

Hörgeräte mit frequenzabhängiger Kompression zur Kompensation eines gestörten Dynamikbereichs

Teil 1

Hasso von Wedel

Zusammenfassung Bisher verwendete Kompressionssysteme entsprechen nicht den Anforderungen, die eine Einschränkung des Dynamikbereichs an ein Hörgerät stellt. Diese Tatsache wird durch mehrere Untersuchungen bestätigt, die zum Beispiel bei normalen Umgebungsgeräuschen über die Ablehnung von Hörgeräten mit Kompression berichten. Konversationssprache ist durch unterschiedliche Anordnung frequenz- und intensitätsspezifischer Komponenten über die Zeit gekennzeichnet. Der pathologisch veränderte Dynamikbereich verhindert zum Beispiel, intensitätsschwache Konsonanten mit hohen Frequenzanteilen und Vokale mit ausgeprägter Intensität im unteren Frequenzbereich zu koordinieren. Dies wird vor allem bei Hörverlusten offensichtlich, die den hörbaren Frequenzbereich unterschiedlich betreffen. In diesen Fällen hat eine Kompression auf das differenziert gestörte Frequenzband häufig negative Auswirkungen. Durch Aufteilung der einlaufenden Sprachsignale in multiple Frequenzbänder mit individuell regelbarer Kompression für jedes Band und anschließender Summierung lassen sich simultan Veränderungen von Eingangsintensität und -frequenz beeinflussen. Die Verstärkungsregelung kann dabei separat für jedes Band vor, oder durch einen Equalizer, nach der Mischstufe realisiert werden. Durch Anpassung an den vorhandenen Dynamikrestbereich lassen sich die entsprechend transformierten frequenzunterschiedlichen Lautstärkerelationen zu einer besseren Diskrimination verwerten. Die angesprochenen Kompressionssysteme können zwei- oder mehrkanalig ausgelegt sein. Ausgehend von umfangreichen Untersuchungen in Skandinavien werden die prinzipiellen Gesichtspunkte apparativer und anpassungstechnischer Art vorgestellt und diskutiert. Auf bereits verfügbare Hörgeräte mit frequenzabhängigen Kompressionssystemen wird eingegangen.

Die umfangreiche Literatur, die die Überlegenheit von Hörgeräten mit Kompressionssystemen gegenüber konventionellen, das heißt Hörgeräten ohne Dynamikkompression, hervorhebt, kann nicht über die Tatsache hinwegtäuschen, daß eine optimale Ausnutzung der Restdynamik des Gehörs zur Zeit noch nicht zufriedenstellend gelöst ist. Dies wird auch durch die nicht geringe Anzahl von Studien bestätigt, die keine wesentliche Diskriminationsverbesserung durch Hörgeräte mit Kompression feststellen können (Landwehr [13], Rintelmann [18], Blegvad [5], Ludvigsen und Birk Nielsen [14], Brink u. a. [4], Birk Nielsen [3], Caraway und Carhart [7], Vargo und Carhart [21], Villchur [26]). Insbesondere trifft dies für den skandinavischen Sprachraum zu, wo Verordnungsquoten von Hörgeräten mit Kompression zwischen 5 und 27 Prozent angegeben werden (Birk Nielsen [3]).

Weisen Kompressionsgeräte, in ruhigem Umgebungsraum getragen, häufig signifikant bessere Ergebnisse als konventionelle Geräte auf, so zeigt sich doch ihre Begrenzung bei zusätzlichen Umgebungsgeräuschen. Neben der Tatsache, daß in geräuschvoller Umgebung lauter gesprochen wird und Vokale Intensitätspegel von über 80 dB SPL erlangen können, kann vor allem der häufig auftretende tieffrequente Lärm wesentliche Auswirkungen auf die Kompression aufweisen. Die Dominanz der Signalkomponente mit dem höchsten Intensitätspegel führt zu dem für die Sprachdiskrimi-

The extensive literature which emphasizes the superiority of hearing aids with compression systems compared with conventional hearing aids i.e. those without dynamic compression, cannot disguise the fact that the problem of optimally utilizing the residual dynamics of the hearing has at present not yet been satisfactorily solved. This is also confirmed by the not inconsiderable number of studies which have found no great improvement in discrimination in hearing aids with compression (Landwehr [13], Rintelmann [18], Blegvad [5], Ludvigsen and Birk Nielsen [14], Brink et al [4], Birk Nielsen [3], Caraway and Carhart [7], Vargo and Carhart [21], Villchur [26]). This applies particularly to the Scandinavian language area, where prescription levels for hearing aids with compression are reported to range between 5 and 27% (Birk Nielsen [3]).

