

Die neuzeitliche Physik – aus dem Geiste der Musik

Schlichting, H. Joachim

Westfälische- Wilhelms- Universität Münster (schlichting@uni-muenster.de)

Kurzfassung

Zwischen der Musik als akustischem Phänomen und der physikalischen Forschung als eine Art Suche nach musikalischen Harmonien bestehen zahlreiche Beziehungen. Bei der Beschreibung von Musik und Musikinstrumenten spielt die Physik eine wichtige Rolle. Umgekehrt hat die Musik weit über rein metaphorische Bezüge hinausgehend vor allem in der revolutionären Phase, die der Ausbildung des Paradigmas der neuzeitlichen Physik vorausging, der physikalischen Forschung wichtige Impulse gegeben. Vor dem gemeinsamen kulturellen Hintergrund der Entwicklung von neuzeitlicher Musik und Physik sollen einige Aspekte dieser Beziehungen skizziert werden.

Die Theorie verhält sich zur Natur wie die Noten zu den Tönen

Ludwig Boltzmann

*Musik ist die Vermittlerin
des geistigen Lebens zum sinnlichen*

Achim von Arnim

1. Blickfang

"Ja, glauben Sie denn", wurde Einstein gefragt, "daß sich einfach alles auf naturwissenschaftliche Weise wird abbilden lassen können?" - "Ja", meinte Einstein, "das ist denkbar, aber es hätte doch keinen Sinn. Es wäre eine Abbildung mit inadäquaten Mitteln, so als ob man eine Beethoven Symphonie als Luftdruckkurve darstellte" [1].

Einstein macht hier unmissverständlich deutlich, dass es Dinge gibt, die ebenso wenig physikalisch fassbar sind wie die Musik. Sie sind wie das Musikempfinden physikalisch nicht fassbar. Oder in den Worten Friedrich Hebbels: "Man setzt sich nicht zum Klavierspielen nieder, um die mathematischen Gesetze zu beweisen. Ebenso wenig dichtet man, um etwas darzutun. Ach, wenn die Leute das einmal begreifen lernten! Es ist ja an aller höheren Tätigkeit des Menschen gerade das das Schöne, daß Zwecke, an die das Subjekt gar nicht denkt, dadurch erreicht werden" [2].

Man kann das auch anders sehen. Im Rahmen eines radikalen Reduktionismus werden Gefühle, Empfindungen, insbesondere also auch der Musikgenuss gar nicht als reale Phänomene angesehen, sondern lediglich als ephemere Begleiterscheinungen elektrochemischer Vorgänge. Wen wundert es da, dass das auf diese Weise von Gefühlen und Erlebnissen des Menschen befreite Universum zunehmend als sinnlos empfunden wird. So äußert beispielsweise Stephen Weinberg angesichts der neueren kosmologischen Erkenntnisse:

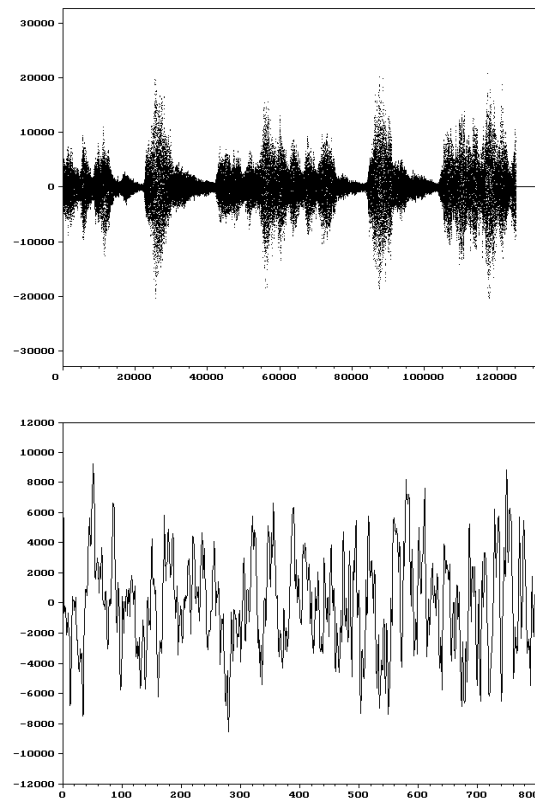


Abb. 1: In dieser Luftdruckkurve (Druck als Funktion der Zeit in willkürlichen Einheiten) eines größeren (oben) und eines kleineren (unten) Ausschnitts von Beethovens 9. Symphonie ist die für einen Physiker interessante Information enthalten. Der daraus zu ziehende musikalische Genuss dürfte für einen Musikliebhaber unbefriedigend sein.

"The more the universe seems comprehensible, the more it also seems pointless. But if there is no solace in the fruits of our research, there is at least some consolation in the research itself...The effort to

understand the universe is one of the very few things that lifts human life a little above the level of farce, and gives it some of the grace of tragedy" [3].

Paradoxerweise bleibt ihm als einziges Ermutigendes ein Gefühl, eine Empfindung, also etwas, das aus seiner extrem reduktionistischen Sehweise ebenso unreal ist wie der Musikgenuss. Die gefühlsmäßige Dimension der Forschung wurde bereits von Johannes Kepler mit dem Musikempfinden in Verbindung gebracht. Indem er die den Planetenbewegungen zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten mit musikalischen Harmonien gleichsetzte, lauschte er "überall mit den geschärften Ohren des Geistes auf die von dem Klange losgelösten abstrakten Intervalle..., das sie nämlich nicht nur in den Tönen und in der menschlichen Musik, sondern auch in andern Dingen, die des Schalles ermangeln, eine gefällige Wirkung ausüben" [4].

Hinzu kommt, dass die Musik zumindest metaphorisch gesehen in der Physik eine wichtige Rolle spielt. Das Geschehen der Welt ist von Anfang an mit "Geräuschen" verbunden. Mit dem Urknall, dem Big-Bang, ist der Welt das Musikalische in die Wiege gelegt, auch wenn die physikalischen Kenntnisse noch nicht ausreichen, die Feinabstimmung der "Melodie" aus dem Hintergrundsrauschen herauszuhören. Und wenn es denn zum Big-Crunch kommen sollte, der offenbar mehr wie das genüssliche Zermalmen von Kartoffelchips klingen soll, ist das Lied der Welt zu Ende gespielt.

2. Physik ist eine Sehweise

Andererseits sollte nicht verkannt werden, dass die physikalische Lehr- und Forschungspraxis durch das Sehen und nicht durch das Hören dominiert wird. Nach Einstein gründet "die Entwicklung der westlichen Naturwissenschaften ... in zwei großen Errungenschaften, der Erfindung des Systems der formalen Logik (in der Euklidischen Geometrie) durch die griechische Philosophie und der Entdeckung der Möglichkeit, durch systematisches Experimentieren kausale Zusammenhänge aufzudecken (Renaissance)" [5]. Die statische Bildhaftigkeit der euklidischen Geometrie bestimmt das experimentelle Handeln. Der Blick zum Sternenhimmel in einer lautlosen Nacht steht gewissermaßen sinnbildlich für das ursprüngliche Nachdenken über die Welt. Auch wenn die Physik vor allem seit der Renaissance (siehe unten) über diesen eher kontemplativ empirischen Aspekt hinausgegangen ist, blieb die Beschränkung auf das Statisch-Räumliche und damit auf die dem Sehen vorbehaltenen Aspekte bis in unsere Tage bestehen.

