Grundtonhörer? Obertonhörer?

Hörtypen und ihre Instrumente

Wilfried Gruhn, Elke Hofmann und Peter Schneider

„... das Gehör ist doch eines Musikers ganzer Verstand!" – so beschließt Arnold Schönberg seine „Harmonielehre" (1911), in der er harmonische und tonale Ordnungen nicht mehr nur aus den Gesetzen der Musiktheorie und Akustik ableitet, sondern sie letztlich ästhetisch begründet, deren musikalische Gültigkeit also dem kritischen Gehör des Musikers unterstellt. Gehörbildung, wie sie in jeder Studienordnung der Musikerausbildung verankert ist, müsste also viel mehr sein als methodisches „Ear-training", indem sie auf die Bildung des Hörens als der letzten sinngebenden Instanz musikalischer Bedeutung zielt.

Hören und Verstehen verlangen Denken und Erkennen, also einen Vorgang, bei dem den sensorischen Reizen (Tönen, Klängen, Geräuschen) ein struktureller und funktionaler Sinn zugeordnet wird. Der amerikanische Musikpsychologe Edwin Gordon hat diesen Vorgang *audiation* genannt.[1] Hörenlernen hieße demnach, musikalisch Denken zu erlernen. Denn was wir als Musik, also als Ton oder Klang, Melodie oder Rhythmus, Form oder Farbe wahrnehmen, entsteht erst in unserem Kopf und stellt eine Leistung des phänomenalen Bewusstseins dar. Wie es zu qualitativen Empfindungsunterschieden kommt und wie Menschen ganz verschieden auf musikalische Reize reagieren, hat MusikerInnen und MedizinerInnen,[2] PsychologInnen und PädagogInnen seit Langem beschäftigt. Wir wollen daher Hören und Hörer im Lichte neurophysiologischer Forschung neu bestimmen.

GRUNDLAGEN DER WAHRNEHMUNG

In Bruce Goldsteins *Wahrnehmungspsychologie* (1997) wird das Kapitel über das Hören mit einem Bild eingeleitet, das die Situation des Hörens veranschaulichen soll (Abb. 1, siehe Seite 14). Zu sehen ist dabei ein See mit Booten in ländlicher Umgebung. Im Vordergrund befestigt ein Beobachter jeweils ein Taschentuch über zwei kurzen Kanälen. Die Frage lautet: „Kann man feststellen, was sich auf einem See abspielt, indem man beobachtet, wie sich die Taschentücher bewegen, wenn Wellen in die Kanäle gelangen?"[3] Spontan würden wir dies sicher verneinen; denn wie soll es möglich sein, aus der Wellenbewegung des Wassers auf die Vorgänge auf dem See zu schließen? Aber tatsächlich entspricht dies genau der Situation des Hörens, bei dem wir aus einfachen Luftschwingungen auf komplexe Klangereignisse schließen.

Mit seiner bahnbrechenden *Lehre von den Tonempfindungen* hatte Hermann von Helm-

Foto: Inken Kuntze-Osterwind

holtz 1863 die Grundlage für eine physiologische Akustik als Grenzgebiet der Musikwissenschaft gelegt und damit vornehmlich physiologische Begründungen für seine Theorie zur Tonwahrnehmung geliefert.[4] Darin unterschied er zwei Grade der bewussten Wahrnehmung. Am Beispiel der Obertonwahrnehmung untersuchte er, ob das Obertonspektrum nur einheitlich als Klangfarbe gehört (*perzipiert*) werden könne oder ob die Aufmerksamkeit sich auch gesondert auf die mitschwingenden Teiltöne richte (diese *apperzipiere*).[5] Damit führte er eine psychoakustische Differenzierung bewusster Tonempfindungen ein, die zwischen einer eher unmittelbar ganzheitlichen und einer analytisch-synthetischen Wahrnehmung unterschied, wofür er dann nach den physiologischen Voraussetzungen suchte.

