

Astrid Schürmann  
Burghard Weiss (Hrsg.)

# **Chemie - Kultur - Geschichte**

Festschrift für Hans-Werner Schütt  
anlässlich seines 65. Geburtstages

Berlin · Diepholz 2002

Verlag für Geschichte  
der Naturwissenschaften und der Technik

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Chemie - Kultur - Geschichte** : Festschrift für  
Hans-Werner Schütt anlässlich seines 65. Geburtstages /  
Hrsg.: Astrid Schürmann ; Burghard Weiss. –  
Diepholz ; Berlin : GNT-Verl., 2002  
ISBN 3-928186-63-9

Die Drucklegung dieses Buches wurde ermöglicht durch:

B. V. Produkten-Handel-Mannheim · »PROHAMA«  
Epannage-Vinasse-Ausbringungs-GmbH · »E. V. A.«

Unilever Bestfoods Deutschland

Gesellschaft Deutscher Chemiker e. V.

Umschlagbild: Chemical Lectures, designed and  
published by T. Rowlandson and James St. Adelphi.  
Deutsches Museum München, Bildarchiv.

<http://www.gnt-verlag.de>

ISBN 3-928186-63-9

Printed in Germany. Alle Rechte vorbehalten.

# Wann Hören? Vom Forschen mit den Ohren

Florian Dombois

Eine Kugel rollt eine schiefe Ebene herab. Weisen Sie nach, dass zwischen der verstrichenen Zeit und der zurückgelegten Wegstrecke die Beziehung  $s = \frac{1}{2} (g \sin \alpha) t^2$  gilt (wobei  $s$  die Strecke,  $g$  die Erdbeschleunigung,  $\alpha$  den Neigungswinkel der Ebene und  $t$  die Zeit bezeichnen). - Der Physikstudent, für den diese Aufgabe im Rahmen seines Experimentalphysik-Praktikums bestimmt ist, geht heute mit folgendem Versuchsaufbau vor: Er installiert eine schiefe Ebene, so, dass er von der Seite auf die Schräge gegen einen schwarzen Hintergrund blicken kann. Er richtet einen Fotoapparat auf die Ebene, verdunkelt den Raum und lässt eine helle Kugel die Schräge herabrollen. Während dieser Zeit öffnet er die Blende der Kamera und belichtet das Negativ mehrfach mit einem Stroboskop. Auf dem Foto vergleicht er dann die Weginkremente gemäß der genannten Formel mit Blitzfrequenz und Neigungswinkel und sieht, wie die Geschwindigkeit der Kugel sich proportional zur Zeit beschleunigt.

Das Experiment geht bekanntermaßen auf Galileo Galilei zurück, der es in seinen »Unterredungen und mathematischen Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige« von 1638 beschreibt. In seinem Versuchsreport erfahren wir über den Originalaufbau Folgendes:

»Auf einem Lineale, oder sagen wir auf einem Holzbrette von 12 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 rund und glattpolirte Messingkugel laufen. ... [H]äufig wiederholten wir den einzelnen Versuch, zur genaueren Ermittlung der Zeit, und fanden gar keine Unterschiede, auch nicht einmal von einem Zehntel eines Pulsschlages.«<sup>1</sup>

Nun löst Galileis genaue Zeitangabe, wenn man den Stand damaliger Uhrentechnik bedenkt, Verwunderung aus. Wie vermochte er die Zeit auf Zehntelsekunden genau zu bestimmen, so wie er behauptet? Sicher hätte er gerne die Bewegungsphasen in einem Lichtbild gebannt, doch es fehlten ihm die heutigen Visualisierungsinstrumente. Der Wissenschaftshistoriker Stillman Drake hat aus den Versuchsprotokollen rekonstruiert, dass Galilei sich hierfür folgender Mittel bediente: Er spannte nämlich quer zur schiefen Ebene mehrere Darmsaiten derart, dass diese von der Kugel beim Herabrollen gerade noch angeschlagen wurden. Dann positionierte er die Saiten so, dass ihre Abstände nach unten hin zunahmen, und bestimmte die genaue Position, indem er ein rhythmisches Lied sang und gleichzeitig darauf achtete, dass die Kugel die Saiten im Takt dazu anregte. Auf diese Weise teilte er die Zeit in gleichmäßige Teile und entwickelte das Fallgesetz der schiefen Ebene: nach dem Gehör<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Galileo Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend. Dritter und vierter Tag, Leipzig 1891, S. 25.

<sup>2</sup> Vgl. Stillman Drake, Galileo at Work, Chicago 1978, S. 89. Die Genauigkeit für dieses Verfahren liegt, wenn man einen Beat von 0.5 sek. annimmt, nach Drake bei 1/64 sek.

Auf den ersten Blick muss man sich wundern, dass Galilei seine geschickte Lösung nicht mit Erfinderstolz präsentiert, sondern offenbar eher zu verbergen sucht. Dabei fehlte es ihm sicher nicht an akustischer oder musikalischer Kompetenz (sein Vater Vincenzo war bedeutender Musiktheoretiker, Komponist und Lautenvirtuose seiner Zeit, und auch dem Sohn sagt man nach, ein vorzüglicher Lautenspieler und kenntnisreicher Amateur der Musik gewesen zu sein). Aber auf den zweiten Blick wird klar, dass eine Beschreibung, wie er singt und misst, bei seinen Kollegen die wissenschaftliche Glaubwürdigkeit seines Experiments unterminiert hätte. Und ebenso schauen sicher auch heutige Physiker skeptisch, wenn sie mit solch einem akustischen Messverfahren konfrontiert würden. Hier zeigt sich etwas, was für die abendländische Naturwissenschaft insgesamt typisch ist: ein schwieriges Verhältnis nämlich zur Wahrnehmung der Welt durch das Ohr. Diesem schwierigen Verhältnis will sich der vorliegende Aufsatz widmen. Er wird angetrieben von einer Neugierde und Suche nach Gründen, weshalb die Naturwissenschaft eher den Augen traut als den Ohren, inwiefern diese Bevorzugung angemessen ist oder nicht und ob sich ein naturwissenschaftliches Hören nicht dennoch vorstellen lässt. Dabei zeigt es sich, dass einer wirklich erschöpfenden Beantwortung dieser Fragen hier zweierlei entgegensteht. Zum einen ist die Fragestellung mehr als umfänglich, insbesondere hinsichtlich des hier gegebenen Rahmens. Und zum zweiten haben sowohl die Naturwissenschaft als auch die diese Wissenschaft reflektierenden Disziplinen dem Hören bisher so wenig Aufmerksamkeit geschenkt, dass schon die Materiallage, auf die man zurückgreifen wollte, viel zu wünschen übrig lässt. Dass wir es dennoch versuchen, liegt daran, weil das Thema unserer Meinung nach brisant ist. Zumindest probeweise wollen wir das Feld einmal ganz durchlaufen in der Hoffnung, dass die Forschung erleichtert werden wird, wenn dem übergreifenden Gedanken einmal der Weg gebahnt ist. Ausgehend vom historischen Rückblick auf die Wissenschaftsgeschichte hin zum Anwendungsbereich akustischer Forschungsmethoden ist dabei ein grosses Feld zu durchmessen, und vielen Einzelheiten wird hier nicht die Aufmerksamkeit zukommen können, die ihnen gebührt. Wir wollen dies in späteren Untersuchungen Stück um Stück nachholen. Dabei werden sich vielleicht auch Korrekturen an einzelnen Aspekten des hier Gesagten ergeben. Wir riskieren diese aus einem Bedürfnis heraus, schon jetzt die Bedeutung des Hörens einmal insgesamt zu überblicken und abzuschätzen.

