

## Darstellung seitlicher Schallquellen bei Anwendung des 3/2-Stereo Formates

*Imaging of Lateral Sources Using the 3/2-Stereo Format, 159*

### Einleitung

Der neue 3/2-Stereo-Wiedergabestandard gemäß ITU-R Rec. 775 erlaubt im Bereich der vorderen drei Lautsprecher L, C, R ( $-30^\circ \dots +30^\circ$ ) eine stabile Richtungsabbildung. Demgegenüber ist die Darstellung von Schallquellen weiter seitlich bis hin zu den Surround-Lautsprechern, also links und rechts in den Sektoren  $30^\circ \dots 110^\circ$ , problematisch.

Neben anderen Untersuchungen (z.B. von Ratliff) haben auch Theile und Plenge die Ausbildung seitlicher Phantomschallquellen erforscht, damals im Zusammenhang mit der Quadrofonie. Nachfolgend ein Diagramm zur Abhängigkeit von empfundener Schalleinfallrichtung und Pegeldifferenz zwischen zwei Lautsprechern symmetrisch zur Ohrachse bei  $+60^\circ$  und  $+120^\circ$ . Der Versuch wurde in einem reflexionsarmen Raum durchgeführt, wobei den Versuchspersonen der Kopf fixiert wurde.

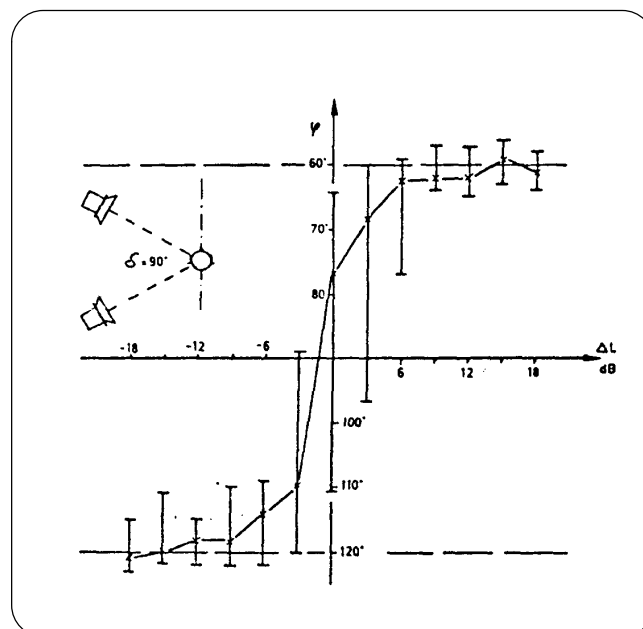


Abb.1: Lokalisation seitlicher Schallquellen bei  $60^\circ$  bis  $120^\circ$  [1].

Dargestellt sind die Mediane und die Quartilbereiche. Die Quartilbereiche, die über die Streuung Auskunft geben, werden bei kleinen Pegeldifferenzen unproportional groß. Deutlich ist auch zu erkennen, daß der Pegelunterschied von 0 dB keine Phantomschallquelle in der Mitte (also bei 90°) erzeugt. Hier schwanken die Angaben der Versuchspersonen über die empfundene Richtung ungefähr zwischen 50° und 110°. Daraus folgerten Theile und Plenge, daß bei einer gewollten Rundumabbildung die Bereiche seitlich um 90° durch reale Schallquellen ersetzt werden müssen [2].

## **Einsatz seitlicher Stützlautsprecher**

### **Speisung des Stützlautsprechers**

Für Hörversuch 1 wurde der Lautsprecher mit einem separaten Signal gespeist. Damit wurde der (theoretische) Idealfall zugrunde gelegt, etwaige Einflüsse einer elektronischen Aufwärtskonvertierung konnten so ausgeschlossen werden. In der Praxis wird das in Hörversuch 1 verwendete diskrete Verfahren jedoch nicht zum Einsatz kommen, da allein der Fünf-Kanal-Ton gemäß ITU-R Rec. 775 standardisiert ist.

Hörversuch 1 soll zeigen, in welchem Maße seitliche Stützlautsprecher prinzipiell die Abbildung im Seitenbereich verbessern können. In Hörversuch 2 werden die seitlichen Stützschnale aus dem 3/2-Stereoformat generiert (Aufwärtskonvertierung). Eine derartige Technik ist für eine praktische Anwendung Voraussetzung.

### **Hörversuch 1- Testbedingungen**

Testsignal: Sprache, 3 s lang (intuitive Entscheidung war erwünscht).

