

ZUR DISKUSSION

Klang und Unschärfe
Eine Reaktion auf Boris Voigt¹

Daniel Muzzolini

- 1 Boris Voigt, »Über das Verhältnis von Musik und Klang«, in: *Musiktheorie* 26 (2011), S. 69–86.
- 2 Ebenda, S. 70.
- 3 Johann Mattheson, *Aristoxeni iunior, Phtonologia systematica, Versuch einer systematischen Klanglehre*, Hamburg 1748.
- 4 Ebenda, S. 36.
- 5 Ebenda, S. 38.
- 6 Ebenda, S. 37.
- 7 Ebenda, S. 39.

Erfreulicherweise hat *MusikTheorie* dem Thema Klang ein ganzes Heft gewidmet. Insbesondere der Beitrag von Boris Voigt, der sich unter anderem mit der Definition musikalischer Grundbegriffe befasst, ist sehr anregend. Ich möchte im Folgenden einige der aufgeworfenen Punkte zu den Begriffen ›Ton‹, ›Klang‹ und ›Geräusch‹ an Hand von Zitaten aus Voigts Aufsatz unter physikalisch/mathematischen und theoriegeschichtlichen Aspekten kritisch beleuchten und weiterdenken.

»Um eine Ontologie von Klang hat die Philosophie sich bisher nur wenig bemüht.«²

Bereits 1748 kommt Johann Mattheson unter dem Pseudonym Arstoxeni iunior in *Phonologia systematica, Versuch einer systematischen Klanglehre*³ zu einer ähnlichen Aussage, nachdem er die Bedeutung der Begriffe ›Laut‹, ›Hall‹, ›Schall‹, ›Klang‹ und ›Ton‹ erörtert und das »Kunst-Wort *Ton-Klang*« vorschlägt, das »die *gesangfähige Dehnung* eines einzelnen Klanges, ohne seine Vorgänger oder Nachfolger in Betracht zu ziehen [...] anzeigen«⁴, wofür sich keiner der anderen genannten Begriffe eigne:

»Was aber nun derselbe Ton-Klang eigentlich sey, und wie seine umschränkte Beschreibung oder *definitio* lauten müße? das ist eine große, in keiner Akustik, Physik noch Metaphysik, wohin die Sache doch gehöret, vielweniger in irgend einer Ton-Lehre, woselbst sie doch unentbehrlich fällt, bis itzo, so viel ich weiß, richtig und vollkommen beantwortete Frage. Das mag ein ungemeyner Mangel heißen: in einer Wissenschaft das *primum principium* nicht zu kennen!«⁵

Und ihm entgeht auch nicht die teils inkongruente Vieldeutigkeit der Wörter in verschiedenen Sprachen:

»Es fehlt uns nicht nur im Griechischen, [...] sondern auch im Lateinischen, ja, hauptsächlich im Deutschen, an verschiedenen solchen Kunst-Wörtern, da deren ein einziges oft, aus Noth, vier- und mehrerley Dinge andeuten muß, unter denen eben die Wörter: *tonoV* und *vox*, samt andern, mit obenan stehen.«⁶

Das Zusammenspiel von physikalischer Erzeugung, Übertragung durch die Luft, Rezeption durch das Gehör und Empfindung durch die Seele kommt in Matthesons eigener Definition für das musikalische ›*primum principium*‹ schön zur Geltung:

»Der Ton-Klang sey also ein geistiges unsichtbares Wesen, welches durch die allerzärtteste, innerliche Zusammenreibung der feinsten Theilchen eines dazu bequemen Werkzeuges rege gemacht, mittelst der äusern Luft zum Ohre geführt, und in der hörenden Seele empfunden wird. Kurz: Der Klang ist eine hörbare Substanz, die keinen Körper hat. Solches Aneinanderreiben und das darauf folgende Erzitern geschieht so heftig geschwind in einem gerührten, hohlen und dichten Werkzeuge, daß es kaum anders, als durch die bewegte leidende Luft, vermerket werden mag.«⁷

MUSIKTHEORIE
ZEITSCHRIFT FÜR MUSIKWISSENSCHAFT
26. Jg. | Heft 3 | 2011

Die Formulierung »hörbare Substanz, die keinen Körper hat« ist möglicherweise durch René Descartes inspiriert.⁸ Die Charakterisierung der Luft als »leidend« ist nicht ungewöhnlich. Sie meint, dass sich die Luft passiv verhält, also hauptsächlich als (lineares) Übertragungsmedium fungiert.

