

Psychoakustische Werte für die Lokalisation mit zwei und drei Frontlautsprechern

Dieser Aufsatz faßt die wichtigsten Ergebnisse zweier Untersuchungen am Musikwissenschaftlichen Institut der Universität zu Köln zusammen, die erstmals zur Tonmeistertagung 1998 vorgestellt worden sind. Bei der ersten Untersuchung [1] wurde die Frage gestellt, inwieweit der Hörereignisort und die Lokalisationsschärfe abhängig sind von der Qualität je zweier Wiedergabelautsprecher, die im Standard-Stereodreieck aufgestellt sind (Abb. 1). Verglichen wurden ein Paar Abhörmonitore der Mittelklasse mit einem Paar hochpräziser Schallwandler der gehobenen Klasse bei unterschiedlichen Testsignalen. Dabei wurden auch aktuelle Werte für die Phantomschallquellenbildung angegeben.

Bei der zweiten Untersuchung [2] wurden (neben anderen Betrachtungen) unter gleichen Bedingungen sowohl Pegel- als auch Laufzeitdifferenzen zur Phantomschallquellenbildung bei der paarweisen Lokalisation mit drei Mittelklasse-Frontlautsprechern ermittelt, die gemäß ITU-R BS 775-1 [3] aufgestellt waren (Abb. 5). Damit wurden weltweit erstmals gleichzeitig repräsentative Werte sowohl für Pegel- als auch für Laufzeitdifferenzen für die frontale Lokalisation beim standardisierten Mehrkanalton präsentiert.

Alle Testsignale wurden speziell für diese Untersuchungen neu erstellt. Zum einen wurde eine künstlich generierte Rechteckhalbwelle (angenäherter Diracstoß, im folgenden als "Knacksignal" bezeichnet) von 22,68µs, zum anderen ein im reflexionsarmen Raum des Musikwissenschaftlichen Institutes der Universität zu Köln aufgenommenes Violoncello (im folgenden als "Musiksignal" bezeichnet) verwendet. Bei der ersten Untersuchung haben 25 Testpersonen teilgenommen, bei der zweiten 30.

Ergebnisse zur Abhängigkeit der stereophonen Lokalisation von der Qualität der Wiedergabelautsprecher¹:

- Mit präzisen Lautsprechern sind Phantomschallquellen bei gleichen Laufzeit- und Pegeldifferenzwerten weiter aus der Mitte herausgelenkt als mit herkömmlichen Lautsprechern
- Dieser Unterschied ist bei Laufzeitdifferenzen (Laufzeit-Stereophonie) 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.
- Die Lokalisationsschärfe ist bei der Laufzeitstereophonie geringfügig kleiner, als bei der "Intensitäts"-Stereophonie.
- Die individuellen Angaben der einzelnen Versuchspersonen untereinander schwanken bei Lokalisationsversuchen mit Laufzeitdifferenzen stärker als bei Lokalisationsversuchen mit Pegeldifferenzen.

¹ Für ausführliche Angaben zur Auswertung und Versuchsdurchführung siehe [1]



Der hier gefundene Nachweis der Abhängigkeit der stereophonen Lokalisation von der Qualität der Wiedergabelautsprecher hat natürlich auch Auswirkungen auf die Aufnahmepraxis. Es sollen daher Größenordnungen für Laufzeit- bzw. Pegeldifferenzwerte (siehe Tabelle 1) in Bezug auf den Lokalisationsort innerhalb der Lautsprecherbasis (siehe Abb. 2) angegeben werden², die durchaus als Kompromiß für hochpräzise und herkömmliche Lautsprecher und für beliebige Signale zu verstehen sind. Erstmals werden an dieser Stelle nun auch Lokalisationskurven für diese Werte angegeben (Abb. 4 & 5). Man erkennt deutlich, daß der Verlauf der Lokalisationskurven keine Gerade darstellt, sondern stets S-förmig ist.