Tonsignale wurden nur von einem oder von zwei Lautsprechern gleichzeitig abgestrahlt

18 Probanden in Einzelsitzungen auf 5 verschiedenen Sitzpositionen

Annahme: links und rechts werden adäquate Ergebnisse erzielt, deswegen Positionierung der Lautsprecher nur auf der linken Seite

## **Versuchsaufbau**

Mittels einer Kabine mit einem Rundum-Vorhang konnten die Testpersonen optimal von ihrer Umgebung isoliert werden. Verstärkt wurde dieser Effekt noch von einer einzigen, in der Kabine aufgebauten Lampe, der restliche Raum war verdunkelt. So bot sich für den in das Studio eintretenden Testhörer nur das Bild eines "beleuchteten Kreises". Um eine starke Vorne/Hinten-Bewegung des Kopfes auszuschließen, bekamen die Versuchspersonen eine Kopfstütze. Minimale Bewegungen sollten in das Testergebnis einfließen. Sämtliche Signale sowie die Ansagen der Nummern der Sequenzen wurden von einer digitalen 8-Spur-Maschine abgespielt.

## **Versuchsdurchführung**

Die geortete Richtungen sollten auf dem Fragebogen auf Kreisen eingetragen werden. Bei Vorversuchen konnte festgestellt werden, daß diese Markierungen mit einer hohen Genauigkeit auch beim zweiten Mal an der gleichen Stelle angebracht wurden. Diese Abweichung lag innerhalb des Streubereiches des gesamten Versuchs.

Insgesamt lagen 5400 Einzelergebnisse vor. Um die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können, wurden alle vom Mittelpunkt abweichenden Sitzpositionen (also Pos. 2-5) auf Position 1 bezogen, der kopfbezogene Winkel  $\varphi$  auf den raumbezogenen Winkel  $\vartheta$  umgerechnet. In der folgenden Abbildung ist der Versuchsaufbau zu sehen.