»Der Begriff »Klang« leidet an Unschärfe und Mehrdeutigkeit. [...] Um einen analytisch verwendbaren Begriff von Klang zu gewinnen, ist daher noch einige definitorische Arbeit zu verrichten. Die für die nötigen Grenzbestimmungen in Betracht zu ziehenden Begriffe sind »Schall«, »Geräusch« und »Ton«. Ihre genaue Definition und die Darstellung ihres Verhältnisses zueinander erlauben ein besseres Verständnis der Funktionen, die akustische Ereignisse in der Musik zu erfüllen vermögen. [...] Alle denkbaren sich in einem elastischen Medium ausbreitenden und vom Gehörsinn empfindbaren Wellen rechnen zum Schall, gleichgültig wie sie beschaffen sein mögen. [...] Phänomenologisch ist Schall [...] der am wenigsten ergreifbare der genannten Begriffe, denn davon, wie das Gehörte qualitativ erlebt wird, abstrahiert er. Klang und Geräusch hingegen beziehen sich sowohl auf physikalische Merkmale bestimmter Schallereignisse als auch auf die erlebten auditiven Qualitäten.«⁹

Warum an Unschärfe und Mehrdeutigkeit leiden? Sind Begriffe nicht prinzipiell unscharf und mehrdeutig? Und gereicht ihnen die Mehrdeutigkeit und Unschärfe nicht sogar zum Vorteil? Voigt scheint hier davon auszugehen, dass die Mehrdeutigkeit durch Angabe von »genauen Definitionen« reduziert werden kann, und dass dies wünschenswert ist.

»Unter Geräusch werden in physikalischer Hinsicht Schallereignisse verstanden, die durch unregelmäßige, nicht-periodische Schwingungen hervorgerufen werden. Geräuschartige Schallereignisse weisen keine exakte Tonhöhe auf, zumindest aber stellt Tonhöhe keine Eigenschaft dar, die ein Geräusch anschaulich charakterisieren würde. Geräusche weisen gewöhnlich eine aus verschiedenen Schwingungen komplex zusammengesetzte Struktur auf, die auditiv gestalthaft aufgefasst wird.

Im Unterschied zum Geräusch erfasst der Begriff »Klang« im engeren Sinne regelmäßige, periodische Schwingungen, die eine eindeutig identifizierbare und prägnante Tonhöhe aufweisen. Auf dieses Merkmal verweist die musikalische Terminologie mit dem Begriff des Tons. Streng genommen wäre jedoch als Ton lediglich eine Sinusschwingung zu bezeichnen. Ein einfacheres Schallereignis lässt sich physikalisch nicht denken, weder ist die Frequenz einer Welle ohne irgendeine Druckänderung im schwingenden Medium möglich noch die Amplitude ohne eine Schwingung in einer Zeiteinheit. Frequenz und Amplitude sind daher unselbständige Momente des Schallgeschehens. Klänge hingegen weisen physikalisch wie phänomenologisch selbständige Momente auf. Einzelne ihrer Momente können fehlen, ohne dass sie aufhören, Klang zu sein. Beim Klang ist synchron zum Grundton ein einfaches Spektrum von Obertönen gegeben. Auditiv lassen sich Klänge sowohl als einheitliches Ganzes wahrnehmen, wie auch mit einiger Übung einzelne Obertöne identifizierbar sind. Diachron setzen sich Klänge aus Einschwingphase, steady state und Ausschwingphase zusammen. Auch hier können einzelne Momente auditiv wahrgenommen werden, indem das Bewusstsein seine Aufmerksamkeit auf sie richtet.«¹⁰

Die Unterscheidung Klang/Geräusch basiert gemäss Voigt aus physikalischer Sicht auf den beiden Dichotomien periodisch/aperiodisch und regelmäßig/unregelmäßig.

Während sich die Merkmale periodisch und unregelmäßig gegenseitig ausschließen, wenn die mathematische Definition der Periodizität¹¹ zu Grunde gelegt wird, ist die Merkmalskombination aperiodisch/regelmäßig denkbar und in vielen, wenn nicht den meisten Fällen auf Klänge anwendbar.

