

Der Nutzen der Stereophonie bei der Versorgung von Schwerhörigen Teil 1

René Lehmann

Zusammenfassung Das Problem der stereophonen apparativen Versorgung interessiert im höchsten Grade Ärzte, Ingenieure und natürlich Hörgeräte-Akustiker und verdient, unter den zwei folgenden Gesichtspunkten betrachtet zu werden:

1. Das Gehör ist, wie das Sehorgan, paarweise vorhanden. Sind nun beide Ohren für eine gute Unterscheidung des Schalles im Raum unentbehrlich?

2. Muß die Hörkorrektur bei Schwerhörigen systematisch einohrig oder beidohrig sein?

In seiner Abhandlung versucht der Autor, den Nutzen des beidohrigen Hörens sowohl bezüglich der Schallstärke als auch hinsichtlich der frequenz- und intensitätsmäßig unterschiedlichen Hörschwellen darzulegen. Er untersucht auch die Bedeutung des beidohrigen Hörens für die Schallortung, wobei nacheinander die Rolle der Intensität und die der Phase durchleuchtet werden.

Schließlich untersucht der Verfasser auch die Bedeutung des beidohrigen Hörens für die Qualität des Klangcharakters und den Begriff der Entfernungswahrnehmung.

1. Einführung

Wenn man einen Kopfhörer an ein Ohr anlegt, wird natürlich nur dieses eine Ohr erregt, bei sehr hohen Schallpegeln jedoch wird das Phänomen des Überhörens beobachtet.

Diese Art der Erregung ist normalerweise nicht gegeben, außer zum Beispiel beim Telefonieren und bei der Audiometrie mit Kopfhörer; dies ist auch der Grund, warum der Erforschung des beidohrigen Hörens eine solche Bedeutung zukommt.

Die Frage des beidohrigen Hörens kann von verschiedenen Gesichtspunkten aus betrachtet werden, vor allem aber von den zwei folgenden:

a) Sind, da sowohl das Hörorgan als auch das Sehorgan paarweise vorhanden sind, beide Ohren für eine gute Schallunterscheidung im täglichen Leben unentbehrlich, um eine bessere Sprachverständlichkeit und räumliche Richtungswahrnehmung zu erzielen?

b) Muß die Gehörkorrektur bei Schwerhörigen systematisch beidohrig erfolgen? Hat ein solcher Eingriff ein besseres Klangbild, eine größere Intensität oder eine bessere räumliche Ortung des Schalles zur Folge?

Wenn die Intensitäts-, Phasen- und Zeitunterschiede die Beurteilung der räumlichen Ortung a priori gestatten, können sie dennoch nicht das Abschätzen der Entfernung von Schallquellen noch die Feldtiefe erklären.

M. E. kann man sagen, wenn die Natur den Menschen schon mit zwei Ohren ausgestattet hat, ist ihnen auch eine zusätzliche Rolle zugeteilt. In der Tat nehmen die beiden Ohren niemals genau dieselbe Stellung vor einer Schallquelle ein, und daraus ergibt sich, daß die im

1. Introduction

If a headphone is applied to one ear, it goes without saying that only this ear is "excited" except when high levels of sound allow the phenomenon of cross-hearing to be observed.

This type of excitation is, normally, not met with except in the case of telephones and audiometry employing head-phones, and this is the reason why the study of binaural hearing is of such great importance.

The problem of binaural hearing can be considered from various points of view, in particular, however, from the two following:

a) Like the organ of sight, the organ of hearing is also paired; does this mean that both ears are indispensable for daily life, to ensure good sound discrimination, so necessary for superior speech intelligibility and spatial perception?

b) Must the correction of hearing impairment in the hard-of-hearing be systematically effected binaurally? Does such a correction result in a better sound picture, improved intensity or a better localization of the sound source in space?

If, a priori, the differences in intensity, phase and time, permit an interpretation of spatial orientation, they are not able to explain the phenomena of the estimation of distance to the source of sound and the depth of the field.

I believe that, since Nature has given man two ears, each will certainly have a complementary effect on the other. And indeed, the two ears never have exactly the same position with respect to a source of sound, and

The Importance of Stereophony for the Fitting of the Hard-of-Hearing with Hearing Aids Part 1

Summary The problem of stereophonic hearing aid fitting is of extreme interest to physicians, engineers and, of course, the hearing-aid acoustician, and should be considered under the following two aspects:

1. In common with the eyes, the sense of hearing is also a paired organ. Are both ears indispensable for good discrimination of sound in space?

2. Must, the systematic correction of the hearing loss be monaural or binaural?

In this article, the author has attempted to demonstrate the importance of binaural hearing with respect to both the hearing intensity and the hearing thresholds, differing in frequency and intensity. He also examines the importance of binaural hearing for the localization of the source of sound, by successively studying the role of intensity and of phase.

Finally, the author also studies the importance of binaural hearing for the quality of the timbre and for the idea of the perception of distance.

gleichen Moment bei ihnen eintreffenden Wellenformen nicht genau gleich sind. Dieser Formunterschied spielt wahrscheinlich bei der Ortung des Ausgangspunktes einer Schallquelle im Raum und ihrer Bewegung eine Rolle, wobei man sich jedoch fragen muß, ob dabei einzig und allein der Formunterschied eine Rolle spielt.