Arthur Eddington hat darauf hingewiesen, dass ideell gesehen unser gesamtes physikalisches Wissen einzig durch das Sehen und zwar in der primitivsten Form des farb- und raumlosen Sehens bestimmt ist. Denn die physikalische Beschreibung allen Geschehens lässt sich auf das Ablesen von Zeigereinstellungen physikalischer Messgeräte reduzieren. Er-

setzt man das Ablesen von Zeigerstellungen durch den Blick auf den Computerbildschirm, auf dem Abbildungen, Kurven, z.B. Luftdruckkurven, erscheinen, so zeigt sich auch heute noch die Dominanz des Visuellen in der physikalischen Forschung. Die kopernikanische Wende, durch die die Neuzeit –

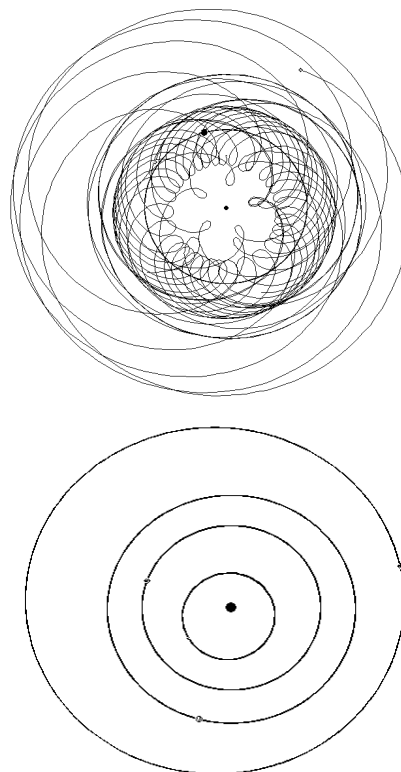


Abb. 2: Beide Bilder enthalten physikalisch gesehen dieselbe Information, die graphische Darstellung der Planetenbahnen von Merkur, Venus, Erde und Mars, oben als wirres Knäuel von der Erde und unten als fast kreisförmige Ringe von der Sonne aus gesehen.

nicht nur der Physik – eingeläutet wird, ist zunächst einmal eine Änderung der Perspektive. Indem es gelingt, sich gedanklich von seinem eigenen Standpunkt zu lösen und den Blick von außen, also insbesondere von der Sonne auf die Erde zu richten, fallen Einschränkungen des Sehens weg, die es bislang verhindert haben, das irdische Geschehen aus dem Blickwinkel der gesetzmäßig geordnet erscheinenden himmlischen Vorgänge zu betrachten (vgl. [7]). Damit waren für Galilei, Kepler und später Newton überhaupt erst die metaphysischen Voraussetzungen gegeben, auf der Erde gedanklich, aber auch experimentell, die idealen (himmlischen) Verhältnisse zu schaffen, die eine naturgesetzliche Beschreibung ermöglichten. "Der Sternenhimmel ist zum Lehrbuch für die Technik dessen geworden, was natürlicherweise auf der Erde nicht gefunden werden kann" [9].

Das perspektivische Sehen in der neuzeitlichen Physik betont nicht nur die Bedeutung des Räumlichen

und damit Zeitlosen physikalischer Aussagen, sie zeigt auch deutlich die kulturell bedingte Verknüpfung zwischen Physik und Malerei, die als eine Kunst der Raumgestaltung angesehen werden kann. Vor diesem Hintergrund kann man die klassische Physik durch das Bemühen charakterisieren, das Räumliche und damit das Zeitunabhängige, Unveränderliche, Invariante, Ewige in den Griff zu bekommen, um darauf vom Zeitverlauf unbeeinflusste, Inhalte, Formen oder Gesetze und Regeln zu gründen. Die Dynamik von Systemen wird durch lineare Differentialgleichungen beschrieben, die zwar zeitliche Abläufe (aber keine unwiderruflichen Veränderungen) beschreiben, allerdings in der Weise, dass sie der Zeit Gestalt verleihen und in Vergangenheit und Zukunft symmetrisch und invariabel im gegenwärtigen Zeitpunkt aufgehoben sind. Denn sobald man das Verhalten eines Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt kennt, so kennt man es für alle Zeiten: "Die Herrschaft über den Augenblick ist die Herrschaft über das Leben" (Marie von Ebner-Eschenbach).

3. Musik an der Schwelle der neuzeitlichen Physik

Trotz der Dominanz des Räumlichen im abgeschlossenen Weltbild der neuzeitlichen Physik spielt das Zeitliche, das im kulturellen Kontext durch die Musik repräsentiert wird, bei der Schaffung des Weltbildes eine bedeutende Rolle. Man kann ohne Übertreibung feststellen, dass in der kreativen Phase der revolutionären Umwälzungen zu Beginn der Neuzeit, die Musik gewissermaßen als Geburtshelferin der Physik fungiert. Dass umgekehrt die Physik auch als Wegbereiter der modernen Musik angesehen werden kann, sei hier nur erwähnt.

Die beiden ersten neuzeitlichen Physiker, Galilei und Kepler, auf deren Schultern stehend Newton das System der klassischen Mechanik entwickelte, haben trotz der Verschiedenheit ihrer Arbeitsweise eines gemeinsam: Ihre Kenntnis und intensive Beschäftigung mit der Musik spielte eine wichtige Rolle in ihren Forschungen. Wesentlich dürften dabei vor allem zwei Aspekte sein. Zum einen die Eigenschaft der Musik, ein komplexes Ganzes, ein Lied, ein Musikstück, auf einfache Zahlenverhältnissen (Mathematik) zu gründen und zum anderen die Möglichkeit, mit einfachen Mitteln vom Menschen gestaltet und durchschaut werden zu können (Empirie). Umgekehrt sind von Mathematik und Physik entscheidende Impulse auf die Musik ausgegangen, so dass man mit einigem Recht von einer gemeinsamen Geschichte von Physik und Musik in der westlichen Kultur sprechen könnte.

Bezeichnenderweise sind sowohl die physikalischen als auch die musikalischen Innovationen mit dem selben Namen verbunden: Galilei. Vincenzo Galilei gilt als Pionier der neuzeitlichen Musik und sein Sohn Galileo Galilei, als einer der Begründer der neuzeitlichen Physik.

4. Vincenzo und Galileo Galilei

Vincenzo war Lautenvirtuose, Komponist und vor allem Musiktheoretiker. Er ging in seinen Abhandlungen selbstbewusst gegen alle Autoritätsgläubigkeit vor und nahm eine Vorreiterrolle bei der Entwicklung und theoretischen Begründung eines neuen Stils des Musizierens ein, der über die kompositorischen Techniken hinausgehend die akustischen Grundlagen der Musik aus physikalischer Sicht entscheidend veränderte. So sollte er auf mehrfache Weise zum Vorbild für seinen Sohn werden. Stilman Drake vermutet sogar, dass die akustischen Untersuchungen Vincenzios Galileo den experimentellen Zugang zur Naturforschung eröffnet hat [15].

Vincenzo veröffentlichte im Jahre 1581 seine *Dialogo della musica antica e moderna*, die von Musikhistorikern als Dokument der Befreiung aus pythagoreisch inspirierter Zahlenmystik angesehen wird. Dabei attackiert er insbesondere die Autoritätsgläubigkeit, mit der an der ptolemäischen Tonleiter festgehalten wurde. Diese als natürlich empfundene Stimmung erlaubt nur Intervalle, die sich durch Zahlen nicht größer als Sechs darstellen lassen. Denn die Sechs galt als die kleinste vollkommene Zahl, die sich als die Summe ihrer Teiler ($1 + 2 + 3 = 6$) ergibt und das heilige Symbol der pythagoreischen Tradition darstellt. In dieses System, in das zusätzlich zu den etablierten konsonanten Intervallen, nur noch die kleine Terz passt, schrieb den kompositorischen Rahmen der damaligen Zeit vor und verhinderte jede weitere praktische und theoretische Entwicklung in der Musik. Beispielsweise waren alle Versuche, Stimmungen zu erfinden, die über die ptolemäische Tonleiter hinaus gehen, verboten.

