

Das umgekehrte Ohr

Manger Schallwandler sind spezielle Lautsprechersysteme, die die Funktionsweise des Gehörs sehr naturgetreu nachbilden. Ihr Einsatz in der Audiologie könnte die Hörgeräte-Anpassung weiter verbessern.



Ralf Siegel und Frank Farian verwenden ihn in Ihren Tonstudios, Sennheiser setzt ihn bei der Mikrofonentwicklung ein, die Bundeswehr in Meppen führt mit ihm Knall- und Schussuntersuchungen durch und in den audiologischen Abteilungen der Universitäts-HNO-Klinik Würzburg und der RWTH Aachen sowie in der Abteilung für Medizinische Physik an der Carl-von-Ossietzky-Universität in Oldenburg ist er ebenfalls vertreten - der Manger Schallwandler. Die Autorin hat selbst während eines

Seminars in Würzburg die Manger Schallwandler gehört und ist von dem klaren Klang begeistert. Das übertragene Vogelgezwitscher schien nicht aus den Lautsprechern zu kommen, sondern man hatte den Eindruck, der Hörsaal wäre voller Vögel, die dort ein Konzert veranstalteten. Wie arbeitet der Manger Wandler und was unterscheidet ihn von herkömmlichen Lautsprechern?

► Auf die Zeit kommt es an

Damit die unterschiedliche Wirkungsweise des Manger Schallwandlers im Ver-

gleich zu einem herkömmlichen Lautsprechersystem besser verständlich ist, möchte ich zuerst auf das Zeitverhalten des Gehörs eingehen. In der Entwicklungsgeschichte des Menschen war der Hörsinn ursprünglich vorrangig als Alarmsystem vorgesehen und nicht für das Sprachverstehen oder Musikhören. Entsprechend ist auch sein Zeitverhalten. Obwohl ein Schallsignal mindestens 10 Millisekunden (ms) dauern muss, damit unser Gehör ansatzweise ein Klangintervall erkennt und bis zu 80 ms nötig sind, um eine sichere Interpretation vorzunehmen, reagiert das audi-

► The Reversed Ear

The Manger transducer is a quite special loudspeaker system, that takes the function of the human hearing as an example. Could this system be applicable in Audiology as well?

Ralf Siegel and Frank Farian use it in their sound studios, Sennheiser uses it for the microphone development, the German Army performs investigations of bangs and shots using it and in the audiological departments of the ENT-Clinics of the University of Würzburg and the Technical University Aachen as well as in the Workshop of Medical Physics of the Carl von Ossietzky University in Oldenburg it is also existing - the Manger Transducer. The author herself heard the Manger Schallwandler during a seminar in Würzburg and was very enthusiastic about the clear sound. The transmitted bird songs didn't seem to come out of the loudspeakers but you had the impression that there was a lecture room full of birds performing a concert. How does the Manger Schallwandler work and what distinguishes it from conventional loudspeakers?

► The Time is the Thing that Matters

For better understanding the function of the Manger Schallwandler in compari-

son to a conventional loudspeaker I first explain the time response of the auditory system. In the evolution of man the hearing was primarily planned to be an alert system and not for understanding speech or listening to the music. Its time response works accordingly. Although a sound signal has to last at least 10 Milliseconds (ms) that our auditory system can detect a musical interval and up to 80 ms are necessary to carry out a reliable interpretation, the auditory system reacts on sounds down to a period of 0,02 ms. These sounds are not perceived consciously, but they can be used as a measuring signal. Even the softest crack of a branch was essential for our ancestors who live in the open countryside to timely detect kind and direction of a source of danger. The auditory system can not only determine the direction of a sound source being lateral to the listener by using the level difference but also by using the time- or phase differences between the two ears. The auditory system can analyse level differences of 1 dB and time differences of 0,02 ms. The localisation of a sound source in a closed room is carried out by the precedence effect which means that the signal which arrives first is used for localisation. Reflections do not used for localisation of a sound source. The time response of the auditory system plays an important role also in listening music via the loudspeakers of a HiFi-equipment.

► The electrodynamic loudspeaker

First I would like to explain the function of a conventional electrodynamic loudspeaker. A loudspeaker's task is to transduce the electrical alternating current delivered by the end amplifier into vibrations of the air. Figure 1 shows the construction of such a loudspeaker system.