Vorerst ohne die Bestimmung der Sinusschwingung als psychologisches und physikalisches periodisches Elementarereignis zu hinterfragen, sind die meisten natürlichen Klänge, d.h. Schälle, die von klingenden Kör-

⁸ Vgl. René Descartes' *philosophische Werke*, Abteilung 2, Berlin 1870, S. 144–145.

⁹ Voigt, »Musik und Klang« (wie Anm. 1), S. 70–71.

¹⁰ Ebenda, S. 71–72.

¹¹ Eine Funktion $f(t)$ heißt periodisch, falls $f(t + T) = f(t)$ für eine Zeitdauer $T > 0$ und alle Zeitpunkte t . Dabei ist die kürzeste Periode T umgekehrt proportional zur Frequenz $n = 1/T$.

pern produziert werden, nicht periodisch. Die folgenden drei Argumente mögen dies verdeutlichen.

1. Periodische Signale sind definitionsgemäß von unendlicher Dauer. Reale Klänge sind zeitlich beschränkt.
2. Die Teiltonfrequenzen stehen nicht exakt im Verhältnis von kleinen ganzen Zahlen.
3. Die stationäre Phase kann von Schwankungen in der Hüllkurve überlagert sein, die sogar die Periodizität begrenzter Dauer zu Nichtemachen.

Argument 1 ist aus der Sicht der modernen Physik bemerkenswert. Die Problematik wird aber schon von Georg Simon Ohm und August Seebeck in den 1840er-Jahren erkannt. Dauer und Frequenz eines Signals stehen in einer Unschärfebeziehung im Sinne von Werner Heisenberg (1927). Dies besagt, dass nicht beide Merkmale gleichzeitig scharf bestimmbar sind. Je länger ein Sinuston dauert, desto genauer ist seine Frequenz bestimmbar. Und umgekehrt wird seine Frequenz zunehmend unscharf, je kürzer er ist, d.h. je genauer er in der Zeit lokalisiert ist. Deshalb mutiert der Klang zum Geräusch, wenn er in ein sehr kurzes Zeitfenster gezwängt wird.¹² Diese Unschärfe ist als mathematische Aussage über die Fourier-Transformation¹³ von Zeitfunktionen von der Physik und Gehörphysiologie unabhängig. Die Hörbarkeit der Unschärferelation wurde in den 1930er-Jahren erstmals diskutiert.¹⁴ Gleichbedeutend damit ist die Frage, wieweit die Frequenzverarbeitung durch das Gehör eine Umsetzung der mathematischen Fourier-Transformation darstellt. Sicher ist, dass die Basilarmembran als Schnittstelle zur neuronalen Weiterverarbeitung von Schall aus mechanischen Gründen nur eine limitierte Frequenzauflösung hat. Ein physikalisches Nadelspektrum erzeugt also immer ein kontinuierliches Aktivitätsmuster. Demzufolge kann die gehörte Höhe eines Einzeltons entgegen der Unschärferelation nicht beliebig scharf werden, wenn er beliebig in die Länge gezogen wird. Da es darüber hinaus auch frequenzabhängige physiologische Einschränkungen im Zeitbereich gibt, ist die an der Fourier-Transformation gewonnene Unschärferelation zumindest eine brauchbare Metapher für die prinzipielle Schwierigkeit, die musikalischen Grundbegriffe zu entkoppeln.

Argument 2 wird bereits gegen Ende des 18. Jahrhunderts von Ernst Florens Friedrich Chladni¹⁵ erkannt. Selbst wenn von der Endlichkeit ihrer Dauer abgesehen wird, sind reale Klänge in der Regel nicht periodisch. Nicht nur schwingende Platten und Glocken, sondern auch frei schwingende Saiten und angeblasene Röhren produzieren auf Grund ihrer Geometrie *inharmonische Teiltöne*, d.h. ihre Eigenfrequenzen stehen nicht genau im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen. Ergibt sich aus solchen Abweichungen ein irrationales Frequenzverhältnis, dann sind die zugehörigen Summensignale nicht periodisch. Das heißt, ihr Schwingungsverlauf wiederholt sich überhaupt nie, selbst dann nicht, wenn das Signal beliebig lang dauerte. Beispielsweise ergibt die Überlagerung zweier Sinusschwingungen, deren Frequenzen im Verhältnis des goldenen Schnittes

¹² Die Unschärferelation $\Delta t \cdot \Delta f = 1$, die die Zeit- und die Frequenzunschärfe aufeinander bezieht, ist eine präzise Aussage über einen unscharfen Sachverhalt.