Vincenzo Galilei gelangte zu Alternativen, indem er vorschlug, sich in Fragen der Konsonanz oder Dissonanz mehr auf das Ohr zu verlassen als auf autoritär vorgegebene theoretische Konstrukte. Er setzte sich für ein flexibles System ein, das er den jeweiligen musikalischen Bedürfnissen anzupassen empfahl. Für das damals sehr verbreitete mehrstimmige Instrument, die Laute, entwickelte er ein System, das der modernen temperierten Stimmung bereits sehr nahe kommt. Das Argument, den musikalischen Bedürfnissen zu folgen, muss als Ausdruck einer empirischen Wende im Denken der Musiktheoretiker angesehen werden, der später die empirische Wende in der Physik – vorgetragen durch seinen Sohn Galileo – folgen sollte.

"Ehe ihr anfangt, den Knoten des vorliegenden Problems zu lösen, spreche ich den Wunsch aus, daß ihr in den Dingen, bei denen die Sinneswahrnehmung in Anwendung kommt, immer - wie Aristoteles im 8. Buch der Physik sagt - nicht allein die Autorität beiseite lasset, sondern auch den schönklingenden Beweisgrund... weil mir scheint, daß diejenigen lächerlich handeln, die, um diesen oder jenen Schluß zu erweisen, fordern, daß; man schlechthin der Au-

torität vertraue, ohne für dieselben Gründe von hinreichender Stärke anzuführen"[10].

Vincenzo Galilei setzte sich nicht nur für akustische Demonstrationen gegen die Vorschriften der Autoritäten ein, er führte auch selbst Untersuchungen durch, in denen er die akustischen Möglichkeiten, die seine Laute hergab, voll ausschöpfte. Ironischerweise versuchte er jedoch, seine Argumente gegen die Autoritäten seiner Zeit, insbesondere seinen Lehrer Zarlino, mit der Autorität Aristoteles zu untermauern.

In den von seinem Sohn Galileo verfassten "Discorsi" [11] werden die akustischen Experimente Vincenzios ausführlich beschrieben und zeigen einmal mehr, wie groß der Einfluss der Beschäftigung mit der Musik auf die Entwicklung der Physik gewesen sein muss. Hier eine Passage, in der er das pythagoreische Zahlensystem aus physikalischer Sicht in Frage stellt:

"Die Schlußfolgerungen schienen mir nicht zwingend, um sagen zu können, das Doppelte und das Anderthalbfache seien die natürlichen Formen der Oktave und der Quinte. Und zwar aus folgendem Grunde: Auf dreierlei Weise können wir den Ton einer Saite erhöhen - durch Verkürzung, durch Spannung und durch Unterstützung. Bei gleicher Spannung und Beschaffenheit bringen wir die Oktave durch Verkürzen auf die Hälfte hervor, wir schlagen also erst die ganze und dann die halbe Saite an. Bei gleicher Länge und Beschaffenheit erhalten wir die Oktave durch Anspannung, aber es genügt hierzu nicht die doppelte Kraft, sondern die vierfache; war die Saite mit einem Pfund gespannt, so brauchen wir für die Oktave deren vier. Bei gleicher Länge und Spannung endlich muß die Dicke der Saite auf ein Viertel reduziert werden, um die Oktave zu erhalten. Was für die Oktave gilt... das findet für alle anderen Intervalle ebenfalls statt. Wenn man die Quinte erhalten will, für die aus dem Längenverhältnis das Anderthalbfache sich ergab, so muß man, wenn dasselbe durch andere Spannung oder Saitendicke erreicht werden soll, das Verhältnis Neun zu Vier anwenden: War die Saite zum Beispiel mit vier Pfund gespannt, muß sie nicht mit sechs, sondern mit neun Pfund belastet werden, desgleichen muß die Dicke auf vier Neuntel reduziert werden. Diesen exakten Demonstrationen gegenüber schien es mir ganz unbegründet, das Verhältnis Eins zu Zwei für die eigentliche Form der Oktave anzunehmen, wie die scharfsinnigen Philosophen es tun, statt Eins zu Vier; desgleichen kann die Quinte eher dem Verhältnis von Vier zu Neun entsprechen als dem von Zwei zu Drei" [11, S. 87].

Galileo leitet hier einen heute noch zum akustischen Grundbestand gehörenden Zusammenhang her:

Frequenz = $k \cdot \sqrt{\text{Spannkraft}/(\text{Länge})} \cdot \sqrt{\text{Masse}/(\text{Länge})}$ (k = Proportionalitätskonstante).

Dabei nutzt er sein musikalisches Empfindens für einfache Harmonien aus und fundiert so gesehen das Physikalische im Musikalischen. Umgekehrt be-

schreibt und erweitert er die Musik aus der Perspektive der Physik. Schwingungen und Schallwellen werden zu zentralen Konzepten einer Theorie, die durch die Messung u.a. von Schwingungsdauern einer experimentellen Untersuchung untermauert werden. Die Musik wird auf diese Weise als akustisches Phänomen begriffen und auf physikalische Größen zurückgeführt. Sinnlich erfahrene Qualitäten gehen in objektiv erfassbaren physikalischen Größen auf.



Abb. 3: Zu den akustischen Experimenten in Vincenzo Galileis Werk

"Das primäre, unmittelbare Verhältnis der akustischen Intervalle wird weder von der Länge der Saiten noch von ihrer Spannung oder ihrem Querschnitt bestimmt, sondern von der Anzahl der Schwingungen und Luftererschütterungen, die unser Trommelfell treffen und letzteres entsprechend erzittern lassen. Halten wir dieses fest, so können wir mit Sicherheit angeben, weshalb uns einige Zusammenklänge angenehm, andere weniger angenehm und wieder andere sehr mißfallend berühren, also den Grund für die mehr oder minder vollkommene Konsonanz und für die Dissonanz.. Konsonant und wohlklingend werden diejenigen Intervalle sein, deren Töne in einer gewissen Ordnung das Trommelfell erschüttern; wozu vor allem gehört, daß die Schwingungszahlen in einem rationalen Verhältnis zueinander

stehen, damit die Knorpel des Trommelfells sich nicht in steter Qual befinden, in verschiedenen Richtungen ausweichen zu müssen und den auseinandergehenden Schlägen zu gehorchen. Deshalb ist die erste und vollkommenste Konsonanz die Oktave, weil auf jede Erschütterung des tieferen Tones zwei des höheren kommen, so daß beide abwechselnd zusammenfallen und auseinandergehen ... Die Quinte klingt auch sehr gut, weil auf die zwei Schwingungen der einen Saite die höhere drei Schwingungen vollführt, von denen also ein Drittel mit denen des tieferen Tones zusammenfällt; und bei der Quarte trifft die vierte Schwingung mit der des Grundtones zusammen. Bei der Sekunde trifft nur noch eine von neun Schwingungen eine Schwingung des tieferen Tones, alle anderen weichen ab, und daher empfindet man bereits eine Dissonanz" [11, S. 89f].

