

Andreas GERNEMANN / Thomas RÖSNER [UNIVERSITÄT KÖLN]

## **Die Abhängigkeit der stereophonen Lokalisation von der Qualität der Wiedergabelautsprecher**

### ***The Dependence of the Stereophonic Localization on the Sound Quality of Monitor Speakers***

#### **1. Einleitung**

Dank vieler in der Vergangenheit durchgeführter psychoakustischer Analysen (siehe Literaturangaben) sind die Werte für Pegel- und Laufzeitdifferenzen zur Erzeugung bzw. Verschiebung von Hörereignissen (Phantom-schallquellen) bei der Lautsprecherstereophonie hinlänglich bekannt.

Im Musikwissenschaftlichen Institut der Universität zu Köln wurde nun untersucht, inwieweit der Hörereignisort und die Lokalisationsschärfe abhängig sind von der Qualität der Wiedergabelautsprecher. Verglichen wurden ein Paar Abhörmonitore der Mittelklasse (LS A) mit einem Paar hochpräziser Schallwandler der gehobenen (Preis-) Klasse (LS B) bei unterschiedlichen Testsignalen.

#### **2. Versuchsbeschreibung**

Da sich moderne, hochwertige Studiolautsprecher in ihrem Amplitudendichtespektrum („Frequenzgang“) nur wenig unterscheiden, stellt das zeitliche Verhalten des Lautsprechers ein geeignetes Qualitätsmerkmal dar, welches anschaulich und eindeutig in der Sprungantwort zu finden ist.

Abb. 1 zeigt das Sprungsignal, Abb. 2 die Sprungantwort, die ein idealer Schallwandler mit diesem Signal beschaltet wiedergeben würde. Da ein idealer Lautsprecher den umgebenden statischen Luftdruck nicht verändern kann, entspricht der Verlauf der Sprungantwort einem Hochpaß von mindestens zweiter Ordnung<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Eine Wiedergabe von Gleichspannung ist nicht möglich. Bei einem idealen Lautsprecher, beschaltet mit dem Sprungsignal, würde der Schalldruck zunächst sehr schnell ansteigen und dann im Auslenkmaximum wieder exponentiell abfallen. Nach einigen Millisekunden würde der Verlauf einer Unterdruckauslenkung entsprechen und anschließend asymptotisch wieder dem statischen Luftdruckpotential zustreben. Beide vom Über- und

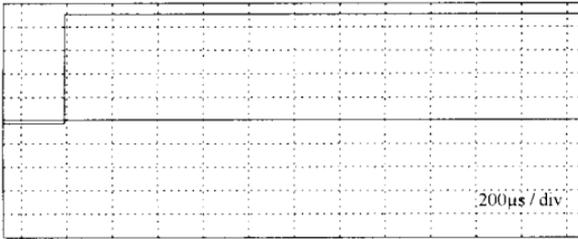


Abbildung 1: Das Sprungsignal (Spannung / Zeit)

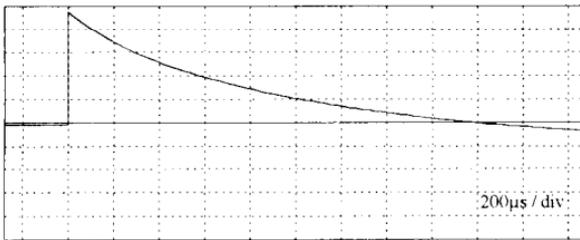


Abbildung 2: angenäherte Sprungantwort eines idealen Schallwandlers mit ca. 35 Hz unterer Grenzfrequenz (Luftdruck / Zeit)

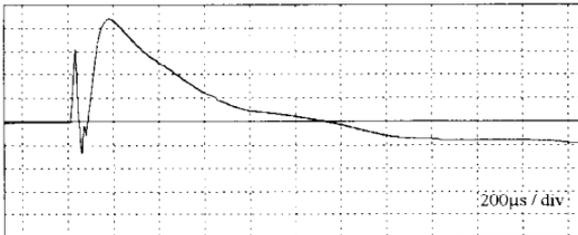


Abbildung 3: Sprungantwort LS A (Luftdruck / Zeit)

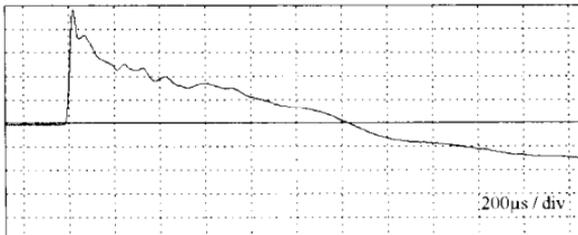


Abbildung 4: Sprungantwort LS B (Luftdruck / Zeit)

LS A ist eine typische Zweibege-Konstruktion mit Hoch- und Tieftöner (Kolbenwandler). In Abb. 3 ist zu erkennen, daß LS A dem gewünschten Ideal besonders in den ersten  $200\mu\text{s}$  nicht sehr nahe kommt. Deutlich sind die einzelnen Chassis in ihrer Reaktion sichtbar, zunächst der Hochtöner, dann der Tieftöner. Der Verlauf ähnelt der Sprungantwort eines Allpasses höherer Ordnung. Dennoch ist das Ergebnis des Mehrweg-Kolbenwandlers als sehr gut einzustufen, was sich durch eine sorgfältige Chassisauswahl und Abstimmung erklärt.

LS B arbeitet überwiegend nach dem Biegewellenprinzip. Zusätzlich wurden Beugungseffekte an den Gehäusekanten durch ein geeignetes Verfahren kompensiert. LS B zeigt im Vergleich zu LS A eine deutlich bessere Sprungantwort (Abb. 4). Der Anstieg ist sehr schnell und das Ausschwingverhalten dem exponentiellen Ideal (vgl. Abb. 2) schon sehr nahe, wodurch dieser Lautsprecher als hochpräzise einzustufen ist. Ähnliche Eigenschaften werden nur noch von Elektrostaten oder annähernd von digital entzerrten Kolbensystemen erreicht.

Als Testsignale wurden zum einen eine künstlich generierte Rechteckhalbwelle (angenäherter Diracstoß, im folgenden als „Knack“ bezeichnet) von  $22,68\mu\text{s}$  Dauer, die einer Abtastperiode bei  $44,1\text{ kHz}$  Samplingrate entspricht<sup>2</sup>, zum anderen ein im reflexionsarmen Raum des Musikwissenschaftlichen Instituts aufgenommenes<sup>3</sup> Violoncello (im folgenden als „Musik“ bezeichnet) verwendet.

