

**DIE SIRENE UND DAS KLAVIER**  
**VOM MYTHOS DER SPHÄRENHARMONIE ZUR**  
**EXPERIMENTELLEN SINNESPHYSIOLOGIE**  
CAROLINE WELSH

Still, fast wartend steht die Doppelsirene auf einem kleinen Tisch neben dem Vortragspult. Aufgehängt zwischen zwei Pfeilern und in der Mitte durch eine senkrechte Achse ( $k$ ) miteinander verbunden, sieht man die beiden zylinderförmigen Sirenen, aus denen sich die Doppelsirene von Hermann von Helmholtz zusammensetzt (siehe Abb. 1). Ziemlich edel sieht sie aus, mit ihren blankgeputzten Messingkästen ( $a0$ ,  $a1$ ). Klappt man die eine Hälfte des Resonanzkastens ( $h0$ ) zur Seite und blickt in ihr Inneres, wird das Herz- oder besser Mundstück der Sirene sichtbar: eine runde Scheibe ( $c0$ ), in der in konzentrischen Kreisen Löcher angebracht sind.

Unter dieser Scheibe, für die Augen des Betrachters unsichtbar, befindet sich die nach dem gleichen Muster durchlöchernde Deckelplatte des Windkastens, durch den von unten die Luft eingeblasen wird. Die Luft kann nur dann durch die Sirene strömen, wenn sich die Löcher in der Deckelplatte über denen der Scheibe befinden. Bei seinem Austreten versetzt der Luftstrom die Scheibe in Rotation, weil die Löcher schräg ausgestanzt sind. Das besondere an den Tönen der Sirene ist, dass sie nicht durch einen klingenden Körper entstehen, dessen Schwingungen sich über die Luft dem Ohr mitteilen, sondern durch Stöße, die der Luft unmittelbar mit Hilfe der durchlöchernden Scheiben mitgeteilt werden. Der Ton ist musikalisch, weil der Luftstrom aufgrund der regelmäßigen Umdrehungen der gelöchernten Scheibe beim Austreten periodisch unterbrochen wird und der umgebenden Luft diese periodischen Luftstöße mitteilt. Die Schwingungszahl und also Höhe des Tons hängt von der Zahl der in einer Zeiteinheit austretenden Luftstöße und damit von der Anzahl der Löcher und der Geschwindigkeit der Rotation der Scheibe ab.

Neben der Sirene, fünf mal so groß wie diese selbst, steht auf dem Fußboden eine Preßluftflasche. Verbände man den Windkasten der Sirene durch einen Schlauch mit dieser Preßluftflasche und öffnete den Hahn, so würde die Luft in den Windkasten einströmen und sich durch die gelöchernte Deckplatte einen Ausweg suchen. Dabei würde sie die

Scheibe mit ihren schräg gestanzten Löchern in Rotation versetzen und die Sirene würde zu tönen beginnen. Wie werden sich die Töne anhören, die für Helmholtz an die Stelle der Sphärenharmonie traten? Oder, vorsichtiger gefragt: werden wir ihr überhaupt wohlklingende Töne entlocken können?

Doch während ich meine Hand nach dem Hahn ausstreckte, wird mir mit Schrecken bewußt, dass es vielleicht doch leichter ist, auf einem Klavier zu spielen, als auf einer Helmholtzsirene. Zwar habe ich inzwischen auch die Metallstifte (*i*) entdeckt, mit denen man die einzelnen Lochreihen auf der Deckplatte öffnen und schließen kann, um in beliebiger Kombination der Lochreihen unterschiedliche Töne zusammenspielen. Aber die Vorstellung, zum Beispiel ein reines *c'* auf diesem Gerät zu erzeugen, schwindet blitzartig. Schnell rechnet es in meinem Kopf: Ein *c'* hat ca. 264 Schwingungen, also Luftstöße pro Sekunde. Wenn ich die Lochreihe mit den 8 Löchern öffnete, müßte sich die Scheibe 33 Mal pro Sekunde drehen, um ein *c'* erklingen zu lassen – wie zu meinem Trost blinkt mich nun auch ein kleiner Umdrehungsmesser an der Sirene an. Dennoch wird mir klar, dass ich ein Virtuose auf diesem Gerät sein müßte, um eine Chance zu haben, einen Ton mit einer bestimmten Schwingungszahl zu produzieren und auch konstant zu halten – zumal sich die Scheibe (wegen der schräg gestanzten Löcher) ja bei gleicher Luftzufuhr kontinuierlich beschleunigt.

Durch diese Erfahrung aufmerksam geworden, wende ich mich dem Text zu. Der Satz, mit dem Helmholtz die Erzeugung eines *c'* mit der Sirene in seinem ersten Vortrag zum Thema beschreibt, fängt an mit: »Nehmen wir an, wir hätten endlich die Scheiben in solche Geschwindigkeit versetzt, daß sie 33 mal in der Sekunde umlaufen [...].«<sup>1</sup> Der Konjunktiv scheint nun eine ganz andere Bedeutung zu bekommen. Hinter der Euphorie von der problemlosen Erzeugung von Tönen mit einer spezifischen Schwingungszahl verbergen sich, wenn nicht sirenische Gefahren, so doch nicht unbeträchtliche Probleme.<sup>2</sup>

- 
- 1 Hermann von Helmholtz: Über die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonien, hg. u. mit einem wissenschaftshistorischen Nachwort versehen von Fritz Krafft, München 1971, S. 14.
  - 2 Diese Probleme hat Helmholtz mit Hilfe einer »Elektromagnetischen Treibmaschine für die Sirene« und durch gerade gebohrte Löcher behoben. Vgl. Hermann von Helmholtz: Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik, wo die Treibmaschine ab der 3. Ausgabe, Braunschweig 1870, in Beilage I vorgestellt wird. Helmholtz verweist dort explizit auf die auf diese Weise erzeugbaren »außerordentlich konstanten Töne.« (S. 600).

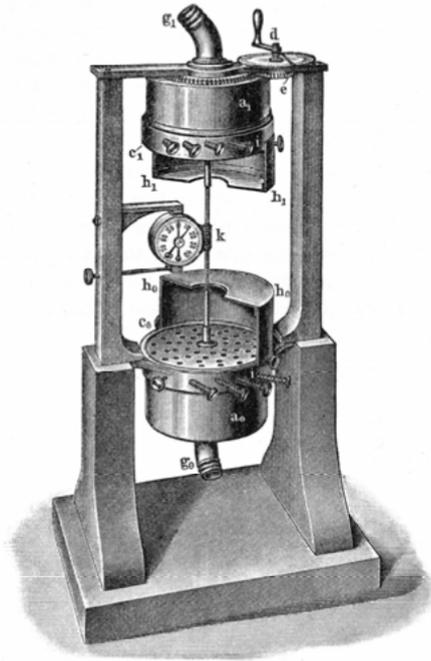


Abbildung 1: Helmholtz-Doppelsirene<sup>3</sup>

Doch gab es für Helmholtz noch etwas wichtigeres als die exakte Schwingungszahl: die geheimnisvolle Gesetzmäßigkeit zwischen den harmonischen, musikalischen Intervallen und der Zahl der Luftschwingungen. Das *Neue* an der Fragestellung von Helmholtz war schließlich, dass er die »alte Räthselfrage, die schon Pythagoras der Menschheit aufgegeben hat, und die bisher ungelöst geblieben ist, [...] mit den Hilfsmitteln der modernen Wissenschaft [zu] beantworten« sich vorgenommen hatte.<sup>4</sup> Es ist die Frage nach dem »Grunde der Consonanz«, die Frage warum »die Schwingungszahlen consonanter Töne immer in Verhältnisse kleiner ganzer Zahlen zueinander stehen.«<sup>5</sup> In dieser Hinsicht war sei-

3 Entnommen aus Hermann von Helmholtz: Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik, 6. Ausg., Braunschweig 1913, S. 270.

4 H. Helmholtz: Über die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonien, S. 7.

5 Ebd. So lassen sich die Schwingungsverhältnisse sämtlicher harmonischen Intervalle innerhalb einer Oktave mit Ausnahme der kleinen Sexte, durch die Zahlen 1–6 ausdrücken. Bei der Oktave ist das Verhältnis 1:2, bei der

ne Doppelsirene allerdings unschlagbar. Die beiden Sirenen sind über eine Achse miteinander verbunden, wodurch gewährleistet ist, dass die Zahl der Umdrehungen der Scheiben bei beiden gleich ist. Weil jede Sirene 4 unterschiedliche Lochreihen aufweist – die eine mit 8, 10, 12 und 18, die andere mit 9, 12, 15 und 16 Löchern – und man mit den Metallstiften auswählen kann, welche Lochreihen geöffnet sein sollen, kann man mit der Doppelsirene nach Belieben Quinten (2:3, also die Lochreihen mit 8 und 12 Löchern), Quarten (1:2, also die 8- und 16-Lochreihe), Terzen und Oktaven erzeugen. Schließlich kommt es da nicht auf die absolute Tonhöhe, sondern lediglich auf das *Schwingungsverhältnis* zweier oder mehrerer Töne zueinander an. Das hängt nun aber nicht von der schwer kontrollierbaren Umdrehungszahl, sondern nur von der Anzahl der Löcher und damit der Luftstöße pro Umdrehung ab.

Auf den ersten Blick scheint Helmholtz' Doppelsirene wenig gemein zu haben mit jenen mythologischen Wesen, die, seit Homers Odysseus einmal ihrem Gesang lauschen durfte, nicht aufgehört haben, in der Literatur ihre Existenz zu bezeugen. Zu zeigen, dass und wie dieser Blick täuscht, ist Ziel dieser Ausführungen. Im folgenden werde ich zeigen, dass die mythologischen Sirenen auf mehrfache Weise mit der Helmholtz-Sirene zusammenhängen und gemeinsam mit dem Klavier in seinen Texten und Theorien zur Tonempfindung ihre Spuren hinterlassen haben.

Der Vortrag gliedert sich in vier Teile: der erste Teil besteht aus einem kurzen Überblick über die Beziehung der mythologischen Sirenen zu den Wissenschaften. Darauf folgt ein historischer Abriss über Versuche des 18. Jahrhunderts, den Verlust der metaphysischen Bedeutung der Musik durch eine Hinwendung zur Natur zu kompensieren. Im dritten Teil wird es dann spezifisch um die Bedeutung von Helmholtz' Doppelsirene und dem Klavier bei der Lösung des Pythagoreischen Rätsels vom Zusammenhang zwischen den bekannten, harmonischen, musikalischen Intervallen und der Zahl der Luftschwingungen gehen. Der abschließende vierte Teil faßt die Ergebnisse im Hinblick auf die epistemologische Funktion dieser Instrumente zusammen.

---

Quinte 2:3, der Quarte 3:4, der großen Terz 4:5 und der kleinen Terz 5:6. Bei den Pythagoreern zählten die beiden letzten, unvollkommenen Konsonanten nicht dazu, so dass sich die Pythagoreischen Konsonanten durch die ganzen Zahlen 1–4 ausdrücken ließen. Das Pythagoreische Zahlenverhältnis bezieht sich auf die Verhältnisse der Saitenlängen, das jedoch denen der Schwingungen pro Zeiteinheit entspricht.

## I Homerische und Pythagoreische Sirenen

Der Mythos von den Sirenen läßt sich grundsätzlich in zwei Traditionslinien aufspalten. Auf der einen Seite stehen die Sirenen Homers, von denen es in der Odyssee zwei Beschreibungen gibt. Die erste von Kirke, die Odysseus vor diesen Wesen warnt und ihm zugleich eine List verrät, wie er ihrem Gesang dennoch lauschen kann, ohne ihnen zu verfallen.