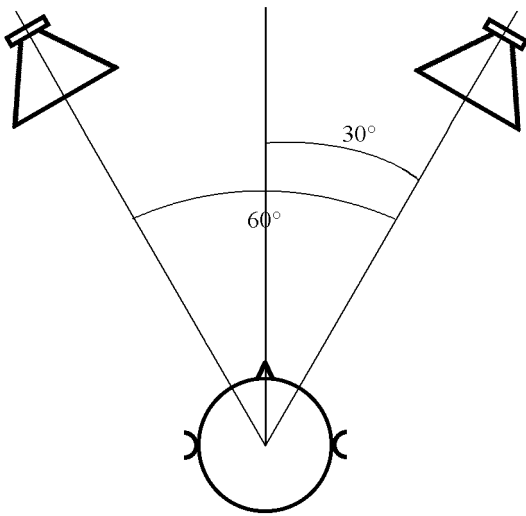


Abbildung 1: Stereo-Standardabhörposition

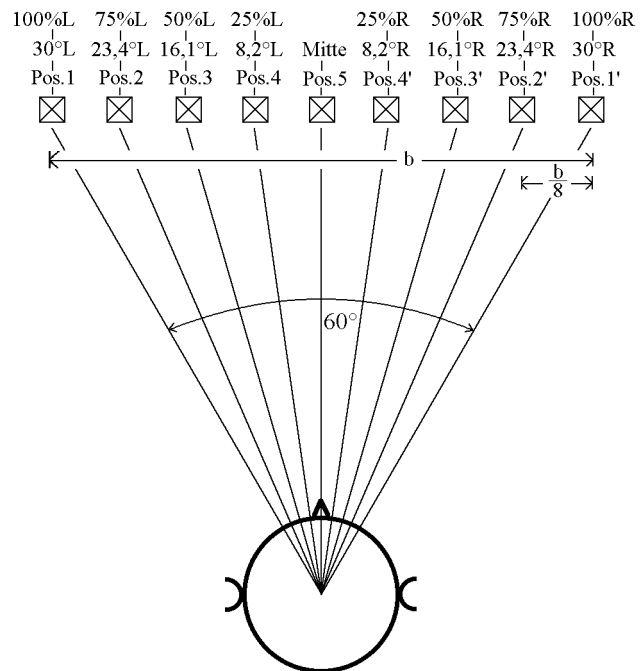


Abbildung 2: Anordnung der Hörereignisorte (Phantomschallquellen)

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

Tabelle 1: Werte für die Summenlokalisierung bei Laufzeit- und „Intensitäts“-Stereophonie. Für eine Verschiebung der Phantomschallquellen nach rechts gelten die Werte entsprechend.

² Die streckenlineare Aufteilung der Lautsprecherbasen in Prozent ist für die Praxis sinnvoll. Die Angabe einer Geraden zwischen den Lautsprechern, auf die Phantomschallquellen angenommen werden, ist dabei zulässig. Es kann sowohl bei der Zweikanalstereophonie, als auch bei drei Frontlautsprechern ohnehin nicht geklärt werden (aufgrund des Unschärfbereichs [1], [2]), ob Phantomschallquellen auf einer Geraden oder auf einer Kreisbahn zwischen den Lautsprechern gebildet werden [4]. Insofern ist es auch nicht relevant, ob beim Mehrkanalton die drei Frontlautsprecher kreisförmig oder auf einer Geraden angeordnet sind.