Die Auswahl der Testsignale fand mit der Absicht statt, den Versuchspersonen im Falle des Knackes ein einfaches aber dennoch extrem dynamisches Signal zu bieten, das bekanntlich gut wahrnehmbar ist und eine deutliche Lokalisation hervorruft. Das Musiksignal enthält zusätzlich zu den Ansatzgeräuschen prägnante tonale Anteile über einen großen Frequenzbereich und repräsentiert auch durch den gespielten Werkauschnitt (J. S. BACH: Takt 1 bis 6 des Prelude aus der Suite III für Violoncello solo) ein typisches Musikbeispiel für nichtperkussive Instrumente. Die Aufnahme im reflexionsarmen Raum gewährleistet, daß Parameter wie z. B. Nachhall, die selbst bei Monophonie einen Einfluß auf die Lokalisationsschärfe haben können, weitestgehend eliminiert sind.

Die Testsignale wurden mit Hilfe eines Harddiscording-Systems auf PC-Basis aneinandergereiht und die erforderlichen Laufzeit- und Pegeldifferenzen eingestellt.

Da die Signale als Monospuren vorlagen, wurde für das Knack- und das Musiksignal zunächst durch Kopieren auf zwei Spuren eine Stereodatei erzeugt. Anschließend wurde für die

<sup>2</sup> Am Ausgang eines entsprechenden Digital-Analog-Wandlers erscheint dieses Signal aufgrund der systembedingten Bandbegrenzung in Form einer SI-Funktion

<sup>3</sup> digital 16 bit /  $44,1\text{ kHz}$ ; Mikrophon mit Kugelcharakteristik in ca. 1,5 m Abstand

Laufzeitunterschiede der rechte Kanal sampleweise verzögert. Für die Pegeldifferenzen wurde der rechte Kanal unter Beachtung der konstanten Leistungssumme in der Amplitude entsprechend verringert, so daß verschiedene Phantomschallquellenorte zwischen der Stereomitte und dem linken Lautsprecher hervorgerufen werden. Eine Beschränkung auf die Lokalisation im linken Stereodreieck ist aufgrund der Symmetrie (Abb.5) möglich. Die Testwerte orientierten sich an aus der Literatur bekannten Werten sowie an eigenen Voruntersuchungen (Tabelle 1 und 2)

Die Versuchspersonen hörten das Knacksignal pro Laufzeit- bzw Pegeldifferenz jeweils zehnmal hintereinander (ca. 20s Dauer), das Musiksignal wurde entsprechend dem musikalischen Ausschnitt pro Wert einmal (ebenfalls ca. 20s Dauer) wiedergegeben. Zuerst wurden die Pegeldifferenzen für das Knackgeräusch in der Reihenfolge nach Tabelle 2, danach die Laufzeitdifferenzen nach Tabelle 1 vorgespielt, im Anschluß daran entsprechend die Musiksignale.

Die Testsignale wurden auf eine CD-R überspielt und pro Lautsprecherpaar getrennt in einem automatisierten Test jeweils 25 einzelnen, zufällig ausgewählten Versuchspersonen (Toningenieure, Musikwissenschaftler, Musiker und Laien) vorgeführt. Der Schalldruckpegel entsprach am

Hörplatz unbewertet maximal 89 dB<sub>SPL</sub>, wobei Musik- und Knacksignal so angepaßt waren, daß sie als gleichlaut empfunden wurden. Die Paarabweichung der jeweiligen Lautsprechertypen lag unterhalb 0,6 dB und konnte daher als beeinflussender Faktor ausgeschlossen werden. Auch bei der Verstärker-Elektronik wurde ein nahezu exakter Paargleichlauf eingestellt

Die Hörversuche fanden im reflexionsarmen Raum des Musikwissenschaftlichen Institutes der Universität zu Köln statt. Dadurch war gewährleistet, daß einerseits lokalisationsbeeinflussende Reflexionen unterdrückt wurden, andererseits die unterschiedlichen

<b>Laufzeitdifferenzen</b>
000 µs (00 Samples Versatz)
90,7 µs (04 Samples Versatz)
294,8 µs (13 Samples Versatz)
498,9 µs (22 Samples Versatz)
589,6 µs (26 Samples Versatz)
793,7 µs (35 Samples Versatz)
975,1 µs (43 Samples Versatz)

Tabelle 1. Testwerte Laufzeitdifferenzen

<b>Pegeldifferenzen</b>
00dB
04dB
08dB
10dB
14dB
16dB
18dB

Tabelle 2. Testwerte Pegeldifferenzen

Richtwirkungen der Lautsprecher keinen Einfluß auf den Test hatten. Die Anordnung der Lautsprecher entsprach der Stereo-Standardabhörposition (Abb 5). Beide Lautsprecher wurden also in Bezug zum Hörplatz in einem gleichseitigen Dreieck aufgestellt und mit ihrer Hauptabstrahlrichtung auf den Hörplatz ausgerichtet. Die Lautsprecherbasis betrug bedingt durch die Abmessungen des Raumes 1,21 m, die Bezugshöhe der Schallwandler entsprach einer durchschnittlichen Ohrhöhe einer sitzenden Person von 1,1 m. Es wurde bei jeder Versuchsperson auf die exakte Einhaltung der idealen Hörposition geachtet, allerdings wurde bewußt der Kopf nicht fixiert, so daß leichte Lokalisationsbewegungen möglich waren.

Die Versuchspersonen sollten nun anhand einer unmittelbar über den Lautsprechern montierten Skala den Ort der erzeugten Phantomschallquelle angeben. Die Skala war streckenlinear (vgl. Abb.15) in 10er Schritten prozentual eingeteilt: die Stereomitte entsprach 0%, der linke Lautsprecher 100% Auslenkung. Die Testpersonen waren allerdings an die 10er Einteilung der Skala nicht gebunden und konnten auch Zwischenwerte durch Abschätzen angeben.

Die so gewonnenen primären Daten (Lokalisationsort bezogen auf den Wert in Abhängigkeit des verwendeten Lautsprecherpaares und des verwendeten Testsignals bei den einzelnen Versuchspersonen) bilden die Grundlage für die nun folgende Auswertung.

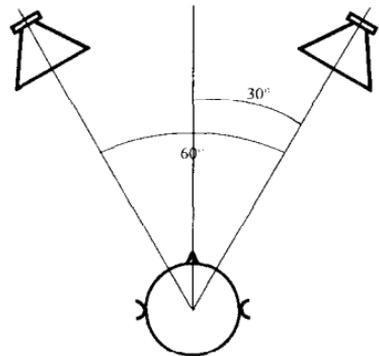


Abbildung 5. Stereo-Standardabhörposition

## 2. Auswertung

Anhand der in den Hörtests gewonnenen Daten soll nun verglichen werden, ob sich für die einzelnen Werte von Laufzeit- bzw. Pegeldifferenzen bei den beiden Lautsprecherpaaren unterschiedliche Phantomschallquellenorte einstellen. Für eine statistische Auswertung sind in den Abb. 6 bis 9 die Mittelwerte von 25 Angaben pro Lautsprecherpaar und pro Testwert dargestellt, desgleichen die Medianwerte in den Abb. 10 bis 13.