»Erstlich erreicht dein Schiff die Sirenen; diese bezaubern Alle sterblichen Menschen, wer ihre Wohnung berührt. Welcher mit törichten Herzen hinfährt und der Sirenen Stimme lauscht, dem wird zu Hause nimmer die Gattin Und unmündige Kinder mit freudigem Gruße begegnen; Denn es bezaubert ihn der helle Gesang der Sirenen, die auf der Wiese sitzen, von angehäuften Gebeinen Modernder Menschen umringt und ausgetrockneten Häuten. Aber du steure vorbei und verklebe die Ohren der Freunde Mit dem geschmolzenen Wachs der Honigscheiben, daß niemand Von den andern sie höre. Doch willst du selber sie hören, Siehe, dann binde man dich an Händen und Füßen im Schiffe, Aufrecht stehend am Maste, mit festumschlungenen Seilen, Daß du den holden Gesang der zwo Sirenen vernehmest. Flehst du die Freunde nun an und befiehltst die Seile zu lösen: Eilend feßle man dich mit mehreren Banden noch stärker!«<sup>6</sup>

Dieser List verdanken wir dann die zweite Beschreibung der Sirenen, ihren Gesang, den Odysseus wörtlich wiedergibt:

»Komm besungener Odysseus, du großer Ruhm der Achaier! Lenke dein Schiff ans Land und horche unserer Stimme. Denn hier steuerte noch keiner im schwarzen Schiffe vorüber, Eh er dem süßen Gesang aus unserem Munde gelauschet. Und dann ging er von hinnen, vergnügt und weiser wie vormals. Uns ist alles bekannt, was ihr Argeier und Troer Durch der Götter Verhängnis in Trojas Fluren geduldet: Alles, was irgend geschieht auf der lebensschenkenden Erde! Also sangen sie voll Anmut. Heißes Verlangen fühlte ich, weiter zu hören und winkte den Freunden Befehle, meine Bande zu lösen [...]«<sup>7</sup>

Diese nicht nur durch ihren Gesang, sondern auch durch das Versprechen auf Wissen betörenden Sirenen verlieren im Laufe der Zeit ihre Gestalt als Zwitterwesen mit Vogelkörper und Menschenkopf (siehe Abb. 2) und werden dann insbesondere im Mittelalter als betörende Frauenkörper mit trügerischem Fischschwanz von ihrer blumigen Insel ins Wasser versetzt,

6 Homer: Odyssee, 12. Gesang, Verse 39–54.

7 Ebd., Verse 184–194.

wo sie dann vor allem die Verführungen zur weltlichen Lust – zu der auch die theoretische Neugierde gehört – symbolisieren.<sup>8</sup>



Abbildung 2: *Odysseus und die Sirenen*<sup>9</sup>

Fragt man nach dem Zusammenhang zwischen den Homerischen Sirenen und den Wissenschaften, so ist in dieser Traditionslinie weniger ihr Gesang, als ihr Versprechen auf Wissen und ihre Verführung zur theoretischen Neugierde, zur *curiositas*, entscheidend. Von Augustinus als zweckentfremdeter Selbstgenuss des Erkenntnistriebes verstanden, der vor allem in der Wissenschaft waltet, wird die *curiositas* wegen der Gefahr der Selbstüberhebung des Menschen und ihrer Unvereinbarkeit mit der *vita beata*, der selbstvergessenen Anschauung Gottes, erstmals in den Lasterkatalog aufgenommen.<sup>10</sup> Fragt man nach dem Medium dieser Verführung, so ließe sich aufzeigen, dass der Sirenenmythos ab 1800 eine Transformation durchmacht. Mit der zunehmenden Bedeutung und

8 Einen hervorragenden Überblick über den Sirenenmythos bietet Siegfried v. Rachewiltz: *De Sirenibus: An Inquiry into Sirens from Homer to Shakespeare*, New York – London 1987.

9 Entnommen aus ebd., Appendix, Illustrations: *Odysseus and the Sirens*, Lucian Crater, Third Century B.C.

10 Zur Bedeutung der theoretischen Neugier vgl. Hans Blumenbach: *Der Prozess der theoretischen Neugierde*, Frankfurt a. M. 1966, insbes. S. 103–121 sowie, im Zusammenhang mit dem Sirenenmythos, S. 68f. und S. 87ff.

Verbreitung schriftlicher Texte verführen die Sirenen nicht mehr nur durch ihren Gesang, sondern auch durch schriftliche Texte, nicht mehr vornehmlich durch ihre Sinnlichkeit, sondern zunehmend durch ein Versprechen auf die Enthüllung eines geheimen Wissens in der Schrift.<sup>11</sup> Und sie fordern – das wird bei Theodor Adorno und Max Horkheimer ebenso deutlich wie bei Clemens Brentano und Franz Kafka – zur Hybris heraus, zum Glauben, das Andere, die Götter, den Mythos, die eigene innere ebenso wie die äußere Natur durch List, Rationalität und Technik auch wirklich besiegen zu können, ja bereits besiegt zu haben: »Dem Gefühl, aus eigener Kraft sie besiegt zu haben, der daraus folgenden alles fortreisenden Überhebung kann nichts irdisches widerstehen.«<sup>12</sup>

Neben diesen homerischen Sirenen gibt es aber noch eine andere Sirenentradition, die auf eine ganz andere Weise schon immer mit den Wissenschaften verbunden war. Sie bezieht sich auf die Platonisch-Pythagoreischen *Sirenen der Sphärenharmonie*. Am ausführlichsten hat Platon diese Sirenen im Schlussmythos des *Er* beschrieben. Die Seele des *Er* hatte sich bereits zu Lebzeiten in einer Art Ekstase auf eine Reise ins Jenseits begeben und berichtet nach ihrer Wiederkehr in den Körper von dem, was sie erlebt hat: Nachdem sie verschiedene Stufen durchschritten hatte, gelangte sie an den Ort, der Himmel und Erde zusammenhält. Es ist das Zentrum, von dem aus alle Himmelsphären »in Umdrehung« gebracht werden und zugleich der Ort, an dem die Seelen der Verstorbenen aus einer Vielzahl ihnen vorgelegter Lebensläufe den ihrer nächsten Reinkarnation auswählen. An diesem Zentrum des Schicksals, der Spindel der Notwendigkeit, befinden sich die Sirenen der Sphärenharmonie:

»Die ganze Spindel aber drehe sich im Kreise [...] Und während sie sich als ganzes drehe, bewegten sich in ihr die sieben inneren Kreise langsam in der dem Ganzen entgegengesetzten Richtung herum. [...] Und oben auf jedem Kreise stehe eine Sirene, die sich mit ihm drehe und ihre Stimme hören lasse, jede einen bestimmten Ton; alle acht Töne aber klängen in einer einzigen Harmonie zusammen. Rings im Kreise aber, in gleichen Abständen, sitzen, in weißen Kleidern und mit heiligen Binden um das Haupt, drei andere Frauengestal-

11 Zur Transformation des Sirenenmythos bei Clemens Brentano, Franz Kafka und James Joyce in eine die Gefahren und Verführungen der Schriftkultur reflektierende Version vgl. Caroline Welsh: *Sirenen der Schrift: Transformationen eines Mythos* (Unveröffentlichtes Manuskript). Zu Brentano vgl. Hans-Walter Schmidt: *Die Erlösung der Schrift: Zum Buchmotiv im Werk Clemens Brentanos*, Wien 1991.

12 Franz Kafka: »Das Schweigen der Sirenen«, in: ders., *Nachgelassene Schriften und Fragmente II*, Frankfurt a. M. 1992, S. 40.

ten, jede auf einem Thron. Das seien die Töchter der Notwendigkeit, die Moiren Lachesis, Klotho und Atropos; sie sängen zu der Harmonie der Sirenen, Lachesis von der Vergangenheit, Klotho von der Gegenwart, und Atropos von der Zukunft. Und Klotho berühre von Zeit zu Zeit mit der rechten Hand die äußere Wölbung der Spindel und helfe sie umdrehen; Atropos tue dasselbe mit der Linken an den inneren Kreisen, während Lachesis mit ihren beiden Händen abwechselnd den äußeren und die inneren Kreise berühre.«<sup>13</sup>

Deutlicher als bei Pythagoras wird hier bei Platon der Sirenenmythos mit der Harmonie der Sphären zusammengeführt. Der Mythos von der Sphärenharmonie geht direkt auf die naturphilosophischen und kosmischen Lehren der Pythagoreer zurück. Hier versinnbildlicht die Musik die Verbindung zwischen Mathematik und Kosmos. Einem Bericht Nikomachos von Gerasa zufolge hatte Pythagoras

»[...] kraft eines unsagbaren und schwer vorzustellenden göttlichen Vermögens [die Fähigkeit], sein Gehör und seinen Geist fest auf die erhabenen Zusammenklänge des Kosmos [zu richten]. Dabei hörte und verstand er, wie er erklärte, ganz allein die gesamte Harmonie und den Wettgesang der Sphären und Gestirne, die sich darin bewegen. Diese Harmonie ergab eine vollkommener und erfülltere Musik als die irdische, denn aus ungleichen und sich mannigfach unterscheidenden Geschwindigkeiten, Tonstärken und Schwingungsdauern von Klängen, die aber doch in einer klaren, überaus musikalischen Proportion aufeinander abgestimmt sind, werden Bewegungen und Umlauf zugleich überaus wohlklingend und in ihrer Farbigkeit unaussprechlich schön gestaltet. Von dieser Musik ließ er sich gleichsam durchtränken, ordnete seinen Geist in diesen reinen Verhältnissen und übte ihn darin – wie ein Athlet seinen Körper trainiert. Davon gedachte er seinen Jüngern, so gut es geht, Abbilder zu geben, indem er die Sphärenmusik auf Instrumenten und durch die bloße Stimme nachahmte.«<sup>14</sup>

Die entscheidende Qualität dieser Sirenen der Sphärenharmonie besteht weder in ihrer verführerischen Stimme noch im Inhalt des Gesungenen, sondern darin, dass ihr harmonischer Zusammenklang hörbarer Ausdruck der harmonischen Ordnung des Kosmos, der Planetenbewegungen und Umlaufbahnen ist. Diese Harmonie des Kosmos versucht Pythagoras in der irdischen Musik nachzuahmen. Das Geheimnis der Verbindung zwischen irdischer und kosmischer Musik liegt dabei in den konsonanten Zahlenverhältnissen, die sowohl die Geschwindigkeiten der Planeten und

---

13 Platon: Der Staat, X, 614 A.

14 Iamblichos: Vita Pyth., 64–66, zit. n. Bartel Leendert van Waerden: Die Pythagoreer: Religiöse Bruderschaft und Schule der Wissenschaft, Zürich – München 1979, S. 101. Von van Waerden habe ich die Ausführungen zur Tetraktys und zur Musiktheorie der Pythagoreer übernommen.

die Abstände zwischen ihnen als auch die konsonanten Intervalle der irdischen Musik, die Oktave, die Quinte und die Quarte, aus denen sich die Pythagoreische Tonleiter zusammensetzt, regulieren. Pythagoras konnte am Monochord experimentell nachweisen, dass diese musikalischen Proportionen sich, durch ganzzahlige Längenverhältnisse schwingender Saiten als Verhältnisse 2:1, 3:2 und 4:3 darstellen ließen. Für die Pythagoreer läßt sich die Frage nach dem Grunde der Konsonanz und ihrem Zusammenhang mit den kleinen ganzen Zahlen metaphysisch beantworten. In diesen einfachen Zahlenproportionen spiegelte sich die Bedeutung der heiligen Zahlen 1–4, die zusammen 10 und damit die Tetraktys ergaben. Die Musik hatte somit einen direkten Bezug zur Tetraktys der »Quelle der Vollkommenheit«. In einem Spruch der Pythagoreer wird sie direkt mit den Sirenen der Sphärenharmonie in Verbindung gebracht: »Was ist das Orakel von Delphi? Die Tetraktys! Denn sie ist die Harmonie, in der die Sirenen singen.«<sup>15</sup>

Weil Harmonie bei den Griechen auch Tonleiter bedeutete, kann die Tetraktys van Waerden zufolge auch als Tonleiter der Sirenen verstanden werden. Da für die Pythagoreer »die Dinge [...] durch Nachahmung der Zahlen [sind]«, ist diese Tonleiter der Sirenen zugleich der Schlüssel zur Prophetie und damit zu jener Allwissenheit, den ja auch die Homerischen Sirenen für sich in Anspruch nahmen.<sup>16</sup> Wie bereits angedeutet, wird Helmholtz dieses geheimnisvolle Gesetz des Pythagoras von den musikalischen Proportionen, vom Zusammenhang zwischen Musik und Mathematik, zwischen harmonikaler Konsonanz und kleinen Zahlenverhältnissen erneut aufgreifen und seinerseits, wenn auch ganz anders als die Pythagoreer, mit Hilfe einer Sirene zu erklären versuchen. Die besondere musikästhetische und wissenschaftsgeschichtliche Relevanz dieser erneuten Verbindung von Musik und Zahl in der Helmholtzsirene wird deutlicher, wenn man einen Blick auf das Schicksal der Verbindung zwischen irdischer Musik und Sphärenharmonie wirft.