Festzustehen scheint, daß die mehr oder weniger komplexen Reize, die an beide Ohren gelangen, sich in den höher gelegenen Zentren verbinden und dort eine einzige Empfindung hervorrufen, wie es v. Békésy schon vor etwa 40 Jahren annahm.

Der Forschung, die das Ziel verfolgt, den Einfluß der beiden Ohren nachzuweisen, muß allgemein der große Vorwurf gemacht werden, daß sie sich auf Kopfhörer und Lautsprecher stützt, deren Abstrahlungsart sich von der der üblichen Schallquellen unterscheidet. Die Richtwirkung dieser Wandler einerseits und ihre Ohrankupplung andererseits sind selten gut definiert, und es ist wahrscheinlich, daß diese beiden Parameter die Art des von den Ohren aufgenommenen Schalles beeinflussen.

Andererseits gibt es sicherlich beidohrige Wechselwirkungen, die sich von Person zu Person unterscheiden, obwohl die beiden Ohren funktionsmäßig unabhängig sind, und das ist neben anderen der Hauptgrund dafür, daß die stereophone Versorgung für eine große Anzahl von Fällen eine Notwendigkeit darstellt.

Im folgenden möchte ich einige allgemeine Ergebnisse bezüglich des Nutzens des beidohrigen Hörens mitteilen, und ich lege großen Wert darauf, von Anfang an vom Vokabular her zwischen *beidohrigem* Hören und *stereophonem* Hören zu unterscheiden. Tatsächlich bezieht sich das *beidohrige* Hören auf die Aufnahme

the result is that the wave forms impinging upon each ear at the same moment are not exactly identical. It is probable that this difference in form has a part to play in the assessment of the source of a sound and its direction of movement, although we must ask ourselves whether the difference in form is the only factor involved.

It would seem to be certain that the more or less complex stimuli that excite the two ears, combine in the higher centres where they provoke a single sensation. V. Békésy assumed this to be the case some forty years ago.

A strong criticism that can be generally levelled against experimental studies carried out with a view to establishing the action of the two ears, is the fact that they have made use of headphones and loudspeakers, whose mode of emitting sound differs from that of the sound sources commonly met with. The directional effect of these transducers on the one hand, and their coupling to the ear on the other are very often not well defined, and it is probable that these two parameters affect the nature of the sound picked up by the ears.

On the other hand, there are very probably binaural interactions which differ from person to person although the two ears are functionally independent of each other and this is one of the main reasons why stereophonic hearing-aid fitting is a necessity in a large number of cases.

Below, I should like to present a number of general results with respect to the importance of binaural hearing and, right from the start, I would like to emphasize that the two terms "binaural hearing" and "stereophonic hearing" are not synonymous. In effect, *binaural* hearing means the picking up of a given sound

eines gegebenen Schalles mit Hilfe der beiden Ohren. Das *stereophone* Hören bezieht sich auf das Hören eines Schalles im Raum mit Hilfe eines Ohres oder der beiden Ohren und auf die Fähigkeit eines hörenden Menschen, die Schallquelle mehr oder weniger genau zu orten. Es ist besser, die Bezeichnung »stereophones Hören« für das Hören künstlich wiedergegebener Schallvorgänge und den Begriff »beidohriges Hören« für das Phänomen des gleichzeitigen Hörens mit beiden Ohren zu gebrauchen. In der Umgangssprache allerdings kann man die beiden Ausdrücke beliebig verwenden.

2. Über die Schwierigkeiten des Experimentierens

Zahlreiche Untersuchungen sind mit Tönen reiner Frequenz durchgeführt worden. Derartige Töne kommen jedoch im täglichen Leben sehr selten vor, und die aufgeworfenen Phasenprobleme haben für die komplexen Töne sicherlich nicht die gleiche Bedeutung wie für reine Töne. Andererseits ändern sich die Geräusche und Töne, denen wir begegnen, ständig, sowohl hinsichtlich Pegel als auch Spektrum, und zwar von einem Augenblick zum anderen. Man müßte demnach entweder vom momentanen Schalldruck oder vom mittleren Schalldruck über eine bestimmte Zeit hinweg sprechen. Andererseits bilden die Ohren keine feste Einheit im Raum. Ein Zuhörer, der einem Schall oder einem Geräusch lauscht, bewegt, bewußt oder unbewußt, immer seinen Kopf und verändert damit die theoretischen Gegebenheiten der Probleme, so wie sie allgemein aufgefaßt werden.

Die dem Schalleinfall zugeordneten Eigenschaften spielen für den Begriff der Richtwirkung eine Rolle. Die persönlichen Eigenschaften des Zuhörers (Intelligenz, Empfindsamkeit, Güte des Gehörs usw.) dürfen nicht vernachlässigt werden. Schließlich darf man auch vor allem die Bedeutung dessen, was die Psychologen »Gewöhnung« nennen, nicht aus den Augen verlieren. Tatsächlich sind wir von Geburt an gewöhnt, mit beiden Ohren zu hören, und wir benutzen diese Fähigkeit unbewußt, um die Schallquelle mit einer gewissen Genauigkeit zu orten. Eine auf einem Ohr schwerhörige Person verliert großenteils diese Fähigkeit, und die einseitige Versorgung mit einem Hörgerät kann ihr diese Fähigkeit nicht vollständig zurückgeben.

