

Helmut WITTEK, Günther THEILE [IRT]

Untersuchungen zur Richtungsabbildung mit L-C-R-Hauptmikrofonen

Investigations on directional imaging using L-C-R stereo microphones

1. Einleitung

Die Aufnahme eines Klangkörpers im 3/2-Stereo-Standard[ITU 1992] stellt den Tonmeister grundsätzlich vor verschiedene Aufgaben:

- Richtungsdarstellung zwischen L, C und R
- Erzeugung von Räumlichkeit und räumlicher Eingebundenheit
- Erzeugung bzw. Übertragung einer geeigneten Klangfarbe

Die Verwendung eines Hauptmikrofons stellt dabei eine Möglichkeit dar, für optimale Richtungsabbildung zwischen den Lautsprechern zu sorgen.

Nur die vorderen drei Lautsprecher werden dabei in die gezielte Richtungsabbildung von Klangkörpern eingebunden, da die Abbildung zwischen den seitlichen oder hinteren Lautsprechern instabil und auf einen kleinen „sweet spot“ beschränkt sein wird.

So übernimmt ein sogenanntes L-C-R-Hauptmikrofon die Aufgabe, Lokalisation zwischen den Lautsprechern L, C und R zu ermöglichen. Zur Erzeugung von Räumlichkeit und zur räumlichen Einbindung sind separate oder mit diesem Hauptmikrofon kombinierte Lösungen vorstellbar (siehe [Theile 2000]).

Welche Voraussetzungen muß eine solche Mikrofonanordnung erfüllen?

- maßstabgerechte Abbildung der Bühnensituation zwischen den Lautsprechern

- gute und konstante Abbildungseigenschaften an verschiedenen, auch nicht-optimalen Hörpositionen (Stabilität, Klangfarbe, Lokalisationsschärfe)
- weitere, im speziellen Fall zu überprüfende Voraussetzungen, wie gutes Raum-/Direktschall-Verhältnis, Herstellung einer guten Balance zwischen den beteiligten Klangquellen, etc.

Diese Forderungen können bei geeigneter Konfiguration des L-C-R-Hauptmikrofons oft weitgehend erfüllt werden. Durch das Hinzufügen des Center-Kanals können wesentliche Nachteile der Zweikanalstereofonie vermieden werden. Allerdings sollte der Center-Kanal keine negative Beeinflussung des Klangbilds der bisherigen Zweikanalstereofonie bewirken.

Die zentrale Frage lautet also:

Kann der Centerkanal stabilisierende Wirkung erzielen, ohne negative Einflüsse auf das Klangbild zu haben?

Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, wurden theoretische Überlegungen mit Hilfe eines Computerprogramms angestellt sowie verschiedene Hörversuche durchgeführt.

Dabei wurde zwischen zwei- und dreikanaligen Anordnungen verglichen.

Ausführliche Erläuterungen der im Rahmen einer Diplomarbeit der FH Düsseldorf (Prof. Braun) am Institut für Rundfunktechnik durchgeführten Untersuchungen erfolgen in [Wittek 2000].

2. „optimaler“ Abbildungsverlauf

Bei der Frage nach der „optimalen“ Abbildung muß zunächst feststehen, daß die Erzeugung eines adäquaten Abbildungsverlaufs sich nach der gewählten Position des Mikrofons richten muß. Entscheidende Aspekte wie Klangfarbe, Präsenz, Raum/Direktschall-Verhältnis etc. bestimmen maßgeblich diese vom Tonmeister gewählte Position. Es gibt keinen optimalen Aufnahmewinkel und es gibt folgerichtig keine feststehende, optimale Mikrofonkonfiguration. Wer zuerst den Aufnahmewinkel bestimmt und dann den Abstand zum Klangkörper errechnet, wird bei den oben genannten Aspekten ins Hintertreffen geraten.

Existiert für eine gewählte Position keine Möglichkeit, adäquate Abbildung von einem Punkt aus zu erreichen, spricht dies in diesem Fall gegen eine Hauptmikrofonlösung. Deshalb ist es, genauso wie in der Zweikanaltechnik, wichtig, die Abbildungsverläufe beliebig kombinierter Mikrofonkonfigurationen zu kennen, um auf jeden sich ergebenden Aufnahmebereich reagieren zu können.

Den Verlauf einer Abbildung kennzeichnet eine Lokalisationskurve. Sie drückt die Beziehung zwischen Einfallswinkel des Signals im Aufnahmebereich und Auslenkung der Phantomschallquelle bei der Wiedergabe aus. Aus dem Verlauf der Lokalisationskurve können Eigenschaften der Abbildung abgelesen werden.

Die mathematische Beschreibung der Lokalisationskurve einer Mikrofonanordnung lautet:

$\Phi = f(\alpha) \rightarrow$ Die Auslenkung ist abhängig vom Einfallswinkel des Signals im Aufnahmebereich

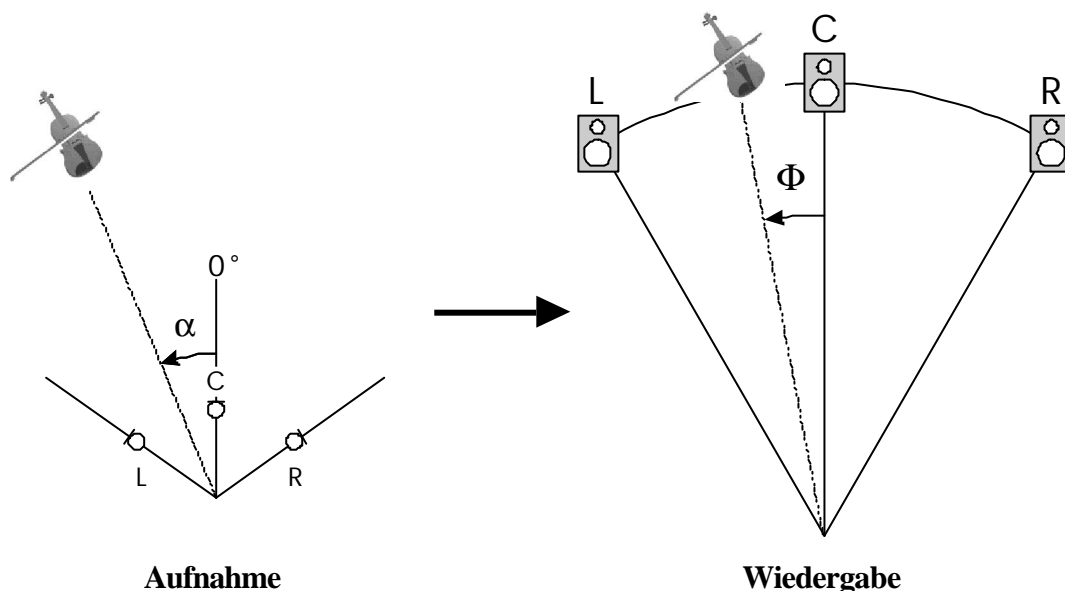


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Einfallswinkel des Signals und Auslenkung der Phantomschallquelle

Will man das Ideal einer durch ein Hauptmikrofon erzielten Abbildung zwischen den Lautsprechern definieren, so kann man feststellen:

Die im Aufnahmebereich angetroffene Situation sollte mit Einschränkungen maßstabsgerecht zwischen den Lautsprechern verteilt werden, also im allgemeinen sollte einem bestimmten Winkel zwischen den verschiedenen Klangkörpern im Aufnahmebereich auch ein bestimmter Winkel zwischen den wahrgenommenen Phantomschallquellen entsprechen.

Aus dieser allgemeinen Forderung resultiert als Lokalisationskurve eine gerade Linie, die ein konstantes Verhältnis zwischen den korrespondierenden Winkeln ausdrückt (Abbildung 2).

Außerdem soll, wie angesprochen, innerhalb einer größeren Hörzone diese Linie möglichst unverändert bleiben, also auch von seitlichen Hörpositionen eine genauso verteilte Lokalisation möglich sein.

