

# **Fortschritte der Akustik**

Fachbeiträge von Josef W. Manger zur 24. Deutschen  
DAGA-Jahrestagung für Akustik in Zürich

März 1998

**M A N G E R**  
P R Ä Z I S I O N   I N   S C H A L L

# VERBESSERTER MÖGLICHKEIT DER UNTERSUCHUNG APERIODISCHER DRUCKVERLÄUFE ALS BASIS FÜR ORTUNG UND QUELLERKENNUNG

Josef W. Manger, Bastheim

Fa. Manger, Schallwandlerbau + Vertrieb, D-97638 Mellrichstadt

Es ist das Ziel, in diesem und im folgenden Beitrag, ein neues elektroakustisches Abstrahlprinzip vorzustellen. Es bietet verbesserte Möglichkeiten, dem Zeitsinn, der Zeitanalyse und der Periodizitätsanalyse in der akustischen Wahrnehmung auch physiologisch näher zu kommen. [1,7,8]

Das Überraschende am neuen Abstrahlprinzip wurde zunächst rein physikalisch gesehen, wie in dem folgenden Zitat: "Daß sich ... eine zu jedem Zeitpunkt dem Strom entsprechende Abstrahlung ergibt; d.h., daß Einschwingvorgänge und ähnlich störende Effekte nicht auftreten. Es werden also auch Zeitverläufe des Stromes, die plötzliche Änderungen beinhalten, z.B. Rechteckverlauf, im Schalldruckverlauf richtig wiedergegeben".

Überraschend ist dies deshalb, weil Prof. Manfred Heckl, der 1977 zu Rate gezogen wurde, zunächst ernste Zweifel am Wirkungsanspruch solch resonanzfrei einschwingender Lautsprecher anmeldete. "Das wäre aus hochdynamischer Anregung eine kaum zu erfüllende Forderung", war seine erste Antwort.

Anfang 1978 dagegen, nach Prof. Heckls physikalisch mathematischen Durchleuchten, stellte sich heraus, daß das von mir konstruierte Abstrahlprinzip, zu seiner Überraschung, auch in der Theorie zu der resonanzfrei einschwingenden Abstrahlung führte, wie eingangs zitiert. [2]

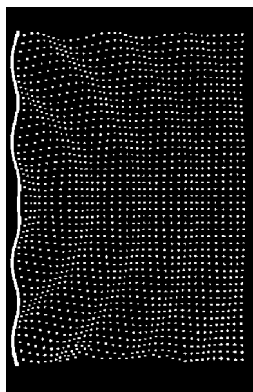


Bild 1: Ebenes Schallfeld ab 14cm

Das neue Prinzip ist ein Wanderwellenprinzip. Es garantiert einen nichtperiodischen Druck-Änderungsverlauf, genauso wie einen periodischen Schwingungsverlauf im akustischen Freifeld. Aus dem Prinzip ergibt sich vor der flachen und konzentrischen Strahlmembran ab 14cm nach dem  $1/r$  Gesetz bereits die Fernfeld-Situation. (Bild 1) Man kann sich der Schallquelle ohne Zeitmusterfälschung dementsprechend nähern.

Die von mir im nachfolgenden Text als „Dynamische Druckfront“ bezeichnete Zeitspanne beginnt im akustisch-reiz-synchronen ONSET-Zeitpunkt bis annähernd an die 30 Millisekunden in der Zeitdauer. Das entspricht faktisch

der psychoakustischen Vor-Verdeckungszeitdauer. [11,12]

Die nachfolgend aufgeführten Experimente wurden über viele Jahre verteilt mit dem Ziel durchgeführt, die subjektive Wahrnehmungsänderung der nachweisbar objektiven "Dynamischen Druckfront"-Änderung zuzuordnen. Die physikalische Voraussetzung schaffte das neue Abstrahlprinzip. Die Prämisse war, vom physikalisch realen und daher besonders anschaulichen Zeitbereich auszugehen. Bereits seit 1971 wurden z.B. Sprunganregungen auch für akustische Meßaufgaben eingesetzt.

