

KLANG & TON

DAS LAUTSPRECHER-SELBSTBAU-MAGAZIN

Vergleichstest

Drei Lautsprecherbausatz-Boliden

Interview mit Josef W. Manger

Eine neue Sichtweise von Lautsprechern



Leserumfrage

Gewinnen Sie Preise im Gesamtwert von 16000 Mark oder eine Reise nach England

Lautsprechermessungen für alle

Lautsprechermeßkarte für den Computer

Hochtöner-Vergleichstest

Vier High-End-Hochtöner

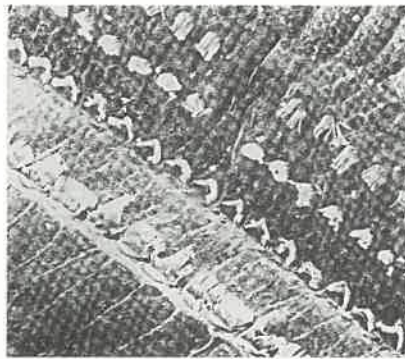


4 neue Cheap Tricks
Boxen-Bauvorschläge
ab 100 Mark



Der Gehörsinn

Der Schall eines akustischen Ereignisses läuft vom Äußeren über das Mittel- zum Innenohr. Er erregt über das Ovale Fenster das flüssigkeitsgefüllte Innenohr. Zwei Membranwände trennen das Hörorgan, das in der erbsengroßen Gehörnschnecke im Felsenbein des Kopfes sitzt. Als Träger der etwa 30.000 Nervenzellen (Nervenzilien, mechanoelektrische Transduktoren, die die Quantisierung von Periodizität/Frequenz und Lautheit über die Hörnerven zum Gehirn weiterleiten) dient die Basilarmembran. Der italienische Arzt Corti entdeckte das nach ihm benannte winzige, mehrreihige Nervenorgan. Beim Eintreffen von Schalldruck am Ovalen Fenster läuft eine „Wanderwelle“ über die Basilarmembran senkrecht zu ihrer Längsrichtung bis zur 3,2 Zentimeter entfernten Schnecken Spitze. Dort gleicht sie sich über

