

HNO

Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie
Deutsche Akademie für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie

Elektronischer Sonderdruck für

A. Cramer

Ein Service von Springer Medizin

HNO 2012 · 60:532–539 · DOI 10.1007/s00106-011-2399-4

© Springer-Verlag 2011

zur nichtkommerziellen Nutzung auf der
privaten Homepage und Institutssite des Autors

A. Cramer

Ich höre die Worte, aber ich verstehe sie nicht

Folgen des Hochfrequenzverlusts

Redaktion

E. Biesinger, Traunstein

A. Cramer

Praxis für Musiktherapie, Musikpsychologie, Hör- und Stimmtherapie,
 Therapie & Praxis Nymphenburg, München

Ich höre die Worte, aber ich verstehe sie nicht

Folgen des Hochfrequenzverlusts

„Seit zwei Jahren meide ich alle Gesellschaften, weils mir nicht möglich ist, den Leuten zu sagen, ich bin taub. Hätte ich irgend ein anderes Fach so gings noch eher, aber in meinem Fach ist es ein schrecklicher Zustand ... Die hohen Töne von Instrumenten und Singstimmen höre ich nicht wenn ich etwas weit weg bin; auch die Bläser im Orchester nicht. Manchmal auch hör ich den Redner, der leise spricht, wohl, aber die Worte nicht, und doch, sobald jemand schreit, ist es mir unausstehlich ... Ich bringe mein Leben elend zu.“ [9] So beschreibt Beethoven seinen Zustand der Taubheit. Bereits mit 28 Jahren war er schwerhörig, litt u. a. an einem gravierenden Hochtonverlust, und es grenzt an ein Wunder, wie er mit seinem inneren Gehör so wunderbare Musik schaffen konnte.

Warum sind es gerade die hohen Frequenzen, die so wichtig sind? Vier Faktoren spielen hierbei eine Rolle:

- Energie,
- Zeit,
- Frequenz,
- Obertöne.

Der Energiefaktor

Schon in den 1950er-Jahren entdeckte Van Uden [31], dass gehörlose Kinder sehr wohl Klänge, Höhen und Tiefen, Rhythmen, ja, komplexe Musik über Rezeptoren unter der Haut wahrnehmen können. Auch dissonante und harmonische Klänge konnten sie unterscheiden. Hohe Klänge – das bestätigten die Arbeiten unter Van Uden – kommen im Kopf an, wirken anregend und fördern die Konzent-

ration, tiefe Klänge vermitteln Körperwahrnehmung und gehen in den Rumpf und die Beine. Das nutzt auch die Lernpsychologie: Über einführende Hörübungen mit strukturierter heller Musik wird das Gehirn auf die Lernaufgabe vorbereitet. Das Hören hoher Frequenzen führt zu einer größeren Anzahl von Impulsen auf der Großhirnrinde, diese Aktivierung der kortikalen Tätigkeit ist im EEG sichtbar [21]. Je mehr Reize zum Gehirn gelangen, desto mehr neuronale Verbindungen werden geknüpft und zerebrale Prozesse angeregt.

Eine entscheidende Rolle beim Hören spielt die Formatio reticularis (■ Tab. 1).

Sie ist sowohl mit Strukturen des auditorischen Hirnstamms als auch mit dem auditorischen Kortex verbunden [15]. Morphologisch betrachtet handelt es sich – wie der Name (rete: Netz) sagt – um ein Nervengeflecht mit vielen Schaltneuronen, das vom Halsmark aus den Hirnstamm bis zum Mittelhirn durchzieht. Es enthält ein sog. unspezifisches Aktivierungssystem, aber auch ein – weniger ausgeprägtes – Dämpfungssystem. Das retikuläre Aktivierungssystem mit seinem bioelektrischen Aktivitätspegel bestimmt den Wachheitsgrad, indem über ein dichtes, diffuses Projektionsfasersystem die Hirnrinde fortlaufend Impulse er-

Tab. 1 Funktionen der Formatio reticularis

Die FR ist das kontrollierende Organ des Zentralnervensystems, das Gehirn und Rückenmark umfasst. Ihr Aktivitätspegel wird vom sensorischen Zustrom aus den Sinnesorganen bestimmt, wobei das Gehör hier eine zentrale Rolle einnimmt. Ihre Funktionen sind:
– Steuerung der Bewusstseinslage durch Beeinflussung der Erregbarkeit kortikaler Neurone und damit Teilnahme am Schlaf-Wach-Rhythmus (Schlagwort: aufsteigendes retikuläres aktivierendes System, ARAS)
– Aktivierung des γ -Nervensystems
– Steuerung der Muskelspannung
– Sie liefert die Anpassungsfähigkeit der motorischen Regelung an die Gegebenheiten der Umwelt besonders durch lebenswichtige Reflexe (z. B. bei Kreislauf-, Atem-, Schluck-, Husten-, Niesreflexen), bei denen viele afferente und efferente Systeme miteinander koordiniert werden müssen
– Feinübertragung der Informationen
– Sie ordnet alle sensiblen und spezifisch sensorischen Afferenzen (die von Rezeptoren oder Sinnesorganen zum Zentralnervensystem laufende Erregung)
– Sie kann die Empfindlichkeit der Sinnesorgane beeinflussen
– Die ersten Nervenstränge, die sich in sie einlagern, stehen mit Statik und Bewegung in Zusammenhang. Das sind diejenigen, die in den Vestibulariskernen zentralisiert werden
– Die FR ist für das Hören wichtig. Das bedeutet, sie kann unabhängig vom Ohr auf akustische Reize reagieren

Nach [2, 19, 23], S. 99f. FR Formatio reticularis.

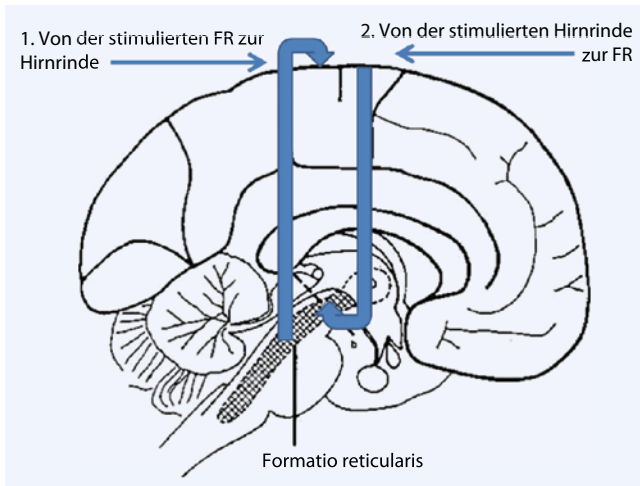


Abb. 1 ▲ Steuerung der Aufmerksamkeitsprozesse über 2 Wege. 1. Die Formatio reticularis (FR) kontrolliert das retikuläre Aktivierungssystem (ARAS), das mit seinem bioelektrischen Aktivitätspegel den Wachheitsgrad bestimmt und die Hirnrinde mit Impulsen befeuert. 2. Die Hirnrinde kann durch andauernde Stimuli die FR so beeinflussen, dass sie wieder oder verstärkt aktiviert wird. Beide Wege werden zu einem großen Teil durch das Hören hoher Frequenzen beeinflusst