## II Von der Metaphysik zur Naturwissenschaft

Umgedeutet in den himmlischen Gesang der Engel blieb die Harmonie der Sphären auch im Mittelalter die Quelle der Legitimation und der Sinnstiftung weltlicher Musik. Aufgrund dieser Integration der Sphärenharmonie in den christlichen Deutungshorizont konnte die mathematisch-

15 Iamblichos: Vita Pyth., 82, zit. n. van Waerden: Die Pythagoreer, S. 108.

16 Zur Verbindung zwischen den homerischen und den platonischen Sirenen vgl. Plutarch: *Moralia* (*Questiones convivales*), übers. v. F. H. Sandback, London – Cambridge 1961, IX, 14, v. 745–746, S. 279–281.

kosmische Musiktheorie der Pythagoreer bis in die frühe Neuzeit hinein ein vereinigendes Band zwischen Musik, Mathematik und Astrologie bilden. Ihr verdankt die Musik im Mittelalter ihre Einordnung ins Quadrivium, wo sie zusammen mit der Mathematik, der Geometrie und der Astrologie den oberen, kosmisch geregelten Wissenschaften zugeordnet ist. Aufgrund dieser Verbindungen konnten laut Böhthius die *musica mundana* (die nach Maß und Zahl gestimmte Bewegung des Weltalls) die *musica humana* (das Zusammenspiel von Leib und Seele) und die *musica instrumentalis* (die menschliche Musik) wechselseitig zueinander in Beziehung gesetzt werden. Während die Sphärenharmonie den Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild mit Keplers Berechnung der Winkelgeschwindigkeiten der Planetenumläufe aus der Perspektive der Sonne ebenso unbeschadet überstand wie ihre Adaption ins christliche Weltbild, führte die immer akuter werdende Debatte um die adäquate Temperierung des Tonsystems seit der Renaissance zu Problemen mit den kosmologischen Entsprechungen. Die durch das Pythagoreische System gewährleistete Harmonie zwischen Mensch, Musik und Kosmos war von Anfang an problematisch. Die Pythagoreische Stimmung wurde durch den Aufbau von reinen Quinten gebildet. Konstruiert man aber reine Quinten im Verhältnis 2:3, dann erreicht man bei der 12. Quinte einen Ton, der mit der 7. Oktave (2:1) identisch sein müsste, es jedoch nicht ist. Diese Differenz war bereits im Altertum als pythagoreisches Komma bekannt, wurde aber erst im 11. Jahrhundert zum Problem, als nicht mehr die Melodie, sondern die Mehrstimmigkeit, also das gleichzeitige Erklingen verschiedener Töne, an Popularität gewann. Man bemühte sich, andere Stimmungssysteme zu erfinden, was auch – wie wir noch bei Helmholtz sehen werden – mehr oder weniger gelang. Weil man hierzu aber die ganzzahligen Intervallverhältnisse etwas abändern mußte, wurde die auf ihnen beruhende Entsprechung zwischen musikalischen Intervallen und kosmologischen Strukturen zerstört.<sup>17</sup>

Damit stellte sich notgedrungen und nach vielen Debatten und Versuchen, die Funktion der irdischen Musik als Abbild der himmlischen doch noch zu retten, im 18. Jahrhundert die Frage, was die Musik denn eigentlich ausdrücke, welche Bedeutung sie habe, wenn sie *keine* Nachahmung der himmlischen Musik sei. Ein Erklärungsansatz des 18. Jahrhunderts bestand darin, die Ebene der Mathematik zu verlassen und die Bedeutung der Intervalle zu verabschieden. Man behauptete statt dessen, dass die einzelnen Töne – und nicht mehr die Intervalle – zusammen mit der Melodie und dem Rhythmus das Vehikel wären, durch das die Ge-

---

17 Vgl. hierzu zusammenfassend Christine Lubkoll: *Mythos Musik: Poetische Entwürfe des Musikalischen in der Literatur um 1800*, Freiburg i. Brsg. 1995, S. 28–41.

mütsstimmungen des Komponisten direkt in die Seele des Hörers übertragen werden könnten. Hauptaufgabe der Musik war nun – z.B. in Johann J. Engels 1780 erschienenen Schrift *Über die Musikalische Malerei*, aber auch in der Gefühlsästhetik insgesamt – nicht mehr die Erzeugung eines sinnlichen Wohlgefallens aufgrund der Proportionen und des harmonischen Zusammenspiels der Töne, sondern die Erweckung menschlicher Leidenschaften und innerer Empfindungen der Seele.<sup>18</sup> Die Theorie einer musikalischen Darstellung von Leidenschaften und Seelenempfindungen, die Möglichkeit eines Zusammenspiels zwischen der *musica humana* (dem Leib und der Seele) und der *musica instrumentalis* wurde physiologisch begründet. Eine gezielte Erschütterung der Nerven durch die Musik sollte in der Seele jene Bewegungen erzeugen, die denen der Leidenschaften oder inneren Bewegungen der Seele analog sind. Nur weil »alle leidenschaftlichen Vorstellungen der Seele mit gewissen entsprechenden Bewegungen im Nervensystem untrennlich verbunden [sind]« und »durch Wahrnehmung dieser Bewegungen unterhalten und verstärkt [werden]«,<sup>19</sup> ist es möglich, leidenschaftliche Vorstellungen in der Seele zu erwecken, indem man »vorher im Körper die verwandten Erschütterungen verursacht.«<sup>20</sup> Der Verlust der kosmischen Sphärenharmonie als Bezugssystem für die irdische Musik wird hier durch die Theorie einer Resonanz zwischen Musik, Nervenschwingungen und Seelenbewegungen kompensiert.

Zuvor hatte sich bereits Jean-Philippe Rameau den Wissenschaften von der Natur zugewandt, um einen irdischen Ersatz für die Gründung der musikalischen Grundsätze in kosmischen Proportionen zu finden. Anstatt jedoch die Bedeutung der Musik in ihrer unmittelbaren Wirkung auf die Nerven und auf das Gemüt zu sehen, fragte Rameau nach den objektiven, vom Hörer unabhängigen physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Töne und konzentrierte sich darauf, die Harmonie und Melodie aus den physikalischen Qualitäten des Tons abzuleiten. In seiner Untersuchungen am *corpus sonore*, dem tönenden Körper selbst, suchte er die Authentizität der Musik in der Übereinstimmung der mathematischen Grundsätze mit dem physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Natur. Die entscheidende Leistung Rameaus, auf die sich die Romantiker und auch Helmholtz beziehen werden, bestand darin, dass er die bereits von Mercenne gemachte Entdeckung, dass ein tönender Körper nicht nur aus sei-

18 Eine kritische Zusammenfassung dieses Ansatzes mit ausführlichen Literaturbeispielen bietet Eduard Hanslick: *Vom musikalisch Schönen: Ein Beitrag zur Revision der Tonkunst* [1854], Darmstadt 1965.

19 Johann Jakob Engel: »Über die musikalische Malerei [1780]«, in: ders., *Werke*, Bd. 4: *Reden, Ästhetische Versuche*, Berlin 1802, S. 312.

20 Ebd., S. 313.

nem Grundton, sondern zusätzlich noch aus mitschwingenden Obertönen besteht, zur Grundlage seiner Harmonielehre machte. Durch diese Fundierung der Harmonielehre in der akustischen Physik wurde die gesamte Struktur der Musik auf ein Naturereignis, den Klang eines resonierenden Körpers, zurückgeführt.

»Der tönende Körper, welchen ich richtiger mit Grundton bezeichne, ist der einzige Ursprung, der Stammton und Schöpfer aller Musik, die unmittelbare Ursache aller ihrer Wirkungen – er bringt im Augenblick seines Ertönsens alle fortlaufenden Proportionen hervor, aus welchen die Melodie, die Tonarten, die Tongattungen entspringen, so wie überhaupt alles bis zu den unbedeutendsten Regeln, die wir in der Musik brauchen.«<sup>21</sup>

An die Stelle der kosmisch fundierten Intervallverhältnisse trat die Deduktion der Harmonielehre aus der Natur des resonierenden Körpers. An die Stelle metaphysischer Spekulationen trat die Betonung der Wahrnehmung als Medium der Erkenntnis. Laut Helmholtz war gerade diese Leistung Rameaus entscheidend gewesen: Die Harmonielehre von Rameau war »von großer historischer Wichtigkeit [...], insofern dadurch die Theorie der Konsonanz zum ersten Male von metaphysischem auf naturwissenschaftlichen Boden gerückt wurde.«<sup>22</sup> Wie der folgende vorsichtige Vermittlungsversuch zeigt, war sich Rameau der Tragweite eines solchen Schritts durchaus bewußt:

»Auf diese Weise wird zum Grundprinzip, was vorher nur ein Fingerzeig war, und das Organ [das Ohr, C.W.] erfährt hier ohne die Hilfe des Geistes, was der [Pythagoreische, C.W.] Geist ohne Vermittlung des Organs entdeckt hatte. Es muß meines Erachtens eine angenehme Entdeckung für die Wissenschaftler sein, die sich durch metaphysische Erkenntnis leiten lassen, wenn eine Erscheinung oder die Natur selbst abstrakte Grundsätze so völlig rechtfertigt und begründet.«<sup>23</sup>

Gemeinsam ist den beiden Erklärungsansätzen des 18. Jahrhunderts, dass sie die Musik nach dem Zusammenbruch der Sphärenharmonie nicht mehr auf ein metaphysisches System, sondern auf Naturgesetzmäßigkeiten zurückzuführen versuchten. Weil beiden Ansätzen unterschiedliche Vorstellungen über die Wirkung der Musik zugrunde lagen, ließen sie

---

21 Jean Phillipe Rameau: *Demonstration du principe de l'harmonie servant de base à tout l'art musical théorique et pratique*, Paris 1750, übers., hg. und mit einer Einleitung versehen von Elisabeth Lesser, Wolfenbüttel – Berlin 1930, S. 44.

22 H. Helmholtz: *Tonempfindungen*, 6. Ausg., S. 381.

23 J.P. Rameau: *Demonstration du principe de l'harmonie*, S. 61.

sich in dieser Form jedoch nicht zu einer Theorie der Tonempfindungen verbinden. Der Ansatz Rameaus konzentrierte sich auf die Eigenschaften des *physikalischen Klangs* und dessen Bedeutung für die Harmonielehre; die physiologische Erklärung der Wirkungsweise der Musik auf das Gemüt vernachlässigte den Klang als physikalisches ebenso wie als sinnliches Element und beschäftigte sich stattdessen mit einer *nervenphysiologisch* begründeten Verbindung zwischen Musik, Nervenvibrationen und Gefühlszuständen. Eine Zusammenführung von Akustik und Nervenphysiologie gelang erst, als Helmholtz die Nervenphysiologie radikal von den Affekttheorien der Empfindsamkeit loslöste und sie zusammen mit der physikalischen Akustik in eine Suche nach der naturwissenschaftlichen Erklärung musikalischer Konsonanzen einband.

### III Die Sirene und das Klavier bei Helmholtz

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts machte die physikalische Akustik durch Ernst F. Chladnis *Entdeckung über die Theorie des Klangs*, durch die Wellenlehre der Gebrüder Ernst Heinrich und Wilhelm Eduard Weber und durch die Arbeiten Georg Simon Ohms entscheidende Fortschritte. Mit Jan Evangelista Purkyne und Helmholtz' Lehrer Johannes Müller etablierte sich zudem die experimentelle Sinnesphysiologie als Autorität auf dem Gebiet der Wahrnehmungstheorie und -physiologie. Durch diese Ausdifferenzierung der Wissenschaften im Verlaufe der ersten Jahrhunderthälfte war jedoch, so konstatiert Helmholtz 1863 in seiner Einleitung zur *Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, »der naturwissenschaftliche, der philosophische [und] der künstlerische Gesichtskreis [...] in neuerer Zeit, mehr als billig ist, auseinandergerückt worden«<sup>24</sup>. Es fehlte eine disziplinenübergreifende Arbeit, die musikästhetische Fragestellungen mit Hilfe der Akustik und der Sinnesphysiologie zu beantworten suchte. Dieses Forschungsdesiderat, die Notwendigkeit einer *Physiologie des Hörens*, die nicht Schall und Klang im Allgemeinen, sondern insbesondere den musikalisch verwendeten zum Untersuchungsgegenstand macht, hatte Eduard Hanslick bereits wenige Jahre zuvor in seinem musikästhetischen Traktat *Vom musikalisch Schönen* eingefordert.

