

# Hörakustik



## Kinderversorgung heute und morgen...

...und was man darüber wissen sollte, hat Reimer Rohweder in einem Referat anlässlich des letztjährigen Kongresses vorgetragen. Lesen Sie »Technische Aspekte der Kinderversorgung« auf den Seiten 4 bis 15.

## »Frauen in unserer Zukunft«...

...hieß eine Serie, die wir – aus gutem Grund – in den siebziger Jahren veröffentlicht haben. Inzwischen ist quasi eine neue Generation liebenswürdiger und effizienter Könnerrinnen der Branche herangewachsen: Anlaß für Gerhard Hillig, auch ihnen Reverenz zu erweisen. Christa Köttgen stellen wir auf Seite 80 vor.

## Von 1947 bis 1997...

...genau 50 Jahre alt sind die Anfänge der Pädodaudiologie. Armin Löwe spürt ihren ersten Schritten nach, stellt jene Frauen und Männer vor, die in erster Stunde und bis heute aus pädagogischer Perspektive richtungweisend gewirkt haben – Seiten 67 bis 70





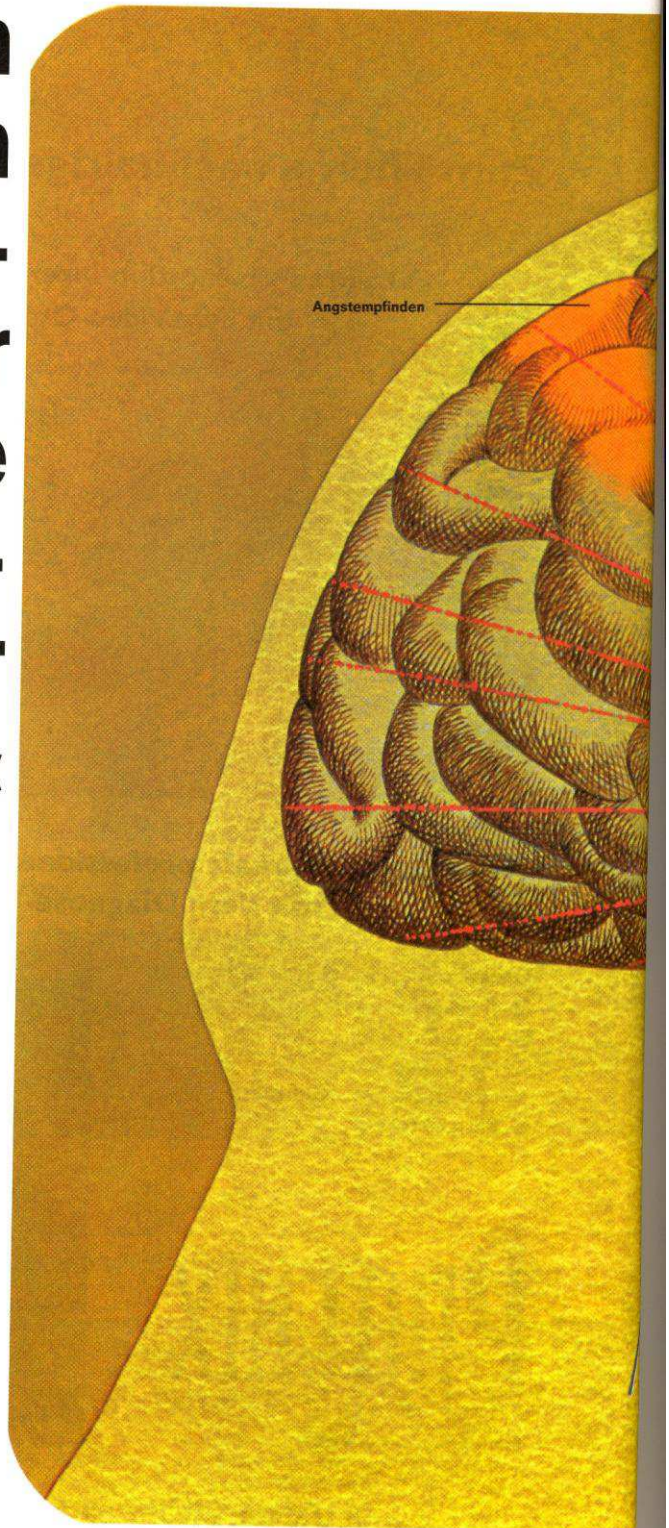
# »Die Adaption von Hörgeräten unter Berücksichtigung der Ergebnisse psychoakustischer Forschung«