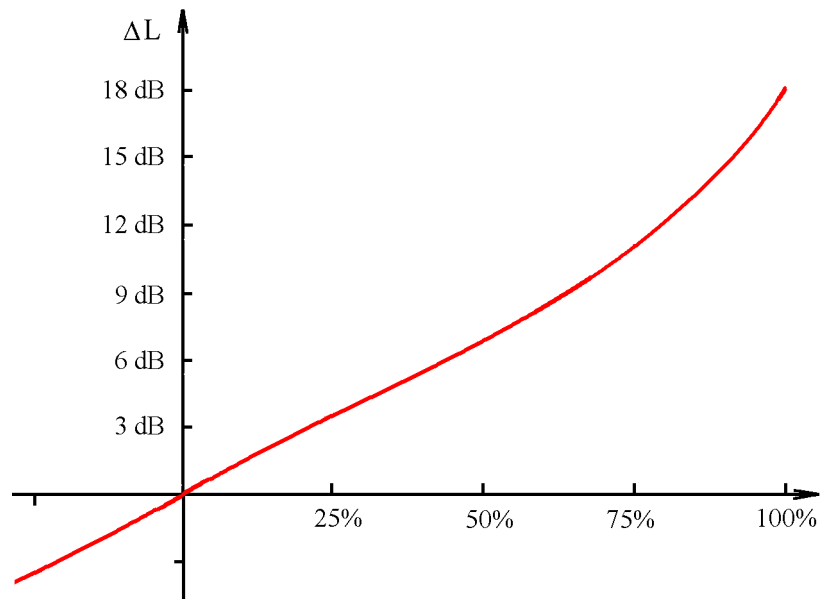
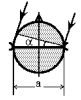


Abbildung 3: Lokalisationskurve für Pegeldifferenzen bei Zweikanalstereo

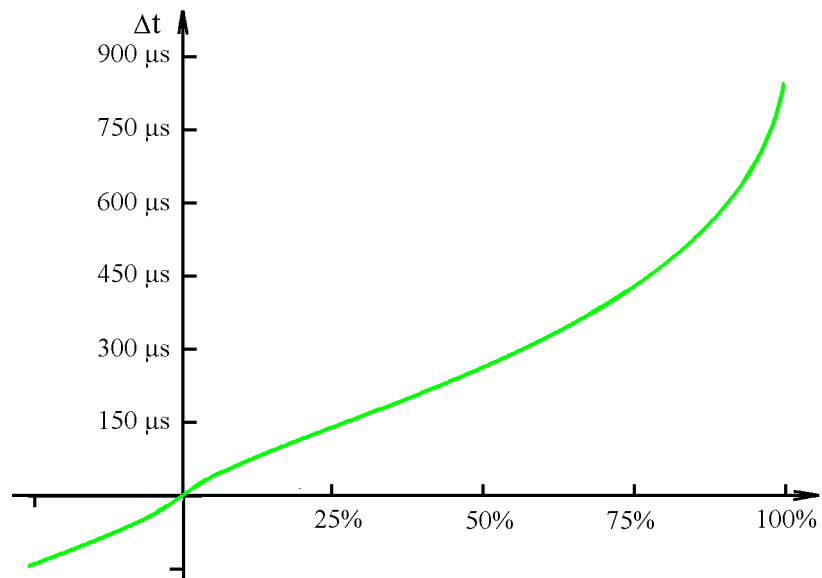
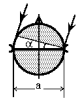


Abbildung 4: Lokalisationskurve für Laufzeitdifferenzen bei Zweikanalstereo



Ergebnisse zur Lokalisation mit drei Frontkanälen³:

- Die Pegeldifferenzen gleichen denen der Stereophonie⁴ sehr, während sich für Laufzeitdifferenzen gänzlich andere Größenordnungen zeigen (siehe Tab. 2).
- Erstaunlich ist auch die auffällige Unsymmetrie besonders bei den Laufzeitdifferenzen (siehe Tab. 2).
- Für Werte größer als 0,8 ms können deutliche Klangfarbenveränderungen auftreten, die bei der Zweikanalstereophonie in dieser krassen Form nicht auftreten.
- Ungefähr aus der 50% - Richtung (vgl. Abb. 2) ergibt sich die größte Lokalisationsunschärfe.
- Die Lokalisationsunschärfe ist aber insgesamt deutlich niedriger als vergleichsweise bei der Zweikanalstereophonie⁵.
- Im Gegensatz zur Stereophonie zeigt sich kein nennenswerter Schärfeunterschied zwischen Laufzeit- und Pegeldifferenzen.
- Die individuellen Lokalisationsunterschiede haben ebenfalls eine kleinere Streuung als vergleichsweise bei der Zweikanalstereophonie.