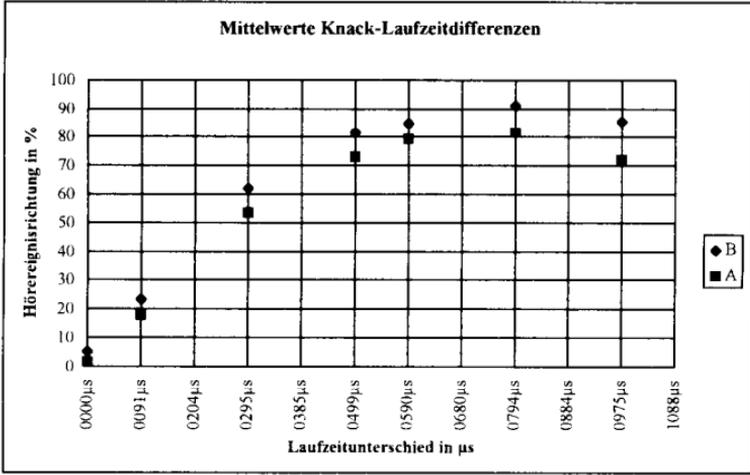


Abbildung 6: Mittelwerte Knack-Laufzeitdifferenzen

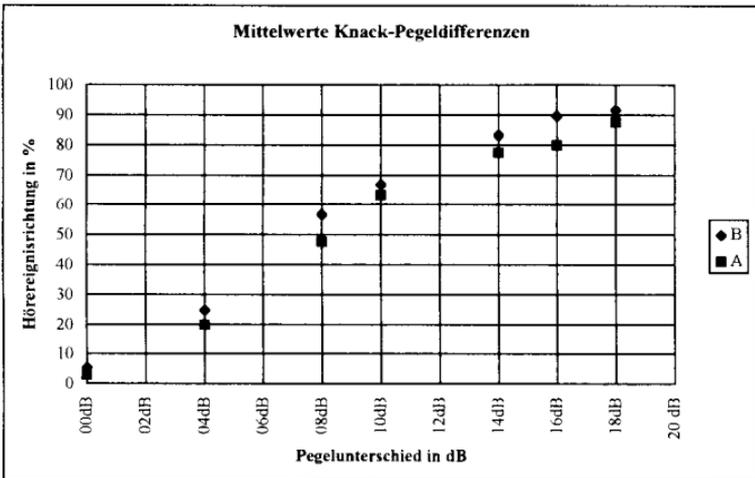


Abbildung 7: Mittelwerte Knack-Pegeldifferenzen

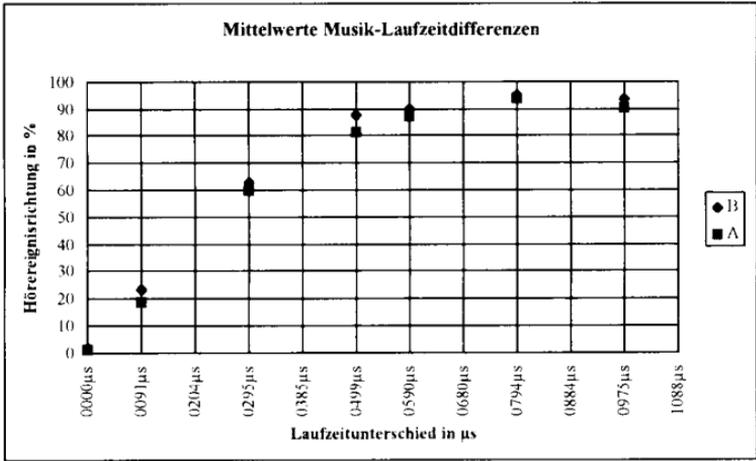


Abbildung 8: Mittelwerte Musik-Laufzeitdifferenzen

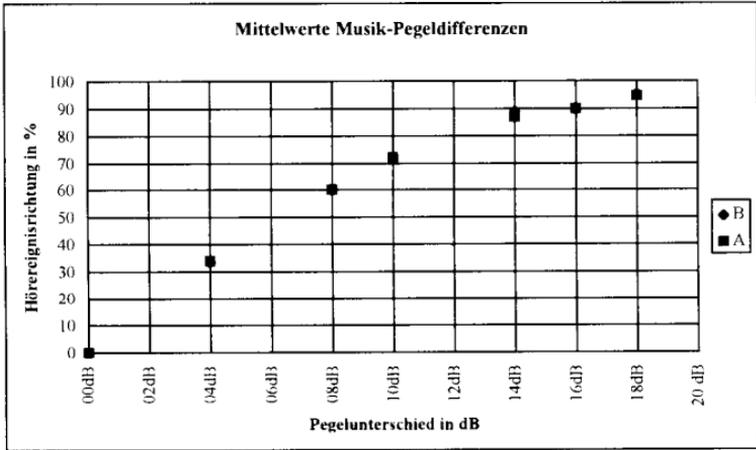


Abbildung 9: Mittelwerte Musik-Pegeldifferenzen

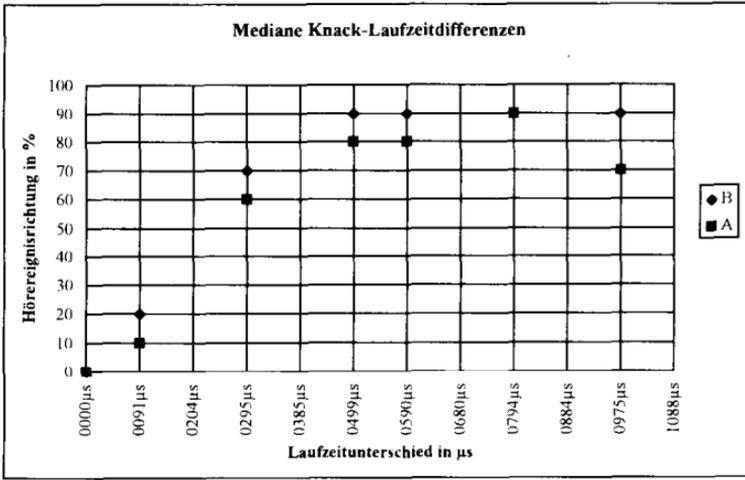


Abbildung 10: Mediane Knack-Laufzeitdifferenzen

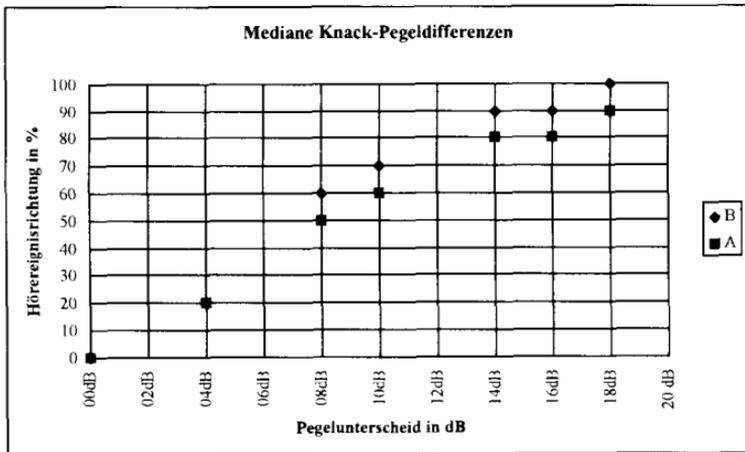


Abbildung 11: Mediane Knack-Pegeldifferenzen

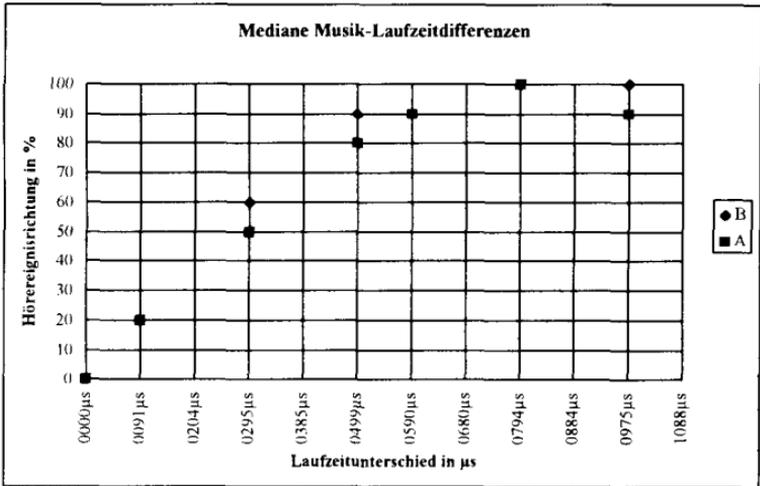


Abbildung 12: Mediane Musik-Laufzeitdifferenzen

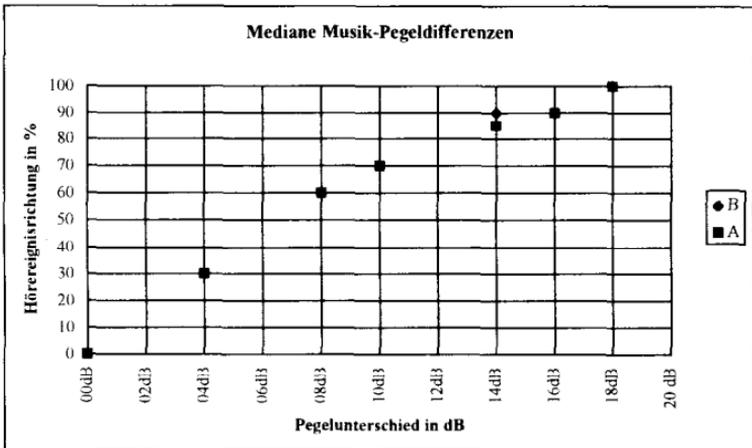


Abbildung 13: Mediane Musik-Pegeldifferenzen

Sowohl bei den Mittel- als auch bei den Medianwerten läßt sich sofort ein eindeutiger Unterschied zwischen LS A und LS B feststellen, wobei man bei beiden Werten gleiche Tendenzen finden kann:

Grundsätzlich ist der Phantomschallquellenort bei dem präziseren LS B bei gleichen Laufzeit- bzw. Pegeldifferenzen weiter aus der Mitte herausgelenkt als bei LS A.