»Die intensive Wirkung der Musik auf das Nervenleben ist als Tatsache von der Psychologie wie von der Physiologie vollständig anerkannt. Leider fehlt noch eine ausreichende Erklärung derselben. Es vermag die Psychologie nimmermehr das Magnetisch-Zwingende des Eindrucks zu ergründen, den gewisse

---

24 H. Helmholtz: *Tonempfindungen*, 6. Ausg., S. 1.

Akkorde, Klangfarben und Melodien auf den ganzen Organismus des Menschen ausüben, weil es dabei zuvörderst auf eine spezifische Reizung der Nerven ankommt. *Ebensowenig hat die im Triumph fortschreitende Wissenschaft der Physiologie etwas entscheidendes über dieses Problem gebracht und pflegt bei der Untersuchung des Hörens vielmehr den Schall und Klang überhaupt, als insbesondere den musikalisch verwendeten, im Auge zu haben.*<sup>25</sup>

Hanslick geht es in seiner Theorie des musikalisch Schönen um die Etablierung der Musik als schöne Kunst, d.h. als Kunst, die nicht durch ihr sinnliches Material und ihre Wirkung auf die Nerven, sondern durch ihre ›tönend bewegte Form‹ ein ›interesseloses Wohlgefallen‹ im Sinne der Kantschen Ästhetik erzeugt. Mit dieser Vorstellung der Musik ist traditionell die mathematische Erklärung der Wirkungsweise von Musik auf die Seele verbunden.<sup>26</sup> Dennoch wird an obigem Zitat deutlich, dass Hanslick keineswegs die Wirkung der Musik auf den Körper anzweifelt. Er fordert im Gegenteil insbesondere für die Musik die Berücksichtigung des »sinnliche[n] Faktor[s], der bei jedem Schönheitsgenuß den geistigen trägt«, weil dieser »bei der Tonkunst größer [ist] als in den anderen Künsten«.<sup>27</sup>

In seiner *Lehre von den Tonempfindungen* greift Helmholtz diese Anregung auf und beschreibt seine eigene Arbeit als »Vereinigung dieser Grenzgebiete von Wissenschaften«, »nämlich einerseits der physikalischen und physiologischen Akustik, andererseits der Aesthetik«.<sup>28</sup> Dabei fällt auf, dass Helmholtz die Opposition zwischen einer Gefühlsästhetik, die sich auf die Nerven und Gefühle bezieht, und einer Schönheitsästhetik, die die mathematischen Proportionen der Musik betont, aufhebt. Anstatt Nervenerregungen mit Gemütsstimmungen und mathematische Proportionen mit einer Ästhetik des Schönen zu verbinden, sucht er nach einer physikalischen und nervenphysiologischen Erklärung für die Pythagoreische Verbindung von Musik und Zahl.

25 E. Hanslick: Vom musikalisch Schönen, S. 105. Der von mir kursiv gedruckte Teil fehlt ab der 4. Auflage (Leipzig 1874), in der die *Lehre von den Tonempfindungen* von Helmholtz stattdessen lobend erwähnt wird.

26 Hierhin gehören insbesondere Leibniz, Leonhard Euler und Hans Christian Oersted. Für eine schöne Zusammenfassung der wichtigsten Argumente vgl. Hans Christian Oersted: »Gespräche über das Schöne: 1. Ueber die Gründe des Vergnügens, welches die Töne hervorbringen«, in: ders., Der Geist der Natur, Deutsch von K. Kannegiesser, Leipzig 1854 [1808], Bd. 1., S. 1–30.

27 E. Hanslick: Vom musikalisch Schönen, S. 105.

28 H. Helmholtz: Tonempfindungen, 6. Ausg., S. 1.

»Diese Beziehung der ganzen Zahlen zu den musikalischen Konsonanzen erschien von jeher als ein wunderbares und bedeutsames Geheimnis. Schon die Pythagoreer beuten sie aus in ihren Spekulationen über die Harmonie der Sphären. Sie blieb von da ab teils das Ziel, teils der Ausgangspunkt der wunderlichsten und kühnsten phantastischen oder philosophischen Kombinationen, bis in neuerer Zeit die meisten Forscher sich auch der von Euler vertretenen These anschlossen, daß die menschliche Seele ein besonderes Wohlgefallen an einfachen Verhältnissen habe, weil sie diese leichter auffassen und übersehen könne. Aber es blieb unerörtert, wie es die Seele eines nicht in der Physik bewanderten Hörers, der sich vielleicht nicht einmal klar gemacht hat, daß Töne auf Schwingungen beruhen, anstelle, um die Verhältnisse der Schwingungszahlen zu erkennen und zu vergleichen. Nachzuweisen, welche Vorgänge im Ohr den Unterschied von Konsonanz und Dissonanz fühlbar machen, wird eine Hauptaufgabe der zweiten Abteilung dieses Buches sein.«<sup>29</sup>

In der Zusammenführung der physikalischen Akustik mit einer Physiologie des Hörens verschiebt Helmholtz die Erklärung für das besondere Wohlgefallen an der Konsonanz von der Seele auf das Ohr. Bei Leibniz war ein unbewußtes Mitzählen der Seele die Ursache für ihr Wohlgefallen an den einfachen harmonischen Verhältnissen. Bei Helmholtz ist nicht mehr die Seele, sondern das Ohr dafür zuständig, »die Verhältnisse der Schwingungszahlen zu erkennen und zu vergleichen.«<sup>30</sup> Das Ohr zerlegt den Klang, ohne dass sich die ›Seele‹ bzw. das Bewußtsein des Ergebnisses im einzelnen bewußt ist. Mit dieser Verschiebung von der Seele auf das Ohr führt Helmholtz das Bestreben Johannes Müllers weiter, den Sinnesorganen Fähigkeiten zu übertragen, die zuvor der Seele bzw. dem Verstand zugeordnet worden waren. Die wesentlichen Ergebnisse dieser neuen Perspektive auf die alte Frage nach der Ursache des Wohlgefallens an harmonischen Intervalle sind:

1. Helmholtz kann – u.a. durch Versuche am Klavier – experimentell die reelle Bedeutung von Fouriers allgemeinem mathematischen Gesetz für periodische Schwingungen belegen, indem er zeigt, dass »eine periodische Bewegung, die nicht pendelartig ist, Körper von verschiedener Tonhöhe, entsprechend den harmonischen Obertönen, zum Mittönen bringen kann.«<sup>31</sup>

29 Ebd., S. 27. Für einen ausführlicheren Überblick über seine Versuche, die Beziehung der Konsonanzen zu den ganzen Zahlen aufzudecken, vgl. ebd., S. 373–382.

30 Ebd., S. 27.

31 Ebd., S. 243.

2. Ebenfalls durch Experimente am Klavier kann Helmholtz die These Ohms bestätigen, dass das Ohr nach dem von Fourier aufgestellten Gesetz jeden musikalischen Klang in seine einzelnen Partialtöne zerlegt (das sind insbesondere der Grundton und die Obertöne). Er weist nach, dass diese Zerlegung meistens nicht zu Bewußtsein gelangt, die jeweiligen Obertöne aber mit etwas Übung und Aufmerksamkeit durchaus bewußt wahrgenommen werden können.
3. Die These von der Klangzerlegung im Ohr erklärt, warum Anwesenheit und Stärke der Obertöne, auch wenn sie nicht bewußt wahrgenommen werden, für die unterschiedliche musikalische Klangfarbe der Instrumente verantwortlich sind und also einen Einfluß auf das bewußt Wahrgenommene haben. Durch die künstliche Erzeugung und Zusammensetzung von einfachen Tönen mit Hilfe elektromagnetisch zum Schwingen gebrachter Stimmgabeln und Resonatoren kann Helmholtz nachweisen, dass die »Unterschiede in der musikalischen Klangfarbe nur abhängen von der Anwesenheit und Stärke der Partialtöne, nicht von ihren Phasenunterschieden«,<sup>32</sup> d.h. nicht von der Form der zusammengesetzten Tonwelle.
4. Experimente an der Doppelsirene machen hörbar, dass Dissonanzen und Verstimmungen dann entstehen, wenn die Schwingungszahl zweier zugleich erklingender Grundtöne mit gemeinsamem Oberton nicht exakt, aber fast den harmonischen Schwingungsverhältnissen entspricht. Die Fähigkeit des Ohrs zur Klangzerlegung ist somit nicht nur für die Klangfarbe, sondern auch für die Empfindung von Konsonanz und Dissonanz entscheidend. Als dissonant wird ein Zusammenklang zweier Töne empfunden, wenn ein gemeinsamer Oberton der beiden Grundtöne nicht exakt dieselbe Schwingungsfrequenz aufweist und dadurch Schwebungen erzeugt.
5. Seine in Analogie zum Klavier aufgestellte Hypothese über die physiologischen Vorgänge bei der Klangzerlegung im Ohr ermöglicht Helmholtz die Zusammenführung der allgemeinen Wellentheorie mit der Anatomie und Physiologie des Ohrs und musikästhetischen Fragen. Das »verborgene Gesetz, das den Wohlklang der harmonischen Tonverbindungen bedingt«,<sup>33</sup> wird dadurch sowohl akustisch als auch physiologisch begründet. Physiologisch führt die periodische Erregung bestimmter Nervenfasern durch musikalische Klänge zur Emp-

---

32 Ebd., S. 207.

33 H. Helmholtz: Über die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonien, S. 54.

findung der Konsonanz, wohingegen die unregelmäßige Erregung aufgrund einer ständigen Reizunterbrechung durch Schwebungen unangenehm wirkt.

6. Dieses verborgene Gesetz ist das Gesetz von der unbewußten Gesetzmäßigkeit der Kunstwerke:

»Die Aesthetik sucht das Wesen des künstlerisch Schönen in seiner unbewußten Vernunftmäßigkeit. Ich habe Ihnen heute das verborgene Gesetz, das den Wohlklang der harmonischen Tonverbindungen bedingt, aufzudecken gesucht. Es ist recht eigentlich ein Unbewußtes, soweit es in den Obertönen beruht, die zwar vom Nerven empfunden werden, gewöhnlich jedoch nicht in das Gebiet des bewußten Vorstellens eintreten; deren Verträglichkeit oder Unverträglichkeit jedoch gefühlt wird, ohne dass der Hörer wüßte, wo der Grund seines Gefühls liegt.«<sup>34</sup>

Ein Großteil der Experimente, die Helmholtz in den *Tonempfindungen* beschreibt, dienen dazu, die meist nur unbewußt gehörten Partialtöne des Klangs in bewußte (akustische und visuelle) Wahrnehmungen zu überführen. Die Aufmerksamkeit richtet sich dabei auf die Wahrnehmung des Experimentators, die im Verbund mit den Experimentalanordnungen über die Qualität musikalischer Klänge und ihrer Wirkung auf das Ohr Aufschluss geben soll. Die technischen und musikalischen Instrumente, die zu diesem Zweck verwendet werden, ermöglichen allerdings mehr als die bewusste akustische Analyse einzelner Töne, Klänge und Zusammenklänge<sup>35</sup> sowie eine experimentelle Bestätigung mathematischer Aussagen zur Akustik der Töne. Sie hinterlassen, wie noch deutlich werden wird, auch in seiner Theorie über die Bedeutung der kleinen ganzen Zahlen für die Empfindung von Konsonanz und Dissonanz ihre Spuren.

Dass wissenschaftliche Instrumente und experimentelle Arrangements erheblichen Anteil daran haben, wie ›epistemische Dinge‹ als Erkenntnisgegenstände in der Wissenschaft vorgestellt werden, ist bereits

34 Ebd.

35 Zur Unterscheidung zwischen Ton, Klang und Zusammenklang: »Wenn wir also [...] die Empfindung, welche eine periodische Luftbewegung im Ohr erregt, mit dem Namen eines Klangs belegen, die Empfindung, welche eine einfache pendelartige Luftbewegung erregt, mit dem Namen eines Tones, so ist der Regel nach die Empfindung eines Klangs aus der Empfindung mehrerer Töne zusammengesetzt. Insbesondere werden wir nun als Klang bezeichnen den Schall, den ein einzelner tönender Körper hervorbringt, während der Schall, welcher von mehreren gleichzeitig erklingenden Instrumenten hervorgebracht wird, als Zusammenklang zu bezeichnen ist.« (H. Helmholtz: *Tonempfindungen*, 6. Ausg., S. 97).

vielfach thematisiert worden. Im Zusammenhang mit dem Interesse an modernen Medientechnologien hat sich die Aufmerksamkeit für solche Zusammenhänge in der Sinnesphysiologie bisher allerdings insbesondere auf jene Technologien und Apparate konzentriert, die im weitesten Sinne durch die Aufzeichnung, Übermittlung oder Speicherung von Daten an der Entwicklung moderner Kommunikations- und Repräsentationstechnologien beteiligt waren. Besonderes Interesse galt in diesem Kontext der Frage, inwiefern technische Entwicklungen Modelle und Denkfiguren für die Theorien zur Funktionsweise der Sinnesorgane liefern und inwieweit, umgekehrt, technische Entwicklungen selbst auf einer bewußten oder unbewußten Nachahmung von Organfunktionen beruhten. So stellt Timothy Lenoir in bezug auf Helmholtz' Theorien zur Funktionsweise der Sinnesorgane die These auf, dass »die neuen Technologien [...] in ihrer Materialität [...] erst den Raum [schufen], in dem die Wissensobjekte ›Auge und Ohr‹ in materieller Form existierten«. <sup>36</sup> Elemente neuer Medientechnologien seien, so Lenoir, nicht nur Bestandteile der in den Experimenten eingesetzten Instrumente. Als externalisierte Repräsentationen der untersuchten Organe hätten sie zugleich maßgeblichen Anteil an der weiteren Theoriebildung zu deren Funktionsweise. <sup>37</sup> So ist die für die Klangzerlegung im Ohr verantwortliche physiologische Organisation Lenoir zufolge gerade durch den Apparat modelliert, mit dessen Hilfe Helmholtz einfache Töne künstlich zu musikalischen Klängen *zusammensetzt*: Die »Gesamtheit der Resonatoren und der mit ihnen verbundenen Stimmgabeln« ist »ein reverses materielles Modell des Ohrs«, <sup>38</sup> das Ohr ein »Stimmgabel-Unterbrecher mit Resonatoren«. <sup>39</sup> Mit

---

36 Timothy Lenoir: »Farbensehen, Tonempfindung und der Telegraph: Helmholtz und die Materialität der Kommunikation«, in: Hans-Jörg Rheinberger und Michael Hagner (Hg.), *Die Experimentalisierung des Lebens: Experimentalsysteme in den biologischen Wissenschaften 1850/1950*, Berlin 1993, S. 68.