Man soll übrigens in diesem Zusammenhang nicht glauben, daß der Gebrauch eines Ohres nicht auch eine gewisse Orientierung ermöglicht. Die Erfahrung hat bewiesen, daß es beim einohrigen Hören ganz deutlich eine Richtungsorientierung gibt und daß diese bei Musik sogar besser ist als bei weißem Rauschen oder für

with the aid of the two ears. *Stereophonic* hearing means the hearing of sound in space with the aid of one or both ears, and the faculty of a hearing person to be able to localize the source of sound more or less accurately. It is preferable to employ the term "stereophonic hearing" here for the hearing of artificially reproduced sounds and the term "binaural hearing" for the phenomenon of simultaneous hearing with the two ears. In everyday speech, however, the two terms can, and are, used without distinction.

2. On the difficulties of experimentation

Numerous investigations have been carried out using pure frequency sounds. In daily life, however, such sounds are very rare and the phase problems involved are almost certainly not the same for complex sounds and pure sounds. On the other hand, the noises and sounds we encounter change continually, both with respect to level and spectrum, from one moment to the next. Accordingly, we should speak either of a momentary sound pressure, or of a mean sound pressure over a given period. On the other hand, the ears do not represent an entity fixed in space. A person listening to a sound or noise, always moves his head, either consciously or unconsciously, and thus alters the theoretical parameters of the problem as they are generally understood.

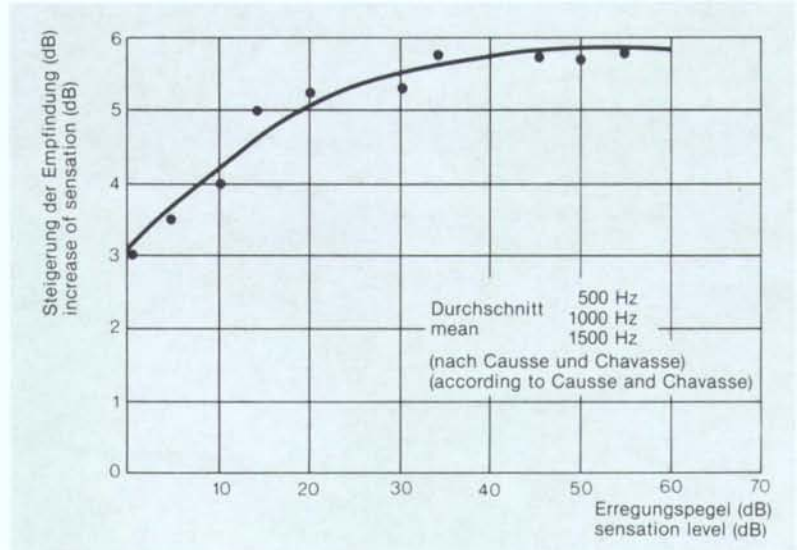
For the notion of directional effect, the properties associated with the incident sound field, play a decisive part. Nor would the subjective factors associated with the listener (such as intelligence, sensitivity, quality of hearing, etc.) be left out of account. Finally, and above all, we must not lose sight of the importance of what the psychologists refer to as "habituation". It is true that, from birth onwards, we are used to listening with two ears, and we make unconscious use of this ability to localize the sound source with a certain degree of accuracy. A person who is hard of hearing in one ear, largely loses this ability, and the unilateral fitting of a hearing aid cannot completely restore this faculty.

In this connection, by the way, we should not believe that the use of only one ear does not permit a certain orientation. Experience has proved that with unilateral hearing, a directional orientation is quite clearly present, and that this faculty is better when listening to music than to "white" noise or the spoken word. Of course, it is less well marked than for binaural hearing, for all types of stimuli.

I believe we can present another subjective example of the importance of binaural hearing, namely, the provision of hearing aids for a person with bilateral hearing impairment. Experience shows that the fitting of a

Abb. 1 Nachweis der beidohrigen Summation der Lautheit in Abhängigkeit vom Schallempfindungspegel

Fig. 1 Demonstration of the binaural summation of loudness, as a function of the level of the intensity of sound



das gesprochene Wort. Natürlich ist sie für alle Arten von Reizen weniger gut als beim beidohrigen Hören.

Man kann ein weiteres subjektives Beispiel für die Bedeutung des beidohrigen Hörens im Falle der Versorgung eines beidseitig Tauben anführen. Die Erfahrung zeigt, daß die Anpassung einer einzigen Hörhilfe nur sehr selten das Richtungs- und Orientierungsvermögen zurückgibt; die richtige Anpassung von zwei verschiedenen Hörhilfen hingegen vermittelt ihm wieder die deutlich verbesserte Vorstellung räumlicher Richtung und Orientierung, vorausgesetzt, daß eine beidseitige Anpassung medizinisch möglich ist.

3. Die physikalische Bedeutung des beidohrigen Hörens

Vom physikalischen Standpunkt aus wurden verschiedene Versuche durchgeführt, um die Bedeutung des beidseitigen Hörens durch die Messung einer gewissen Anzahl von Kenndaten nachzuweisen, wie:

- die liminalen Hörschwellen
- die Unterschiedsschwellen der Frequenz
- die Unterschiedsschwellen der Lautstärke
- die Verbesserung der Sprachverständlichkeit in der Stille und im Lärm.

a) Die liminalen Hörschwellen

Bei Menschen mit normalem Gehör für alle Frequenzen findet eine deutliche Erhöhung der Lautheit, d. h.

single hearing aid only rarely re-establishes the impaired persons faculty for directional and orientative hearing; the correct fitting of two separate hearing aids, on the other hand, assuming that this is medically possible, again re-establishes a clearly improved faculty for spatial hearing.