Neuere Erkenntnisse der Wahrnehmungspsychologie messen den physiologischen Bedingungen jedoch eine geringere Bedeutung bei, weil die neuronalen physiologischen Reaktionen nicht unmittelbar mit der wahrgenommenen Außenwelt in Verbindung stehen und diese nicht im wörtlichen Sinne „abbilden" können. Vielmehr sind die Modalität (Hören, Sehen, Schmecken etc.) und die Qualität der Wahrnehmung (Tonhöhe, Lautheit) ein Konstrukt unseres Gehirns.[6]

Wie ist das zu verstehen? Schallwellen gelangen über die Gehörgänge des äußeren und des Mittelohrs in das Innenohr, wo mechanische Schwingungen in elektrochemische Signale umgewandelt werden, die dann in die Hörrinde (auditorischer Cortex) gelangen, wo entsprechende Nervenzellen auf diese Signale reagieren. Die Sinnesrezeptoren wirken dabei wie Linsen, die für begrenzte Frequenzbereiche zuständig sind und bestimmte Bedingungen erfordern. Das Ohr benötigt einen Mindestschalldruck (über der Hörschwelle) und eine Mindestdauer von ca. acht Millisekunden, damit die neuronalen Mechanismen den einzelnen Reiz mit einer

Abb. 1
Seelandschaft als Analogie zum Hören: Die beiden Kanäle können leicht mit den Gehörgängen in Verbindung gebracht werden, die über die Tücher als Membrane die Wasserbewegung erfahrbar machen

From GOLDSTEIN. *Sensation and Perception*, 7E. © 2007 Wadsworth, a part of Cengage Learning, Inc. Reproduced by permission. www.cengage.com/permissions

neuronalen Antwort auflösen können. Die Nervenzellen reagieren dabei auf Intensität und Zeitdauer mit entsprechenden zeitlichen Aktivitätsmustern.[7]

Das Ohr kann mechanische Schwingungen zwischen 16 und 20 000 Hertz aufnehmen; das Auge verarbeitet dagegen elektromagnetische Wellen zwischen 400 und 700 Nanometer. Was optisch als Farbe oder musikalisch als Ton erlebt wird, stellt also eine spezifische Reaktion bestimmter Sinnesrezeptoren auf unterschiedliche Frequenzbänder dar. Das bedeutet aber auch, dass unsere Sinnesorgane mit ihren Rezeptoren (z. B. den Haarzellen in der Schnecke oder den Stäbchen auf der Retina) äußere Erscheinungen nicht natürlich abbilden, sondern nur auf bestimmte physikalische und chemische Reize reagieren. Alles Weitere erzeugt unser Bewusstsein im Akt der Wahrnehmung auf Grund vorheriger Erfahrungen. „Beim Hören existiert keine Melodie; die physikalischen Ereignisse sind *Stärke* und *Frequenz* der ins Innenohr an die Haarzellen gelangenden Schalldruckwellen, die als solche überhaupt nichts mit Hören zu tun haben."[8] Hören findet also erst im Bewusstsein eines Menschen statt – eine hochkomplexe kognitive Leistung. Die physikalischen Erregungen, die den Vorgang des Hörens auslösen, sind davon völlig verschieden.

HÖREN ALS BEWUSSTER KOGNITIVER AKT

Wenn wir über Gehörbildung als Ausbildung des Hörvermögens sprechen, meinen wir nicht in erster Linie die Unterscheidungsfähigkeit kleinster Mikrointervalle oder die „Berechnung" von Distanzen (Intervallen) und zeitlichen Proportionen (Dauern, Metren), sondern die Aktivität bewussten Erkennens *von* etwas *als* etwas, die der musikalischen Bedeutungsgenerierung zugrunde liegt. Dies mag ein Beispiel aus der visuellen Wahrnehmung verdeutlichen. Was von der Darstellung in Abbildung 2 auf der Netzhaut erscheint, ist eine unregelmäßig verteilte Erregung bzw. Nicht-Erregung der Rezeptoren für weißes Licht. Daher nehmen wir zunächst auch nur eine unregelmäßige Verteilung von weißen und schwarzen Flecken wahr. Um auf dem Bild einen Dalmatiner zu erkennen, der an einem Rondell schnuppert, müssen wir das Fleckenmuster mit Erinnerungsbildern eines Dalmatiners in Beziehung setzen, das heißt das Bild des Dalmatiners entsteht erst beim Betrachten im phänomenalen Bewusstsein des Betrachters.