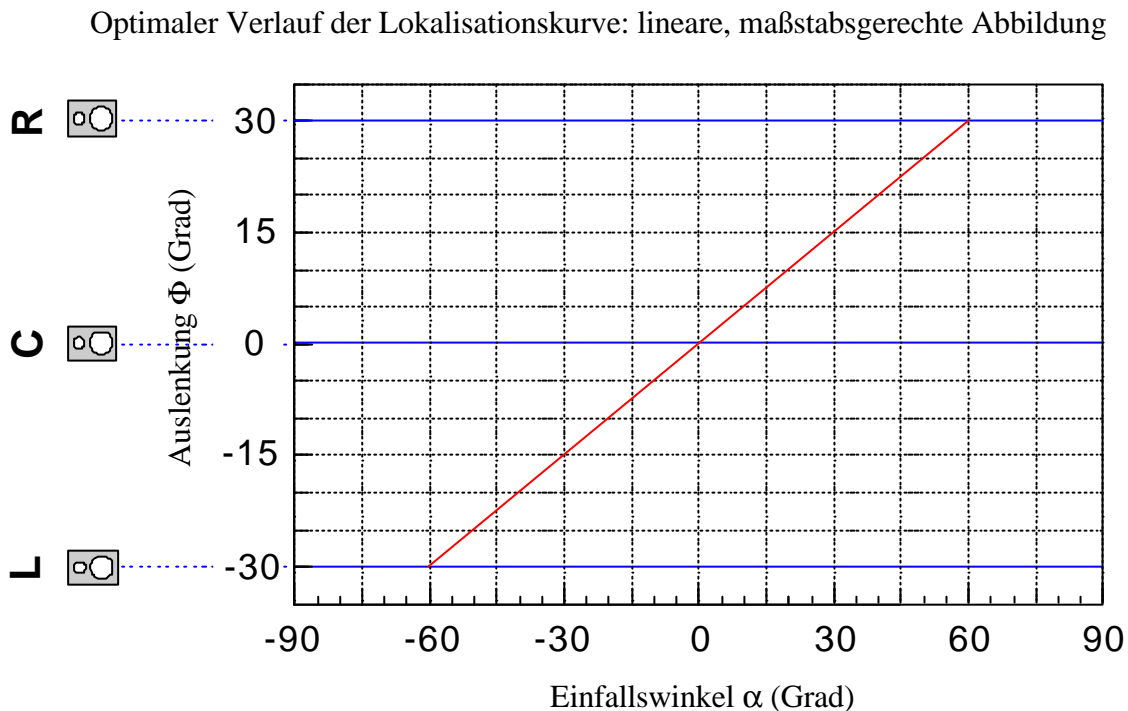


Abbildung 2: optimale Lokalisationskurve mit linearem Verlauf (z.B. Aufnahmewinkel 120 Grad)

Eine zusätzliche Forderung an ein solches Mikrofon muß sein:

Keine oder nur wenig Änderungen von Lokalisationsschärfe und Klangfarbe durch

- verschiedene Phantomschallquellenpositionen
- unterschiedliche Sitzpositionen

Alle diese Forderungen sind sicherlich kaum zu erfüllen, allerdings existieren doch beträchtliche qualitative Unterschiede zwischen den verschiedenen Verfahren.

Als Knackpunkt erweist sich die Fähigkeit einer Mikrofonkonfiguration, im Center-Bereich eine ausgewogene Abbildung zu ermöglichen. Williams definierte für die Zweikanal-Abbildung die „Standardabweichung einer Mikrofonanordnung“ (als „standard deviation“ in den Williams-Kurven [Williams 1987]), die ausdrückt, ob eine Mikrofonanordnung mit einem

Aufnahmewinkel $\pm X$ Grad beim Einfallswinkel $X/2$ Grad auch genau halbe Auslenkung erzielen kann. Durch die neuen Anforderungen einer Abbildung zwischen drei vorderen Lautsprechern ist nun allerdings genaueres Ermitteln der Abbildungseigenschaften einer Mikrofonanordnung erforderlich geworden, da eine geringe Standardabweichung nun kein Maß mehr für die Abbildungsqualität einer Mikrofonanordnung darstellt.

3. rechnerische Ermittlung der Lokalisationskurven im Computerprogramm

Ein nützliches Hilfsmittel bei der Konfiguration und der Bewertung unterschiedlicher Mikrofonanordnungen stellt das nun vorgestellte Verfahren dar, das als Computerprogramm umgesetzt wurde. Diese rechnerische Simulation macht es möglich, die einer beliebigen Mikrofonanordnung zugeordnete Lokalisationskurve sehr einfach grafisch darzustellen.

Gesetze zur Ermittlung des Phantomschallquellenorts zwischen zwei Lautsprechern in Abhängigkeit von deren Pegel- und Laufzeitdifferenzen sind bekannt. Die jeweiligen Zusammenhänge sind von verschiedenen Autoren in den letzten Jahren leicht unterschiedlich angegeben worden, vor allem in Bezug auf die Laufzeitdifferenzen. Zur Ermittlung der hier verwendeten Daten sind Untersuchungen der McGillUniversity[Martin et al. 1999] sowie eigene Messungen herangezogen worden.

Dabei konnte nachgewiesen werden, daß die Abbildungsgesetze in den neu entstandenen, kleinen Lautsprecherbasen L-C, bzw. C-R den bekannten Gesetzen für die Stereobasis L-R weitgehend entsprechen.

So wurden folgende Beziehungen verwendet:

	50% Auslenkung	100% Auslenkung
DL	ca. 6,5 dB	ca. 18 dB
Dt	ca. 0,4 ms	ca. 1,0 ms

Tabelle 1: ΔL und Δt für bestimmte Auslenkungsgrade

Mit Hilfe dieser Werte wurde eine Näherungsfunktion erstellt, die einen rechnerischen Zusammenhang zwischen den vorliegenden Signaldifferenzen und der resultierenden Auslenkung angibt (Abbildung 3):

Näherungsfunktion für die Auslenkung der Phantomschallquelle

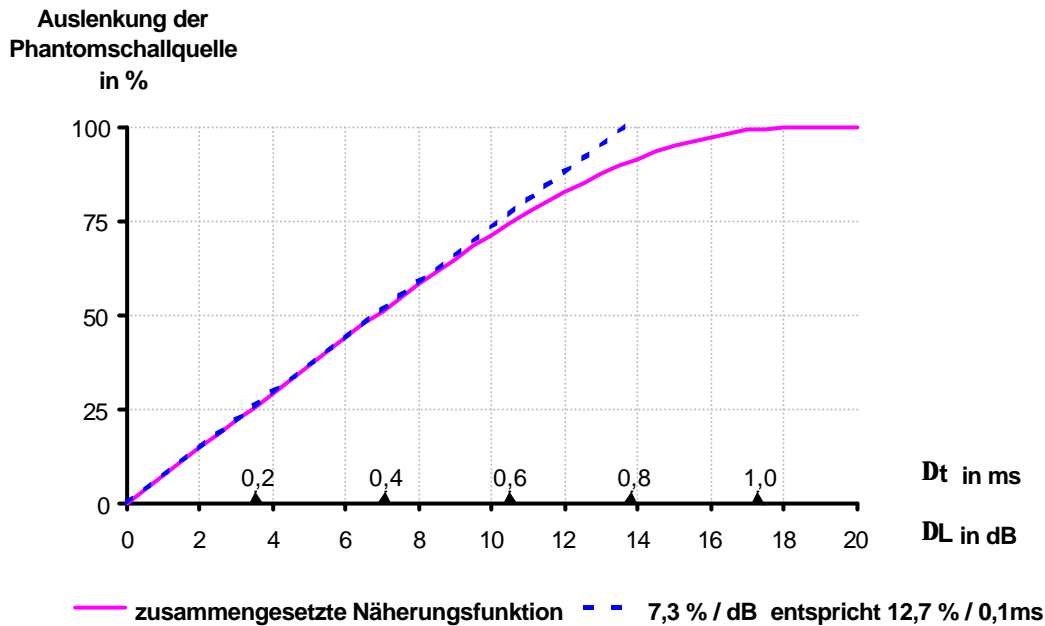


Abbildung 3: Verlauf der Näherungsfunktion zur Ermittlung der Phantomschallquellen-Auslenkung

Der Verlauf dieser Funktion gilt sowohl für Pegel- als auch für Zeitdifferenzen. In der nachfolgenden Grafik ist jeweils ein Wert der ΔL -Achse oder ein Wert der Δt -Achse der jeweiligen Auslenkung zuzuordnen.