Die Verbindung des Physikalischen mit der visuellen Anschauung zeigt sich übrigens auch in dem Bedürfnis, die nicht mehr auf einfache Weise zählbaren Schallwellen mit Hilfe der Resonanz sichtbar zu machen und damit dem Vorrang des Visuellen in der Physik zum Ausdruck zu bringen. Dabei benutzt er ein auch heute noch beliebtes Freihandexperiment:

"Wie sehr die Schwingung der umgebenden Luft an den mittönen Körper abgegeben wird, kann man sehen, wenn man einen Becher zum Tönen bringt, indem man den Rand mit der Fingerspitze bestreicht, während sich Wasser im Gefäß befindet; man erkennt dann die Wasserwellen in regelmäßigster Form ... bei einem ziemlich großen Becher voll Wasser sah ich oft sehr gleichmäßig geformte Wellen; wenn aber der Ton in die Oktave sprang, zerfiel eine Wasserwelle in zwei Wellen, eine Erscheinung, die deutlich zeigt, daß die Form der Oktave die Doppelte ist" [11, S. 69]

Obwohl Galilei durch seine Demonstrationen die kleinen Zahlenverhältnisse des pythagoreischen Systems als Phänomen beibehält, verlieren sie ihre grundlegende Bedeutung, indem sie gewissermaßen als Spezialfall in einem umfassenderen physikalischen Modell aufgehen, was als typisches Merkmal eines konzeptuellen Wechsels angesehen werden kann in dem selben Sinne wie die geometrische Optik als Spezialfall der Wellenoptik gilt. Dabei bedient sich Galilei einer Argumentationsweise, die er auch in anderen Zusammenhängen zur Durchsetzung seiner Ideen benutzt. Indem er zeigt, dass die Oktave oder die Quinte auch auf andere Weise als durch Verkürzung der Saite nach den einfachsten Zahlenverhältnissen zustande kommt (wobei ganz andere Zahlenverhältnisse eine Rolle spielen), reduziert er die einfachen Zahlenverhältnisse zu einem Aspekt unter anderen. Ganz ähnlich versucht er beispielsweise mit dem Nachweis, dass sich die Jupitermonde nicht um die Erde drehen, ein Dogma des ptolemäischen System zu widerlegen und damit letztlich das ganze System ins Wanken zu bringen.

Galileo kam zwar durch die Arbeiten seines Vaters Vincenzo zu Einsichten, die wesentlich zur Begründung der neuzeitlichen Physik beitrugen, blieb aber in musiktheoretischer Sicht hinter den revolutionären Ansätzen seines Vaters bezüglich der Konstruk-

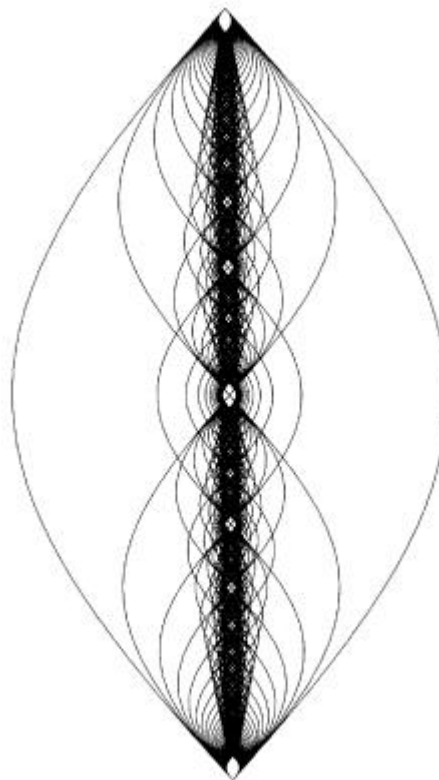


Abb. 4: Idealisiert dargestellte Schwingungsformen einer Saite.

tion neuer Tonleitersysteme weit zurück. Während Vincenzo bereits den Halbton als Verhältnis von $17/18 = 0,9444...$ definierte und damit der modernen "temperierten" Stimmung ($2^{1/12} = 0,94387...$) sehr nahe kam¹, hielt Galileo am konservativen Prinzip der Verhältnisse kleiner ganzer Zahlen fest:

Das Widrige der Dissonanz entsteht Galileo zufolge, "aus den nicht zusammentreffenden Schwingungen zweier Töne, die ohne ein bestimmtes Verhältnis das

¹ Dieses Verhältnis ermöglichte im Grunde erst die Vielfalt der europäischen Musik. War man so erst einmal von den harmonischen Verhältnissen kleiner Zahlen befreit, erschien der Schritt zur Form einer universell verwendbaren Stimmung gar nicht mehr so revolutionär, obwohl es sich bei der Festlegung eines jeden Halbtons der Tonleiter durch die 12 Wurzel aus 2 um ein aus Sicht der pythagoreischen Zahlenmystik undenkbares irrationales Verhältnis handelt. In dieser temperierten Stimmung, die im übrigen nicht durch einen Musiker, sondern durch den Ingenieur Simon Stevin (1548-1620) zu Anfang des 17. Jahrhunderts definiert wurde, wurde die Musik zwar bis auf die Oktave konsonanzfrei, dafür aber auch geschlossen. Entscheidend waren letztlich nicht mehr zahlenmystische Zusammenhänge, sondern das musikalische Empfinden und die praktische Durchführbarkeit.

Trommelfell erregen, und unerträglich werden die Dissonanzen sein, wenn die Schwingungsdauern nicht in ganzen Zahlen dargestellt werden können, sondern sich wie die Seite eines Quadrats zur Diagonale verhalten" [11, S. 90].

Diese Widersprüchlichkeit im galileischen Denken lässt sich vermutlich nur post hoc aus der Perspektive derjenigen feststellen, denen die revolutionären Ergebnisse zur Selbstverständlichkeit geworden sind. Das Schwanken zwischen dem Alten und Neuen kennzeichnet in gewisser Weise die Dynamik eines Denkens, das noch nicht weiß, wo es hin will.

Je nach Standort werden Galileis Verdienste eher im Experimentellen oder im Theoretischen gesehen. Für die einen hat er die experimentelle Methode für die anderen die Mathematisierung bei der Untersuchung physikalischer Vorgänge eingeführt. Eine sorgfältige Auswertung der von Galilei hinterlassenen Manuskripte lässt indes den Schluss zu, dass er mit einigem Recht sowohl zu den ersten neuzeitlichen Experimentalphysikern als auch zu den ersten mathematischen Physikern gerechnet werden darf [12, S. 166ff]. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist es von Interesse festzustellen, dass ihm in beiden Fällen die Affinität zur Musik zugute kam. Zwar fanden zu seiner Zeit sowohl Messungen als auch mathematische Verfahren Anwendung in der Astronomie. Für Vorgänge auf der Erde wurden beide Zugänge jedoch als untauglich angesehen und das – im Rahmen dessen, was man vor Galilei unter Physik verstand – mit Recht. Denn um der messenden Beobachtung zugänglich zu sein, mussten durch Idealisierung erst jene "himmlischen" Bedingungen geschaffen werden, unter denen ein Vorgang auch beim wiederholten Mal genauso ablief wie beim ersten Mal [13, S.]. Mit anderen Worten, Galilei musste erst das physikalische Experiment "erfinden", so wie es uns heute noch vertraut ist. Damit waren gleichzeitig aber auch die Voraussetzungen einer mathematischen Beschreibung gegeben, die bislang bei irdischen Angelegenheiten nur im Rahmen der Musiktheorie üblich waren.

Eine solche experimentelle Situation stellte die schiefe Ebene dar, die in den "Unterredungen" ausführlich beschrieben wird:

"Auf einem Lineal, oder sagen wir auf einem Holzbrett von zwölf Ellen Länge, bei einer halben Elle Breite und drei Zoll Dicke, war auf dieser letzten schmalen Seite eine Rinne von etwas mehr als einem Zoll Breite eingegraben. Dieselbe war sehr gerade gezogen, und um die Fläche recht glatt zu haben, war inwendig ein sehr glattes und reines Pergament aufgeklebt in dieser Rinne ließ man eine sehr harte, völlig runde und glattpolierte Messingkugel laufen. Nach Aufstellung des Brettes wurde dasselbe auf einer Seite angehoben, bald eine, bald zwei Ellen hoch; dann ließ man die Kugel durch den Kanal fallen und verzeichnete in sogleich zu beschreibender Weise die Fallzeit für die ganze Strecke: Häufig wiederholten wir den einzelnen Versuch zur genau-

ren Ermittlung der Zeit und fanden gar keine Unterschiede, auch nicht einmal von einem zehnten Teil eines Pulsschlags. Darauf ließen wir die Kugel nur durch ein Viertel der Strecke laufen und fanden stets genau die halbe Fallzeit gegen früher. Dann wählten wir andere Strecken und verglichen die gemessene Fallzeit mit der zuletzt erhaltenen und mit denen von zwei Dritteln oder drei Vierteln oder irgend anderen Bruchteilen; bei wohl hundertfacher Wiederholung fanden wir stets, daß die Strecken sich verhielten wie die Quadrate der Zeiten, und dieses für jede Neigung der Ebene, das heißt des Kanals, in dem die Kugel lief." [11, S.162]².