3. The physical importance of binaural hearing

From the physical point of view, various experiments have been carried out to demonstrate the importance of binaural hearing by performing measurements of a certain number of characteristic parameters such as:

- the liminal hearing thresholds
- the differential thresholds for frequencies
- the differential thresholds for intensities
- the improvement of the intelligibility for speech in silence and against a background of noise.

a) The liminal hearing thresholds (difference limen)

For normal subjects, having normal hearing for all frequencies, there is a clear increase in intensity that is, in the sound impression experienced which, "translates" itself into an energetic summation, since the difference between the monaural and binaural hearing threshold is 3 dB. This difference increases gradually to an above-threshold level, reaching a maximum of 6 dB,

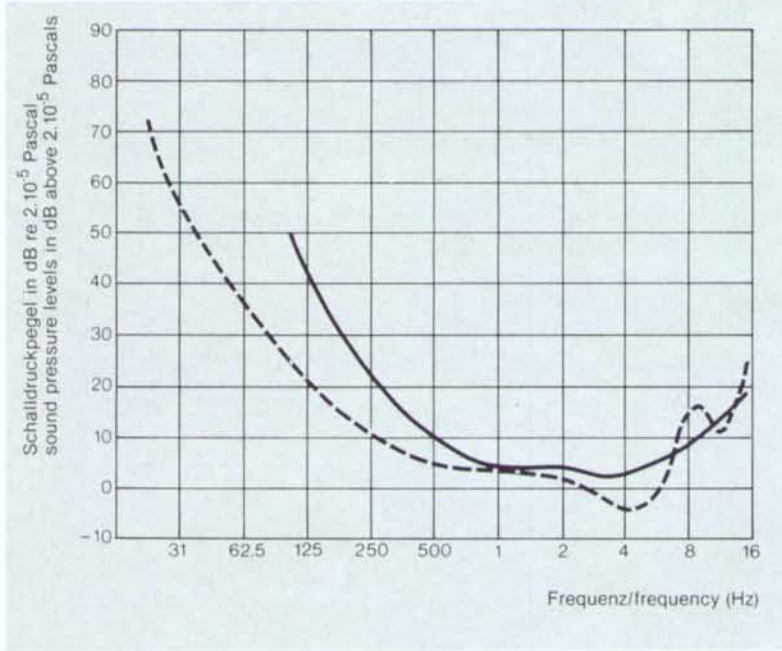


Abb. 2 Standardkurven einohriger Hörschwellen über Kopfhörer (—) und beidohriger Hörschwellen im freien Schallfeld (-----)

Fig. 2 Standard curves of monaural hearing thresholds via headphones (—) and binaural hearing thresholds in the free sound field (-----)

des empfundenen Schalleindrucks, statt, der sich in einer energetischen Summation ausdrückt, da die Differenz zwischen den einohrigen und beidohrigen Hörschwellen 3 dB beträgt. Diese Differenz erhöht sich stufenweise bis zu den überschwelligen Pegeln, um einen Höchstwert von 6 dB zu erreichen, was dann einer Summation der Schalldrücke gleichkommt (s. Abb. 1).

Wenn die Vergleichsmessungen mit Kopfhörern und Lautsprechern durchgeführt werden, sind die Abweichungen gering, denn dann spielen solche Einflüsse wie die Beugung am Kopf und die Resonanz des Ohrkanals eine Rolle (s. Abb. 2).

b) Die Unterschiedsschwellen der Frequenz

Die Erfahrung hat gleichfalls bewiesen, daß die Unterschiedsschwellen der Frequenz, ganz gleich für welchen Empfindungspegel, beim beidohrigen Hören immer besser waren als beim einohrigen (s. Abb. 3). Die Differenz ist übrigens größer bei den niedrigen Frequenzen als bei den mittleren und hohen Frequenzen. Das Verhältnis $\Delta f/f$ steigt somit von 1 auf 2% bei 100 Hz, verändert sich dagegen bei 4000 Hz nur von 3 bis 5%. Andererseits neigt diese relative Unterschiedsschwelle dazu anzusteigen, wenn der Schalldruck kleiner wird. Diese Erscheinung tritt bei den niedrigen Frequenzen stärker hervor.

which is then equivalent to a summation of the sound impressions (see Fig. 1).

When the comparative measurements have been carried out using headphones and loudspeakers, the deviations are very small, for then such influences as the inclination of the head and the resonance in the auditory canal play a part (see Fig. 2).

b) The differential thresholds for frequency

Experience has shown that, irrespective of the level of sensation, the differential thresholds for frequency were always better in the case of binaural hearing than in monaural hearing (see Fig. 3). It can be seen that the difference is larger at the low frequencies than in the medium and high frequency ranges. Thus, the ratio $\Delta f/f$ increases from 1 to 2% at 100 Hz, but changes only from 3 to 5% at 4000 Hz. On the other hand, this relative differential threshold shows a tendency to increase when the level of sensation (volume) diminishes. This effect is more marked at the lower frequencies.