While compression hearing aids worn in quiet surroundings often reveal significantly better results than conventional hearing aids, they show their limitation in conditions of additional background noise. Apart from the fact that speech is louder in noisy conditions and vowel intensity levels of over 80 dB SPL can be reached, the frequently occurring low-frequency noise can above all have a considerable effect on the compression. The dominance of these signal components with the highest intensity level leads to the effect, so negative for speech discrimination, of reduced pre-

Hearing Aids with Frequency-dependent Compression for Compensation of a Defective Dynamic Range

Part 1

Summary Compression systems used up to now do not conform to the requirements which a restriction in the dynamic range imposes on a hearing aid. This fact is confirmed by a number of investigations which, for example, in normal environmental noise, report of the rejection of hearing aids with compression. Conversational speech is marked by a varying arrangement of frequency- and intensity-related components over a period of time. The pathologically changed dynamic range prevents, for example, low-intensity consonants with high frequency components and vowels with pronounced intensity from being coordinated in the lower frequency range. This is mainly apparent in hearing losses which affect the audible frequency range to a varying degree. In these cases, compression frequently has a negative outcome on the differentially disturbed frequency band. Variations in input intensity and frequency can be influenced simultaneously by subdividing the incoming speech signals into multiple frequency bands with individually adjustable compression for each band and subsequent summation. The gain control can be provided separately for each band before or, by an equalizer, after the mixer stage. The appropriately transformed loudness relationships of varying frequency can be used to provide better discrimination by adaptation to the existing residual dynamic range. These compression systems can be designed with two channels or as multi-channel systems. The main aspects concerning design and technical adaptation are presented and discussed on the basis of extensive investigations in Scandinavia. Hearing aids already available with frequency-dependent compression systems are dealt with.

nation so negativen Effekt der reduzierten Darbietung der höherfrequenten Konsonanten. Der Einfluß der Vokale auf den Einsatzpunkt der Kompression ist hinreichend bekannt. Wesentliche Sprachelemente können dadurch nicht mehr ausreichend perzipiert werden und liegen zum Teil nahe bei oder unter der Hörschwelle.

Wo liegen die Ursachen, die der Verwendung von konventionellen Kompressionsgeräten entgegenstehen? Welche Möglichkeiten deuten sich an, dieser Begrenzung zu begegnen? Und letztlich muß gefragt werden, welche zusätzlichen Informationen zum Hörvermögen sind von Bedeutung, um die Verwendung frequenzabhängiger Kompressionsgeräte zu optimieren und zu rechtfertigen?

Ausgangspunkt der weiteren Überlegungen soll die Bedeutung einzelner Sprachelemente im Hörfeld sein (Abb. 1). Dieses von Fletcher [10] für die englische Sprache erstellte Schema verdeutlicht die unterschiedliche frequenz- und intensitätsabhängige Anordnung der wesentlichen Sprachlaute. Neben der intensitätsmäßigen Dominanz der Vokale gegenüber den Konsonanten wird auch ihre frequenzabhängige Zuordnung offensichtlich. Vokale mit ihren einzelnen Formanten sind mehr tiefen und mittleren Frequenzen zuzuordnen, Konsonanten, hier insbesondere die Sibilanten, höheren Frequenzen. Die Zuordnung des Intensitätsschwerpunktes wird auch durch den Leistungsdichte-

sentation of the higher-frequency consonants. The influence of vowels on the attack point of the compression is sufficiently well known. Important speech elements can thus no longer be adequately detected and remain in part close to or below the auditory threshold.

What are the causes opposing the use of conventional compression hearing aids? What possibilities are there for overcoming this restriction? And it must finally be asked what information additional to the remaining hearing ability is significant in optimizing and which justifies the use of frequency-dependent compression hearing aids?

The significance of individual speech elements in the auditory area will be the starting point for further deliberations (Fig. 1). This diagram produced by Fletcher [10] for the English language illustrates the different frequency and intensity-dependent arrangement of the main speech sounds. Apart from the dominant intensity of the vowels compared with the consonants, their frequency-dependent association becomes also apparent. Vowels with their individual formants are associated more with low and medium frequencies, while consonants, here in particular the sibilants, more with higher frequencies. This association of the intensity concentration is also emphasized by the power density level of the German language (Fig. 2), whose main intensity is below 1000 Hz. The intensity-related as well as frequency-related