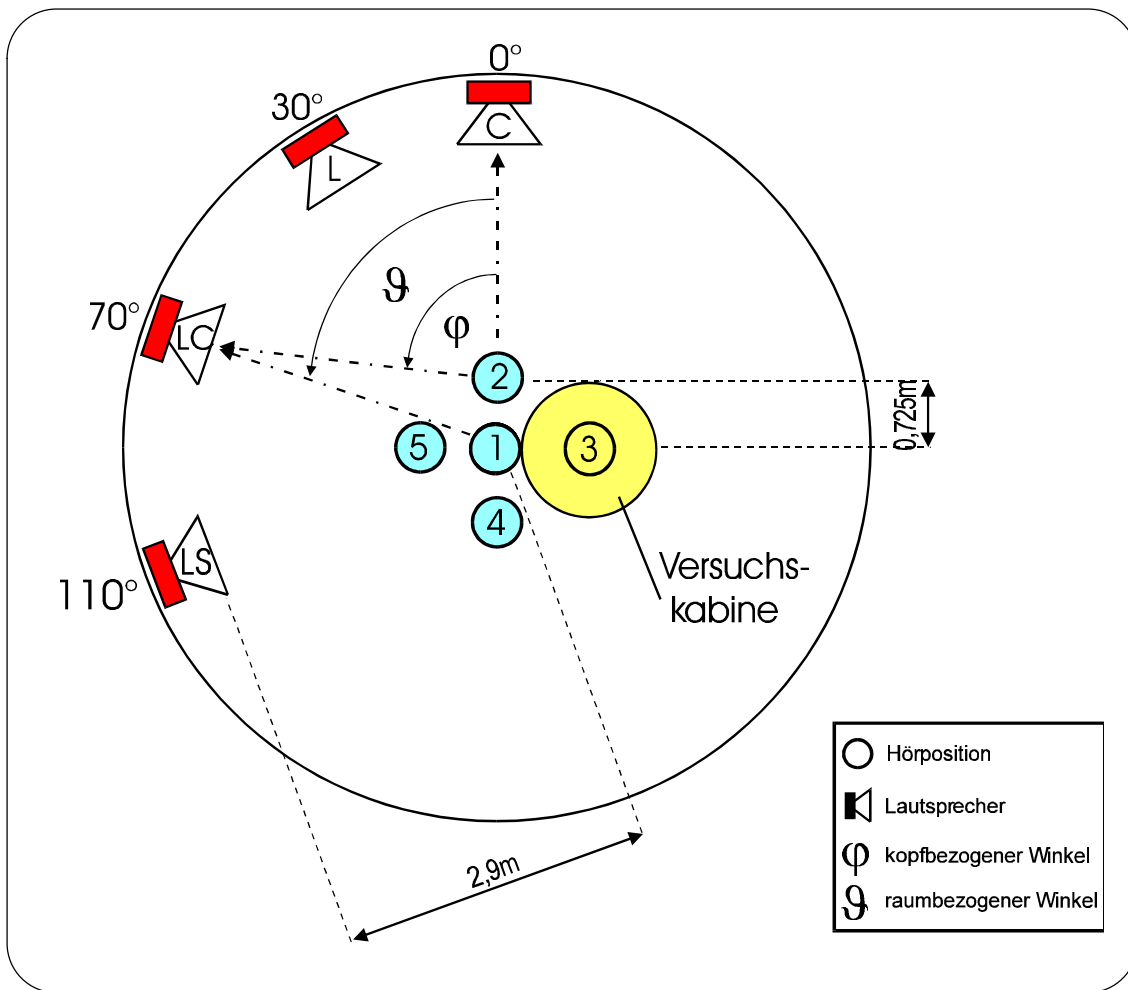


Abb. 2: Versuchsaufbau, Hörversuch 1

### Darstellung der Versuchsergebnisse

Bei der Versuchsauswertung wurde zur statistischen Behandlung der Ergebnisse vom Median-Wert und dem ersten bzw. dritten Quartil Gebrauch gemacht. Dargestellt sind auf den folgenden Seiten die Ergebnisse von zwei der fünf Hörpositionen jeweils ohne und mit Stützlautsprecher. Auf der Y-Achse ist der raumbezogene Winkel  $\vartheta$  in Grad aufgetragen. Im Bereich  $-10^\circ$  bis  $30^\circ$  ist bei jeweils beiden Diagrammen der gleiche Kurvenverlauf zu sehen. Dieser Bereich, der nicht verändert wurde, ist nur einmal ermittelt worden.

Auf der X-Achse sind die Pegeldifferenzen zwischen den Lautsprechern aufgetragen. Diese gliedern sich bei den Diagrammen "ohne Stützlautsprecher" in zwei Bereiche, bei den Diagrammen "mit Stützlautsprecher" in drei.

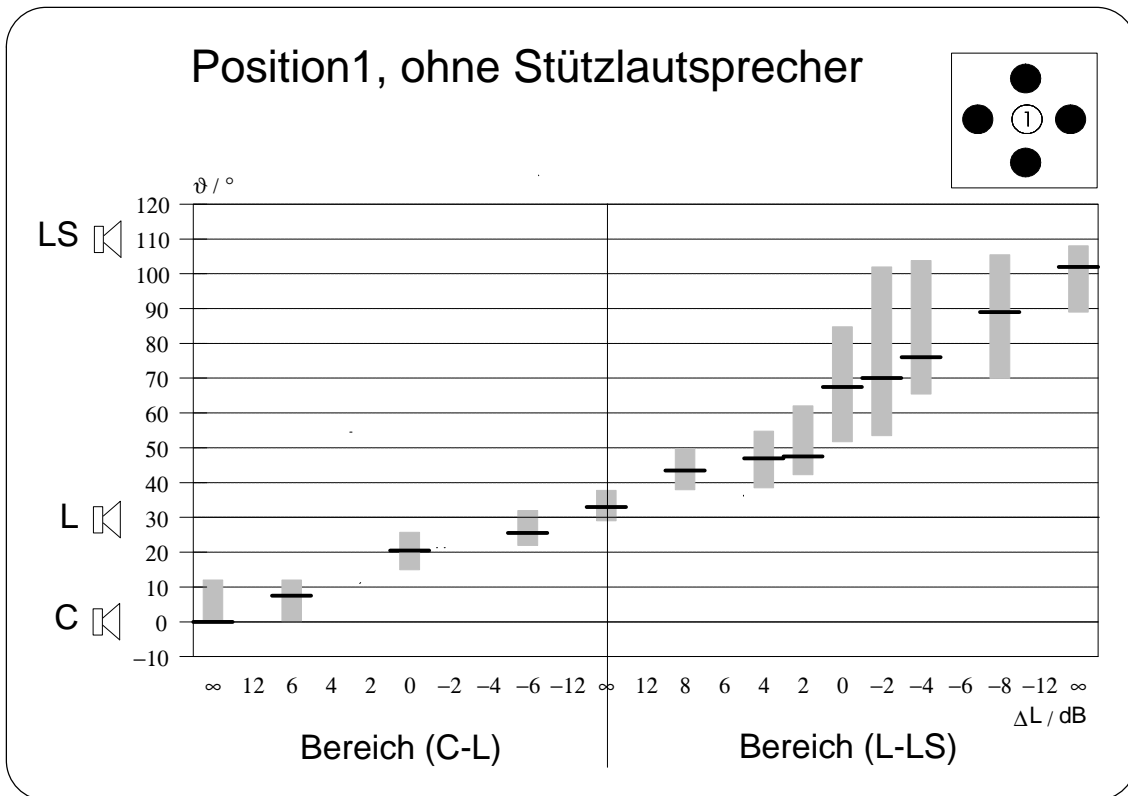


Abb. 3: Hörversuch 1 - Lokalisationskurve ohne Stützlautsprecher (Position 1)

