine Sprechmaschine setzt sich statt dessen aus Musikinstrumententeilen von Dudelsackpfeifen und gedeckten Oboen zusammen.²⁶ Doch die Ausgefallenheit der Musikinstrumente, die von Kempelen verwendet, läßt nur den Schluss zu, dass er einzig blanke Empirie und nicht Zeichensysteme bemüht. Folgt von Kempelen mit seiner Sprechmaschine nur der Möglichkeit, die Euler mathematisch postuliert,²⁷ so schlägt Cagniard die Brücke zur Strenge mathematischer Modellierbarkeit. Der Unterschied ist fundamental: Stimmapparate anatomisch zu isolieren und dann zu reanimieren oder aber gegebene Instrumente auf die Nähe ihres

21 Sigalia Dostrovsky und John T. Cannon: »Entstehung der Musikalischen Akustik (1600–1750)«, in: Frieder Zaminer (Hg.), *Geschichte der Musiktheorie*, Bd. 6: Hören, Messen und Rechnen in der frühen Neuzeit, Darmstadt 1987, S. 31.

22 Ebd., S. 32.

23 Ebd., S. 54–59.

24 Ebd., S. 35.

25 Sebastian Klotz: »Tonfolgen und die Syntax der Berausung: Musikalische Zeichenpraktiken 1738–1788«, in: Inge Baxmann, Michael Franz und Wolfgang Schäffner (Hg.), *Das Laokoon-Paradigma: Zeichenregime im 18. Jahrhundert*, Berlin 2000, S. 316–325.

26 B. Siegert: »Schüsse, Schocks und Schreie«, S. 304.

27 Ebd., S. 304f.

Klanges zur Stimme abzuhören, ist eine Sache. Eine völlig andere ist es, ein System zu entwickeln, das seiner Form nach nicht mehr die geringste Ähnlichkeit zum Stimmapparat aufweist und dennoch so klingt. Wenn schon das Rad kulturgeschichtliche Vorstellungen unhaltbar macht, dass alle Instrumente nur Extensionen und Projektionen von Körperorganen sind, dann führt der Einsatz des Rotationsprinzips erst recht von physiologisch homologen Strukturen unumkehrbar ab.²⁸ Die Sirene ist das erste Instrument, das musikalische Klänge von beliebiger Dauer, ungeahntem Oktavenumfang und Amplitudenumfang durch exakt einstellbare Lochungen hervorbringt. Sie ist überhaupt das erste Instrument, das wie eine ›voix humaine‹ klingt, durchstimmbar ist und dennoch nicht im Orchester der abendländischen Musik einen Platz findet. Erst die experimentelle Musik Edgar Varèses wird Sirenenklänge nach Helmholtz-Lektüren und dem Flohmarktfund zweier Handsirenen nach dem Ersten Weltkrieg erstmalig aufnehmen.²⁹

IV Klang/Maschine

Wohl kein Zufall ist, dass der Tonumfang von Cagniards Sirene im Vergleich zu anderen Klangquellen in ganz unerhörte Dimensionen vorstößt. Cagniard schließt seinen Bericht damit, die Sirene produziere reinste Töne noch jenseits vom Tonumfang jener Klaviere, die sechs Oktaven umfassen.³⁰ Cagniard entwickelt die Sirene in einer Epoche ökonomischer und energetischer Maschinentheorien. Er wurde nobilitiert, nachdem er das königliche Spital und die königliche Werkstatt mit einer Gasbeleuchtung ausgestattet hatte.³¹ Zuvor durchlief er die Pariser *Ecole polytechnique*, verdankt seine Karriere also einer institutionellen Neugründung, die auf den Republikaner erster Stunde, Staatslenker, Militärstrategen und Maschinentheoretiker Lazare Carnot zurückgeht. Nicht wenige Überlegungen und Einlassungen Carnots richten sich auf die Maximierung und größtmögliche Ausbeutung von Kräften. In einer Schrift – die anhand eines neuen Explosionsmotors der Brüder Niépce mit dem programmatischen Namen Pyrèolophore der generellen Krafterzeugung durch Ma-

28 Friedrich Kittler: Eine Kulturgeschichte der Kulturwissenschaft, München 2000, S. 208.

29 Helga de la Motte-Haber: »Aufbruch in das Klanguniversum«, in: dies., Edgar Varèse: Die Befreiung des Klangs, Hofheim 1992, S. 48.

30 C. Cagniard: »Sur la Sirène«, S. 171.

31 Jacques Payen: »Cagniard de la Tour«, in: Charles Coulston Gillespie (Hg.), Dictionary of Scientific Biography, Bd. 3, New York 1971, S. 8–10.

schinen nachgeht³² – stellt Carnot fest, dass die Antike nur Kräfte einzusetzen und umzulenken wußte, die längst als Wind, Wasser und Feuer in Erscheinung getreten sind oder durch Sklaven und Tiere aufgebracht werden. Doch selbst unter Ausnutzung aller Hebel- und Zugvorrichtungen können die schon vorhandenen Kräfte bestenfalls effizient genutzt, nicht aber gesteigert werden. Carnot ging es aber um Verfahren der Freisetzung und Transformation von Kräften, die allein den Schlüssel zur unbekannten Steigerungsfähigkeit liefern.³³