Dieser erstaunliche Unterschied ist bei den Knack-Signalen am größten (siehe Abb 6,7,10,11). Bei den Musik-Signalen (siehe Abb 8,9,12,13) ist er weniger deutlich, jedoch auch vorhanden. Bei Musik-Pegeldifferenzen (siehe Abb.9,13) ist nur ein geringer Unterschied auszumachen, dennoch ist eine leichte Tendenz auch hier zu sehen. Gleichzeitig ist er grundsätzlich bei Laufzeitdifferenzen (siehe Abb 6,8,10,12) prägnanter als bei Pegeldifferenzen (siehe Abb 7,9,11,13).

Ein anderer Aspekt ist die Streuung der Werte. Der Mittelwert der Mittelabweichung (Abb.14) einer Testsignalgruppe ist ein Indiz für die Lokalisationsschärfe. Je größer die

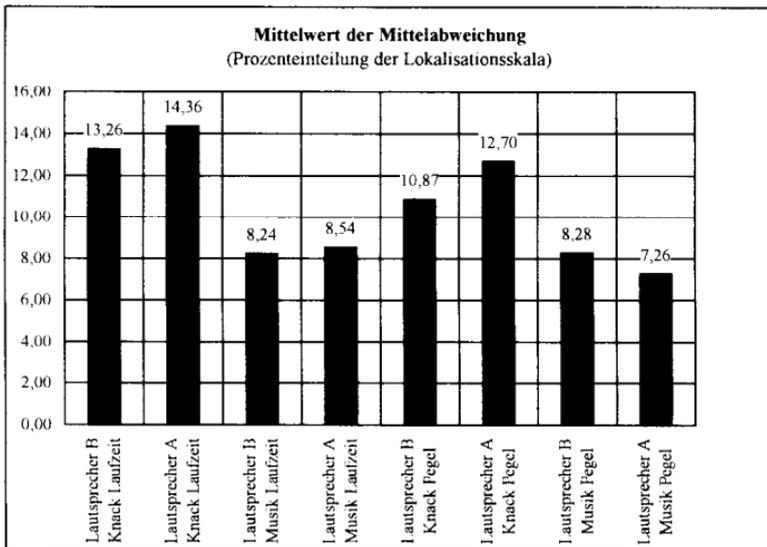


Abbildung 14: Mittelwert der Mittelabweichung

Mittelabweichung ist, desto unschärfer ist wahrscheinlich auch die Lokalisation. Gleichzeitig weist die Mittelabweichung aber auch auf die individuellen Lokalisationsunterschiede der Testpersonen hin.