Zur Komplettierung einer akustischen Freifeldkette wurden 1985 auf der Schallempfängerseite 25 verschiedene Meß- und Studio-Kondensatormikrofone der Firmen AKG, Beyer, B+K (Bild 4), Neumann, Schoeps und Sennheiser gemessen. Diese Mikrofone wurden über einen MSW als Schallsender mit Sprunganregung unter verschiedenen Winkeln von  $0^{\circ}$ - $180^{\circ}$  und Zeitauflösungen von  $20$ - $100\mu\text{s}/\text{Div}$ . gemessen und die Ergebnisse veröffentlicht. [3] Unser Fotoarchiv hat bis jetzt 32.210 Bilder erfaßt. Es dokumentiert viele spannende Aussagen zum großen subjektiven Rätsel der hörenden Menschheit. Wie muß man sich eine *akustische Realität* im Modell vorstellen? Wie erkennt der Mensch blitzartig und zugleich kontinuierlich eine abgetastete Objektivität in räumlicher Orientierung? Neben der akustischen Information und der Kommunikation ist die akustische Realität ein hochinteressanter Aspekt der auditiven Wahrnehmung, die eine Herausforderung auch für die wissenschaftliche Seite darstellt.

In den Textpassagen trägt das neue Abstrahlprinzip die nächstehenden Kürzel: MSW für Manger-Schallwandler als Einzelchassis; Zerobox für eine passive Standbox.

Experimenteller Aufbau: 1. Funktionsgenerator, 2. Burstgate, 3. Verstärker, 4.1 Manger-Zerobox 107/3, 4.2 MSW in  $2\pi$ -Raum, 5. Freies Schallfeld, 6. Mikrofon B+K 4133 in 1m Entf., 7. Vorverst. B+K 2669, 8. Netzgerät B+K 2801, 9. CRO, 10. Fotoapparat.

0.0 Die "Dynamische Druckfront" hatte vier auditive Wahrnehmungskategorien bei den durchgeführten Experimenten.

1.0 Die erste auditive Wahrnehmung zeigt die Ursache der Schallentstehung.

Wie dies physikalisch real abläuft, zeigt das vorweggenommene Ergebnis 1.7 der Kategorie 1.0: Jede stoßartig dynamische Änderung am statischen Gleichdruck der Luft verursacht ein typisches Geräusch. Wobei der Begriff Dynamische Änderung für eine Änderung der Geschwindigkeit in der Zeit steht. Und deren Differential-Quotient  $dv/dt$  entspricht einer Beschleunigung, die einer von außen antreibenden Kraft proportional ist.

Im ONSET eines Schalls müssen zuerst alle Körpermassen, plus dem erfaßten Volumenelement der Luft, aus ihrer Ruhelage heraus beschleunigt werden. Das entspricht einer Änderungsgeschwindigkeit  $dv/dt$ . Danach folgt erst das gleichförmig periodische Schwingen in einer konstanten Geschwindigkeit  $ds/dt$  mit quasistationärer Frequenz. Der Beginnvorgang im ONSET muß zuerst die Änderung der Bewegung erzwingen, dann erst im weiteren Verlauf die gleichförmige Bewegung aufrechterhalten, im Falle einer periodisch konstant anregenden Kraft.

Seit Anfang der MSW-Entwicklung heißt die Schlüsselfrage: Wie geräuschhaft, wie charakteristisch, wie typisch beginnt Schall? Konkret: Wie beginnt eine Sinusschwingung im Schall? Welche Wahrnehmungen werden mit dem ONSET ausgelöst?

1.1 Wahrnehmungen aus unterschiedlichen ONSET-Änderungsgeschwindigkeiten ( $dv/dt$ ). Anregungssignal ist eine gleichförmig symmetrische 1kHz Sinusschwingung.

1.2 Gemessen wird mit Hilfe der ONSET-Funktion mit infinitesimalem Zeitintervall aus der Nullage heraus. Bezeichnung "Sinusbeginn", Zeitpunkt (A). Bild 2 + 3

