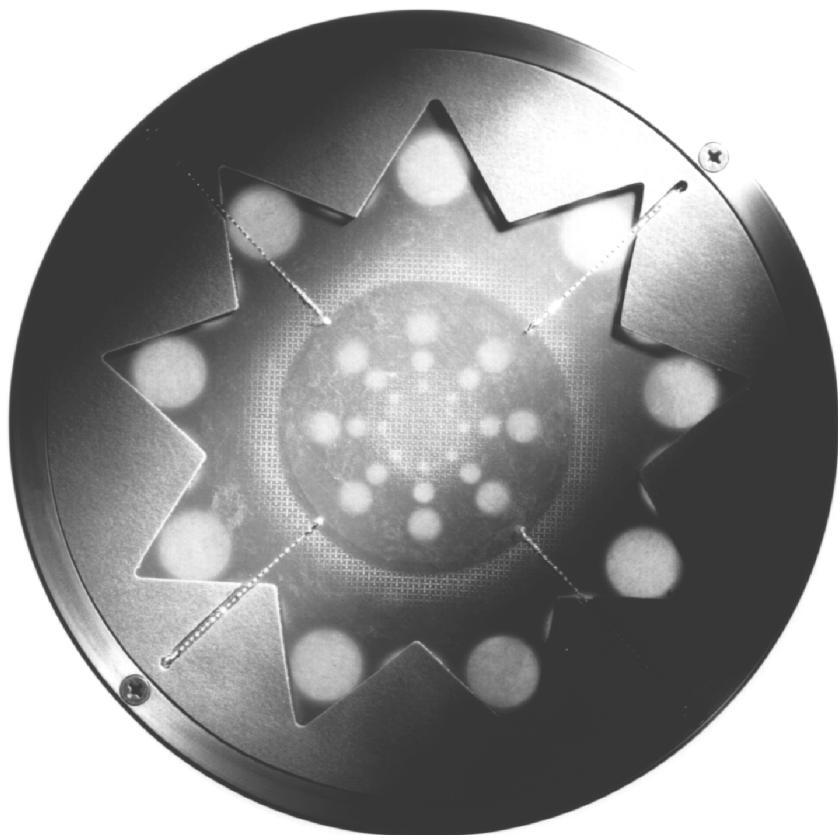
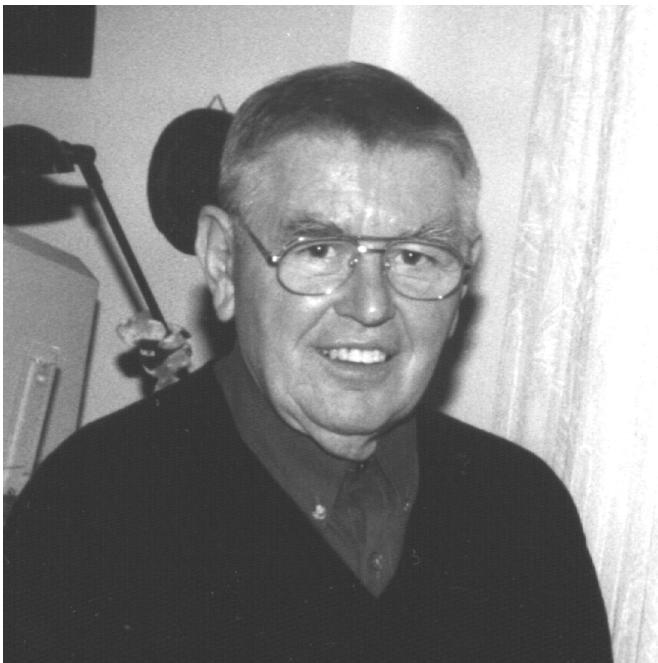


# Die akustische Realität

von Josef W. Manger



MANGER  
PRÄZISION IN SCHALL



„Ursprünglich entwickelte sich das menschliche Hören als Überlebensmechanismus zur Erkennung einer potentiellen Gefahr. Noch heute basiert die Funktion unseres Gehörs auf gleiche Weise, auf der Analyse zeitlicher Druckänderungen einer Schallquelle. Im Gegensatz zu herkömmlichen Lautsprechern reproduziert der Manger-Schallwandler gerade diese kurzzeitigen Druckänderungen äußerst präzise. Das Ergebnis zeigt sich in einer erstaunlich realistischen räumlichen und tonalen Wiedergabe. Diese Broschüre erläutert, wie unser Hörsinn funktioniert und warum das Zeitverhalten deshalb so wichtig ist und wie der einzigartige Manger-Schallwandler funktioniert.“

Josef W. Manger

### **Endlich: Ein Lautsprecher nach dem Prinzip des menschlichen Hörmechanismus**

Ich werde oft gefragt, wie ich auf die Idee kam, einen Lautsprecher zu entwickeln. Einfach gesagt: Weil ich unzufrieden war mit den gebräuchlichen Lautsprechern. Meiner Meinung nach verfälschen sie ein Original, und zwar sehr.