Es ist immer wieder bezweifelt worden, dass das Experiment tatsächlich durchgeführt wurde. Denn zur Zeit Galileis gab es keine Uhr, der man die Präzision hätte zutrauen können, die für diese Messungen nötig erscheint. Galilei hatte jedoch die Experimente so geschickt arrangiert, dass er – wie er es aus der Musiktheorie gewohnt war – keine absoluten Zeiten messen musste, sondern sich auf Zeitverhältnisse beschränken konnte. Das von Galilei in den "Unterredungen" geschilderte Verfahren [11, S. 163], die Zeit durch Wägung von Wasser zu ermitteln, das sich während des Durchrollens der verschiedenen Strecken in ein Gefäß ergoss, wurde erst in jüngster Zeit Galileis Beschreibungen entsprechend nachgestellt und eindrucksvoll bestätigt [14]. Selbst die Einlassung Galileis, er habe bei der Bestimmung der Zeit nicht einmal Unterschiede "von einem zehnten Teil eines Pulsschlags" feststellen können, scheinen sorgfältigen Untersuchungen von Galileis Aufzeichnungen entsprechend im Bereich des Möglichen zu liegen [15]. Wieder einmal wusste sich Galilei die Musik zu Nutze zu machen. Dabei ist noch nicht einmal sicher, ob er die Zeitmessmethode bewusst ersonnen hat, oder ob sie sich gewissermaßen von selbst einstellte, indem er während seiner Arbeit ein Lied sang³.

In der Tat scheint der rhythmische Gesang oder das Spiel auf der Laute während die Kugel rollte Galilei zu einer hohen Präzision bei der Einschätzung von Zeitabschnitten befähigt zu haben. Der musikalische Rhythmus kann als eines der genauesten, natürlichsten Vorgänge angesehen werden, mit dessen Hilfe es gelingt, die Zeit bemerkenswert genau zu strukturieren. Die Genauigkeit, mit der gute Musiker ein Gefühl für Zeitintervalle entwickeln, steht der eines modernen Messgeräts z.B. eines Metronoms kaum

² Um die zu messbaren Ergebnissen und darauf aufbauend zu einer mathematischen Beschreibung zu gelangen, konstituiert Galilei eine sehr voraussetzungsvolle Situation. Er lässt eine Kugel auf einer schiefen Ebene rollen und unterstellt, dass die Ergebnisse auf den freien Fall übertragen werden können (siehe [13, S. 262]).

³ Sich selbst als Zeitmesser zu gebrauchen, indem man sich die zum Singen eines Psalms benötigte Zeit merkte, scheint bereits vor Galilei in den Klöstern üblich gewesen zu sein.

nach. Die Zeitauflösung des musikalischen Gehörs kann noch einen um eine Zweiunddreißigstelnote (d.h. um eine Differenz von wenigen hundertstel Sekunden) verfehlten Einsatz wahrnehmen.

Aus den Aufzeichnungen Galileis geht hervor, dass er ein zwei Meter langes Brett mit einem Neigungswinkel von $1,7^\circ$ verwendete, auf dem eine Kugel in 5 Sekunden herunter rollte. Das Brett war mit Damsaiten umwickelt, so dass die Kugel die Saiten gerade noch berührte und Töne hervorrufen konnte. Durch Variation der Abstände zwischen den Saiten konnte er schließlich eine genaue Übereinstimmung zwischen den Rhythmen der auf der Laute gespielten Musik und den von der rollenden Kugel hervorgerufenen Tönen herstellen und anschließend die zu den Zeitintervallen gehörenden Abstände ausmessen.

Albrecht Fölsing erwähnt in seiner Biographie Galileis, dass dieser außer in seinen Aufzeichnungen nirgends auf diese originelle Methode hingewiesen hat. Er vermutet, dass Galilei sich nicht lächerlich machen wollte, indem er erklärte, er habe die Proportionalität zwischen zurückgelegter Strecke und dem Quadrat der Zeit beim freien Fall dadurch gefunden, dass er ein Liedchen dazu gesungen habe. "Für seine Bücher wählte er also aus gutem Grunde eine seriöse Darstellungsweise der in Padua ausgeführten Experimente, verschleierte dadurch aber den wohl reizvollsten Aspekt der Geburt der experimentellen Methode: daß an ihrer Wiege Musik erklingen ist" [12, S. 173].

6. Johannes Kepler und die Musik der Sphären

*Die Sonne tönt nach alter Weise
In Brudersphären Weltgesang,
Und ihre vorgeschriebne Reise
Vollendet sie mit Donnergang.
Ihr Anblick gibt den Engeln Stärke,
Wenn keiner sie ergründen mag;
Die unbegreiflich hohen Werke
Sind herrlich wie am ersten Tag.
Und schnell und unbegreiflich schnelle
Dreht sich umher der Erde Pracht;
Es wechselt Paradieseshelle
Mit tiefer, schauervoller Nacht;
Es schäumt das Meer in breiten Flüssen
Am tiefen Grund der Felsen auf,
Und Fels und Meer wird fortgerissen
In ewig schnellem Sphärenlauf.*

(Goethe: Faust I, Prolog im Himmel)

„Das ewige Schweigen der unendlichen Räume“⁴ in der durch Kopernikus "geöffneten" Welt flöste Blaise Pascal Entsetzen ein. Für Kepler war die neue Welt voller Musik. An diese Musik der Sphären muss Goethe gedacht haben, als er in dem obigen Prolog im Himmel von der tönenden Sonne und vom Donnerklang spricht⁵.

⁴ Le silence éternel de ces espaces infinis m'effraie.

⁵ Dass die Sonne nicht nur metaphorisch, sondern auch tatsächlich – wenn auch für Menschen unhörbar – aufgrund von Vorgängen im Innern wie eine Glocke tönt, zeigen neuere röntgenologische Untersuchungen.

Für Kepler war die Sphärenmusik mehr als eine naheliegende Metaphorik. Er war von der Organisation der Welt nach musikalischen Prinzipien überzeugt und sah daher sein umstrittenes Werk "Harmonices Mundi Libri V", die "Weltharmonik in fünf Büchern" als sein Hauptwerk an. Das dritte Buch der "Harmonices" nennt Kepler das "eigentlich harmonische Buch", in dem er eine umfassende Theorie der Musik erarbeitet. Dabei geht er ausführlich auf das Werk von Vincenzo Galilei ein. Die Musik soll ihm schließlich dabei behilflich sein, den Plan der



Abb. 5: Titelblatt von Keplers: Harmonice mundi.

Schöpfung zu erkennen. Die aus seinen Versuchen mit dem Monochord hervorgehenden Erkenntnisse "sind die eigentlichen Prinzipien meines Werkes über die Harmonik; und zwar beruhen auf ihnen nicht bloße Meinungen, die nachher wieder hätten verbessert werden müssen, nein, es ergibt sich aus ihnen die reine und volle Wahrheit.

Denn jegliche philosophische Spekulation muß von den Erfahrungen der Sinne ihren Ausgang nehmen. Hier (in den Tonzahlen) aber hast du einen vollkommenen, von jeglicher Unstimmigkeit freien Ausgleich zwischen dem, was der Gehörsinn über die Länge der einen Wohlklang gebenden Saiten bezeugt" ([16] zit. nach [9]).