37 Ein überzeugendes Beispiel für die Bedeutung technischer Apparate für physiologische Fragestellungen liefert Christoph Hoffmann. Hoffmann konzentriert sich auf die von den einzelnen Forschern explizit thematisierte Analogie zwischen Nerven und Telegraphendrähten und zeigt im Detail den Wandel des Modells und der mit ihm verbundenen Fragestellungen ebenso wie die unterschiedlichen epistemischen Funktionen der Telegraphen in der Nervenphysiologie bei Soemmerring, Fechner, Du Bois-Reymond und Helmholtz. Christoph Hoffmann: »Nervensystemtelegraphie: Organismus und Apparatur«, in: Dietmar Schmidt (Hg.), *Körper-Topoi: Sagbarkeit – Sichtbarkeit – Wissen*, Weimar 2002, S. 39–66.

38 T. Lenoir: »Farbensehen, Tonempfindung und der Telegraph«, S. 63.

39 Ebd., S. 50.

dieser »Repräsentation des Ohrs als telegraphischer Vorrichtung«<sup>40</sup> könne Helmholtz dann die Theorie eines direkten Zusammenhangs zwischen der Wellenform und der Klangfarbe widerlegen.

Es ist zwar richtig, dass Helmholtz mit diesem Gerät die Bedeutung des Phasenunterschieds und damit der Wellenform für die Klangfarbe experimentell widerlegt. Doch ist dieses Ergebnis, wie aus der obigen Zusammenfassung deutlich wird, nur ein Ergebnis unter anderen. Lenoirs ausschließliche Betonung der neuen Medientechnologien verstellt den Blick auf die Mehrzahl der von Helmholtz beschriebenen Versuche, deren Instrumente nicht dem Bereich der Telegraphie entnommen sind. Es handelt sich insbesondere um musikalische Instrumente, einfache Membranen und Sirenen, mit denen musikalische Klänge produziert und in ihre Bestandteile zerlegt werden. Im folgenden möchte ich daher zeigen, dass die Sirene und das Klavier bei der Beantwortung der zentralen Frage nach den qualitativen Eigenschaften musikalischer Klänge und ihrer Wirkung auf das Ohr eine zentrale Rolle spielen – und zwar sowohl auf der Ebene des Experiments als Instrumente der Klangerzeugung und -analyse als auch auf der konzeptuellen Ebene als Modelle oder Denkfiguren, die dem zu untersuchenden Erkenntnisgegenstand ihre eigenen Konturen verleihen.

Zu diesem Zweck sollen die verschiedenen Apparate im Hinblick auf ihre Funktion bei der Beantwortung der für die *Tonempfindungen* zentralen Frage, warum sich die Schwingungsverhältnisse der konsonanten Intervalle durch kleine ganze Zahlen ausdrücken lassen, dargestellt werden. In den *Tonempfindungen* beschreibt Helmholtz insbesondere zwei Apparate, die der experimentellen Klangerzeugung und -manipulation dienen. Das sind zum einen die von Lenoir hervorgehobenen Stimmgabeln mit Resonanzröhren, die elektromagnetisch in periodische Schwingungen versetzt werden, und zum anderen die von Helmholtz konstruierte Doppelsirene. Diese beiden Geräte ergänzen sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Mechanismen der Klangproduktionen und der Eigenschaften der von ihnen produzierten Töne.

### **Der Stimmgabel-Resonator**

Die elektromagnetisch bewegten Stimmgabeln mit Resonanzröhren ermöglichen die Erzeugung fast reiner Grundtöne. Zur Isolierung des Grundtons aus dem ohnehin schwachen, obertonarmen Klang der Stimmgabel wird eine Resonanzröhre verwendet, die auf den Grundton der Stimmgabel abgestimmt ist und diesen von Nebengeräuschen gerei-

---

40 Ebd., S. 69.

nigt und verstärkt wiedergibt.<sup>41</sup> Die unterschiedlich gestimmten Stimmgabeln werden durch intermittierende elektrische Ströme in gleichmäßige Schwingungen versetzt. Durch Öffnung der Resonanzröhren vor den entsprechenden Stimmgabeln kann man die jeweiligen Grundtöne beliebig miteinander kombinieren. Auf diese Weise kann man künstlich Klänge aus einfachen Schwingungen zusammensetzen, indem man »schnell hintereinander verschiedene Zusammensetzungen des Grundtons mit einem oder mehreren harmonischen Obertönen in verschiedener Stärke hörbar mach[t]«. <sup>42</sup> Dieses Gerät verwendet Helmholtz vor allem dort, wo es wichtig ist, die qualitativen und quantitativen Eigenschaften einzelner Partialtöne eines Klangs genau zu bestimmen und experimentell zu verändern. So kann man mit ihm beispielsweise experimentell nachweisen, dass der Unterschied zwischen den Vokalen von der Anzahl und Intensität der Obertöne abhängt, indem man durch unterschiedliche Kombinationen der Stimmgabeln die einzelnen Vokale künstlich erzeugt. Dies ermöglicht zugleich die Bestimmung der Stärke und Anwesenheit der Partialtöne verschiedener Vokale.<sup>43</sup> Insbesondere konnte Helmholtz mit Hilfe dieses Gerätes nachweisen, dass die Klangfarbe entgegen der Meinung der meisten Physiker seiner Zeit nur von der Stärke und Anwesenheit der Obertöne und nicht vom Phasenunterschied der einzelnen Partialtöne abhängt.

### Die Sirene

Die Sirene – insbesondere die Doppelsirene von Helmholtz – produziert im Unterschied zu den Stimmgabeln mit Resonatoren keine einzelnen, pendelartigen Schwingungen, sondern, wie die meisten Musikinstrumente und auch die menschliche Stimme, komplexe musikalische Klänge. Vom Ton der Stimmgabel unterscheidet sich ihr Klang durch die zahlreichen zum Grundton harmonischen Obertöne, die durch die diskontinuierlichen Luftstöße beim Austreten der Luft aus den Lochreihen entstehen. Die für die meisten musikalischen Klangfarben bedeutsamen ersten fünf Obertöne werden zudem im Vergleich zu den höheren durch den Resonanzkasten verstärkt, wodurch ein voller, weicher musikalischer Klang

---

41 Zur genauen Beschreibung dieses Geräts und seiner Funktionsweise vgl. H. Helmholtz: *Tonempfindungen*, 6. Ausg., S. 195–199. Zu den bei seiner Verwendung entstehenden Schwierigkeiten vgl. Beilage VIII, ebd., S. 629–632. Zur Beschreibung der durch Stimmgabeln produzierten Klänge im Allgemeinen vgl. ebd., S. 121.

42 Ebd., S. 199.

43 Vgl. hierzu insbes. ebd., S. 199–201 und S. 629ff.

entsteht.<sup>44</sup> Dieser obertonreiche Klang und die Tatsache, dass das Schwingungsverhältnis zwischen den auf ihr spielbaren Grundtönen durch die gegebene Anzahl von Löchern auf der Scheibe exakt auf eines der harmonischen Intervalle eingestellt ist, machen die Sirene »besonders geeignet dafür, alles, was von den Verhältnissen der Schwingungszahlen abhängt, festzustellen.«<sup>45</sup> Öffnet man zugleich mehrere Lochreihen, wie dieses bei jeder mehrstimmigen Sirene möglich ist, so kann man nach Belieben rein gestimmte Quinten, Quarten, Terzen und Oktaven erzeugen.

»So findet man durch verhältnismäßig einfache und leichte Versuche an der Sirene gleich das merkwürdige Gesetz, welches wir in der Einleitung erwähnt haben bestätigt, wonach die Schwingungszahlen konsonanter Töne im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen stehn. Wir werden im Verlaufe der Untersuchung dasselbe Instrument wieder gebrauchen, um die Strenge und Genauigkeit dieses Gesetzes noch eingehender zu überprüfen.«<sup>46</sup>

Dieses »verborgene Gesetz, das den Wohlklang der harmonischen Tonverbindungen bedingt«<sup>47</sup> und von Helmholtz auf die meist unbewußte Wahrnehmung der Obertöne zurückgeführt wird, war, wie wir gesehen haben, bereits bei den Pythagoreern mit dem Namen der Sirene verbunden. Welche Verwandtschaft besteht also zwischen den Sphärenklängen der Platonisch-Pythagoreischen Sirenen und der Doppelsirene von Helmholtz? Inwiefern trägt die Doppelsirene dazu bei, den Mythos der Sphärenharmonie mit den Mitteln der Wissenschaft nicht nur zu erklären, sondern auch fortzuführen? Um diese Fragen zu beantworten ist es hilfreich, sich die Veränderungen anzuschauen, die Helmholtz' Doppelsirene von den zuvor gebräuchlichen mehrstimmigen Sirenen unterscheidet.

Ein entscheidender Unterschied zwischen der mehrstimmigen Sirene und der Doppelsirene von Helmholtz besteht darin, dass bei der mehrstimmigen Sirene nur ein Resonanzkasten alle durch die Scheibe produzierten Luftschwingungen aufnimmt. Die Doppelsirene ist hingegen aus zwei mehrstimmigen Sirenen zusammengesetzt, die jeweils ihren eigenen Resonanzkasten haben. Dies ermöglicht die getrennte Erzeugung unterschiedlicher Klänge, die jedoch aufgrund der gleichen Umlaufgeschwindigkeit der beiden Scheiben in einem konstanten Schwingungsverhältnis zueinander stehen. Der Vorteil dieser Konstruktion gegenüber

44 Zur Entstehung der Obertöne bei dieser Art der Tonerzeugung vgl. ebd., S. 165f.

45 Ebd., S. 11.

46 Ebd., S. 26.

47 Ebd., S. 54.

einer einfachen mehrstimmigen Sirene besteht darin, dass dadurch die Entstehung von Kombinationstönen vermieden wird.<sup>48</sup> Von diesen sind bei der mehrstimmigen Sirene vor allem die Summationstöne besonders stark ausgeprägt.<sup>49</sup> Weil die »Summationstöne sehr unharmonische Intervalle mit den primären Tönen bilden«, klingen »die große und die kleine Terz und die kleine Sexte auf der mehrstimmigen Sirene [...] sehr schlecht, während die Oktave, Quinte und die große Sexte sehr schön klingen«.<sup>50</sup>

In den Versuchen mit der Doppelsirene geht es Helmholtz insbesondere darum, die Bedeutung der Stimmung der Intervalle nach einfachen Zahlenverhältnissen hörbar zu machen und experimentell zu belegen, dass reine konsonante Zusammenklänge nur dann entstehen, wenn die Schwingungszahlen der Töne *exakt* im Verhältnis der kleinen Zahlen zueinander stehen. Eine Sirene, deren Obertöne zwar harmonisch zusammenklingen, die aber unharmonische Kombinationstöne produziert, ist dazu wenig geeignet. Die Kombinationstöne würden den von Helmholtz erwünschten Effekt des Zusammenklangs absolut rein gestimmter harmonischer Intervalle stören.