Für meine Ohren - und die Ohren anderer - bieten herkömmliche Lautsprecher keine überzeugende realistische Wiedergabe etwa von Schlaginstrumenten. Die räumliche Abbildung von Stereo-Signalen wird nicht korrekt reproduziert, und der Lautsprecher selbst erinnert den Hörer ständig an seine Gegenwart, und zwar mit seinen konstruktionsbedingten Einschwingfehlern. Sie verdecken die feinen Nuancen in der wiedergegebenen Musik.

Mein Ziel war, diese Probleme zu meistern und eine Wiedergabequalität zu erreichen, die tonal wie räumlich möglichst nah an das Original herankommt. Das bedurfte umfangreicher Untersuchungen, sowohl des menschlichen Hörens, als auch der Konstruktion von Lautsprechern und führte schließlich zur Entwicklung des Manger-Schallwandlers.

Mit herkömmlichem Wissen lässt sich der Manger-Schallwandler nicht erklären. Allerdings hat dieses Wissen die Leistungsfähigkeit traditioneller Lautsprecher auch nicht entscheidend vorangebracht. Es werden selbst heute noch dieselben Fehler gemacht, die schon vor Jahren bekannt waren. Um nun den Manger-Schallwandler zu erklären, möchte ich ganz einfach ein chinesisches Sprichwort zitieren: "Um zur Quelle zu gelangen, muß man gegen den Strom schwimmen."

In meinem Fall führte das Schwimmen gegen den Strom weg von der traditionellen Sichtweise - und hin zur grundlegenden Frage: "Was kann der Mensch mit seinem Hörsinn erkennen?" Es galt also, die beteiligten Hörmechanismen zu erforschen. Der räumlichen Erkennung im menschlichen Gehör kam dabei besondere Bedeutung zu. Es stellte sich heraus, daß zum Hörsinn nicht nur das bekannte System der Tonhöhen-Empfindung bei Klängen gehört. Vielmehr wirkt zunächst ein ent-

wicklungsgeschichtlich viel älterer Mechanismus: Mit dessen Hilfe kann der Mensch eine Schallquelle anhand kurzzeitiger Druckänderungen lokalisieren. Dieser Mechanismus ist enorm leistungsfähig. Er stammt nämlich aus den Anfängen der Menschheit, von einer hochentwickelten Überlebenstechnik in Zeiten, als das geringste Geräusch wie etwa das Knacken eines Zweigs höchste Gefahr bedeuten konnte. Solche Geräusche waren und sind nützliche Informationen für alle Lebewesen auf der Welt. Sprache und Musik kamen erst viel später, als wiederum an den Lärm von Maschinen noch gar nicht zu denken war.

Kurzzeitige Geräusche erzeugen kurze Druckänderungen, die zugehörige Schallquelle wird präzise und intuitiv geortet. Werden diese sogenannten Transienten, nicht exakt wiedergegeben, kann der Hörmechanismus die Richtung nicht genau bestimmen. Die Wiedergabe ist unnatürlich, die räumliche Abbildung wird beeinträchtigt.

Diese Untersuchungen erklärten mir nicht nur, wo das Problem traditioneller Lautsprecher lag. Sie führten auch zur Spezifikation eines idealen Lautsprechers. Von diesem Zeitpunkt an bestand das Problem nur noch darin, diese zu erfüllen. Man sagte mir, daß das unmöglich sei. Ich hielt dagegen, man müsse mit einem von Menschen gefertigten Gerät eine so hohe Präzision erreichen können wie die des menschlichen Hörmechanismus. Mit enormem Entwicklungsaufwand über 20 Jahre hinweg wurde das Ziel erreicht.

Aus meiner Sicht sollte ein präzises Lautsprechersystem fähig sein, sämtliche Arten von Musik gleich gut wiederzugeben - ein Klassikkonzert ebenso wie Pop-Rock-Musik. Genauso wichtig ist die Wiedergabe natürlicher Klänge: Vogelgezwitscher, das Rauschen des Windes in den Bäumen und eine entfernte Kirchenglocke. Der Lautsprecher selbst sollte im Hörerlebnis nie wahrnehmbar sein. Keine Eigenheiten und keine Veränderungen im Schallfeld dürfen auf ihn hindeuten.

Da der Bau herkömmlicher Lautsprecher eher Traditionen folgt als wissenschaftlicher Erkenntnis, gibt es Mythen in Hülle und Fülle. Eine davon besagt, daß ein guter Profi-Monitorlautsprecher nicht auch ein guter HiFi-Lautsprecher sein kann. Ein präziser Lautsprecher sollte in einem breitem Feld von Anwendungen gleich gut arbeiten. Ob er der Entspannung dienen soll, der Unterhaltung, der professionellen Aufnahmetechnik, der Audiometrie oder dem Testen von Mikrofonen - das ist nicht relevant. Herkömmliches Wissen legt zwar das Gegenteil dar, doch diese Vielfalt ist genau der Anwendungsbereich, in dem der Manger-Schallwandler heute arbeitet. Ein Schallwandler, der für all diese Bereiche einsetzbar ist.