*»Die Alltagswelt unserer Kommunikationsgesellschaft ist und wird in zunehmenden Maße bestimmt durch akustische Ereignisse, welche das menschliche Gehör aufnimmt und im Gehirn weiterverarbeitet. Sprache und Musik nehmen dabei für den Menschen eine Sonderstellung ein. Sie sind das Ergebnis eines tiefgreifenden und unwälzenden Evolutionsprozesses und konstituierender Bestandteil des menschlichen Sozialsystems,« so Dr. Klaus Jürgen Berndsen in einem spannenden Vortrag während des Symposiums »Impulse '96« der Firma Dreve (wir berichten).*

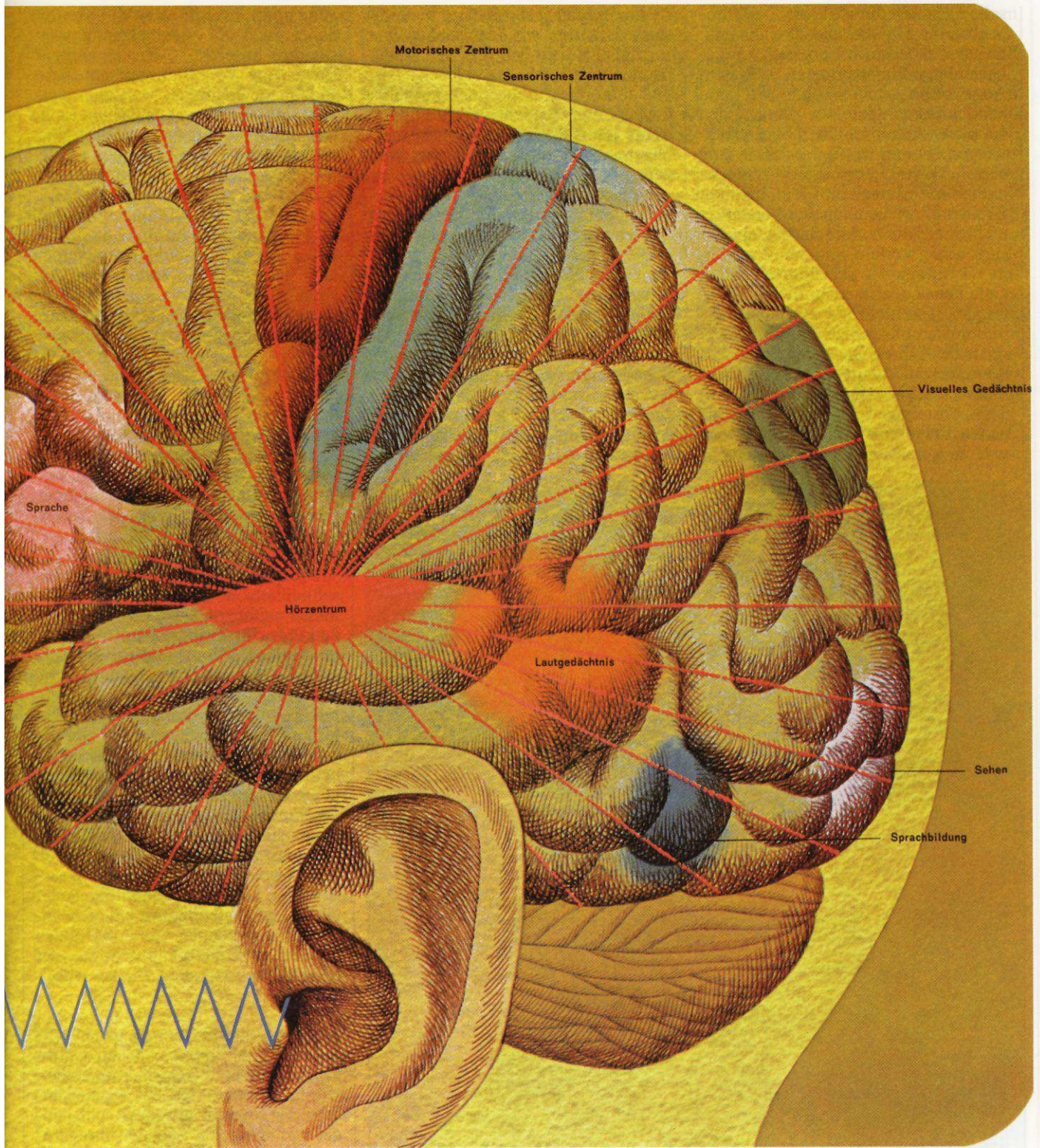
Das Referat des wissenschaftlichen Leiters des Instituts für Stimm- und Sprachtherapie (ISST) Unna beschäftigte sich vorwiegend mit der Komplexiertheit des Sinnes- und Organsystems des Menschen und der Frage,

ob der homo sapiens dessen Physiologie und Funktionsweisen überhaupt jemals in seiner Komplexität begreifen könne. Nach dem heutigen Stand, so der Referent, müsse diese Frage trotz modernster technischer Hilfen