“The chirping of the birds didn't appear to come out of the loudspeaker.”

In the air gap of a permanent magnet formed like a pot there is a moving coil, which is connected to a membrane in the form of a cone or a calotte. The alternating current of the end amplifier causes a magnetic field around the moving coil which is changing in the same rhythm as the current. The moving coil is then pulled and pushed by the permanent magnet depending on the polarization of the changing field and starts to vibrate. In this way it drives the membrane which moves in the same rhythm as the electrical signal and causes the molecules of the air to vibrate. The membrane has to be as stiff as possible and shouldn't vibrate in itself. As a membrane cannot transmit all frequencies with equal quality loudspeaker boxes contain several transducer systems in different sizes for the different frequency ranges.

► The Manger Schallwandler

Since approximately 30 years Josef Manger was occupied in the research and development of sound transducers.

1985 he began with the production of the Manger Schallwandler and is the owner of 40 patents. The Manger Schallwandler works similar to the basilar membrane in the cochlea. The complex sound signal which is transmitted into the inner ear by the tiny bones travels along the basilar membrane as a kind of a travelling wave. At its beginning near the oval window it

has a different stiffness as in the tip of the snail. Therefore the individual frequency parts in the signal produce oscillations in different places, the high frequencies are reproduced just behind the oval window, the low frequencies nearby the helicotrema. Figure 2 shows the construction of the Manger Schallwandler. In contrast to conventional loudspeaker systems it works with a flexible plane membrane which can transmit a frequency range from 80 Hz to 33 kHz. This membrane consists of three layers and in the centre it has another stiffness than at the rim. The system is driven by two moving coils. The signal travels over the area of the membrane from the centre to the rim as a kind of a travelling wave. In the centre the high frequencies are transmitted. The lower the frequencies are the nearer to the rim they are transmitted. Figure 3 shows oscillation pictures of the Manger membrane for different frequencies, in the left picture above for 10 kHz, in the right picture below for 100 Hz. So the complex sound signal occurs in one point and the

torische System auf Geräusche bis hinab zu einer Zeitdauer von 0,02 ms. Diese Geräusche werden zwar nicht bewusst wahrgenom-

eintreffende Signal wird für die Ortung verwendet. Reflexionen tragen nicht zur Lokalisation einer Schallquelle bei. Das Zeitverhal-

“Das Vogelgezwitscher schien nicht aus dem Lautsprecher zu kommen.”

men, dienen aber als Messsignal. Selbst das leiseste Knacken eines Zweiges war für unsere in der freien Natur lebenden Vorfahren lebenswichtig, um rechtzeitig die Art und Richtung einer Gefahrenquelle zu erkennen. Die Richtung einer seitlich zum Zuhörer befindlichen Schallquelle kann das Gehör nicht nur durch Pegel- sondern auch durch Laufzeit- bzw. Phasenunterschiede zwischen den beiden Ohren bestimm-

ten des Gehörs spielt auch beim Musikhören über die Lautsprecher einer HiFi-Anlage eine bedeutende Rolle.

► Das dynamische Lautsprechersystem

Zuerst möchte ich kurz auf die Funktionsweise eines herkömmlichen elektro-dynamischen Lautsprechers eingehen. Ein Lautsprecher hat die Aufgabe, den durch den Endverstärker gelieferten elektrischen Wechselstrom in Schwingungen der Luft umzuwandeln. Abbildung 1 zeigt den Aufbau eines solchen Lautsprechersystems. Im Luftspalt eines topfförmigen Dauermagneten befindet sich eine Schwingspule, die mit einer Membran in Form eines Konus oder einer Kalotte verbunden ist. Der Wechselstrom des Endverstärkers bewirkt, dass um die Schwingspule herum ein sich im gleichen Rhythmus änderndes Magnetfeld entsteht. Die Schwingspule wird dadurch vom Dauermagneten je nach Polung dieses Wechselfeldes angezogen oder abgestossen und beginnt zu schwingen. So treibt sie die Membran an, die sich jetzt im gleichen Rhythmus wie das elektrische Signal hin und her bewegt und die Moleküle der Luft in Schwingungen versetzt. Die Mem-