Der vorliegende Aufsatz gliedert sich in sechs Abschnitte: Der erste Abschnitt beginnt mit einem historischen Überblick zum Verhältnis des Wissenschaftlers zu Auge und Ohr. Anschließend folgt eine Beschreibung dessen, was das Hören aus physiologischer Sicht leistet und nach welchen Kategorien das Ohr seine Eindrücke sortiert. Im dritten Abschnitt werden die Potenzen des Hörens philosophisch charakterisiert und mit dem Sehsinn verglichen, geleitet von der Frage: wann macht Hören Sinn, zu welchen Fragestellungen sollte man akustische Darstellungsformen finden? Der vierte Abschnitt widmet sich der praktischen Anwendung: Wie kann das Ohr konkret in einer Messapparate-Wissenschaft eingebracht werden? Dazu werden die Methoden der Sonifikation und Audifikation vorgestellt. Anschließend geben wir dazu ein Beispiel aus unserer eigenen Forschung der »Auditory Seismology«. Wir enden mit einer Beschreibung aus dem Alltag des hörenden Wissenschaftlers.

## **Historisch: Einige Beispiele für die ausgezeichnete Bedeutung des Sehens in der europäischen Geistesgeschichte**

Im Höhlengleichnis beschreibt Platon den Weg vom bloßen Meinen zur wahren Erkenntnis als eine Schule des Sehens. Anfänglich nämlich blickt der Unaufgeklärte auf eine Höhlenwand und meint, dass die dortigen Schatten und Lichter wirklich wären. Bestätigt wird dieser Eindruck vom angeblich leicht zu täuschenden Ohr, das die Stimmen der Fackelträger vor sich glaubt, obgleich der Schall nur an den Höhlenwänden reflektiert ist. Um sich von der Sinnestäuschung zu befreien, muss der Philosoph einsehen, dass die Lichtspiele nur Projektionen darstellen, und dem nicht genug, auch noch, dass das Licht der Höhle nur künstlich und dass draußen die Sonne die Welt in ein viel stärkeres, absolutes Licht eintaucht. Inwiefern das Ohr bei diesem Aufstieg zur Orientierung beiträgt, wird nicht beschrieben, und was es draußen Neues zu hören gibt, scheint Platon nicht der Rede wert. Die Bevorzugung des Sehens und der visuellen Metaphorik gegenüber den anderen Sinnen lässt sich bei Platon an weiteren Stellen finden, etwa im Sonnengleichnis oder bei so zentralen Begriffen wie der Bestimmung des Seins als »Idee« (»eidōs« bedeutet ursprünglich das Sehen, das Aussehen).

Eine ähnliche Lichtbegeisterung findet man beim Christentum. Das Neue Testament zeichnet sich gegenüber dem Alten durch eine Betonung des Visuellen aus. Erschien der alttestamentarische Gott Mose noch als Donner oder Elia als Stimme, so dominiert im Neuen Testament die Vision: wenn Jesus nach seiner Kreuzigung den Jüngern auf dem Weg nach Emmaus oder am See Genezareth erscheint; oder wenn Saulus unter dem Eindruck eines »Licht vom Himmel« für drei Tage erblindet, bevor er zum Christen getauft wird. Und nicht zuletzt dominiert das Visuelle in der Apokalypse, deren Name schon eine »Offenbarung«, eine »Entblößung« bedeutet und deren Vision sprichwörtlich geworden ist. Das Christentum ist gewissermaßen eine »visionäre Religion«, die das Göttliche mit einem heiligen Schein umkränzt. Und so kann es nicht verwundern, wenn Nikolaus von Kues in seiner Schrift »Vom Sehen Gottes« für diesen das Gleichnis des alles-sehenden Auges entwirft. Eine Metapher, die seither immer wieder viel Zuspruch erhielt, wie sich u.a. in vielen Kirchen des Barocks zeigt, wo das göttliche Auge im Dreieck über den Gekreuzigten wacht. Und dass das Symbol des alles-sehenden Auges sich selbst in der säkularisierten Welt behaupten kann, demonstriert die amerikanische 1-Dollar-Note, auf der das göttliche Auge noch heute zu finden ist, und damit gewissermaßen den Wert der Note segnet.

Beim Aufbruch in die Renaissance spielte das Sehen ebenfalls keine unbedeutende Rolle. Die Entdeckung der Perspektive ist so etwas wie der Gründungsmythos der Neuzeit. Hier zentralisierte sich die Welt auf den einen Blickpunkt, von dem aus die Erkenntnis mit mathematischer Präzision neu dimensioniert wurde. Der Geltungsanspruch der Zentralperspektive drückte sich unter anderem darin aus, dass die Neuen zur Abgrenzung nicht nur das »Mittelalter« erfanden, sondern dieses sogleich als »dunkel« abtaten, um nur ja keinen Zweifel darüber aufkommen zu lassen, dass ihre Sehweise von nun an die richtige sei. Einen besonderen Höhepunkt des Visualprimats findet man im Zeitalter der »Aufklärung«, dem »Enlightenment« oder dem »Siècle des Lumières«, wo sich eine ganze Epoche in visueller Metaphorik einrichtete. Hier waren Auge und Sehen nun das A und O und das in so vieler Hinsicht, dass eine Auflistung der Beispiele redundant wirkt, noch bevor sie begonnen. Man ist verführt, von einer

regelrechten »Okulartyrannis« zu sprechen, wie das in den letzten Jahren einige Kulturwissenschaftler bezeichneten.

Für die Formierung der modernen Naturwissenschaft hatte das Sehen u.a. Bedeutung bei der Erfindung des Teleskops und des Mikroskops (»skopeo« bedeutet spähen, hinschauen, nachsehen). Diese Instrumente ermöglichten erstmals, das Unerreichbare der Ferne und das des Kleinen sichtbar zu machen und zu studieren, mit einem bedeutungsvollen Nebeneffekt: das Sehen wurde entkoppelt von den anderen Sinnen. Die Planeten rückten näher, ohne dass man sie hörte, die Pflanzenzellen wurden sichtbar, ohne dass man sie roch. Für den Visiophilen ist das geradezu eine Idealsituation: das Experiment als ein reines Schauen, die Forschung in Stille. Auf einmal konnte er allein nur mit dem »Königssinn« studieren, ohne vom Akustischen oder Taktilen her abgelenkt zu werden. Diese Entkopplung des Wissenschaftlers von den sinnlichen Qualitäten seines Untersuchungsgegenstands hat sich seither noch verstärkt. In der quantitativen Analyse vermittelt von Messapparaturen reduziert sich für den Forscher der sinnliche Eindruck vom Messgegenstand auf einen ablesbaren Wert am Gerät. In der Chemie beispielsweise ist seither das Schmecken von Substanzen aus der Mode gekommen, und wann nimmt der Geologe noch eine Probe in den Mund, um zwischen Sand- und Tonsteinen zu unterscheiden? Statt die Natur mit allen Sinnen zu erfahren, verfolgt der Wissenschaftler sie heute fast ausschließlich visuell über Messschriebe, im Oszillogramm, Seismogramm, Spektrogramm etc. Er schaut sich die natürlichen Qualitäten in deren visuellem Abbild an. Dem Messschrieb entsprechen auch die Publikationsformen, über die sich die Forscher austauschen: Text und Bild werden genutzt, wann immer es darum geht, Ergebnisse zu präsentieren; sei es im Zeitschriftenartikel oder im Buch. Beim Vortrag ist das Visuelle, die Folie wichtigstes Legitimationsmittel für die Glaubwürdigkeit eines Forschungsergebnis.