Aus Abb.14 ist zu erkennen, daß für LS B bei drei von vier Testsignalarten die Mittelabweichung kleiner ist als bei LS A. Für Knack-Laufzeitdifferenzen, Musik-Laufzeitdifferenzen sowie Knack-Pegeldifferenzen ist sie bei dem präziseren Lautsprecher geringer, lediglich für Musik-Pegeldifferenzen ist die Mittelabweichung interessanter Weise bei LS A kleiner. Dennoch sei es angesichts dieser Ergebnisse erlaubt, Lautsprecher B eine bessere Lokalisationsschärfe zuzusprechen als Lautsprecher A.

Zusätzlich ist die Mittelabweichung bei den Knacksignalen deutlich höher als bei den Musiksignalen, worin sich auch die individuellen Lokalisationsunterschiede der einzelnen Testpersonen zeigen, die bei dem dynamischen Knacksignal anscheinend stärker in Erscheinung treten als bei dem Musiksignal.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß die in der Literatur häufig attestierte geringe Lokalisationsschärfe für Laufzeitdifferenz-Signale im Gegensatz zu Pegeldifferenz-Signalen anhand der Mittelabweichung nur für die Knacke eindeutig zu erkennen ist, jedoch im Fall des Musiksignals nur unwesentlich ist. Dennoch kann auch mit dieser Testreihe die grundlegende Tendenz bestätigt werden, wenn auch wiederum angesichts Abb.14 gleichzeitig zu bemerken ist, daß die individuellen Unterschiede bei den Versuchspersonen bei Laufzeitdifferenzen stärker schwanken als bei Pegeldifferenzen.

#### **4. Zusammenfassung und Fazit**

Mit dieser Testreihe konnten neue Aspekte zur Lokalisation von Phantomschallquellen, hervorgerufen durch Pegel- bzw. Laufzeitdifferenzen zwischen den beiden Stereokanälen, beleuchtet sowie einige aus der Literatur bekannte Aussagen bestätigt werden.

Die wichtigste Erkenntnis ist, daß bei Lautsprechersystemen verschiedener Qualitäten Unterschiede in der Phantomschallquellen-Lokalisation auszumachen sind. Diese Unterschiede stellen sich im einzelnen folgendermaßen dar:

- Mit präzisen Lautsprechern sind Phantomschallquellen bei gleichen Laufzeit- und Pegeldifferenz-Werten weiter aus der Mitte herausgelenkt als mit herkömmlichen Lautsprechern.
- Dieser Unterschied ist bei Laufzeitdifferenzen (Laufzeitstereophonie) größer als bei Pegeldifferenzen („Intensitäts“-Stereophonie)
- Der Unterschied ist bei den in der Untersuchung verwendeten Knacksignalen größer als bei den Musiksignalen. Das heißt, je impulshafter ein Signal ist, desto deutlicher wird der Unterschied in Erscheinung treten.
- Die Lokalisationsschärfe ist in den meisten Fällen bei präziseren Lautsprechern höher als bei herkömmlichen Lautsprechern.

Weiterhin konnte festgestellt und bestätigt werden, daß

- die Lokalisationsschärfe bei der Laufzeitstereophonie geringfügig kleiner ist als bei der „Intensitäts“-Stereophonie. Dies ist auch einer der vielen Gründe für die häufig attestierte bessere „Räumlichkeit“ bei der Laufzeitstereophonie im Vergleich zur „Intensitäts“-Stereophonie.
- die individuellen Angaben der einzelnen Versuchspersonen untereinander bei Lokalisationsversuchen mit Laufzeitdifferenzen stärker schwanken als bei Lokalisationsversuchen mit Pegeldifferenzen

Der hier gefundene Nachweis der Abhängigkeit der stereophonen Lokalisation von der Qualität der Wiedergabelautsprecher hat natürlich auch Auswirkungen auf die Aufnahmepraxis und auf zukünftige Hörversuche, die sich mit der Lokalisation im allgemeinen beschäftigen.

Es sollen daher an dieser Stelle zunächst Größenordnungen für Laufzeit- bzw. Pegeldifferenzwerte (siehe Tabelle 3) in Bezug auf den Lokalisationsort innerhalb der Lautsprecherbasis (siehe Abb 15) angegeben werden, die durchaus als Kompromiß für hochpräzise und herkömmliche Lautsprecher zu verstehen sind, auch wenn sie sich eher an Werte für herkömmliche Lautsprecher anlehnen. Ausgewertet wurden hierzu Median- und Quartilwerte für die verschiedenen Testsignalarten und für die beiden Lautsprecherpaare.

Hörereignisort	Laufzeitdifferenz	Pegeldifferenz
Mitte	0 $\mu$ s	0 dB
25% links bzw. rechts	140 $\mu$ s	3,5 dB
50% links bzw. rechts	270 $\mu$ s	7 dB
75% links bzw. rechts	420 $\mu$ s	11 dB
100 % links bzw. rechts	820 $\mu$ s	18 dB

Tabelle 3. Testergebnisse für Laufzeit- und „Intensitäts“-Stereophonie, vgl. Abb. 15

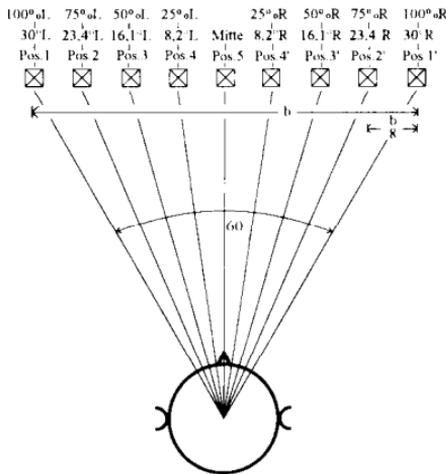


Bild 15: Anordnung der Hörereignisorte (Phantomschallquellen) für die Werte aus Tabelle 2

Bezüglich weitergehender Lokalisationsuntersuchungen darf die Abhängigkeit der stereophonen Lokalisation von der Qualität der Wiedergabelautsprecher nicht vernachlässigt werden. Insbesondere für Versuche mit hohen Abtastraten, z.B. bei der Frage nach wahrnehmbaren Unterschieden bei der Digitalisierung mit unterschiedlichen Abtastfrequenzen müssen hochpräzise Lautsprecher zum Einsatz kommen, denn immerhin konnten bei der hier vorgestellten Versuchsreihe bereits eindeutige Lokalisationsunterschiede unter Verwendung der für heutige Verhältnisse relativ niedrigen Auflösung von 16 bit Quantisierung und 44,1 kHz Abtastrate (CD-Standard) allein durch Qualitätsunterschiede von Wiedergabelautsprechern gefunden werden.