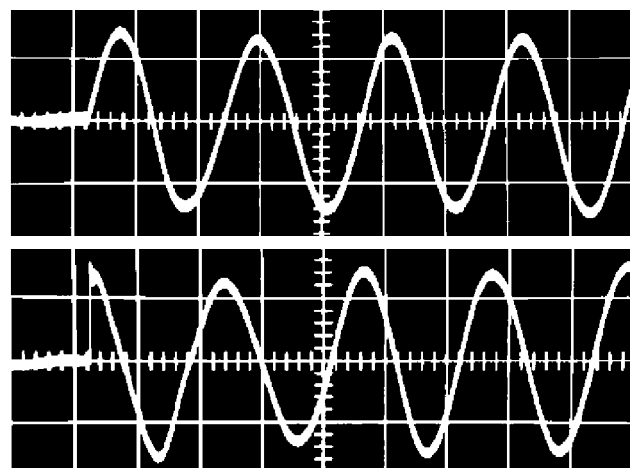


Bild 2: Verschiedene Onset-Änderungsgeschwindigkeiten nach 1.2 und 1.3

1.3 Gemessen wird mit Hilfe einer ONSET-Funktion, sprunghaft in  $14\mu\text{s}$  in den Maximalwert. Bezeichnung "Cosinusbeginn", Zeitstrecke (A-B). Bild 2 + 3

1.4 Die vom ONSET-Geräusch aus ihrer Änderungsgeschwindigkeit erzeugten Verdeckungszeit in den 1kHz-Ton wird mit dem Periodenzähler (Burstgate, s.o.) vom Probanden durch Auf- und Abwärtszählen bis zum anklingenden Empfinden des 1kHz-Tones gemessen. Eine Periode entspricht 1ms in der Zeitdauer. (1.1)

1.5 Ergebnis der Verdeckung zu 1.2: Der Sinusbeginn zeigt 10 Perioden entspr. 10ms als Verdeckungszeit bis zum 1kHz-Tonempfinden. Bis 9 Perioden dominiert allein das "weiche" ONSET-Geräusch.

1.6 Ergebnis der Verdeckung zu 1.3: Der Cosinusbeginn zeigt 22 Perioden entspr. 22ms als Verdeckung bis zum 1kHz-Tonempfinden. Bis 20 Perioden dominiert allein das "sehr harte" ONSET-Geräusch.

1.7 Ergebnisse: Das Geräuscherkennen liefert die Ursachenfindung aus der Wahrnehmung. Vom weichen ONSET-Geräusch punktförmig in (A) (s. Bild 3) bis zum sehr harten ONSET-Geräusch, das sich linienförmig aus der 14µs Wandler-Anstiegszeit (A-B) darstellt. Je schlagartiger und auffälliger ein Geräusch ist, desto länger wird die Zeitspanne für eine Auswertungsfindung. Das ist gleichbedeutend mit beanspruchter Verdeckungszeit in das periodisch anregende Schallereignis hinein.

1.8 Bemerkung: Neben dem ONSET-Geräusch aus 1.5, 1.6 entstand sehr oft ein deutlicher Grundton, selbst aus nur einer einzigen 1kHz-Periode (s. Bild 5 + 6). Der nachgeforschte Grund war immer eine sehr kleine OFFSET-Spannung im ONSET-Signal, s. Teil 2.

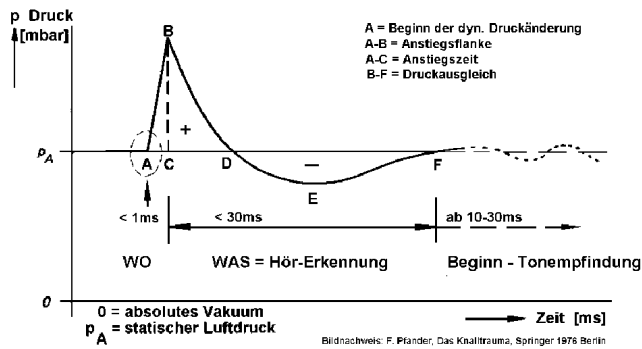


Bild 3: Stiliertes Druck-Zeit-Diagramm einer Sprunganregung

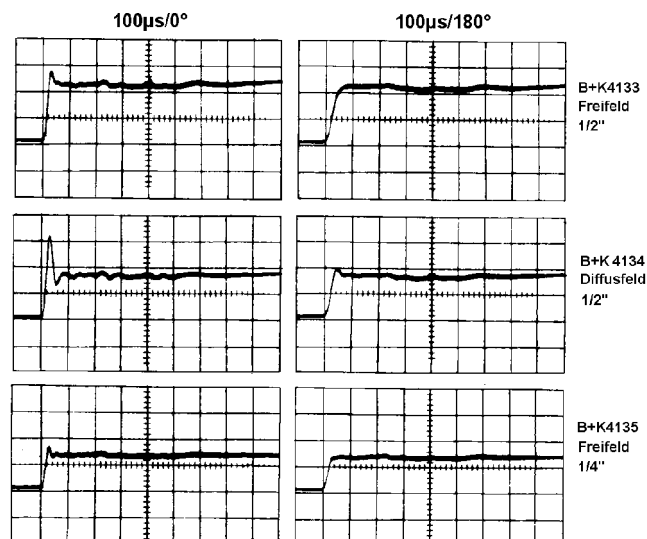


Bild 4: Kondensator-Meßmikrofone in Sprunganregung über MSW in 2 $\pi$ -Raum in 1m Entfernung, Bildquelle [3]