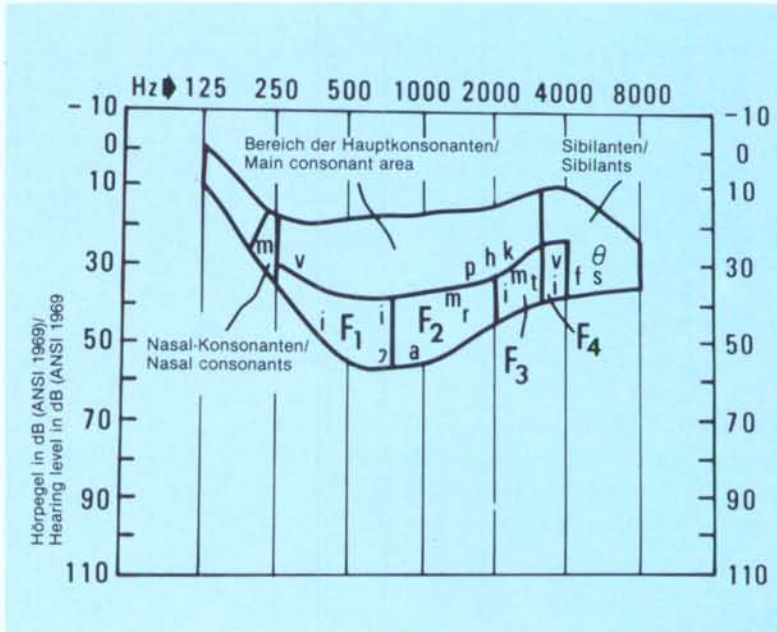


Abb. 1 Hörfeld mit frequenz- und intensitätsabhängiger Verteilung der wesentlichen Sprachparameter; F_1 bis F_4 kennzeichnen die Formantbereiche (nach Fletcher [10])

Fig. 1 Auditory sensation area with frequency and intensity-dependent distribution of the main speech parameters; F_1 to F_4 identify the frequency bands of formants (after Fletcher [10])

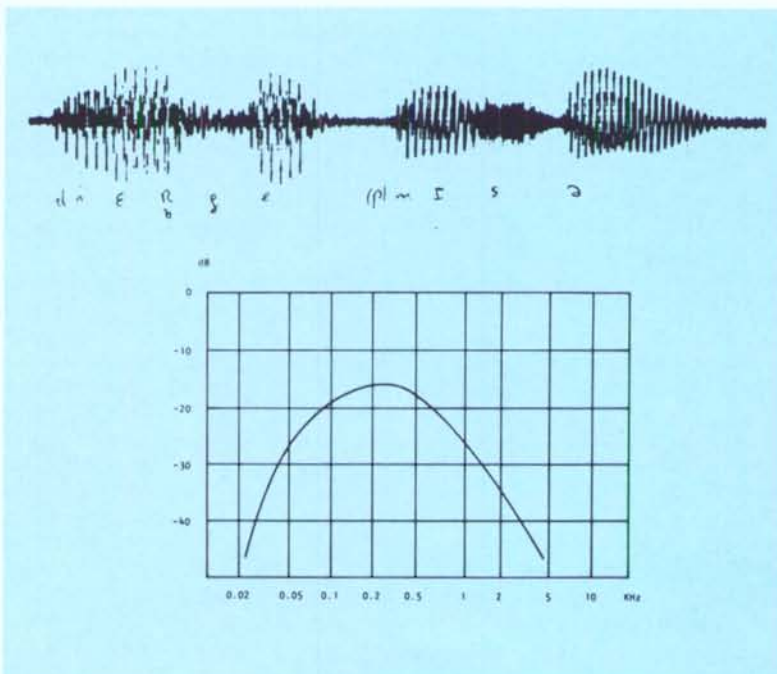


Abb. 2 Oszillogramm ("die Ergebnisse") (oben) und Leistungsdichtespektrum deutscher Sprache (unten)

Fig. 2 Oscillogram ("die Ergebnisse") (top) and power density spectrum of the German Language (bottom)

pegel deutscher Sprache unterstrichen (Abb. 2), der seinen Schwerpunkt unterhalb 1000 Hz aufweist. Die Intensitäts- und frequenzbezogenen Unterschiede werden besonders offensichtlich, wenn man das in dieser Abbildung dargestellte Oszillogramm berücksichtigt.

Diese allgemeinen Betrachtungen zu Intensitäts- und Frequenzkomponenten einzelner Sprachelemente sind für die frequenzabhängige Kompression nicht unwesentlich. Auf die besondere Bedeutung höherfrequenter Sprachelemente wie zum Beispiel der hohen Konsonanten wurde bereits mehrfach hingewiesen. Ihre Beeinflussung durch tieffrequente Signale ist, wie bereits angedeutet, erheblich. Da die Wertigkeit im Hinblick auf die Verständlichkeit von Sprache mit zunehmender Mittenfrequenz des Phonems zunimmt, eine gegenläufige Tendenz zur Häufigkeit ihres Vorkommens in durchschnittlicher Sprache, haben Phoneme wie [s], [f] und [v] großen Einfluß auf eine optimale Diskrimination (Geers et al. [11]).

differences become particularly obvious when we examine the oscillogram shown in this illustration.