Josef W. Manger

Josef W. Manger ist seit fast 30 Jahren in der Forschung und Entwicklung von Schallwandlern tätig und begann 1985 mit der Fertigung des Manger-Schallwandlers. Er ist Inhaber von 40 Patenten und wurde 1982 mit der Diesel-Medaille geehrt, eine der höchsten Auszeichnungen für herausragende Ingenieursleistungen in Deutschland.

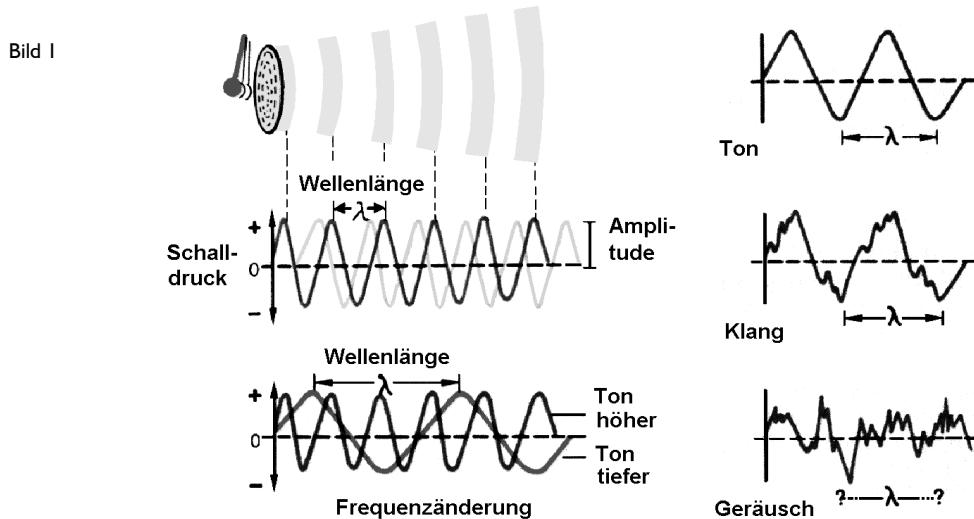


## **INHALTSVERZEICHNIS**

- 1/ Die traditionelle Erklärung des menschlichen Hörens**
- 2/ Erkennen und Hören - Erklärungen durch neueste Forschungsergebnisse**
- 3/ Warum herkömmliche Lautsprecher verfälschen**
- 4/ Ein neuer Anfang für Lautsprecher**

## I/ Die traditionelle Erklärung des menschlichen Hörens

In einer Schallwelle gibt es zwei Größen, die das menschliche Ohr wahrnimmt. Wie Bild I zeigt, ist eine davon die Frequenz, die als Tonhöhe erkannt wird; die zweite ist die Amplitude, sie wird als Lautstärke empfunden. Sinusförmige Schallwellen - Töne - haben eine einzige Frequenz und somit eine feste Periodendauer zwischen ähnlichen Punkten im Wellenverlauf. Die Entfernung, um die sich der Schall während einer Periodendauer fortpflanzen kann, nennt man Wellenlänge und bezeichnet sie mit dem Symbol  $\lambda$  (lambda).



Sinusschwingungen kommen in der Natur nur selten vor. Natürliche Klänge enthalten fast immer eine Vielzahl von Frequenzen. Das wurde zum ersten Mal von Jean Baptiste Fourier auf eine mathematische Basis gestellt. Aus dieser Grundlage ergibt sich, daß mit der Addition von Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenz jeder beliebige Klang dargestellt werden kann. Ein elektrisch erzeugtes Sinussignal ist eine nützliche Testhilfe, und Lautsprecher müssen in der Lage sein, es wiederzugeben.

Dem Klang eines Musikinstruments geben einige wenige Obertöne die charakteristische Farbe (im Bild Mitte rechts). Bei Geräuschen oder kurzzeitigen Druckänderungen (Transienten) ist die Zahl der darin vorhandenen Frequenzen dagegen unbegrenzt.

Das menschliche Gehör ist ein biologischer Schallwandler. Er ist von Psychoakustikern ausgiebig untersucht worden - mit dem Ziel, sein Verhalten mit mathematischen Mitteln zu modellieren. Der Frequenzanalyse im Ohr dient die Basilmembran in der Gehörschnecke, dem Innenohr. Bei anhaltenden Tönen gerät sie über ihre Länge mit unterschiedlichen Frequenzen in Resonanz; dadurch wird der Frequenzbereich bestimmt. Nach Einsetzen der Resonanz kann der Hörer anhand ihrer physikalischen Position (ihrem Ort) auf der Basilar-Membran die Tonhöhe feststellen. Bei einer bestimmten Klangfarbe erregen alle Töne ein spezifisches Muster von Resonanzen in bestimmten Abständen. Es ist für jedes Instrument charakteristisch und ermöglicht dem Hörer das Erkennen des Instruments.