zur Informationsspeicherung und -verarbeitung eher verneint werden. In seinem kurzweiligen, teilweise mit eindrucksvollen (psycho-)akustischen Klangbeispielen aufgelockerten Vortrag ging es dem Referenten insbe-







sondere darum zu verdeutlichen, wie groß auch und gerade in diesem Zusammenhang das Problemfeld einer optimalen Hörgeräteversorgung tatsächlich ist. Dr. Berndsen beabsichtigte bei den Zuhörern insbesondere

eine Sensibilisierung für Probleme, welche Hörgeräteträger berechtigterweise empfinden, zu erreichen und ferner ein Augenmerk darauf zu richten, was Technik im Vergleich dazu eigentlich in der Unterstützung unse-

res Sinnesorgansystems »Gehör« leisten kann.

Die besondere Stellung des Gehörs unter den menschlichen Sinnesorganen ist uns allen bewußt. Als exemplari-



sche Beispiele hierfür seien repetitiv veranschaulichend kurz genannt: Unser Gehör ist im Vergleich zu vielen anderen Sinnesorganen, z. B. dem Auge, selbst auch im Schlaf aktiv und kann nicht einfach wie durch einen simplen Augenschluß abgeschaltet werden. Ferner verfügt es über eine extrem hohe Sensibilität – welche jedoch in unserer von Lärm erfüllten Zeit der allzeit benutzbaren Verstärker mehr und mehr an lebenswichtiger Bedeutung verliert und somit zunehmend rudimentär verkümmert – und kann Schall auch aus sämtlichen Richtungen, also nicht nur aus der Blickrichtung empfangen. Der Dynamikbereich des Ohres ist in der Lage, bereits einen äußerst geringen Luftdruckunterschied, so wie er sich etwa beim Treppensteigen vom Erdgeschoß zur ersten Etage einstellt, zu registrieren und zu verarbeiten. Von besonderer

Bedeutung ist insbesondere auch die starke Nichtlinearität des Hörsystems. Bezüglich des großen Wahrnehmungsbereiches können sowohl sehr leise und feine Geräusche noch aufgelöst und erkannt, jedoch gleichzeitig extreme Lautstärken, noch ohne Unbehagen zu empfinden, toleriert werden.

Eine erste Auswahl dessen, was gehört werden soll, wird in gewissem Umfang bereits im Innenohr getroffen. Das Phänomen der otoakustischen Emissionen, nach seinem englischen Entdecker Prof. Kemp auch »Kemp-Echo« genannt, belegt, daß die äußeren Haarzellen im Innenohr Schallereignisse nicht nur aufnehmen und diese zum Hörnerv weiterleiten, sondern gleichzeitig selbständig in der Lage sind, Schallemissionen zu realisieren, welche die gesamte Hör-

perzeption beeinflussen. Sie werden daher auch als »cochleärer Vorverstärker« bezeichnet. Die eigentliche Bewertung von Sinnesreizen findet sodann im Gehirn des Menschen statt. Hier müssen die akustischen Reize im Hinblick auf deren Wichtigkeit (Störkomponenten, Eliminierung, selektive Weiterverarbeitung etc.) gewichtet und ausgewertet werden. Lästigkeit und Störwirkungen hängen unter anderem davon ab, wie stark sie vom Sinnesorgan empfangen werden und inwieweit sie mit bereits bekannten, gespeicherten Reizmustern übereinstimmen, denen das Gehirn entsprechende Informationen zuweist.

Wenn der Mensch hört, so sind daran viele Körperfunktionen beteiligt – und obwohl stets auf's Neue versucht wird, entsprechende Theorien für das Funktionieren des Gesamtsystems zu konstruieren, werden doch immer wieder neue Beobachtungen gemacht, welche keine der bereits bestehenden Theorien voll erfaßt.

Die Sinnesleistung »Hören« ausschließlich dem organischen Empfänger »Ohr« zuzuweisen und demzufolge Hörstörungen mit Schäden im Außen-, Mittel- und Innenohr zu erklären, ist ebensowenig zureichend wie die gerade in letzter Zeit zunehmend en vogue gekommene pauschale Zuweisung einer zentralen Hörstörung. Gerade solche zentralen Verarbeitungsstörungen akustischer Signale aber können vielfältig sein und sind nicht immer mit verfügbaren diagnostischen Verfahren nachzuweisen und zu lokalisieren. Störungen zeigen sich z. B. bezüglich der Wahrnehmung zeitlicher Reihenfolgen, der Gleichzeitigkeit oder Dauer von Klängen, dem Erkennen von Amplituden und Frequenzübergängen sowie der Modulationserfassung (siehe Abbildung 1).