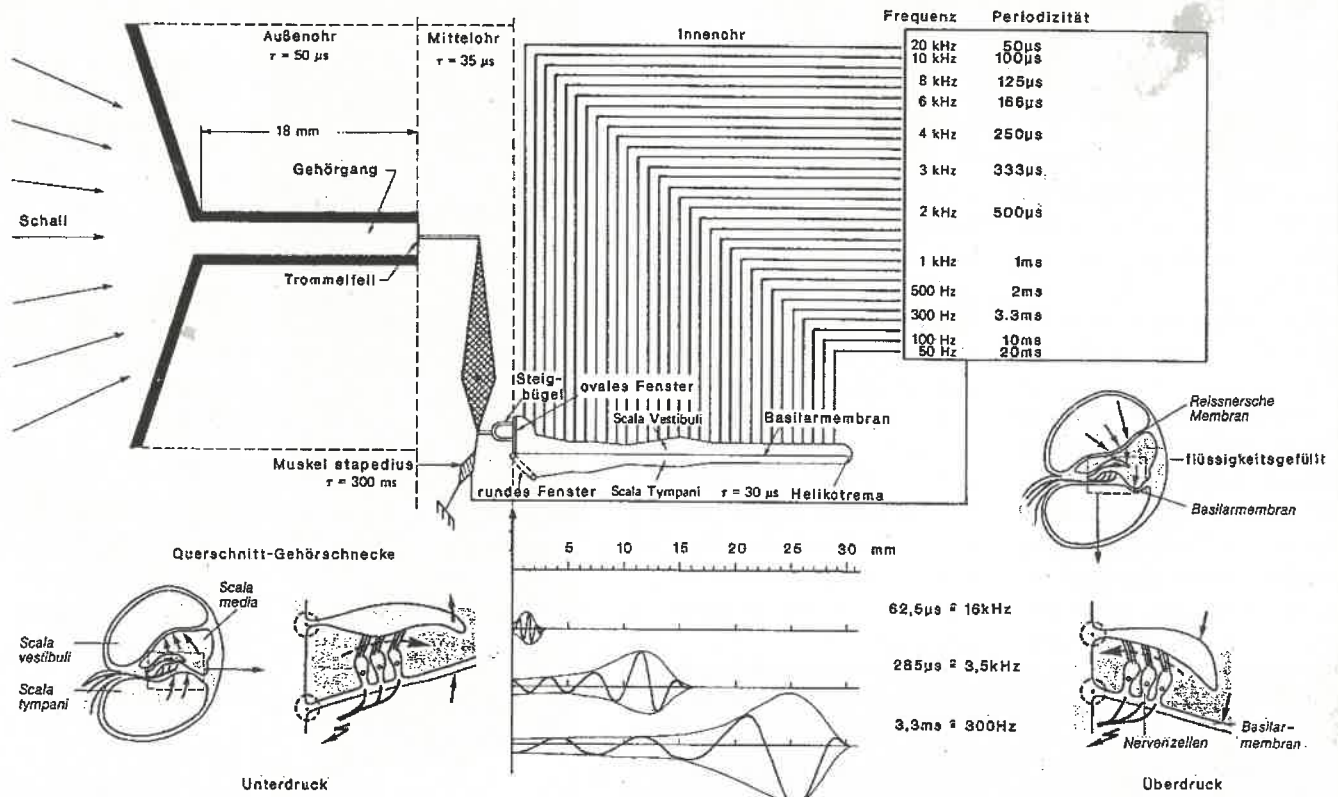


Die Haarzellen-Sensoren des Corti'schen Organs im menschlichen Ohr, die den einfallenden Schalldruck in elektrische Impulse umwandeln. Fotografiert mit einem Scanning-Elektronenmikroskop
Fotos: Dr.G.Bredberg, Uppsala (Schweden)

die Helikotrema-Öffnung zum Runden Fenster hin aus.

Die spektrale Zerlegung eines komplexen Schallsignales ist die zentrale Aufgabe der Basilarmembran. Durch das einmalige Wellen-

phänomen der Biegewellen-Dispersion zerlegt sie jedes noch so komplizierte Signal in einzelne Wellen unterschiedlicher Wellenlänge. „Zerlegungsmechanismus“ ist die im Gegensatz zu allen anderen Wellenformen frequenzabhängige Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Biegewelle. Am Schalleintritt, dem Ovalen Fenster, ist die Basilarmembran schmal und steif und wird fortlaufend breiter und weicher, bis zu einer gallertartigen Fläche am Helikotrema. Die große Steifigkeitsänderung ist neben der Scherung in der Innenohr-Flüssigkeit Grundvoraussetzung der Biegewellen-Dispersion. Örtlich bilden sich dreidimensionale Wellenmaxima für jede einzelne Periodizität/Frequenz an einem bestimmten Ort auf der Basilarmembran. Die an diesem Ort befindlichen Nervenzellen geben bei Scherbewegung der Basilarmembran Serien von elektrischen Impulsen ab. Durch Erhöhung der Impulsfolge werden dem Gehirn auch die Amplitudenwerte signali-



Schematische Darstellung von Außenohr, Mittelohr, Innenohr und 32 Millimeter langer Basilarmembran (entrollt), darunter drei Periodizitäten als „Wanderwellen“. Darunter: Querschnitt der in Natur erbsengroßen Innenohrschnecke, links bei Schallunterdruck, rechts bei Schallüberdruck, jeweils mit Ausschnitt der Basilarmembran und angedeuteter Bewegung der Nervenzellen, die die elektrischen Impulse zum Gehirn weiterleiten.