Wir können wohl ohne Übertreibung behaupten: Die abendländische Kultur steht im Lichte des Visuellen, sie ist eine Kultur des Sehens. Betrachtet man vor diesem Hintergrund nun die Bedeutung des Hörens für die Wissenschaft, so wird deren Geringheit umso deutlicher. Den Ohren wurde in der europäischen Wissenschaft nicht nur zu Zeiten Galileis wenig zugetraut. Die Akustik etwa, also die Wissenschaft für Hörbares, hat sich mit Messgeräten und Visualisierungsmethoden so weit ausgerüstet, dass das Gehör des einzelnen Wissenschaftlers verblüffend wenig zum Einsatz kommt. Selbst hier spielen visuelle Darstellungsformen (Sonagramme, Klangspektren, Richtcharakteristiken, Wellenfelddiagramme etc.) die maßgebliche Rolle. Der Zweifel an den Potenzen des Hörens betrifft aber nicht nur das menschliche Ohr, sondern erstaunlicherweise auch das der Tiere. So dauerte es beispielsweise bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts, bevor die biologische Fachwelt akzeptierte, dass Fledermäuse sich mit akustischen Signalen orientieren. Man konnte sich lange Zeit einfach nicht vorstellen, dass das Hören eine so präzise Ortung zulässt.

Glaubt man dem allgemeinen Sprachgebrauch, so hat das Hören auch im außerwissenschaftlichen Kontext nicht gerade den besten Leumund. Worte wie hörig, gehorchen, Gehorsam beschreiben wenig attraktive Eigenschaften und Tätigkeiten bzw. sind zumindest politisch durchaus umstritten. Demgegenüber besitzen die Metaphern des Visuellen fast durchgängig positiven Charakter: einsehen, erklären, aufklärerisch, evident, offensichtlich etc. Wir reden vom Spektrum eines Phänomens, von seinen Aspekten. Wir feiern die Transparenz als hohes Ideal u.s.w.

Trotzdem man nun in Europa unter dem Visualprimat häufig gegen das Hören gargewöhnt hat, gibt es einige Gegenbeispiele für bedeutende wissenschaftliche Ent-

deckungen, die ohne den hörenden Forscher nicht denkbar sind. Hier ist unbedingt Pythagoras von Samos zu nennen, der über die Untersuchungen am Monochord das Verhältnis zwischen Klang und Zahl entdeckte. Seine Versuche öffneten der Mathematik das Feld der Anwendung auf die natürlichen Erscheinungen, etwas, dessen Tragweite wohl kaum zu überschätzen ist. (Ein Treppenwitz ist lediglich, dass das Ohr damit gewissermaßen Pate für den Urversuch der quantitativen Experimentalwissenschaft stand und später gerade hier das Sehen so viel mehr gilt.)

Über die akustische Entdeckung hinaus entwickelte Pythagoras auch den Gedanken der Weltharmonie, der »harmonia mundi«, wie es später genannt wurde. Dieses Konzept einer Musikalisierung der Phänomene hat ihm nicht nur Anhänger, sondern auch den Ruf des Mystikers eingebracht. Das mag mit dem generellen Argwohn gegen das Hören zu tun haben, viel aber sicherlich auch mit der damit implizierten Finalisierung der Wissenschaft auf die Musik. Der Harmoniker übergeht nämlich zumeist selbst schnell das Hören, um sich aufzuschwingen in komplexe Betrachtungen über die Abstracta der Musik, über Proportionsverhältnisse und Zahlenmystik. Wir wollen uns hier mit den unspektakuläreren Beispielen des Hörens begnügen. Es bedarf unserer Meinung nach nicht unbedingt einer musikalischen Bestimmung der Wissenschaft, um im Anhören von Experimenten einen Sinn zu sehen.

Fassen wir zusammen, so liefert die abendländische Forschungsgeschichte viele Beispiele, um an die Sehkraft als Königssinn zu glauben. Gleichzeitig ist aber damit auch Anlass für einen Zweifel gegeben, ob eine Alleinherrschaft des Sehens über die anderen Sinne gerechtfertigt ist. Sobald man erkennt, dass mit dem »Auge« auch Wissenschaftspolitik betrieben wurde, wird man seine Vorbehalte und Vorurteile gegen die Wahrnehmung des Ohres ablegen, um zu prüfen, ob und wofür das Hören doch taugen mag. Wir wollen dies tun, indem wir uns als nächstes mit den physiologischen Fähigkeiten des Ohres ein wenig vertraut machen.

### **Physiologisch: Zur Wahrnehmungsfähigkeit des menschlichen Ohres**

Für die Welt des Schalls besitzt der Mensch ein Sendeorgan - den Kehlkopf zur Erzeugung von akustischen Signalen - und zwei Empfangsorgane - die Ohren zur Wahrnehmung der Signale -. Aus dem Blickwinkel des Messtechnikers ist das Ohr dabei von erstaunlicher Leistungsfähigkeit. In Bezug auf die Umwandlung mechanischer in elektrische Schwingungen nämlich wird es bis heute von keinem technischen Gerät übertroffen, wenn man den Raum- und Energiebedarf berücksichtigt. Kleinste Schallintensitäten von  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup> und kleinste Amplituden des Trommelfells werden bereits wahrgenommen. Ein Schallwechseldruck von  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa reicht aus, um gehört zu werden, obwohl die Auslenkung nur  $10^{-8}$  cm beträgt, das ist eine Bewegung in der Größenordnung eines Atomdurchmessers. Der Frequenzbereich des menschlichen Hörens reicht von 16 Hz bis 20.000 Hz, was rund 10 Oktaven entspricht. Im Vergleich dazu nimmt das Auge aus dem Spektrum elektromagnetischer Wellen nur einen Bereich zwischen 385 - 790 THz wahr, was an Frequenzumfang lediglich einer »Oktave« entspricht. Die Frequenzauflösung des Ohres zwischen 0.5 und 10 kHz liegt bei rund 0,5 %. Die Ansprechdauer des Hörens beträgt 5 ms.