c) The differential thresholds for loudness

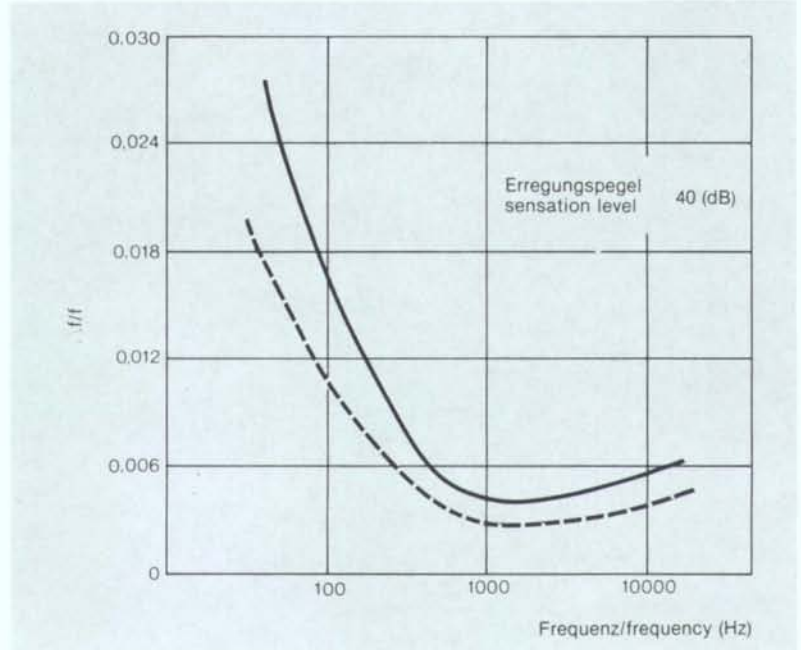
As with the differential thresholds for frequency, the differential thresholds for intensity are always better in the case of binaural hearing than in monaural hearing,

Abb. 3 Vergleich der Unterschiedsschwellen ein- und beidohriger Frequenz (nach Shower und Bidduph)

— einohrig
- - - - - beidohrig

Fig. 3 A comparison of the differential thresholds for frequency, monaural and binaural (after Shower and Bidduph)

— monaural
- - - - - binaural



c) Die Lautstärke-Unterschiedsschwellen

Wie die Unterschiedsschwellen der Frequenz, so sind auch die Unterschiedsschwellen der Lautstärke beim beidohrigen Hören immer besser als beim einohrigen Hören, ganz gleich bei welcher Frequenz und bei welchem Pegel. ΔI , das bei normalen Pegeln bei einer Größenordnung von 0,5 dB liegt, steigt bei schwachen Empfindungspegeln bis auf etwa 1 oder 2 dB an (s. Abb. 4).

Die Erfahrung zeigt, daß der Wert der Unterschiedsschwelle größer ist, wenn die Schallpegel niedrig sind, und zwar bei allen Frequenzen, aber die Differenzen schrumpfen mehr und mehr zusammen, um von einem Schalldruckpegel in der Größenordnung von 60 bis 70 dB ab fast vernachlässigbar zu werden.

Man kann demnach, ob es sich nun um Frequenz- oder Lautstärke-Unterschiedsschwellen handelt, den Schluß ziehen, daß zwei Ohren immer besser sind als eines. Es ist jedoch interessant festzustellen, daß interauditive Erscheinungen auftreten, wenn beide Ohren gleichzeitig verschiedenen oder gleichen Frequenzen ausgesetzt werden. Im ersten Fall tritt eine Verbesserung der Unterschiedsschwellen ein, im zweiten verschlechtern sich diese Unterschiedsschwellen. Man kann somit sagen, daß die einohrig aufgenommenen Unterschiedsschwel-

irrespective of the frequency and level. ΔI , which, with normal levels is of the order of 0.5 dB, increases for low levels of sensation, to about 1 or 2 dB (see Fig. 4).

Experience shows that the value of the differential threshold is larger when the levels of sensation are low, for all frequencies, but the differences diminish more and more, becoming almost negligible from a sound pressure level of the order of 60 to 70 dB upwards.

Accordingly, irrespective of whether we are talking about frequency or loudness differential thresholds, the conclusion may be drawn that two ears are always better than one. It is, however, interesting to note that interaural manifestations occur when the two ears are exposed to the effects of different, or also identical frequencies simultaneously. In the first case, an improvement in the differential threshold occurs; in the second, the differential thresholds deteriorate. It can thus be said that the monaural differential thresholds are modified by the pick-up of a pure sound by the contralateral ear: an "activation" occurs when the sounds have a different frequency and an inhibition when they are of identical frequency.

d) The critical band

Without returning to this notion, which permits us to

len durch das Hören eines Reintons auf dem contralateralen Ohr verändert werden: Es tritt eine Aktivierung ein, wenn die Töne unterschiedlicher Frequenz sind, und eine Hemmung, wenn sie die gleiche Frequenz aufweisen.

d) Das kritische Band

Ohne auf diesen Begriff zurückzukommen, der es gestattet, die Wahrnehmungsmöglichkeiten für reine Töne in einem gegebenen Rauschen mit bekanntem Spektrum und Pegel zu bestimmen, scheint es jetzt sicher zu sein, daß die Breite dieses Bandes beim beidohrigen Hören wesentlich besser ist als beim einohrigen Hören. Dies bedeutet, daß man eine Frequenz in einem Geräusch besser beidohrig als einohrig unterscheiden kann. Diese Schlußfolgerung läßt sich übrigens auf das Hören eines beliebigen Tones erweitern, und das ist zweifellos sehr wichtig (s. Abb. 5).