¹³ Die Fourier-Transformation ist ein Verfahren, bei dem kontinuierliche Zeitsignale in kontinuierliche Frequenzspektren umgewandelt werden. Da diese Transformation umkehrbar ist, kann das ursprüngliche Signal aus dem Frequenzspektrum verlustfrei rekonstruiert werden. Der Satz von Jean Baptiste Joseph Fourier (1822) dagegen bezieht sich nur auf strikt periodische Signale mit diskreten Spektren.

¹⁴ G. W. Stewart, »Problems suggested by an uncertainty principle in acoustics«, in: *Journal of the Acoustical Society of America* 3 (1931), S. 325–329; Winston E. Kock, »On the principle of uncertainty in sound«, in: *Journal of the Acoustical Society of America* 7 (1935), S. 56–58.

¹⁵ Ernst Florens Friedrich Chladni, *Entdeckungen über die Theorie des Klanges*, Leipzig 1787, S. 70–71.

oder des gleichstufigen Tritonus stehen, aber auch leicht (irrational) verstimmte Oktaven oder Duodezimen, solche nicht periodische Schwingungen.¹⁶

Bei Saiten ist der Frequenzabstand der Teiltöne gegenüber den multiplen Verhältnissen systematisch leicht vergrößert, da wirkliche Saiten nicht unendlich dünn sind. Reale Saiten, insbesondere wenn sie verhältnismäßig kurz sind, schwingen nämlich eher wie dünne eingespannte Stäbe als wie ideale Saiten. Diese Inharmonizität kann bei konsonanten Zusammenklängen Teiltonschwebungen und Rauigkeit verursachen, aber auch wenn zwei auf den gleichen Ton eingestimmte Saiten unterschiedlich inharmonisch sind. Obschon ein Klavierton also nicht einmal während seiner stationären Phase periodisch ist, kann er als Einheit aufgefasst werden. Anders als bei Trompetentönen (mit permanenter Energiezufuhr) folgen im Klavierton die Teiltonfrequenzen und ihre Amplitudenverläufe Regeln¹⁷, denn sie lassen sich aus den Abmessungen der Saite, der Anschlagstelle und dem Impuls des Hammers zumindest näherungsweise voraussagen.¹⁸

Für derartige Schallereignisse wurde der Begriff der »quasiperiodischen Signale« eingeführt. Sie haben (während ihrer stationären Phase) ein nadelförmiges Frequenzspektrum. Das Theorem von Fourier in seiner ursprünglichen Form (1822) hingegen bezieht sich auf streng periodische Funktionen, ist also auf quasiperiodische Signale nicht direkt anwendbar. Ein vergleichbares Verfahren zur Berechnung der Teiltonfrequenzen und -amplituden wird erst in den 1920er Jahren gefunden, etwa zeitgleich mit der Entwicklung der kontinuierlichen Fourier-Transformation.¹⁹

Argument 3 wurde in den 1840er-Jahren von August Seebeck gegen Georg Simon Ohm vorgebracht. Die Debatte über die Zulässigkeit der Gleichsetzung von Sinusschwingungen und elementaren Tonempfindungen wird zu diesem Zeitpunkt erstmals vor dem Hintergrund des Satzes von Fourier diskutiert.²⁰ Wird ein Sinuston mit einer verhältnismäßig langsamen periodischen Hüllkurve moduliert, ergibt sich aus der Sinusperspektive ein Signal mit einer komplexen Teiltonstruktur. Das Ergebnis wird im Allgemeinen dennoch als einfacher Ton mit schwankender Lautstärke gehört.²¹