Die Luftschwingungen, die das Ohr wahrnimmt, analysiert es auf seine Wellenform hin. Sprachlich unterscheiden wir dabei zwischen dem Ton, der sich aus harmonischen Wellen aufbaut, dem Klang, der aus der Überlagerung periodischer Wellen

gebildet wird, dem Geräusch, bei dem die Wellen keiner Periodizität mehr folgen und dem Knall, als einem solitären Ereignis. Die drei physikalischen Größen des Schalls - Frequenz, Schallpegel und Zeit - werden vom Ohr in unterschiedlichen Kombinationen wahrgenommen. Die Empfindung der Tonhöhe ist abhängig von Frequenz und Zeit (sog. melodische Ebene); für die Lautstärke sind Schallpegel und Zeit maßgeblich (dynamische Ebene); und für die Wahrnehmung der Klangfarbe sind Frequenz und Schallpegel bestimmend (harmonische Ebene). Die Tonhöhe scheidet das Ohr wiederum in gleichmäßig und Vibrato. Bei der Lautstärkewahrnehmung beobachtet es zeitliche Schwankungen. Es ist sehr sensibel für Toneinsätze, den so genannten Attacken der Welle, und ob diese weich oder prägnant beginnen. Die Weise des Ausklingens bestimmt ebenfalls den akustischen Eindruck. Hierbei spielt insbesondere das Echo eine Rolle, über das der umgebende Raum wahrgenommen wird. Das Ohr vermag aus dem reflektierten Schall sowohl auf die Raumgröße zu schließen als auch auf die Oberflächen und Materialien der Reflektoren. Die akustische Qualität z.B. eines Konzertsaals wird maßgeblich vom Nachhall reguliert.

Über die unterschiedliche Wahrnehmung der beiden Ohren entsteht dem Hörenden ein akustischer 3D Eindruck. Geräusche über 300 Hz können in allen Raumrichtungen geortet werden, insbesondere wenn die Signale kurz und prägnant sind. Zeitdifferenzen von 0,03 ms werden bereits registriert, woraus sich in der Horizontalen eine Ortungsschärfe von 3° - 4,5° ergibt. Das Wahrnehmungsfeld ist als solches omnidirektional gegenüber etwa dem Gesichtsfeld, das gerichtet und auf 180° beschränkt ist. In seinem Klangraum vermag sich das Ohr auf einzelne Geräusche mittels des intentionalen Hörens zu konzentrieren. Dieses Phänomen ist bekannt unter dem Namen »Cocktailparty-Effekt«: Selbst bei sehr schlechtem Signal-Rausch-Verhältnis gelingt dem Hörenden noch eine Signaltrennung, so dass eine einzelne Stimme aus dem allgemeinen Gewirr heraus verstanden werden kann. Diese Trennung gelingt vor allem für jene Geräusche, die dem Hörenden vertraut sind und die er sich selbständig vorstellen kann.

Aber nicht nur der Klangraum, der uns während einer Cocktailparty umgibt, fordert das Ohr. Tagtäglich sind wir umgeben von vielfältigsten Geräuschen wie Straßenlärm, Glockengeläut, Windrauschen etc., die sich überlagern und das Ohr mit einem hochdifferenzierten »Soundscape« konfrontieren. Diese Hintergrundgeräusche werden meistens verdrängt über das intentionale Hören, gleichwohl beeinflussen sie maßgeblich unsere Ort- und Zeitwahrnehmung. Hier sei auf die Arbeiten von R. Murray Schafer verwiesen, der in seinem »World Soundscape Project«<sup>3</sup> an vielen Orten den Klangraum aufgenommen und katalogisiert hat. Seine Untersuchungen zeigen, dass der Soundscape über örtliche und zeitliche Änderung die Orientierung in Raum und Zeit beeinflusst. Das Hören des Soundscape rhythmisiert Tagesabläufe und Jahreszeiten, unterliegt historischen Entwicklungen und informiert direkt und indirekt über das räumliche Umfeld, über die Verortung in Region, Land und Kontinent.

---

<sup>3</sup> Vgl. u.a. Murray R. Schafer, *The Tuning of the World*, New York 1977.

## **Typologisch: Ein Vergleich zwischen Sehen und Hören**

Angesichts der physiologischen Leistungsfähigkeit des Ohres und seiner Bedeutung für die Orientierung in Raum und Zeit wird einmal mehr deutlich, dass die Vernachlässigung des Akustischen in der Wissenschaft nicht unbedingt klug ist. Wenn wir hier Abhilfe schaffen und das Hören für die naturwissenschaftliche Praxis vorschlagen wollen, dann müssen wir uns darüber klar werden, was man vom Ohr erwarten darf. Es fragt sich, was das Hören hören kann, was aber das Sehen nicht sehen. Wie unterscheidet sich also das Hörbare gegenüber dem Sichtbaren und der akustische gegenüber dem visuellen Darstellungsraum? Wo liegen die Stärken des Akustischen, wo die des Visuellen? Wann lohnt der Übertritt von der einen in die andere Sinnessphäre?<sup>4</sup>

Auge und Ohr sind zunächst einmal beides Fernsinne, sie sehen und hören über die Entfernung hinweg auf die Welt. Das Auge sucht hierbei die Klarheit und Genauigkeit, es stellt seine Linse scharf auf die Dinge. Es will mit klarem Blick die Gegenwart erfassen und sucht in dieser Gegenwart die Gegenstände. Die Gegenstände erfährt es als Gegenüber, das Gegenüber erblickt es in seiner Oberfläche. Jenseits der Oberfläche dringt der Blick nicht ein, Materialität ist für das Auge opak. Dieser fehlenden Bindung an das Innere eines Körpers entspricht die distanzierende Wirkung des Sehens. Das Auge ist der affektloseste unter den Sinnen. Es erlebt die Welt aus der Distanz.

Ganz anders das Ohr. Durch Klänge werden Menschen in Erregung versetzt. An die Stelle der Distanzierung tritt die Eindringlichkeit, und so ist auch bei räumlicher Entfernung die Hörerfahrung immer eine unmittelbare. Der Klangeindruck macht nicht halt an den Grenzen des Leibes, es durchdringt den Hörenden. Anders als das Auge, das ein Lid zum Verschließen besitzt, ist das Ohr seiner Wahrnehmung ununterbrochen ausgesetzt, ist ungeschützt. Die Selbstwahrnehmung des Hörens kennt nicht die Grenzen des Sehens, es hört gleichzeitig die eigenen inneren und die fremden äußeren Geräusche. In diesem Sinne verwischt sich für das Ohr die Unterscheidung zwischen innen und außen.

Da in der Klangerzeugung der ganze Körper schwingt, hört das Ohr immer auch in das Kontinuum des Gehörten hinein. Es nimmt das Material des Gegenstands wahr, auch wenn die Oberfläche etwas anderes zu sein vorgibt. So ist es beispielsweise üblich, auf Dinge zu klopfen und auf ihre Resonanz zu hören, um deren Material zu prüfen. Oder man denke an jene hölzernen Kirchen, die kunstvoll marmoriert, also steinern wirken wollen, und deren warme Akustik den Baustoff dennoch enthüllt.

Am Klang erkennen wir den Zustand und die »Stimmung« unseres Gegenübers. Wir horchen auf die Vertrauenswürdigkeit oder die Gefährlichkeit der uns umgebenden Objekte. Die Ohren dienen wie die Augen maßgeblich zur Orientierung in der Welt. Über Stimme und Hören findet die Kommunikation der Sprache statt, weshalb dem Hören immer wieder eine besondere soziale und kommunikative Bedeutung zugesprochen wird.

---

<sup>4</sup> Es gibt zu diesem Vergleich einige interessante Literatur. Besonders erwähnenswert scheinen uns folgende Arbeiten: Don Ihde, *Listening and Voice. A Phenomenology of Sound*, Athens (Oh.) 1976; Marshall und Eric McLuhan, *Laws of Media*, Toronto 1988; Georg Picht, *Kunst und Mythos*, Stuttgart 1990<sup>3</sup>; Maurice Merleau-Ponty, *Phänomenologie der Wahrnehmung*, Berlin 1966; Helmuth Plessner, *Anthropologie der Sinne*, in: Ders., *Philosophische Anthropologie*, Frankfurt a. M. 1970, S. 187-251; Martin Heidegger, *Logos* (Heraklit, Fragment 50), in: Ders., *Vorträge und Aufsätze*, Pfullingen 1954, S. 207-229.