Cagniard leitet zehn Jahre vor der Sirene mit einer anderen Maschine maßgeblich die Anfänge der Theorie der Thermodynamik ein. Als inverse Archimedes-Schraube ist sie in die Annalen eingegangen. Auch diese Maschine zeichnet wieder die stupende Eleganz aus, mit geradezu wenigen aristotelischen Elementen auszukommen und verschiedenste Materialkoeffizienten einzusparen. Sie steht in einer Reihe mit Maschinen wie der der Brüder Nièpce, die durch Ausdehnungen und Komprimierung von Luft angetrieben sind.³⁴ Anderen »air engines« hat sie voraus, schlicht elementarer beschaffen zu sein: »it has no pistons, valves, and mechanical linkages«.³⁵ Auch sie ist wie die Sirene eine in allen Teilen weitgehend berechenbare Maschine für Zustandsänderungen eines Mediums. Anstatt Wasser über einen Wasserspiegel hinaus zu befördern, zieht sie Luft ins Wasser hinein. Die Luft durchläuft dann Bereiche im Wasser von unterschiedlicher Temperatur. Nach der Anwendung der Maschine zu fragen, ist deshalb so nutzlos wie die Maschine für sich genommen: Sie stellt jedoch fünfmal so viel Kraft über eine Welle zur Verfügung, wie für den Antrieb der inversen Archimedes-Schraube benötigt wird.³⁶

Cagniard kann dem geschlossenen Regelkreis aus Luft und Wasser mit einem Temperaturgefälle ablesen, dass es einen »kritischen Punkt«

32 Der Explosionsmotor und die Sirene weisen strukturelle Übereinstimmungen auf und zwar hinsichtlich der Mechanik, die die Kompression und die ihr abzuschöpfende Kraft auch möglichst effizient für die eigene Steuerung einsetzt.

33 Lazare Carnot und Claude-Louis Berthollet: »Rapport suivant sur la machine appelée Pyrèolophore«, in: Procès-Verbaux des Séances de l'Académie des sciences tenues depuis la fondation de l'Institut jusqu'au mois d'août 1835 3 (1806), S. 465–467, hier S. 465.

34 Laut Thomas Kuhn: »[Air] seems to have been the principal alternate working substance seriously considered by engineers during the early decades of the nineteenth century« (Thomas Kuhn: »Sadi Carnot and the Cagniard Engine«, in: Isis 52 [1961], S. 567–574, hier S. 570).

35 Ebd., S. 572.

36 Die Energie zur Aufrechterhaltung der unterschiedlichen Temperaturen wird allerdings nicht beziffert.

gibt – den Begriff hat Cagniard bei der Gelegenheit geprägt –, der ein Element in einen anderen Zustand übergehen läßt. Carnots Sohn Sadi bestimmt in Anschluss an Cagniard den theoretisch höchsten Wirkungsgrad zweier Temperaturen. Thomas Kuhn – bevor er generell von Paradigmenwechseln und Strukturen wissenschaftlicher Revolutionen schreibt – weist in einer gesonderten Untersuchung Cagniards Maschine als Basis von Carnots Theorie der Krafterhaltung aus.³⁷ Ließen sich auf Archimedes' Wissen um die Hydraulik immerhin bestimmte Staatsökonomien gründen, so kennen Cagniards Maschinen keine unmittelbare Anwendbarkeit, und eben darin liegt ihre Stärke. Die französischen Theoretiker hatten angelsächsische Praktiker der Dampfmaschinen vor Augen und wußten, dass sie gegen diese auf dem Feld konkreter technischer Lösungen kaum Land hätten gewinnen können. Ihr Igel im Rennen mit dem Hasen sind mathematische Argumente, die mit sprunghaften Zustandsänderungen, Nicht-Identitäten und Differenzen rechnen, um prinzipielle Grenzen aufzuspüren. Wohl kein Zufall ist, dass die Theoretiker von »kritischen Punkten« und höchsten Wirkungsgraden gleichzeitig – und vielleicht gar nicht so anders – in Frankreichs revolutionären Zeiten in höchsten Ämtern Staatsgeschäfte regelten. Sie bringen Maschinen und Staatsformen hervor, die hochgradig epistemisch sind, also zwischen Diskursen und Praktiken ihren Einsatz finden.

V Ohms »Gehörstäuschungen«

Cagniards Maschinenentwurf der Sirene platzt überraschend in das Feld akustischer Forschungen hinein. Er geht aus Diskursen hervor, die nicht zunächst die Akustik verhandeln, sondern die auf die Entfesselung von Energien und Dynamiken gerichtet sind. Vor diesem Hintergrund behauptet sich die Sirene als Referenzsystem für die Akustik und steht am Ende einer langen Debatte, intervallische und damit relative Klangbeziehungen in die Schranken der absoluten Tonhöhenbestimmung zu weisen. Joseph Sauveurs Verfahren der Tonhöhenbestimmung sicherte ehemals die Reproduzierbarkeit des Experiments, indem es qua Vorschriften Wahrnehmungsakte auf den Klang lenkte. Cagniards System garantiert jedoch Reproduzierbarkeit, in dem es die Wahrnehmung sowohl auf den Klang, als auch auf die Zeichen seiner Kodierung ausrichtet. Das aber heißt, dass visuelle Zeichenkonfigurationen der Sirene den gleichen Raum einer Prüfung einnehmen, wie die erzielten akustischen Effekte. Und in der Tat, es dauert nicht lange und die Sirene erschüttert die in der

37 T. Kuhn: »Sadi Carnot and the Cagniard Engine«.

Akustik tief verankerte Vorstellung des Isochronismus fundamental und damit das Wissen vom Klang überhaupt.