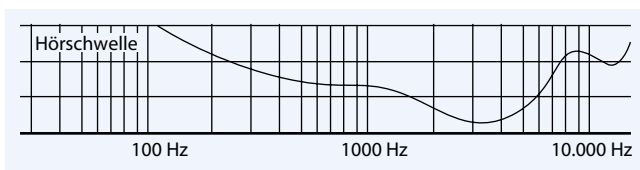


Abb. 2 ▲ Unser Gehör ist für Töne zwischen 2000 und 5000 Hz (Kurve am tiefsten) am empfindlichsten. In diesem Bereich befinden sich in der Hörschnecke die meisten Nerven (Haarzellen)

hält. Solche Impulssalven führen zu einer gesteigerten Erregbarkeit in der gesamten Hirnrinde und sichern damit neben einer ständigen Handlungsbereitschaft auch eine gute Aufnahmefähigkeit der Empfindungszentren und damit auch der Hörzentren [19]. Musik zu erleben erfordert also einen gewissen Aktivitätsgrad in der Formatio reticularis. Man kann sogar sagen, dass eine bewusste Hörwahrnehmung bei zu geringer Aktivität in der Formatio reticularis nicht möglich ist¹.

» Länger andauernde Stimuli aktivieren die Formatio reticularis

Es gibt aber auch Bahnen mit entgegengesetzter Leitungsrichtung, von der Hirnrinde zurück zur Formatio reticularis

¹ Hören im tief entspannten Theta-Zustand führt dazu, dass die auditiven Inputs auf der unbewussten Ebene abgespeichert werden. Das wird in der musiktherapeutischen Tiefenentspannung genutzt.

(▣ **Abb. 1**). Diese Rückkopplungsschaltungen sorgen dafür, dass länger andauernde Stimuli die Formatio reticularis aktivieren. Dazu gehören vorrangig hohe Frequenzen. Ein Konzert, in das man sich zunächst müde und lustlos geschleppt hat, kann durch die vielen hohen Frequenzgemische dazu führen, dass ein Wachpegel erreicht wird, der das Konzertende noch eine Weile überdauert. Der Wachheitsgrad ist nun so hoch, dass es unmöglich wäre, sofort zu Bett zu gehen und zu schlafen.

Hören fördert – auch das ist inzwischen bekannt – biochemische Stoffwechselprozesse [1, 6, 24]. Durch auditive Stimuli können so Neuronen im Gehirn vernetzt werden. Dass dazu gerade hohe Frequenzen geeignet sind, liegt an der natürlichen Hörschwelle, denn Frequenzen zwischen etwa 2000 und 5000 Hz werden vom Menschen am besten wahrgenommen (▣ **Abb. 2**).

Bei einem Hochtonverlust entfällt ein großer Teil der für das Gehirn so wichtigen Stimuli. Die Formatio reticularis er-

hält keine oder zu wenig Inputs, um das Gehirn mit Energie aufzuladen. Anregende Stoffwechselprozesse entfallen ebenfalls. Darunter leiden Gedächtnis und Konzentration. Der Hörstress, wichtige Dinge verstehen zu wollen, bindet einen großen Teil der Aufmerksamkeit. Das führt sehr schnell zu Ermüdungen. Nach Tagungen, Konferenzen und Besprechungen braucht der Hörgeschädigte eine gewisse Zeit, um wieder zu regenerieren und aufzutanken.

Der Zeitfaktor

Unser Gehör nimmt beim Hören eine Energietransformation vor. Dabei spielen Impulsmuster eine große Rolle. Laufend werden akustische Inputs in ein Muster aus Aktionspotenzialen transformiert, die über die Hörnerven den Hörzentren im Schläfenlappen zugeleitet werden. Jeder Laut, egal ob Einzelton, Tongemisch oder Geräusch, ist immer ein Ereignis in der Zeit. Damit aber ein Hörereignis erkannt werden kann, muss es eine minimale Dauer haben. Nur dann kann das Wellenmuster erkannt und eingeordnet werden. Ein sehr kurz erklingender Akkord blüht im Gehörseindruck seinen Bass ein, weil tiefe Töne längere Wellen haben und es länger dauert, bis sie auf dem auditiven Kortex ankommen. Identifiziert wird der sehr kurz erklingende Akkord allein über das Gemisch der hohen Frequenzen mit samt der Obertöne. Dann erst kann das Gehirn einen Akkord auch in ganz kurzer Zeit in seiner Gesamtheit erkennen. Bei einem Hochfrequenzverlust setzt das Gehirn den Akkord nur noch aus Erfahrungswerten zusammen. Es wird zunehmend schwerer, kurz erklingende Tongemische zu analysieren. Die Folge ist, dass Geräuschgemische und Klanggemische sehr häufig falsch identifiziert und geortet werden.

Die Fähigkeit, aus Geräusch- und Klanggemischen einzelne auditive Informationen herauszufiltern („auditory stream segregation“), basiert sowohl auf angeborenen („primitive stream segregation“) als auch auf erlernten Mechanismen („schema-based stream segregation“; [3]). Bei einer „primitive stream segregation“ werden Signale bezüglich ihrer Frequenz, räumlichen Position oder zeitlichen As-

pekte den Gestaltgesetzen folgend gruppiert.

Das Erfassen von Stimmen ist noch komplizierter und komplexer als das Erfassen von Geräuschen und Klanggemischen. Die Dauer eines Lauts wird in Form von „Zeitdimensionen“ zwischen Beginn und Ende eines Lauts gemessen [26]. In Umgebungen mit hohem Umweltgeräuschpegel ist die exakte Bestimmung der Zeitpunkte – und damit der Dauer selbst – schwierig. Liegt auch noch eine Schwerhörigkeit vor, ist das Erfassen von Zeitdimensionen innerhalb eines Vokals oder Worts fast unmöglich.

Der Frequenzfaktor

Schwingungen innerhalb des Frequenzbandes von 2000–5000 Hz werden im äußeren Gehörgang (ähnlich wie bei einer Orgelpfeife) um 5 bis mehr als 10 dB verstärkt. Es lässt sich vermuten, dass die Proportionen des Gehörgangs im Prozess der Evolution optimiert wurden, da dieser Frequenzbereich einem Segment entspricht, in dem wir Melodien hören und in dem die Konsonanten und Vokale die größte Energie entfalten.