These general observations regarding intensity and frequency components of individual speech elements are not insignificant for frequency-dependent compression. Many references have already been made to the particular importance of higher frequency speech elements such as, for example, the high consonants. The influence on them by low-frequency signals, as already mentioned, is considerable. Since their valence with respect to the intelligibility of speech increases with growing center frequency of the phoneme (an opposing tendency to the frequency of its occurrence in average speech), phonemes such as [s], [f] and [v] exercise a great influence on an optimum discrimination (Geers et al. [11]).

Adequate discrimination can finally only be achieved by an optimum arrangement of the individual speech

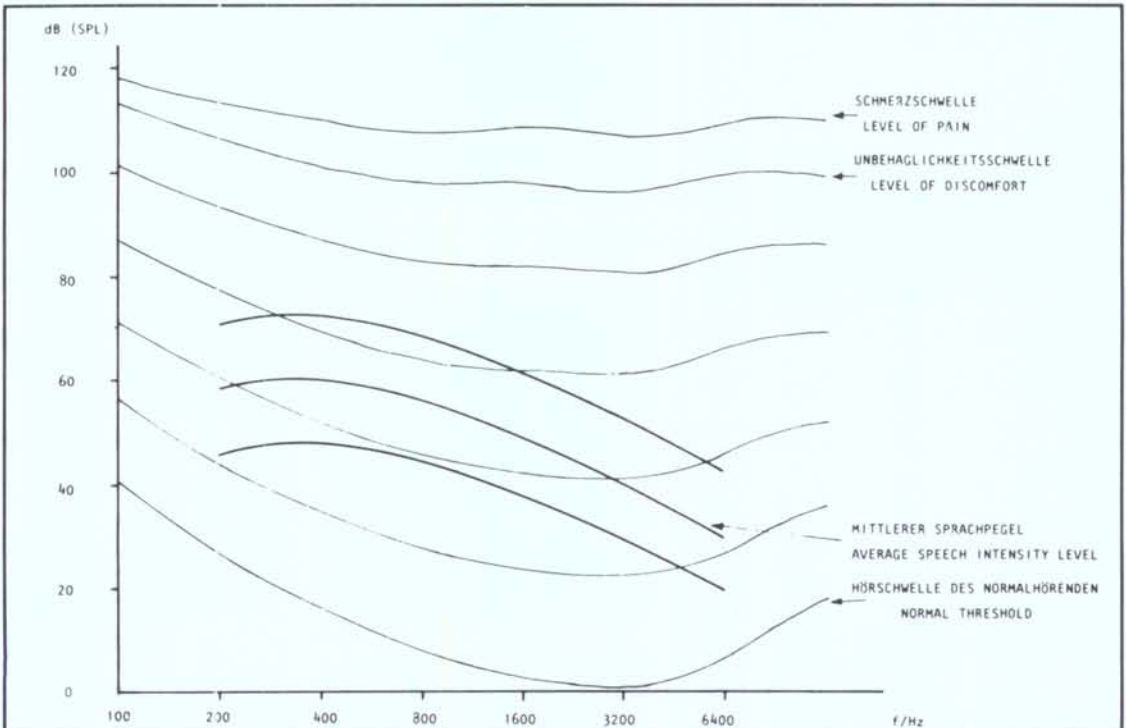


Abb. 3 Schematische Darstellung der Kurven gleicher Lautheit mit angedeutetem Hörfeld für Sprache (nach Newby [17])

Fig. 3 Schematic representation of the equal loudness contours with the auditory area indicated for speech (after Newby [17])