Der Faktor „Lautsprecher“ ist bei der stereophonen Lokalisation also nicht zu unterschätzen.

**Anhang: Aufnahmebereiche**

In Tabelle 4 sind Beispiele von erforderlichen Mikrofonbasen bzw. Mikrofonversatzwinkel für verschiedene Aufnahmebereiche  $\alpha$  (siehe Bild 16) angegeben, die mit den Werten aus Tabelle 3 berechnet wurden.

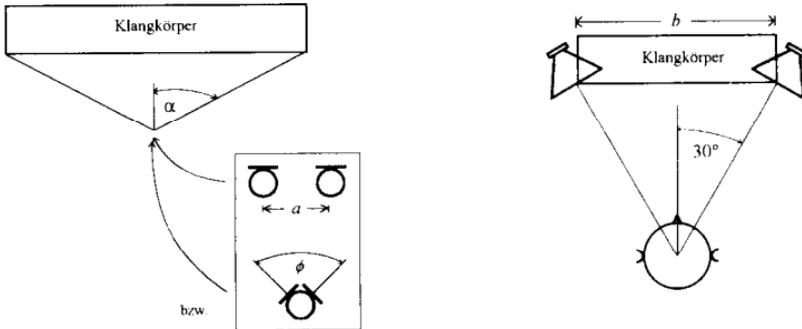


Abbildung 16: Aufnahmebereich  $\alpha$  und Abbildung auf der Lautsprecherbasis

Aufnahmebereich	Mikrofonbasis <sup>4</sup>	Mikrofonversatzwinkel (Niere) <sup>5</sup>	Pegelverhältnisse einer MS-Anordnung (Kugel) <sup>6</sup>	Pegelverhältnisse einer MS-Anordnung (Niere) <sup>7</sup>
$\alpha = 90^\circ$	$a \approx 28 \text{ cm}$	$\phi \approx 100^\circ$	S/M $\approx -3 \text{ dB}$	S/M $\approx -8 \text{ dB}$
$\alpha = 80^\circ$	$a \approx 29 \text{ cm}$	$\phi \approx 120^\circ$		S/M $\approx -6 \text{ dB}$
$\alpha = 70^\circ$	$a \approx 30 \text{ cm}$	$\phi \approx 140^\circ$		
$\alpha = 60^\circ$	$a \approx 32 \text{ cm}$	$\phi \approx 160^\circ$		S/M $\approx -3 \text{ dB}$
$\alpha = 50^\circ$	$a \approx 37 \text{ cm}$	$\phi \approx 180^\circ$	S/M $\approx 0 \text{ dB}$	
$\alpha = 45^\circ$	$a \approx 40 \text{ cm}$			S/M $\approx 0 \text{ dB}$
$\alpha = 40^\circ$	$a \approx 44 \text{ cm}$			
$\alpha = 35^\circ$	$a \approx 49 \text{ cm}$			
$\alpha = 30^\circ$	$a \approx 56 \text{ cm}$		S/M $\approx 3 \text{ dB}$	S/M $\approx 2 \text{ dB}$
$\alpha = 25^\circ$	$a \approx 67 \text{ cm}$		S/M $\approx 6 \text{ dB}$	S/M $\approx 5 \text{ dB}$

Tabelle 4: Aufnahmebereiche für verschiedene Mikrofonanordnungen (vgl. Bild 16)

<sup>4</sup> zwei parallel ausgerichtete Mikrophone beliebiger Richtcharakteristik

<sup>5</sup> zwei Mikrophone mit nierenförmiger Richtcharakteristik

<sup>6</sup> bei Verwendung eines Mittelmikrophons mit kugelförmiger Richtcharakteristik

<sup>7</sup> bei Verwendung eines Mittelmikrophons mit nierenförmiger Richtcharakteristik

## Literatur

- ASCHOFF, V.: *Über das räumliche Hören*, Westdeutscher Verlag Köln und Opladen 1964
- BLAUERT, J.: *Räumliches Hören*, Hirzel Verlag Stuttgart 1974
- BLAUERT, J.: *Räumliches Hören - Nachschrift, neue Ergebnisse und Trends seit 1972*, Hirzel Verlag Stuttgart 1985
- BLAUERT, J.: *Räumliches Hören - 2. Nachschrift*, Hirzel Verlag Stuttgart 1997
- BOER, K. DE: *Plastische Klangwiedergabe*, Heft 4, Philips Technische Rundschau 1940, S. 108 bis 115
- BOER, K. DE: *Eine merkwürdige Erscheinung bei stereophonischer Klangwiedergabe*, Heft 1, Philips Technische Rundschau 1947, S. 8 bis 13
- BRAUN, D., GUTZKE, K., WÖNICKER, C.: *Ein objektives Verfahren zur Beurteilung der räumlichen Abbildung von Lautsprechern*, aus *Bericht 19. Tonmeistertagung 1996*, Verlag K.G.Saur 1997, S. 630 bis 641
- CLARK, H.A.M., DUTTON, P.D., VANDERLYN P.B.: *The 'stereosonic' recording and reproducing system*, Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, 1957, S. 21
- CLAUSS, G., EBNER, H.: *Grundlagen der Statistik*, Verlag Harri Deutsch Thun Frankfurt a.M. und Zürich 1972
- CUNNINGHAM, J., JORDAN, R.O.: *Stereophonic Microphone Placement*, Audio Magazine November 1956, S. 43
- DICKREITER, M.: *Handbuch der Tonstudiotchnik*, Band I, 5. Auflage 1987 / 1990, Verlag K.G.Saur 1987 / 1990
- DICKREITER, M.: *Tonmeister Survival Kit*, in Zusammenarbeit mit dem Verband Deutscher Tonmeister, Nürnberg 1990
- ESPER, A., MANGER, J.W., MANGER, D.: *Einschwingungsfreier Punktstrahler*, Manger Vertrieb Mellrichstadt 1993
- ESPER, A.: *Hörbarkeit des Zeitverlaufs von Schall*, aus *Bericht 19. Tonmeistertagung 1996*, Verlag K.G.Saur 1997, S. 887 bis 898
- FRANSSSEN, N.V.: *Some investigations on directional hearing*, 1960
- FRANSSSEN, N.V.: *Stereophonie*, Philips technische Bibliothek Eindhoven 1963
- FRICKE, J.P.: *Genormte Lautheit und Lautheitsempfindung dynamischer Grade, paper of the 40<sup>th</sup> convention Cologne 1971*, Audio Engineering Society Inc., New York 1971