Hören im hier verstandenen Sinn als Erkennen bezeichnet demnach einen bewussten kognitiven Akt, der nur bedingt auf die neurophysiologische Reizverarbeitung zurückgeführt werden kann. Er wird durch Erfahrung gebildet und muss durch Lernen entwickelt werden. Schon eine flüchtige Beobachtung der Verhaltensweisen gegenüber Musik zeigt, wie unterschiedlich Menschen Musik wahrnehmen und auf sie reagieren, obwohl die neuronalen Reizverarbeitungsmechanismen immer die gleichen sind. Die unterschiedliche Wahrnehmung von Musik als Musik (und nicht als Geräusch oder Lärm) hängt dabei von Einstellungen und Erfahrungen ab, die wir im Umgang mit Musik erworben haben. Dabei spielen Erziehung und Ausbildung ebenso wie soziokulturelle Anpassungsvorgänge eine wichtige Rolle.

So zeigen Menschen beim Anhören von Musik ganz unterschiedliche Reaktionen, die sich motorisch (rhythmisches Fußwippen) oder visuell (Farbsehen), vegetativ (Gänsehaut, Herzklopfen), psychisch (Angst, Freude) oder kognitiv (Erkennen von Komponisten oder Werken) äußern können. Je nach dem eigenen Erkenntnisinteresse haben Forscher daher versucht, die verschiedenen Arten des Hörens in charakteristischen Hör- und Hörertypologien zusammenzufassen. Dabei richtete sich die Aufmerksamkeit auf das Hören in Abhängigkeit von der ästhetischen Beschaffenheit der Musik (Heinrich Besseler),[9] auf pädagogische Implikationen

Foto: R. C. James

Abb. 2
Auf schwarze und weiße Flecken reduziertes, grob gerastertes Bild eines Dalmatiners

jugendlicher Hörweisen (Michael Alt),[10] auf psychoakustische Grundlagen des Klangaufbaus (Albert Wellek),[11] auf soziale Verhaltensweisen (Theodor W. Adorno)[12] oder empirisch abgrenzbare Reaktionen (Klaus-Ernst Behne).[13] Die erwähnten Typologien beruhen alle auf der Beobachtung von äußeren Merkmalen, die deskriptiv oder experimentell untersucht wurden. Im Folgenden soll nun eine Bestimmung von Hörtypen nach inneren, neurophysiologischen Befunden erfolgen.

NEURONALE KLANGFORSCHUNG

Eine Forschergruppe der Neurologischen Universitätsklinik Heidelberg ging bei der Entwicklung eines neuen Klangwahrnehmungstests mit über 2 000 Probanden[14] von der Annahme aus, dass man zwei Möglichkeiten der Tonhöhenwahrnehmung unterscheiden kann – je nachdem, ob sich ein Hörer eher an der Grundfrequenz eines harmonischen Klangs (das heißt an dessen Grundton) oder an dessen Obertonstruktur orientiert. Es zeigt sich nämlich, dass sich die erlebte Tonhöhe um bis zu drei oder vier Oktaven unterscheidet, wenn derselbe Klang unterschiedlichen Hörerinnen und Hörern vorgespielt wird.