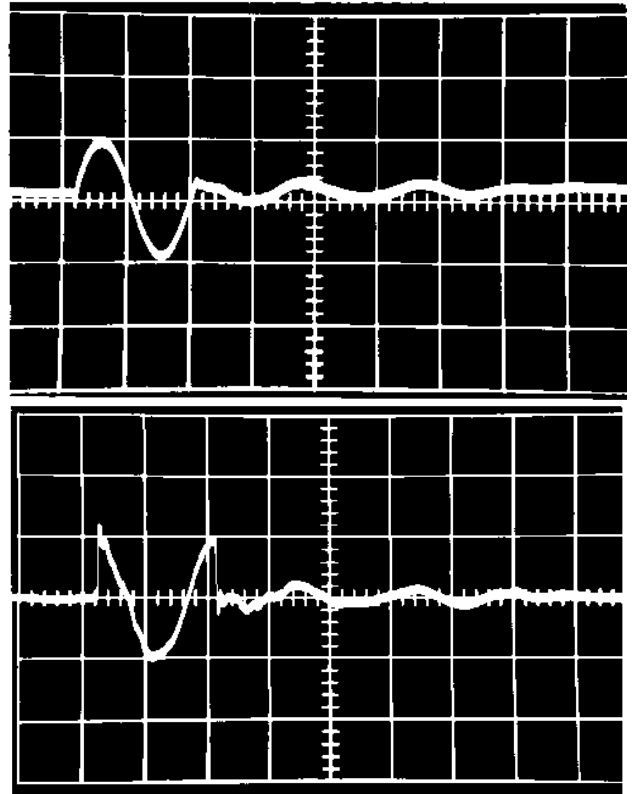


Bild 5: Beispiele von Symmetrischem ONSET in dem kein Grundton erscheint

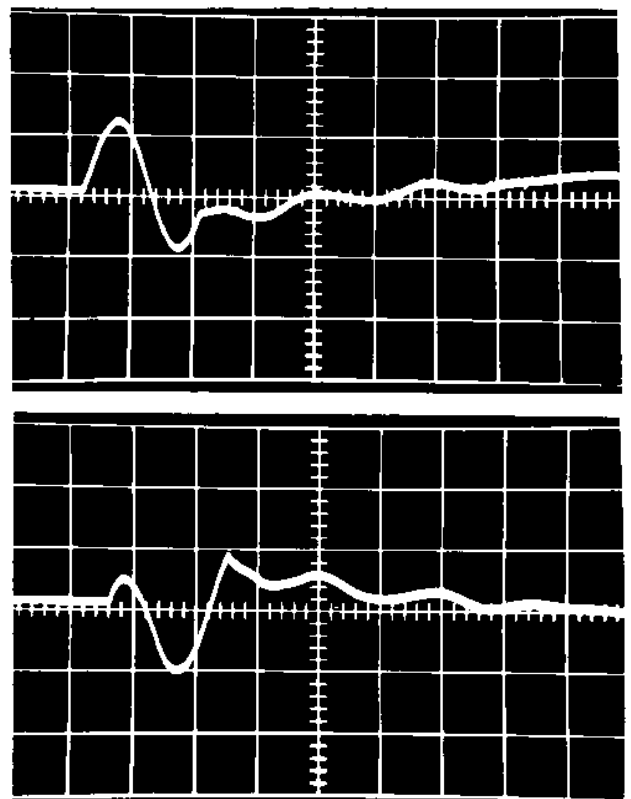


Bild 6: Beispiele von Asymmetrischem ONSET, positiv (oben), negativ (unten) in denen ein deutlicher Grundton erscheint. (1.8)

# ---ÜBER DIE WAHRNEHMUNG EINSCHWINGFREIER DYNAMISCHER DRUCKÄNDERUNGEN

Josef W. Manger, Bastheim

Fa. Manger, Schallwandlerbau + Vertrieb, D-97638 Mellrichstadt

Wie bereits in Teil 1, "Verbesserte Möglichkeit der Untersuchung aperiodischer Druckverläufe als Basis für Ortung und Quellerkennung" beschrieben wurde, ist es das Ziel beider Beiträge ein neues Abstrahlprinzip vorzustellen. Es bietet verbesserte Möglichkeiten, dem Zeitsinn, der Zeitanalyse und der Periodizitätsanalyse in der akustischen Wahrnehmung auch physiologisch näher zu kommen.