Diese amplitudenbezogene Höranalyse wurde als Orts-Frequenz-Theorie bezeichnet. Sie beschreibt die Tonempfindung recht gut, wie Bild 2 zeigt. Dennoch sind die Untersuchungen unvollständig, insbesondere für das Erkennen eines Geräusches. 1987 formulierte Zenner das Problem so:

"...Diese [Sensorzellen] in der Basilarmembran übernehmen die entscheidende Aufgabe, das Schallsignal in ein bioelektrisches und biochemisches Signal umzuwandeln. Der genaue Zusammenhang zwischen diesen beiden ist gegenwärtig unbekannt..."

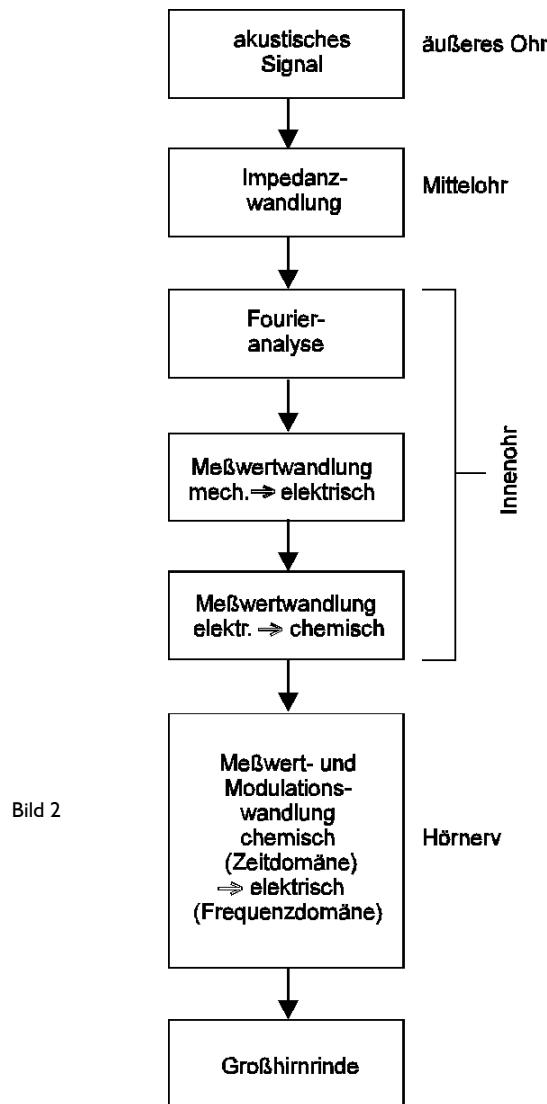


Bild 2

## 2/ Erkennen und Hören - Erklärungen durch jüngste Forschungsergebnisse

Das menschliche Gehör erkennt nicht nur, ob Schall vorhanden ist. Es stellt auch die Richtung fest, aus der er kommt, und analysiert seinen Inhalt, um seine Ursache herauszufinden. Bei musikalischen Klängen wird anschließend die Tonhöhe bestimmt. Man hat diese Zusammenhänge über 20 Jahre untersucht und dabei herausgefunden, daß diese Auswertungen erst nach dem Beginn einer dynamischen Druckveränderung aktiviert werden und nacheinander ablaufen. Ort und Größe des Schallereignisses werden vollständig wahrgenommen, erst dann wird die Tonhöhe erkannt.

Das Empfinden der Tonhöhe und der Klangfarbe wird mit Hilfe der etablierten und in Abschnitt I erläuterten Ortstheorie beschrieben. Nach ihr werden verschiedene Teile der Basilarmembran je nach den im Schall enthaltenen Frequenzen angeregt. Verschiedene Kapazitäten auf diesem Gebiet - wie Keidel, Spreng, Klinke und Zenner - haben jedoch die Ansicht geäußert, daß es noch einen anderen, schneller wirkenden Mechanismus geben muß, der in der Zeitebene der Geräuscherkennung dient.

Diese Theorie konnte bislang mit herkömmlichen Lautsprechern nicht überprüft werden. Ihre Bestätigung war erst möglich, als der Manger-Schallwandler als Schallquelle eingesetzt wurde. Neueste Untersuchungen wurden auf Fachtagungen bereits vorgestellt.