Da diese Näherungsfunktion für ΔL und Δt kongruent verläuft, lassen sich auch auf einfache Weise diese beiden Signaldifferenzen nach entsprechender Umrechnung addieren. Die Näherungsfunktion wird auf die Summe der beiden Signaldifferenzarten angewendet. Das heißt, nun wird der resultierende Ort für eine Phantomschallquelle errechnet, die durch das Vorliegen sowohl von Pegel- als auch von Laufzeitdifferenzen entsteht.

Eine nähere Auseinandersetzung mit den mathematischen Grundlagen dieser Rechnung erfolgt in [Wittek 2000].

Um jetzt eine Lokalisationskurve für eine bestimmte Mikrofonkonfiguration erstellen zu können, werden die für einen bestimmten Einfallswinkel eines Signals im Aufnahmeraum vorliegenden Signaldifferenzen errechnet.

Somit kann durch die Eingabe von

- Lautsprecheranordnung: L/R oder L/C/R bzw. 2 oder 3 Mikrofone

- Richtcharakteristika der Mikrofone
- Abstand der Mikrofone
- Hauptachsenwinkel der Mikrofone
- evtl. zusätzliche, spezielle Eingaben

die Lokalisationskurve dieser Konfiguration erstellt werden.

Einige Beispiele dazu siehe Abbildungen 19-24 (Anhang 1)

Die Umsetzung dieses Programms als JAVA-Applet wird auf www.hauptmikrofon.de zur Verfügung gestellt.

4. Hörversuch 1 mit verschiedenen Stereofonieranordnungen, Gültigkeit der Lokalisationskurven

Im Hörversuch wurden drei verschiedene Anordnungen für 3/2-Stereo untersucht und mit den rechnerischen Daten verglichen:

- a) Quasi-ORTF Aufnahmewinkel 120 Grad
- b) INA3 Aufnahmewinkel 120 Grad
- c) OCT Aufnahmewinkel 120 Grad

Für die Aufzeichnung der Testsignale wurde im reflektionsarmen Raum ein Lautsprecher installiert, der die Quellsignale abstrahlte. (Ort + Abbildungsschärfe: weibliche Sprache, Klangfarbe: männliche Sprache, EBU-Test-CD S.Q.A.M.[EBU 1988]) Die Quellsignale trafen in bestimmten Einfallswinkeln auf die Mikrofonanordnung, die mit Hilfe eines Drehtellers einstellbar waren. Laut Abbildung 1 werden die Einfallswinkel relativ zur Hauptachse bezeichnet, das heißt für die links von der Hauptachse eintreffenden Signale gilt ein negativer Einfallswinkel. Dementsprechend werden auch die Auslenkungen der Phantomschallquelle relativ zur Hauptachse bezeichnet: Bei der hier verwendeten Lautsprecheranordnung nach dem Standard ITU-R BS 775-1[ITU 1992] sind Auslenkungen Φ im Bereich -30° bis $+30^\circ$ möglich.

Die Testsignale wurden von den drei vorderen Lautsprechern L, C und R wiedergegeben. Die Ermittlung der wahrgenommenen Richtung der Phantomschallquelle erfolgte mittels Anzeige durch einen Laserpointer auf einem zweidimensionalen schachbrettartigen Raster. Dadurch

konnte nicht nur die horizontale, sondern auch die vertikale Auslenkung der Phantomschallquellen ermittelt werden. Die zweidimensionalen Ansichten der Versuchsergebnisse enthält [Wittek 2000].

Am Hörversuch nahmen 22 geübte Testpersonen teil.

a) Quasi-ORTF

Zum Vergleich der Abbildungseigenschaften einer dreikanaligen mit denen einer zweikanaligen Mikrofonkonfiguration wurde diese Anordnung in die Untersuchungen einbezogen. Als Aufnahmebereich wurde wie für die beiden anderen Anordnungen 120 Grad gewählt. Daraus ergeben sich nach den Abbildungsgesetzen folgende Werte:

Basisbreite L/R: 20 cm

Hauptachsenwinkel: $\pm 30^\circ$

Die rechnerische Lokalisationskurve verläuft demnach laut Abbildung 5.

Auch die im Experiment ermittelten Daten haben mit minimaler Abweichung einen solchen Verlauf. Die gemeinsame Darstellung der Hörversuchsergebnisse mit den rechnerisch ermittelten Auslenkungen aus den tatsächlichen Daten der Testsignale zeigt die Gültigkeit der rechnerischen Voraussage (Abbildung 6).

Im Hörversuche sind nur auf der linken Seite der Phantomschallquellenebene Richtungen ausgewertet worden, Abbildung erfolgt deshalb nun ausschließlich zwischen -30° und 0° :

Deutlich zu erkennen ist der sehr ausgewogene Verlauf der Lokalisationskurve, der für die optimale Hörposition Vorbild für die beiden dreikanaligen Anordnungen sein wird.

In den Randbereichen des Aufnahmebereichs ($\alpha = -60^\circ$ bzw. $+60^\circ$) kommt es zu einer für die Beteiligung von Laufzeitdifferenzen typischen Abflachung der Abbildungskurve.

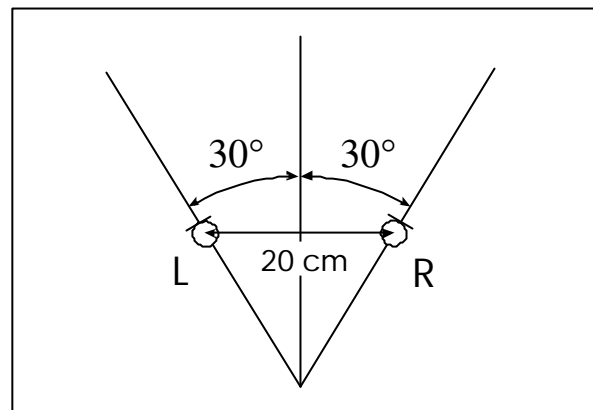


Abbildung 4: Quasi-ORTF-Anordnung

Quasi-ORTF ($\epsilon = \pm 30^\circ$, L-R= 20cm): rechnerische Lokalisationskurve