## Teil 2

2.0 Die zweite Wahrnehmung, die binaurale zeigt den Ursprung in räumlicher Orientierung zum Empfänger.

2.1 Das Ergebnis 1.7 zeigt deutlich, daß jeder Ohrsensor einzeln zum ONSET-Geräuscherkennen fähig ist.

2.2 Jede Änderungsgeschwindigkeit im Schall (A) löst naturgemäß an beiden Ohren je eine Ursachen-Erkennung (1.7) aus. Dazu genügt schon ein infinitesimaler Geräuschpunkt (A) wie z.B. im Sinus-ONSET (1.2). Für dynamische ONSET-Feuerungsraten siehe [10].

2.3 Beim Menschen mit einem durchschnittlichen Ohrenabstand von 21cm begrenzt sich ein auswertbares ONSET-Geräusch auf einen Wert von 630µs Zeitdifferenz bei 90° seitlichem Schalleinfall, aus beiden Ohren verglichen. Über beide Hörbahnen aus dem Innenohr wird im ohnah gelegenen Hirnstammgebiet, genauer im dritten Schaltneuron, eine bis zu 20µs genaue zeitliche Differenz aufgezeigt.[4] Das ist möglich, da sich die linke und die rechte Hörbahn kreuzen, was zum objektiven, primären, intuitiven und fälschungssicheren Richtungserkennen führt. Auch ein Augenhinwenden wird aus diesem Hirngebiet aktiviert und gesteuert und das lange bevor die im Kortex gelegenen höchsten Hirnrindfelder durch Latenzverzögerung erreichbar werden. (Bild7)

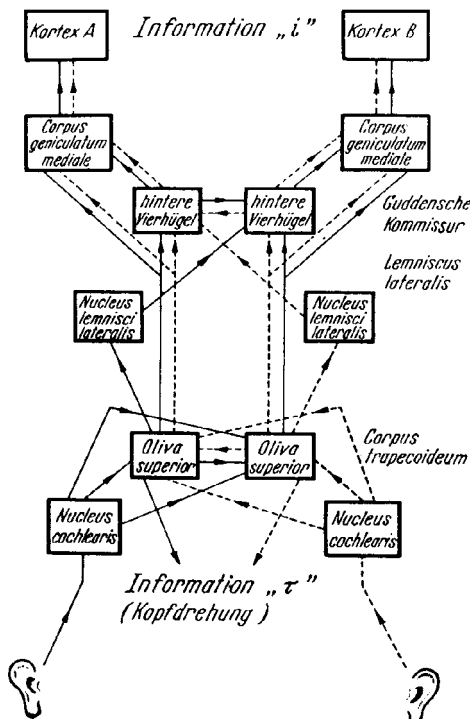


Bild 7: Schema der Hörbahn (nach Matzker aus Keidel, W.D. in HNO-Heilkunde, Bd. III/3, hrsg. von J. Berendes u.a. Thieme, Stuttgart 1966), Bildquelle [4], S.382

3.0 Die dritte auditive Wahrnehmung, das Tonhöhen-Empfinden aus dem Experiment mit symmetrisch periodischer Anregung (1.1).

Bereits in 1.5 und 1.6 untersuchten wir die aus der Anregungsgeschwindigkeit  $dv/dt$  ausgelösten Geräusche experimentell. In groben Umrissen wurden dort die Verdeckungszeiten bis zum anklingenden Tonhöhenempfinden mit einem Zeitbereich zwischen 9ms und etwa 22ms angegeben.