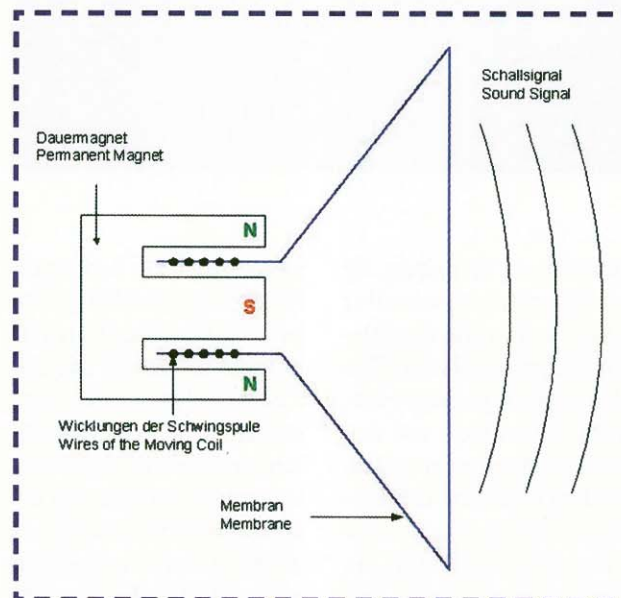


Abbildung.1.
Der dynamische Lautsprecher.
Figure 1.
The electrodynamic Loudspeaker.

men. Das auditorische System kann einen Pegelunterschied von 1 dB und einen Laufzeitunterschied von 0,02 ms auswerten. Die Lokalisation einer Schallquelle in einem geschlossenen Raum erfolgt nach dem Gesetz der ersten Wellenfront, das heisst, das zuerst

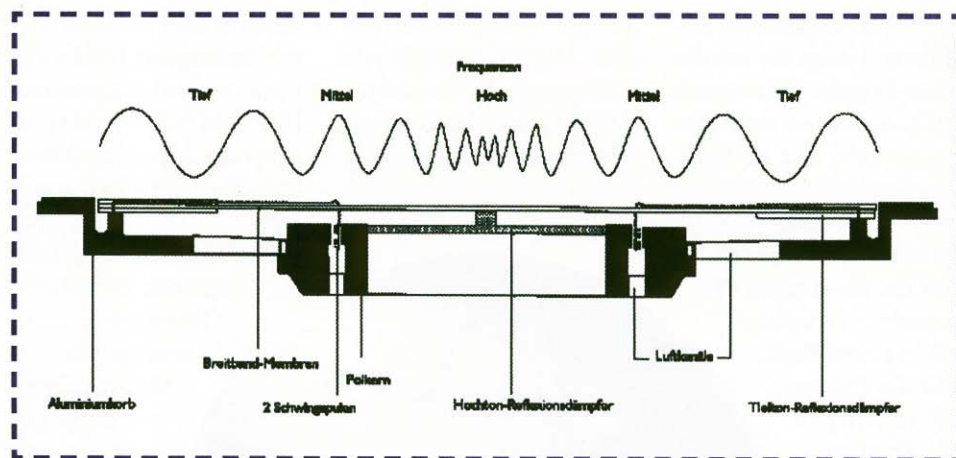


Abbildung 2.
Der Manger
Schallwandler.
Figure 2. The Manger
Schallwandler.

bran muss möglichst steif sein und darf nicht in sich schwingen. Da eine Membran nicht alle Frequenzen gleich gut übertragen kann, enthalten Lautsprecherboxen normalerweise mehrere solcher Wandler Systeme in verschiedenen Größen für die unterschiedlichen Frequenzbereiche.