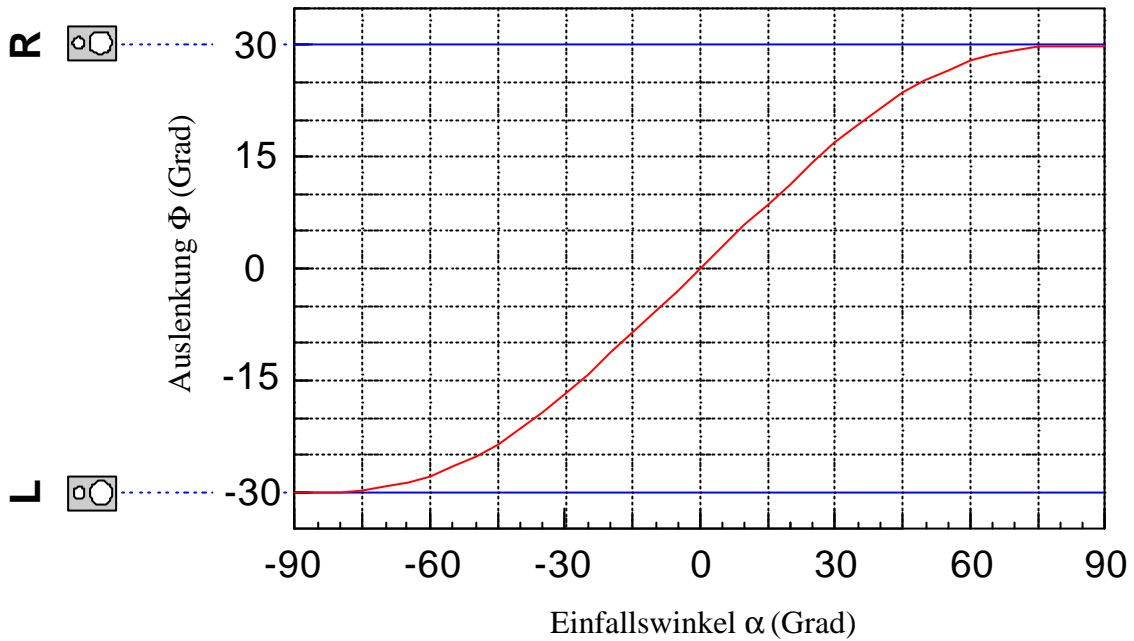


Abbildung 5: Lokalisationskurve(L-R) Quasi-ORTF 20cm, 30°: rechnerisch

Quasi-ORTF (120 Grad): Lokalisationskurven rechnerisch und experimentell

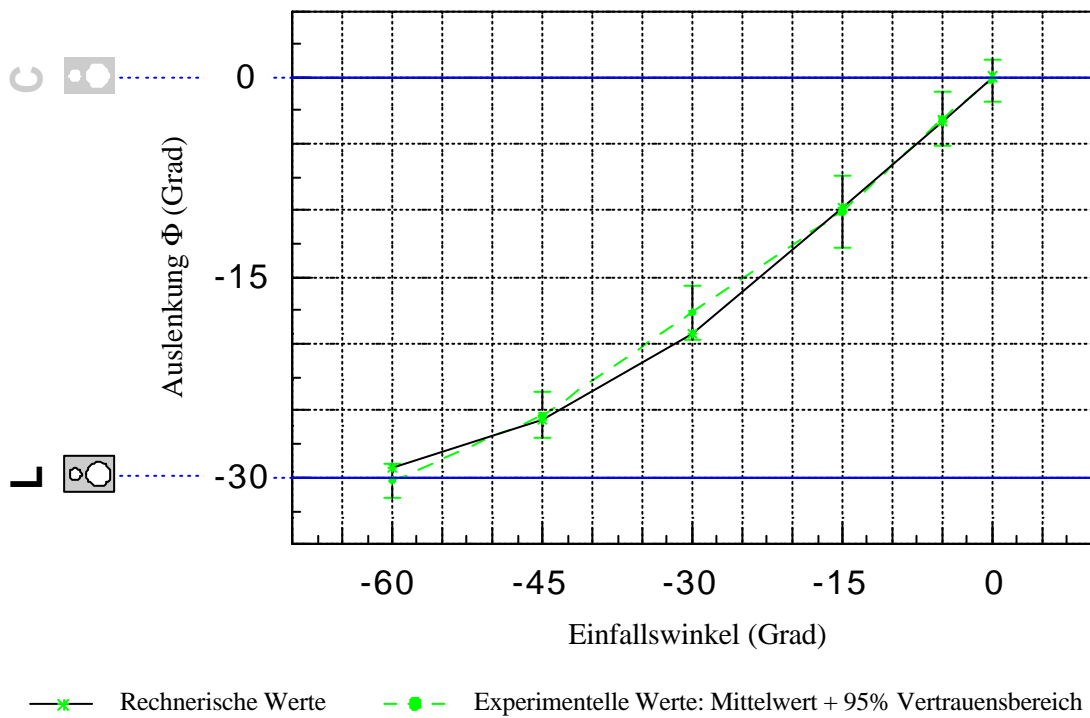


Abbildung 6: Lokalisationskurven(L-C) Quasi-ORTF 20cm, 30°: rechnerisch und experimentell

b) INA3 : „Ideale Nieren-Anordnung“

Diese Anordnung wurde in einer Diplomarbeit der FH Düsseldorf von Herrmann/Henkels veröffentlicht [Herrmann/Henkels 1998]: Die zugrundeliegende Philosophie ist eine getrennte, in den beiden Lautsprecherbasen L-C und C-R gewünschte Abbildung. Auch Williams [Williams 2000] empfiehlt u.a. diese Anordnung für einen Aufnahmebereich von 120 Grad.

Die Anordnung besteht aus drei Nierenmikrofonen, die den drei vorderen Kanälen diskret zugeordnet werden. Jeweils zwei Nieren auf einer Seite sind nach den Williams-Kurven [Williams 1987] so konfiguriert, daß sie genau den halben Aufnahmebereich der ganzen Anordnung abdecken.

Für einen Aufnahmebereich von 120 Grad ergeben sich folgende Werte:

Basis L-C und C-R: 53 cm

Hauptachsenwinkel L und R: +/- 60 Grad

Abstand L-R: 92 cm

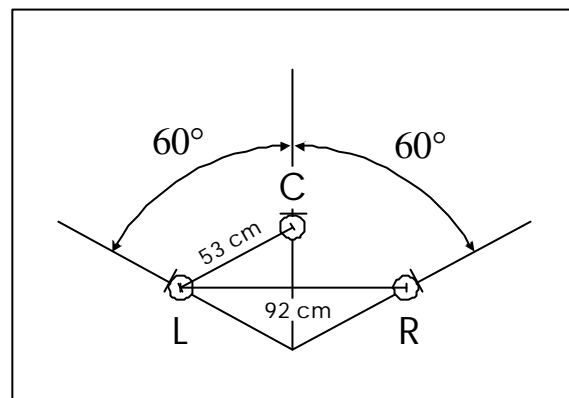


Abbildung 7: INA3-Anordnung für Aufnahmebereich 120 Grad

Die rechnerisch ermittelte

Lokalisationskurve zeigt Abbildung 8.

Im Hörversuch wurden leicht noch weiter nach außen verschobene Werte ermittelt (Abbildung 9).

Am Verlauf der Kurve ist ein Nachteil dieser Anordnung zu erkennen:

Die Lokalisationskurve verläuft nicht linear, es sind Ballungen im Bereich des Center-Kanals zu erkennen. Weitere Nachteile ergeben sich durch das vorhandene Übersprechen auf den an der Abbildung nicht beteiligten Kanal: Zwar wird dadurch nicht der Verlauf der Lokalisation am optimalen Hörplatz beeinflusst (Prezedenz-Effekt), aber sowohl Klangfarbe und Lokalisationsschärfe leiden unter der Dreifach-Übermittlung des Signals. An abweichenden Hörpositionen verstärkt sich dieser Effekt noch. Dies wurde in den nächsten Hörversuchen überprüft. (→ Abschnitt 5, 6, 7)