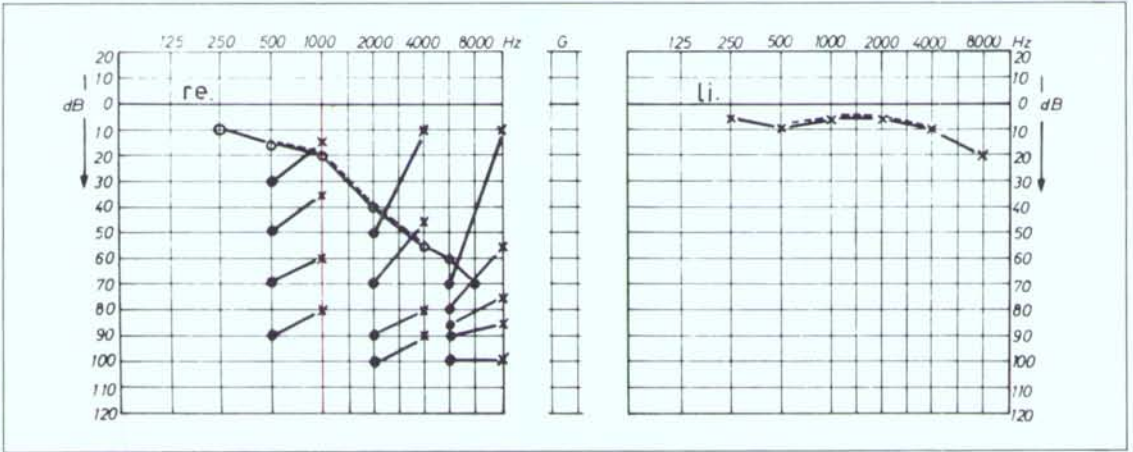


Abb. 4 Frequenzabhängiges Recruitment nach Fowler

Fig. 4 Frequency-dependent recruitment after Fowler

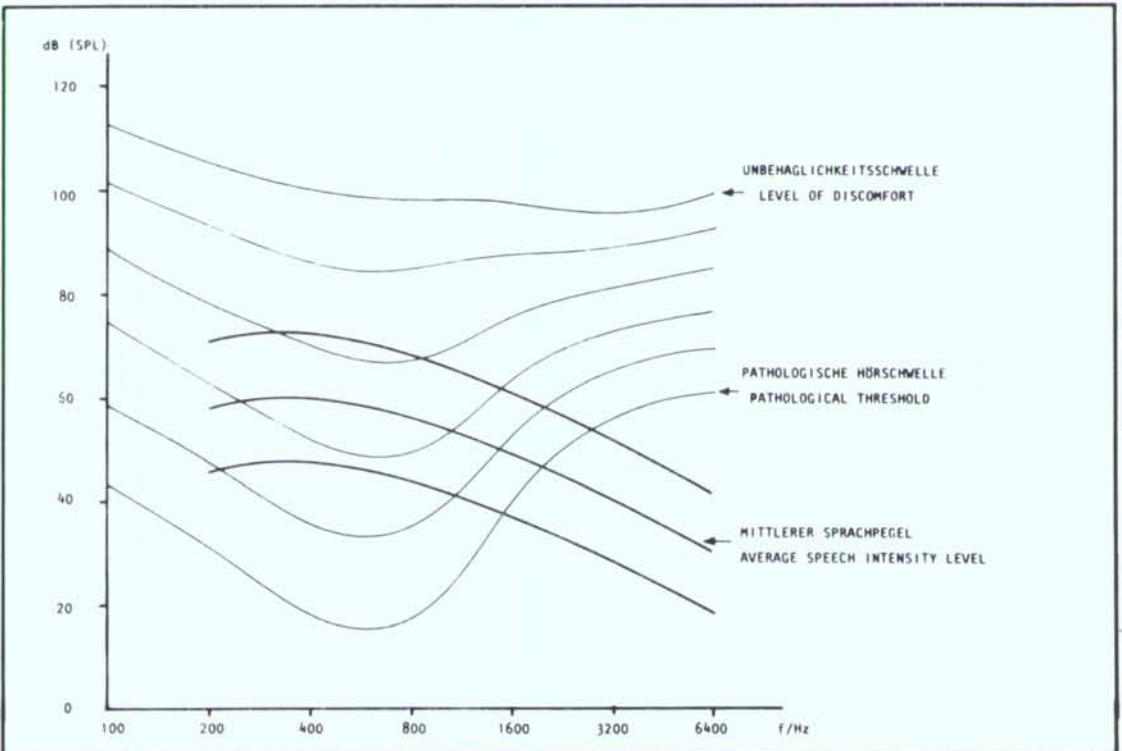


Abb. 5 Veränderte Kurven gleicher Lautheit bei einem cochleären Hochtonhörverlust mit schematischem Hörfeld für Sprache (nach Newby [17])

Fig. 5 Modified equal loudness contours with a cochlear loss for high tones with schematic auditory area for speech (after Newby [17])

Eine ausreichende Diskrimination kann letztlich nur durch optimale Anordnung einzelner Sprachkomponenten im pathologischen Resthörfeld erreicht werden. Daß hier neben den Frequenz- die Intensitätskomponenten eine wesentliche Rolle spielen, ist unumstritten. Auf die Bedeutung zeitlicher Signalmuster soll hier nur hingewiesen werden.