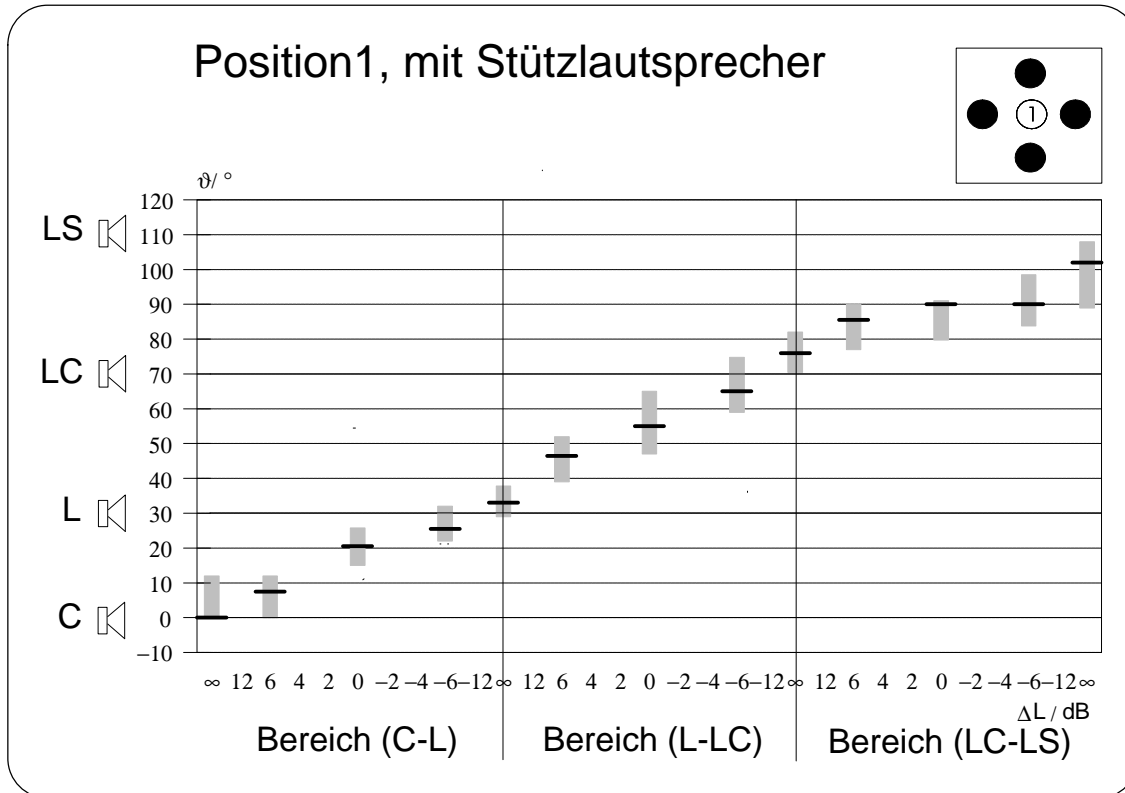


Abb. 4: Hörversuch 1 - Lokalisationskurve mit Stützlautsprecher (Position 1)