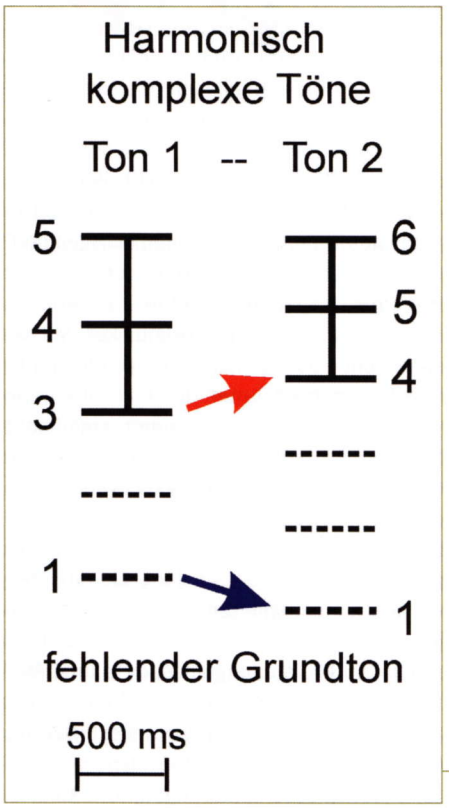
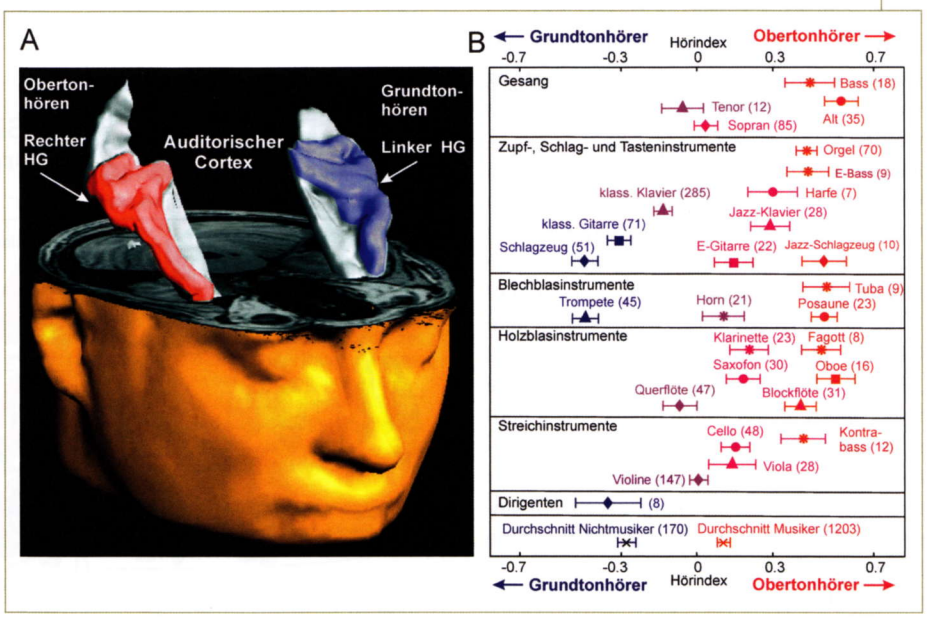


Abb. 3
Beispiel von zwei aufeinander folgenden komplexen Tönen. Durchgezogene Linien kennzeichnen die physikalisch vorhandenen Obertöne („Harmonische"), während die gestrichelten Linien die physikalisch nicht vorhandenen Töne darstellen, so auch den fehlenden Grundton (Nummer 1). Aufgabe ist es, die dominant gehörte Tonrichtung zu bestimmen

Abb. 4
(A) Rekonstruktion des auditorischen Cortex. Obertonhörer haben einen dominanten rechten Heschl Gyrus (HG, rot gefärbt), Grundtonhörer einen dominanten linken HG (blau)
(B) Abhängigkeit des Grund- und Obertonhörens von der Präferenz von Musikinstrumenten, dargestellt für insgesamt 1 203 MusikerInnen und 170 NichtmusikerInnen (Mittelwerte)



Bei diesen Tests wird die Richtung (aufsteigend – absteigend) für jeweils zwei aufeinander folgende Klänge bestimmt, bei denen die Grundfrequenz fehlt. Die präsentierten Obertongruppen weisen für die Klangfarben- und Tonhöhenwahrnehmung relevante Strukturmerkmale auf, wie sie charakteristisch für Instrumentalklänge und stimmhafte Sprachlaute sind. Durch eine gegenläufige Verschiebung der Obertongruppen und des fehlenden Grundtons ist es möglich, mit insgesamt 162 unterschiedlichen Tonpaaren den Grad an grund- oder obertonbezogenem Hören zu bestimmen (Abb. 3). Dabei wird für jeden Probanden ein „Hörindex der Klangwahrnehmung" berechnet, dessen Wertebereich zwischen -1 (nur Grundtöne gehört) und +1 (nur Obertöne gehört) liegt (vgl. Abb. 4 B).