GEISLER, J.: *Ein Blick auf die Abhörbedingungen der stereophonen Musikaufnahmen*, aus *Bericht 11. Tonmeistertagung 1978*, Verband Deutscher Tonmeister 1978, Verband Deutscher Tonmeister 1975, S. 108 bis 121

GERNEMANN, A.: *Die stereophone Perspektive - eine Definition und praktische Anwendung*, aus *Bericht 19. Tonmeistertagung 1996*, Verlag K.G. Saur 1997, S. 392 bis 410

GERNEMANN, A.: *Mefstechnische Untersuchung der akustischen Vorgänge beim natürlichen Hören im Vergleich zu den Vorgängen bei der Laufzeit- und „Intensitäts“-Stereophonie*, Verlag Shaker Aachen 1995

GERNEMANN, A.: *Summenlokalisierung im Stereodreieck - Überlegungen zu psychoakustischen Untersuchungen mit dynamischem Testsignal und hochpräzisen Schallwandlern*, CME Acoustics Köln 1994

GERZON, M.A.: *Application of Blumlein Shuffling to Stereo Microphone Techniques*, aus *Journal of the Audio Engineering Society*, Bd. 42 Nr. 6, 1994, S. 435 bis 453

GERZON, M.A.: *General Metatheory of Auditory Localisation*, preprint 3306 of the 92<sup>th</sup> convention Vienna 1992, Audio Engineering Society Inc., New York 1992

GERZON, M.A.: *Panpot Laws for Multispeaker Stereo*, preprint 3309 of the 92<sup>th</sup> convention Vienna 1992, Audio Engineering Society Inc., New York 1992

GOERTZ A., LEKSCHAT, D.: *Digitale Lautsprecherentzerrung*, aus *Bericht 16. Tonmeistertagung 1990*, Verlag K.G. Saur 1991, S. 720 bis 726

GRIESINGER, D.: *Neue Perspektiven für komzidente und quasikomzidente Verfahren*, aus *Bericht 14. Tonmeistertagung 1986*, Verlag K.G. Saur 1987, S. 122 bis 134

GRIESINGER, D.: *Spaciousness and Localization in Listenign Rooms and Their Effects on Recording Technique*, *Journal of the Audio Engineering Society*, Bd. 34, Nr. 4 April 1986, S. 255 bis 268 und *Letters to the Editor*, *Journal of the Audio Engineering Society*, Bd. 35, Nr. 12 Dezember 1987, S. 1013 bis 1014

KNABE, K.: *Hörversuchsorientierte Auswahlverfahren für Studio-Lautsprecher*, Diplomarbeit 1994

KNOTHE, J.B., PLENGE, G.: *Panoramaregler mit Berücksichtigung der frequenzabhängigen Pegeldifferenzbewertung durch das Gehör*, aus *Bericht 11. Tonmeistertagung 1978*, Verband Deutscher Tonmeister 1978, S. 136 bis 143

KNOTHE, J.B.: *Richtungsweiser mit gehörrichtigem Verhalten*, Diplomarbeit TU Berlin 1976

KUHL, W., PLANTZ, R.: *Die Bedeutung des vom Lautsprecher abgestrahlten diffusen Schalls für das Hörereignis*, aus *Acustica*, Bd. 40, Hirzel Verlag Stuttgart 1978, S. 182 bis 191

KUHL, W., PLANTZ, R.: *Kopfbezogenen Stereophonie und andere Arten der Schallübertragung im Vergleich mit dem natürlichen Hören*, aus *Rundfunktechnische Mitteilungen*, Nr. 3 1975, S. 120 bis 132

KUHL, W.: *Über eine Lautsprecheranordnung zur Wiedergabe stereophoner Schallaufnahmen*, aus *Rundfunktechnische Mitteilungen*, 1959, S. 170 und 171

- LEAKEY, D.M.: *Some measurement on the effects of interchannel intensity and time differences in two channel sound systems*, aus *The Journal of the Acoustical Society of America* 31, 1959, S. 977 bis 986
- LECKSCHAT, D., HEYDER, U.: *Verbesserung von Lautsprecher-Impulsantworten durch digitale Signalaufbereitung*, aus *Acustia* Bd. 70, Hirzel Verlag Stuttgart 1990, S. 55 bis 60
- LECKSCHAT, D.: *Verbesserung der Wiedergabequalität von Lautsprechern mit Hilfe von Digitalfiltern*, Dissertation an der RWTH Aachen 1992
- LÜKE, H.D.: *Signalübertragung*, 5. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1992
- MAKITA, Y.: *On the directional localization of sound in the stereophonic sound field*, aus *European Broadcasting Union Review-Part A*, Nr. 73, S. 102 bis 108, 1962
- MANGER, J.W.: *Der Manger Schallwandler und das Mangerschallsystem als zeitgenauer coaxialer Schallwandler*, aus *Bericht 11. Tonmeistertagung 1978*, Verband Deutscher Tonmeister 1978, S. 332 bis 336
- MANGER, J.W.: *Impulsverhalten von Mikrophon und Lautsprecher*, aus *Bericht 14. Tonmeistertagung 1986*, Verlag K.G Saur 1987, S. 262 bis 276
- MANGER, J.W.: Patentschriften 1 815 694; 22 36 374; 27 25 346; 25 00 397
- MERTENS, H.: *Directional hearing in stereophony - theory and experimental verification*, aus *European Broadcasting Union Review-Part A*, Nr. 92, S. 1 bis 14, 1965
- MITTENECKER, E.: *Planung und statistische Auswertung von Experimenten*, 8. Auflage, Verlag Franz Deuticke Wien 1970
- OLSON, H.F.: *Stereophonic Sound Reproduction in the Home - Location Tests*, reprint from the *Journal of the Audio Engineering Society*, Bd. 6, Nr. 2 April 1958, S. 84 bis 88
- ORTMEYER, W.: *Schallfelduntersuchungen bei Zweikanalstereophonie*, aus *Hochfrequenztechnik und Elektroakustik* 75, 1966, S. 137 bis 145
- ORTMEYER, W.: *Über die Lokalisierung von Schallquellen bei der Zweikanalstereophonie*, aus *Hochfrequenztechnik und Elektroakustik* 75, 1966, S. 77 bis 87
- PLATTE, H.-J., GENUIT, K.: *Ein Beitrag zum Verständnis der Summenlokalisierung*, aus *Fortschritte der Akustik*, DAGA München 1980, VDE-Verlag Berlin 1980, S. 595 bis 598
- PLENGE, G.: *Überlegungen zur Stabilität und Leistungsfähigkeit verschiedener stereophoner Übertragungsverfahren*, aus *Bericht 13. Tonmeistertagung 1984*, Verlag K.G Saur 1985, S. 158 bis 169
- PRAGER, T., THEILE, G.: *Einfluß verschiedener Wiedergabeeinrichtungen auf die Beurteilung von Hauptmikrofonverfahren*, aus *Bericht 14. Tonmeistertagung 1986*, Verlag K.G Saur 1987, S. 234 bis 246