Spuren der Erschütterung durch Sirenenexperimente gipfeln schließlich in einem wissenschaftlichen Disput, der mehrfach in der Forschungsliteratur aufgegriffen wurde: zuerst von Helmholtz³⁸ und in jüngster Zeit von Steven Turner und Stephan Vogel.³⁹ Den Disput selbst jedoch löst Georg Simon Ohm aus. Nahezu ohne Vorarbeiten und Vorlauf kommt er darauf, eine »Definition des Tones, nebst daran geknüpfter Theorie der Sirene« anzugeben. Hervorgetan hat sich Ohm bekanntlich mit seinen Arbeiten auf dem Feld der Elektrizität. Im Kern allerdings zeichnen alle seine Schriften mathematische Argumente aus, wie sie um diese Zeit alles andere als selbstverständlich sind. Ohms Arbeit über die galvanische Kette lehnt sich eng an Joseph Fouriers *Théorie analytique de la Chaleur* an.⁴⁰ Ohm liest den an der galvanischen Kette abgenommenen Messwerten jenes berühmte mathematisch einfache Verhältnis ab, wonach »die Wirkung einer [galvanischen] Kette gleich ist der Summe der elektromotorischen Kräfte geteilt durch die Summe der Widerstände«. ⁴¹ Es verstreichen aber zwei Jahrzehnte, um ein Feld von Anwendungen zu schaffen, innerhalb dessen die Stabilisierung von Ohms entscheidenden Größen zur Notwendigkeit wird. Aufmerksamkeit erlangt Ohm dann erst mit dem Aufkommen elektrischer Telegraphen.⁴² Ohm nutzt die Aufmerksamkeit, um eine weitere Formel aufzustellen, die in der Physiologie bis heute ebenfalls als Ohmsches Gesetz bekannt ist: Für die Bildung eines Tons mit der Schwingungsmenge m ist vorauszusetzen, dass bei ihr nur Eindrücke sinusförmiger Prägung zum Tragen kommen, die bei gleich bleibenden Schwingungsphasen in ein und denselben ein-

38 Hermann von Helmholtz: »Ueber Combinationstöne [1856]«, in: ders., Wissenschaftliche Abhandlungen, 3 Bde., Leipzig 1882–1895, Bd. I, S. 263; 289f.

39 Steven Turner: »The Ohm-Seebeck Dispute, Hermann von Helmholtz, and the Origins of Physiological Acoustics«, in: *British Journal for the History of Science* 10 (1977), S. 1–24; Stephan Vogel: »Sensation of Tone, Perception of Sound, and Empiricism: Helmholtz's Physiological Acoustics«, in: David Cahan, *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science*, Berkeley – Los Angeles – London 1993, S. 259–287.

40 Michael Heidelberger: *Der Wandel der Elektrizitätslehre zu Ohms Zeit. Eine methodengeschichtliche Untersuchung und logische Rekonstruktion*, München 1979, S. 100; 134.

41 Zitiert nach Heinrich von Füchtbauer: *Georg Simon Ohm. Ein Forscher wächst aus seiner Väter Art*, 2. Aufl., Bonn 1947, S. 256.

42 M. Heidelberger: *Der Wandel der Elektrizitätslehre zu Ohms Zeit*, S. 141–146.

fachen Verhältnissen zueinander stehen und durch eine bestimmte Amplitude gekennzeichnet sind.⁴³ Weder ist das Modell neu, Saitenschwingungen auf einfache, pendelartige Schwingungen zurückzuführen,⁴⁴ noch die Annahme, komplexe Schwingungen einer Saite könnten als eine Überlagerung sinusförmiger Teilschwingungen geschrieben werden.⁴⁵ Letzteres fußt auf dem rein funktionstheoretischen Ansatz Daniel Bernoullis, die Lösung einer Variable der zweidimensionalen Wellengleichung d'Alemberts anstelle der üblichen Differentialgleichungen in Form einer trigonometrischen Reihe anzugeben.⁴⁶ Bernoullis Lösungsweg markiert einen Endpunkt innerhalb der Mathematisierung der klingenden Saite. Er führt zu einem *double bind*: Dass die Bewegung der Saite nicht einfach schlicht als eine einzige sinusförmige aufzufassen ist, zeigt gerade ihre mathematische Zerlegung in ebensolche Sinus- und Kosinusaussdrücke. Doch kein materieller Träger außer dem Papier weist die gleichmäßigen Kurvenverläufe einzelner Komponenten der Funktionstheorie auf. Wohl nicht ohne Grund führt erst Fourier elementare Winkelfunktionen auf dem ganz anderen Feld der Wärmeleiter, das per se einer unmittelbaren Sichtbarkeit entzogen ist, systematisch und seitenweise in Serien aus – sehr zum Staunen und Schrecken der mathematischen Mitglieder der *Académie des Sciences*.⁴⁷ Mochte Ohm schon im Zuge seiner Arbeiten zur galvanischen Kette auf Fouriers Methode gestoßen sein, von ihr Gebrauch machte er erst, um die Reihenentwicklungen nach fast hundertjähriger Vakanz wieder ins Zentrum der Akustik zurückzuführen:

»Als Mittel der Beurteilung, ob in einem gegebenen Eindruck die Form $a \cdot \sin 2\pi (mt+p)$ als reeller Bestandteil enthalten sey oder nicht, gebrauche ich das durch seine vielfachen und wichtigen Anwendungen berühmt gewordene Theorem von Fourier [...].«⁴⁸

43 Georg Simon Ohm: »Ueber die Definition des Tones, nebst daran geknüpfter Theorie der Sirene und ähnlicher tonbildender Vorrichtungen«, in: *Annalen der Physik und Chemie* 59 (1843), S. 513–565, hier S. 518.

44 S. Dostrovsky und J. Cannon: Entstehung der musikalischen Akustik, S. 24–27; 66.

45 Ebd., S. 53.

46 Ebd., S. 68. Siehe auch Ivor Grattan-Guinness: »Joseph Fourier and the Revolution in Mathematical Physics«, in: *Journal of the Institute of Mathematics and its Applications* 5 (1969), S. 230–253, hier S. 231.