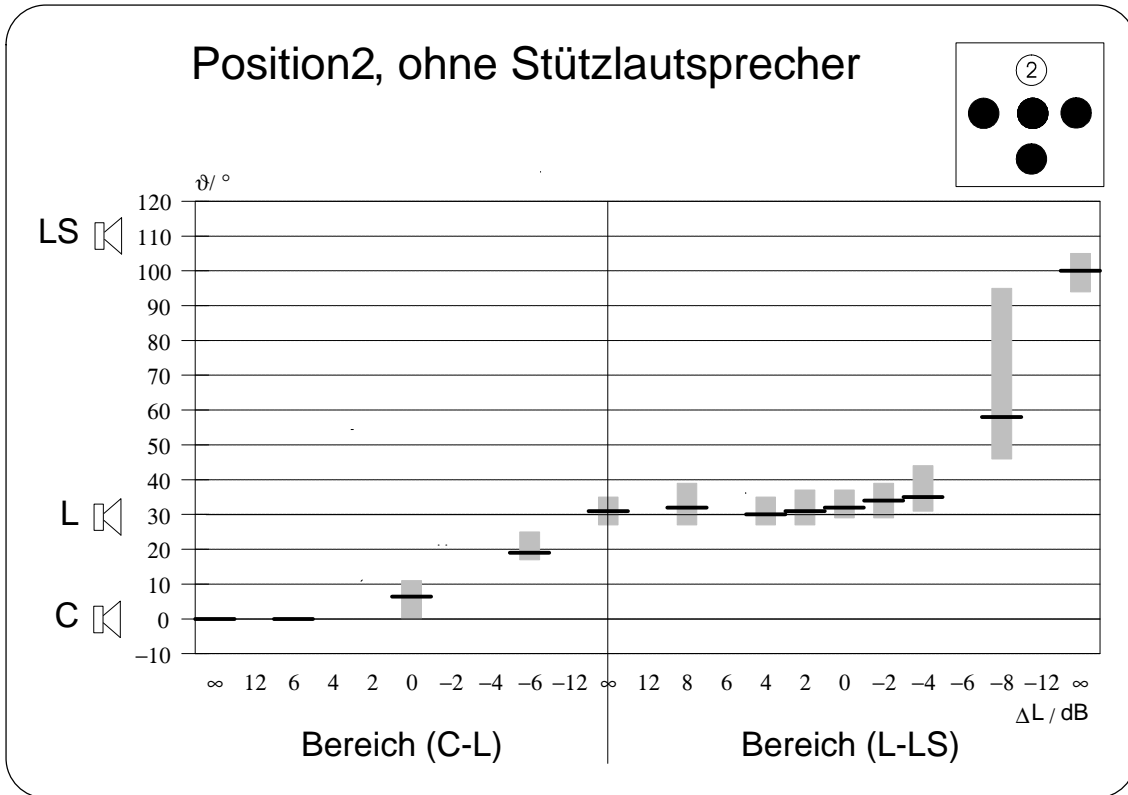


Abb. 5: Hörversuch 1 - Lokalisationskurve ohne Stützlautsprecher (Position 2)

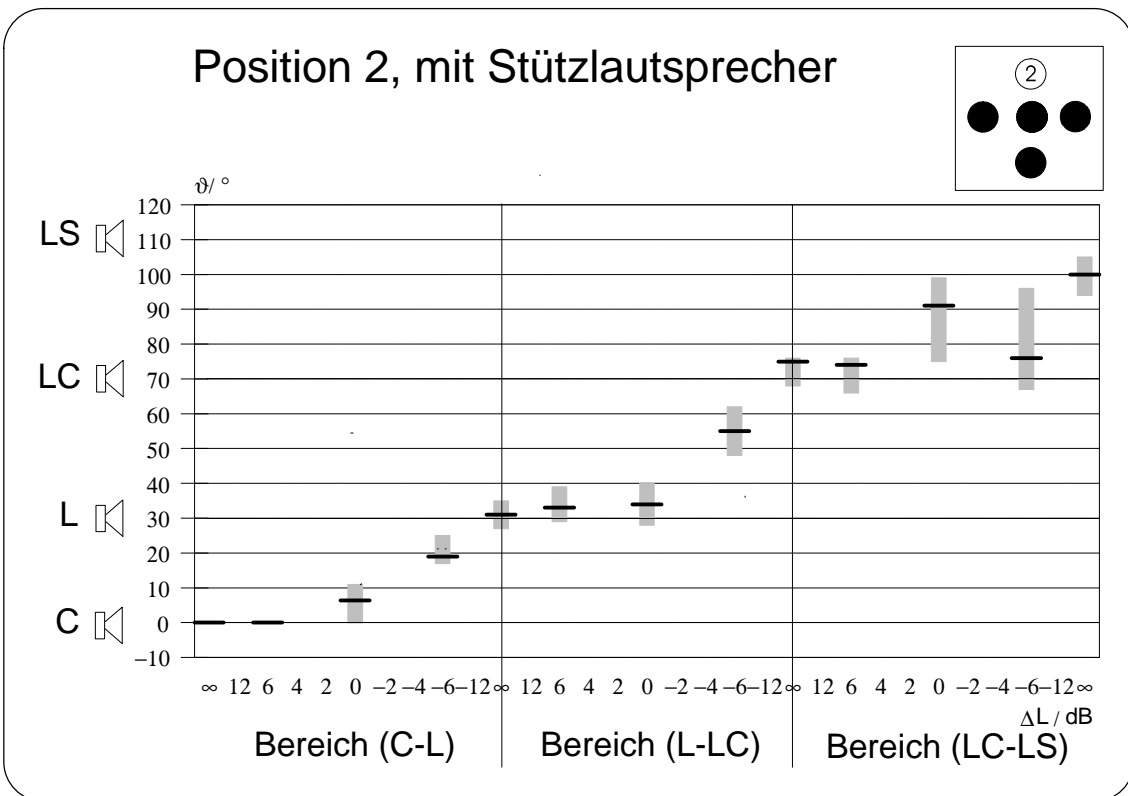


Abb. 6: Hörversuch 1 - Lokalisationskurve mit Stützlautsprecher (Position 2)