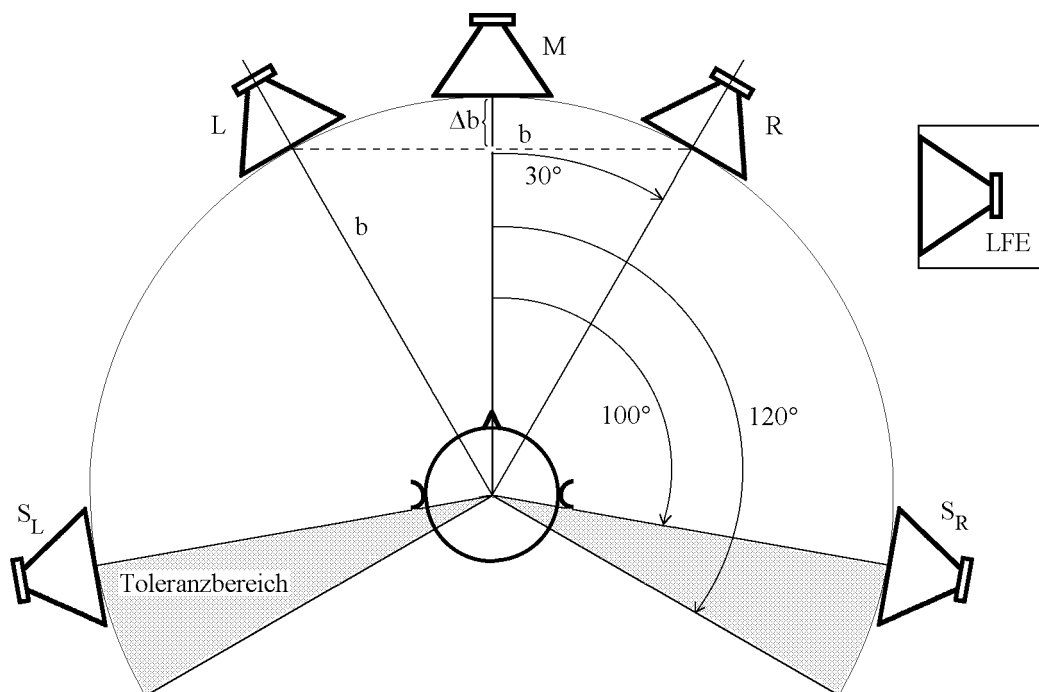


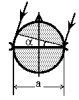
Abbildung 5: standardisierte Lautsprecheraufstellung für den 5.1-Mehrkanalton

In Tabelle 2 findet man die Größenordnungen der benötigten Werte für die Bildung von Phantomschallquellen (vergl. Abb. 2) mit drei Frontlautsprechern. Erstmals werden an dieser Stelle nun auch Lokalisationskurven für diese Werte angegeben (Abb. 6 & 7). Auch hier erkennt man deutlich, daß der Verlauf der Lokalisationskurven keine Gerade darstellt, sondern stets geschwungen ist, durch die Unsymmetrie bei Laufzeitdifferenzen dort sogar mehrfach.

³ Für ausführliche Angaben zur Auswertung und Versuchsdurchführung siehe [2]

⁴ Lokalisation mit einem Lautsprecherpaar in $\pm 30^\circ$ frontal zum Hörer

⁵ Wodurch einerseits der in der Literatur schon häufig angeführte Schärfegegewinn durch den mittleren Lautsprecher bestätigt wird, andererseits die paarweise Betrachtung ihre positive Bestätigung findet.



Hörereignisort	reine Laufzeitunterschiede	reine Pegelunterschiede
ganz links	links 0,7 ms früher als mitte	links = mitte + 18 dB
75% links	links 0,2 ms früher als mitte	links = mitte + 6 dB
50% links	links = mitte	links = mitte
25% links	mitte 0,45 ms früher als links	links = mitte - 6,5 dB
Mitte	mitte 0,7 ms früher als links	links = mitte - 18 dB

Tabelle 2: Werte für die Summenlokalisierung durch Signale vom mittleren und linken Frontlautsprecher. Für eine Verschiebung der Phantomschallquellen nach rechts gelten die Werte entsprechend.