Der Fetus hört zunächst nur tiefere Töne im niederfrequenten Bereich, denn Muskeln, Gewebe und Flüssigkeiten dämpfen im Mutterleib die hohen Frequenzen. Die Tonhöhen sind bei der ausgewachsenen Cochlea räumlich (tonotop) von unten (hohe Frequenzen) nach oben (tiefe Frequenzen) repräsentiert. Doch beim Embryo sind zunächst die unteren Haarzellen für die tiefen Frequenzen zuständig. Sie vermitteln ihm Tast- bzw. Vibrationssinn, der sich noch vor dem Hörsinn entwickelt [5]. Erst im Lauf der Entwicklung verschiebt sich die Abbildung der tiefen Frequenzen zu den Haarzellen in die Spitze der Schnecke [11]. Eine Schädigung der Haarzellen durch laute tiefe Basstöne während der Schwangerschaft wirkt sich später auf die Hörfähigkeit höherer Frequenzen aus.

» **Vokale sind die Melodieträger, Konsonanten sind Geräuschträger**

Wörter werden über Vokale und Konsonanten entschlüsselt, wobei die Vokale die

HNO 2012 · 60:532–539 DOI 10.1007/s00106-011-2399-4
© Springer-Verlag 2011

A. Cramer

Ich höre die Worte, aber ich verstehe sie nicht. Folgen des Hochfrequenzverlusts

Zusammenfassung

Persönlichkeit kommt von per-sonare: durchtönen, durchklingen. Wer hinter die Person schauen möchte, kann sein intaktes Gehör wie Röntgenohren nutzen und so den Menschen in seiner Gesamtheit wahrnehmen. Die Wahrnehmung von Frequenzen zwischen 2 und 5 kHz sowie von Obertönen spielt eine zentrale Rolle bei der Entschlüsselung von Konsonanten, Vokalen und Emotionen in Stimme und Sprache und ist Voraussetzung für den vollkommenen Genuss von Musik und Klang. Hohe Frequenzen sind aber offenbar auch eine körperliche Notwendigkeit. Nach ihrer Verstärkung durch den Gehörgang, der als Leitungsresonator fungiert, sorgen sie für Stimulanz, Aufmerksamkeit

und Konzentration. Über die Formatio reticularis (FR) geht der Weg weiter, denn der Aktivitätspegel der FR wird vom sensorischen Zustrom aus den Sinnesorganen bestimmt – wobei das Ohr hier eine entscheidende Rolle hat. Hören von hohen Frequenzen führt zu erhöhten Stoffwechselprozessen, zu verbesserter Motorik, zur Aktivierung des Gamma-Nervensystems und zur Feinübertragung der Informationen.

Schlüsselwörter

Hochtonschwerhörigkeit · Formatio reticularis · Kommunikation · Gamma-Motoneurone · Persönlichkeit

I can hear you, but I don't understand you. Why is it so important to perceive high frequencies?

Abstract

The word personality is derived from the Latin word "persona" (mask, person); "per sona" means "by the sound or through the sound". In order to look through speech, to hear "behind the mask of a person", we have to be able to hear properly. Especially the frequencies between 2 kHz and 5 kHz and the overtones (the higher we can perceive them, the better) play a central role for decoding vowels, consonants and effects of emotions in voice and speech; beyond that they provide the perfect enjoyment of music and sound. Obviously they are also a vital physical necessity. High frequencies stimulate, they provoke

attentiveness and concentration. The activity level of the reticular formation is affected by the influent of the sensory organs with a crucial role by the hearing sense. Hearing in high frequencies leads to higher metabolism, to better motility, to an activation of the gamma nervous system and to a better transfer of information.

Keywords

High frequency hearing loss · Reticular formation · Communication · Motor neurons, gamma · Personality

Melodieträger mit gleichmäßigen harmonischen Schwingungen sind; Konsonanten sind Geräuschträger und setzen sich aus unregelmäßigen Schwingungen zusammen. Die Hauptrolle für Vokale und Konsonanten spielen Grundfrequenz oder Fundamentalfrequenz und Formanten. Sie werden primär im Rachen- und Mundraum (Vokaltrakt bzw. Resonanzkörper) und sekundär im Nasenraum gebildet (Abb. 3).

Die Fundamentalfrequenz F0 präsentiert die Grundschiwingung der Stimmlippen. Sie liegt bei Männern zwischen 100 und 400 Hz, bei Frauen zwischen 200

und 800 Hz. Die Formanten sind abhängig vom Geschlecht, vom Alter, von der Ausbildung der Stimme und vom Vokal der gesprochenen Sprache.

Formanten sind der Code des Stimmklangs. Eine ausgebildete Sängerstimme zeichnet sich durch die Sängerformanten aus, die bei 3000, 5000 und 8000 Hz liegen [23]. Der erste Sängerformant mit 3000 Hz ist besonders wichtig, mit ihm kann ein Sänger in einem Frequenzraum singen, in dem er vom Orchester nicht übertönt wird. Dieser Formant sollte auch in einer guten Sprecherstimme vorhanden sein, denn er macht