# Interpretation der Versuchsergebnisse aus Hörversuch 1

## Position 1

Im Diagramm "Ohne Stützlautsprecher" weisen die Werte im Front-Bereich (C-L) eine geringe Streuung auf, die Quartilbereiche sind klein. Die dennoch auftretende Lokalisationsstreuung (v. a. bei  $0^\circ$ ) ist auf die beschränkte Kopffixierung zurückzuführen.

Im Bereich (L-LS) treten ab ca.  $60^\circ$  enorme Streuungen der Testergebnisse auf, die Quartilbereiche zeigen im Bereich (LC-LS) eine Streuung bis zu  $50^\circ$ . Dieses Ergebnis entspricht dem früherer Versuche.

Im Diagramm "Mit Stützlautsprecher" entspricht der erste Bereich (C-L) wie oben erwähnt dem aus dem Diagramm "Ohne Stützlautsprecher", der lineare Anstieg der Lokalisationskurve bleibt nun aber, bis auf eine kleine Schwankung bei den letzten zwei Pegelwerten, bestehen. Wie zu sehen ist, wirkt der Stützlautsprecher sehr stabilisierend, die Streuung der Werte bei  $70^\circ$  beträgt weniger  $12^\circ$ .

## Position 2

Da der Pegelabgleich der Abhöranlage auf Position 1 erfolgte, wirkt sich hier zum einen die Nähe zum Center-Lautsprecher aus. Im Diagramm "Ohne Stützlautsprecher" treten aber besonders stark die Laufzeitunterschiede hervor. Schon in Bereich (C-L) wird die erste Pegelveränderung nicht wahrgenommen, im Bereich (L-LS) bleibt die Phantomschallquelle scheinbar im Raum "stehen".

Die Laufzeitdifferenz zwischen den Lautsprechern L und LS beträgt 2,7 ms. Hier kommt das "Gesetz der ersten Wellenfront" zur Wirkung. Sehr schön ist dabei zu sehen, daß bei Laufzeitdifferenzen von über 1 ms auch 8 dB Pegeldifferenz keine deutliche Auslenkung der Phantomschallquelle bewirken. Sobald nur noch ein Lautsprecher aktiv ist (Pegeldifferenz " $\infty$ "), wird das Hörereignis wieder genauer lokalisiert.

Der Kurvenverlauf im Diagramm "Mit Stützlautsprecher" ist um einiges linearer, der Stützlautsprecher kann sehr gut geortet werden, obwohl er sich nur knapp über der Hörachse der Probanden

befand. Lediglich der vorletzte Wert bei -6 dB schert aus. Hier kommt vermutlich ein besonderer psychoakustischer Effekt zum Tragen. Ist die Versuchsperson von ihrer gewohnten Umgebung isoliert (keine optischen Bezugspunkte, keine natürlichen Raumreflexionen, die Hinweise auf die Schalleinfallrichtung geben), zudem noch in ihrer Bewegung eingeschränkt durch eine Kopffixierung, werden oftmals die hinter der 90°-Achse (Ohrachse) auftretenden Hörereignisorte spiegelsymmetrisch nach vorne "gelegt", sie befinden sich dann im optisch wahrnehmbaren Bereich, im Gesichtsfeld des Probanden. In der Auswertung wurde darauf verzichtet, diese Vorne/Hinten-Vertauschungen zu isolieren, so daß sich hier eine Verschiebung des Hörereignisorts nach vorne ergibt.

## **Hörversuch 2:**

### **Generierung des Stützssignals mittels Dolby-Surround-Pro-Logic-Decoder**

#### **Speisung des Stützlautsprechers mit Hilfe des Pro-Logic-Decoders**

Wie bereits angesprochen, stehen außer den fünf diskreten Tonkanälen keine zusätzlichen Kanäle zur Verfügung. In Hörversuch 1 ist der "Idealfall" eines 7-kanaligen Tonsystems vorausgesetzt worden. In der Praxis muß die Generierung des zusätzlichen Stützssignals künstlich, mittels elektronischer Schaltung geschehen. In diesem Fall wurde der Kanal LC (Links-Center) mit einem Dolby-Surround-Pro-Logic-Decoder erzeugt. In der Abbildung 7 ist die Schaltung zu sehen. Statt mit den üblichen Signalen Lt und Rt wird der Dolby-Decoder mit den Signalen L und LS gespeist. Am Ausgang L' liegt nun L an, an R' jetzt LS, und stark korrelierte oder sogar kohärente Signalanteile zwischen L und LS an C' als neuer Kanal LC .