Inwieweit haben die zuletzt gemachten Ausführungen nun einen Bezug zur gestellten Thematik? Bevor der direkte Zusammenhang offensichtlich wird, soll das mit seinen Kurven gleicher Lautheit dargestellte Hörfeld durch das schematisch eingezeichnete Sprachfeld ergänzt werden (Abb. 3). Die Darstellung gilt natürlich nur für den Normalhörenden. Ein pathologisches Innenohr mit einem Recruitment weist völlig veränderte Zusammenhänge der Lautheitsempfindung auf. Für die Routine sind die vorwiegend nach Fowler erstellten Diagramme für ein Recruitment üblich. Ein Schritt

components in the pathological residual auditory area. That the intensity components, in addition to the frequency components, play a considerable part in this respect is not disputed. A short reference to the significance of temporal signal patterns may suffice.

To what extent do these latter statements have a bearing on the subject matter on hand? Before the direct relationship becomes apparent, the auditory area presented with its equal loudness contours will be supplemented by the schematically represented speech area (Fig. 3). This representation applies of course only to persons with normal hearing. A pathological internal ear with recruitment produces completely different conditions of loudness perception. Routinely, the diagrams produced primarily after Fowler, are usual for a recruitment. A step further represents a frequency-dependent testing of recruitment which will allow more differentiated information to be obtained

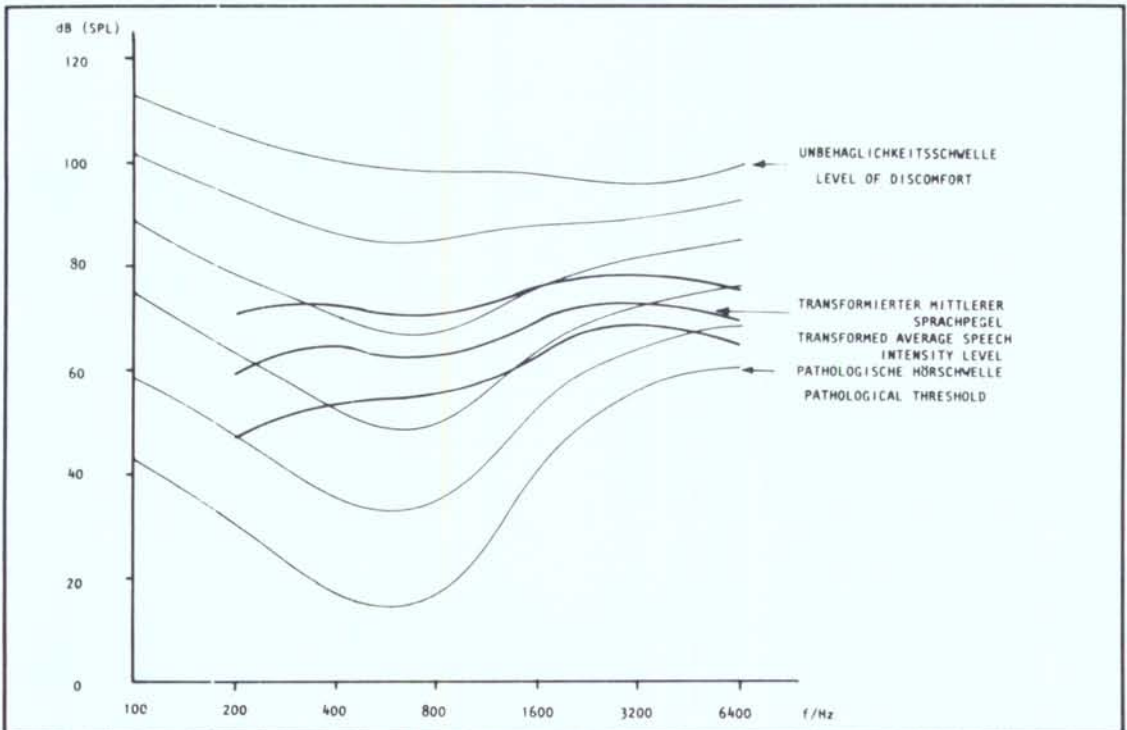


Abb. 6 Transformiertes Hörfeld für Sprache zur optimalen Ausnutzung der frequenzabhängig veränderten Restdynamik (nach Newby [17])

Fig. 6 Transformed auditory area for speech for optimum utilization of the frequency-dependent modified residual dynamics (after Newby [17])