Umgekehrt bezieht er die Ergebnisse seiner astronomischen Untersuchungen auf die Musik. Denn auch die irdischen Harmonien seien den himmli-

grund von Vorgängen im Innern wie eine Glocke tönt, zeigen neuere röntgenologische Untersuchungen.

schen unterzuordnen, die er in den Planetenbahnen – und Bewegungen verwirklicht sieht.

"Es sind also die Himmelsbewegungen nichts anderes als eine fortwährende himmlische Musik, durch den Verstand, nicht das Ohr aufnehmbar...Es ist daher nicht mehr verwunderlich, daß der Mensch, der Nachahmer seines Schöpfers, endlich die Kunst des Mehrstimmigen Gesangs, die den Alten unbekannt war, entdeckt hat".

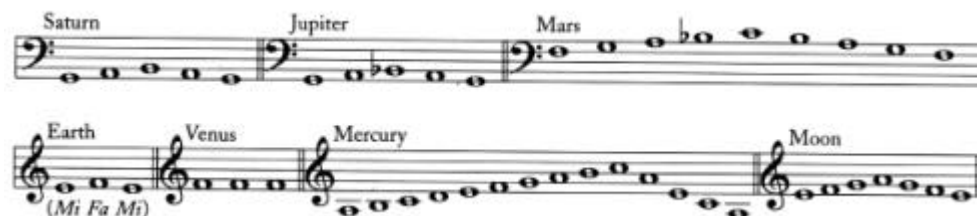


Abb. 6: Die Noten aus Abbildung 6 in moderner Notation beschreiben die Entfernung von der Sonne als Abnahme der Tonhöhe und die Annäherung als Zunahme der Tonhöhe.

Einer kunstgerechte Motette habe daher eine sechsstimmige Partitur zugrunde zu liegen. "Wer die in meinem Werk dargestellte Himmelsmusik am besten ausdrückt, dem stellt Klio ein Blumengewinde in Aussicht, und Urania verheißt ihm die Venus als Braut" [16].



Abb. 7: Die Winkelgeschwindigkeiten der Planeten in extremalen Bahnelementen verhalten sich wie musikalische Verhältnisse.

Mit einem ausgeprägten Blick für musikalische Zusammenhänge untersuchte Kepler das von Tycho Brahe zusammengestellte Datenmaterial zu den Planetenbewegungen und wurde dabei auf Schritt und Tritt fündig. Indem er die Entfernungen von der Sonne, die Umlaufzeiten, die Tagesbögen etc. errechnete und als Intervallproportionen in Tabellen zusammenstellte, machte er folgende Entdeckung:

Die von der Sonne aus gemessenen Winkel, welche die Planeten an Aphel und Perihel in 24 Stunden überstreichen, also die Winkelgeschwindigkeiten, weisen fast ausschließlich musikalische Konsonanzen auf. (Abbildung 8). Das führte ihn zu der folgenden Aussage: "Nichts anderes also sind die Himmelsbewegungen, als ein fortwährendes Zusammenklingen (geistiger, nicht sinnlich klingender Natur), das durch die dissonierenden Zwischentöne

wie durch Vorhalte, Durchgangsharmonien und – dissonanzen und kadenzierende (dissonante) Akkordfolgen (in denen die Menschen jene Naturdissonanzen nachahmen) nach festen und vorgeschriebenen Schlüssen strebt, alles in einem gleichsam sechsstimmigen Satz und mit diesen Noten die Unermesslichkeit der Zeit gliedert und unterbricht. Und so ist es weiter nicht merkwürdig, daß der Mensch, der Nachahmer seines Schöpfers, die Einsicht in dem mehrstimmigen Gesang gefunden hat, die den Alten verschlossen war, so dass er den stetigen Fluß der Weltengeschichte in einem kurzen Bruchteil einer Stunde abbildet in einem kunstreichen mehrstimmigen Tongefüge und so die Schöpferfreude Gottes über sein Werk in dem süßesten Wonnegefühl irgendwie nachkostet, wie es ihm die Gott nachahmende Musik vermittelt" [16, S. 279f].

Saturn	Aphel a	$a : b = 4 : 5$	große Terz
	Perihel b	$a : d = 1 : 3$	Duodezime
		$c : d = 5 : 6$	kleine Terz
Jupiter	Aphel c	$b : c = 1 : 2$	Oktave
	Perihel d	$c : f = 1 : 8$	drei Oktaven
		$e : f = 2 : 3$	Quinte
Mars	Aphel e	$d : e = 5 : 24$	kl. Terz + 2 Oktaven
	Perihel f	$e : h = 5 : 12$	kleine Terz + Oktave
Erde	Aphel g	$g : h = 15 : 16$	diatonischer Halbton
	Perihel h	$f : g = 2 : 3$	Quinte
		$g : k = 3 : 5$	große Sexte
Venus	Aphel i	$i : k = 24 : 25$	chromat. Halbton
	Perihel k	$h : i = 5 : 8$	kleine Sexte
		$i : m = 1 : 4$	zwei Oktaven
Merkur	Aphel l	$l : m = 5 : 12$	kleine Terz + Oktave
	Perihel m	$k : l = 3 : 5$	große Sexte

Abb. 8 Harmonische Verhältnis der Winkelgeschwindigkeiten der Planeten in Aphel und Perihel.

Indem Kepler die naturgesetzlichen Zusammenhänge gewissermaßen als Partituren einer Sphärenmusik

beschreibt, lässt er indirekt anklagen, dass die Entdeckerfreude und andere heute meist als irrationale Momente des kreativen Handelns abgetane Emotionen der Naturforscher mit dem Musikgenuss verglichen werden können, den man beim Hören eines Musikstücks empfindet. Interessant ist, dass er bei diesen Untersuchungen bewusst auf physikalische (astronomische) Methoden verzichtet und die musikalische ("instinktartige") Methode bevorzugt⁶.

Planet	Mittlere Entfernung von der Sonne a	Kuben der mittleren Entfernung a^3	Umlaufzeiten in Erdjahren b	Quadrate der Umlaufzeiten b^2	Verhältnis von $a^3 : b^3$
Saturn	9,510	860,085	29,3272	860,085	1
Jupiter	5,200	140,608	11,8578	140,608	1
Mars	1,524	3,539	1,8812	3,539	1
Erde	1,000	1,000	1,000	1,000	1
Venus	0,724	0,379	0,6156	0,379	1
Merkur	0,388	0,058	0,2408	0,058	1

Abb. 9: Durch eine harmonikalische Analyse gefundene konstante Verhältnisse.

Angespornt durch seine beiden ersten Gesetze blieb er bei der Feststellung einzelner harmonischer Verhältnisse nicht stehen und suchte mit seiner zu einer veritablen Forschungsmethodologie verdichteten musikalischen Analyse nach einem weiteren universellen Zusammenhang. Dazu stellte er zunächst das Verhältnis der mittleren täglichen Geschwindigkeiten durch entsprechende Proportionierung und Umrechnung der harmonikalen Grenzwerte fest. Sodann erhob er die Planetenabstände in einer sogenannten

Oktav-, Quint- usw. Transponierung zur 2., 3., 4. Potenz und verglich die Ergebnisse dieser Rechnung mit parallelen Oktavtranspositionen der mittleren Planetengeschwindigkeiten. Es stellte sich heraus, dass sich die 2. Oktave der Umlaufzeiten wie die 3. Oktave der großen Achsen verhält (Abbildung 9).

Damit war das dritte keplersche Gesetz gefunden: *Die Quadrate der Umlaufzeiten verhalten sich wie die Kuben ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.* Oder wie es bei Kepler heißt: "Es ist sicher und stimmt vollkommen, dass die Proportion, die zwischen den Umlaufzeiten irgend zweier Planeten besteht, genau das Anderthalbfache der Proportion der mittleren Abstände, d.h. der Bahnen selber ist" [16, S. 291].