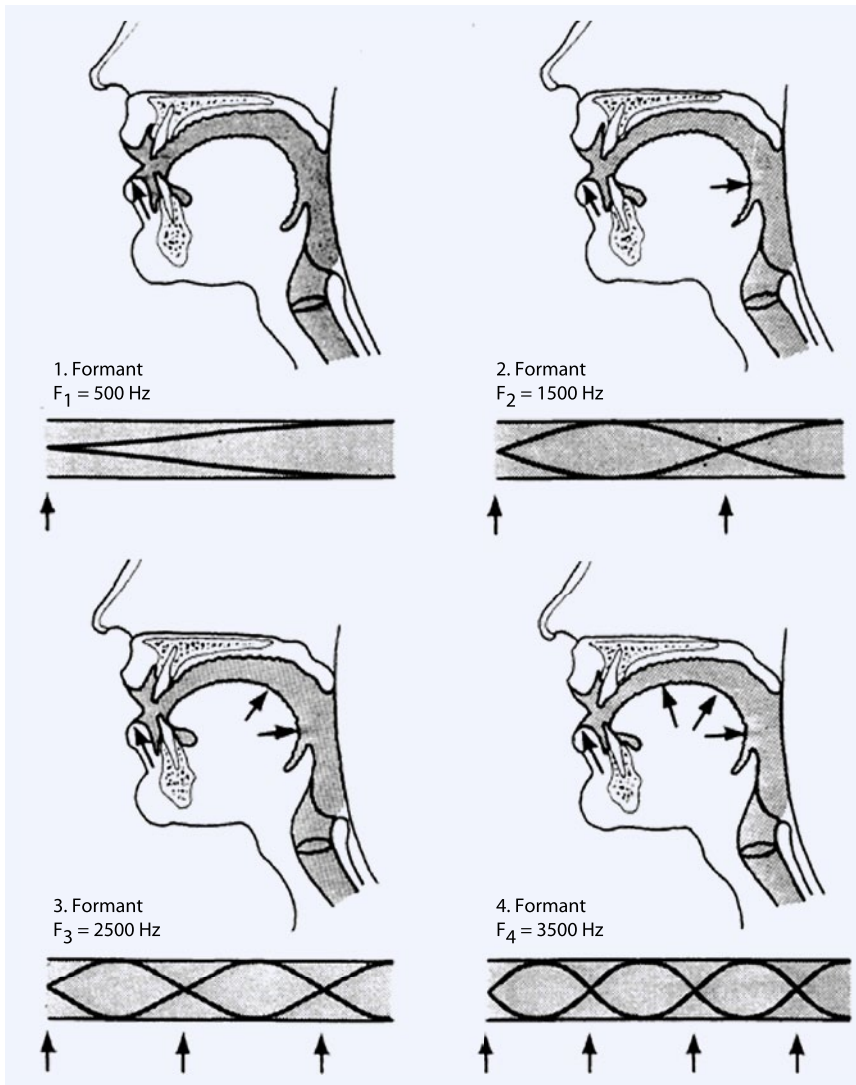


Abb. 3 ▲ Der 1. Formant liegt bei etwa 500 Hz, der 2. bei etwa 1500 Hz, der 3. bei etwa 2500 Hz und der 4. bei etwa 3500 Hz. Öffnungsgrad des Kiefers, Zungenposition und Lippenrundung führen zu Formänderungen des Racheninnenraums. Schwarze Pfeile markieren die Knotenlinien der Obertöne, Pfeile in der Mundhöhle zeigen an, wo die Formanten am stärksten schwingen. (Aus [33], S. 36, mod. nach [34], S. 82)

die Stimme zum Träger in großen Räumen. Die hohen Schwingungen einer Gesangsstimme (Peter Schreier, z. B.) kommen im Ohr wie ein „Schwirren“ an, der Fachmann spricht von „Brillanz“. „Erste Beobachtungen und Versuche lassen vermuten, daß der 5000 Hz-Formant auch auf die Beweglichkeit der Gelenke des Körpers Einfluß nimmt...“ so die Musikphysiologin Gisela Rohmert ([23], S 110f.). Ihre Vermutung wurde durch die Verbindung der neurophysiologischen Verschaltung von Hörbahn, Formatio reticularis und motorischen Nerven bestätigt [19]. Zum 8000-Hz-Formanten meint Rohmert (ebd.): „Seine Wirkung bezieht

sich umfassend auf alle Körperebenen, vor allem auf übergeordnete Systeme: Gehirnkoordination, Rhythmus der Liquorflüssigkeit des Gehirns, Drüsentätigkeit, Koordination der beiden Unterdruck-Überdruck-Systeme (Ohr, Kehlkopf), Gamma-Nervensystem, Diaphragmenkette...“. Die Sängerformanten sind wahre Energieträger für den Hörenden und stimulieren das Gehirn enorm. Wer unter Hörstress steht oder unter Recruitment oder Hyperakusis leidet, empfindet sie allerdings als Schmerz.

Konsonanten übermitteln über ihre Formanten die Bedeutung der Worte, sind also besonders wichtig für das Ver-

stehen des Inhalts. Konsonanten voneinander zu unterscheiden ist Schwerarbeit fürs Gehirn, denn sie sind wesentlich leiser als Vokale, enthalten dabei aber besonders viele hohe Frequenzanteile; 60% von ihnen liegen oberhalb von 1000 Hz (■ Abb. 4). Ein Hochfrequenzverlust erschwert nicht nur das Verstehen, die Laute eines Wortes lassen sich auch schwerer abgrenzen: Wo hört Laut 1 auf, wo fängt Laut 2 an (■ Abb. 5)?

So kann bei einem Hochfrequenzverlust aus einem „Bach“ ein „Dach“ oder aus einem „weich“ ein „reich“ werden. Die Kommunikation mit Frauen ist besonders betroffen; hier liegen die Formanten etwa eine Oktave höher als beim Mann. Wer sich als betroffener Hörgeschädigter also im Büro mit Kollegen gut versteht, aber zu Hause bei seiner Frau schlecht, der sollte das nicht auf die mangelnde Aussprache seiner Frau zurückführen.

Dazu kommt, dass Laute sich gegenseitig beeinflussen. In der gesprochenen Sprache gibt es zwischen Wörtern auch meist keine Pausen. Sprachexterne Einflüsse wie Störgeräusche, Raumakustik und Entfernung verändern zudem das Sprachsignal. Die Aussprache, Dialekte, Sprechgeschwindigkeiten oder Reduktion von Funktionswörtern (statt „wenig“, „weng“, statt „für“, „fe“) erschweren das Verständnis zusätzlich. Der Schwerhörige kombiniert: Welcher Sinn ist wahrscheinlicher? Welcher weniger wahrscheinlich? Zusätzlich hilft ihm sein lexikalisches Wissen über Wörter, Wortzusammenhänge und Lautkombinationen.

Die „Motortheorie“ der Sprachwahrnehmung beschreibt, wie Sprache beim Hören und Verstehen physiologisch verarbeitet wird. Sie geht davon aus, dass nicht nur akustische Signale zum Verstehen wichtig sind, sondern dass auch die Aktivität der Sprechwerkzeuge bekannt sein muss. Die Artikulation gilt also dann als verstanden, wenn sie einem entsprechenden neuronalen Gegenstück beim Hörer entspricht [17]. Tatsächlich konnten bei der Verarbeitung von sprachlichen Reizen auch Nervenimpulse an den Sprechwerkzeugen festgestellt werden. Leont'ev [14] spricht von „verdeckter physiologischer Aktivität der Artikulationsorgane“. Beim Hören und Entschlüsseln von Wörtern findet ein latenter Ablauf