Eine weitere spezifische Eigenschaft der Doppelsirene ermöglicht die Untersuchung der Phänomene der Interferenz und der Schwebung. Helmholtz hat seiner oberen Sirene eine Kurbel (*d*) hinzugefügt (siehe oben, Abb. 1), durch die man ihren Windkasten ein wenig drehen kann. Mit dieser Vorrichtung kann er experimentell belegen, dass der Phasenunterschied beim Zusammenklang von zwei gleichen Tönen für die Entstehung von Interferenzen bei zwei fast gleichen Tönen für die Entstehung von Schwebungen verantwortlich ist. Im Unterschied zu den Kombinationstönen, sind Interferenzen und Schwebungen nicht auf die Bewegungen der Luft zurückführbar. Sie entstehen erst bei der Empfindung

---

48 Kombinationstöne sind nicht, wie dies zumindest die deutsche Übersetzung des Textes von Lenoir impliziert, Klänge, die aus mehreren Teiltönen bestehen. Es sind besondere Töne, die entstehen, wenn dieselbe Luftmasse – also in diesem Fall die im Resonanzkasten einer einfachen mehrstimmigen Sirene – von zwei musikalischen Tönen oder Klängen von unterschiedlicher Höhe in heftige Erschütterung versetzt wird (vgl. ebd., S. 254; 259). Helmholtz unterscheidet dabei zwischen zwei Klassen von Kombinationstönen: bei den Differenztönen sind die »Schwingungszahlen gleich den Differenzen zwischen den Schwingungszahlen der primären Töne« (ebd., S. 254). Bei den Summationstönen, die Helmholtz selbst entdeckt hat, sind die »Schwingungszahlen gleich der Summe der Schwingungszahlen der Primärtöne« (ebd.).

49 Ebd., S. 260.

50 Ebd., S. 258.

durch Vorgänge im Ohr bzw. an den Hörnerven. Eine Interferenz entsteht, wenn sich »die Bewegungsanstöße, welche beide Tonquelle auf das Ohr ausüben gegenseitig aufheben«. <sup>51</sup> In diesem Fall kann der Hörnerv keine Empfindung registrieren. Indem man mit Hilfe der Kurbel den Phasenunterschied reguliert, kann man leicht experimentell belegen, dass ein Phasenunterschied von einer halben Schwingungsdauer zwischen zwei gleichen Tönen zu einer vollständigen Interferenz und also zum gänzlichen Erlöschen des Tons führt. Schwebungen sind gewissermaßen kurze Interferenzen, bei denen eine »intermittierende Erregung gewisser Hörnervenfasern« <sup>52</sup> entsteht. Diese Erregung wirkt sehr unangenehm, weil durch sie eine »viel intensivere und unangenehmere Reizung des Organs hervorgebracht [wird], als durch einen gleichmäßig andauernden Ton«. <sup>53</sup> Intermittierende Tonempfindungen werden als dissonant empfunden, während ein konsonanter Wohlklang sich durch eine gleichmäßig andauernde Erregung der Hörnerven auszeichnet.

Der mit Blick auf das Pythagoreische Rätsel von der Beziehung der Konsonanzen zu den kleinen ganzen Zahlen aufschlussreichste Versuch ist der, den Helmholtz als experimentellen Beweis dafür anführt, dass »die von uns aus den Schwingungszahlen der Obertöne abgeleiteten Zahlenverhältnisse wirklich diejenigen sind, welche keine Schwebungen geben«. <sup>54</sup> Versetzt man die beiden Scheiben seiner Doppelsirene in gleiche Rotation und öffnet unten 8, oben 16 Löcher, so erhält man den Zusammenklang einer Oktave, einer absoluten Konsonanz ganz ohne Schwebungen. Sobald man jedoch durch Drehung der Kurbel an der oberen Sirene das Schwingungsverhältnis der Oktave von 1:2 um das Geringfügigste verändert, »hört man die Schwebungen, welche die Verstimmung des Intervalls ankündigen«. <sup>55</sup> Für diese Schwebungen können nur die Obertöne verantwortlich sein, weil Schwebungen nur dann entstehen, wenn zwei Töne um ein verhältnismäßig kleines Intervall voneinander entfernt sind. Für einfache musikalische Klänge, wie sie auch die Sirene erzeugt, gilt, dass ihre Obertöne zum Grundton harmonisch sind. Überträgt man das allgemeine mathematische Gesetz für periodische Schwingungen von Fourier auf die Partialtöne eines Klangs, dann ist die Schwingungszahl der Obertöne 2, 3, 4 usw. mal so groß wie die des Grundtons. <sup>56</sup> Bei der Oktave (Grundtöne im Verhältnis 1:2) ist daher der

---

51 Ebd., S. 267.

52 Ebd., S. 281.

53 Ebd., S. 283.

54 Ebd., S. 303.

55 Ebd.

56 Das mathematische Gesetz von Fourier lautet: »Jede beliebige regelmäßig periodische Schwingungsform kann aus einer Summe von einfachen

erste Oberton des tieferen Grundtons mit dem höheren Grundton identisch. Eine leichte Verschiebung des Intervallverhältnisses mit Hilfe der Kurbel erhöht die Schwingungszahl des höheren Tons an der oberen Sirene, hat jedoch keinen Einfluß auf den ersten Oberton an der unteren Sirene. Die hörbaren Schwebungen lassen sich somit auf diesen tiefsten gemeinsamen Partialton der Klänge zurückführen. Für alle weiteren harmonischen Intervalle läßt sich der erste gemeinsame Oberton aus dem angegebenen Schwingungsverhältnis der Grundtöne herleiten.<sup>57</sup>

Experimente mit der Doppelsirene zeigen nun, dass die aus den Obertönen zweier Klänge hergeleiteten Schwingungsverhältnisse in der Tat für die Konsonanz und – bei einer geringfügigen Änderung der exakten Intervallverhältnisse – auch für die musikalisch bedeutsamen Schwebungen verantwortlich sind. Die Doppelsirene eignet sich als »direkter experimenteller Beweis« für diese Zusammenhänge besonders gut, weil »die Stimmung der Intervalle nach den einfachen Zahlenverhältnissen durch ihren Mechanismus selbst in unveränderlicher und fester Weise hergestellt ist«,<sup>58</sup> man diese Verhältnisse aber bei Bedarf durch die Kurbel auch ganz geringfügig ändern kann.<sup>59</sup>

Fassen wir zusammen: Die große Kombinationsmöglichkeit unterschiedlicher Zusammenklänge und die Festlegung der harmonischen Schwingungsverhältnisse durch die Anzahl der Löcher auf den Lochscheiben macht die Sirene besonders geeignet für Experimente, die Phänomene der Konsonanz und Dissonanz auf die Schwingungsverhältnisse der Grund- und Obertöne zurückführen wollen. Die wesentlichen Ände-

---

Schwingungsformen zusammengesetzt werden, deren Schwingungszahlen ein-, zwei-, drei-, vier- usw. mal so groß sind als die Schwingungszahl der gegebenen Bewegung.« (ebd., S. 55; zur Übertragung dieses Gesetzes auf die Akustik vgl. ebd., S. 56).

57 Stehen die Grundtöne, wie bei der Quinte im Verhältnis 2:3 (z.B. mit 300:450 Schwingungen), so hat der erste gemeinsame Oberton 3 mal so viele Schwingungen wie der tiefere und 2 mal so viele wie der höhere Grundton, also 900 Schwingungen. Bei der Quarte 3:4 (300: 400) jeweils 4 und 3 mal so viel, also 1200 Schwingungen usw. Umgekehrt formuliert, läßt sich das Schwingungsverhältnis der konsonanten Intervalle also auch aus den Schwingungszahlen des ersten gemeinsamen Obertons herleiten. Vgl. die entsprechenden Tabellen und Notenbeispiele ebd., S. 305ff.

58 Ebd., S. 304.

59 Der Vollständigkeit halber sei noch angemerkt, dass Schwebungen nicht nur bei allen dissonanten Zusammenklängen entstehen, sondern auch bei den unvollkommenen Konsonanzen durch zu dicht gelagerte Obertöne. Helmholtz kann daher auch die Qualität der einzelnen Konsonanzen auf die Verwandtschaft ihrer Obertöne zurückführen.

rungen, die Helmholtz an der Sirene vornimmt, dienen entweder dazu, diese harmonischen Zusammenklänge so musikalisch und rein wie möglich zu erzeugen, oder sie zeigen, wodurch solche Zusammenklänge unrein werden. So dient der Resonanzkasten der Verstärkung der ersten fünf musikalisch wichtigen Obertöne und die Hinzunahme der zweiten Sirene mit einem weiteren Resonanzkasten der Vermeidung von Kombinationstönen. Die Kurbel wiederum ermöglicht den Beweis, dass jede noch so geringe Abweichung von der reinen mathematischen Stimmung nach den exakten Schwingungsverhältnissen den harmonischen Zusammenklang stört und dass die dabei entstehenden Schwebungen auf das Schwingungsverhältnis der Obertöne zurückgeführt werden können:

»Hier haben wir nun den Grund gefunden, warum diese nach den einfachen Zahlenverhältnissen gestimmten Intervalle allein einen ruhigen Zusammenklang geben, während schon ganz geringe Abweichungen von der mathematischen Stimmung sich verraten durch die unruhig auf und ab wogenden Schwebungen.«<sup>60</sup>

Solche geringen Abweichungen von der mathematischen Stimmung waren jedoch – und darauf weist Helmholtz wiederholt hin – aufgrund der gleichschwebenden Temperatur der Tasteninstrumente im 19. Jahrhundert durchaus üblich. Diese Stimmungsmethode, bei der das Pythagoreische Komma auf alle Intervalle aufgeteilt wird, so dass jeder Ton geringfügig verstimmt ist, hatte sich »zuerst und vorzugsweise am Klavier entwickelt.«<sup>61</sup> Ja, das Klavier war, durch seine große Verbreitung »zum Hauptinstrument für das Studium der Musik geworden und seine Stimmung das Muster für die übrigen Instrumente.«<sup>62</sup> Es wundert daher nicht, dass das Klavier für Helmholtz zwar »ein äußert nützliches Instrument [ist], um musikalische Literatur kennenzulernen sowie für die häusliche Unterhaltung«, dass es »aber für höhere künstlerische Zwecke [...] doch keine solche Wichtigkeit [hat], daß man seinen Mechanismus zur Grundlage des ganzen musikalischen Systems machen dürfte.«<sup>63</sup> Wie es dennoch dazu kommen kann, dass nicht der »Stimmgabel-Unterbrecher mit Resonatoren«, wie Lenoir meint, sondern das Klavier für Helmholtz' zentrale Hypothese zur Physiologie der Klangzerlegung Modell steht, wird Thema des folgenden Abschnitts sein.

---

60 Ebd., S. 301.

61 Ebd., S. 521.

62 Ebd., S. 522.

63 Ebd., S. 661.

### Das Klavier

Macht die Sirene den Unterschied zwischen reinen und temperierten Intervallen experimentell hörbar, so wird das Klavier von Helmholtz als grundsätzlich *verstimmt*es Musikinstrument abgewertet. Ja, man könnte es überspitzt formulieren und sagen, dass Helmholtz die Sirene als *Klang erzeugendes*, das Klavier hingegen als ein *Klang analysierendes und reproduzierendes* Instrument einsetzt. Auf dieser Ebene erhält das Klavier allerdings eine doppelte Aufwertung: Aufgrund seines großen Resonanzkörpers und seiner vielen unterschiedlich gestimmten Saiten eignet es sich neben den Resonatoren und gespannten Membranen hervorragend zur Demonstration aller Klangphänomene, die an das Phänomen des Mitschwingens, des Mitschwingens gleich gestimmter elastischer Körper zu einem Ton gekoppelt sind. Die wichtigsten Experimente, die sich dieses Phänomen zunutze machen, sind die, mit deren Hilfe Helmholtz belegt, dass »die durch Fourier nachgewiesene mathematische Möglichkeit, alle Schallbewegung aus einfachen Schwingungen zusammen zu setzen«, »nicht bloß eine mathematische Fiktion«<sup>64</sup> ist, sondern auch auf die Luftbewegungen bei musikalischen Klängen angewendet werden kann. Das Gesetz des Mitschwingens besagt, dass ein »elastischer Körper [...] nur durch einfache pendelartige Schwingungen mit der Periode eines der Eigentöne in Mitschwingung versetzt werden«<sup>65</sup> kann. Der Nachweis, dass bei gehobenem Dämpfer eine auf einem Klavier in Schwingung versetzte Saite auch die Saiten in Mitschwingungen versetzt, die einen der Partialtöne dieses Klangs zum Grundton haben, dient aufgrund dieses Gesetzes als experimenteller Beleg für die objektive Existenz dieser Partialtöne in der Luftmasse.

Um zu beweisen, dass »das verborgene Gesetz, das den Wohlklang der harmonischen Tonverbindungen bedingt«,<sup>66</sup> mit der meist unbewußten Wahrnehmung der Obertöne zusammenhängt, muß Helmholtz jedoch auch die These von Ohm experimentell belegen, dass nicht nur das Klavier, sondern auch das menschliche Ohr »nur eine pendelartige Schwingung der Luft als einfachen Ton empfindet, und jede andere periodische Luftbewegung zerlegt in eine Reihe von pendelartigen Schwingungen, und die diesen entsprechende Reihe von Tönen empfindet«.<sup>67</sup> Neben seiner weiten Verbreitung eignet sich der musikalische und obertonreiche Klang des Klaviers auch hier hervorragend für die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf die bewußte Wahrnehmung einzelner Obertöne.