e) Die Verbesserung der Sprachverständlichkeit

Sowie eine Verbesserung der Hörschwellen durch das beidohrige Hören eintritt, ist es offensichtlich, daß auch gleichzeitig eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit stattfinden muß. Die Erfahrung stimmt übrigens mit dieser theoretischen Schlußfolgerung

establish the perception possibilities for pure sounds against a given noise background with known spectra and levels, it now appears certain that the width of this band is considerably superior in binaural hearing than it is in monaural hearing. This means that, against a background of noise, a given frequency can be better differentiated binaurally than monaurally. This conclusion can be extended to include the hearing of any sound, and this is, without a doubt, very important. (see Fig. 5).

e) The improvement in speech intelligibility

From the moment when there is an improvement of the threshold of hearing achieved by binaural hearing, it is evident that there must also be an improvement in speech intelligibility. Experience has also proved to conform with this theoretical conclusion, since the improvement for a given level of the order of 10 % in silence, which is relatively significant. This difference corresponds to a deviation of the order of 3 dB for the levels (see Fig. 6). Finally, against a background of noise, the difference is even more significant since, at a signal-to-noise ratio of zero, it is of the order of 15 %. This proves, quite simply, that, against a background of noise, binaural hearing is greatly superior to monaural hearing, the difference being more marked when the signal-to-noise ratio decreases.

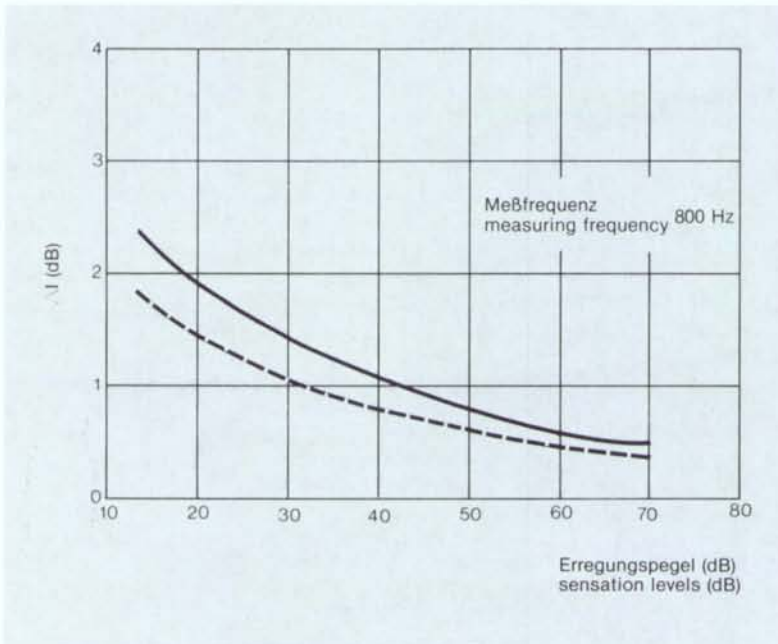


Abb. 4 Vergleich der Unterschiedsschwellen ein- und beidohriger Intensität (nach Churcher, King und Davis)

— einohrig
 - - - - beidohrig

Fig. 4 Comparison of the differential thresholds for intensity, monaural and binaural (after Churcher, King and Davis)

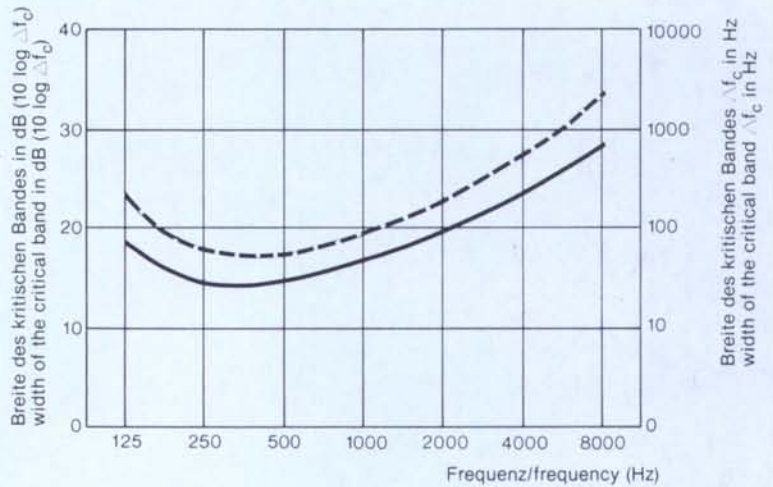
— monaural
 - - - - binaural

Abb. 5 Kurve der Veränderung des kritischen Bandes in Abhängigkeit von der Frequenz

— einohriges Hören (Hawkins und Stevens)
 - - - - - beidohriges Hören (Lehmann)

Fig. 5 Curve showing the variation of the critical band as a function of the frequency

— monaural hearing (Hawkins and Stevens)
 - - - - - binaural hearing (Lehmann)



überein, da die Verbesserung bei einem gegebenen Pegel bei Geräuschfreiheit in der Größenordnung von 10% liegt, was relativ bedeutend ist. Diese Differenz entspricht einer Abweichung in der Größenordnung von 3 dB für die Pegel (s. Abb. 6). Bei Geräusch schließlich ist die Differenz noch bezeichnender, da sie bei einem Rauschabstand Null in der Größenordnung von 15% liegt. Das beweist ganz einfach, daß das beidohrige Hören bei Rauschen sehr viel besser ist als das einohrige Hören, denn die Differenz tritt stärker hervor, wenn der Rauschabstand abnimmt.