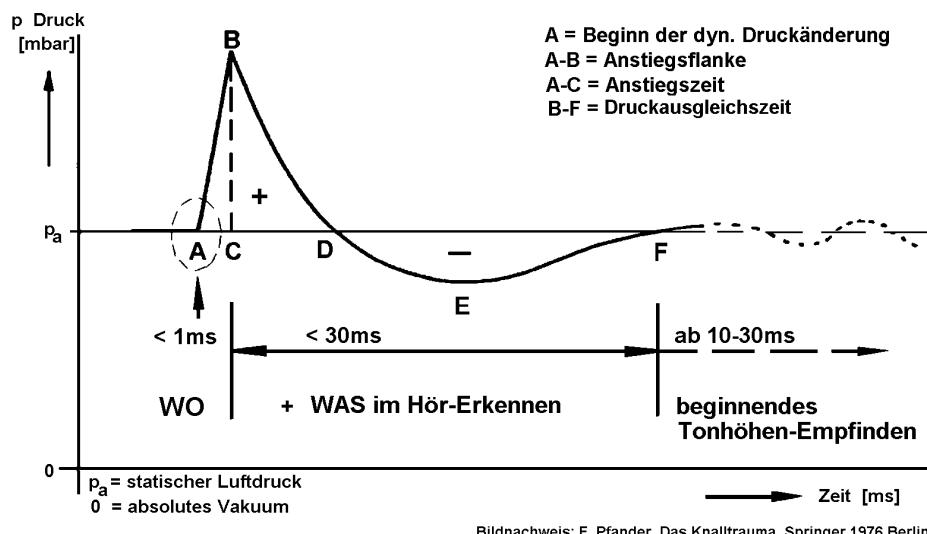


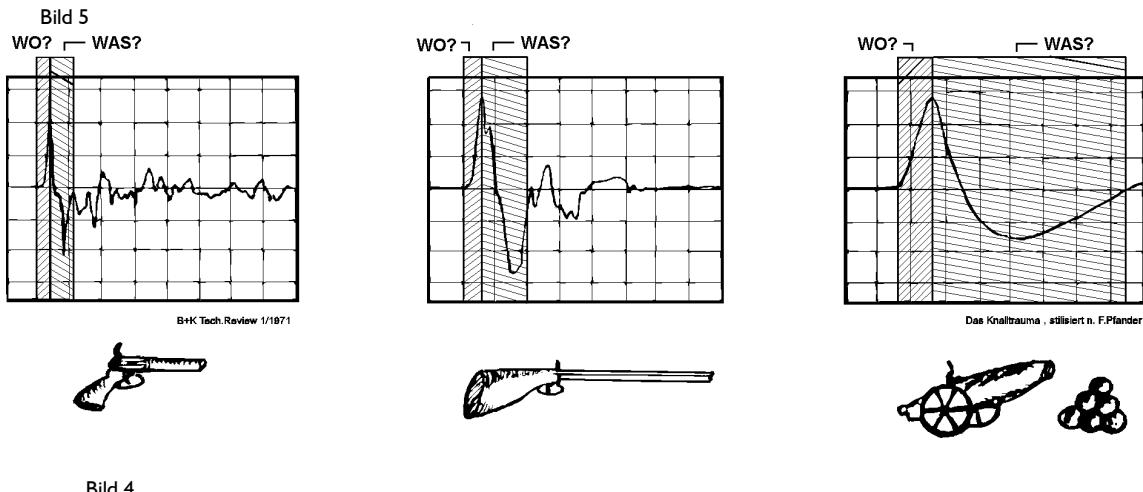
Bild 3

Bild 3 verdeutlicht diese Auswertung einer zeitlichen Druckänderung. Es zeigt einen idealisierten zeitlichen Druckverlauf eines Schallereignisses.

In der Darstellung gibt es drei wichtige Aussagen:

- 1/ Eine vollständige Periode ist fürs Erkennen einer Schallquelle durchaus nicht erforderlich; entscheidend ist nur der Beginn der kurzzeitigen Druckänderung (Zeitpunkt A). Die Zeitpunkte, an denen die Information an den beiden Ohren ankommt, werden verglichen, und mit ihrer Hilfe wird die Ursache, also der Ort der Schallquelle, innerhalb von etwa einer Millisekunde (tausendstel) bestimmt.
  - 2/ Nach dem Schallereignis, das die Druckänderung bewirkte, gleicht sich der Luftdruck entlang der Linie B-F aus. Die Zeitdauer dafür ist abhängig von der Schallquelle und ermöglicht dem Hörer, die Größe und die Gestalt der Schallquelle zu bestimmen.
  - 3/ Erst nach dem Erkennen der Schallquelle wird die Tonhöhe gemäß der Orts-Frequenz-Theorie der Basilarmembran bestimmt, und zwar aus dem Abschnitt C-F befindlichen Teil des Druckverlaufs.