Um ein mit Hörversuch 1 vergleichbares Resultat zu bekommen, wurden die selben Testsignale verwendet. Versuchsaufbau und -durchführung blieben identisch. Anstatt den Hörtest auf fünf Sitzpositionen abzuhalten, wurde er diesmal auf die zentrale Position 1 beschränkt.

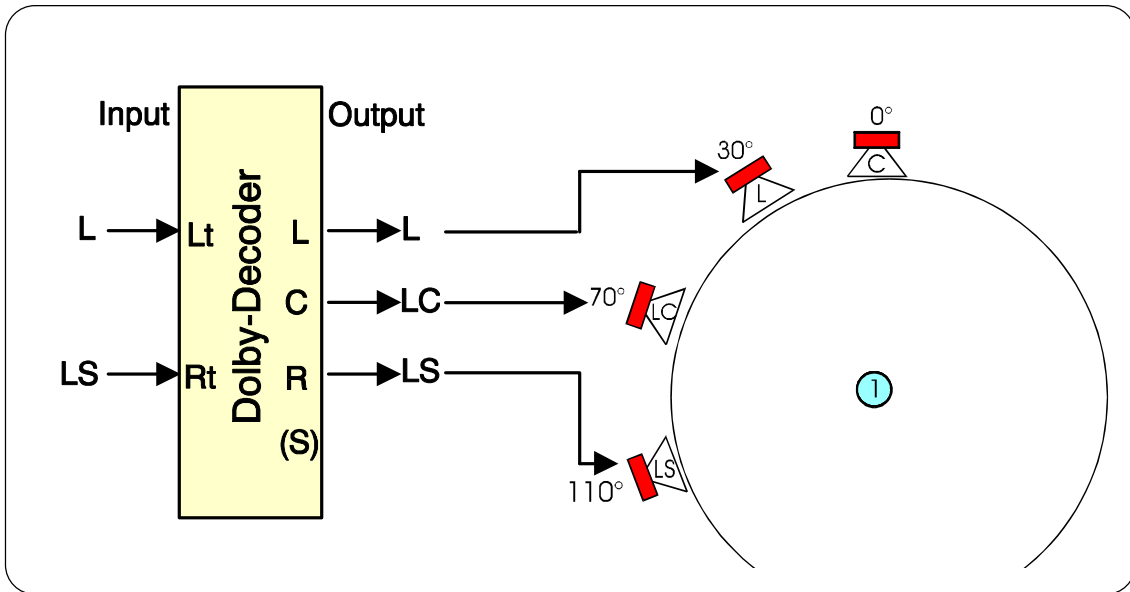


Abb. 7: Einsatz des Dolby-Decoders zur Erzeugung eines Stützsignals (LC)