Die beidohrige Funktion ermöglicht teilweise die getrennte Ortung der Sprach- und Geräuschquellen im Raum, was zweifellos das Informationsverständnis in geräuscherfüllter Umwelt wesentlich verbessert.

4. Die Probleme der Hörorientierung

Die Erfahrung beweist, daß die Hörorientierung mit Hilfe eines Ohres mehr oder weniger schwierig ist und stets Kopfbewegungen erfordert, vor allem, wenn es sich um das Hören reiner Töne handelt. Dagegen ist die Orientierung bei Stimmen oder Geräuschen immer besser als bei nicht signifikanten Tönen. Versuche haben gleichfalls gezeigt, daß eine bessere Lateralisierung erzielt wird, wenn die Schallquelle auf den Zuhörer gerichtet und nicht seitlich angebracht ist.

Andererseits ist es naheliegend, daß Lautstärke und Phase der Töne die beiden physikalischen Parameter

The binaural function makes possible, in part, the separate localization of speech and sound sources in space, which, without a doubt, considerably improves intelligibility and comprehension of information in a noisy environment.

4. The problems of auditory orientation

Experience proves that auditory orientation with the aid of only one ear, is more or less difficult and always requires movements of the head, in particular, when pure tones are involved. In contrast, the location of voices of sounds is always better than that of non-significant sounds. Certain experiences have equally shown that lateralization is better when the source of sound is facing the listener and not located lateral to him.

On the other hand, it is easy to imagine that the two physical parameters which play the main role in lateralization, are the volume and the phase of the sound. For, when the sound source is located exactly in the plane of symmetry of the head, the sound waves impinging simultaneously on the two ears have covered the same distance in the same time and thus arrive at the same moment and at the same intensity. If, on the other hand, the source of sound is outside the plane of symmetry of the head, the sound wave reaches one ear, of necessity, earlier than the other. And this occurs, not merely with different volumes due to the diffraction of the sound at the head and the difference be-

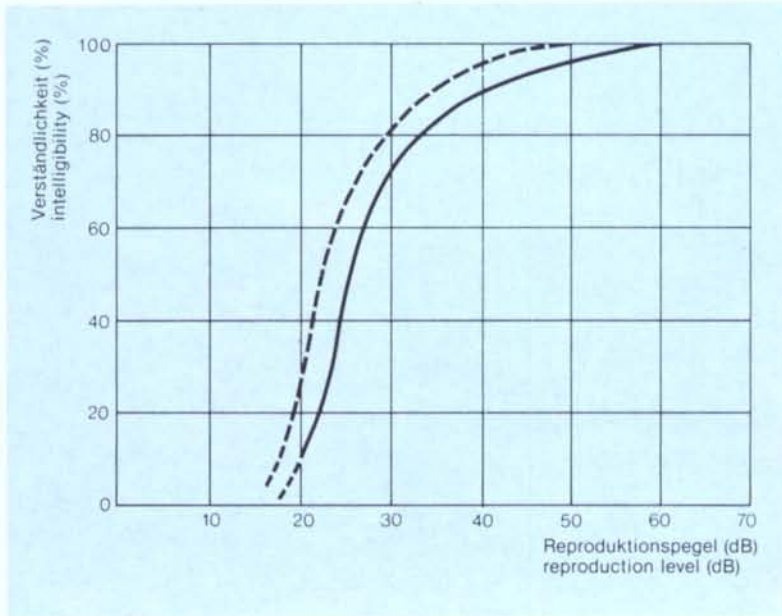


Abb. 6 Veränderung der Verständlichkeit in Abhängigkeit vom Wiedergabepegel (Schallabgabe von Kopfhörern)

— einohriges Hören
 - - - - - beidohriges Hören (zweisilbige Wörter)

Fig. 6 The variation of the intelligibility as a function of the level of reproduction (sound presentation with the aid of headphones)

— monaural hearing
 - - - - - binaural hearing (disyllabic words)

sind, die bei der Lateralisierung hauptsächlich eine Rolle spielen. Wenn die Schallquelle sich nämlich genau in der Symmetrieebene des Kopfes befindet, so haben die gleichzeitig auf die beiden Ohren auftreffenden Schallwellen die gleiche Entfernung in der gleichen Zeit zurückgelegt und treffen somit mit der gleichen Stärke im gleichen Moment ein. Wenn dagegen die Schallquelle außerhalb der Symmetrieebene des Kopfes liegt, so erreicht die Schallwelle das eine Ohr zwangsläufig früher als das andere, und zwar nicht nur mit unterschiedlicher Lautstärke aufgrund der Schallbeugung am Kopf und des Unterschieds zwischen der von den beiden Wellen zurückgelegten Strecken, sondern auch mit einer gewissen Phasenverschiebung. Die Phase wirkt im wesentlichen auf die niedrigeren Frequenzen ein, während die Lautstärke hauptsächlich auf die hohen Frequenzen einwirkt.

a) Die Rolle der Lautstärke

Ich habe vorher daran erinnert, daß die beidohrige Hörschwelle um etwa 3 dB besser ist als die einohrige. Sicher ist jedoch, daß sich mit diesem Lautstärkeunterschied das Phänomen der Hörorientierung nicht voll erklären läßt.