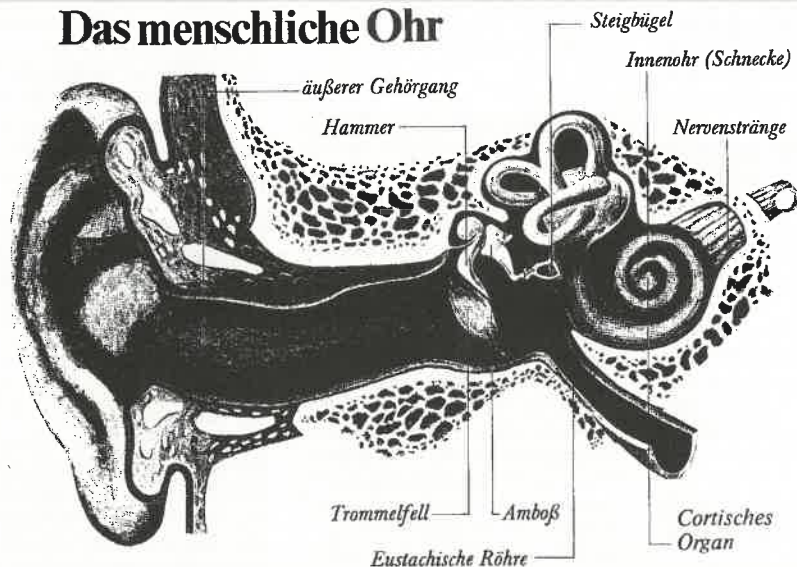
siert: Man spricht hier von Nervenfeuerungsraten. Nach von Békésy ist dieser Vorgang als Ortsprinzip für die Ton- und Klanganalyse bekannt [1].

Die gesamte Länge der Basilarmembran von 3,2 Zentimetern ist für den Audibereich von 20 Kilo-

Schalls entsteht noch kein tonales Klang-Hören. Die schnellstmögliche Schallerkennung hat stattgefunden. (Alarmpmeldung).

Für jedermann nachvollziehbar beginnt die Schallauflösung mit kürzesten Periodizitäten, also höchsten Frequenzen und endet nach

Das menschliche Ohr



Das menschliche Ohr: Im Innenohr befindet sich auf der Basilarmembran das Corti'sche Organ, das eigentliche Nervensensorium. Nervenstränge senden von dort aus entsprechend dem einfallenden Schall Serien von elektrischen Impulsen zum Gehirn.

hertz bis 20 Hertz zuständig. Sie wird in etwa sechs Millisekunden vom Ovalen Fenster bis zum Helikotrema durchlaufen. Nur bei sehr langen Periodizitäten, also tiefen Frequenzen wird der Gesamtweg zurückgelegt. Sofort ausgeglichen werden Einschwinggeräusche mit sehr kurzen Periodizitäten über das darunterliegende Runde Fenster. Der Ort zwischen den beiden Fenstern liegt direkt am Signaleingang. Er ist für kürzeste Periodizitäten beziehungsweise höchste Frequenzen zuständig. Ein Geräusch mit fehlenden tieffrequenten Energieanteilen, das heißt langsamen Periodizitäten löst die „Wanderwelle“ erst gar nicht aus. Im 10- bis 100-Mikrosekunden-Bereich werden die Schallwerte dem Gehirn direkt ohne Wanderwellen-Laufzeit zur Richtungs- und Charakterbestimmung signalisiert. Trotz des stattfindenden Erkennens des

sechs Millisekunden mit längster Periodizität, also tiefster Frequenz. Zwingend läuft der Signalfluß vom Ovalen Fenster zum Ausgleich an das Runde Fenster, das heißt von der kürzesten Periodizität zur längsten Periodizität und von der höchsten Frequenz zur tiefsten Frequenz.

Macht man sich den Periodizitätsgedanken zu eigen, so beginnt wie in der Natur ein Ereignis mit dem Zeitpunkt Null entsprechend höchster Frequenz und setzt sich mit dem Kehrwert der Periodendauer zu niedrigeren Frequenzen hin kontinuierlich fort. „Man wird also zu akzeptieren haben“, schreibt Professor Klinke, „daß trotz der dominierenden Wichtigkeit des Ortsprinzips (Ton- und Klanganalyse) die Periodizitätsanalyse eine wichtige Rolle spielt“ [1].