---

64 Ebd., S. 58.

65 Ebd., S. 81.

66 Ebd., S. 55.

67 Ebd., S. 79.

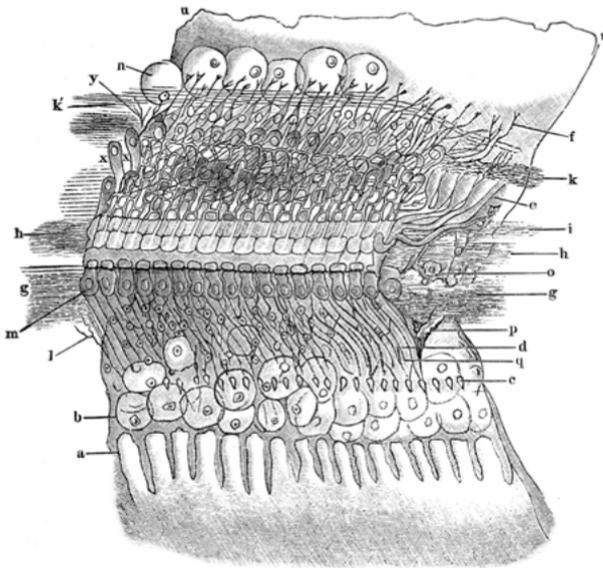


Abbildung 3: Cortische Bögen<sup>68</sup>

Die Klänge der Saiten sind jedoch auch unabhängig von der Theorie des Mittönens für diesen Beweis besonders gut geeignet, »weil sie, je nach Art der Erregung und der Stelle, welche erregt wird, mannigfache Abänderungen der Klangfarbe zulassen, und [...] für diese Klänge auch die theoretische und experimentelle Zerlegung am leichtesten und vollständigsten ausgeführt werden kann.«<sup>69</sup> D.h. die Kenntnis der Knotenpunkte einer Saite ermöglicht auch ohne Mittönen die Zerlegung der Klangmasse einer frei schwingenden Saite in einfache Schwingungen. Durch Berührung, durch Zupfen oder Streichen einzelner Knotenpunkte der schwingenden Saite fallen alle Obertöne, die dort keinen Knotenpunkt haben, weg. Auf diese Weise kann die Anwesenheit einzelner Obertöne in der Gesamtbewegung der Saite ebenso gehört und das Gehörte dann wieder überprüft werden, wie dieses durch das Mittönen einer auf den Partialton abgestimmten, zweiten Saite oder durch eine Resonanzkugel möglich wäre. Alle diese Methoden erlauben den Nachweis, dass das Ohr nur die Obertöne hört, die objektiv in der Klangmasse enthalten sind und also dazu in der Lage ist, Schwingungen in einfache pendelartige

68 Entnommen aus ebd., S. 230.

69 Ebd., S. 89.

Bewegungen zu zerlegen. Das Klavier besticht jedoch durch die Mannigfaltigkeit und Kombinationsmöglichkeit der Experimentalanordnungen. So kann man am Klavier nicht nur die Resonanz- und Knotenpunkt-Experimente einzeln und in Kombination vornehmen. Die Übereinstimmung der Ergebnisse bei der Zerlegung des Klangs durch die Berührung der Knotenpunkte und durch das Mittönen ermöglicht zudem überhaupt erst den Nachweis, dass das Phänomen des Mitschwingens sich tatsächlich auf pendelartige Schwingungen zurückführen lässt. Denn »wenn durch Mittönen die Klänge zerlegt würden nach irgend welchen anderen Schwingungsformen als nach einfachen Schwingungen, so würde diese Übereinstimmung nicht stattfinden können.«<sup>70</sup>

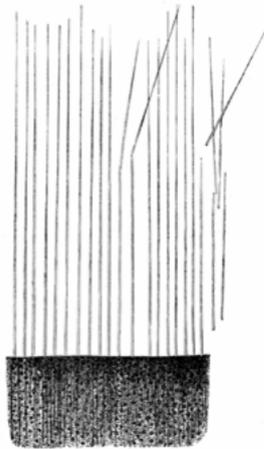


Abbildung 4: Härchen im Innenohr<sup>71</sup>

In den bisherigen Beispielen diente das Klavier als Instrument, mit dessen Hilfe man Klänge zerlegen und analysieren, die Aufmerksamkeit des Ohrs auf die Obertöne lenken und schließlich sowohl die Existenz der Obertöne in der Klangmasse als auch die Zerlegung derselben durch das Ohr experimentell nachweisen konnte. Im folgenden wird es darum gehen, die Funktion des Klaviers als Modell für Helmholtz' Hypothese über die physiologischen Vorgänge im Ohr bei der Klangzerlegung zu untersuchen. Das Gesetz des Mittönens spielt auch hier eine zentrale Rolle. Um die Analogie zwischen der Zerlegung des Klangs durch das Kla-

<sup>70</sup> Ebd., S. 91.

<sup>71</sup> Entnommen aus ebd., S. 226.

vier und durch das Ohr zu verdeutlichen, kann man jeden beliebigen Versuch wählen, der zeigt, dass bei gehobenem Dämpfer »alle die Saiten und nur die Saiten, welche den einfachen Tönen entsprechen, die im angegebenen Klang enthalten sind«,<sup>72</sup> in Mitschwingung versetzt werden. Hier sei die *Klanganalyse* gesungener Vokale durch das Klavier gewählt, weil sie das Gegenstück zur *Klangsynthese* der Vokale durch den Stimmgabel-Resonator bildet. In diesem Fall wird die unterschiedliche Klangfarbe der Vokale vom Klavier durch das Mitschwingen der entsprechenden Saiten angezeigt:

»Wenn man den Dämpfer eines Klaviers hebt, so daß alle Saiten frei schwingen können, und nun gegen den Resonanzboden des Klaviers den Vokal A auf irgend eine der Noten des Klaviers kräftig singt, so ergibt die Resonanz der nachklingenden Saiten deutlich A, singt man O, so klingt O nach, singt man E so klingt E nach; I weniger gut. Der Versuch gelingt nicht so gut, wenn man den Dämpfer nur von der Saite entfernt, deren Ton man singt. Der Vokalcharakter in dem Nachhall entsteht dadurch, daß dieselben Obertöne nachklingen, welche für die Vokale charakteristisch sind. Diese klingen aber besser und deutlicher nach, wenn die ihnen entsprechenden höheren Saiten frei sind und mitklingen können. Also wird auch hier schließlich der Klang der Resonanz zusammengesetzt aus den Tönen mehrerer Saiten, und viele einzelne Töne kombinieren sich zu einem Klang besonderer Klangfarbe.«<sup>73</sup>

Entscheidend ist bei diesem Versuch, dass alle Dämpfer des Klaviers gehoben sind und somit alle Saiten, deren Grundton einem der Partialtöne des hineingesungenen Lauts entspricht, mitklingen können. Man braucht sich nun nur noch an jeder Saite einen Nerv befestigt zu denken, der die Schwingung und seine Stärke registriert, dann hat man die von Helmholtz dargelegte physiologische Hypothese für die Art und Weise der Klangzerlegung im Ohr. So heißt es denn auch im Kapitel über die mitschwingenden Teile im Ohr:

»Könnten wir nun jede Saite eines Klaviers mit einer Nervenfasern so verbinden, daß die Nervenfasern erregt würde und empfände, so oft die Saite in Bewegung geriete: so würde in der Tat genau so, wie es im Ohr wirklich der Fall ist, jeder Klang, der das Instrument trifft, eine Reihe von Empfindungen erregen, genau entsprechend den pendelartigen Schwingungen, in welche die ursprüngliche Luftbewegung zu zerlegen wäre; und somit würde die Existenz jedes einzelnen Obertons genau ebenso wahrgenommen werden, wie es im Ohr wirklich geschieht. Die Empfindungen verschieden hoher Töne würden unter diesen Um-

---

72 Ebd., S. 210.

73 Ebd., S. 105.

ständen verschiedenen Nervenfasern zufallen, und daher ganz getrennt und unabhängig voneinander zustande kommen.«<sup>74</sup>

Bei der Frage, welche Teile des Innenohrs diese Aufgabe der Klangzerlegung durch Mitschwingen übernehmen, kommt Helmholtz mit seiner Analogie zum Klavier und den ihm zur Verfügung stehenden Mitteln zur genauen Untersuchung der Schnecke allerdings in Schwierigkeiten. Zwar hält er über die verschiedenen Ausgaben der *Tonempfindungen* hinweg an der Analogie zum Mitschwingen der Klaviersaiten fest. Die materiellen Strukturen, an denen sich diese Analogie zwischen der Zerlegung von Klängen durch das Klavier und durch das Ohr festmacht, ändern sich dabei jedoch ständig. Hieran wird die Produktivität, ja Kreativität solcher Modelle für die Generierung von Hypothesen und Experimenten besonders deutlich. In seinem Vortrag von 1857 vergleicht Helmholtz die regelmäßige Aneinanderreihung der Cortischen Bögen (siehe Abb. 3) und insbesondere die »mikroskopisch kleinen Plättchen«<sup>75</sup> mit den Tasten eines Klaviers. Die Bögen selbst werden als schwingungsfähige Gebilde beschrieben, die zum einen mit der *membrana basilaris* zum anderen mit den Nervenzellen verbunden sind.<sup>76</sup> Völlig unklar bleibt, wie diese Klavieranalogie von den Tasten aus weiterzudenken ist. Anstatt darauf einzugehen, verschiebt Helmholtz die Analogie auf andere Teile des Gehörorgans, wo elastische Anhängsel der Nervenenden gefunden worden sind, die die Form steifer Härchen haben (siehe Abb. 4). Diese Härchen dienen nun als Analogie zu den Saiten des Klaviers, wobei jedes dieser Anhängsel auf einen Ton abgestimmt ist, dessen Erklingen das Härchen in Schwingungen versetzt und so die dazugehörige Nervenfasern anregt.

In der ersten Ausgabe der *Tonempfindungen* vermutet Helmholtz, dass »die verschiedene Festigkeit und Spannung der Cortischen Stäbchen selbst den Grund der verschiedenen Abstimmung geben könnte.«<sup>77</sup> Folgender Abschnitt beschreibt das Mitschwingen der Cortischen Bögen noch mit einem deutlichen Bezug zu den Klaviersaiten.

»Am wahrscheinlichsten erscheint es mir, dass die Reihe der ersten Fasern eine Art elastischen Steg darstellt, zwischen dessen Kante und der Mitte der Membran die dünnen und biegsamen absteigenden Fasern wie eine Saite befestigt sind, und wie solche schwingen, wenn ihr anderes Ende an der Membran er-

74 Ebd., S. 210.

75 H. Helmholtz: Über die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonien, S. 31.

76 Ebd., S. 32.

77 Hermann von Helmholtz: Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik, Braunschweig 1863, S. 238, Anm.

schüttert wird. In der That gerät eine Saite in starke Schwingung, wenn ihr eines Ende mit einem schwingenden Körper, z.B. einer Stimmgabel, verbunden wird, namentlich dann, wenn sie unisono mit dem Tone gestimmt ist, der ihr zugeleitet wird.«<sup>78</sup>

Dieser Abschnitt gibt eine spekulative Erklärung für den genauen Mechanismus der Klanganalyse durch das Ohr, die sich noch eng an das Klavier als Modell anlehnt. Er wird ab der dritten Ausgabe ersatzlos gestrichen. Was bleibt, ist die vorangehende Behauptung, dass »die ganze Anordnung keinen Zweifel« daran aufkommen lassen kann, »daß das Corti'sche Organ ein Apparat sei, geeignet die Schwingungen der Grundmembran aufzunehmen und selbst in Schwingung zu gerathen«, zusammen mit der Beteuerung, man könne »bei unseren gegenwärtigen Kenntnissen noch nicht sicher bestimmen, in welcher Weise diese Schwingungen vor sich gehen.«<sup>79</sup> Im Vorwort zur dritten Ausgabe verweist Helmholtz darauf, dass »die Beurteilung der Leistungen der Cortischen Bögen eine Abänderung erfahren« musste. Angeregt durch die Hypothese zum Cortischen Organ, hat man inzwischen herausgefunden, dass bei Vögeln und Amphibien die Cortischen Bögen fehlen, die beiden Membranen, die *Membrana basilaris* (siehe Abb. 5, *aa'*) und die Cortische Membran (siehe Abb. 5, *M.C.*) hingegen vorhanden sind.<sup>80</sup> Nun wird die Analogie der Klaviersaiten auf die *Membrana basilaris* selbst übertragen. Die »Radialfasern« der unterschiedlich stark gespannten Membran werden »als ein System von gespannten Saiten« dargestellt. Daraus folgert Helmholtz, dass

»[...] die Gesetze ihrer Bewegung dieselben sein [werden], als wäre jede einzelne dieser Saiten in ihrer Bewegung unabhängig von der anderen und folgte, jede für sich, der Einwirkung des periodisch wirkenden Drucks des Labyrinthwassers in der Vorhofstreppe. Es würde demnach ein erregender Ton namentlich die Stelle der Membran in Mitschwingungen versetzen, wo der Eigenton der gespannten und mit den verschiedenen Anhangsgebilden belasteten Radialfasern der Membran dem erregenden Ton am nächsten entspricht.«<sup>81</sup>

Die mit der Membran verbundenen Cortischen Bögen (siehe Abb. 5, *g*) sind darauf reduziert worden, die Schwingungen der Membran an die Nerven weiterzuleiten und spielen jetzt nur »eine Nebenrolle in den Leis-

78 Ebd., S. 211.

79 Beide Zitate ebd., S. 210f.; in der 6. Ausg. siehe S. 231.

80 H. Helmholtz: Tonempfindungen, 6. Ausg., S. 241.

81 Ebd., S. 240.

tungen der Schnecke«. <sup>82</sup> Von Klaviertasten ist gar nicht mehr die Rede. An diesen Verschiebungen wird deutlich, dass Helmholtz hartnäckig an der Analogie zwischen dem Mechanismus der Klangzerlegung durch Mitschwingen beim Klavier und im Ohr festhält, sich aber keineswegs darüber im Klaren ist, welche Gebilde des Ohres für diese Analogie zuständig sein könnten. Die Verbindung zum Klavier als ursprünglichem materiellen Modell für die Klangzerlegung durch Mitschwingungen im Ohr wird dabei immer abstrakter und funktionaler.