4.0 Die vierte auditive Wahrnehmung, das Grundtonphänomen wird an Beispielen von symmetrischer, asymmetrischer und sprunghafter Anregung experimentell vorgestellt. (s. Bildserien 12,13,14)

4.1 Parallel zur MSW-Entwicklung begleitete seit über 25 Jahren ein besonderes Wahrnehmungsphänomen die Arbeiten. In 1.8 wird dieses Phänomen als deutlich wahrnehmbarer Grundton charakterisiert. Es erscheint, sobald auch nur einige Prozent einer DC-Offset-Spannung das geschaltete periodische Signal im ONSET-Zeitpunkt zu einer oft nicht beachteten asymmetrischen Anfangsauslenkung [5] überlagert (s.Bild 8).

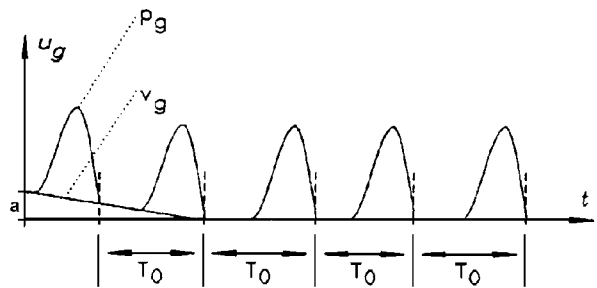


Bild 8: Nicht beachtete asymmetrische Anfangsauslenkung  $v_g/a$  in der Sprache, welche einen Grundton (nach 4.4.1 und 4.6) produziert, Bildquelle [5], S.9

4.2 Symmetrisches Signal heißt: keine Gleichspannung ist im ONSET einer periodischen Schwingung nachweisbar.

4.2.1 Die Energiezufuhr entspricht in diesem Fall einer periodisch konstant gehaltenen äußeren Anregung.

4.3 Asymmetrisches Signal heißt: eine Gleichspannung ist im ONSET der periodischen Schwingung überlagert.

4.3.1 Die Energiezufuhr hat zwei Inhalte. Eine einmalig sprunghafte äußere Anregung (4.4) und die einer periodisch konstant gehaltenen äußeren Anregung (4.2), die sich im ONSET überlagern.

4.4 Sprungsignal heißt: ausschließlich eine Gleichspannung im ONSET eingeschaltet wird.

4.4.1 Die Energiezufuhr ist eine sprunghaft einmalige äußere Anregung.

4.5 Eine einmalig sprunghafte Energiezufuhr löst physikalisch eine hochdynamische Änderungsgeschwindigkeit  $dv/dt$  aus, mit einem typischen Anstiegsgeräusch (1.7). Danach beginnt eine zweite Änderungsgeschwindigkeit (neg.)  $dv/dt$ , ein Druckausgleich in einer zeitlich charakterisierenden Beschreibung. Der energieverzehrende Relaxationsvorgang verläuft oft als aperiodischer Ausgleichsvorgang, doch wiederum in typischer Änderungsgeschwindigkeit, bis hin zum Gleichdruckniveau der Luft. Dies verursacht die deutlich erkennbare Wahrnehmung, die einem ausklingenden Grundton sehr ähnlich ist. Der Grundton nähert sich bei kürzerem Druckausgleich immer mehr einem Geräusch, wie z.B. aus einer Signalpistole; im Gegensatz zum langen Druckausgleich aus einem Kanonenschuß. (Bild 9) Geht man vom ersten Maximalwert (B) im Druckverlauf zur stilisierten letzten Umkehrung im Druck (E) (Bild10), so offeriert sich grob eine T/2 Zeitspanne für das Grundtonphänomen aus schlagartiger Energiezufuhr.

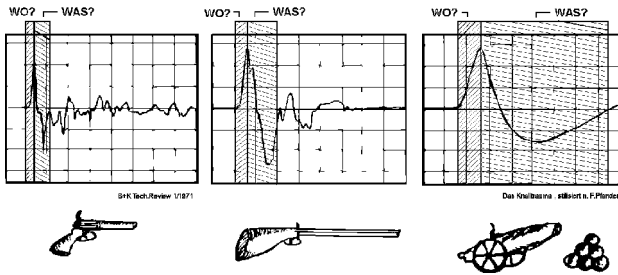


Bild 9: Druck-Zeitverläufe von Signalpistole, Gewehr und Kanone, Bildquelle [14]