MAINHATTAN ACUSTIK

präsentiert:

AUDIO-TEST-BOARD ATB

- ★ FFT-Analyse
- ★ Speicheroszilloskop
- ★ Funktionsgenerator
- ★ Rauschgenerator
- ★ Burstgenerator
- ★ Schalldruckpegel
- ★ Impedanz
- ★ Phase
- ★ Klirrfaktor
- ★ Zerfallsspektrum
- ★ Thiele-Small-Parameter

Computer-Meßkarte + Software
DM 3000,-

AUDIO - CAD

Lautsprecher-Simulations-Software
und Datenbank

- ★ geschlossene Gehäuse
- ★ Baßreflexgehäuse
- ★ Bandpaßgehäuse
- ★ Transmission Lines
- ★ Hornlautsprecher
- ★ Compoundlautsprecher
- ★ Frequenzweichen 1. bis 4. Ordnung
- ★ Bessel
- ★ Butterworth
- ★ Chebyshev
- ★ Linkwitz
- ★ Compromise

DM 100,-

AUDIO-CAD pro

- ★ alle Funktionen aus AUDIO-CAD, zusätzlich:
- ★ Datenschnittstelle zum AUDIO-TEST BOARD ATB
- ★ Schnittstelle MLISSA, KEMTEC, DAAS3
- ★ Berücksichtigung gemessener Frequenzgänge bei der Gehäuse- und Frequenzweichensimulation

DM 350,-

Ludwig, Müller und Stellbogen
Kirchstraße 42
6452 Hainburg 1
Tel. 0 61 82 / 70 81
Fax 0 61 82 / 71 50

(1) Manger-Schallsystem:

Das Manger-Schallsystem (MSS) besteht aus drei Manger-Schallwandlern (Front sowie linke und rechte Seite). Unterhalb von 180 Hertz kommen herkömmliche Kolbenstrahler zum Einsatz. Das System ist mit zwei Endverstärkern und einer elektronischen Frequenzweiche bestückt. Durch die Stand-Selektor-Umschaltung kann das Schallsystem an die Raumakustik (Anzahl der Begrenzungsflächen in der Nähe des Schallsystems) angeglichen werden. Zudem läßt sich die Balance zwischen den beiden seitlich angeordneten Strahlern einstellen. Durch verschiedene Sockel kann der akustische Mittelpunkt vom Boden zwischen 1,0 und 1,5 Metern frei gewählt werden.

(2) Referenz-Monitor:

Abhörlautsprecher für Musikeinspielungen, Final Mix, Digital-Mastering und Synchronisierarbeiten über Mischpulte.

(3) Amplitudenfrequenzgang-Messung:

Meßinstrumente für elektrische Wechselspannungen und -ströme, auch für den Schalldruck, zeigen in der Regel den quadratischen Mittelwert, den Effektiv- oder RMS-Wert an. Der angezeigte Effektivwert entspricht einer Gleichspannung, die an einem ohm'schen Lastwiderstand die gleiche elektrische Energie in Wärme umsetzt wie die gemessene Wechselspannung. Die elektrische Spannung in der Steckdose zum Beispiel hat einen Effektivwert von 230 Volt. Sie ändert sich 50mal in der Sekunde, hat also eine Periodendauer von 20 Millisekunden, in denen sich der momentane Spannungswert zwischen plus 325 und minus 325 Volt verändert. Zwischen den Spitzen-Spannungswerten liegt also eine Differenz von 650 Volt.

Im Schalldruckverlauf folgt unser Trommelfell im Ohr nicht dem Effektivwert des Schalldrucks, den ein Schalldruckpegel-Meßgerät anzeigen würde, sondern dem momentanen Schalldruck. Eine sinusförmige Auslenkung ist also zwischen den Maxima 2,8mal so groß wie ihr Effektivwert. Bei einem Geräusch erfährt das Trommelfell unter Umständen nur eine einzige Schwingungsperiode, die aber für den Menschen möglicherweise von großem Informationswert ist (Alarmmeldung). Die Amplitudenfrequenzgangmessung eines Lautsprechers zeigt nur sein Verhalten bei Schwingungsvorgängen, die deutlich länger als 0,2 Sekunden andauern (eingeschwungener Zustand). Der Schall-

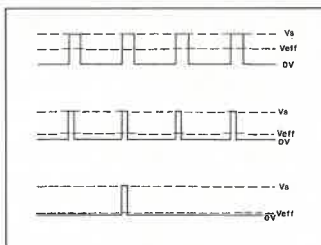
bereich unter 0,2 Sekunden Dauer wird erst durch dynamische, das heißt durch Messung im Zeitbereich aussagefähig. Sie ergänzt sinnvoll die statische Messung im Frequenzbereich.