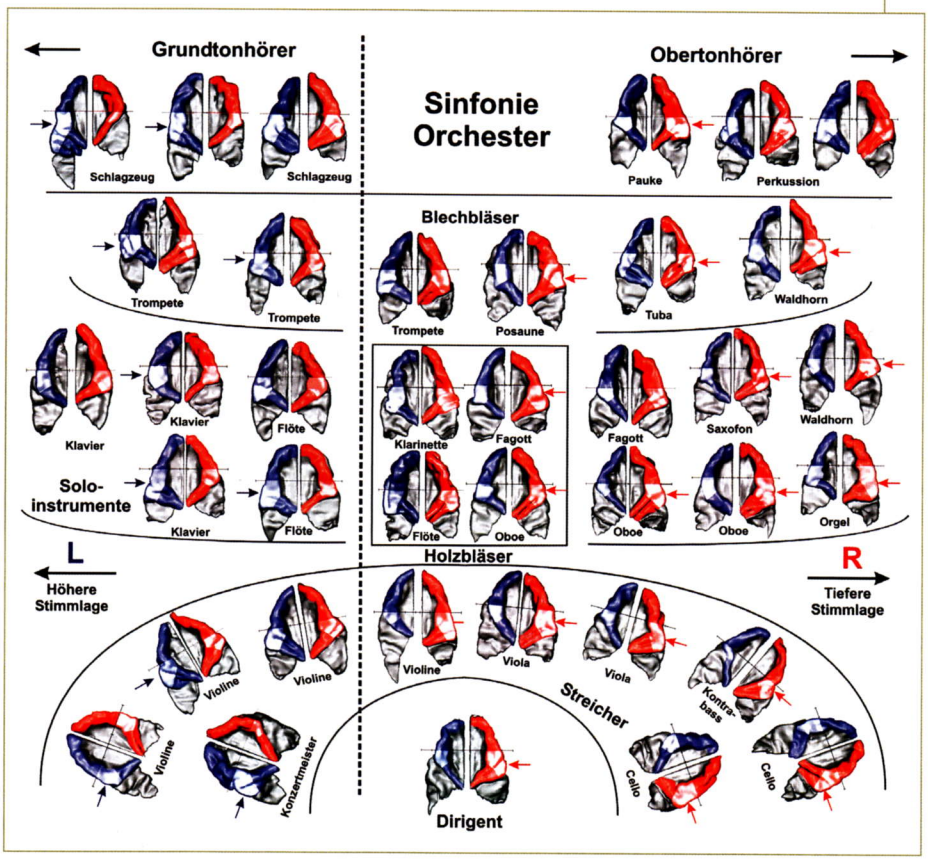
Sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen wurde eine sehr breite Verteilung der Höreigenschaften mit unterschiedlich verlaufenden Grenzen zwischen den individuellen Wahrnehmungsbereichen für Grundtöne, oktavierte Grundtöne und Spektraltöne gemessen. Ein gewisser Anteil an Hörerinnen und Hörern nimmt im gesamten Testbereich ausschließlich Obertöne oder Grundtöne wahr. Manche Hörer sind im tiefen Frequenzbereich Grundtonhörer und im hohen Frequenzbereich Obertonhörer, andere genau umgekehrt, sodass sich je nach Hörtyp völlig unterschiedliche Klangwahrnehmungsprofile ergeben.