47 Ebd., S. 230f.

48 G. S. Ohm: »Ueber die Definition des Tones«, S. 519. Die Schwingungsmenge oder modern gesagt Frequenz ist dabei m , t die Zeit, a die Schwingungsweite und p die Schwingungsphase.

Ausgelöst wird Ohms Intervention durch die experimentelle Eröffnung Cagniards, Seebecks und anderer, dass Sirenen Schwingungsvorgänge zerlegen. In gewisser Weise holen Sirenenexperimente damit eine mathematische Entwicklung ein, die mittels Fourieranalysen über partielle Differentialgleichungen hinausgeht und zu einem Funktionsbegriff führt, der vor Diskontinuitäten nicht halt macht.⁴⁹

Seebecks Sirenenexperimente offenbaren, dass unterschiedliche Kodierungen der Sirenenscheiben zu gleichen Höreindrücken der Tonhöhe führen. Um mit Unterscheidungsmerkmalen zurechtzukommen, die an der schwingenden Saite nicht zu beobachten und mit dem Gehör mitunter nicht zu unterscheiden sind, fordert Seebeck, die Klangbestimmungen an die Impulskodierungen der Sirene zu binden.⁵⁰ Damit taucht die Schwierigkeit auf, Phänomene losgelöst vom Experimentalsystem ihrer Hervorbringung zu denken und zu beschreiben. Von den Experimentalsystemen des 20. Jahrhunderts wird es schließlich heißen können:

»Naturwissenschaftler denken, begrenzt durch den hybriden Kontext ihres jeweiligen Experimentalsystems, in den Koordinaten solcher Räume möglicher Darstellung. Genauer gesagt, sie spannen solche Repräsentationsräume auf, indem sie ihre Grapheme zu epistemischen Dingen verketten.«⁵¹

Der Disput, der sich zwischen Seebeck und Ohm zuträgt, bildet indes den Prozess der Hybridisation selbst ab. Im Zuge der Hybridisation vermitteln und repräsentieren Grapheme und Zeichensysteme nicht mehr allein experimentelle Befunde, sondern vermögen sie zuallererst hervorzubringen.

Man kann die Auseinandersetzung zwischen Ohm und Seebeck deshalb auf unterschiedliche Effekte von Klang- und Zeichensystemen zurückführen, die Wahrnehmungen dissimilieren. Der Einladung Seebecks, ihn in Dresden zu besuchen, und der Hoffnung, er werde sich »nicht die Ohren vor den Gesängen [seiner] Sirene verstopfen«,⁵² kommt Ohm gar nicht erst nach. Obwohl oder gerade weil Ohm sich mit einem fundamentalen Gesetz in die Geschichte der Hörphysiologie eingeschrieben hat, kann er doch von sich selbst behaupten, dass er über Klänge »fast wie ein

49 B. Siegert: »Schüsse, Schocks und Schreie«, S. 296–299.

50 G. S. Ohm: »Ueber die Definition des Tones«, S. 514.

51 Hans-Jörg Rheinberger: Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas, Göttingen 2001, S. 8f.

52 Zitiert nach S. Turner: »The Ohm-Seebeck Dispute«, S. 22, Fußnote 21.

Blinder von der Farbe rede«. ⁵³ Im Disput mit Seebeck fürchtet Ohm nicht die Klänge neuer Klanginstrumente, sondern »Druck-, Schreib- und auch wohl Gedankenfehler«. ⁵⁴ Ohms Einlassungen gründen allein auf Beschreibung von Sirenenexperimenten, die Seebeck unternahm, die bemerkenswerter Weise als vollständig beschreibbar angesehen werden und eigene Experimente erübrigen. Poggendorffs *Annalen der Physik*, die Zeitschrift, in der Seebeck und Ohm Beschreibungen ihrer Untersuchungen einschalten, werden selbst zum Schauplatz widerstreitender Experimentalsysteme, indem sie eine aktive Funktion übernehmen. Die Zeitschrifteneinschaltungen beanspruchen, Experimentalsysteme und Experimente in Zeichen der Rede und des Rechnens zu überführen und umgekehrt Rechnungen und Vorschriften in Experimentalsysteme einzuspeisen. Allerdings kennen diese Praktiken keine Theorie. Sichtbar werden sie deshalb nur, wenn sie versagen. Im Fall von Seebeck und Ohm gehen die Praktiken an der neuralgischsten Stelle fehl.

Sie führen Ohm zur falschen Annahme, dass die Sirene einen Sinusgenerator darstellt, wie ihn die Fourieranalyse impliziert. Denn Ohm geht bis zu einer Richtigestellung Seebecks davon aus, dass im Falle äquidistanter Lochungen der Sirene keine »Beitöne«, also Obertöne auftreten:

»Ich war berechtigt diesen Satz so bestimmt auszusprechen, weil ich voraussetzen durfte, daß Seebeck, ein so sorgsamer Beobachter, einen so wichtigen Umstand nicht verschwiegen hätte, hätte er ihn wahrgenommen; und doch schloß ich fehl, weil Seebeck die Beitöne zwar beobachtet hatte, aber diese Wahrnehmung nicht veröffentlichte, weil er damals noch diese Töne als zufällig entstandene ansah.« ⁵⁵

Helmholtz' Hinweis, Ohm selber hätte die Notwendigkeit gefordert, Töne ohne Obertöne zu generieren, ⁵⁶ verwechselt also nur die Verwechslung Ohms mit seinem eigenen Forschungsprogramm. Denn schließlich unternimmt es erst Helmholtz, eintönige Anteile im Obertonspektrum einer Stimmgabel durch einen Resonator zu isolieren. ⁵⁷ Damit schafft Helmholtz erst den Schritt, auch instrumentell komplexe Klänge aus einzelnen Tönen wieder zu resynthesisieren.