► Der Manger Schallwandler

Josef Manger beschäftigt sich seit ca. 30 Jahren mit der Forschung und Entwicklung von Schallwandlern. 1985 begann er mit der Fertigung des Manger Schallwandlers und ist Inhaber von 40 Patenten. Der

Manger Schallwandler arbeitet ähnlich wie die Basilarmembran in der Cochlea. Das durch die Gehörknöchelchen in das Innenohr übertragene komplexe Schallsignal breitet sich auf der Basilarmembran in Form einer Wanderwelle aus. Da sie an ihrem Anfang beim ovalen Fenster eine andere Steifigkeit aufweist als in der Schnecken spitze, führen die einzelnen Frequenzanteile des Signals an unterschiedlichen Orten zu Auslenkungen, die hohen Frequenzen werden gleich hinter dem ovalen Fenster, die tiefen Frequenzen erst in der Nähe des Helikotrema abgebildet. Abbildung

2 zeigt den Aufbau des Manger Schallwandlers. Im Gegensatz zu herkömmlichen Lautsprechersystemen arbeitet er mit einer biegeweichen Plattenmembran, die einen Frequenzbereich von 80 Hz bis 33 kHz abstrahlen kann. Diese Membran besteht aus drei Schichten und hat in der Mitte eine andere Steifigkeit als am Rand. Angetrieben wird das System durch zwei Schwingspulen. Das Signal breitet sich auf der Membranfläche von innen nach aussen in Form einer Wanderwelle aus. Im Zentrum werden die hohen Frequenzen übertragen. Je tiefer die Frequenzen sind, desto weiter am Rand

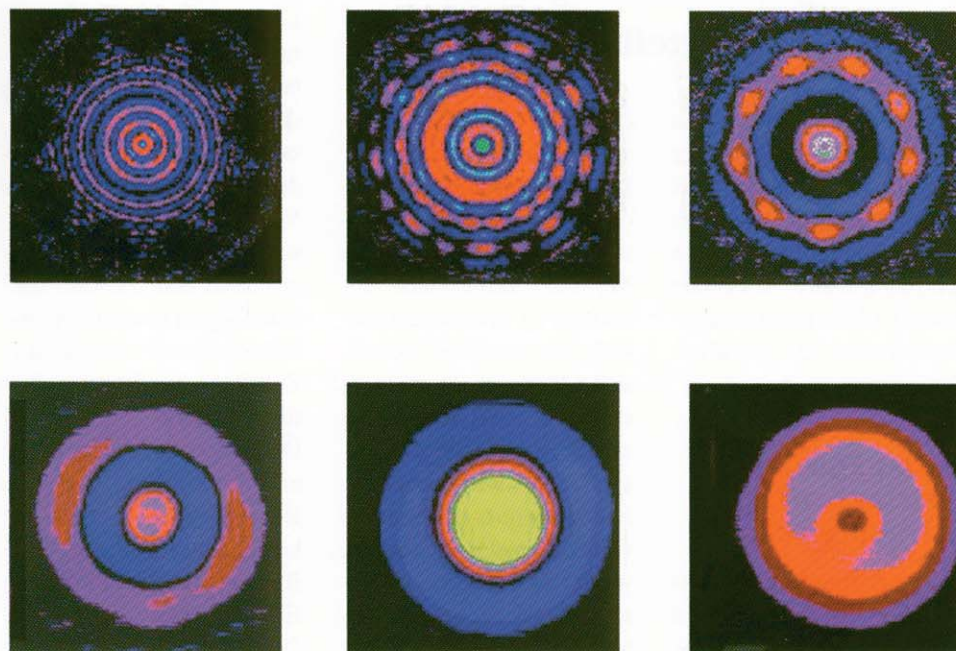


Abbildung 3.
Schwingungsbilder
der Membran des
Manger Schallwandlers,
aufgenommen mit
der Laser-Doppler-
Vibrometrie für
verschiedene
Frequenzen.

Figure 3. Oscillation
Pictures of the Manger
Schallwandler
membrane, recorded
using a Laser Doppler
Vibrometry for different
frequencies.