INA3 (120 Grad): rechnerische Lokalisationskurve

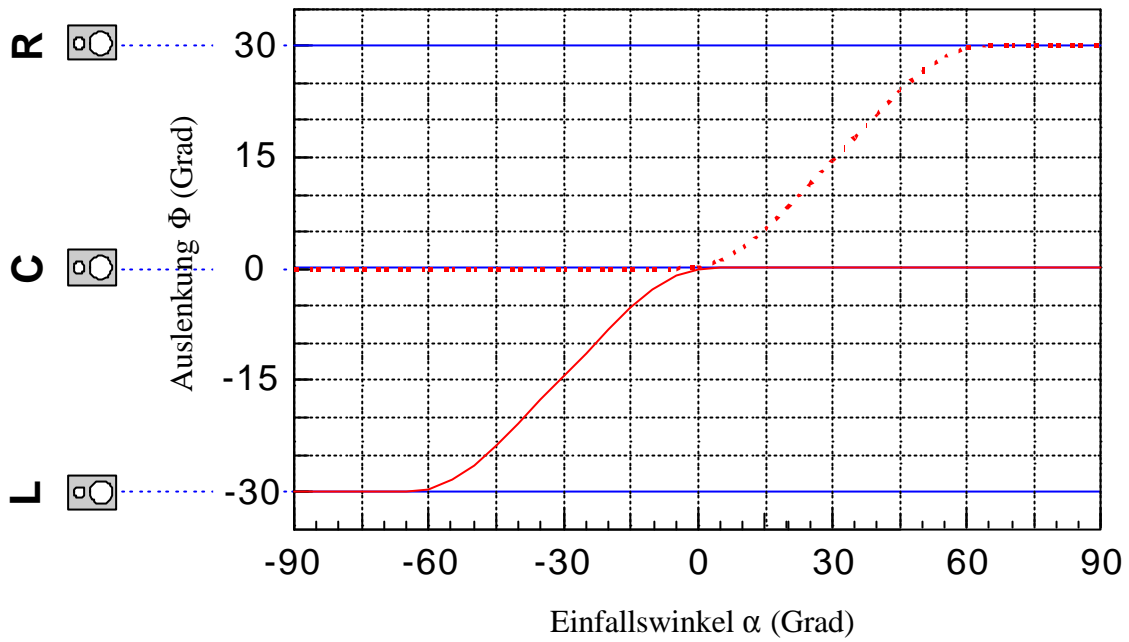


Abbildung 8: Lokalisationskurve(L-R) INA3 (120 Grad): rechnerisch

INA3 (120 Grad): Lokalisationskurven rechnerisch und experimentell

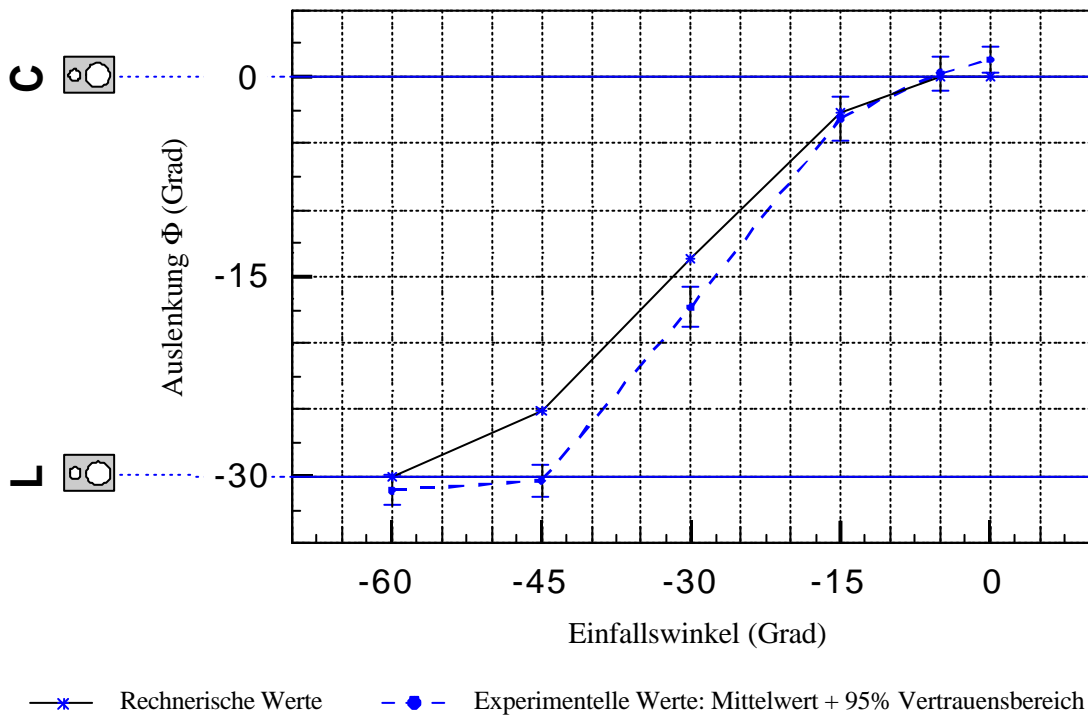


Abbildung 9: Lokalisationskurven(L-C) INA3 (120 Grad): rechnerisch und experimentell:

c) OCT: „Optimized Cardiod Triangle“

Günther Theile entwickelte ein L-C-R-Hauptmikrofon, das die Abbildungseigenschaften zwischen den vorderen Lautsprechern optimiert [Theile 2000]. Die zugrundeliegende Philosophie ist ebenfalls optimale Abbildung zwischen jeweils zwei benachbarten vorderen Lautsprechern, also in den Lautsprecherbasen L-C und C-R. Es besteht hauptsächlich aus drei gerichteten Mikrofonen, die den Kanälen L, C und R diskret zugeordnet werden. Für die Kanäle L und R sind jeweils eine Superniere vorgesehen (L_1 , R_1), ausgerichtet mit einem Hauptachsenwinkel von ± 90 Grad. Den Center-Kanal beschickt ein nach vorne gerichtetes Nierenmikrofon in einem Abstand von 8 cm zur Basis der äußeren Mikrofone.

Zur Ergänzung des Pegelabfalls der Supernieren bei tiefen Frequenzen werden den Kanälen L und R außerdem die Signale zweier tiefpaßgefilterter Kugeln zugemischt, die nahe bei den Supernieren angebracht sind (L_2 , R_2).

Der Aufnahmebereich ergibt sich direkt aus dem variablen Abstand der äußeren Mikrofone. Für einen Aufnahmebereich von 120 Grad beträgt der Abstand 70cm.

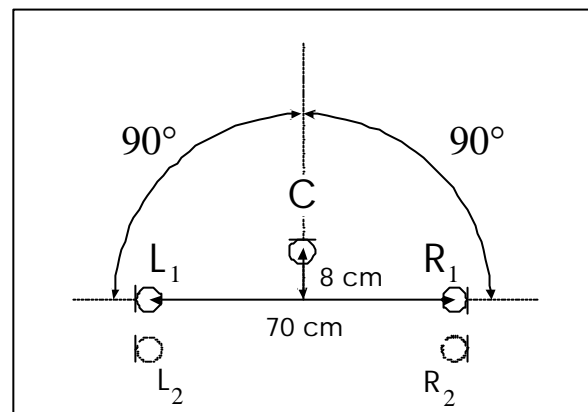


Abbildung 10: OCT-Anordnung (120 Grad)

(deshalb teilweise auch OCT 70 genannt)

Vorteile dieser Anordnung sind:

- ein senkrecht auf die Anordnung treffendes Signal, also ein Signal mit dem Einfallswinkel 0 Grad wird überwiegend im Center-Lautsprecher wiedergegeben. Das Übersprechen auf die beiden anderen Kanäle liegt an diesem Punkt bei höchstens -9 dB.
- Liegt Abbildung zwischen zwei benachbarten Lautsprechern vor, wird das Übersprechen auf den dritten Lautsprecher minimiert. Also: Wird z.B. eine Phantomschallquelle zwischen L und C gebildet, ist der Pegel auf Kanal R durch das Minimum der rückwärtig angesprochenen Superniere minimal.

Ein Nachteil ergibt sich durch die spezielle, unsymmetrische Kombination von Pegel- und Laufzeitdifferenzen: Im Bereich $20^\circ < |\alpha| < 35^\circ$ wirken die Signaldifferenzen gegensinnig, dies führt zur Verminderung der Lokalisationsschärfe.