Solche Fehlleistungen gehen oftmals mit Funktionsschwächen der linken, dominanten Gehirnhälfte einher. Hierin befindet sich bei Rechtshändern das Sprachzentrum. Rechtshänder mit schweren Schäden ihrer linken Hirnhemisphäre haben häufig Schwierigkeiten, Sprache zu verstehen oder zu artikulieren. Bei Patienten, bei denen man z. B. aufgrund lebensbedrohlicher Epilepsie den Balken, also die Verbindung beider Hirnhälften, durchtrennt hatte, konnte man feststellen, daß bei Rechtshändern jedoch auch die rechte Hemisphäre zu-

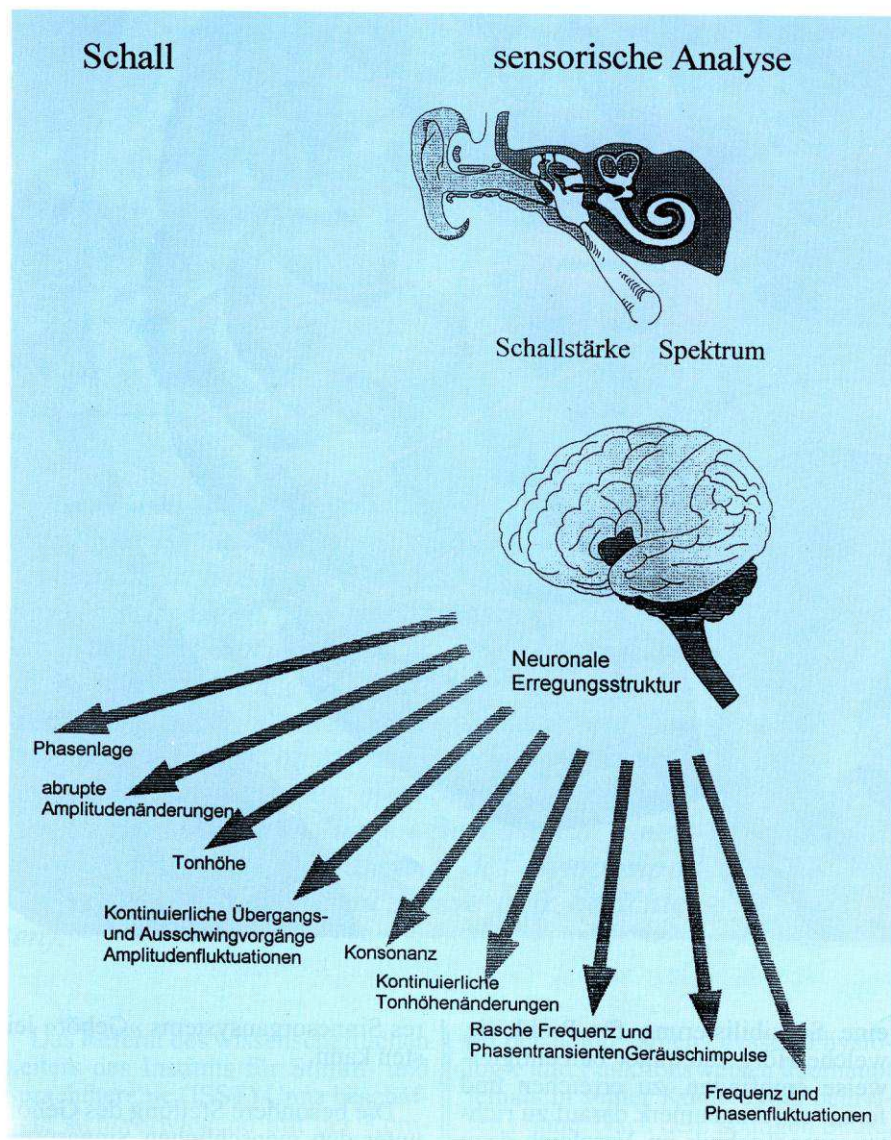


Abb. 1



mindest eine elementare Sprache ermöglicht. Hinlänglich bekannt ist weiterhin, daß Aufgaben von Gehirnen verschiedener Menschen nicht gleich gelöst werden und somit Schädigungen von einzelnen Hirnregionen oftmals unterschiedliche, sehr individuelle Auswirkungen nach sich ziehen. Aus Untersuchungen, in welchen Patienten beispielsweise die Unterschiede zwischen verschiedenen Tonfolgen herausfinden sollten, weiß man um die unterschiedliche Art und Weise dieser Problemlösung. Rufen sich einige unter stärkerer Beteiligung der rechten Hemisphäre eher die Tonfolgen ins Gedächtnis, so ordnen andere die Töne einem Notensystem zu, was wiederum zu einer höheren Aktivität der linken Gehirnhälfte führt.