Der kanadische Musikneurologe Robert J. Zatorre verwendete 2001 als Pionier der neuronalen Klangforschung die Positronenemissionstomografie (PET) als bildgebendes Verfahren, um die Aktivierung des auditorischen Cortex (Hörcortex) beim Hören von musikalischen Klängen in Abhängigkeit von spektralen und zeitlichen Aspekten zu untersuchen.[15] Dabei wurden zeitliche Verarbeitungsvorgänge (Tonlänge und Rhythmus) im linken Hörcortex, hingegen spektrale sowie musikspezifische Verarbeitungsvorgänge (Klangfarbe und Melodiekontur) im Hörcortex der rech-

ten Gehirnhälfte abgebildet. Eine genauere Analyse von Zatorres Daten ergab, dass der Schwerpunkt der Gehirnaktivierung im seitlichen Bereich des Heschl Gyrus (HG) lokalisiert ist (Abb. 4 A), einer Gehirnwindung im Zentrum des Hörcortex, die nach dem Wiener Anatom Richard Ladislaus Heschl benannt (1878), aber erst einige Jahrzehnte später als relevantes Areal für die primäre Verarbeitung von Klangparametern und Musik erkannt wurde.[16]

Da die Wahrnehmung des Grundtons einer Obertonreihe eher zeitliche Aspekte abbildet, nämlich die Periodenfrequenz der Schallwelle, die Wahrnehmung von Obertönen hingegen spektrale Aspekte, die mit der Struktur des Frequenzspektrums zusammenhängen, lag es nahe anzunehmen, dass „Grundtonhören" eine linkshemisphärische und „Obertonhören" eine rechtshemisphärische Eigenschaft sein müsste. Diese Annahme konnte im Heidelberger Forschungslabor mit dem Verfahren der Magnetoencephalografie (MEG) zur Messung der Gehirnströme beim Hören von musikalischen Klängen sowie der strukturellen Magnetresonanztomografie (MRT) zur Erfassung der anatomischen Struktur eindeutig belegt werden: Grundtonhörer wiesen einen größeren linken HG auf, Obertonhörer hingegen einen vergrößerten, dominanten rechten HG.

Abb. 5
Die Sitzordnung in einem modernen Sinfonieorchester folgt der Fähigkeit zur individuellen Tonwahrnehmung, die in der linken oder rechten Gehirnhälfte verankert ist. Grundtonhörer mit den hohen Instrumenten (z. B. Geige, Querflöte, Trompete) sitzen eher links vom Dirigenten und die Obertonhörer (z. B. Bratsche, Cello, Kontrabass, Fagott, Tuba) rechts



ZUSAMMENHANG VON HÖREN UND INSTRUMENT

Interessanterweise zeigte sich ein direkter Zusammenhang zwischen dem dominanten Hörmodus und der Präferenz für bestimmte Musikinstrumente (Abb. 4 B).[17] Grundtonhörer bevorzugten oft Musikinstrumente, die kurze, scharfe oder impulsive Töne produzieren – Schlagzeug, Gitarre, Klavier, Trompete, Querflöte oder hohe Soloinstrumente – und neigten darüber hinaus zu virtuoser, impulsiver, zeitlich synchroner Spielweise. Obertonhörer bevorzugten hingegen in der Regel Musikinstrumente, die länger ausgehaltene Töne mit charakteristischen Klangfarben oder Formanten im Spektrum produzieren – Streich-, Blech- oder Holzblasinstrumente in tieferen Lagen, Orgel oder Gesang. Innerhalb der einzelnen Instrumentenfamilien waren die Spielerinnen und Spieler der jeweiligen Instrumente mit dem höchsten Register (Geige, Querflöte, Trompete) die jeweils stärksten Grundtonhörer. Die Spielerinnen und Spieler der Instrumente mit dem tiefsten Register (Kontrabass, Fagott, Bassposaune, Tuba, Orgel) waren umgekehrt die stärksten Obertonhörer. Diese Tendenz war auch bei den Sängerinnen und Sängern deutlich zu sehen: Bässe und Altistinnen hörten stärker spektral als Sopranistinnen und Tenöre.