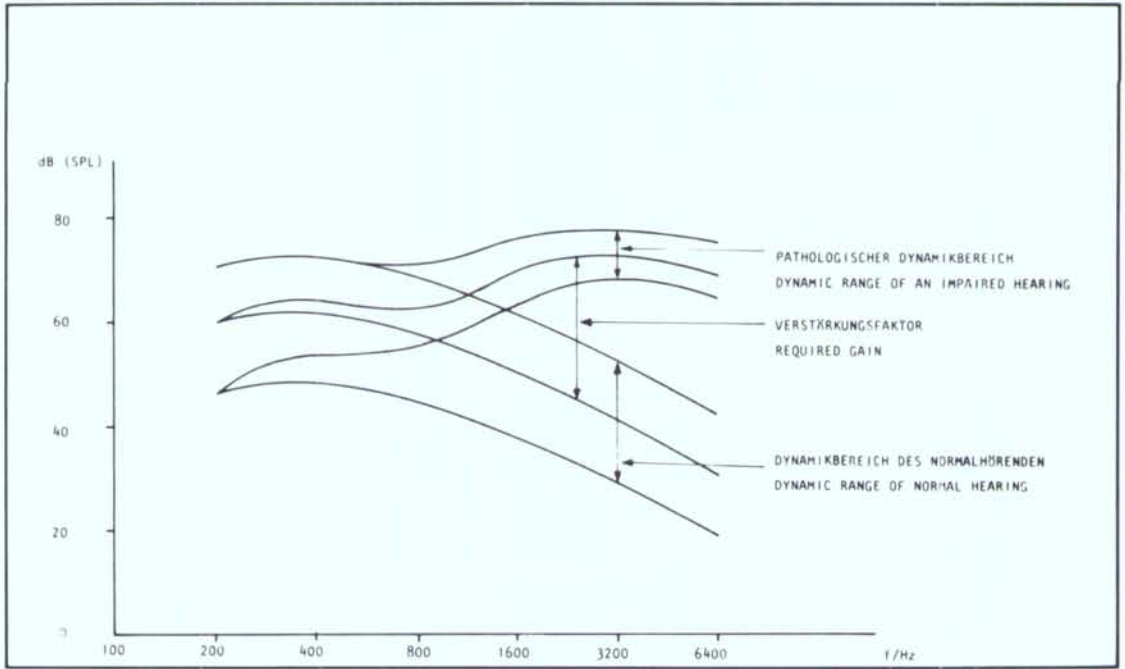


Abb. 7 Schematische Darstellung des Transformationsvorgangs des in Abb. 4 eingezeichneten Hörfelds für Sprache in das Hörfeld des pathologisch veränderten Gehörs (Abb. 5) (nach Newby [17])

Fig. 7 Schematic representation of the transformation process of the auditory area for speech indicated in Fig. 4 into the auditory area of the pathologically modified hearing (Fig. 5) (after Newby [17])

weiter ist eine frequenzabhängige Überprüfung des Recruitments, welche differenziertere Aussagen erlaubt (Abb. 4). Wesentlich deutlicher werden jedoch die Zusammenhänge bei einem recruitment-geschädigten Gehör aus der Darstellung der veränderten Iso-phonie, z. B. bei einem cochleären Hochtonhörverlust (Abb. 5). Der eingezeichnete Sprachbereich mit seiner angedeuteten intensitätsmäßigen Dynamik und seiner Frequenzabhängigkeit macht offensichtlich, welche Probleme bei einer notwendigen Transformation in den Resthörbereich, insbesondere im höheren Frequenzbereich, auftreten. Abb. 6 verdeutlicht, in welcher Form das verfügbare Resthörfeld ausgenutzt werden muß, um eine optimale Diskrimination zu gewährleisten. Rein schematisch lassen sich diese Zusammenhänge aus Abb. 7 ableiten. Der große Dynamikbereich des Sprachfeldes, welches dem Normalhörenden verfügbar ist, wird mit frequenzabhängiger Dynamikkompression in das Resthörfeld des Hörgeschädigten transformiert.

(Fig. 4). But the relationships become much clearer, in the case of a hearing impaired by recruitment, from the illustration of the changed isophones, e.g. in a cochlear high-tone loss of hearing (Fig. 5). The plotted speech range, with its intensity-related dynamics and its frequency dependence indicated, reveals the problems which arise in a necessary transformation into the residual hearing range, particularly in the higher frequency range. Fig. 6 illustrates in what form the available residual hearing field must be used in order to ensure optimum discrimination. These correlations can be obtained purely schematically from Fig. 7. The wide dynamic range of the speech field, which is available to the normal hearing, is transformed by frequency-dependent dynamic compression into the residual hearing field of the hearing-damaged person.