Das Gehör hat sich im Laufe von Jahrtausenden des menschlichen Evolutionsprozesses im wesentlichen auf einige typische Schallereignisse eingestellt. Der Referent wies darauf hin, daß es für uns als moderne, zivilisierte Menschen mittlerweile kaum mehr darauf ankommt, auch leiseste Geräusche von weit entfernten, herannahenden Objekten im Sinne einer Gefahrenabwehr rechtzeitig wahrzunehmen. Diese spezifische, natürliche Hörleistungsfunktion verkümmert somit immer mehr, da sie nicht mehr trainiert und benötigt wird. Falls erforderlich, wird sie technisch (z. B. mit sogenannten Bewegungsmeldern, Verstärkern etc.) ausgeglichen. Dies ist nur ein Beispiel der prinzipiell veränderten Bewertung von Schallereignissen. Fest steht ferner, daß akustische Signale auf vielfältige und komplizierte Weise wahrgenommen und von jedem Menschen anders bewertet und verarbeitet werden. Während der eine schon schreckhaft in Panik verfällt, schert sich ein anderer z. B. noch einen feuchten Kehricht um ein auftretendes Raschelgeräusch. Diese individuelle psychoakustische Bewertung und Verarbeitung ist letztlich auch ein erforderliches Kriterium und unabdingbare Voraussetzung für die vergleichende Hörgeräte-Anpassung (*Anmerkung des Berichterstatters!*)

Viele dieser psychoakustischen Determinanten sind nicht allein mit Meßverfahren festzulegen, welche physikalische Größen annehmen. Häufig stellen diese keinen Maßstab dar, wie ein Geräusch vom Menschen empfunden wird. Als Beispiel hierfür sei nur die Pegelerhöhung eines Tones

von 60 auf 70 dB genannt, welche meßtechnisch einer Verzehnfachung der Schalleistung – psychoakustisch jedoch nur einer Verdopplung der wahrgenommenen Lautheit – entspricht. Ein weiteres Beispiel sind die Isophonen gleicher Lautheit, welche aufzeigen, daß zwei in ihrem physikalischen Ausgangspegel deutlich differierende Schallereignisse von unterschiedlicher Frequenz subjektiv gleichlaut empfunden werden können. Werden tiefe und hohe Frequenzen bei effektiv gleichem, niedrigem Schalldruck deutlich leiser empfunden als mittlere, so nimmt dieser Effekt bei höherem Schalldruck deutlich ab. Die Isophonkurven verflachen. Von weiteren psychoakustischen Phänomenen konnte sich das Auditorium anhand akustisch perfekt, aufschlußreich und eindrucksvoll dargebotener Beispiele überzeugen. Leider kann über den

fachlichen »Ohrenschmaus« hier vom Berichterstatter nur ein effektloser, verbal-optischer Eindruck vermittelt werden. Akustisch besonders beeindruckend: Das Lautheitsempfinden von Tönen mit gleicher Amplitude und Frequenz steht im Bereich von 200 bis 1 000 Millisekunden in Abhängigkeit zur zeitlichen Ausdehnung. Je länger der Ton dauert, desto lauter wird er (trotz gleicher Amplitude und Frequenz) empfunden. Eindrucksvoll auch: Zwei pulsierende Töne ähnlicher Frequenz ergeben ein Klangmuster. Bei wachsendem Frequenzabstand löst sich das Muster auf und man hört zwei separate Töne. Ein weiteres Tonbeispiel brachte die Besonderheit der Einstellung von AGC-Hörgeräten mit unterschiedlichen Releasezeiten und bei einem Kompressionsverhältnis von 1:10 klar zu Tage. Deutlich wurde hierbei, daß kurze