Im Sinne unserer Thematik bleibt anzumerken, dass dieses Vorgehen nicht auf Probieren beruhte, sondern einer systematischen harmonikalen Technik entsprach, die er konsequent verfolgte. Damit soll natürlich nicht ausgesagt werden, dass das Gesetz nicht auch auf andere Weise hätte gefunden werden können.

In Würdigung der musikalischen Dimension des keplerschen Werkes hat übrigens im 20. Jahrhundert der Komponist Paul Hindemith Keplers Leben als Vorlage für eine Oper benutzt und die Symphonie *Harmonia Mundi* geschrieben.

7. Musikmetaphorik in der Physik

In dem Maße, wie die Wissenschaftler die kreative Phase ihrer Forschungsarbeit zumindest in den wissenschaftlichen Veröffentlichungen verschweigen und ihre Arbeit auf ein nachträglich rationalisiertes Ergebnis reduzieren, treten Darstellungen über nichtrationale Einflüsse auf die Forschung in den Hintergrund. Dennoch kann man feststellen, dass die Beziehungen zur Musik zumindest auf metaphorischer Ebene immer wieder bemüht werden. Angesichts der Entdeckung der Atomspektren um die Wende zum 20. Jahrhundert hören die Wissenschaftler wieder die feine Sphärenmusik erklingen, die seit Pythagoras wie eine Hintergrundmelodie die Geschichte der Physik in immer neuen Varianten durchzieht.

"Was wir heutzutage aus der Sprache der Spektren heraus hören, ist eine wirkliche Sphärenmusik des Atoms, ein Zusammenklingen ganzzahliger Verhältnisse, eine bei aller Mannigfaltigkeit zunehmende Ordnung und Harmonie. Für alle Zeiten wird die Theorie der Spektrallinien den Namen Bohrs tragen. Aber noch ein anderer Name wird dauernd mit ihr verknüpft sein, der Name Plancks. Alle ganzzahligen Gesetze der Spektrallinien und der Atomistik fließen letzten Endes aus der Quantentheorie. Sie ist das geheimnisvolle Organon, auf dem die Natur die Spektralmusik spielt und nach dessen Rhythmus sie den Bau der Atome und der Kerne regelt" [17].

Oder nehmen wir einen Auszug aus einer Wissenschaftssendung des SWR in dem es um einen Bericht aus der modernen Kosmologie geht. "Elektro-

⁶ "Es ist darauf zu sehen, nicht wieviel irgend ein Planet von der Sonne entfernt ist, noch welche Strecke er an einem Tage zurücklegt, (denn das ist verstandesmäßig und ist eine astronomische Methode, nicht aber instinktartig), sondern welchen Winkel die tägliche Bewegung eines jeden Planeten an der Sonne bildet, bzw. welchen Bogen sie auf einem gemeinsamen, um die Sonne (die zwar selbst in einem Brennpunkt der Ellipsen steht) als Mittelpunkt beschriebenen Kreise zu vollenden scheint, so dass dieser Anschein, durch die Vermittlung des Lichts auf die Sonne projiziert, mit den Lichtstrahlen selbst geradlinig auf Geschöpfe, die and diesem Instinkt teilhaben, einwirken kann...(ebd. S. 256f). Licht und Schall sind für Kepler die "zwei Dinge, die uns die Harmonien an Naturdingen offenbaren". Diese Neigung zum "Mystischen" bei der Entdeckung des 3. keplerschen Gesetzes ist insbesondere von naturwissenschaftlich geprägten Personen immer wieder mit Unverständnis aufgenommen, relativiert, verschwiegen oder verleugnet worden. Es passte nicht in das Bild der physikalischen Methode, die streng rational und quantitativ verfähre. Deshalb herrscht oft der Tenor vor, Kepler habe trotz und nicht wegen seiner "mystischen Ansichten" die Planetengesetze entdeckt.

nen oder andere Elementarteilchen können ihre wie auch immer angesammelte Energie nicht nach Belieben abschütteln, sondern sind eng in das Korsett der physikalischen Gesetze eingeschnürt. Die Komposition des abgestrahlten Lichtes mit Farben, Intensitäten, Polarisationen oder zeitlichen Wechseln ist das Logbuch einer physikalischen Vergangenheit. *Und genauso, wie man durch bloßes Anhören eines Orchesterwerkes die gesamte Partitur, alle Zusammenklänge wie auch die Besetzung der Instrumente erschließen kann, so liefert die Analyse des Lichtes die physikalische Partitur des Geschehens. Die Klänge heißen dann Spektrallinien und die Instrumente sind Temperatur, Druck, chemische Zusammensetzung der Materie, Magnetfelder und ähnliches. Am Anfang steht die Vermutung und die Vereinfachung, ein karges Klanggebilde, das auf dem Computer tausendfach durchgeorgelt und variiert werden muß, um das simulierte Geschehen mit der Wirklichkeit in Einklang zu bringen. Mit jedem Durchgang dringt aber der Blick tiefer ins Orchester und die unscheinbarste Stimme kann auf einmal überraschende Bedeutung gewinnen - vorausgesetzt natürlich, daß auch der Zuhörer oder Beobachter seine Sinne, sprich seine Technik, in gleichem Maße verfeinert hat.* Auf diese Weise sind Technik und Theorie, Hand in Hand, weit genug vorangeschritten, um allmählich ins Innere der Neutronensterne zu schauen" [18].

Indem man die Sprachbeiträge mit passenden Musikausschnitten untermalt ist man offenbar bemüht, über die reine Metaphorik hinauszugehen und entsprechende Gefühle beim Zuhörer auszulösen. So heißt es in einer Regieanweisung zu dieser Sendung: "Unter nachfolgendem Sprecher ab dem 2. Satz eine Orchestermusik einblenden, die an möglichst vielen Stellen deutlich Einzelstimmen hervorhebt. Vorschlag: Irgendwelche Trippelkonzerte. Am Ende Musik noch einmal aufziehen und kurz stehen lassen. Am besten mit Zäsur oder Schlußakkord aussteigen" (a.a.O.).

Schließlich sei noch auf das aktuelle, allerdings noch kontrovers diskutierte Konzept der Superstringtheorie verwiesen, mit dessen Hilfe man Quantentheorie und Gravitation unter einen Hut zu bringen hofft. Dabei werden Elementarteilchen als schwingende Saiten (= string) (sic!) angesehen, deren Schwingungsanregungen, Akkorde, Harmonien etc. nichts Geringeres als ein schlüssiges Konzept der gesamten Welt liefern sollen.

8. Zusammenhänge zwischen Musik und Mathematik

Vielleicht ist 'Mathematisieren' wie Musizieren eine schöpferische Tätigkeit des Menschen
Hermann Weyl

Die Beziehungen zwischen Physik und Musik werden vor allem durch die Beziehungen beider Disziplinen zur Mathematik und hier vor allem durch den

Umgang mit Zahlen und Zahlenverhältnissen bestimmt. Hier scheinen tieferliegende unbewusste Verbindungen zu bestehen.

Marie-Louise von Franz hat die Beziehungen zwischen dem Unbewussten, Zahl und Zeit untersucht und betont den dynamisch-aktiven Aspekt der Zahlen im Unbewussten. Für sie kommt es nicht so sehr darauf an, "was wir mit den Zahlen tun können, sondern was sie unserem Bewusstsein antun" [19, S. 37]. "Das ganze Gebiet der Musik und ihrer Beziehung zur Zahl scheint mir eine gefühlsmäßige Erfassung derselben Dinge (d.h. der in der Zahl und Zahlenverhältnissen liegenden mythischen, archetypischen, symbolischen und unbewussten Zusammenhänge)" (a.a.O.). In diesem Zusammenhang zitiert sie Leibniz der einmal geäußert hat, die Musik sei "eine verborgene Übung der Seele, welche dabei nicht wisse, dass sie mit Zahlen umgehe...Die Seele bringt nämlich in unklarer und unbemerkter Erkenntnistätigkeit, was sie mittelst deutlicher Wahrnehmung nicht bemerken kann. Wenn daher die Seele auch nicht merkt, dass sie rechnet, so fühlt sie doch die Wirkung dieser unbewussten Rechnung, sei es als Freude am Zusammenklänge, sei es als Bedrückung beim Missklänge" [20].