Die Distanzbildung der Seherfahrung geht mit einer Objektivierung der Dinge einher. Das Auge sieht die Welt als eine Welt von Objekten, die Dinge liegen vor ihm<sup>5</sup>. Dem entspricht beim Hören die Tendenz zur Personifizierung. Das Ohr ordnet die Geräusche, die es erlebt, einem Ding als dessen Stimme zu. Es hört, wie die Dinge zu ihm sprechen. Die Hörerfahrung ist omnidirektional, denn das Ohr kann sich auch nach hinten oder zur Seite hin konzentrieren. Während der Blick immer nach vorn gerichtet ist und abtastet, was voraus liegt, gibt das Ohr keiner Raumrichtung die Präferenz. Insofern braucht das Hören seine Position nicht zu ändern, um zu fokussieren; das Auge muss sich hinwenden, muss das Objekt der Wahrnehmung in die Mitte des Blickfelds rücken, um sich zu konzentrieren.

»Im Sehen erfassen wir das Skelett der Dinge, im Hören ihren Puls.«<sup>6</sup> Das Hörbare vergeht in der Zeit, das Sichtbare verharrt darin. Das Sehen ist der Sinn der Identifizierung und Stabilisierung. Insofern ist jeder Blick ein Blick der Medusa, einer, der die Gegenstände für den Moment versteinert. Das Auge erblickt die Welt als »All-at-once experience«. Und nicht umsonst lässt es sich im Film von nur 20 Standbildern pro Sekunde bereits eine Bewegung vorgaukeln<sup>7</sup>. Doch so schwer dem Sehen auch die Wahrnehmung des Veränderlichen fällt, so geschärft ist sein Blick für das Unveränderliche. Strukturen entdeckt das Auge mit großer Meisterschaft. Dem Immanenten, dem A-Zeitlichen gilt seine Aufmerksamkeit. Für das Ohr hingegen gibt es ohne die Zeit keinen Ton. Es kennt kein Äquivalent zum Standbild. Ja, selbst noch wenn man das Ohr einem konstanten Sinuston aussetzt, wird es diesen nach einer Weile aus der Wahrnehmung verdrängen. Für das Hören zählt die zeitliche Veränderung, die Dynamik. Es ist der Wächter für Flüchtliges, Vergängliches und Ereignishaftes. Die Zeitwahrnehmung ist dabei äußerst präzise. Von Toscanini etwa berichtet man, dass er ein Musikstück bei dessen Neuaufnahme auch nach über zehn Jahren wieder auf die Millisekunde gleich schnell dirigieren konnte.

Die Wirkung und die Bedeutung eines Tons wird bestimmt von den Tönen, die vorangegangen sind, und denen, die sich ankündigen. Das Hören erwächst aus der Spannung zwischen Erinnerung und Erwartung. In den zeitlichen Modi entspricht dem Ohr daher der Wechsel zwischen Vergangenheit und Zukunft; in beiden Richtungen. Für das Auge zählt hingegen das für den Moment Anwesende, das Gegenwärtige. Ihm ordnet man daher den zeitlichen Modus des Präsens zu.

In der Selbstwahrnehmung des Ichs zeigt sich die Stärke des einen Sinns als die Schwäche des je anderen. So friert das Sehen für das Ich die Zeit ein: Ich sehe immer nur ein Jetzt. Das Hören bezieht allen Raum auf einen Punkt: Ich höre alles bezogen auf mein Hier. Man erkennt, wie einseitig das Sehen wird, sobald es sich zeitlich bestimmen soll, und andererseits das Hören, wenn es sich im Raum zu verorten hat.

Fassen wir die typologischen Einsichten noch einmal mit Hinblick auf ihre Anwendung für wissenschaftliche Experimente zusammen, so ergeben sich für die beiden Sinnesorgane jeweils unterschiedliche Kompetenzbereiche. In den Fragen, in denen es um räumliche Dimensionierung und Vermessung geht, ist das Auge wohl

---

<sup>5</sup> Diesem Gegenüber der Objekte entspricht auf der anderen Seite der Begriff des Subjekts. Im Subjekt nimmt sich das Auge selber wahr. Der Vorwurf, das Hören sei subjektiv, ist allerdings insofern fragwürdig, weil damit eine nicht sichtbare Sphäre nach den Kriterien des Visuellen gemessen wird.

<sup>6</sup> Erwin Straus, *Vom Sinn der Sinne*, Göttingen 1956, S. 398.

<sup>7</sup> Akustische Daten werden hingegen üblicherweise mit 44.1 kHz aufgenommen (d.i. 44.100 Samples pro Sekunde), damit sich das gehörte Fragment für das Ohr zum zeitlichen Fluss verschleift.

kaum zu überbieten. Es ist stark in Fragen der Struktur, der Unveränderlichkeit. Es präzisiert Oberflächenphänomene. Es beherrscht das Präsens. Wenn es hingegen um das Studium von Ereignissen geht, von zeitlichen Prozessen, deren Zukunft aus der Vergangenheit her bestimmt wird, empfiehlt sich das Ohr. Wenn man in das Kontinuum hineinzuforschen gedenkt (ohne es aufzuschneiden und so das Innere zur Oberfläche zu machen), wenn man einen Gesamtzustand zu verstehen sucht, einen Zusammenklang, dann verspricht das Hören den leichteren Zugang. In diesem Sinne lassen sich die Anwendungsfelder, die je für das Auge und für das Ohr zugänglich sind, unter folgende Stichwörter stellen:

Das Auge orientiert sich im Raum, es hat seine Stärken in der Wahrnehmung von statischen oder wiederholbaren Aspekten eines Phänomens. Es vermag besonders gut Strukturen zu entdecken und zu analysieren. Der Blick ist gerichtet und studiert die Oberfläche eines Objekts. Sein Modus der Zeit ist die Gegenwart, das Präsens.

Das Ohr orientiert sich in der Zeit, es hat seine Stärken in der Wahrnehmung von Prozessen. Das Hören erlaubt, zeitveränderliche Aspekte und Dynamik eines Phänomens zu studieren. Es nimmt omnidirektional wahr und findet ununterbrochen statt. Das Ohr kann in das Kontinuum, in die Materialität eines Körpers hineinhorchen. Sein Zeitmodus ist der Wechsel zwischen Vergangenheit und Zukunft, die Spannung zwischen Erinnerung und Erwartung.

### **Technisch: Zu den Verfahren der Sonifikation und Audifikation**

Will man diese allgemeinen Erkenntnisse nun auf die naturwissenschaftliche Praxis anwenden, so sollten also Experiment und Darstellung von Messergebnissen so eingerichtet werden, dass das Auge und das Ohr je ihre volle Kompetenz entfalten. Ein Beispiel für den erfolgreichen Einsatz von Hören und Sehen fanden wir im eingangs zitierten Beispiel. Galilei nutzte sein Auge für die Messung der räumlichen Entfernung, sein Ohr hingegen für die der zeitlichen Abstände. Nun lässt sich aber die Hör- und Sichtbarkeit im Experiment noch perfektionieren. Dazu muss man auf der einen Seite die Visualisierungstechnik verbessern. Das brauchen wir hier nicht weiter zu auszuführen, da sich die Wissenschaft seit langem erfolgreich mit grafischen Darstellungsmethoden beschäftigt<sup>8</sup>. Auf der anderen Seite braucht es guter Techniken des Hörbarmachens, denen wir uns nun zuwenden wollen.