4.6 In einer einmaligen Dynamischen Druckfront sind zwei Änderungsgeschwindigkeiten  $dv/dt$ , jeweils im Anstieg (A-B) und im Ausgleich (B-F) physikalisch real im Druck-Zeitverlauf vorhanden. (Bild 10) Damit liefert nach 1.7 jede einzelne sprunghafte, stoßartige, schlagartige, plosivartige Energiezufuhr und die nachfolgende Energierelaxation eine typisch und eindeutige Assoziation zur Schallquelle (Bild11). Perzeptiv besonders einfach nachvollziehbar und meßbar, mit der Zerobox (s. Exp. Aufbau 4.1) in der Spranganregung. (Bild 15d)

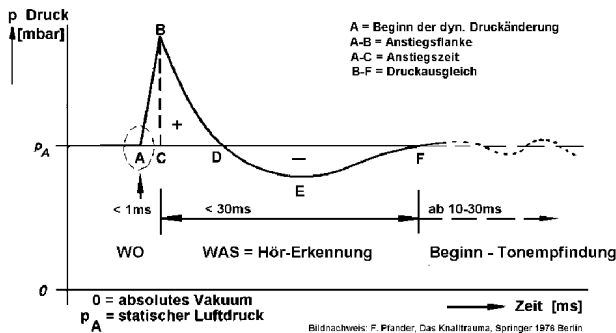


Bild 10: Stilisiertes Druck-Zeit-Diagramm einer Spranganregung von Knall, Schuß, Plosiv-, Verschlusslauten

Von einer virtuellen Tonhöhe, über das Residuum-Hören, über den im Frequenzspektrum nicht vorhandenen Schlagton einer Glocke, vom erkennbaren Tonhöhenwechsel in der Sprache auf der Basis von Halbperioden [6,7], sind es perzeptive Phänomene, welche durch dynamische Änderungsgeschwindigkeiten hervorgerufene physikalische Realitäten sind.

**Postulat:** Dynamische Druckänderungen sind nichtperiodische Geräusche, die selbst in infinitesimaler Druck-Zeitänderung der Sprache und der Musik viele Male deren körperhafte Eigendarstellung verschaffen. In gleicher Weise liefern sie erkennbare auditive Orientierungen.

Geräusche werden global gesehen überall auditiv verstanden und sind angeborene intuitive Orientierungen für Tier und Mensch. Sprache und Musik sind innerhalb lokaler Kultur- und Sozialkreise erlernte und geprägte perzeptive Fähigkeiten, im Regelkreis von Hören und Sprechen.

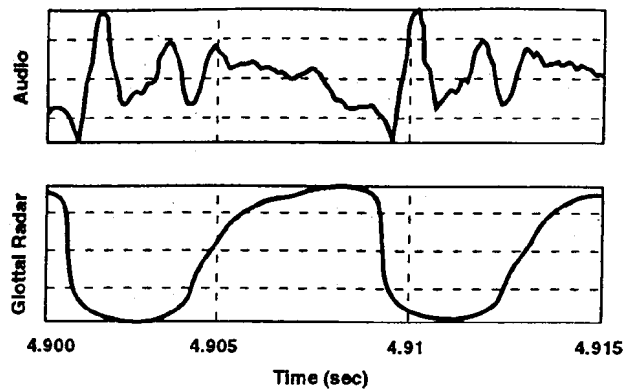


Bild 11: Ein ONSET-Druckaufbau wird vom Stimmtrakt im Wort „father“ als „a“ entsprechend überlagert. Der vokale Grundton wird vom Druckausgleich produziert. Bildquelle: [13]

Bild 12a-d **Symmetrische Anregung nach 4.2**  
Sinus 1,7kHz über Gate  
1,5,11,22 ON-Perioden  
0,5 ms/div  
1. Raumecho nach 2,5ms

Bild 13 a-d: **Asymmetrische Anregung nach 4.3**  
Sinus 1,7kHz mit DC-Offset  
über Gate geschaltet,  
0,5 ms/div  
1. Raumecho nach 2,5ms