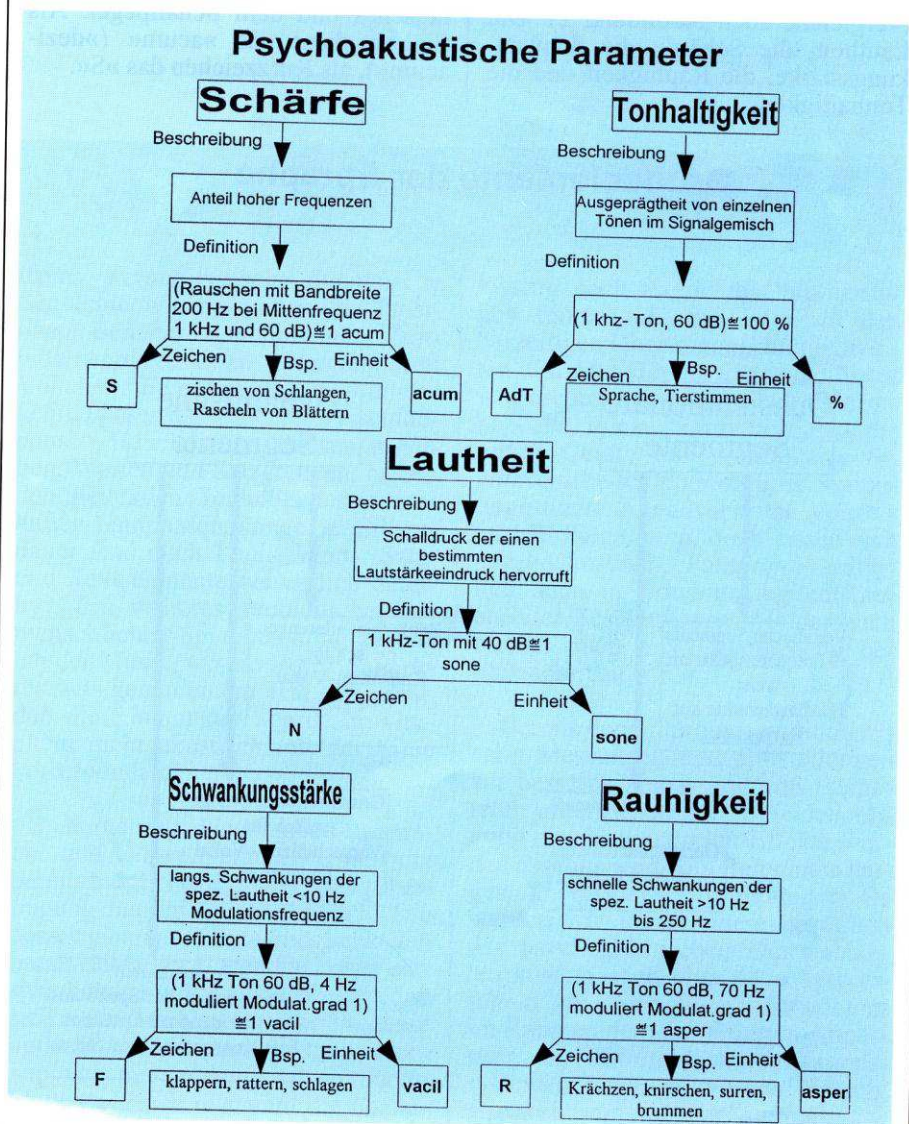


Abb. 2



Releasezeiten den Pumpeffekt begünstigen und somit zu einem deutlich schlechteren Sprachverständnis führen.

Die Wahrnehmung von Schallerignissen wird also außer von physikalischen vorwiegend auch durch psychische Eigenschaften bestimmt. So sind dem physikalischen Bereich prinzipiell lediglich Schallstärke und Schallspektrum zuzuordnen, während die neuronale Erregung hingegen durch weitaus mehr Einflußfaktoren bestimmt wird. Der Nachteil herkömmlicher audiometrischer Testverfahren wurde diesbezüglich bereits sehr früh erkannt und hieraus die Notwendigkeit zur Entwicklung gehörlicher psychoakustischer Verfahren abgeleitet. In umfangreichen audiologischen Versuchsreihen wurden im Laufe dieser Entwicklungen hauptsächlich folgende psychoakustischen Größen bestimmt (vergleiche auch Abbildung 2): Die Lautheit, die Schärfe, die Schwankungsstärke, die Rauigkeit und die Tonhaltigkeit.

## 1. Lautheit

Lautheit beschreibt das subjektive Lautstärkeempfinden und ist somit die wichtigste psychoakustische Größe. Abhängig ist der subjektive Lautstärkeindruck, wie wir zum Teil bereits gehört haben, von Parametern wie der Zeitdauer, der Bandbreite sowie des Frequenz- und Schallpegels des Signals. Ihre Einheit ist das »sone«, als Kurzzeichen dient ein »N«, wobei ein zugefügtes »G« bedeutet, daß der Lautheitswert sich aus einzelnen Frequenzgruppen errechnet. Ein hinzugefügtes »F« steht für Freifeld, ein hinzugefügtes »D« für Diffusfeld.

## 2. Schärfe

Sie beschreibt die Höhenanteile des Geräusches und ist abhängig von der spektralen Zusammensetzung des Geräusches und dem Schallpegel. Als Einheit dient das »acum« (»dezi-acum«), als Kurzzeichen das »S«.

## 3. Schwankungsstärke

Sie bezieht sich auf zeitlich schwankende (amplitudenmodulierte) Geräusche. Unter Schwankungen versteht man langsame Modulationen, während schnelle Modulationen mit dem Begriff Rauigkeit versehen werden. Die Schwankungsstärke ist neben dem Schall- und Frequenzpegel abhängig von der Modulationsfrequenz und dem Modulationsgrad. Am empfindlichsten reagiert das menschliche Ohr auf Modulationen mit vier Wiederholungen pro Sekunde. Die Einheit für langsame zeitliche Schwankungen (Schwankungsstärke) ist das »vacil«, das Kurzzeichen das »F«. Ein vacil entspricht einem 1 kHz-Ton von 60 dB mit der Modulationsfrequenz 4 und dem Modulationsgrad 1. Entsprechende Effekte sind »klappern«, »rattern«, »flattern«, »schlagen« und »rumpeln«.