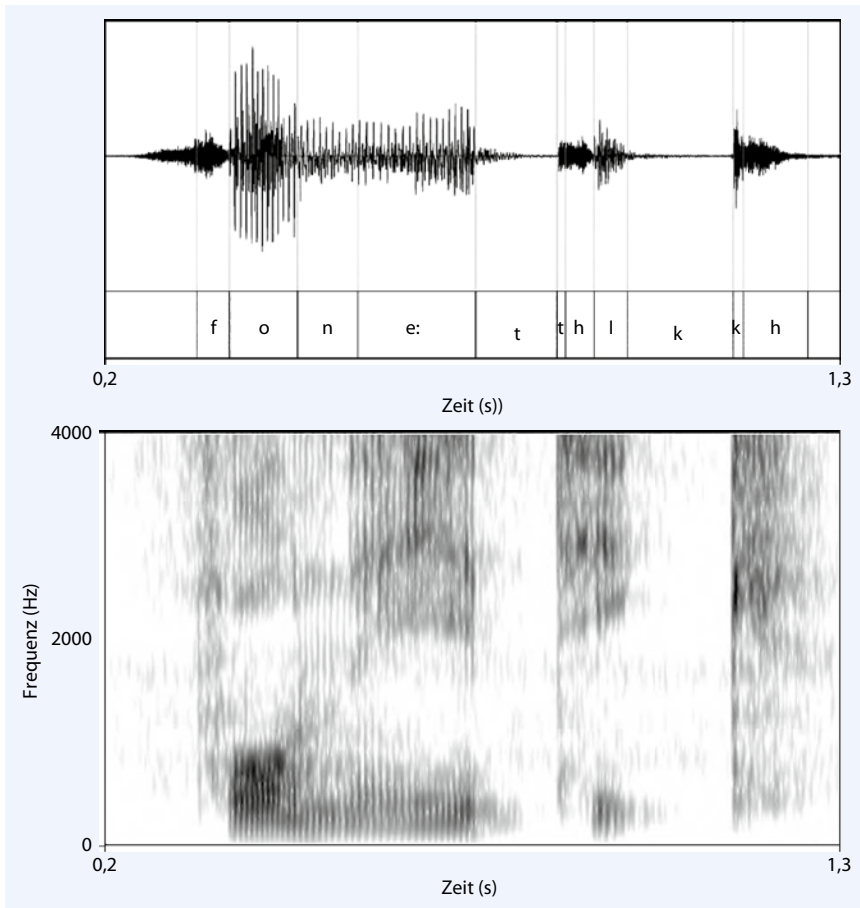


Abb. 4 ▲ Analyse des Wortes „Phonetik“. Das Oszillogramm (oben) misst Amplitude und Zeit, das Breitbandspektrogramm (unten) Zeit, Frequenz und Formanten. Die Formanten werden durch verstärkte Einfärbung der Frequenzen dargestellt. Die Frikative „f“ und „h“ zeigen ein Rauschen über einen großen Frequenzbereich an, die Konzentration liegt beim „f“ bei über 4000 Hz, hier nicht mehr zu sehen. Die Vokale zeigen im Oszillogramm harmonische Schwingungen und im Spektrogramm vokaltypische Formanten: für „o“ eine Verstärkung bei 700 Hz, für „e“ eine Verstärkung ab 2000 Hz, für „i“ eine Verstärkung ab 3000 Hz. Die Plosive zeigen die Okklusionsphase als Stille (t 123 ms/_k 160 ms), gefolgt von einem kurzen Burst (11 ms). (Aus [35], S. 7, mit freundl. Genehmigung)

der Sprechmuskelbewegungen statt [29, 32]. Das Nachvollziehen der Mundbewegungen des Gegenübers hilft beim Verstehen genauso wie ein lautes Mitlesen von komplizierten Texten.

Auch bei der eigenen Aussprache gibt es eine Verbindung zwischen den Sprechwerkzeugen und dem „inneren Ohr“. Es kontrolliert quasi von innen den Klang der Stimme. Ein Schwerhöriger spricht deshalb oft zu laut, zu leise oder verwachsen. Hochgradige Schwerhörigkeit bei Neugeborenen äußert sich durch ihr dumpfes und zittriges Schreien. Erfahrene Hebammen erkennen an dieser abweichenden Schreistruktur sofort die Schwerhörigkeit oder Taubheit. Noch wichtiger ist ein gut funktionierendes Hörorgan für den Sänger. Cerone, einer der ersten Ge-

sangslehrer, schrieb 1609 [30] „*der vollendete Sänger singt mehr mit dem Ohre als mit dem Munde*“.

Der Obertonfaktor

Die Tonhöhe allein enthält nicht die Informationen, die wir brauchen, um den Klang verschiedener Instrumente herauszuhören oder um an einer gelungenen Kommunikation teilzunehmen. Nur Millisekunden beschäftigt sich das Gehirn mit den Worten selbst, dann beginnt es hinter die reine Information zu hören. Und dieser Weg geht allein über die Obertöne.

Jeder natürlich erzeugte Klang besteht aus Grundton und Obertönen, die ihm seine Farbe geben. Sie schwingen

mit einem Vielfachen der Frequenz des Grundtons. Amplitude, Anzahl der zu hörenden Obertöne und Formanten bestimmen die Farbe des Grundtons. Weitere Einflussfaktoren sind die 4 Obertöne komplexer harmonischer Töne, die auch als „Harmonische“ bezeichnet werden, die Ein- und Ausschwingzeit der einzelnen Obertöne und die Energieverteilung zwischen den einzelnen Harmonischen [22, 28]. Wir hören also nicht nur einen einzigen Ton, sondern einen aus vielen Tönen zusammengesetzten Klang. Die Obertöne runden eine Hörempfindung ab, machen sie in ihrer Bedeutung komplett. Sie machen die individuelle Klangfärbung der Stimme aus. Gesagtes bekommt so eine Stimmung aufgedrückt, der Sinngehalt wird nicht nur informativ, sondern auch mental erfasst. Wir hören Emotion und Verfassung, Klangfarbe und Timbre; wir können erkennen, ob eine Äußerung zynisch oder humorvoll gemeint ist, ob ein Kammerton „a“ von der Geige oder vom Klavier kommt.