Der Experimentalphysiker Ohm indes gibt seinen fragwürdig gewordenen Gleichungen den Status eines mathematischen Experiments, des-

53 Georg Simon Ohm: »Noch ein paar Worte über die Definition des Tones«, in: *Annalen der Physik und Chemie* 62 (1844), S. 1–18, hier S. 17.

54 Ebd., S. 5.

55 Ebd., S. 5, Fußnote 1.

56 H. Helmholtz: »Ueber Combinationstöne«, S. 267.

57 Ebd., S. 267f.

sen Scheitern wiederum nur durch apparative Versuche aufzudecken ist. Das einzige nicht papierene Experiment, das Ohm unternimmt, zielt also erst gar nicht auf akustische, sondern auf graphische Klärung. Ohms Versuch hat einzig zu demonstrieren, dass ein sinusförmiger Schwingungsvorgang an die Stelle eines Impulses zu setzen ist. Operierte Cagniard mit den durchsichtigen Medien Wasser und Luft, dann moduliert Ohm den Schein des Feuers. Die angeblasene Flamme einer Kerze reicht Ohm, um die Ordnung einer Natur wiederherzustellen, die seit Leibniz bekanntlich keine Sprünge macht. Denn die Flamme vollführt eine Bewegung, die über die Dauer eines kurzen Luftimpulses hinausgeht und auch in die Richtung des unterbrochenen Luftstroms zurückschlägt.⁵⁸ Ohm nimmt sein eigenes Experiment und die Befunde von Seebeck zur Verteidigung seiner mathematischen Synthesen in Anspruch, deren beliebige Freiheitsgrade durch Visualisierungstechniken erst einzuschränken sind. Indem die mathematischen Synthesen jeden noch so komplexen Schwingungsverlauf darstellen können, ist die Beweislast nunmehr eine umgekehrte. Es gilt Verfahren sicherzustellen, die aus einer Menge unendlicher mathematischer Möglichkeiten jene Synthese herausstellen, die mit bestimmten Beobachtungen von Phänomenen im Einklang ist.

Nicht nur läßt sich Ohm von »Formeln« in »Vergleichung derselben mit der Erfahrung führen«,⁵⁹ sondern sie bringen ihn dazu, auch befreundete Musiker zu Wahrnehmungsexperimenten anzuleiten. Doch algebraische Gleichungen zeigen Lösungen von einer Unverrückbarkeit, die der Wahrnehmung nicht zukommt. Denn erst Ohms definitorisch-mathematische Postulate lassen Seebeck konträre Beobachtungen feststellen, die ihm zuvor entgangen waren. Für Ohm jedenfalls fallen Sinnesorgane damit als untrüglicher Referent von Versuchen aus:

»Ehe ich aber zu solchen Annahmen [nämlich denen Seebecks], die mir unaufhörlich ihr geisterhaftes ›Ich bin's und bin's auch wieder nicht‹ schmerzhaft in das Ohr raunen, meine Zuflucht nehme, stell ich lieber, keck wie Columbus, das Ei gleich auf die Spitze und behaupte: Jene von Seebeck wahrgenommenen Widersprüche beruhen auf einer Gehörstäuschung, in welcher unser Ohr befangen ist, auf ähnliche Weise, wie unser Auge in einer Gesichtstäuschung da befangen ist, wo es eine Mitteltinte an dunkler Gränze für heller, an heller Gränze für dunkler hält, als sie wirklich ist.«⁶⁰

58 G. S. Ohm: »Ueber die Definition des Tones«, S. 564f.

59 G. S. Ohm: »Noch ein paar Worte über die Definition des Tones«, S. 5f.

60 Ebd., S. 15.

Auf Ohms Rechenpapier zeichnet sich in beunruhigender Weise eine *Wirklichkeit* ab, die »Täuschungen« und »Verwöhnungen«⁶¹ erst offenbart: Unter anderem ordne das Ohr »unbewusst« Obertöne in harmonischem Verhältnis dem Hauptton zu, so dass es den »Hauptton für stärker ansieht, als er wirklich ist, und seine Beitäöne für schwächer, als sie wirklich sind.«⁶² Die medialen Differenzen, die die Auseinandersetzung zwischen Seebeck und Ohm antreibt, werden schließlich genau die Ebenen aufspannen, auf denen Helmholtz seine Erkenntnistheorie ausrichtet.

VI Helmholtz' Experimente am »Selbstbewußtsein«

Der Perzeption hat man von Leibniz bis zu Kant kaum mehr Rechenfähigkeit zugetraut als aus lauter einzelnen Ereignissen die Summe⁶³ oder allenfalls die »Proportion der Zeiteintheilung«⁶⁴ zu ziehen, die apperzeptiv nur als einheitlicher Klang der Reflexion und Beurteilung zugänglich ist. Immerhin werden Sinnesorgane damit selbst zum Schauplatz der Mathesis elementarer Rechnungsarten. Doch Helmholtz wird einmal den ge-

61 Ebd., S. 17.

62 Ebd., S. 15. Die Geister, die neue mediale Konfigurationen riefen, werden aber erst Medien austreiben. Denn erst mit der Entwicklung des Telefons stieß man wieder auf Seebecks »Geisterton« und entdeckte seine Arbeiten aufs neue als Residuumtheorie. Technisch bedingt übertrugen Telefone gewisse untere Spektren des Sprachsignals nicht. Obwohl damit klar ist, dass die Grundfrequenz des Sprachsignals, durch die sich etwa Männer- und Frauenstimmen unterscheiden, nicht übertragen wird, ist sie deutlich zu vernehmen und in ihrer Tonhöhe zu bestimmen (Hans Jochem Autrum [Hg.]: *Handbook of Sensory Physiology*. Bd. 5: Auditory System. Part 3: Clinical and Special Topics, hg. von E. de Boer [Berlin – Heidelberg – New York 1976], S. 496). Darüber hinaus bildet das Verständnis von Frequenzgruppen und kritischer Bandbreiten, die auf verschiedenste Weisen angeregt zu ähnlichen oder nicht mehr zu unterscheidenden Höreindrücken führen, die Grundlage für heutige Industriestandards von Audioformaten, die von Psychoakustik Gebrauch machen.