Betrachten wir noch einmal Galilei. Er installierte sich mit der Darmsaite ein Messinstrument, das registrierte, wann eine Kugel durchlief. Dem Ereignis der Messung ist damit ein Zupfen der Saite assoziiert, d.h. dem Datum korrespondiert ein Ton. Man kann diese Herangehensweise verallgemeinern und fordern, dass bestimmte Daten bestimmte Töne erzeugen sollen. So wie im Koordinatensystem jedem Datum ein Punkt zugeordnet wird, soll jedem Datum auch ein Ton entsprechen. Wenn bei der visuellen Darstellung üblicherweise in die zwei bzw. drei Raumrichtungen des graphischen Koordinatensystems abgebildet wird, so lässt sich das Äquivalent in drei

---

<sup>8</sup> Inzwischen gibt es eigene Visualisierungsinstitute, die nur visuelle Techniken der Darstellung entwickeln und evaluieren. »Information Visualization« bzw. »Scientific Visualization« sind insbesondere in der Computerforschung viel diskutiert. Es gibt unzählige Bücher und eigene Fachzeitschriften, die sich nur diesem Problem widmen.

Dimensionen des akustischen Raums denken, z.B. in Tonhöhe, Lautstärke und Klangfarbe. Dies Verfahren nennt man Sonifikation<sup>9</sup>.

»Sonification is the use of nonspeech audio to convey information«. So definieren es die Mitglieder der »International Community of Auditory Display« in ihrem »Sonification Report«<sup>10</sup>. Dabei geht es ihnen unter dem Stichwort »making sense of data« vordringlich um die Aufbereitung von Messmaterial zugunsten einer optimalen Interpretierbarkeit. Angesichts der Mehrdimensionalität des akustischen Raums - neben Tonhöhe, Lautstärke und Klangfarbe kommen auch noch Ort, Rhythmus und Dauer in Betracht - verlangt die Zuordnung dabei allerlei Entscheidungen. Wie muss welches Datum repräsentiert werden, damit der gesamte Datensatz eine Aussage enthüllt? Für visuelle Darstellungsformen gibt es hier bereits Methoden, man denke bloß an die Techniken von kartesischen oder Polarkoordinaten, von linearen oder logarithmischen Skalen. Im Akustischen fehlt es den Wissenschaftlern noch an darstellerischem Raffinement. Ein Forschungsschwerpunkt ist daher das akustische Design.

Einige praktische Beispiele seien hier genannt: Das Geiger-Müller-Zählrohr tönt bei jedem radioaktiven Ereignis mit einem Knacksen. Im Operationssaal wird der Herzschlag mit einem Piepton signalisiert, um die Ärzte über die Regelmäßigkeit des Blutfluss zu informieren (Stichwort »awareness«). Akustisches Feedback, so wie es z.B. auf manchen Betriebssystemen des PCs installiert ist, gehört indirekt auch in diesen Anwendungsbereich. Wenn sehr viele Parameter gleichzeitig zu interpretieren sind, kann man einige räumlich und farblich visualisieren und andere sonifizieren. Dies wurde u.a. mit Bohrlochdaten in der Erdölindustrie versucht, wo neben Graphen und »Color-Mapping« zusätzlich die Amplitudenwerte eines weiteren Parameters auf Pulsfrequenzen »gemapt« wurden<sup>11</sup>.

Ein weiteres Beispiel ist die Sonifikation von DNA-Folgen, die derzeit in Zeitschriften wie »New Scientist« diskutiert wird. Hier werden den Aminosäuren Töne der Tonleiter zugeordnet und dann die DNA-Kette in ihrer Folge abgespielt. Die Begeisterung, mit der die Presse diesen vermeintlichen »Sound of Life« aufgreift, erinnert daran, dass die Zuordnung von Daten und Tönen begeisterte historische Vorgänger hat. Wenn Pythagoras einst eine Harmonie der Sphären forderte, so versuchte er ebenfalls, jeder Planetenumlaufbahn einen Ton der Tonleiter zuzuordnen. Viele sind ihm bei der Planetensonifikation gefolgt, selbst bedeutende Wissenschaftler wie Kepler haben hierfür eigens Systeme entwickelt. Mit der Idee der Sphärenharmonie geht allerdings oft auch noch ein esoterischer Anspruch einher, eine Suche nach dem »Nada Brahma«, wie es Joachim Ernst Behrendt vertritt.

Es gibt noch einen anderen Ansatz, Daten in Töne zu verwandeln, der uns gleich attraktiver erscheint. Seit der Erfindung des Phonographen durch Edison 1878, und damit der Möglichkeit, Schallwellen zu speichern und wiederzugeben, besteht eine weitere Option, wissenschaftliche Daten anzuhören. Wenn man auf eine Wachs- walze statt der Schallwellen eine Messkurve kontinuierlich aufzeichnet, so lässt sich diese selbstverständlich auch in den Phonographen spannen und direkt abspielen. Die modernen Methoden der digitalen Speicherung machen die Transformation noch ein-

---

<sup>9</sup> Vgl. Gregory Kramer, Preface, in: Ders. (Hg.), Auditory Display. Sonification, Audification, and Auditory Interfaces, Reading (Mass.) 1994, S. XXVI f.

<sup>10</sup> 1997 veröffentlicht: <http://www.icad.org/websiteV2.0/References/nsf.html>

<sup>11</sup> Weitere Beispiele finden sich bei Stephen Barras und Gregory Kramer, Using Sonification, in: Multimedia Systems (7) 1999, S. 23-31.

facher. Man registriert die Amplitudenwerte beispielsweise eines EKG oder EEG und gibt sie als Audio-File weiter an einen Verstärker und Lautsprecher. Schon hört man die Schwingung der Kurve. Dieses Verfahren nennt man Audifikation<sup>12</sup>.

Die Audifikation hat gegenüber der Sonifikation den Vorteil, nicht auf eine subjektive Entscheidung bei der Zuordnung angewiesen zu sein. Statt ein Datum mit einem Ton zu identifizieren, produzieren die Daten selbst die Töne. Man vermeidet, die Klänge allein durch die Zuweisungsvorschrift bereits derart zu determinieren, dass die Klänge hinterher das vermitteln, was zuvor hineininterpretiert wurde.

Ohne Frage tönen audifizierte Kurven anders, als ihre visuelle Repräsentation aussieht. Obwohl es sich um dieselben Daten handelt, stechen im Sichtbaren andere Merkmale hervor und werden andere Aspekte freigelegt als im Hörbaren. Zwei Beispiele: Das Ohr unterscheidet deutlich zwischen dem Stimmen der Instrumente zu Anfang eines Konzerts, der eigentlichen Musik währenddessen und dem anschließenden Applaus des Publikums. Betrachtet man aber die entsprechenden Oszillogramme eines Mitschnitts, so will sich die Änderung der rauschartigen Registrierung dem Auge nicht entdecken. Umgekehrt gibt es Kurven, deren Form sich visuell stark unterscheidet, die aber beinahe gleich klingen. Das gilt vor allem für Wellen mit gleichem Frequenzspektrum aber unterschiedlichen Phaseneinsätzen<sup>13</sup>.