Lässt sich daraus eine Ähnlichkeit der positiven Affekte bei mathematisch-physikalischen und musikalischen Aktivitäten ableiten? Hat das Zusammenfallen musikalischer und mathematisch-physikalischer Begabung oder zumindest das Interesse vieler Mathematiker und Physiker für die Musik damit zu tun?⁷

Eine positive Antwort auf diese Fragen wird durch eine an der Universität Freiburg durchgeführte Studie nahegelegt. Diese Studie kommt zu folgendem Ergebnis: "Rund 600 Schulkindern wurde der Mathematik- und der Fremdsprachenunterricht zugunsten von mehr Musikstunden gekürzt. Untersuchungen nach drei Jahren zeigten, dass diese Schüler in den gekürzten Fächern keinerlei Rückstand hatten; in den Fremdsprachen übertrafen sie sogar ihre Parallelklassen. Eine ähnlich Studie an einer amerikanischen Musikschule führte zu vergleichbaren Resultaten: Der Musikunterricht für fünf- bis siebenjährige Kinder erhöhte deren durchschnittliche Leistungen beim Lesen, Schreiben und in Mathematik. Der Leiter dieser Studie, Martin Gardener, vermutet, dass die Kinder durch die Musik geistige Fähigkeiten entwickeln, wie etwa das Ordnen abstrakter Dinge im Kopf, die ihnen in theoretischen Fächern zugute kommen" [21].

9. Schluss

Die Beziehungen zwischen Physik und Musik sind reichhaltig. Als Zeitreihen entsprechen Musikstücke physikalischen Abbildungen, als akustisches Phä-

⁷ So sind beispielsweise in Orchestern und anderen musikalischen Gruppen Physiker und Mathematiker überdurchschnittlich stark vertreten [21].

nomen lassen sich Klänge physikalisch beschreiben und erklären. Musikinstrumente sind als Oszillatoren physikalische Apparate. Musikalische Stimmungen werden nach mathematischen Kriterien bestimmt und beschrieben. Die in den musikalischen Harmonien enthaltenen einfachen Zahlenverhältnisse lassen sich auch in anderen Zusammenhängen der materiellen Welt auffinden, etwa in den Planetenbewegungen, den Atomspektren, dem Periodensystem der Elemente, dem Bau der Erbsubstanz usw. Diese Zusammenhänge hat die forschenden Physiker oft geholfen, bei konzeptuellen Umbrüchen neue Ideen mit Hilfe musiktheoretischer Vorstellungen zu gewinnen.

Auch die sinnliche und gefühlsmäßige Dimension der Musik hat immer wieder Physiker beschäftigt. Abgesehen davon, dass sie oft eine affektive Beziehung zur Musik besitzen und Musikinstrumente spielen, haben sie u.a. bei der Untersuchung der akustischen Sinneswahrnehmung mitgewirkt. Man denke nur an die Arbeiten Hermann von Helmholtz [22] und Ernst Machs [23].

Obwohl die physikalische Sehweise vor allem visuell orientiert ist, spielen musikalische und musiktheoretische Metaphern nach wie vor in der Physik eine große Rolle, so dass man manchmal den Eindruck gewinnt der Bauplan der Welt sei eine große Partitur.

Aber nicht nur durch ihre Beziehungen zu den Zahlen und deren Zusammenhänge gibt es so etwas wie eine musikalische Dimension der Musik. Auch semantisch vermag man mit musikalischen Metaphern weit über das hinaus zu greifen, was sich rein mathematisch oder physikalisch erfassen lässt, so dass man mit Thomas Browne sagen kann:

"Sure there is music even in the beauty, and the silent note which Cupid strikes, far sweeter than the sound of an instrument. For there is music wherever there is harmony, order and proportion; and thus far we may maintain the music of the spheres; for those well ordered motions, and regular paces, though they give no sound unto the ear, yet to the understanding they strike a note most full of harmony" [24].

9. Literatur

- [1] Einstein, Albert: Zit. nach: Born, Max, Erinnerungen an Einstein. Physikalische Blätter 7 (1965), S. 300
- [2] Hebbel, Friedrich: Tagebücher 1848 – 1863. München: dtv 1984, S. 43
- [3] Weinberg, Stephen: The first three minutes. A modern view of the origin of the universe. Glasgow: Fontana 1978, p. 149
- [4] Kepler, Johannes: Prodromus (Weltgeheimnis), zit. nach [9], S. 175
- [5] Einstein, Albert: In einem Brief vom 23.4.1953, zit. nach: De Solla Price, D.: Science Since Babylon. New Haven: University Press 1975, p. 15
- [6] Dohrn- van Rossum, Gerhard: Die Geschichte der Stunde. München: Hanser 1992, S. 61

- [7] Schlichting, H. Joachim: Wie sehen die Naturwissenschaftler heute die Welt, und welche Forderungen ergeben sich daraus für die schulische Bildung? In: Landesinstitut für Erziehung und Unterricht (Hrsg.): Forum Realschule 1995. Naturwissenschaftlicher Unterricht. Materialien RS 9, S. 14 – 34
- [8] Blumenberg, H.: Die Genesis der kopernikanischen Welt. Frankfurt: Suhrkamp 1981, S. 649
- [9] Kayser, Hans: Der hörende Mensch. Elemente eines akustischen Weltbildes. Berlin: Lambert Schneider 1932, S. 174
- [10] Galilei, Vincenzo: "Dialogo delle musica antica e moderna" zitiert nach Wohlwill: Galilei. Hamburg 1909, S.45
- [11] Galilei, Galileo: Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1973
- [12] Fölsing, Albrecht: Prozeß ohne Ende. Eine Biographie. Reinbek: Rowohlt 1996
- [13] Schlichting, H. Joachim: Wie frei ist der freie Fall? In: Sumfleth, Elke (Hrsg.): Chemiedidaktik im Wandel - Gedanken zu einem neuen Chemieunterricht (Festschrift für Altfried Gramms), Münster: Lit – Verlag 1999, S. 255 – 277
- [14] Settle, Thomas B.: An experiment in the history of science. Science 133 (1961), S. 19
- [15] Drake: Galileo Studies. Ann Arbor 1970, Chapter 10
- [16] Kepler, Johannes: Harmonice mundi 1618. Übersetzung: Weltharmonik. München: Darmstadt 1967
- [17] Sommerfeld, Arnold: Atombau und Spektrallinien, I. Band, 5. Umgearbeitete Auflage, Braunschweig 1931, S. III
- [18] Fischer, Falk: Kosmische Kuriositäten. SWR2Wissen-Archiv. http://www.swr2.de/wissen/manuskripte/astronomie_3.html. Zugriff am 27.02.2001
- [19] Franz, Marie- Louise von: Zahl und Zeit. Frankfurt: Suhrkamp 1980, S. 35ff
- [20] Leibniz, Wilhelm Gottfried: Brief an Goldbach vom 12. April 1712. Zit. nach [19]
- [21] Kolly, Adrian, Riedi Birgit: Wege zur Interdisziplinarität am Beispiel von Mathematik und Physik http://www.unifr.ch/pedg/MatMu/Kapitel3_2.html#3.2. Zugriff am 27.02.2001
- [22] Helmholtz, Hermann. Die Lehre von den Tonempfindungen. Als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Braunschweig: Vieweg 1913
- [23] Mach, Ernst: Analyse der Empfindungen. Jena: Gustav Fischer 1903
- [24] Browne, Thomas: Religio Medici, 1643, II, 9