Das „a“ bei 220 Hz enthält Obertöne mit 440 Hz, 660 Hz, 880 Hz, 1100 Hz, 1320 Hz, 1540 Hz, 1760 Hz, 1980 Hz, 2200 Hz usw.; die Obertonreihe geht bis in den unendlichen Hörbereich. Durch Schwebungen, durch Formanten und durch die Resonanz entsteht die Klangfarbe, die zur Identifizierung der unterschiedlichen Instrumente, der unterschiedlichen Stimmen und der unterschiedlichen Konsonanten und Vokale führt. Das komplexe Obertonspektrum, das Instrumente beim Klingeln erzeugen, schwingt also auch in der menschlichen Stimme, denn das Stimmorgan ist wie ein Blasinstrument mit schwingender, elastischer Zunge angelegt. Wird ein bestimmter Vokal akzentuiert oder wird einem Satz eine emotionale Bedeutung hinzugefügt, dann nimmt unsere Mundhöhle eine ganz charakteristische Gestalt an; so werden dem Grundton Obertöne dazu gemischt. Das menschliche Ohr hat die Fähigkeit, die Obertöne als Klangfarbe zu identifizieren, selbst wenn die einzelnen Obertöne nicht wahrgenommen werden können. Auch fehlende Obertöne werden vom Ohr registriert, der Klangeindruck verändert sich. Je mehr Obertöne erklingen (und je mehr das Ohr vernehmen kann), desto heller, brillanter und härter

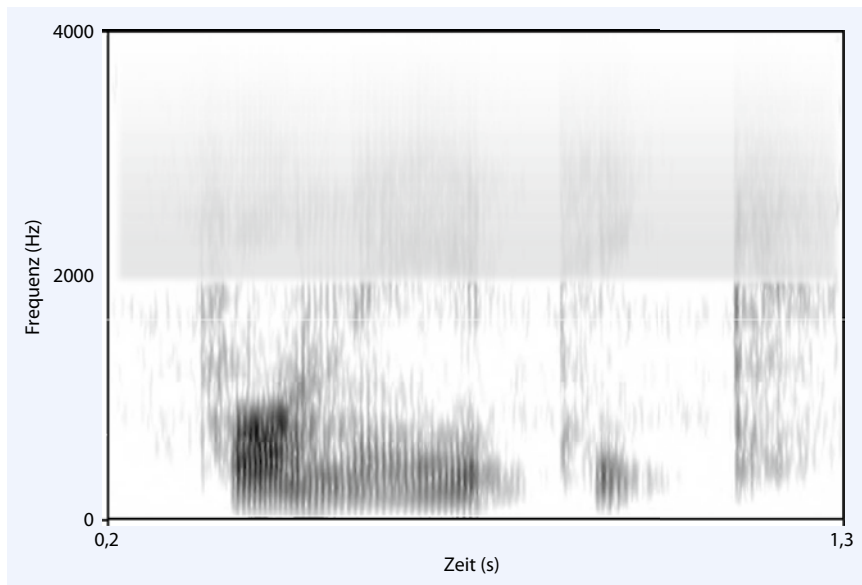


Abb. 5 ▲ Das Breitbandspektrogramm von „Phonetik“ wird hier durch einen Hochtonverlust ab 2000 Hz stark eingeschränkt. Erschwerend kommt dazu, dass Formantenübergänge teilweise nur 40 ms lang sind, d. h., ein „ba“ unterscheidet sich in einem kleinen Zeitabschnitt von 40 ms von einem „da“. (Mod. nach [35], S. 7, mit freundl. Genehmigung)

ist die Klangfarbe; je weniger Obertöne erklingen (und je schlechter die auditive Perception im Hochfrequenzbereich ist), desto dumpfer, flacher und weicher ist sie.

» Das menschliche Ohr kann die Obertöne als Klangfarbe identifizieren

Wie unser Gehör mit Obertönen umgeht, hat auch Rossing [25] experimentell untersucht: Nehmen wir eine Reihe von Sinustönen mit den Frequenzen 820, 1020 und 1220 Hz, die simultan erklingen, dann registriert unser Gehör dieses Gemisch nicht als drei verschiedene Sinustöne, sondern als *einen* „leicht verstimmt“ Ton mit 204 Hz. Dieser Ton ist als Schwingung nie am Trommelfell angekommen, er ist allein aus den Sinustönen entstanden, die der dazugehörigen Obertonreihe mit viertem (816 Hz), fünftem (1020 Hz) und sechstem Oberton (1224 Hz) entsprechen.

Bisher ging man davon aus, dass nur die linke Hirnhälfte Sprache verarbeitet. Neueren Erkenntnissen zufolge sind aber auch die Areale der rechten Hirnhälfte, die für die Verarbeitung von Tonmelodien zuständig sind, daran beteiligt. Ein akustischer Sprachinput durchläuft qua-

si am Fließband – der Reihe nach in sukzessiver Kontinuität – verschiedene spezialisierte Mininetzwerke der Klangperzeption [8]:

- Das Spracherkennungssystem im Gehirn analysiert zunächst in der Hörinde der linken und rechten Hemisphäre in Form einer akustisch-phonetischen Entschlüsselung die lautliche Zusammensetzung der Schallwellen in ihren distinktiven Einheiten.
- Anschließend filtern Teile des Schläfen- und Stirnlappens in den Arealen der linken Gehirnhälfte Wortkategorien heraus, die über die Unterscheidung zwischen Substantiven und Verben zur Erfassung der syntaktischen Struktur führen.
- In einem dritten Schritt werden diejenigen Areale aktiv, welche für die Semantik, d. h. die inhaltliche Bedeutungsdifferenzierung, verantwortlich sind.
- Und schließlich werden in den Gebieten der rechten Hemisphäre Obertöne und Klanggemische entschlüsselt und zugeordnet.

Musik und Sprache liegen hier eng beieinander. Das zeigen nicht nur die stark überlappenden (und teilweise identischen) neuronalen Ressourcen für die Verarbei-

tung von Sprache und Musik sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern [12, 20, 27], sondern auch die Tatsache, dass phylogenetisch und ontogenetisch betrachtet erst Klang bzw. Melodie Sprache möglich machte [4]. Unser menschliches Gehirn versteht zumindest im Kindesalter Musik und Sprache nicht als separate Bereiche, sondern eher „*Sprache als einen Sonderfall der Musik*“ [13].

Unser Körper, unser Gehirn und ganz besonders unsere Ohren reagieren extrem sensibel auf die subtilen Effekte von Obertönen. Als der Schriftsteller Lusseyran mit 8 Jahren sein Augenlicht verlor, entwickelt er diese besondere Fähigkeit noch stärker, als wir Sehenden es tun [16]: *„Wenn sich die Leute an mich, den kleinen Blinden, wandten, waren sie nicht auf der Hut. Sie waren überzeugt, daß ich die Worte vernähme, die sie sagten, daß ich ihren Sinn verstehe. Sie ahnten nie, daß ich in ihrer Stimme wie in einem Buch lesen konnte ... Ich konnte schließlich, ohne es zu wollen, ohne daran zu denken, so vieles in den Stimmen lesen, daß sie mich mehr interessierten als die Worte, die sie formulierten. ... Wie sollte ich anderen Menschen erklären, daß alle meine Gefühle ihnen gegenüber – Sympathie oder Antipathie – von ihrer Stimme ausgingen? Ich versuchte es wohl einigen zu sagen, ihnen darzulegen, daß weder sie noch ich etwas dafür könnten. Doch bald mußte ich schweigen, da ihnen diese Vorstellung sichtlich Angst machte. Es gibt also eine moralische Musik. Unsere Gelüste, unsere Launen, unsere heimlichen Laster und selbst unsere sorgsamst gehüteten Gedanken übertragen sich auf den Klang unserer Stimme, werden offenbar in ihrer Modulation, in ihrem Rhythmus ... Auch die Heuchler kann man auf der Stelle ertappen: ihre Stimme ist gedehnt und weist leichte, aber abrupte Abstände zwischen den Tönen auf, als ob sie beschlossen hätten, ihrer Stimme niemals freie Bahn zu lassen“.*