Die obigen drei Argumente abstrahieren vom Einschwingvorgang, obschon sein Fehlen oder seine Neutralisierung das Erkennen von Instrumentalklängen erheblich erschwert. Zu bedenken ist auch, dass streng periodische Schallereignisse schon nach kurzer Zeit als äußerst unangenehm empfunden werden. Positiv formuliert, der Reiz des allmählich verklingenden Klaviertons ist weitgehend seinen dynamischen Qualitäten geschuldet. Dazu gehört der Einschwingvorgang, bei dem sich der spätere quasiperiodische Verlauf noch nicht, weder physikalisch noch psychologisch, abzeichnet. In der stationären, quasiperiodischen Phase des Klangs sind die sich permanent ändernden Phasenbeziehungen der Teiltöne ein Grund, weshalb es sich lohnen kann, einem einzelnen Klavierton nachzuhorchen. Und im Zusammenklang solcher dauerhafter Töne ergeben

16 Ein zufällig gewähltes Frequenzverhältnis ist sogar mit »unendlich höherer« Wahrscheinlichkeit irrational als rational. Andererseits gibt es zu jedem Frequenzverhältnis beliebig gute rationale Approximationen. In einer endlichen Welt mit beschränkter Messgenauigkeit wird die Unterscheidung rational/irrational weitgehend gegenstandslos.

17 Voigt bezieht sich zwar auf Ludwig Wittgensteins *Philosophische Untersuchungen*, thematisiert aber nicht die dort immer wieder angesprochene Wechselbeziehung zwischen Regeln und Unschärfen: »Halte dich etwa hier auf.«

18 Hermann von Helmholtz hat Berechnungen für die ideale Saite in Abhängigkeit von der Stelle des Anschlags durchgeführt (*Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, Braunschweig 1863, S. 135).

19 Das Verfahren wird 1923 von H. Bohr entwickelt, vgl. Anatolij D. Myschkis, *Angewandte Mathematik für Physiker und Ingenieure*, Thun / Frankfurt a.M. 1981, S. 519–520.

20 Bereits im 18. Jahrhundert wird die Frage von Daniel Bernoulli und Leonhard Euler kontrovers beurteilt. Der Streit zwischen Ohm und Seebeck entzündet sich an den Tönen der Lochsirene, bei denen die Grundfrequenz nicht oder nicht wesentlich in Erscheinung tritt. Zur Ohm/Seebeck-Kontroverse vgl. auch Daniel Muzzolini, *Genealogie der Klangfarbe*, Bern 2006, S. 284–302.

21 August Seebeck, »Ueber die Definition des Tones«, in: Poggendorffs *Annalen der Physik und Chemie* 63 (1844), S. 353–368.

sich zwangsläufig – nicht nur bei den zeitgenössischen »irrationalen« Stimmungen, sondern auch bei Konsonanzen – Schwebungen und Rauigkeiten, die sich aus den komplexen Frequenzverhältnissen ableiten.

Dass Geräusche, auch wenn von ihrer endlichen Dauer abstrahiert wird, nicht periodisch sind, scheint auf den ersten Blick offensichtlich. Allerdings sind auch hier Einschränkungen nötig. Liegt die Grundfrequenz eines periodischen Signals unterhalb der Frequenzgrenze von etwa 20 Hz, dann ist die Gleichsetzung unzulässig. Aber auch bei hörbaren Grundfrequenzen kommt es, sobald mehrere Obertöne in ein kritisches Frequenzband²² fallen, zu »intermittierenden Tonempfindungen«²³, bei denen kein qualitativer Unterschied zwischen rationalen und irrationalen Frequenzverhältnissen auszumachen ist. Solche zusammengesetzten periodischen Signale können gleichzeitig einen Geräuschanteil und eine klare Tonhöhe haben. Solche Geräuschanteile sind nicht als Nebengeräusche wie Anblasgeräusch oder Kratzen des Bogens zu taxieren.

Umgekehrt können Geräusche, wenn man sie probehalber als breitbandige Frequenzspektren definiert, dennoch regelmäßig sein, wenn regelmäßig bedeutet, dass zu ihrer Definition klare Vorschriften oder Algorithmen genügen. Beispielsweise indem mathematische Formeln für die sie konstituierenden Frequenz-, Amplituden- und Phasenverläufe angegeben werden. So gesehen ist weißes Rauschen ein sehr einfaches regelmäßiges Geräusch, auch wenn der Signalverlauf im Detail ein stochastisches undurchschaubares Verhalten zeigt.