OCT (120 Grad) : rechnerische Lokalisationskurve

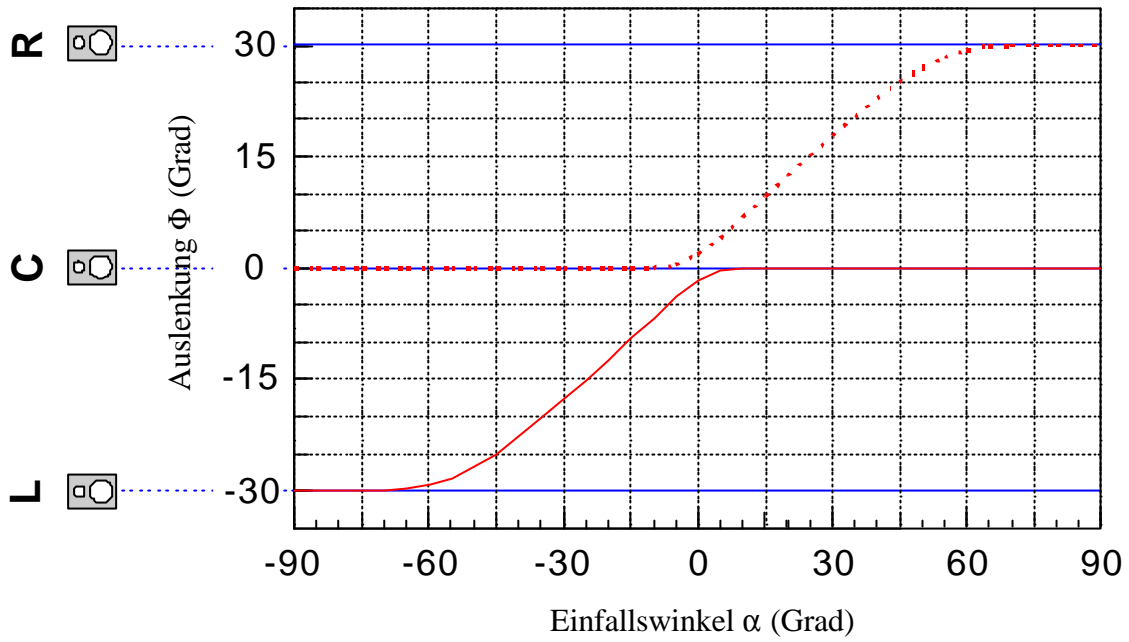


Abbildung 11: Lokalisationskurve(L-R) OCT (120 Grad): rechnerisch

OCT (120 Grad): Lokalisationskurven rechnerisch und experimentell

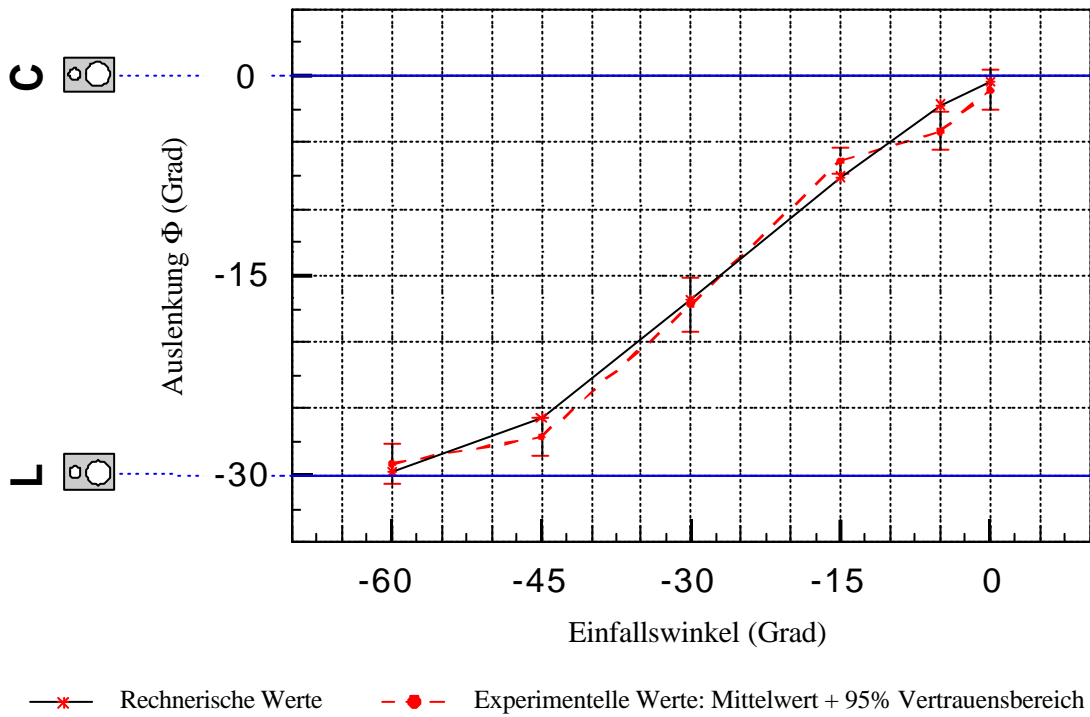


Abbildung 12: Lokalisationskurven(L-C) OCT (120 Grad): rechnerisch und experimentell

Wie aber an den Lokalisationskurven (Abbildung 11, 12) zu erkennen ist, wird gerade durch die besondere Konfiguration das Ideal einer linear verlaufenden Abbildung weitestgehend erreicht. Der Vergleich mit den im Experiment ermittelten Daten macht die Gültigkeit der rechnerisch ermittelten Daten deutlich (Abbildung 12 - nur zwischen L und C gemessen).

5. Hörversuch 2: Lokalisation an nicht-optimaler Sitzposition

Die Stabilität der Abbildung auch an nicht-optimalen Hörpositionen ist Inhalt der nächsten drei Hörversuche. Zunächst wurde der Verlauf der Lokalisationskurve an einer seitlich verschobenen Sitzposition untersucht

Der gewählte Sitzplatz der Versuchspersonen war bei einer Lautsprecherbasis L-R von 2,50m um 50 cm , also 20% der Basis nach links verschoben:

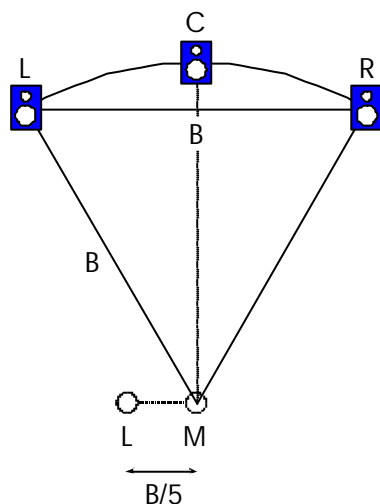


Abbildung 13: Sitzpositionen

M: mittlere, optimale Sitzposition
L: seitlich verschobene Sitzposition

Die ermittelten Daten zeigen deutlich die Unterschiede zwischen den drei untersuchten Verfahren (Abbildung 14):

- Die Zweikanalanordnung Quasi-ORTF kann bei einer solchen Abweichung von der optimalen Hörposition keine zufriedenstellende Verteilung der Phantomschallquellen mehr bieten. Auch Mehrkanalkonfigurationen, die dem Center keine entscheidende Rolle bei der Lokalisation zuordnen, werden diese Verzerrungen aufweisen.
- Die Abbildungskurve der Anordnung INA3 wird im mittleren Bereich deutlich zum Hörer hingezogen, was eine Folge des Übersprechens auf den linken Lautsprecher darstellt

(Tabelle 2). Außerdem wird hier Auslenkung wesentlich durch die bekanntermaßen instabileren Laufzeitdifferenzen erreicht.

- Die OCT-Kurve zeigt besonders im Center-Bereich die größte Stabilität: ein Signal, das in der Mitte abgebildet werden sollte, bleibt stabil im Center-Lautsprecher.