Um Daten sinnvoll audifizieren zu können, müssen die Messwerte bestimmten Anforderungen entsprechen: Erstens müssen die Daten kontinuierlich gegenüber einem zweiten, stetig steigenden Wert gemessen werden, damit sie der Amplitude und Zeit der Tonerzeugung zugeordnet werden können. Dieser zweite Messwert ist meist die Zeit, die Messung dann eine Zeitreihe. Wenn die Daten nicht kontinuierlich aufgezeichnet wurden, wie das z.B. für die Digitaltechnik zwingend ist, so müssen die Sample-Raten hoch genug sein, um keine Aliasing-Effekte zu erzeugen. Zweitens klingen die Messungen nur dann, wenn der erste Wert gegenüber dem zweiten schwingt. Eine allein ansteigende oder nur abfallende Kurve kann kein Geräusch erzeugen. Unstetigkeiten einer Kurve verursachen unangenehme Knackgeräusche. Und drittens müssen genügend Daten vorhanden sein, damit die Kurve Zeit hat, ihren Klang zu entfalten. Die Bedeutung eines Tons enthüllt sich, wie gesagt, maßgeblich über die vorangegangenen und die nachfolgenden bzw. über Attacke und Nachhall.

Damit die Daten klingen bzw. überhaupt hörbar werden, sind zwei grundsätzliche Anpassungen vonnöten. Erstens ist die Amplitude der Messung durch die Auflösung des Dynamikbereichs des Ohrs festgelegt. In der Audiotechnik wird mit maximal 16 bit registriert, an die auch die Messdaten angepasst werden müssen. Zweitens ist die Abspielgeschwindigkeit der Messung durch den Frequenzbereich des Ohres bestimmt. Die audifizierten Messungen müssen im Bereich zwischen 16 Hz und 20.000 Hz liegen, damit sie akustisch studiert werden können. Ist all dies gegeben, so kann nun das Ohr forschend hören.

---

<sup>12</sup> Der älteste Hinweis für die Idee der Audifikation, den wir bisher gefunden haben, stammt von Rainer Maria Rilke, *Ur-Geräusch* (1919), in: *Ders.: Sämtliche Werke* Bd. 6, Frankfurt am Main 1987, S. 1085-1093. In diesem Text sinniert Rilke über den Klang, der aus einer Transformation der Buchten der Kronennaht am menschlichen Schädel entsteht.

<sup>13</sup> Vgl. zu beiden Beispielen die Abbildungen in Bergmann, Schäfer, *Lehrbuch der Experimentalphysik*, Bd. 1: *Mechanik, Relativität, Wärme*, Berlin 1998<sup>11</sup>, S. 812 bzw. 801.

## Experimentell: Über das Hören von Erdbeben

Wir wollen nun anhand unseres eigenen Forschungsgebiets der »Auditory Seismology« die technischen und typologischen Überlegungen noch einmal durchspielen<sup>14</sup>. Dazu wird als erstes die Audifikation der seismischen Daten beschrieben, dann die Reflektion über den Sinn dieser Hörbarmachung.

In der Erdbebenforschung ist das wichtigste Messinstrument das Seismometer, das gegen Ende des 19. Jahrhunderts entwickelt wurde und mit dem sich die quantitative Seismologie begründete. Es registriert die Schwingungen des Erdbodens und zeichnet sie als Seismogramm auf eine ablaufende Papierrolle. Allerdings ist die Visualisierung der Bodenbewegung, wie wir gesehen haben, nicht zwingend, so dass man die Daten auch direkt in die Schwingung einer Lautsprechermembran übersetzen kann. Es müssen zur sinnvollen Audifikation lediglich drei Anpassungen vorgenommen werden: Da das Frequenzspektrum der Erdbeben zwischen 0,003 - 20 Hz liegt, also deutlich unterhalb des Hörbereichs, müssen die Daten beschleunigt wiedergegeben werden. Kompressionsfaktoren von rund 2.000 haben sich dabei als sinnvoll erwiesen. Zweitens besitzen Erdbeben einen größeren Dynamikbereich als unser Ohr, weshalb in der Seismologie mit 24 bit, teilweise sogar mit 32 bit registriert wird, um die Signale von großen Erdbeben ebenso deutlich zu differenzieren wie den täglichen »Noise«. Für die Audifikation nun müssen die Amplitudenwerte auf 16 bit komprimiert werden. Und drittens handelt es sich bei seismischen Wellen um Körperwellen, die dreidimensional schwingen. Über den Lautsprecher kann aber immer nur eine Spur abgespielt werden, weshalb wir im allgemeinen nur die vertikale Z-Komponente verwenden<sup>15</sup>. Sind diese Anpassungen vorgenommen, so vermag das Ohr hineinzuhören in den Klangraum tektonischer und vulkanischer Aktivität der Erde<sup>16</sup>.

Vergleicht man nun die beiden Darstellungsformen, die visuelle mit der akustischen gemäß der im dritten Abschnitt ausgeführten Entgegensetzung, so bestätigen sich die Stärken des Sehens in den Erfolgen der Geophysik: In den letzten hundert Jahren hat man ein gutes Verständnis gewonnen für die Strukturen der Erde. Die Zonen seismischer Gefährdung an der Erdoberfläche sind detailliert kartiert worden. Dank der visuellen Darstellungsform ist es möglich, die Ankunftszeiten von Erdbebenwellen - selbst noch von Beben auf der anderen Seite des Globus - präzise zu bestimmen und aus diesen dann den Ort und die Zeit eines Ereignisses zu errechnen. Die visuellen Modelle beschreiben das Unveränderliche und das Gegenwärtige des Phänomens Erdbeben recht verlässlich.

Schwieriger tut sich hingegen die Seismologie mit der Interpretation von Prozessen und Fragestellungen zeitlicher Dauer, insbesondere mit dem Problem der Erdbebenvorhersage. Die Tatsache, dass sich mit jedem Beben die Voraussetzungen für das nächste ändern, verhindert eine wiederholbare Versuchsanordnung. Nirgends in der Tektonik gibt es reproduzierbare Ereignisse. Wenn die Zukunft aber nicht der

---

<sup>14</sup> Zur Einführung in die »Auditory Seismology« vgl. Florian Dombois, Using Audification in Planetary Seismology, in: Proceedings of the 2001 International Conference on Auditory Display, Espoo 29.7.-1.8.2001, S. 227-230, sowie die dortigen weiteren Literaturhinweise.

<sup>15</sup> Die Seismologie registriert in die drei Raumrichtungen: vertikal, Nord-Süd und Ost-West. Akustisch unterschieden sich die drei Registrierungen meist deutlich weniger als in ihrer visuellen Repräsentation. In unseren Untersuchungen bevorzugen wir die Vertikalkomponente.

<sup>16</sup> Vgl. die Hörbeispiele auf <http://www.gmd.de/auditory-seismology> bzw. die Audio-CD Florian Dombois, Kobe 16.1.1995, 20:46 ut (Earthquake Sounds. Vol. 1), Köln 2002 (im Druck).