Was Lusseyran so anschaulich beschreibt, wird in der Phonologie, in der Psychoakustik und in der Linguistik seit Jahrzehnten erforscht: Was offenbaren verschiedene Stimmparameter über den Sprecher, seine Verfassung und seine Stimmorgane? Es gibt ein paar typische Merkmale (Grundfrequenz, Frequenzbreite, Obertonspektrum, Timbre),

Tab. 2 Stimme, Frequenz und Person

Der amerikanische Psychoanalytiker Paul J. Moses stellte in „The voice of neurosis“ eine phonetische Stimmanalyse für die Erforschung der normalen und der emotional gestörten Persönlichkeit vor [18]. Allein aufgrund einer akustischen Analyse über Klang, Timbre und Frequenzspektrum stellte er Unterschiede zwischen neurotischen und psychotischen Stimmen fest. Schizophrenie erkannte er z. B. an einer deutlichen stimmlichen Trennung und erneuten verfremdeten Mischung zwischen Kopf- und Brustregister. Abgesehen von neurotischen und psychotischen Merkmalen, wie sie Moses beschrieb, können v. a. aufgrund der Stimmhöhen, Frequenzanteile, -variabilitäten und Frequenzbreiten bestimmte Charaktermerkmale und Verfassungen herausgehört werden ([7, 26], S. 129):

Freude	Erhöhte Frequenzen, Amplituden und Frequenzvariabilitäten
Angst	Erhöhte Frequenz
Ärger	Erhöhte Frequenz und Amplitude, ausgeprägtes Obertonspektrum, sinkender Frequenzverlauf
Wut	Erhöhte Frequenz, erhöhte Amplitude, höhere Frequenzvariabilität und erweiterter Frequenzbereich
Langeweile	Erniedrigte Frequenzen und kleine Amplituden
Gefühlsarmut	Stimmelmelodie wird künstlich erzeugt, präzise Artikulation
Verspantheit	Geringe Frequenzbreite, knarrende Stimme
Ängstlichkeit und Unsicherheit	Wenig Resonanz bei hohen Frequenzanteilen und hoher Grundfrequenz („Ich bin klein und zart – tu mir nichts!“)

die Emotionen, ja sogar Persönlichkeitsstrukturen zugeordnet werden können (► Tab. 2).

Bei genauerem Hinhören können weitere Informationen aus dem Sprachsignal wahrgenommen werden, z. B. die Herkunft der Person, ob sie erkältet ist, wie es ihr gerade geht, ja sogar der Körperbau des Menschen (selbst, wenn man ihn beim Sprechen nicht sieht) – wie Hertha Herzog [10] in ihrer bekannten Studie feststellte.

Fazit für die Praxis

- Die Tonhöhenwahrnehmung ab 2 kHz ist Voraussetzung für Vigilanz, Konzentration und die Basis für eine glückliche Kommunikation.
- Wer sie verliert, geht einen mühsamen Weg durch die Gesellschaft: Unterhaltung in Gruppen kann kaum noch stattfinden, spontane Antworten sind nur noch selten möglich, Missverständnisse auf emotionaler Ebene führen zu gravierenden Beziehungsstörungen.
- Bei einem Hochtönenverlust können Informationen über den Menschen, der sich einem sprechend zuwendet, nicht mehr wahrgenommen werden.
- Hörfunk, Fernsehen und Kino machen keinen Spaß mehr, denn Tontechni-

ker werden so ausgebildet, dass tiefe Frequenzen bei Sprachaufnahmen Priorität haben; im Wechsel mit Musik und Werbung wird die Sprache falsch abgemischt oder nicht richtig angesteuert.

- Die Hörgeräteindustrie ist bisher nicht in der Lage, den Hochfrequenzbereich für Hörgeschädigte zu optimieren.