(4) Klangharmonie

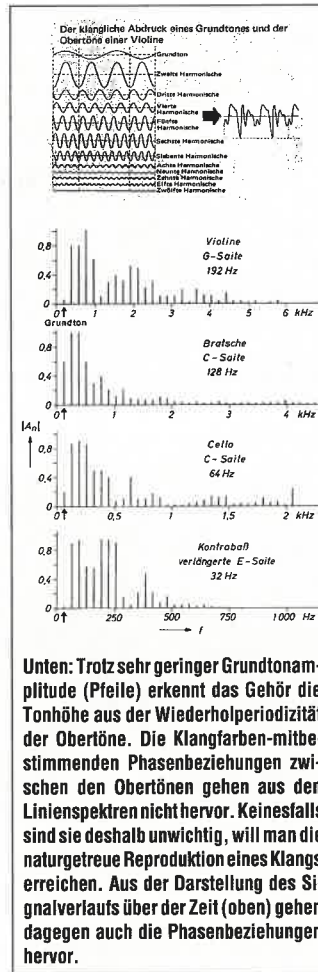
ist die Beziehung gleichzeitig erklingender Töne zueinander. Neueste Untersuchungen, besonders aus der elektronischen Klangsynthetisierung, zeigen immer mehr, daß die zeitliche Variation der Einzeltöne einer Klangharmonie und deren Ausgleichsvorgänge an Anfang und Ende und untereinander von wesentlicher musikalischer Ausdruckskraft sind. Macht man sich für die Klanganalyse den Periodizitätsgedanken zu eigen, so ist man nicht verwundert, daß zum Beispiel der Grundton einer Glocke, der sie benennt, in der Spektralanalyse überhaupt nicht vorhanden ist. Denn die spektrale Zerlegung beginnt im Ohr auf der Basilarmembran mit kürzester Periodendauer, also höchster Frequenz. Die tieffrequenteren Klanganteile kommen erst danach hinzu. Ob nun der Grundton selbst als letzter hinzukommender Ton tatsächlich vorhanden ist oder nicht, ändert nichts an der Grundtonhöhe.

(5) Im Forschungsbericht

[2] wurde untersucht, welcher Zeitraum zum Erkennen von musikalischen Klangintervallen benötigt wird. Danach sind nach einer Dauer von etwa 80 Millisekunden alle Tonhöhen einwandfrei zu erkennen. Unterhalb von 40 Millisekunden fällt die Trefferquote unter 50 Prozent. Unter 10 Millisekunden Schalldauer ist eine Klangerkennung weitgehend unmöglich. Bei weiterem Verkleinern



Effektivwertbildung und quadratischer Mittelwert. Oben: Verschiedene Impulsformen und deren Effektivwerte. Unten: Reale Schallquellen, von Brüel [4] gemessen, ergeben Differenzen zwischen Spitzen- und Effektivwert von bis zu 32 Dezibel.



Unten: Trotz sehr geringer Grundtonamplitude (Pfeile) erkennt das Gehör die Tonhöhe aus der Wiederholperiodizität der Oberläufe. Die Klangfarben-mitbestimmenden Phasenbeziehungen zwischen den Oberläufen gehen aus den Linienspektren nicht hervor. Keinesfalls sind sie deshalb unwichtig, will man die naturgetreue Reproduktion eines Klangs erreichen. Aus der Darstellung des Signalverlaufs über der Zeit (oben) gehen dagegen auch die Phasenbeziehungen hervor.

des Intervalls nehmen musikalische Klänge immer mehr Geräusch-Charakter an, im Bericht als „ticks“ und „tocks“ beschrieben.