Zusammengefasst ist also schon die Erklärung der Grundbegriffe Geräusch, Klang und Ton ein äußerst schwieriges Unterfangen, auch dann wenn die Wahrnehmungsseite weitgehend ausgeblendet wird. Die Übernahme der physikalischen Begriffe Ton und Klang ist aus physikalisch/mathematischer Sicht nur für idealisierte Sachverhalte unproblematisch. Sobald reale Signale endlicher Dauer ins Spiel kommen, sind Mehrdeutigkeiten unvermeidlich, die zu den sprachlichen und wahrnehmungsbedingten Mehrdeutigkeiten dazukommen. Es ist deshalb wenig einleuchtend, dass in einer endlichen Welt Signale von unendlicher Dauer die konstituierenden Elemente sein sollen. Die moderne Mathematik trägt dem Rechnung und stellt eine Reihe von Frequenztransformationen zur Verfügung, die von unterschiedlichen endlichen diskreten oder kontinuierlichen »Elementarsignalen« (»mother wavelets«) ausgehen.²⁴

Wie oben angemerkt ist die Vieldeutigkeit der Begriffe Ton und Klang schon früh zum Beispiel von Mattheson und Chladni bemerkt worden, und die Art wie Voigt diese Termini im engeren Sinne verwendet, etabliert sich unter Physikern mit Helmholtz.²⁵ Voigts bereits zitierte Bemerkung »Streng genommen wäre jedoch als Ton lediglich eine Sinusschwingung zu bezeichnen. Ein einfacheres Schallereignis lässt sich physikalisch nicht denken« fordert zum Widerspruch heraus. Der Physiker Thomas Young postuliert 1800 als Elementarton eine symmetrische Dreiecksschwingung.²⁶ Aus mathematischer Sicht sind solche Schwingungen besonders einfach, denn ihr Verlauf ist innerhalb einer Periode abschnittsweise linear. Ein an zwei parallelen Platten elastisch reflektiertes Teilchen zeigt ein solches Schwingungsverhalten. Aus Sicht der »Dreieckstöne« sind »Sinus-

22 Zwei nahe gelegene Teiltöne fallen in ein kritisches Band, wenn sie an der Schnittstelle Basilarmembran/Gehörnerv (aus mechanischen Gründen) nicht trennscharf weiterverarbeitet werden können. Die zugehörigen Interferenzen werden je nach Frequenzabstand als Schwebung oder Rauigkeit empfunden. Im mittleren Tonhöhen- und Lautheitsbereich beträgt die Breite eines kritischen Bandes etwa eine kleine Terz. Demzufolge fallen benachbarte Obertöne ab etwa dem sechsten bereits in ein kritisches Band. Durch Anheben des Pegels werden die Interferenzbereiche vergrößert.

23 Helmholtz baut darauf seine Schwebungstheorie des Dissonanzempfindens auf.

24 Vgl. James S. Walker, *A Primer on Wavelets and their Scientific Applications*, Boca Raton 1999. Wavelet-Transformationen werden beispielsweise in Spracherkennungssoftware verwendet.

25 Hermann von Helmholtz, »Ueber die Klangfarbe der Vocale«, in: *Annalen der Physik und Chemie* 108 (1859), S. 282–283.

26 Thomas Young, »Outline of experiments and inquiries respecting sound and light«, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society* 1 (1800), S. 131, vgl. Muzzolini, *Genealogie* (wie Anm. 20), S. 302–305.

tonen« unendlich komplex und umgekehrt.²⁷ Bereits beim Grundbegriff Ton könnte demnach eine wittgensteinsche Kipffigur ausgemacht werden.