Korrespondenzadresse



Dr. A. Cramer

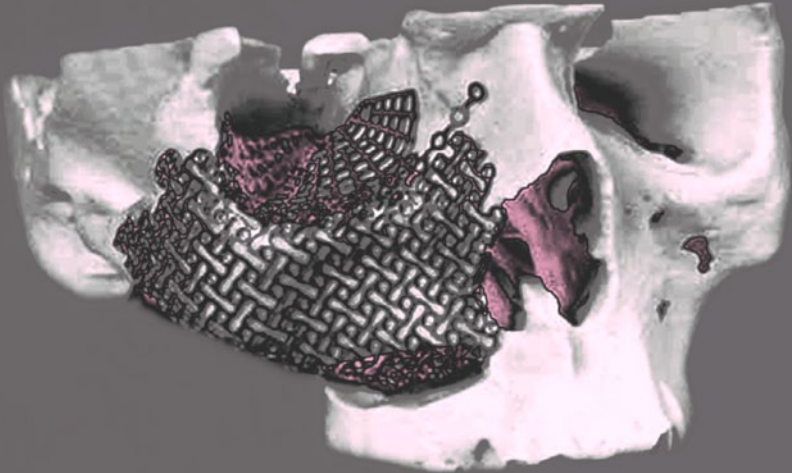
Praxis für Musiktherapie
Musikpsychologie,
Hör- und Stimmtherapie
Therapie & Praxis Nymphenburg
Hubertusstr. 22
80639 München
annettecramer@t-online.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Annunziato NF, Gschwend G (2000) Neurophysiologische Grundlagen der Hirnleistungsstörungen. Karger, Freiburg
2. Birbaumer N, Schmidt RF (2010) Biologische Psychologie. Springer, Berlin
3. Bregman A (1990) Auditory scene analysis. MIT Press, Cambridge
4. Cramer A (1998) Das Buch von der Stimme. Walter, Zürich
5. Cramer A (2005) The Tone-Transfer-Therapy as a vibro-acoustic method. Music Therapy Today VI(4):826–853 (MusicTherapyWorld.net)
6. David E (1990) Wie versteht das Gehirn, was es hört? In: Symposium „Das Phänomen des Hörens“. Festival des Hörens, Erlangen, 20.–30. September 1990. Siemens audiologische Technik Erlangen
7. Eckert H, Laver J (1994) Menschen und ihre Stimmen. Beltz, Weinheim
8. Friederici AD (2003) Sprachverarbeitung – Der Lauscher im Kopf. Geist Hirn 2:43–45
9. Grube AW (1884) Biographische Miniaturbilder. Friedrich Brandstetter, Leipzig, S 243 f
10. Herzog H (1933) Stimme und Persönlichkeit. Z Psychol 130(1933):300–369
11. Kapteina H (2001) Klang, Rhythmus und menschliche Entwicklung. Anmerkungen zur Ästhetik des Hörens. In: Werbke J (Hrsg) Beiträge zu Medien und Ästhetischer Erziehung, München, S 16
12. Koelsch S, Grossmann T, Gunter TC et al (2003) Children processing music: Electric brain responses reveal musical competence and gender differences. J Cogn Neurosci 15:683–693
13. Koelsch S, Fritz T (2007) Musik verstehen – Eine neurowissenschaftliche Perspektive. In: Becker A, Vogel M (Hrsg) Musikalischer Sinn. Beiträge zu einer Philosophie der Musik. Suhrkamp, Frankfurt, S 251
14. Leont'ev AA (1975) Psycholinguistische Einheiten und die Erzeugung sprachlicher Äußerungen. Akademie, Berlin, S 181
15. Levitt P, Moore RY (1979) Origin and organization of brainstem catecholamine innervation in the rat. J Comp Neurol 186:505–529
16. Lusseyran J (1983) Das wiedergefundene Licht. Klett-Cotta, Frankfurt S 75 f
17. Moore BCJ (2001) An introduction to the psychology of hearing, 4. Aufl. Academic Press, San Diego u. a. S 218
18. Moses PJ (1956) Die Stimme der Neurose. Thieme, Stuttgart, S 127 f
19. Müller-Limroth W (1977) Psychomentele Wirkungen der Musik. Neurophysiologische Grundlagen. In: Rhythmus und Gesundheit. Landeszentrale für Gesundheitsbildung in Bayern. S 31–38
20. Patel A (2003) Language, music, syntax and the brain. Nat Neurosci 6:674–681
21. Petsche H, Lindner K, Rappelsberger P, Gruber G (1989) Die Bedeutung des EEG für die Musikpsychologie. In: Petsche H (Hrsg) Musik – Gehirn – Spiel. Beiträge zum vierten Herbert von Karajan-Symposium. Birkhäuser, Basel, S 111–134
22. Preisler A (1993) The influence of spectral composition of complex tones and of musical experience on the perceptibility of virtual pitch. Percept Psychophys 54(5):589–603
23. Rohmert G (1994) Der Sänger auf dem Weg zum Klang. In: Hettinger T (Hrsg) Dokumentation Arbeitswissenschaft. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft in Verbindung mit der Schriftleitung der „Zeitschrift für Arbeitswissenschaft“. Schmidt KG, Bonn, Bd. 28

24. Roland PE (1982) Cortical regulation of selective attention in man. A regional cerebral blood flow study. *J Neurophysiol* 1982(48):1059–1079
25. Rossing TD (1990) The science of sound, 2. Aufl. Addison-Wesley, Reading/MA
26. Scherer TM (2000) Stimme, Emotion und Psyche. Untersuchungen zur emotionalen Qualität der menschlichen Stimme. Die Effekte einzelner Emotionen auf Stimmvariablen, Univ. Diss. Frankfurt a. Main, http://archiv.uib.uni-marburg.de/diss/z2000/0413/S_129
27. Schön D, Magne C, Besson M (2004) The music of speech: music training facilitates pitch processing in both music and language. *Psychophysiology* 41:341–349
28. Singh PG, Hirsh IJ (1992) Influence of spectral locus and FO changes on the pitch and timbre of complex tones. *J Acoust Soc Am* 92(5):2650–2661
29. Sokolov EN (1963) Perception and the conditioned reflex. Pergamon Press, New York, NY; zit. nach Lurija (1982) Sprache und Bewußtsein. Volk und Wissen, Berlin, S 154
30. Tesarek L (1997) Kleine Kulturgeschichte der Singstimme von der Antike bis heute. Böhlau, Wien, S 23
31. Uden A van (1955) Möglichkeit und Verwertung der Lautempfindung bei taubstummen Kindern. *Neue Blätter für Taubstummenbildung* 9:5–6
32. Wohl A (1977) Bewegung und Sprache. Karl Hofmann, Schorndorf, S 59 f
33. Mathelitsch H, Friedrich G (1995) Die Stimme. Springer, Heidelberg, S 36
34. Sundberg J (1977) The acoustics of the singing voice. *Sci Am* 236(6):82–91
35. Siebenhaar B (2009) Phonetik und Phonologie des Deutschen. http://www.uni-leipzig.de/~siebenh/kurse/WS_0809/v_phonetik_phonologie/akustische_phonetik_skript.pdf, (siebenhaar@uni-leipzig.de), S 7



HNO bietet Ihnen jeden Monat umfassende und aktuelle Beiträge zu interessanten Themenschwerpunkten aus allen Bereichen der Hals-Nasen-Ohren-Kunde.

Möchten Sie ein bereits erschienenes Heft nachbestellen? Einzelne Ausgaben können Sie direkt bei unserem Kundenservice zum Preis von je EUR 35,- zzgl. Versandkosten beziehen.

Überblick 2011

- 01/11 Akustikusneurinome
- 02/11 Sonographie in der HNO-Heilkunde
- 03/11 Preisträger
- 04/11 Aktuelle Schädelbasischirurgie
- 06/11 Musikmedizin
- 07/11 Kopfschmerzen
- 08/11 Explosions- und Schussverletzungen
- 09/11 Translationale Forschung
- 10/11 Mittelohrmechanik und Mittelohrchirurgie
- 11/11 Mittelgesichtsfrakturen
- 12/11 Traditionelle Chinesische Medizin

Überblick 2012

- 01/12 Larynkarzinome
- 03/12 Reflux in der HNO-Heilkunde
- 04/12 Schlafmedizin (Kongressheft)
- 05/12 Highlights des ASCO-Kongresses 2011
- 06/12 Botulinumtoxin

Vorschau 2012

- 07/12 Pädiatrische Laryngologie
- 09/12 Preisträger
- 10/12 Fremdkörper
- 12/12 Pädiatrische Otologie

So erreichen Sie unseren Kundenservice:

Springer Customer Service Center GmbH
 Kundenservice Zeitschriften
 Haberstr. 7
 69126 Heidelberg
 Tel.: +49 6221 345-4303
 Fax: +49 6221 345-4229
 E-Mail: leserservice@springer.com

www.HNO.springer.de