Jazzmusiker tanzten allerdings völlig aus der Reihe: Trotz perkussiver Instrumente waren fast alle Obertonhörer. Möglicherweise profitieren sie als Obertonhörer entscheidend von dem Vorteil, die charakteristischen Jazzakkorde („Voicings") in ihrem mehrschichtigen Aufbau von Septimen, Nonen, Undezimen und Tredezimen sauber auflösen zu können. Bei den Jazzschlagzeugern stand interessanterweise eher die klangfarbenbetonte Spielweise des Beckens im Mittelpunkt, im Gegensatz dazu bei den grundtonhörenden Drummern die durch die Base-Drum betonte Spielweise. Eine stark spektral hörende Paukistin beschrieb den Klang ihres Paukenschlags als 10- bis 20-stimmige „Melodieschichtung" und konnte nicht verstehen, dass andere Hörer (Grundtonhörer) nicht in der Lage waren, mehr als einen einzigen donnernden Gesamtklang zu erkennen.

Im Vergleich zu den getesteten 1 203 Musikerinnen und Musikern (Profimusiker, Musikstudierende oder viel musizierende Amateurmusiker) gab es unter der Kontrollgruppe von 170 Nichtmusikern einen signifikant höheren Prozentsatz von Grundtonhörern. Grundtonhörende Profimusiker waren allerdings keineswegs weniger musikalisch talentiert. Auch die Dirigenten waren überwiegend Grundtonhörer. Musiker, die das gleiche Instrument spielten, unterschieden sich je nach Hörertyp sowohl in ihrer musikalischen Klangvorstellung als auch in ihrer Musizierpraxis: Grundtonhörer spielten tendenziell lieber virtuos oder rhythmisch betont, Obertonhörer interessierten sich mehr für zarte Klangfarbenänderungen, die Gestal-

tung und bewusste Nachempfindung einzelner Klangereignisse, einen weicheren Tonansatz, historische Aufführungspraxis oder die Hervorhebung von polyfonen Melodieverläufen.

Musikergruppen an Musikhochschulen oder in Sinfonie- und Opernorchestern zeigten überraschenderweise tendenziell homogene Höreigenschaften. So waren die Orchestermusiker des Royal Liverpool Philharmonic Orchestra fast alle Obertonhörer, die Orchestermusiker des Mannheimer Nationaltheaters hingegen überwiegend Grundtonhörer. Auch die Jazz- und Popschulen zeigten eine komplementäre Verteilung: Die gemessenen Schlagzeuger der Popakademie in Mannheim waren alle Grundtonhörer, die Schlagzeuger der Frankfurter Musikwerkstatt hingegen zumeist Obertonhörer.

ANLAGEBEDINGT ODER ANGELERNT?

Hier stellt sich die ebenso spannende wie in ihren Konsequenzen möglicherweise weitreichende Frage, ob die gemessenen Unterschiede der Tonhöhenwahrnehmung anlagebedingt vorgegeben sind oder erst als Folge der Instrumentenwahl hervorgerufen und verstärkt werden. Wählt eine Musikerin also ihr Instrument, weil sie einem bestimmten Hörtyp entspricht oder wird sie erst dazu durch den langjährigen Umgang mit der besonderen Klangstruktur ihres Instruments? Beispielsweise spiegelt die Sitzordnung in einem modernen Sinfonieorchester eine auffällig homogene Gruppierung in Grundton- und Obertonhörer (Abb. 5). Die Spieler der hohen Diskant-Instrumente (erste Geige, Querflöte, Piccolo, Trompete) und zum Teil auch das Schlagwerk sitzen in der amerikanischen Aufstellung eher linkerhand vom Dirigenten, die Spieler der tieferen Melodieinstrumente (Bratsche, Kontrabass, Fagott, Tuba) eher rechterhand. Scheinbar ist es im sinfonischen Zusammenspiel günstiger, wenn in einer Instrumentengruppe gleichhörende Musikerinnen und Musiker zusammenspielen. In kleineren, kammermusikalischen Besetzungen ergänzen sich hingegen entgegengesetzte Hörtypen besser, idealerweise so, dass die Solisten grundtöniger hören und die Begleiter obertöniger.