## 4. Rauigkeit

Die Abfolge schneller zeitlicher Modulationsänderungen werden vom menschlichen Gehör nicht mehr als Einzelereignis, sondern als Klangänderung wahrgenommen. Neben Schallpegel, Frequenzlage und den Faktoren Modulationsgrad und Modulationsfrequenz wird die Rauigkeit noch durch die Kreuzkorrelation zu den beiden Nachbarfrequenzgruppen determiniert. Vom menschlichen Ohr werden Modulationsfrequenzen zwischen 10 und 250 Hz wahrgenommen, wobei die größte Empfindlichkeit bei einer Modulationsfrequenz von 70 Hz liegt. Die Einheit der Rauigkeit ist das »asper«, ihr Kurzzeichen das »R«. Beispiele für Rauigkeit sind Schallereignisse wie »surren«, »brummen«, »krächzen« und »knirschen«.

## 5. Tonhaltigkeit

Ragt ein einzelner Ton auch nur geringfügig aus einem Tongemisch heraus, so trägt dieser zwar weder maßgeblich zu Lautheit oder Schalldruckpegel bei – wird jedoch als lästig und störend empfunden. Die Tonhaltigkeit ergibt sich aus der Pegeldifferenz des tonalen Anteils zu den restlichen Geräuschanteilen. Die Tonhaltigkeit determiniert also letztlich den tonalen Anteil im Signal (Ausgeprägtheit der Tonhöhe = »AdT«). Ihre Einheit wird prozentual

### Grundelemente der Sprache

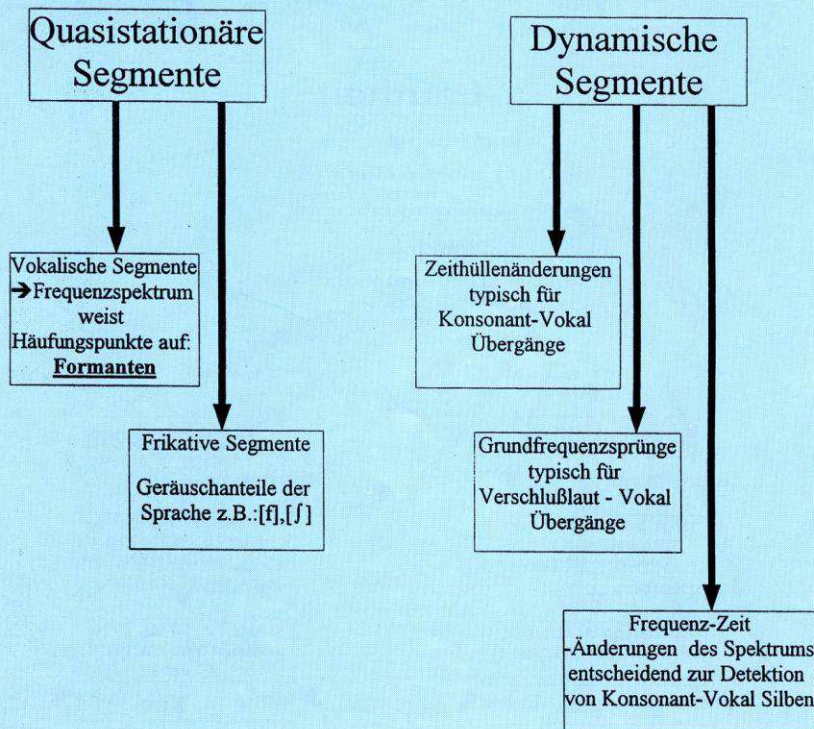


Abb. 3



angegeben (%), ihr Kurzzeichen ist das »AdT«.

Als vorrangige Aufgabe bei der individuellen Anpassung von Hörsystemen gilt die Forderung einer Optimierung des Sprachverstehens des Hörgeschädigten unter Berücksichtigung der Klangqualität. Das Spektrum des Sprachschalls, mit einer durchschnittlichen Dynamik von 30 dB, soll in den Restdynamikbereich des Patienten transformiert werden, ohne dessen individuelle Unbehaglichkeitsschwelle zu überschreiten – und dies auch noch unter ausreichender Berücksichtigung von Parametern wie Hörgeschmack und anderen psychoakustischen Prozessen.

Die Schwierigkeit einer Hörsystemanpassung besteht demnach nicht nur im frequenzspezifischen Ausgleich der individuell eingeschränkten Übertragungsfunktion und deren Einfluß in punkto Schallstärke auf die Schalldiskrimination, sondern es ergeben sich für diesen Funktionsbereich noch eine Vielzahl weiterer Probleme. Begründet liegen diese neben dem Phänomen Recruitment insbesondere auch in der problematischen Trennung von Sprach- und Störschall.