Dadurch wird Voigts Unterscheidung von selbständigen und unselbständigen Merkmalen des Schallgeschehens relativiert. Je nach zu Grunde gelegtem »Elementartone« erhalten Teiltonfrequenzen und -amplitude verschiedene Interpretationen. Der obertonfreie Sinuston ist ein ober-tonreicher Dreieckston, und ein bestimmter Wavelet-Typ ist aus der Sicht eines andern zusammengesetzt.²⁸

Vor der Erfindung der Technik der Partialtonzerlegung durch Fourier war die Periodizität oder etwas gröber die Wiederholungsrate der Nulldurchgänge diejenige Eigenschaft von Schwingungen, die mit der Tonhöhe assoziiert wurde.²⁹ Aber auch in neuerer Zeit wird die Tonhöhenverarbeitung wieder vermehrt mit zeitlicher Auswertung von Signalverläufen in Verbindung gebracht.³⁰

Das Gesagte scheint den Begriff der »Fundamentalkategorie«³¹ zu unterlaufen. Das »Nicht-Weiter-Auflösbare« wird zu einer Perspektivenfrage, ähnlich wie Goethe in seiner Farbenlehre Isaacs Newtons Deutung der zusammengesetzten Natur des weißen Lichts zeitlich nicht akzeptieren wollte. Auch wenn Goethe bei seinen naturwissenschaftlichen Zeitgenossen nur Kopfschütteln hervorrief, ist Newtons Theorie des weißen Lichts nur eine von möglicherweise vielen Erklärungen, die mit den Phänomenen in Übereinstimmung steht.

»Die notwendigen Wesensmomente der in reiner Allgemeinheit gefassten Gattung des Elementarklangs sind Lautstärke, Dauer, Timbre, Klanghöhe, Richtung und Distanz. Es ist nicht möglich, dass ein einfacher Klang oder ein aus solchen zusammengesetzter (komplexer) Klang eines dieser Momente nicht enthält oder weitere auditive Elemente enthält.« [Daniel Schmicking, *Hören und Klang. Empirisch phänomenologische Untersuchungen*, Würzburg 2003, S. 260]

An gemerkt sei dazu, dass der Begriff »Klanghöhe« nicht notwendig die exakte Tonhöhe meint, sondern ein Tonhöhenpektrum. Damit lässt sich auch vage »Höhe« von Geräuschen erfassen, Tonhöhe bildet einen Grenzwert der Klanghöhe im Sinne Schmickings.³²

Hier sind sowohl Schmicking als auch Voigt unklar. Ist »Klanghöhe« ein Parameter, der durch eine einzige Zahl zu charakterisieren ist? Gehören die nicht explizierten Parameter »Richtung« und »Distanz« in diesen Kontext, in die Raumakustik oder beziehen sie sich gar auf zeitliche Aspekte? Als skalare Größe genommen, ist die Übertragung der Klanghöhe auf Klangkomplexe fragwürdig. Wird Klanghöhe hingegen als vektorielle Größe verstanden, die durch mehrere Zahlen zu charakterisieren ist, dann geht die einfache Ordnungsrelation (»mehr/weniger-Beziehung«) verloren und die Abgrenzung zum Begriff »Klangfarbe« (Timbre) wird problematisch, wenn Klangfarbe im Sinne von Helmholtz³³ auf das Frequenzspektrum während der stationären Phase bezogen wird.³⁴

Voigts Deutung der Klanghöhe als Spektrum kann auf die nicht nadelartigen Frequenzspektren von Geräuschen bezogen werden. Schmalbandige Geräusche werden damit zum Ton, wenn die Breite eines einzelnen Frequenzbandes gegen Null konvergiert. Deshalb der Verweis auf Grenzwerte. Versucht man die Klanghöhe eines Klangkomplexes mit einer einzigen Zahl zu charakterisieren, so bieten sich als konkurrierende

27 Tatsächlich lassen sich Sinusschwingungen durch Superposition von Dreiecksschwingungen in multiplen Frequenzen gewinnen, nicht nur umgekehrt die Dreiecksschwingungen aus den Sinusschwingungen. Young weist auf diese wechselseitige Symmetrie hin (»Outline of experiments« [wie Anm. 26], S. 133).

28 Vgl. Walker, *A Primer on Wavelets* (wie Anm. 25).

29 Der Zusammenhang zwischen Tonhöhe und Frequenz wird mit Marin Mersenne (1637) zum Standard.

30 J. F. Schouten / R. J. Ritsma / B. Lopes Cardozo, »Pitch of the Residue«, in: *Journal of the Acoustical Society of America* 34 (1962), S. 1418–1424; Gerald Langner, »Temporal Processing of Pitch in the Auditory System«, in: *Journal of New Music Research* 26 (1997), S. 116–132; Martin Ebeling, *Verschmelzung und neuronale Autokorrelation als Grundlage einer Konsonanztheorie*, Frankfurt a.M. 2007. Langner plädiert für eine sekundäre Tonhöhenverarbeitung, die im Anschluss an die örtliche Frequenzanalyse im Innenohr die Zeitstruktur neuronaler Signale einbezieht. Damit lassen sich Tonempfindungen zu Frequenzen erklären, die im Innenohr nicht (als Sinustöne) vorkommen.