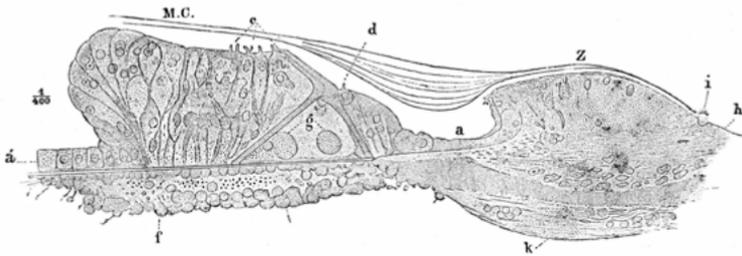


Abbildung 5: Membrana Basilaris <sup>83</sup>

Diese Bemühungen verdeutlichen den ambivalenten Status der Hypothese »über das Mitschwingen der Cortischen Organe des Ohres«. Einerseits wird mit viel Aufwand nach den entsprechenden materiellen Strukturen gesucht, die für die Klangzerlegung durch das Ohr zuständig sind, andererseits betont Helmholtz wiederholt, dass sie

»[...] mit der Erklärung der Konsonanz und Dissonanz gar nichts unmittelbar zu tun hat. Letztere gründet sich allein auf Tatsachen der Beobachtung, auf die Schwebung der Partialtöne und die Schwebungen der Kombinationstöne. Doch glaubte ich die genannte Hypothese, welche wir natürlich nicht aufhören dürfen als eine solche zu betrachten, nicht unterdrücken zu müssen, weil sie alle die verschiedenen akustischen Phänomene, mit denen wir es zu tun hatten, unter einem Gesichtspunkt zusammenfaßt und für sie alle zusammen eine klar verständliche und anschauliche Erklärung gibt.« <sup>84</sup>

Ist aber diese Hypothese zur Zerlegung der Klänge durch Mitschwingen verschieden gestimmter Teile im Ohr wirklich so nebensächlich für eine Lehre von den Tonempfindungen, die sich als »physiologische Grundlage für die Theorie der Musik« versteht? Mit der Analogie zwischen der

<sup>82</sup> Ebd., S. 241.

<sup>83</sup> Entnommen aus ebd., S. 228.

<sup>84</sup> Ebd., S. 370.

Zerlegung eines Klangs in seine Partialtöne durch das Klavier und durch das Ohr steht und fällt die Möglichkeit, Phänomene des Hörens auf das Mitschwingen einzelner Nervenfasern zurückzuführen. Von dieser Möglichkeit des Ohres, eine Klanganalyse im Sinne Fouriers durchzuführen und das Ergebnis an die Hörnerven weiterzuleiten, hängt jedoch letztlich auch die Lösung des Pythagoreischen Rätsels von der Beziehung der Konsonanzen zu den Verhältnissen der kleinen ganzen Zahlen ab. Denn die Lösung des Rätsels lautet,

»[...] daß das Ohr die zusammengesetzten Klänge nach den Gesetzen des Mitschwingens in pendelartige Schwingungen auflöst, und daß es nur gleichmäßig andauernde Erregung als Wohlklang auffaßt. Die Auflösung der Partialtöne geschieht aber, mathematisch ausgedrückt, nach dem von Fourier aufgestellten Gesetz [...] was auf die Töne übertragen bedeutet, daß die Schwingungszahl der Obertöne genau zwei-, drei-, vier- usw. mal so groß sein muß, als die des Grundtons. Dieses sind nun die ganzen Zahlen, welches das Verhältnis der Konsonanzen bestimmen.«<sup>85</sup>

Die oben zitierte Rücknahme der Bedeutung der Hypothese über das Mitschwingen bestimmter, mit den Nervenfasern verbundener Teile des Ohres verschleiert deren Bedeutung für Helmholtz' nervenphysiologische Begründung der Konsonanz. Denn die These, dass »eine gleichmäßig andauernde Erregung« – auch der Nerven – als Wohlklang, eine unregelmäßige Erregung derselben hingegen als dissonant empfunden wird, ist zentral für seine Theorie von der unbewußten Gesetzmäßigkeit der Kunstwerke. Konnte Pythagoras die Harmonie der Sphären hören, von der er seinen Schülern auf Instrumenten ein Abbild zu geben versuchte, so gelingt es Helmholtz lediglich, experimentell zu belegen, dass das verborgene Gesetz des Wohlklangs »recht eigentlich ein Unbewußtes [ist], soweit es in den Obertönen beruht«, allerdings nicht, dass diese Töne »zwar vom Nerven empfunden werden, gewöhnlich jedoch nicht in das Gebiet des bewußten Vorstellens eintreten«. Dass »deren Verträglichkeit oder Unverträglichkeit [...] gefühlt wird, ohne daß der Hörer wüßte, wo der Grund seines Gefühls liegt«,<sup>86</sup> bleibt eine Spekulation.

## IV Schluss

Die Instrumentenbezeichnung ›Sirene‹ geht auf den Franzosen Charles Cagniard de la Tour zurück, der das von ihm erfundene Gerät zur Toner-

---

85 Ebd., S. 373f.

86 Ebd., S. 54.

zeugung 1819 erstmals der Öffentlichkeit vorstellte. Cagniard de la Tour hatte diese Bezeichnung gewählt, weil sein Gerät auch unter Wasser Töne erzeugen konnte. Die Assoziationen, die er mit Sirenen verband, beziehen sich ganz offensichtlich auf die homerischen Sirenen der Odyssee. Cagniard de la Tour entdeckte eine neue Art der Klangproduktion, die den Klang vom Körper loslöste.<sup>87</sup> In dem Augenblick jedoch, in dem Helmholtz dieses Gerät verwendete, um es nach den Ursachen musikalischer Harmonien zu befragen, änderte sich mit der neuen Fragestellung auch das Bezugsfeld: Helmholtz' Sirene ist nicht mehr die Homers, sondern die Sirene der Sphärenharmonie.

Inwieweit Helmholtz durch die Namensgebung von Cagniard de la Tour dazu angeregt wurde, sich insbesondere den Schwingungsverhältnissen der harmonischen Intervalle zuzuwenden, um alte Pythagoreische Fragen zu beantworten, bleibt offen. Festzuhalten ist, dass seine Doppelsirene die Funktion der Sirenen der Sphärenharmonie, der Versinnlichung mathematischer Proportionen, in dem Moment übernimmt, in dem Helmholtz sich vornimmt, die ›alte Räthselfrage‹ des Pythagoras mit den ›Hilfsmitteln der modernen Wissenschaft‹ zu beantworten.

Als Gerät, das Zusammenklänge auf der Grundlage vorher festgelegter Schwingungsverhältnisse produziert, kommt der Helmholtz-Doppelsirene die Aufgabe zu, 1.) die Schönheit absolut reiner harmonischer Intervalle bewußt hörbar zu machen und eindeutig auf das exakte Schwingungsverhältnis der Intervalle zurückzuführen, 2.) durch leichte Veränderung dieser Intervallverhältnisse die Entstehung von Schwebungen und mit ihnen die Bedeutung der Obertöne für die Harmonie des Zusammenklangs experimentell zu beweisen. Das Klavier ist 1.) als verstimmtes Musikinstrument ein paradigmatisches Beispiel für die Verstimmung der reinen Zusammenklänge durch gleichschwebende Temperatur der Tasteninstrumente im Vergleich zur reinen, mathematischen Stimmung der Sirene; 2.) dient es als klangzerlegendes Instrument dem experimentellen Nachweis der Existenz und der Hörbarkeit von Obertönen als Klangelementen und beweist damit die reelle Bedeutung von Fouriers mathematischer Theorie für die Zusammensetzung musikalischer Klänge; 3.) lenkt es als Modell für die theoretische Beschreibung der Klangzerlegung durch Mitschwingen im Ohr den Blick bei der Suche nach den entsprechenden physiologischen Mechanismen, ohne welche Helmholtz' Theorie von der unbewußten Gesetzmäßigkeit der Kunstwerke nicht an eine Theorie zur Wahrnehmung anschließbar ist.

Im Verbund mit Sirene und Klavier übernimmt die Naturwissenschaft auf diese Weise eine Funktion, die ehemals die Sphärenharmonie

---

87 Vgl. Philipp von Hilgers' Aufsatz in diesem Band, S. 195–218.

innehatte. An die Stelle der alten Harmonie der Sphären tritt mit Helmholtz' *Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* eine Theorie der Harmonie, deren Autorität nicht mehr durch den Zusammenklang von Mensch, Kosmos und irdischer Musik garantiert wird, sondern sich aus der physikalischen Natur der Klänge und ihrer physiologischen Verarbeitung im Ohr herleitet.

Die entscheidende epistemische Funktion des Klaviers besteht in seiner Funktion als Analogiemodell für einen nur theoretisch postulierten physiologischen Apparat der Klangzerlegung im Ohr. Ohne diese Analogie hat Helmholtz keine Möglichkeit, das u.a. mit Hilfe der Sirene experimentell nachgewiesene physiologisch zu begründen. Mit dieser Analogie verdeckt er jedoch – trotz seiner Betonung ihres hypothetischen Status – die Tatsache, dass den mit Hilfe der Sirene durchgeführten Experimenten zur Konsonanz eben gerade kein experimenteller, physiologischer Nachweis zur Seite gestellt wird. Das verborgene Gesetz von der unbewußten Gesetzmäßigkeit der Kunstwerke hängt somit ganz entschieden von der Existenz eines experimentell nicht nachgewiesenen physiologischen Apparats ab.

Aus diesen Ergebnissen leitet Helmholtz, im dritten musikästhetischen Teil seiner Tonlehre, seine Argumente gegen die Pythagoreische und die gleichschwebende Stimmung und *für die reine mathematische Stimmung* ab. In diesem Teil bestätigt sich der Verdacht, dass Helmholtz den Mythos von der Sphärenharmonie nicht nur naturwissenschaftlich erklärt, sondern dass dieser mit Hilfe von Doppelsirene und Klavier als Mythos von der Bedeutung der reinen, mathematischen Stimmung weiterlebt.

Hybris freilich, die in diesem Falle in dem Glauben bestehen würde, die gesamte Ästhetik des Musikalisch-Schönen mit Hilfe der Naturwissenschaften erklären zu können, kann man Helmholtz nicht vorwerfen: denn die »Wunder der großen Tonkunstwerke, [...] die Äußerungen und Bewegungen der verschiedenen Seelenstimmungen«, die laut Helmholtz das eigentliche Gebiet des Ästhetischen ausmachen, liegen im Bereich »der Verwicklung der psychischen Motive«<sup>88</sup> und damit, so das abschließende Resümee von Helmholtz, einem in diesem Punkt getreuen Anhänger Kants, jenseits der Grenzen der Naturforschung.

---

88 H. Helmholtz: *Tonempfindungen*, 6. Ausg., S. 599.