Als Hauptschwierigkeit einer Hörhilfenanpassung entpuppt sich die Tatsache, daß menschlicher Sprachschall durch seine vielfältigen und komplizierten akustischen Elemente eine kaum mit einem anderen Schallereignis vergleichbare Besonderheit darstellt. Gerade psychoakustische Prozesse spielen bei der Sprachverarbeitung eine sehr große Rolle und deren Initialisierung steht in enger Abhängigkeit zu den übertragenen Signalen. Im Gegensatz zur Musik, welche von erheblich weniger akustischen Merkmalen bestimmt ist, sind die bedeutendsten Eigenschaften des menschlichen Sprachschalls sehr komplex. Seine wesentlichsten, elementaren Eigenschaften wurden sodann vom Referenten detailliert aufgezeigt und erläutert (vergleiche Abbildung 3).

Als hauptsächliche akustische Grundelemente der Sprache spielen eine maßgebliche Rolle: Vokale, nasale, frikative und plosive Elemente. Transientensegmente (typisch für Diphthonge au, eu etc.) sowie Übergänge zwischen Vokalen und Konsonanten. Segmente mit starker Amplitudenmodulation (z. B. »r«-Laut), typischer Zeitverlauf und Intensität, sowie Frequenzzeitänderungen des Spek-

Abb. 4

## Berücksichtigung psychoakustischer Parameter bei der Hörgeräteanpassung

Der Sprachbereich (30 - 60 dB SPL) muß im Restdynamikbereich des Patienten abgebildet werden.

Der Restdynamikbereich ist umfassend zu ermitteln durch: Hörschwellenaudiometrie, Hörfeldaudiometrie, Ermittlung der Unbehaglichkeitsschwelle

Tests der zentralen Verarbeitung (psychoakustische Tests: Zeitliches Auflösungsvermögen, Diskriminationstest, Binauraler Summationstest), um neuronale Störungen auszuschließen.

Kompressionsanpassung bei AGC- Geräten gering halten. Nicht mehr als nötig!

Filter so einstellen, daß ihre Bandbreite nur ganze Frequenzgruppen umfaßt.

Release Time bei AGC- Geräten mit zunehmender Kompression erhöhen.

trums. Ferner typische dynamische Segmente wie beispielsweise Plosionsphasen der Verschlußlaute, Zeitlückensprünge beim Übergang von Vokalen zu Konsonanten und umgekehrt, Phasensegmente wie Verschlußpausen, Hauchpausen, Pausen an Silben, Worten und Satzgrenzen. Neben der gleitenden Tonhöhe der stimmhaften Lautphasen, sowie der Silbendauer sind auch Laut-, Wort-, Satz- und Textsegmente wesentlich beteiligt. Ein weiteres Problem bei der menschlichen Sprache ist, anders als bei der Musik, wo die Note der Partitur stets genau einem Ton entspricht, daß die Einheit der Schrift im Graphem nicht akustisch mit der Silbe korrespondiert.

Naturgetreue Wiedergabe von Sprache und Umweltgeräuschen ist trotz bereits möglicher digitaler Klangübertragung bis dato nicht möglich. Die derzeit gängigen Einstellmöglichkeiten handelsüblicher Hörgeräte lassen entsprechende Einflußmöglichkeiten, daß sich auch psychoakustische Prozesse optimal konstituieren können, nach wie vor nur in begrenzt geringem Maße zu. Auch hier wird die Klangübertragung mittels digitaler Technik

künftig noch zu vielen Optimierungen führen müssen. Zwischen den derzeitigen Übertragungsmöglichkeiten und dem Hören, wie es die Natur vorgesehen hat, klafft noch eine erhebliche Lücke. Zwar verfügen die ersten Geräte mit voll digitaler Signalverarbeitung bereits über computergestützte Anpassvarianten von bis zu 150 Parametern, doch lassen sich psychoakustische Faktoren – natürlich auch in Ermangelung entsprechender Testverfahren – leider auch hierbei noch nicht ausreichend berücksichtigen.

Bereits derzeit probate audiometrische Messungen und Einstellungen zur besseren Anpassung von Hörgeräten unter besonderer Berücksichtigung psychoakustischer Effekte wurden abschließend vom Referenten dargestellt (vergleiche Abbildung 4). So werden wir insbesondere bezüglich der psychoakustischen Determinanten künftig noch über neue Testverfahren zu neuen Einstellparametern im Rahmen der qualifizierten Anpassung von Hör- und Kommunikationssystemen kommen müssen. Es gibt also weiterhin noch viel zu tun...