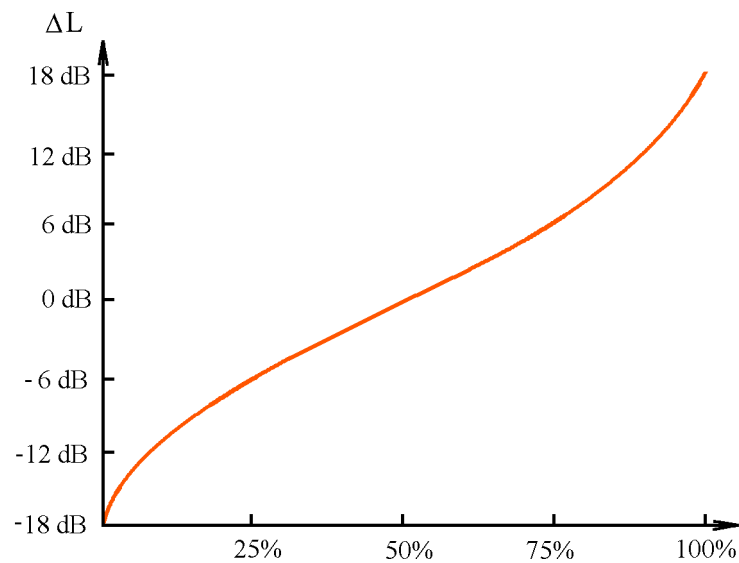


Abbildung 6: Lokalisationskurve für Pegeldifferenzen bei drei Frontlautsprechern

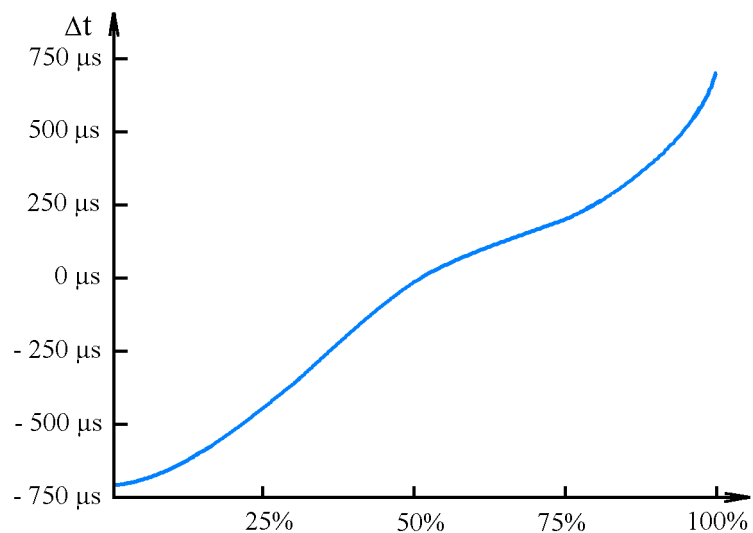
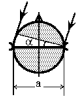


Abbildung 7: Lokalisationskurve für Laufzeitdifferenzen bei drei Frontlautsprechern



Literatur

- [1] GERNEMANN, A.; RÖSNER, T.: The Dependence of the Stereophonic Localization on the Sound Quality of Monitor Speakers, 20 th Tonmeistertagung, pp. 828 - 846 (1998) *in German*
- [2] GERNEMANN, A.: The Arrangement of Microphones Using Three Frontal Channels, a Systematic Approach, 20 th Tonmeistertagung, pp. 518 - 542 (1998) *in German*
- [3] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION: Recommendation ITU-R BS. 775-1: Multichannel Stereophonic Sound System with and without accompanying Picture (1992)
- [4] GERNEMANN, A.: Meßtechnische Untersuchung der akustischen Vorgänge beim natürlichen Hören im Vergleich zu den Vorgängen bei der Laufzeit- und „Intensitäts“-Stereophonie, Verlag Shaker Aachen 1995, ISBN 3-8265-1073-9