63 Gottfried Wilhelm Leibniz: *Nouveaux essais sur l'entendement par l'auteur du systeme de l'harmonie preestablie*, in: ders., *Die philosophischen Schriften* [1887], hg. v. C. I. Gerhardt, Bd. 5, Hildesheim 1978 [Reprint], S. 39–509, hier S. 47.

64 Immanuel Kant: *Kritik der Urtheilskraft* [1790], in: ders., *Gesammelte Schriften*, Erste Abteilung: Werke, hg. von der Preußischen Akademie der Wissenschaften, 9 Bde., Berlin 1910–1923, Bd. V, S. 165–485, hier S. 324, § 51.

samen Streit zwischen Seebeck und Ohm auf mangelnde Unterscheidung von Perzeption und Apperzeption zurückführen können, da Wahrnehmungstechniken nicht bereitstanden, d.h. Techniken zur Wahrnehmungslenkung, wie auch Technologien zur Wahrnehmungsermöglichung, z.B. Resonatoren.⁶⁵ Doch Ohm und Seebeck gehören da eventuell schon einer anderen Epoche an. Denn jener Morgen am 22. Oktober 1850, an dem Gustav Theodor Fechner seiner Biographie nach länger als gewohnt im Bett blieb, läßt sich als Erwachen einer neuen Episteme ansehen. Sie kehrt das Innerste nach Außen und überführt das Einfachste in ungeahnte Komplexität. Fechner weist an der Haut nach, dass die Intensität einer Empfindung in einem reziprok logarithmischen Verhältnis zur Intensität des Reizes steht.⁶⁶ Lange bevor der Entwurf einer analogen Maschine zur Berechnung von Logarithmen vorliegt – übrigens Charles Babbages Initialtraum seiner Differential Engine –, ist sie gefunden: Mit Zirkeln lassen sich lineare Größen abtragen und logarithmische aufspüren.

Fechner steht mit seinem Befund nicht allein da – es handelt sich bei ihm nicht um einen singulären Befund, sondern um ein weitreichendes epistemologisches Programm. Wilhelm Wundt findet, dass die Optomotorik des Menschauges wie Gauss' neue und bahnbrechende Methode kleinster Quadrate zur Fehlerminimierung verfährt.⁶⁷ Dass Beobachtungsfehler mit Gauss' Verfahren reduziert werden können, heißt demnach nur, eine intrinsische Blickstrategie fortzuführen und zu entfalten. Gerade weil die Analogie der mathematisch-messtechnischen Prüfung standhalten muß, zählen Analogien der Substanz und Form nach nicht mehr. Wundts Ophthalmoskop hat äußerlich mit einem Augapfel wenig gemeinsam, sind doch beispielsweise an die Stelle von Muskeln Federn getreten, deren Kontraktionseigenschaften jedoch nach Maßgabe von Muskeln berechnet werden können.⁶⁸ Schließlich greift Helmholtz Ohms

65 H. Helmholtz: Die Lehre von den Tonempfindungen, S. 107f. Die ersten Zeilen dieser Abhandlung von Helmholtz sind all denjenigen gewidmet, durch deren finanzielle Unterstützung neue Instrumente beschafft werden konnten, die über das Inventarium eines physiologischen Instituts hinausgingen.

66 Wilhelm Wundt: Gustav Theodor Fechner. Rede zur Feier seines hundertjährigen Geburtstages, Leipzig 1901, S. 66f.

67 Timothy Lenoir: »The Eye as Mathematician: Clinical Practice, Instrumentation, and Helmholtz's Construction of an Empiricist Theory of Vision«, in: David Cahan (Hg.), Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science, Berkeley – Los Angeles – London 1993, S. 137.