In der Tat hat der Kopf gegenüber den einfallenden Schallwellen eine Schirmwirkung, was zur klassischen Schallbeugung führt, deren Wirkung auf die beiden

tween the distances covered by the two waves but also with a certain phase shift. The phase has in the main, an effect on the lower frequencies, while the volume has its main effect on the high frequencies.

a) The part played by loudness

I have already recalled that the binaural hearing threshold is some 3 dB better than that of the monaural threshold. It is, however, quite certain that this difference in volume alone cannot completely explain the phenomenon of auditory orientation.

In actual fact, the head represents a sort of screen to the incident sound waves and this fact leads to the classical phenomenon of diffraction, the effect of which on the two ears is, of course, asymmetrical. The sound pressure measured at the entrance to the auditory canal for sources of sound arbitrarily located in space, largely depends upon the spectral composition of the sound emitted and the angle of its incidence. On the other hand, the theory also shows that the diffraction caused by a screen also depends upon the latter's dimensions and that it increases with increasing frequency. Above a frequency of the order of 700 to 800 Hz, however, the difference in sound pressures attains to an adequately large value, so that, for the phenomenon of orientation, it plays a part which cannot be neglected. It can be said that, for frequencies

Ohren natürlich asymmetrisch ist. Der am Eingang des Ohrkanals für räumlich beliebig angeordnete Schallquellen gemessene Schalldruck hängt im wesentlichen von der spektralen Zusammensetzung des abgegebenen Schalles und vom Einfallswinkel ab. Andererseits zeigt die Theorie auch, daß die Beugung an einer Schallwand auch von deren Abmessungen abhängt und daß sie mit zunehmender Frequenz größer wird. Oberhalb einer Frequenz der Größenordnung von 700 bis 800 Hz erreicht der Unterschied der Schalldrücke jedoch einen ausreichend großen Wert, um bei den Ortungserscheinungen eine nicht vernachlässigbare Rolle zu spielen. Man kann sagen, daß für die Frequenzen, bei denen die Wellenlänge des Schalles größer ist als der Halbmesser des Kopfes, die Beugung vernachlässigbar ist. Andererseits ist die Rolle des Kopfes bei der Beugung für komplexe Töne, wie zum Beispiel Sprache oder Musik, weniger ausgeprägt, und der Unterschied zwischen den Schalldrücken am Eingang der beiden Ohren überschreitet nicht 6 bis 7 dB.

Als Hinweis folgen die ungefähren Werte der am Eingang der beiden Ohren mit einem Azimut von 90° gemessenen Lautstärkeunterschiede:

- bei 500 Hz: 2 bis 3 dB
- bei 1000 Hz: 5 bis 7 dB
- bei 3000 Hz: 8 bis 10 dB
- bei 5000 Hz: 15 bis 20 dB

Ich möchte schließlich einen sehr einfachen Versuch erwähnen, den man mit zwei über den Ohren angebrachten und mit ein- und demselben Ton gespeisten Kopfhörern ausführen kann: Man ortet die Schallquelle im Mittelpunkt des Schädels. Wenn man die Lautstärke in einem einzigen Kopfhörer erhöht, hat der Proband sehr deutlich den Eindruck, daß sich die Schallquelle dreht, und er ortet sie an der Seite, wo die Lautstärke am höchsten ist.

(Fortsetzung folgt)

at which the wavelength of sound is greater than the radius of the head, diffraction can be neglected. On the other hand, in the diffraction of complex sounds, such as speech or music, the part played by the head is less marked and the difference between the sound pressures at the entrance of the two ears does not exceed 6 to 7 dB.

As an indication of the values involved, here are the approximate values for the volume differences measured at the entrances of the two ears at an azimuth of 90° :

- at 500 Hz: 2 to 3 dB
- at 1000 Hz: 5 to 7 dB
- at 3000 Hz: 8 to 10 dB
- at 5000 Hz: 15 to 20 dB

In conclusion, I should like to mention a very simple experiment that can be carried out employing two headphones fitted above the ears, both presenting the same sound: The source of sound is then localized in the centre of the head. If the volume is increased only in one of the two headphones, the test subject experiences very clearly how the sound source turns, and he now localizes it at the side at which the volume is greatest.

(To be continued)

Fachliteratur für den Audiologen, HNO-Facharzt und Hörgeräte-Akustiker

- | | |
|---|----------|
| Werner A. T. Güttner: Hörgerätetechnik (1978) | DM 69,— |
| Ernst Leinhardt: Praktische Audiometrie – Lehrbuch und synoptischer Atlas (5., neubearbeitete Auflage 1978) | DM 90,— |
| Wolfhart Niemeyer: Kleines Praktikum der Audiometrie für medizinische Assistenzberufe (3., überarbeitete und erweiterte Auflage 1976) | DM 22,80 |
| Peter Plath: Das Hörorgan und seine Funktion – Einführung in die Audiometrie (3., überarbeitete und erweiterte Auflage 1976) | DM 27,— |
| Ivar Veit: Technische Akustik (2., überarbeitete Auflage 1978) | DM 25,— |

Zu beziehen über: Buchvertrieb, median-verlag, Postfach 10 39 64, 6900 Heidelberg