31 Voigt, »Musik und Klang« (wie Anm. 1), S. 69.

32 Ebenda, S. 73.

33 Helmholtz, *Die Lehre von den Tonempfindungen* (wie Anm. 18), S. 195–196.

34 Für Schönberg sind die Verhältnisse klar: »Die Klanghöhe ist nichts anderes als Klangfarbe, gemessen in einer Richtung« (Arnold Schönberg, *Harmonielehre*, Wien 1911, 1966, S. 503). Klanghöhe wäre also ein Aspekt der mehrdimensionalen Klangfarbe.

35 Der Schwerpunkt ist gemäß psychoakustischen Versuchen relevant für die Klangfarbempfindung (Schärfe) und braucht im Spektrum nicht prominent vorzukommen; vgl. John M. Grey / John W. Gordon, »Perceptual effects of spectral modifications on musical timbres«, in: *Journal of the Acoustical Society of America* 63 (1978), S. 1496–1497.

36 Delikat sind auch zyklische Aspekte der Tonhöhenempfindung; vgl. R. N. Shepard, »Circularity of relative pitch«, in: *Journal of the Acoustical Society of America* 36 (1964).

37 Voigt, »Musik und Klang« (wie Anm. 1), S. 74.

38 Fred Lehndahl, »Timbral hierarchies«, in: *Contemporary Music Review* 2 (1987), S. 135–160.

39 Peter Gärdenfors, *Conceptual Spaces. The Geometry of Thought*, Cambridge, Massachusetts 2004, S. 87–92. Gärdenfors beschreibt mathematische Verfahren (Vronotesselation), die das Zusammenspiel zwischen Prototypen und ihrer Lokalisierung in Räumen mit niedriger Dimension regeln.

Kennzahlen die am stärksten hervortretende Teiltonfrequenz, die tiefste Frequenz oder der Schwerpunkt des Spektrums³⁵ an. Es ist dabei zu bedenken, dass die Beschreibung von Spektren als Kurven im Frequenz/Amplituden-Raum eine naturgemäß höherdimensionale Angelegenheit ist. Die Beschreibung durch den Schwerpunkt oder den Modus des Spektrums und die Halbwertsbreite wird deshalb der Sache kaum gerecht, und es bleibt zu fragen, ob die Eigenschaft Klanghöhe tatsächlich ein unverzichtbares Merkmal von Klängen sein soll.³⁶

»Hier liegt die in der Philosophie lang vertraute Streitfrage um das Verhältnis begrifflicher Grenzen zu kontinuierlichen Übergängen in der äußeren Welt vor. Natürliche Kategorien wie Klang und Geräusch, so wie sie im Alltag verwendet werden, entbehren keineswegs jeder Realität. Vielmehr stellen sie Kategorien mit unscharfen Grenzen dar. Sie erweisen sich für einen Kern typischer Fälle als zuverlässig, nicht aber in den unscharfen Randbereichen, innerhalb derer sie sich als zu grob erweisen.«³⁷

Nicht nur im Alltag werden Kategorien mit unscharfen Rändern gewinnbringend eingesetzt. Als Beispiele seien die Prototyptheorien von Fred Lehndahl³⁸ und Peter Gärdenfors' »conceptual spaces«³⁹ genannt. Ob natürliche Kategorien im Grenzbereich »zu grob« sind, mag bezweifelt werden. Im Gegenteil könnten die begrifflichen Unschärfen im Sinne von Dahlhaus den unscharfen Phänomenen durchaus adäquat sein. Schließlich herrscht darüber, ob die Welt zwingend kontinuierlich zu denken ist, seit dem Bestehen der Quantenphysik Uneinigkeit. Es gibt Physiker und Mathematiker, die das Kontinuum an den Ort des Denkens verbannen und nur diskrete Zustände und diskontinuierliche Übergänge für »wirklich« halten.