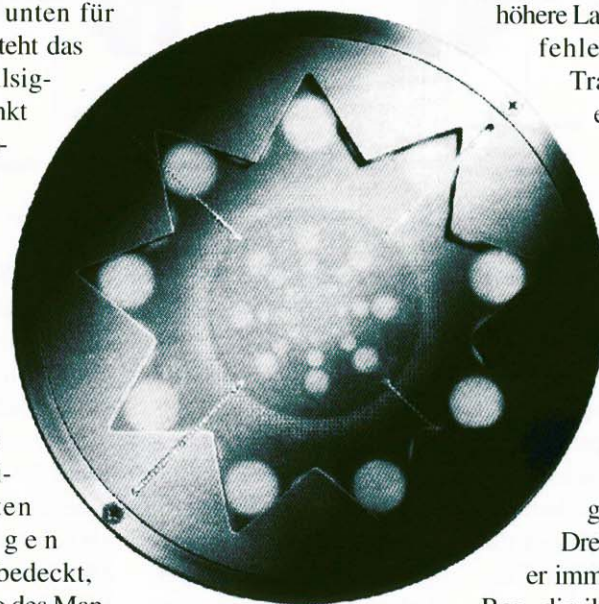
phase relations of the original signal are kept. All frequencies are transmitted at the same time. The front of the membrane is covered by a muffler in the form of a star, which can be seen in the photo of the Manger Schallwandler in figure 4. For the transmission of the missing range from 20 to 80 Hz a conventional low frequency loudspeaker is used. The Manger Schallwandler has an attack time of 14 μ s and so it is much more quicker than the CD which can record attack times of 22,7 μ s because of its sampling rate of 44,1 kHz.

► The End of an Isosceles Stereo Triangle

A conventional loudspeaker behaves like a system of spring and mass which can store and emit energy. When the moving coil gets an electrical signal the membrane needs some time until it has reached the stationary condition and this signal is transmitted as a mechanical oscillation without distortion. Before this the transient response processes take place in a time range from 0,1 to 20 ms which causes short noise signals. This effect is increased by loudspeaker boxes which contain several systems, because each of them has a different response (see figure 5). Additionally the complex sound signal does not occur in one single point but in different places. As our auditory system as mentioned before reacts on signals with a period of 0,02 ms, the short transient noises are analysed as an information about the direction. The listener always locates the position of the loudspeakers when he lis-

tens to a stereo equipment. The music primarily occurs in the plane between the loudspeakers. A higher loudness cannot generate the missing spatial transparency. When the listener does not sit exactly in the middle of the two stereo loudspeakers (seat and loudspeakers should form an isosceles triangle) he always hears primarily the box which stands nearest to him. Depending on the position of the seat even the impression can develop that the other loudspeaker does not work. Also this effect cannot be reduced electronically. The transient noises also have the effect that the listener experience the sound as tiresome because always new transient noises occur. This effect cannot be reduced by tone controls. By listening to a very loud music signal the transient noise can trigger the auditory reflex which causes a threshold shift. Thereby the listener gets the impression that the sound signal has become softer and he increases the loudness. By the time a hearing loss can be the result. The Manger Schallwandler produces a quite different picture of sound than a conventional loudspeaker. Caused by the short attack time which nearly matches the time the air pressure needs after a sudden level increase the sound signal seems to occur in the room. This spatial transparency causes that individual musical instruments are easy to locate and can be detected from the complete sound signal. Even the finest sound structures are transmitted nearly without distortion. As the transient noises are missing no tiresome sound can occur. Even if the listener

Abbildung 4.
Foto eines Manger
Schallwandlers.
Figure 4.
Photo of a Manger
Schallwandler.



werden sie abgestrahlt. Abbildung 3 zeigt die mit der Laser-Doppler-Vibrometrie aufgenommenen Schwingungsbilder der Manger-Membran für verschiedene Frequenzen, links oben für 10 kHz, rechts unten für 100 Hz. So entsteht das komplexe Schallsignal an einem Punkt und die Phasenbeziehungen des Originalsignals bleiben erhalten. Die Übertragung aller Frequenzen erfolgt gleichzeitig. Vorn ist die Membran mit einem markanten sternförmigen Schalldämpfer bedeckt, wie auf dem Foto des Manger Schallwandler in Abbildung 4 zu sehen ist. In diesem laufen die tiefen Frequenzen aus (Abbildung 4). Die Übertragung des fehlenden Bereiches von 20 bis 80 Hz übernimmt ein herkömmlicher Tieftön-

Energie speichert und wieder abgibt. Erhält die Schwingspule ein elektrisches Signal, benötigt die Membran eine bestimmte Zeit, bis sie sich im einge-

Zuhörer ortet bei einer Stereoübertragung immer die Position der Lautsprecher. Die Musik entsteht hauptsächlich auf der Ebene zwischen den Lautsprechern. Auch durch eine höhere Lautstärke kann die fehlende räumliche Transparenz nicht erzeugt werden. Sitzt der Zuhörer nicht genau in der Mitte zwischen den beiden Stereolautsprechern (Sitzplatz und Lautsprecher sollten dabei ein gleichschenkliges Dreieck bilden), hört er immer vorrangig die