Vergangenheit gleicht, dann ist die visuelle Erkenntnis in Nöten. Weitere Schwierigkeiten bereitet das Verständnis des Herdmechanismus. Erdbeben sind ein Phänomen des Kontinuums. Sie geschehen im Untergrund und es gibt keine Möglichkeit, ein Beben direkt am Hypozenter zu beobachten. Der anatomische Blick in die Erde ist verwehrt, nicht nur aus technischen Gründen. Man kann grundsätzlich keine tektonische Verwerfung freilegen, ohne dass dadurch die seismische Aktivität aufgehoben bzw. umgelenkt würde.

Erinnert man sich der Kompetenzen des Ohrs für die Wahrnehmung des Kontinuums, der Dynamik und der Spannung zwischen Erinnerung und Erwartung, so darf man berechnete Hoffnung haben, dass die Audifikation hier Neues erschließt. So wie der Mensch ein gutes Gehör für Materialien besitzt und für das Kontinuum eines Klangkörpers, so lässt sich das Ohr auch trainieren für den unterirdischen Klangraum der Erde. Sedimente haben ein anderes Resonanzverhalten als etwa eine Basaltkuppe. Tektonische Beben an Subduktionszonen klingen anders als Beben an mittelozeanischen Rücken, wo die Platten sich voneinander entfernen<sup>17</sup>. Die Omnidirektionalität des Hörens zeigt sich in der Fähigkeit, alle seismische Aktivität wahrzunehmen, die an einem Messpunkt ankommt, gegenüber der Tendenz des Visuellen, die Darstellung von Ereignissen auf eine Region zu beschränken z.B. in den Karten seismischer Kataloge. Die visuelle Darstellung verhüllt nicht nur die zeitliche Sequenz, sondern verbirgt auch den Einlauf von Wellen entfernter Erdbeben. Phänomene wie Relaisbeben sind so im Visuellen schwer zugänglich, im akustischen aber unmittelbar präsent. Hier hört man die lokale Mikrobebentätigkeit ebenso wie ein tieffrequentes Grollen, wenn sich starke Beben auf der anderen Seite des Globus ereignen. Der Zustand einer Aktivitätszone wird vermittelt der akustischen Darstellung somit sowohl in seiner dynamischen als auch in seiner zeitlichen Entwicklung voll erfahrbar. Wo das Auge das Seismogramm auf den Moment des Ersteinsatzes reduziert, hört das Ohr Attacke, Höhepunkt und Nachhall des Ereignisses. Hier entwickeln sich bereits neue Vorstellungen. Und wenn die Erfahrung gereift ist, dann wird man vielleicht sogar eines Tages in der Lage sein, vorauszuhören; so wie jene Matrosen, die das Ohr an den Mast legen, um zu hören, ob dieser in Gefahr ist zu brechen bzw. ob Segel gereift werden müssen.

## **Menschlich: Vom Umgang mit wissenschaftlichen Klängen und Geräuschen**

Aus der eigenen Erfahrung können wir berichten, dass der freizügige Umgang mit den Darstellungsmedien und insbesondere die Arbeit mit Sound mit allerlei Schwierigkeiten zu kämpfen hat. Es beginnt bei der Ausrüstung des Büros, für das Lautsprecher, Verstärker etc. nicht zur üblichen Infrastruktur gehören. Sind diese beschafft, so kollidiert die Arbeit schnell mit den Büronachbarn, allein schon der Lautstärke wegen. Weicht man auf Kopfhörer aus, so besteht die Gefahr der Isolation. Dann hat das Hören Zeit nötig. Es muss geduldig gehorcht werden, der schnelle Überblick ist nicht möglich. Es braucht die Gewöhnung an die audifizierte Klänge, denen im allgemeinen keine physikalische Erfahrung entspricht. Ähnlich wie das Lesen und Zeichnen von Graphen einstudiert, so will auch der Umgang mit den Tönen erlernt sein. Kriterien müssen entwickelt werden, ebenso eine angemessene Sprache.

<sup>17</sup> Beispiele dafür, wie unterschiedlich diese klingen, finden sich bei <http://www.gmd.de/auditory-seismology/tectonics.html> bzw. [site-response.html](http://www.gmd.de/auditory-seismology/site-response.html)

Hat man sich selbst mit einem wissenschaftlichen Hören eingerichtet, so besteht die nächste nicht unerhebliche Hürde in der Vermittlung der eigenen Ergebnisse. Sounds müssen angehört werden, damit sie diskutiert werden können. Wissenschaftliche Publikationsformen sind aber klassischerweise rein visuell. Man kann Geräusche nicht in Büchern oder Zeitschriften abdrucken. Besucht man Konferenzen und will das akustische Material vorstellen, so sind meist keine oder nur unbefriedigende Audioanlagen vorhanden. Die Lautsprecher klingen nicht, und die Nebengeräusche etwa der Projektoren sind oft so laut, dass akustische Details davon überdeckt werden. Während man Grafiken und Texte als Handout verteilen kann und diese gleich gelesen werden können, braucht es für akustische Aufzeichnungen stets eines Abspielgeräts.

Gleichwohl kündigt sich ein Wechsel bereits an. Wie auch immer man zu den Entwicklungen der Computertechnik stehen mag, die akustische Aufnahme und Speicherung hat sich mit der Digitalisierung um vieles vereinfacht. Computer erlauben die billige und einfache Weiterverarbeitung von akustischen Daten. Und seitdem sich die wissenschaftliche Publikation und Korrespondenz zunehmend des Internets bedient, ist es überdies möglich geworden, Klänge dort zu versenden, zu publizieren und damit weltweit zugänglich zu machen. Gerade dieser Aspekt könnte sich als besonders folgenreich erweisen. Bedenkt man die Umwälzungen nach der Erfindung des Buchdrucks, so darf man - auch ohne gleich den vollen Vergleich veranschlagen zu wollen - schließen, dass die neuen Publikationsformen einen nicht unbedeutenden Einfluss auf die Verbreitung und Bedeutung von Sounds nehmen werden. Durch die schnelle und einfache Verbreitung wird sich die Frage nach dem Hören für die Wissenschaft vermehrt stellen. Man darf hoffen, dass die Bevorzugung des Sehens über kurz oder lang in einen differenzierteren und angemesseneren Umgang mit unseren Sinnen mündet. Unsere Fürsprache für das wissenschaftliche Hören ist dabei als Teil eines übergreifenden Konzepts zu verstehen, das den bewussten Umgang des Wissenschaftlers mit seinen Darstellungsmedien anstrebt. Der Einsatz akustischer Darstellungsmittel macht nämlich nur da Sinn, wo Aspekte eines Phänomens enthüllt werden sollen, die in den oben ausgeführten Kompetenzbereich des Ohres fallen. Gleiches gilt für die visuellen Darstellungsformen. Es kann nicht darum gehen, das Visualprimat durch ein Auralprimat zu ersetzen.

Im dritten Buch der Metamorphosen beschreibt Ovid die Geschichte von Narzissus und Echo. Als diese sich begegnen, hat Narzissus sein Spiegelbild noch nicht im See erblickt, und der Körper der Nymphe Echo ist noch nicht zu Stein geworden. Echo verliebt sich in Narzissus, und für einen Moment scheint die Verbindung möglich. Wie hat wohl die Stimme von Narzissus geklungen, wie Echos Gestalt ausgesehen?