Die im ursprünglichen Zeitverlauf der Druckänderung enthaltene Information geht über die Bestimmung des Schallquellenortes hinaus. Bild 4 zeigt, wie z.B. die Größe einer Schallquelle die Druckausgleichszeit beeinflußt; dargestellt sind die Druckverläufe einer Pistole, eines Gewehrs und einer Kanone. Es wird deutlich, daß die Druckausgleichszeit mit der Größe der Schallquelle zunimmt.



Diese Ergebnisse legen den Schluß nahe, daß alles, was die Wiedergabe von kurzzeitigen, transienten Druckänderungen in einem Schallwiedergabesystem beeinträchtigt, die Erkennung von Ort und Gestalt der Schallquelle zunichte macht. Ein Lautsprecher mit dem Anspruch auf zeitliche Präzision muß daher zweifelsfrei in der Lage sein, kurzzeitige Druckveränderungen exakt wiederzugeben.

### 3/ Das Problem herkömmlicher Lautsprecher

*"Die Unrichtigkeit beim Testen herkömmlicher Lautsprecher liegt nicht darin, was gemessen wird, sondern darin, was nicht gemessen wird."*

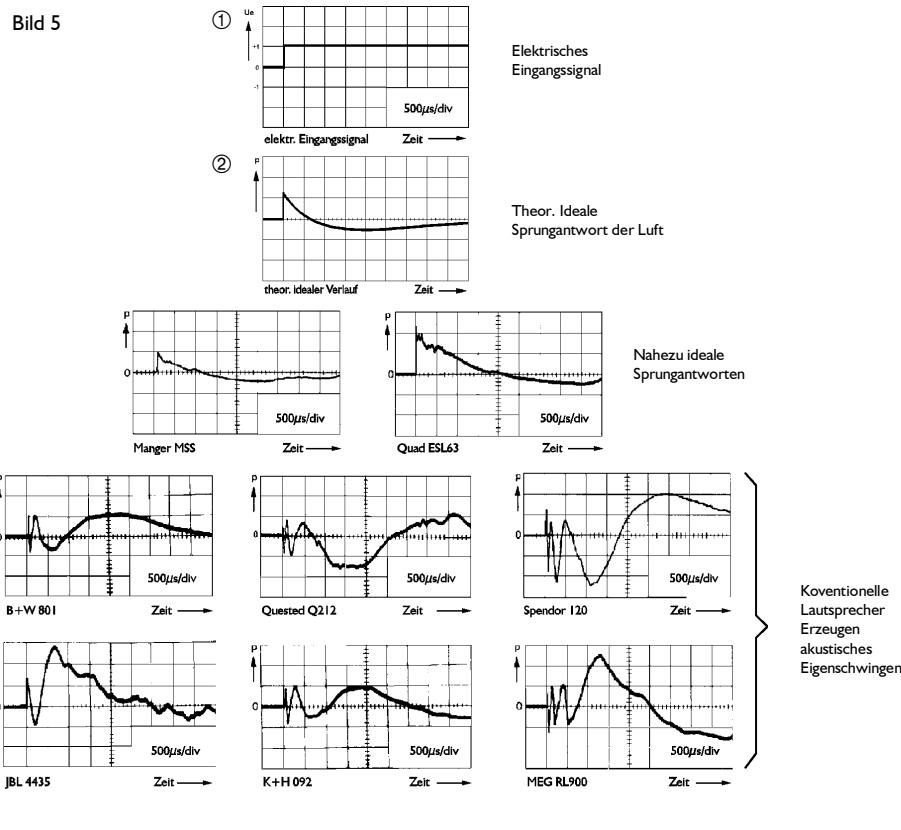
*Josef W. Manger*

Obgleich Abschnitt 2 zeigte, wie wichtig eine präzise Wiedergabe von Transienten für die Ortsbestimmung und die Wirklichkeitstreue ist, erweist sich das Zeitverhalten der meisten herkömmlichen Lautsprecher im allgemeinen als unzureichend. Über die Leistungsfähigkeit eines Lautsprechers läßt sich mit Sprungantwort-Tests eine Vielzahl von Aussagen machen. Dieses Verfahren ist in Bild 5 dargestellt: Einen Druckstoß kann die Luft nicht aufrechterhalten, er strebt einem statischen Wert zu. Alle Lautsprecher (und auch unsere Ohren) arbeiten in der Luft als Hochpaßfilter. Wenn die Spannungsänderung in ① auf einen Lautsprecher gegeben wird, wird die "Dachschräge" der Kurve zeitlich dem Verlauf des Druckabfalls folgen. Der von einem idealen Lautsprecher ausgehende Zeitverlauf läßt sich berechnen und ist in ② dargestellt. Jede Abweichung von diesem Optimum weist auf ein Problem beim Lautsprecher hin.

Zu beachten ist, daß der Manger und der Quad ESL63- Elektrostat unter allen getesteten Lautsprechern die einzigen sind, die diesem Ideal schon sehr nahe kommen. Das Antworten anderer Lautsprechersysteme ist mit dem Eingangssignal nicht mehr vergleichbar.