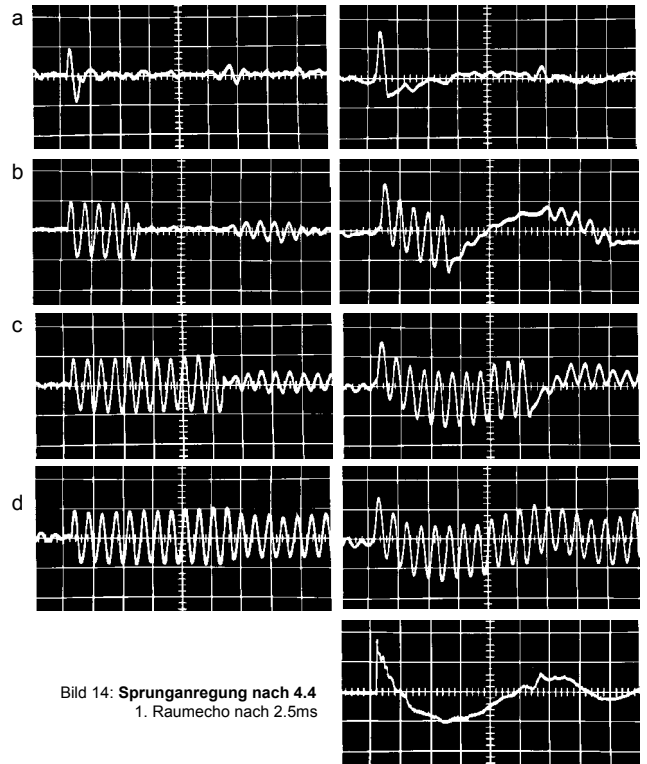


Bild 14: Spranganregung nach 4.4  
1. Raumecho nach 2.5ms

Bildserie rechts: Die Energiezufuhr hat zwei Inhalte. Eine einmalig sprunghafte äußere Anregung (4.4) und den Inhalt einer periodisch konstant gehaltenen äußeren Anregung (4.2), die sich im ONSET überlagern. (s. 4.3 u. 4.3.1)

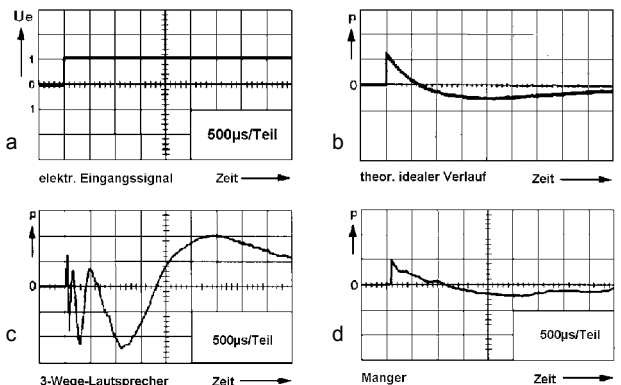


Bild 15a-d: a) Elektr. Eingangssignal, b) Akust. theor. idealer Verlauf, c) Druck-Zeit-Verläufe 3-Wege-Lautsprecher, d) Manger

Literaturverzeichnis Teil 1 + 2

[1] Keidel, Wolf D.: Kybernetik des Menschen; Wiss. Buchges. 1989, Darmstadt  
 [2] Heckl, M.: Theor. Arbeit 1978, Inst. f. Technische Akustik Berlin  
 [3] Manger, Josef W.: Freefield pressure stepfunction tests acoustic transformation chain, AES Preprint 2336 (E6) 1986 Montreux  
 [4] Keidel, Wolf D.: Physiologie des Gehörs; S. 382, G. Thieme Verlag 1975, Stgt.  
 [5] Hess, W.: Pitch Determination of Speech Signals; Springer 1983  
 [6] Patterson et al.: Threshold Duration for Melodic Pitch in [9] S. 321  
 [7] Spreng, M.: Physiologische Hintergründe der zentralen Sprachmodellierungsprozesse, Sprache – Stimme – Gehör 8/1984 1-7  
 [8] Klinke R. u. Hartmann R.: Physiologische Grundlage einer Hörprothese, S. 97 Arch. Otorhinolaryngol. 223, Springer 1979  
 [9] Klinke R. u. Hartmann R.: Hearing-Phys. Bases and Psychophysics, Springer 1983  
 [10] Smith et al.: Intensity Functions and Dynamic Responses from the Cochlea to the Cochlea Nucleus in [9] S. 112  
 [11] Zwicker E., Fastl H.: Psychoacoustics, Facts and Models, S.72, 1990 Springer, Berlin  
 [12] Eberlein E. et al.: Meßgeräte auf psychoakustischer Grundlage für die Optimierung von Datenreduktionsverfahren, s. TMT 1988, S.554, Verlag G. Saur, München  
 [13] Holzrichter, J.F.: Speech articulator measurements using low power EM-Wave sensors, JASA 103 (1) S. 622, January 1998  
 [14] Pfander, F.: Das Knalltrauma, Springer 1976 Berlin