Box, die ihm am nächsten steht. Je nach Position des Sitzplatzes kann sogar der Eindruck entstehen, dass der andere Lautsprecher nicht arbeitet. Auch dieser Effekt ist elektronisch kaum zu mildern. Die Einschwingvorgänge bewirken auch, dass der Klang eines Lautsprechers mit der Zeit als lästig empfunden werden kann, da immer wieder neue Einschwinggeräusche entstehen. Dieser Effekt ist mit Klangstellern nicht zu beseitigen. Beim lauten Musikhören kann das Einschwinggeräusch den Stapediusreflex auslösen, der eine Verschiebung der Hörschwelle bewirkt. Dadurch erscheint dem Zuhörer das Schallsignal leiser und er erhöht die Lautstärke. Mit der Zeit kann ein Hörschaden die Folge sein.

Der Manger Schallwandler erzeugt ein ganz anderes Klangbild als ein herkömmlicher Lautsprecher. Bedingt durch das kurze Einschwingverhalten, das mit dem Verhalten des Luft-

schwingenen Zustand befindet und dieses Signal ohne Verzerrungen in Form einer mechanischen Schwingung überträgt. Vorher finden Einschwingvorgänge in einem Zeitbereich von 0,1 bis zu 20 ms statt,

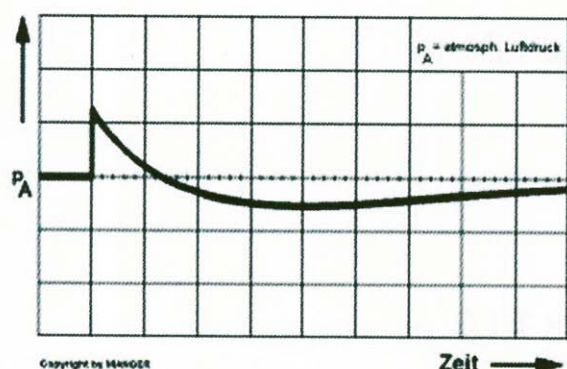
“Ich hatte den Eindruck, die Vögel waren im ganzen Saal verteilt.”

lautsprecher. Die Membran des Manger Schallwandler hat eine Einschwingzeit von 14 μ s und ist damit deutlich schneller als die CD, die mit ihrer Abtastrate von 44,1 kHz nur Anstiegsflanken von 22,7 μ s übertragen kann.

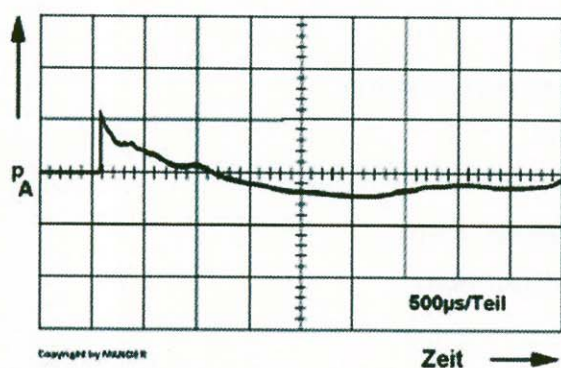
► Das Ende des gleichschenkligen Stereodreiecks

Ein herkömmlicher Lautsprecher verhält sich wie ein Feder- Massesystem, das

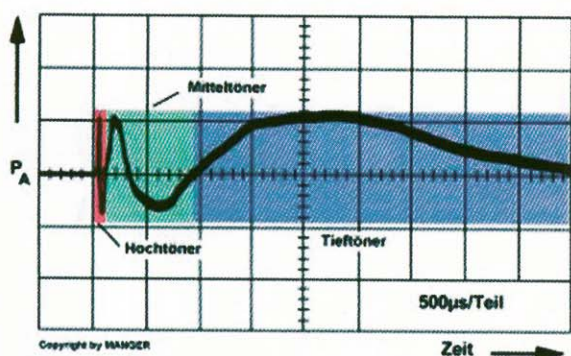
die kurze Geräusche verursachen. Verstärkt wird dieser Effekt noch durch Lautsprecherboxen mit mehreren Systemen, da jedes ein anderes Verhalten zeigt (siehe Abbildung 5). Ausserdem entsteht das komplexe Schallsignal hierbei nicht an einem einzigen Punkt sondern an verschiedenen Orten. Da unser Gehör, wie vorher erwähnt, bereits auf Signale von 0,02 ms Dauer reagiert, wertet es die kurzen Einschwinggeräusche als Richtungsinformation aus. Der