68 Ebd., S. 135.

mathematischen Apparat der Fourieranalyse nicht allein als Methode auf, sondern erklärt ihn zur physiologischen Wirkungsweise selbst.⁶⁹ Ist bei Ohm noch von einer »Succession von Eindrücken auf unser Ohr«⁷⁰ die Rede und sind sonst klangliche Geltungsbereiche kaum differenziert, dann nimmt erst Helmholtz einen fundamentalen Wechsel vor und »Eindrücke der Ohren« sind fortan als genetivus subiectivus zu lesen – gemeint sind nunmehr Eindrücke, wie sie Ohren empfinden, und nicht mehr Eindrücke, die auf Ohren treffen. In Helmholtz' unscheinbarer Schrift »Ueber Combinationstöne« bahnt sich die Wende an, die in seinem umfassendem Buch *Über die Lehre der Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* als Positionswechsel bereits im Titel schließlich angezeigt ist. So entschieden damit zeichenhafte Operabilitäten physiologischen und mithin psychologischen Funktionsweisen zu entsprechen haben – womit Techniken zur Übertragung in den Bereich der Wahrnehmbarkeit entfallen, steht doch die Wahrnehmung selbst auf dem Prüfstand –, so wenig legt die Analogisierung die Richtung für einen Erkenntnisgewinn fest. Das freigelegte und präparierte Innenohr gibt Helmholtz Nervenbündel zu erkennen, die die Hypothese nahe legen, dass sie jeweils Pendeln mit Schwingungseigenschaften von einzelnen Partialtönen gleichkommen.⁷¹ Mit anderen Worten: Helmholtz geht davon aus, dass das Hörorgan an komplexen Klängen Fourieranalysen vornimmt.⁷² Der mathematischen Analyse folgt demnach die physiologische Analyse auf dem Fuß, aus der wiederum die Synthese in Form elektromechanischer Systeme hervorgehen kann. Denn Helmholtz' elektrisch angesteuerte und durch Resonatoren verstärkte Stimmgabeln demonstrieren im Umkehrschluss, dass die Zusammensetzung der einzelnen Partialtöne als ein komplexer Klang vor dem Ohr besteht. Im Fall gerade erst aufgekommener elektromechanischer Telegraphen schlagen die Analogiebildungen die andere Richtung ein. Für Helmholtz ist damit das Modell gegeben, die Wahrnehmung bei Beibehaltung aller zeichentheoretischen Implikationen als einen Telegraphen zu begreifen.⁷³

69 H. Helmholtz: *Die Lehre von den Tonempfindungen*, S. 97.

70 G. S. Ohm: »Ueber die Definition des Tones«, S. 497.

71 S. Vogel: »Sensation of Tone, Perception of Sound, and Empiricism«, S. 267f.

72 H. Helmholtz: *Die Lehre von den Tonempfindungen*, S. 97. Siehe auch Timothy Lenoir: »Helmholtz and the Materialities of Communication«, in: *Osiris* 9 (1994), S. 185–207, hier S. 197f.

73 T. Lenoir: »Helmholtz and the Materialities of Communication«, S. 186.

Johannes Müllers These, dass spezifische Sinnesenergien Reize nicht ihrer Substanz nach vermitteln,⁷⁴ erreicht in ihrer Verlängerung, dass die Wirkungsweise der Sinnesorgane losgelöst von einer konkreten Materialität angesehen wird. Um so mehr können Sinnesorgane damit als Problemstellung und Lösungsvorgabe eines mathematischen Programms figurieren. In dem Maße, wie Lebenswelten und lebendige Organismen ein und denselben zeichenverhafteten Regelsystemen unterworfen werden, gewinnt es noch durch deren Wechselwirkungen an Aussagekraft. Hochgradig berechenbare Experimentalsysteme dringen in Lebenswelten ein, gehen von Ausnahme- in Normzustände über und erweisen damit Sinnesorgane als nicht weniger berechenbar. Während der Vitalismus zunehmend haltloser wird, weil spezifische Wirkungen sich nicht als unlöslich in Organismen verwurzelt erweisen, sondern ihre Übertragung auf andere Felder gerade zur experimentellen Maxime wird, ist schier mechanistischen Modellen um nichts weniger der Boden entzogen: Distanznahmen und Unterscheidungen von Objekt und Subjekt als tragende Säulen vormaliger Experimente fallen. Vielmehr läßt Helmholtz keinen Zweifel daran, dass das Experiment, das er nur als den Sonderfall einer geschärften Wahrnehmung ausweist,⁷⁵ gar nicht auf Distanzgewinnung und Objektivierung abzielt. Die Methode trigonometrischer Reihenentwicklung, die Fourier erstmalig in seiner Theorie der Kette anwandte, und Ohm dank analoger Untersuchung der galvanischen Kette dann auf das gänzlich andere Feld der Akustik zu übertragen weiß, schließt Helmholtz kurz: In Reihe oder Serien geschaltete Winkelfunktionen nehmen bei ihm einen Raum ein, der rechnende Subjekte und berechnete Objekte gleichermaßen durchquert und im Experiment verzahnt:

»Die überzeugende Kraft jedes Experiments ist aber hauptsächlich deshalb so sehr viel größer, als die der Beobachtung eines ohne unser Zuthun ablaufenden Vorganges, weil beim Experiment die Kette der Ursachen durch unser Selbstbewußtsein hindurchläuft.«⁷⁶

Helmholtz' Epistemologie situiert ein Zeichensystem noch in den äußersten Sinnesorganen, die aus mannigfaltigen Reizen »induktive Schlüsse« ziehen, im Zuge einer Aneignung, die dem Lernen einer Sprache gleich-

74 Johannes Müller: Handbuch der Physiologie des Menschen, 2 Bde., Coblenz 1833–38, Bd. II/2, S. 260.

75 Zur Strukturhomologie von Wahrnehmung und Experiment siehe B. Siegert: »Schüsse, Schocks und Schreie«, S. 294.

76 Hermann von Helmholtz: Die Thatsachen in der Wahrnehmung: Rede gehalten zur Stiftungsfeier der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin am 3. August 1878, Berlin 1879, S. 33.

kommt.⁷⁷ Betreffen erdenkliche Modalitäten bei Kant allein Denkkategorien,⁷⁸ legen sie bei Helmholtz – der Johannes Müller darin folgt – die Sinne auf spezifische Empfindungsenergien und -weisen fest.⁷⁹ Ehedem als unüberwindlich konstituierte Schranken zwischen Perzeption und Apperzeption werden durchlässig und regelbar, soufflieren doch zeichen- und signalgebende Systeme wie zu allererst die Sirene dem Wissen einen Weg, der das Selbstbewusstsein in die mathematischen Ordnungen des Unbewussten einläßt. War nach Kant alle transzendente Form, die jeden Gedanken begleiten können muß, schlicht geschenkt, dann läßt Helmholtz' Empirismus eine Wahrnehmung denkbar werden, die sich an der Empirie ausbildet⁸⁰ und sich dann in ihrer eigenen Empirie selbst genug sein kann. So mag es zutreffen, konstatiert Helmholtz,