Könnte es also sein, dass die Wahl eines Instruments, vielleicht sogar die Annahme bei einer Aufnahmeprüfung und letztlich sogar der Erfolg in einer Instrumentalklasse durch die jeweilige Hörweise beeinflusst werden? Jedenfalls lassen sich die vorläufigen Ergebnisse unserer Studie sowohl anlagebedingt als auch lernbedingt deuten.[18]

Weitere Quer- und Längsschnittstudien mit Musikstudierenden und Profimusikern sollen in Zukunft klären, inwieweit sich die individuellen Eigenschaften der Hörwahrnehmung auf die Art des Musizierens auswirken könnten. Die einwandfreie Identifizierung eines Hörtyps würde den erforderlichen Reifungsprozess des individuellen Klangwahrnehmungsprofils anstoßen und dadurch letztlich zur natürlichen Entfaltung der eigenen musikalischen Sprache beitragen. ▮

1 Edwin E. Gordon: *Learning Sequences in Music. A Contemporary Music Learning Theory*, Chicago 1980, 7 2007.
2 Die ersten Forscher, die sich mit der Untersuchung musikalischer Fähigkeiten beschäftigt haben, waren interessanterweise der Chirurg und Brahms-Freund Theodor Billroth (1896) und der Freiburger Physiologe Johannes von Kries (1926).
3 E. Bruce Goldstein: *Wahrnehmungspsychologie*, Heidelberg 1997, S. 352.
4 Hermann von Helmholtz: *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, Braunschweig 1863 (*Gesammelte Schriften*, Band 2, Hildesheim 2003).
5 Die begriffliche Unterscheidung in Perzeption und Apperzeption übernahm er von Leibniz (vgl. Helmholtz, S. 107 ff.).
6 vgl. Gerhard Roth: *Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen*, Frankfurt am Main 1996, S. 98.
7 ebd., S. 229.
8 ebd., S. 101.
9 Heinrich Besseler: „Grundfragen des musikalischen Hörens", in: *Jahrbuch der Musikbibliothek Peters*, 32, 1926, S. 35-52.
10 Michael Alt: *Die Erziehung zum Musikhören: eine Darstellung der Typen des musikalischen Genießens und Wertens beim Jugendlichen und ihrer pädagogischen Bedeutung*, Leipzig 1935.
11 Albert Wellek: *Typologie der Musikbegabung im deutschen Volke*, München 1939.
12 Theodor W. Adorno: *Einleitung in die Musiksoziologie*, Frankfurt am Main 1962.
13 Klaus-Ernst Behne: *Hörertypologien*, Regensburg 1986.
14 Peter Schneider et al.: „Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians", in: *Nature Neuroscience*, 5 (7), 2002, S. 688-694; Peter Schneider et al.: „Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference", in: *Nature Neuroscience*, 8 (9), 2005, S. 1241-1247.
15 Robert Zatorre et al.: „Spectral and temporal processing in human auditory cortex", in: *Cerebral Cortex* 11, 2001, S. 946-953.
16 Richard L. Heschl: *Über die vordere quere Schläfenwindung*, Wien 1878.
17 vgl. Zatorre et al.
18 Annemarie Seither-Preisler et al.: „Tone sequences with conflicting fundamental pitch and timbre changes are heard differently by musicians and nonmusicians", in: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33 (3), 2007, S. 743-751.

Dr. Wilfried Gruhn

ist emeritierter Professor für Musikpädagogik an der Musikhochschule in Freiburg.

Prof. Elke Hofmann

ist seit 2001 hauptamtliche Lehrkraft für Gehörbildung an der Hochschule für Musik Basel und Leiterin des Masterstudiengangs Komposition/Musiktheorie. Sie arbeitete viele Jahre mit der Forschungsgruppe „Musik und Gehirn" des Universitätsklinikums Heidelberg zusammen.

Dr. Peter Schneider

ist Kirchenmusiker, Physiker und wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Neurologischen Klinik der Universität Heidelberg. Er habilitiert an der medizinischen Fakultät Heidelberg über „Neurologische Grundlagen der individuellen Klangwahrnehmung und Hörfähigkeit bei Musikern und Nichtmusikern".