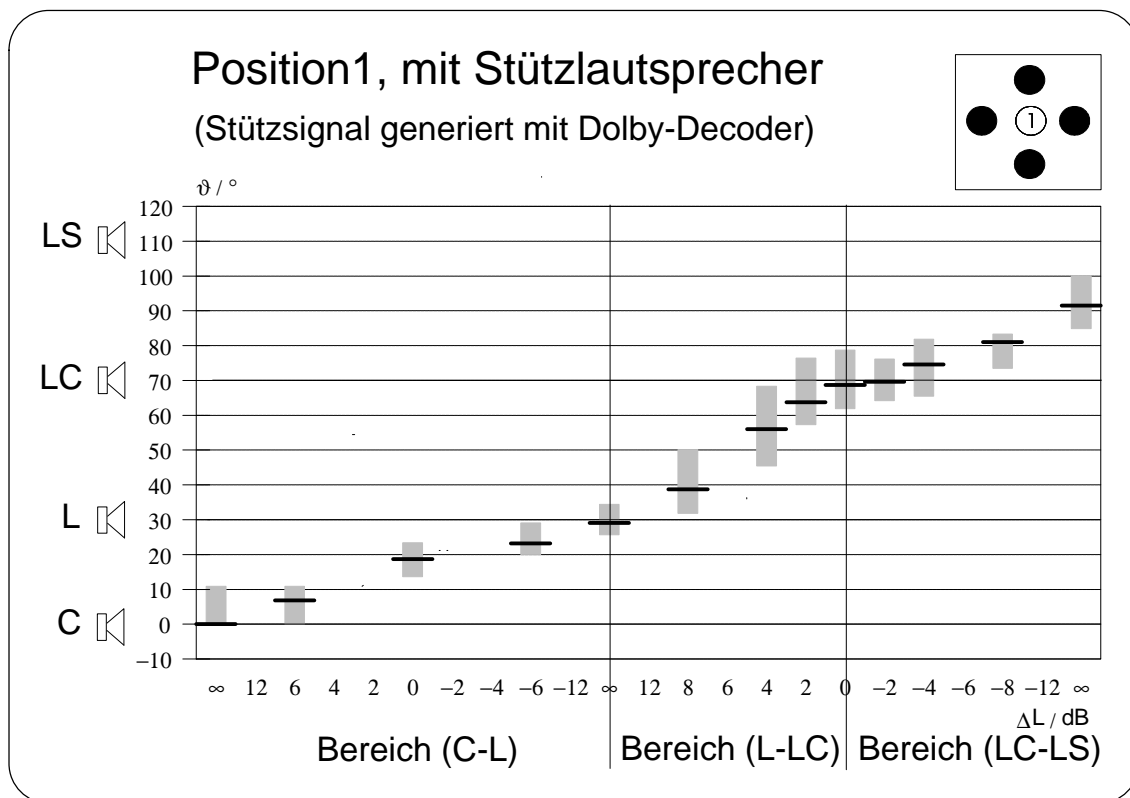


Abb. 8: Hörversuch 2 - Lokalisationskurve mit Stützlautsprecher, angesteuert mit Dolby-Decoder (Position 1)

## Zusammenfassung

In Hörversuch 1 wurde unter Verwendung des Stützlautsprechers (angesteuert mit einem diskreten Signal) die Veränderung der Lokalisation im Seitenbereich untersucht. Auf allen Hörpositionen konnte eindeutig eine stabilere Abbildung im Seitenbereich bzw. eine Vergrößerung der Lokalisationsschärfe nachgewiesen werden. Bei Einsatz des Stützlautsprechers zeigte sich für die zentrale Hörposition ein *nahezu linearer Verlauf der Lokalisationskurve*, auch im kritischen Seitenbereich, in dem mit der konventionellen 5-Kanal-Technik bisher so gut wie keine Phantomschallquellenabbildung möglich war.

In Hörversuch 2 wurde in einem nächsten Schritt der Frage nachgegangen, wie das den Stützlautsprecher speisende Signal zu gewinnen ist, da es im 3/2-Stereo-Standard gemäß ITU-R Rec. 775 nicht enthalten ist. Als erster Versuch wurde ein Dolby-Surround-Pro-Logic-Decoder verwendet, der in der Lage ist, ein an den zwei Eingangskanälen liegendes, kohärentes Tonsignal zu isolieren und auf einen weiteren Kanal auszugeben. Damit wurde der Stützlautsprecher angesteuert.

Die Testsignale waren identisch mit denen aus Hörversuch 1. In einem direkten Vergleich der Ergebnisse in Bezug auf Lokalisation ergab sich eindeutig eine Verbesserung gegenüber der momentan gebräuchlichen 5-Kanal-Technik, wenn auch mit einigen systemspezifischen Einschränkungen seitens des Dolby-Decoders [3].

Zusammenfassend haben die Untersuchungen gezeigt, daß der Einsatz eines zusätzlichen Stützlautsprechers eine deutliche Verbesserung der Phantomschallquellenabbildung im Seitenbereich ermöglicht, die Frage nach der optimalen Speisung dieses Lautsprechers aber noch nicht gelöst ist.

In weiteren Untersuchungen muß eine Möglichkeit gefunden werden, wie mit schaltungstechnischen Mitteln ein geeignetes Stützsinal aus dem bestehendem 3/2-Stereo-Signal generiert werden kann.

Einzelheiten zu diesen Untersuchungen sind in [4] zu finden.

## Literatur

- [1] BLAUERT, J.: Räumliches Hören - Nachschrift, Neue Ergebnisse und Trends seit 1972. Stuttgart, Hirzel Verlag, 1985, S. 48.
- [2] THEILE, G., PLENGE, G.: Localization of lateral Phantom-Sources, in: 53. AES Convention, Preprint, Zürich, 1976.
- [3] EBERLEIN, J. :Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit des Dolby-Surround-Verfahrens im Bereich Musikaufnahmen. Diplomarbeit, Fachhochschule München, 1996.
- [4] ZIEGLMEIER, W.: Untersuchungen zur Optimierung der Surround-Tondarstellung durch Aufwärtskonvertierung des 3/2-Stereoformats. Diplomarbeit, Fachhochschule München, 1996.