Sitzposition LINKS: Lokalisationskurven experimentell

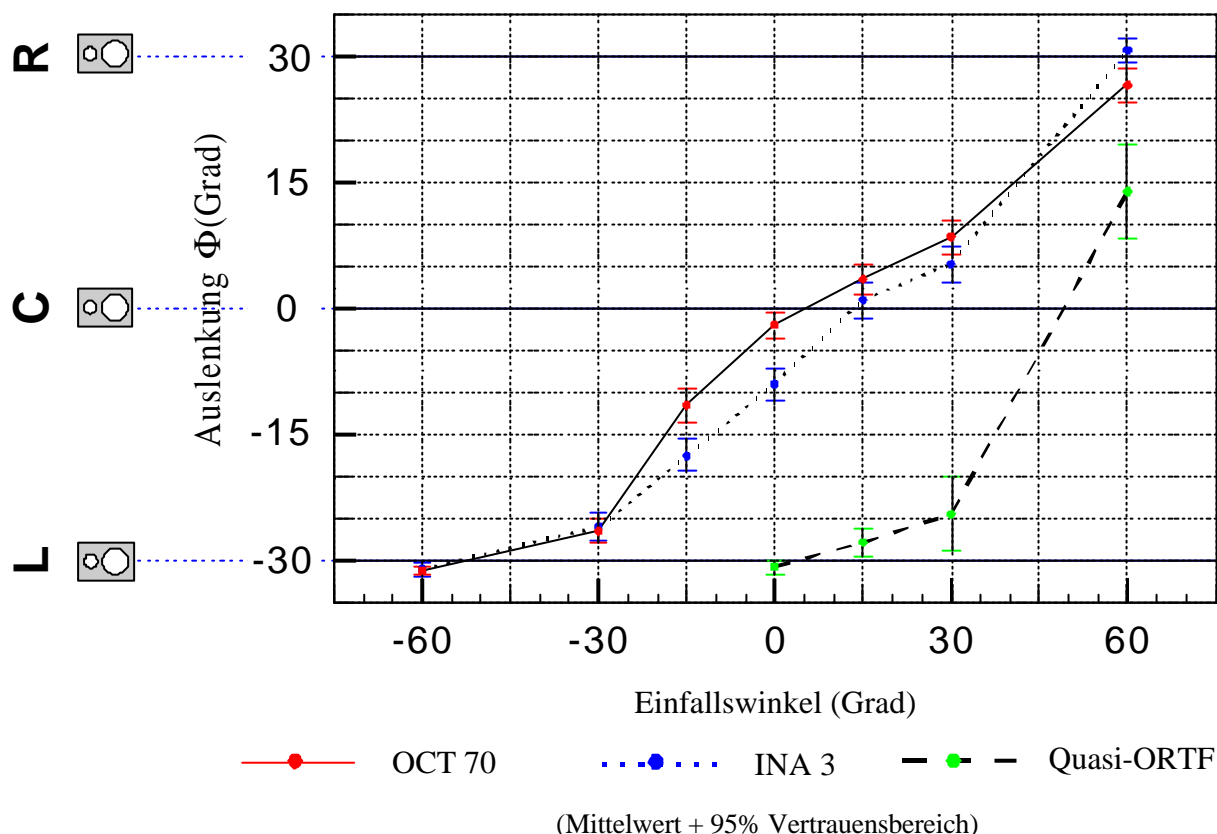


Abbildung 14: Hörversuch seitliche Sitzposition (links): experimentelle Lokalisationskurven

Ein Vergleich der Übersprechpegel des jeweils nicht an der Abbildung beteiligten Mikrofons macht den Unterschied zwischen OCT und INA3 in diesem Punkt deutlich:

Durch die Beteiligung von Supernieren, ausgerichtet im Hauptachsenwinkel 90° ist der Übersprechpegel bei der OCT-Anordnung minimal.

	Einfallswinkel	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
Pegel L in dB (relativ C+R)	INA3	-4,4	-5,7	-7,0	-8,4	-10,0	-11,9	-14,0
	OCT	-9,2	-12,3	-15,4	<20	<20	-19,5	-15,8

Tabelle 2: rechnerische Übersprechpegel des linken Kanals in der rechten Abbildungszone im Vergleich

6. Hörversuch 3: Abbildungsschärfe

Weiterhin wurden an sowohl optimalem wie auch seitlich verschobenem Hörplatz die Testsignale in Bezug auf ihre Abbildungsschärfe untersucht. Abbildungsschärfe ist die der Abbildung zwischen Lautsprechern zugeordnete Lokalisationsschärfe. Das Optimum an Abbildungsschärfe stellt ein einziger Lautsprecher dar.

Die verschiedenen Phantomschallquellen wurden folgerichtig im Hörversuch im direkten Vergleich mit einer Referenz präsentiert, die aus einem einzelnen Lautsprecher bestand.

Die Orte der Phantomschallquelle und der jeweiligen Referenz wurden für jedes Testbeispiel in Übereinstimmung gebracht. Zur Beurteilung kamen die Signale der Einfallswinkel 0, 5, 15 und 30 Grad, also bei mittlerer Sitzposition im bzw. rechts vom Center-Lautsprecher geortete Phantomschallquellen.

Die Frage lautete nun, ob eine Veränderung der Abbildungsschärfe zwischen den beiden dargebotenen Signalen wahrnehmbar ist. Dazu stand eine 5-stufige Skala zur Verfügung:

Eine Veränderung der Abbildungsschärfe ist ...

nicht wahrnehmbar: 5

leicht wahrnehmbar: 4

wahrnehmbar: 3

deutlich wahrnehmbar: 2

sehr deutlich wahrnehmbar: 1

Wie man an den Ergebnissen erkennen kann, können die drei Mikrofonanordnungen aus der mittleren Hörposition ähnlich gute Abbildungsschärfe erzielen (Abbildung 15). Einzig die durch das Signal aus exakt 0 Grad erzeugte Phantomschallquelle zeigt deutlichere Unterschiede:

Hier erreicht OCT durch weitgehendes Vermeiden von Übersprechen auf die Kanäle L und R die höchste Abbildungsschärfe. ORTF zeigt an diesem Punkt die niedrigste Abbildungsschärfe, während INA3 einen Mittelwert aus den beiden anderen darstellt.

Für alle beteiligten Anordnungen gilt: Mit größeren Einfallswinkeln sinkt die Abbildungsschärfe, dies stellt bei den dreikanaligen Anordnungen den Übergang von der Real- zur Phantomschallquelle dar. Die Zweikanalanordnung zeigt diese Entwicklung ebenfalls, hier sinkt die Abbildungsschärfe durch steigende Laufzeitdifferenzen.

Abbildungsschärfe - mittlere Sitzposition

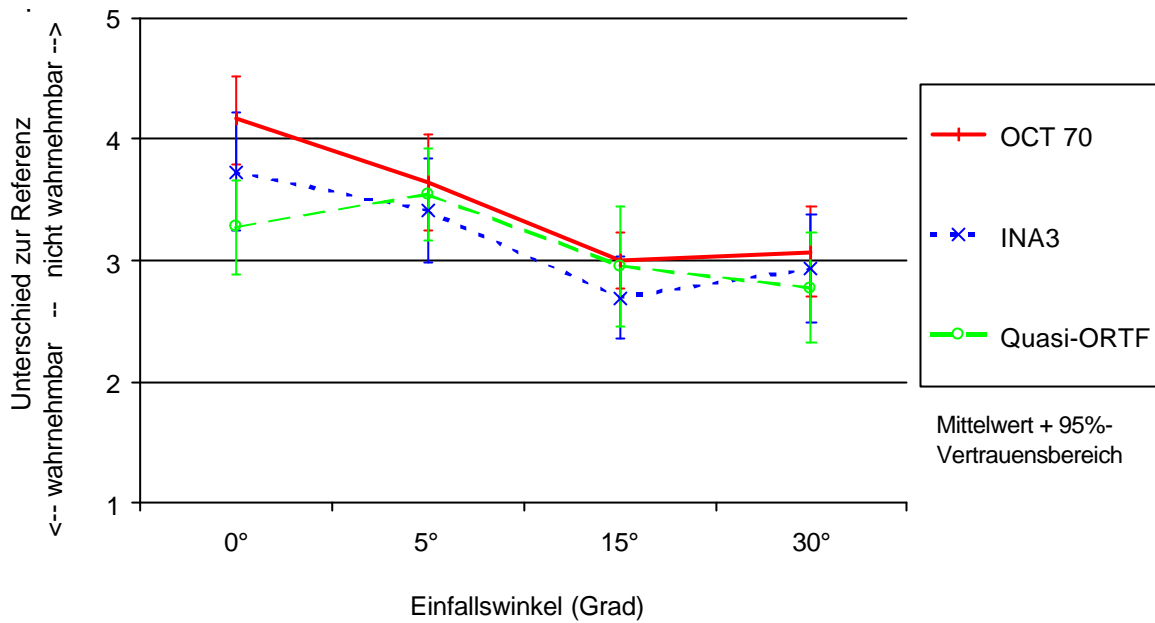


Abbildung 15: Hörversuch mittlere Sitzposition: Beurteilung der Abbildungsschärfe