Immer noch wird von Lautsprechern nur ein glatter Frequenzgang bei kontinuierlichen Sinusschwingungen verlangt. Dabei wird meist der Phasenverlauf allgemein vernachlässigt. Die üblichen Einwände lauten "Die Phase spielt keine Rolle" oder "Das Ohr kann die Phase ohnehin nicht hören". Darum werden in Lautsprechern mindestens drei Treiber eingesetzt, die in unterschiedlichen Frequenzbereichen arbeiten. Auch sie sind wiederum nur auf einen ebenen Frequenzverlauf hin ausgelegt.

Der Sprungantwort-Test zeigt die Unzulänglichkeit der traditionellen Ansätze. Ein Blick auf Bild 5 verdeutlicht, daß das eingespeiste Signal schlicht und einfach nicht wiedergegeben wird. Statt dessen produzieren diese Lautsprecher ein Geräusch, das ihre Konstruktion als das Signal beschreibt. Man beachte die sequentiellen Antworten, wenn die Hoch-, Mittel- und Tieftöner zeitversetzt ansprechen, und in einigen Fällen die starke tieffrequente Schwingung, die von der Reflexabstimmung des Tieftöners herrührt.



Dieses vielfache Eigenschwingen ist für die lautsprechereigene Färbung verantwortlich, die jedem Signal überlagert wird. Darum klingen Lautsprecher unterschiedlich - jeder hat seine typische Färbung. Das führt nicht nur zu Hörermüdigung durch die Einschwingfehler, sondern lenkt die Aufmerksamkeit auf die Lautsprecher und ihre Größe. Der Zuhörer ist gezwungen, sich in der "Stille" zwischen den beiden Lautsprechern aufzuhalten, denn dort ist die Laufzeit des Eigenschwinggeräusches für beide Ohren gleich, so daß nur hier sich das mittige Bild aus den reproduzierten Kanälen einstellt.

Das Vervielfachen des elektrischen Eingangssignals durch den Lautsprecher löst im Hörsinn einen Schutzmechanismus aus.. Das führt zu einer Abnahme der Hörempfindlichkeit. Der Hörer möchte das ausgleichen und neigt dazu, die Lautstärke zu erhöhen. Wer sich jemals gefragt hat, warum manche Toningenieure solch ohrenbetäubende Schallpegel erzeugen, findet hier die Antwort: Weil ihre Lautsprecher Musikinformation durch Geräusch ersetzt haben. Die Anwender fordern noch leistungsfähigere, das heißt noch "lautere" Lautsprecher, die aber dann weniger präzise klingen.

Forschungsergebnisse belegen, daß Hören bei hohen Schallpegeln mit schlechten Lautsprechern das Gehör mehr schädigt als mit guten Lautsprechern. Die Folge ist eine Hörschädigung. Tragischerweise haben viele Toningenieure Hörschäden.

#### 4/ Ein neuer Anfang für Lautsprecher

Der Manger-Schallwandler erfüllt die herkömmliche Forderung nach gleichmäßigem Amplituden-Frequenzgang. Zusätzlich wurde er aber auf präzises Zeitverhalten hin konstruiert. Er hat eine Schwingspule (siehe Bild 6), und damit hört die Ähnlichkeit zu einem üblichen Lautsprecher auch schon auf. Die Membran ist völlig eben, aber nicht steif, sondern flexibel. Sie ist aus einem speziellen Material gefertigt, das Biegewellen ermöglicht.