Luftdruck



Manger Schallwandler ®



Dreiwegebox

ich seitlich zu den Manger Schallwandlern in den Hörsaal kam, hatte ich den Eindruck, die Vögel wären im ganzen Raum verteilt.

► Hörgeräteanpassungen mit dem Manger Schallwandler?

Viele Tonstudios verwenden bereits Manger Schallwandler als Abhörlautsprecher. Auch in einige audiologische Abteilungen hat er bereits Einzug gehalten. Dieses Lautsprechersystem bietet bei der Hörgeräteanpassung mit Sprache im Freifeld viele Vorteile. Bei dieser Messung findet eine zweimalige Schallwandlung desselben Signals statt. Die über ein Mikrofon auf CD aufgenommene und durch den Freifeldlautsprecher abgestrahlte Sprache wird erneut von einem Mikrofon aufgenommen und schließlich durch den Hörgerätehörer wieder als Schallsignal in den Gehörgang übertragen. Um die tatsächliche Hörverbesserung durch das Hörgerät überprüfen zu können sollte der Freifeldlautsprecher ein Sprachsignal von guter Qualität abgeben. Der Manger Schallwandler ist dazu in der Lage. Ein weiterer Vorteil dieses Systems ist, dass bei Messungen im Störgeräusch das Geräusch wie im täglichen Leben den ganzen Raum erfüllt und nicht nur auf die Ebene zwischen den Lautsprechern beschränkt ist. Der Hörgeräte-träger muss auch nicht unbedingt genau in der Mitte zwischen den Freifeldlautsprechern sitzen. Nicht ohne Grund haben sich bereits einige audiologische Abteilungen (Siehe Einleitung) für den Manger Schallwandler entschieden.

Ulrike Seifert-Kraft

Abbildung 5. Vergleich verschiedener Einschwingvorgänge. Figure 5. Comparison of different Attack Times.

does not sit exactly in the middle of the two loudspeakers the spatial transparency is kept. I remind once more of the example with the bird songs. Although I came into the lecture room lateral to the Manger Schallwandler I had the impression that the birds were spread over the whole room.

► Using the Manger Schallwandler for Hearing Aid Fittings?

Many sound studios use already the Manger Schallwandler for monitoring. Also in some audiological departments it can be found. The loudspeaker system provides a lot of advantages for hearing aid fitting with speech in free field. In this measurement the sound transducing of the same signal takes place twice. The speech which is recorded on a CD via a microphone and transmitted by a loudspeaker is again recorded by a microphone and transmitted into the ear canal by the receiver. To measure the actual improvement of the hearing caused by the hearing instrument the free field loudspeaker should transmit a speech signal of good quality. The Manger Schallwandler is able to do this. An additional advantage of this system is that during a measurement in noise the noise is spread over the whole room and is not limited to the plane between the loudspeakers. The hearing aid user must not sit directly in the middle of the free field loudspeakers. There are good reasons that some audiological departments have decided to use the Manger Schallwandler.

Ulrike Seifert-Kraft

drucks auf einen Pegelsprung nahezu identisch ist, scheinen die Schallsignale im Raum zu entstehen. Die räumliche Transparenz bewirkt, dass z.B. einzelne Musikinstrumente gut ortbar sind und aus dem Gesamtklang herausgehört werden können. Selbst feinste Klangstrukturen werden nahezu ohne Ver-

fälschungen übertragen. Da die Einschwinggeräusche fehlen, kann kein lästiger Klang entstehen. Selbst dann, wenn der Zuhörer nicht genau in der Mitte zwischen zwei Lautsprechern sitzt, bleibt die räumliche Transparenz erhalten. Ich erinnere noch einmal an das Beispiel mit dem Vogelgezwitscher. Obwohl