To be continued

Fortsetzung folgt

EXPO OPTICA

The Optics, Optometry and Prosthetic Audiometry Exhibition

30 APRIL - 3 MAY 1982, MADRID

Exhibition Palace
Pº Castellana nº 257 - MADRID-16

SECTIONS

Spectacles.
Contact Lenses.
Ophthalmic Lenses.
Optometry and Contact
Instruments.
Optical Machinery.
Optical Instruments.
Audiophones.
Audiometrical Instruments.
Metrology and
Metrotechnics.
Special Sources of Light.
Associated Industries.



IFEMA

INSTITUCION FERIA DE MADRID

Tels.: 479 06 12 - 479 06 97 - Télex: 44025 - IFEMA-E
Avda. de Portugal, s/n. Madrid-11

**FIRST SPANISH NATIONAL
FRAME AND SUN GLASSES
DESIGN COMPETITION
RULES FROM THE ORGANIZERS**

Literatur/References

- [1] Barfod, J.: Multichannel compression hearing aids. Report no. 11, the Acoustics Laboratory, Technical University of Denmark (aus Barfod [2]) (1976)
- [2] Barfod, J.: Multichannel compression hearing aids; experiments and consideration on clinical applicability. In: Sensorineural hearing impairment and hearing aids, C. Ludvigsen, J. Barfod (editors). Scand. Audiol Suppl. 6, 315 (1978)
- [3] Birk Nielsen, H.: Clinical experience with hearing aids with amplitude compression. In: Sensorineural hearing aids, C. Ludvigsen, J. Barfod (editors). Scand. Audiol. Suppl. 6, 293 (1978)
- [4] Brink, B.; Borrild, K.; Oving, K.: Body-worn stereophonic compression aids used by profoundly hearing impaired children. Scand. Audiol. 4, 199 (1975)
- [5] Blegvad, B.: Clinical evaluation of behind-the-ear hearing aids with compression amplification. Scand. Audiol. 3, 57 (1974)
- [6] Broksch, K. H.: Mesungen an Hörgeräten mit automatischen Verstärkungsregelungen im Rahmen von Bauartprüfungen. Z. f. Hörgeräte-Akustik 14, 46 (1975)
- [7] Caraway, B. J.; Carhart, R.: Influence of compressor action on speech intelligibility. J.A.S.A. 41, 1424 (1967)
- [8] Cole, W. A.: Present and future developments in hearing aid design. Hearing Instruments 30, 26 (1979)
- [9] Evans, E. F.: Peripheral auditory processing in normal and abnormal ears; physiological considerations for attempts to compensate for auditory deficits by acoustic and electrical prostheses. In: Sensorineural hearing aids. C. Ludvigsen, J. Barfod (editors). Scand. Audiol. Suppl. 6, 9 (1978)
- [10] Fletcher, S. G.: Acoustic phonetics. In: The hard of hearing child, K. Berg, S. G. Fletcher (Editors), Grune & Stratten, New York, 57 (1967)
- [11] Geers, V. J.; Keller, F.; Löwe, A.; Plath, P.: Technische Hilfe bei der Rehabilitation Hörgeschädigter, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York (1980)
- [12] Klinke, D.: Pathophysiologie cochleärer Hörstörungen. Vortrag auf der Arbeitstagung der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Audiologen und Neurootologen in Bonn (1978)
- [13] Landwehr, F. J.: Information distortions in hearing aids and possibilities of correcting them. J. Audiol. Tech. 14, 66 (1975)
- [14] Ludvigsen, C.; Birk Nielsen, H.: The effect of body-worn stereophonic compression hearing aids on severely hearing impaired adults. Scand. Audiol. 4, 191 (1975)
- [15] Lippmann, R. P.; Braida, L. D.; Durlach, N. I.: New results on multichannel amplitude compression for the hearing impaired. J.A.S.A. 62, 890 (1977)
- [16] Lippmann, R. P.; Braida, L. D.; Durlach, N. I.: Matching speech to residual auditory function II. Review of previous research on amplitude compression. Report of Research Laboratory of Electronics (MIT), (aus Villchur [25]) (1976)
- [17] Newby, P.: Persönliche Mitteilung an die Firma Unitron (1978)
- [18] Rintelmann, W. F.: Effects of amplitude compression upon speech perception: a review of research. Scand. Audiol. 1, 127 (1972)
- [19] Spreng, M.: Langsam- Rindenpotentiale, objektive Audiometrie und Psychoakustik. In: Physiologie des Gehörs. W. D. Keidel (Hrsg.) Georg Thieme Verlag Stuttgart, 277 (1978)

(Fortsetzung der Literaturhinweise folgt)

(References will be continued in the next issue)