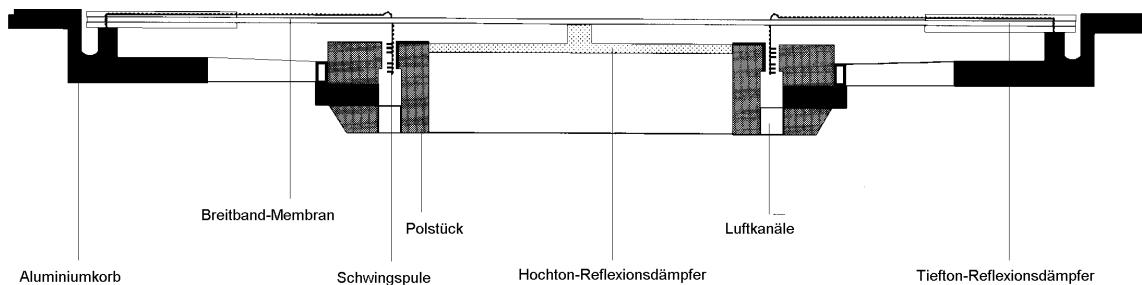


Bild 6

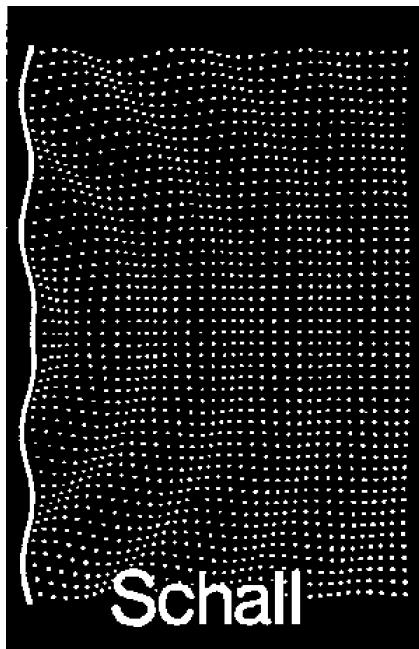
Im größten Teil des breiten Arbeits-Frequenzbereichs erzeugt die Anregung der Spule Biegewellen in der Membran. Sie pflanzen sich radial unterschiedlich schnell nach außen fort, bis sie in dem sternförmigen Dämpfer auslaufen, der am Umfang sichtbar ist. Auf der Basilarmembran im Innenohr breiten sich die Biegewellen in exakt derselben Weise aus.

Die Membran ist nicht gleichmäßig, vielmehr ändern sich ihre Charakteristika nach einer genau festgelegten Gesetzmäßigkeit in Abhängigkeit vom Radius. Das bringt eine Reihe nützlicher Vorteile.

Erstens wird die abstrahlende Fläche mit zunehmender Frequenz immer kleiner. Die tiefsten Töne werden von der gesamten Membran abgestrahlt, höhere dagegen nur in der Mitte. Anders als bei der üblichen Konfiguration - mehrere Treiber immer kleinerer Abmessungen - hat man beim Manger-Schallwandler eine einzige Einheit, deren Größe sich kontinuierlich in Abhängigkeit von der Frequenz ändert.

Zweitens muß die Spule nicht sofort die gesamte Membran beschleunigen und kann so eine sehr schnelle Anstiegszeit erreichen. So werden kurzzeitige dynamische Signalveränderungen präzise aus einem Mittelpunkt heraus wiedergegeben.

Drittens ist die radiale Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Biegewellen durch die Membran sorgfältig auf die Schallgeschwindigkeit in Luft abgestimmt. So paßt die Abstrahlphase von den inneren Teilen der Membran zur Abstrahlphase der äußeren Teile, die sich durch die Luft fortgepflanzt hat. Bild 7 zeigt, daß dies zu einem idealen, breiten Abstrahlmuster führt und daß die störende Richtwirkung herkömmlicher Lautsprecher vermieden wird.



Vorgelegte Anforderungen werden von Manger korrekt erfüllt, dadurch gewinnt das Hören eine akustische Realität. Die grundsätzlich aperiodische Natur des Manger-Schallwandlers garantiert, daß es sich bei der einzigen periodischen Größe, die das Ohr aufnimmt, um das Originalsignal handelt.

Es ist nicht möglich, einen Manger-Schallwandler zu hören, da er keinen eigenen "Sound" hat. Die spezielle Färbung herkömmlicher Lautsprecher fehlt völlig, dem Zuhörer werden sämtliche im Signal enthaltenen Informationen offenbart.

Bild 7

Der Manger-Schallwandler bietet eine seltene Kombination aus zeitlicher, und räumlicher Präzision und hat daher folgende Vorteile:

- 1/ Größere Realitätsnähe: Schallereignisse werden auf wirklich natürliche Weise reproduziert. Für den Hörer zu Hause ist der Manger-Schallwandler daher ein Freudenspender, für den Profi ein unentbehrliches Werkzeug.
- 2/ Keine Hörermüdigkeit: Zeitlich unbegrenztes Hörvergnügen, das ist das Merkmal eines zeitgenauen präzisen Lautsprechers.
- 3/ Hören bei größerer Lautstärke ist für eine kritische Bewertung nicht mehr notwendig. Das schont das Gehör. Obwohl der Manger-Schallwandler hohe Schalldrücke erzeugen kann, bewirkt seine überragende Präzision, daß der Zuhörer den Wiedergabepegel öfter reduziert, da die reproduzierte Musik korrekt wiedergegeben wird.
- 4/ Keine "Stereomitte". Dieser Begriff ist auf die Einschwingfehler schlechter Lautsprecher gemünzt. Der Manger-Schallwandler füllt den Raum mit einem realistischen Klangfeld, Zuhören ist überall möglich.

Die Wirklichkeitsnähe des Manger-Schallwandlers fällt jedem sofort auf, der ihn hört. Dafür ist weder musikalisches noch technisches Wissen notwendig, und das sollte auch so sein.

**MANGER PRODUCTS**  
Industriestrasse 17  
D-97638 Mellrichstadt  
Fon +49 9776 9816  
Fax +49 9776 5925  
eMail: [info@manger-msw.de](mailto:info@manger-msw.de)  
homepage: <http://www.manger-msw.de>

---