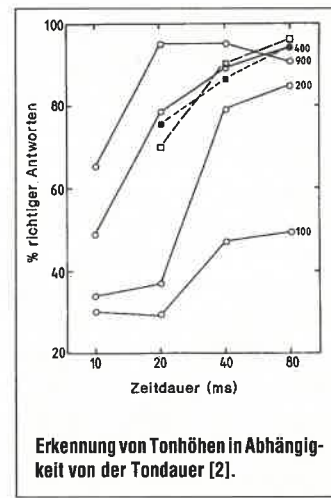
(6) Schallereignisse:

(Reiner) Ton ist eine sinusförmige Schwingung. Aber ohne Anfang und Ende ist sie eine mathematische Idealisierung. Bei allen in der Natur vorkommenden Schwingungen sind die kennzeichnenden Parameter Amplitude und Periodendauer zeitabhängig. Musikinstrumente geben keine reinen Töne ab. (r)Reiner Klang läßt sich immer als Fourier'sche Reihe mit ganzzahligen harmonischen Schwingungen darstellen. Die Fourieranalyse des eingeschwingenen Klanges zeigt ein diskretes, also ein Linienspektrum. Musikinstrumente erzeugen Klänge. Klangfarbe (Partialtöne, Obertöne, -schwingungen): Helmholtz erklärte 1913 stationäre Klänge in „Die Lehre von der Tonempfindung“. Die Zusammensetzung der Partialtöne ist für die musikalische Klangfarbe verantwortlich. 1932 ergänzte H. Backhaus durch seine Ausführungen in: „Über die Bedeutung der Ausgleichsvorgänge in der Akustik“, daß die nichtharmonischen Vorgänge, die fast in jedem andauernden Klang, spezi-

ell bei dessen Beginn und Ende, vorkommen, für seine Charakterisierung von besonderer Bedeutung sind. Geräusche setzen sich aus nichtperiodischen Schwingungen zusammen. Ihre Fourieranalyse zeigt ein kontinuierliches Spektrum. Der Verlauf des Frequenzspektrums entscheidet, ob ein Geräusch als Rauschen, Knistern, Brausen oder anders erkannt wird. Die stimmlosen Konsonanten der menschlichen Sprache bilden Geräusche, ebenso wie Trommeln, Schellen, Kastagnetten und andere Schlaginstrumente. Ein Geräuschstoß tritt bei Explosiv-Lauten der Sprache auf, z. B. bei „t“ und „p“. Ein Knall ist ein zeitlich sehr kurzes Geräusch. Die Amplitude des kontinuierlichen Frequenz-Spektrums klingt je nach Energie (Kanone, Spielzeugpistole) langsam oder schnell ab.

(7) Periodizität, Periodendauer

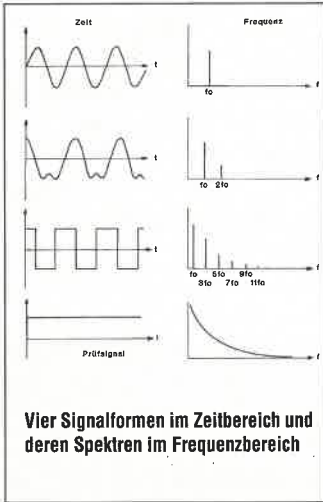
Periodizität ist in der elektrischen Systemtheorie ohne Definition. Der Begriff wird für mechanische Schwingungen, auch in der Medizin, vom ungleichmäßigen Bewegungsablauf bis hin zur sinusförmigen Bewegung verwendet. Für jede Schwingung typisch ist die Periodizität. Der Bewegungsablauf wiederholt sich innerhalb der Periodendauer einmal. Eine Periodizität entsteht, wenn einem schwingungsfähigen System, also einem System, das mindestens zwei Energiespeicher enthält, Energie zugeführt wird.



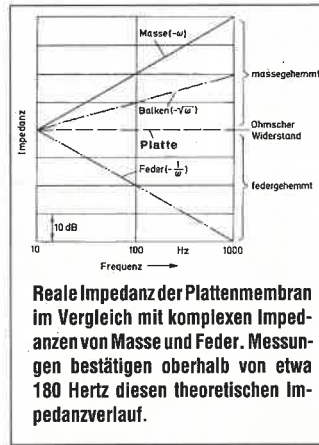
Erkennung von Tonhöhen in Abhängigkeit von der Tondauer [2].