»[...] daß wir nach Aussage unseres Bewußtseins wenigstens ein Glied von der Kette der Ursachen, die zur Wahrnehmung führen, unseren Willensimpuls, aus innerer Anschauung kennen und wissen, durch welche Motive er zu Stande gekommen ist. Von ihm aus beginnt dann, als von einem uns bekannten Anfangsglied und zu einem bekannten Zeitpunkt, die Kette der physischen Ursachen zu wirken, die in den Erfolg des Versuchs ausläuft. Aber eine wesentliche Voraussetzung für die zu gewinnende Überzeugung ist die, daß unser Willensimpuls weder selbst schon durch physische Ursachen, die gleichzeitig auch den physischen Proceß bestimmten, mit beeinflußt worden sei, noch seinerseits die darauf folgenden Wahrnehmungen beeinflußt habe.«⁸¹

77 Ebd., S. 12f.; 26. Siehe auch ders.: *Handbuch der physiologischen Optik*, 2. Aufl., Hamburg – Leipzig 1896, S. 592.

78 Immanuel Kant: *Kritik der reinen Vernunft* [1781], in: ders., *Gesammelte Schriften*, Erste Abteilung: *Werke*, hg. von der Preußischen Akademie der Wissenschaften, 9 Bde., Berlin 1910–1923, Bd. IV, S. 59–63.

79 H. Helmholtz: *Die Thatsachen in der Wahrnehmung*, S. 33. Siehe auch ders.: *Handbuch der physiologischen Optik*, S. 594.

80 H. Helmholtz: *Handbuch der physiologischen Optik*, S. 602. »Wir könnten in einer Welt leben, in der jedes Atom von jedem anderen verschieden wäre, und wo es nichts Ruhendes gäbe. Da würde keinerlei Regelmäßigkeit zu finden sein, und unsere Denkhätigkeit müsste ruhen.« (H. Helmholtz: *Die Thatsachen in der Wahrnehmung*, S. 41).

81 H. Helmholtz: *Die Thatsachen in der Wahrnehmung*, S. 33. Siehe auch ders.: *Handbuch der physiologischen Optik*, S. 594f. Bemerkenswert ist, dass sich eine solche Sicht des ins Experiment miteingeschlossenen Beobachters wohl nur mit Abstand zu den Experimenten und Versuchsauswertungen selbst einstellt. Denn diese Passage veröffentlichte Helmholtz zunächst anlässlich seiner bekannten Rede und fügte sie dann erst der zweiten Auflage seines *Handbuchs für physiologische Optik* hinzu. In der ersten

Der ›Willensimpuls‹ als einziges nicht determiniertes Glied in der Kette ablaufender Wahrnehmungen ist gleich doppelt in Frage gestellt. Denn der ›Willensimpuls‹ könnte durchaus immer schon unter dem Regime physikalischer Wirkungen und der in Abhängigkeit auftretenden psychischen Effekte stehen. Oder aber er löst nicht nur Handlungen aus, sondern antizipiert schon die Wahrnehmung derselben in bestimmter Weise. Vor diesem Hintergrund werden Träume deutbar, deren kleinste Regungen schon immense physikalisch-symbolische Anstrengungen implizieren und auf deren elegisch symbolische Gesamtschau es überhaupt nicht ankommt:

»Der letzte Zweifel kann namentlich bei unserem Thema in Betracht kommen. Der Willensimpuls für eine bestimmte Bewegung ist ein psychischer Act, die darauf wahrgenommene Aenderung der Empfindungen gleichfalls. Kann nun der erste Act den zweiten durch rein psychische Vermittelungen zu Stande bringen? Unmöglich ist es nicht. Wenn wir träumen, geschieht so etwas. Wir glauben träumend eine Bewegung zu vollführen und wir träumen dann weiter, dass dasjenige geschieht, was davon die natürliche Folge sein sollte. Wir träumen, in einen Kahn zu steigen, ihn vom Land abzustossen, auf das Wasser hinauszugleiten, die umringenden Gegenstände sich verschieben zu sehen u.s.w. Hierbei scheint die Erwartung des Träumenden, dass er die Folgen seiner Handlungen eintreten sehen werde, die geträumte Wahrnehmung auf rein psychischem Wege herbeizuführen. Wer weiss zu sagen, wie lang und fein ausgesponnen, wie folgerichtig durchgeführt ein solcher Traum werden könnte. Wenn alles darin im höchsten Grade gesetzmässig der Naturordnung folgend geschähe, so würde kein anderer Unterschied vom Wachen bestehen, als die Möglichkeit des Erwachens, das Abreissen dieser geträumten Reihe von Anschauungen.«⁸²

So wenig Anstalten Helmholtz auch macht, weder die psychonome Instanz zu verorten, noch dem subjektiven Idealismus uneingeschränkt das Wort zu reden, so sehr bemüht er Traumvorstellungen als Garanten: Die Möglichkeit einer Sprache ist damit verbürgt, die nicht etwa nur in der Lage wäre, die Naturordnung zu erfassen, sondern ihr gemäß zu wirken.

Auflage des Handbuchs, die 30 Jahre zuvor erschienen war, ist sie noch nicht enthalten.

82 H. Helmholtz: Die Thatsachen in der Wahrnehmung, S. 34. Siehe auch ders.: Handbuch der physiologischen Optik, S. 594f.