REUTER, C.: *Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente*, Peter Lang Verlag Frankfurt a.M., Berlin, Bern, New York, Paris, Wien 1995

RIEDERER, S. VON PAAR.: *Biegewellenwandler, Vergleich mit dynamischen Kolbensystemen, besonders im Zeitverhalten, objektive wie subjektive Untersuchungen*, Diplomarbeit Düsseldorf 1992

RIPKA, A. VON, THEILE, G.: *Die Bedeutung verschiedener stereophoner Wiedergabe-einrichtungen bezüglich der Abbildungsschärfe*, aus *Fortschritte der Akustik*, DAGA 1987, VDE-Verlag Berlin 1987, S. 585 bis 588

SACHS, L.: *Statistische Auswertungsmethoden*, 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1972

SCHNEIDER, R., SPIKOFSKI, G.: *Untersuchungen zur Wahrnehmbarkeit früher Reflexionen und des Nachhalls in Abhorräumen*, aus *Bericht 17. Tonmeistertagung 1992*, Verlag K.G. Saur 1993, S. 631 bis 645

SENGPHEL, E.: *Blätter zur Vorlesung*, Hochschule der Künste Berlin 1992 bis 1998

SPIKOFSKI, G.: *Neue Aspekte zur Beurteilung von Regielautsprechern*, aus *Bericht 16. Tonmeistertagung 1990*, Verlag K.G. Saur 1991, S. 657 bis 675 sowie in *Rundfunktechnische Mitteilungen*, Nr. 3 1991, S. 101 bis 115

SPIKOFSKI, G., KARAMALIS, G.: *Auswahl des neuen ARD ZDF - Referenzregielautsprechers*, Technischer Bericht 115/90, Institut für Rundfunktechnik München 1990

STEINBERG, J.C., SNOW, W.B.: *Auditory Perspective - Physical Factors*, reprint from *Electrical Engineering*, Bd. 53, Nr. 1, S. 12 bis 15

THEILE, G.: *Enlarging of the Listenig Area by Increasing the Number of Loudspeakers, preprint of the 88<sup>th</sup> convention Montreux 1990*, Audio Engineering Society Inc., New York 1990

THEILE, G.: *Neue Erkenntnisse zur Wahrnehmung der Richtung und Entfernung von Phantomschallquellen und Konsequenzen für die stereophone Aufnahmepraxis*, aus *Tonmeisterinformationen*, Januar / Februar und Mai / Juni 1984, Verband Deutscher Tonmeister Berlin

THEILE, G.: *Wie natürlich kann das stereophone Klangbild in Zukunft sein?*, aus *Bericht 15. Tonmeistertagung 1988*, Verlag K.G. Saur 1989, S. 78 bis 105

THEILE, G.: *Weshalb ist der Kammfilter-Effekt bei der Summenlokalisierung nicht hörbar?*, aus *Bericht 11. Tonmeistertagung 1978*, Verband Deutscher Tonmeister 1978, S. 200 bis 214

THEILE, G.: *Zur Theorie der optimalen Wiedergabe von stereophonen Signalen über Lautsprecher und Kopfhörer*, aus *Rundfunktechnische Mitteilungen*, Nr. 4 1981, S.155 bis 170

THEIB, B., GERHARD, J., HAWKSFORD, M.O.J.: *Loudspeaker Placement of Optimised Phantom Source Reproduction, preprint No. 4246 of the 100<sup>th</sup> convention Copenhagen 19976*, Audio Engineering Society Inc., New York 1996

THEIB, B., HAWKSFORD, M.O.J.: *Localization Experiments in Three-Dimensional Sound Reproduction*, preprint No. 4156 of the 100<sup>th</sup> convention Copenhagen 1996, Audio Engineering Society Inc., New York 1996

THEIB, B., HAWKSFORD, M.O.J.: *Phantom Source Perception in 24 bit / 96 kHz Digital Audio*, preprint No. 4561 of the 103<sup>rd</sup> convention New York 1997, Audio Engineering Society Inc., New York 1997

TIEFZE, U., SCHENK, C.: *Halbleiter-Schaltungstechnik*, 9 Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1991

TUSCHEN, C.: *Auslöschung der Beugung an den Kanten einer Lautsprecherbox*, Diplomarbeit Düsseldorf 1994

VERMEULEN, R.: *Stereophonic Reproduction*, Audio Engineering April 1954, S. 21

WEBERS, J.: *Tonstudioteknik*, 4. Auflage, Franzis-Verlags GmbH München 1985

WEINRICH, S.G.: *Horizontal Plane Localization Ability and Response Time as a Function of Signal Bandwidth*, preprint No. 4007 of the 98<sup>th</sup> convention Paris 1995, Audio Engineering Society Inc., New York 1995

WENDT, K.: *Das Richtungshören bei der Zweikanalstereophonie*, Rundfunktechnische Mitteilungen 1964 Nr. 8, S. 171ff

WENDT, K.: *Versuche zur Ortung von Intensitäts-Stereophonie*, aus *Frequenz* Nr. 14 1960, S. 11 bis 14

WIGHTMAN, F.L., KISTLER, D.J.: *Hearing in three dimensions: sound localization*, aus *The proceedings of the AES 8th international conference „The sound of audio“*, Audio Engineering Society Inc., New York, May 1990

WILLIAMS, M.: *Frequency dependent hybrid microphone arrays for stereophonic sound recording*, preprint of the 92nd convention Vienna 1992, Audio Engineering Society Inc., New York 1992

WILLIAMS, M.: *The stereophonic zoom - a variable dual microphone system for stereophonic sound recording*, Eigenverlag 1991

WILLIAMS, M.: *Unified theory of microphone systems for stereophonic sound recording*, preprint of the 82nd convention London 1987, Audio Engineering Society Inc., New York 1987

WILKENS, H., BÜNNING H.: *Vergleich der subjektiven Beurteilung von Lautsprechern aus Paarvergleichen und Einzelbeurteilungen*, aus *Fortschritte der Akustik*, DAGA Bochum 1978, VDE-Verlag Berlin 1978, S. 587 bis 588

ZWICKY, P., BÄDER, K.O.: *Kompensation von Zeitfehlern in Mehrband-Studiolautsprechern mit Hilfe digitaler Signalverarbeitung*, aus *Bericht 17. Tonmeistertagung 1992*, Verlag K.G.Saur 1993, S. 662 bis 668