(8) Richtungserkennen:

Das Gehirn wertet zur Richtungserkennung vorrangig die Laufzeitdifferenz eines Signals zwischen beiden Ohren aus. Aus 90 Grad seitlicher Einfallsrichtung des Schalls entsteht bei 20 Zentimetern Ohrabstand und einer Schallgeschwindigkeit von 340 Metern pro Sekunde der maximal auflösbare Zeitunterschied von etwa 600 Mikrosekunden. Neben den Laufzeitunterschieden werden zur Rich-



und Federelemente nicht nicht zur kontinuierlichen Addition fähig. Deshalb ist bei Verwendung solcher Wandler die Aufteilung des Übertragungsbereichs in mehrere Einzelbereiche erforderlich. Daher ist die zeitlich korrekte Reproduktion eines Schallereignisses nicht mehr möglich. Eindeutig beschreibt Professor Heckl in einer mathematischen Abhandlung über das von Manger entwickelte Abstrahlprinzip das selbst für Physiker überraschende Ergebnis: „... daß sich eine zu jedem Zeitpunkt dem Strom entsprechende Abstrahlung ergibt, das heißt, daß Einschwingvorgänge und ähnliche störende Effekte nicht auftreten“



durch eine Differenz von bis zu 15 Dezibel zwischen dem Spitze-Spitze-Wert des ersten übertragenen Wellenzuges und dem Effektivwert des eingeschwingenen Zustands aus. Diese starken Einschwingüberreibungen müssen vom Trommelfell übernommen werden, wengleich sie bei Darstellung des Lautsprecher-Übertragungsverhaltens in der Frequenzebene infolge Gleichrichtens und Mitteln des Signales nicht erkennbar sind. Über längere Zeit gesehen, erlebt der Zuhörer eine – in der Frequenzebene nicht gemessene – akustische Überreibung, Lästigkeit und Penetranz, die keinem natürlichen Instrument eigen ist.

(10) Plattenmembran:

Zwischen einer schwingungsfähigen Membran und einer schwingungsfähigen Platte müßte man streng physikalisch unterscheiden: Unter einer Membran versteht die Physik ein in sich starres, an seinem Rand eingespanntes Gebilde, während eine Platte in sich biegsam ist. Die schallabstrahlende Fläche des MSW verhält sich oberhalb von 150 Hertz wie eine Platte ohne Einspannung, unterhalb davon wie eine Membran mit Einspannung. Die Wortkombination „Plattenmembran“ soll dieses Verhalten verdeutlichen.

(11) Einschwingüberreibung

Zwischen dem Kurzzeitverhalten eines Lautsprechers während des Einschwingvorgangs und seinem Langzeitverhalten im eingeschwingenen Zustand, das durch den Amplitudenfrequenzgang beschrieben wird, besteht durch Gleichrichtung und Mittelwertbildung eine Differenz vom bis zu 2.8-fachen Amplitudenwert, entsprechend einer Pegeldifferenz von neun Dezibel (siehe (3)). Lautsprecherchassis mit „hoher Dynamik“ zeichnen sich, wie Messungen zeigen, sogar

Das dynamische, also das Verhalten eines Lautsprechers im Zeitbereich unterscheidet sich oft wesentlich von seinem statischen Verhalten, das heißt dem Amplitudenfrequenzgang, der ja den eingeschwingenen Zustand darstellt. Das ist die Antwort auf die eingangs gestellte Frage: „Hat sich der Lautsprecher verändert?“

(9) Laufzeitfehler

Der prinzipielle Unterschied zum herkömmlichen Kolbenstrahler liegt in der Biegewellen-Dispersion begründet. Dieser ist infolge seiner diskreten Masse-

High-End-Technologie,
die begeistert



High - End



Die neuen Tieftöner der TIW-Serie und die Gewebekalotten G 25 FFL sowie G 50 FFL vereinen optimierten Frequenzgang, hohe Impulstreue und höchste Verarbeitungsqualität. Konzentrierte, mehrjährige Entwicklungszeit und hochwertigster Materialeinsatz schufen Lautsprecher einer neuen Generation: VISATON High-End.

GERMANY
VISATON[®]
VISION OF SOUND

Fordern Sie detaillierte Informationen an:
VISATON · Ohligser Str. 29-31 · D-5657 Haan · Tel. 0 21 29/552-0

KROMBERG & POSTHUM