Abbildungsschärfe - seitliche Sitzposition

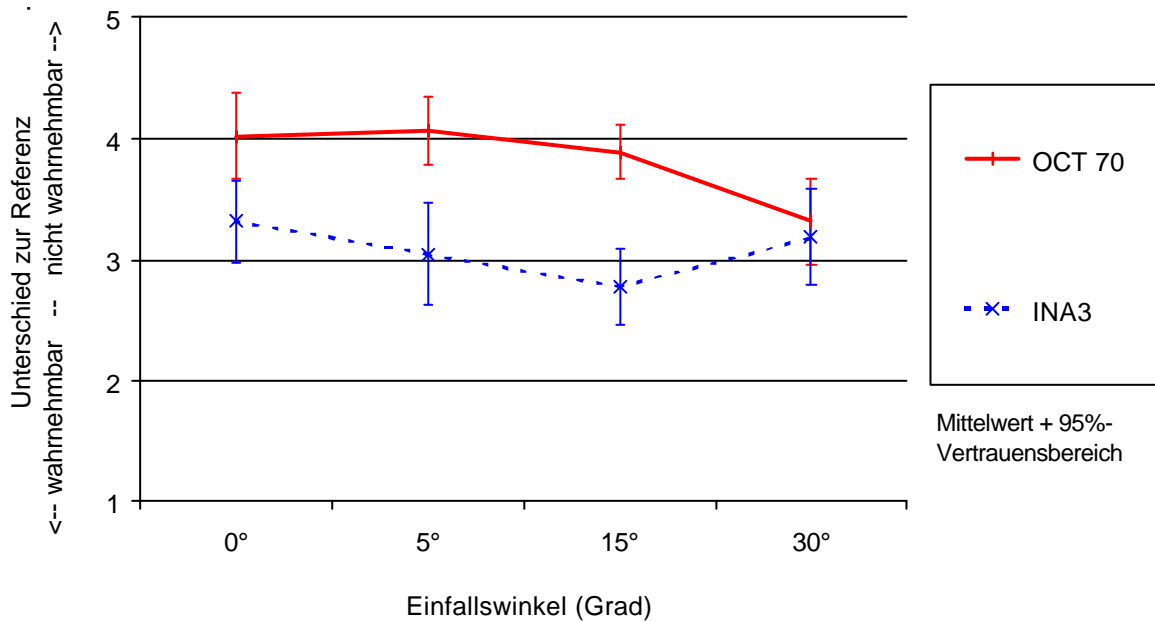


Abbildung 16: Hörversuch seitliche Sitzposition: Beurteilung der Abbildungsschärfe

An der seitlich verschobenen Sitzposition wird der Unterschied zwischen den Verfahren OCT und INA3 deutlich (Abbildung 16):

INA3 zeigt an nicht-optimalen Hörpositionen deutlich größere Unterschiede im Vergleich zur Referenz: Sowohl auftretendes Übersprechen auf den linken Kanal (siehe Tabelle 2) als auch die für seitlich verschobene Sitzpositionen ungünstigere Zusammensetzung der Signaldifferenzen (mehr Wirkung durch Laufzeit) wirken sich negativ aus. Beim OCT-Mikrofon entstehen alle drei Signale durch eine dominierende Rolle des Center-Lautsprechers, was dazu führt, daß die Beurteilung an seitlichen Sitzpositionen sogar noch besser ausfällt. Im Gegensatz dazu ist die Beteiligung aller drei Lautsprecher beim INA3-Mikrofon ungünstig für die Erzeugung optimaler Abbildungsschärfe.

ORTF-Signale wurden wegen der schlechten Stabilitätseigenschaften nicht untersucht.

Alle beteiligten Phantomschallquellen würden in nur einem Lautsprecher geortet, dies ergäbe bei der Frage nach der Abbildungsschärfe keinen Sinn.

7. Hörversuch 4: Klangfarbe

Schließlich wurde noch ein weiterer Parameter untersucht, der eine wesentliche Abbildungseigenschaft darstellt, nämlich die Klangfarbe.

Quellsignal war nun männliche Sprache, da sich die gegenüber weiblicher Sprache mehr enthaltenen tieffrequenten Anteile erfahrungsgemäß gegenüber Klangbeeinträchtigungen kritisch verhalten.

Wiederum wurden die verschiedenen Signale direkt im Vergleich mit dem einzelnen Lautsprecher als Referenz präsentiert. Dieser Lautsprecher wurde mit dem Signal einer einzigen Niere der Anordnungen bestückt, um Klangfarbenunterschiede allein aufgrund der Mikrofonübertragungsfunktion zu verhindern.

Mit derselben fünf-stufigen Skala sollten nun Veränderungen in Bezug auf die Klangfarbe beurteilt werden.

Aus den Bewertungen an der mittleren Sitzposition (Abbildung 17) läßt sich schließen:

Beide dreikanaligen Anordnungen können im Center-Bereich näher an der Referenz sein als die zweikanalige Anordnung ohne Center.

Allerdings mindert sich der positive Effekt für INA3 schon bei der ebenfalls aus der Mitte

Klangfarbe - mittlere Sitzposition

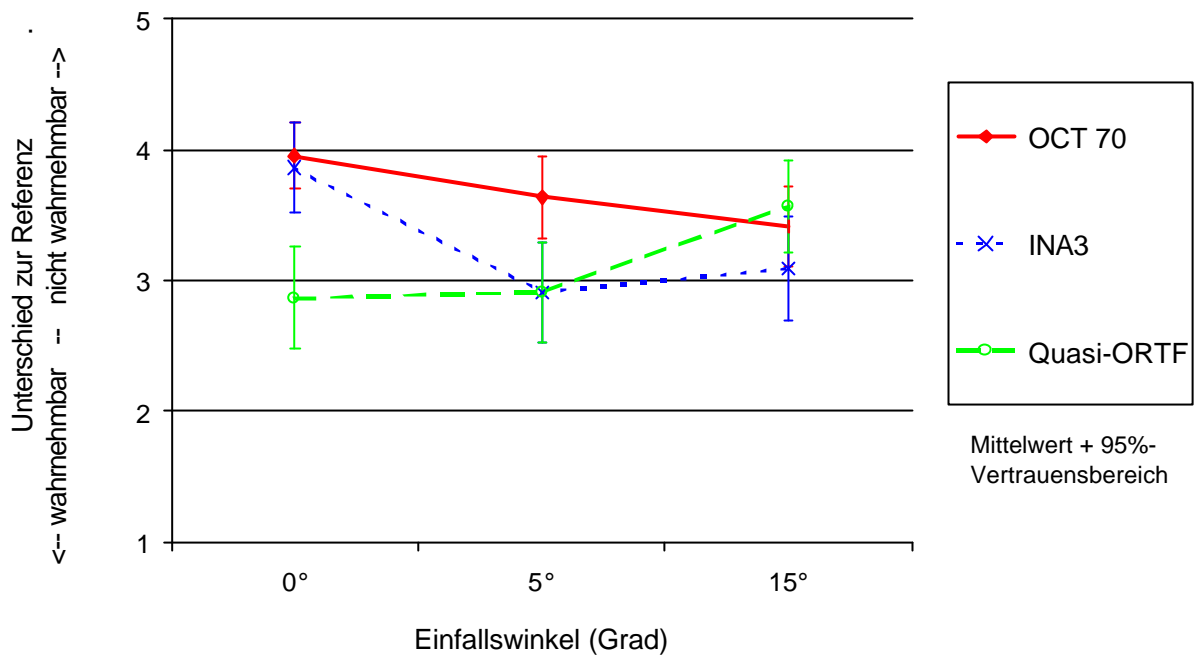


Abbildung 17: Hörversuch mittlere Sitzposition: Beurteilung der Klangfarbe

Klangfarbe - seitliche Sitzposition

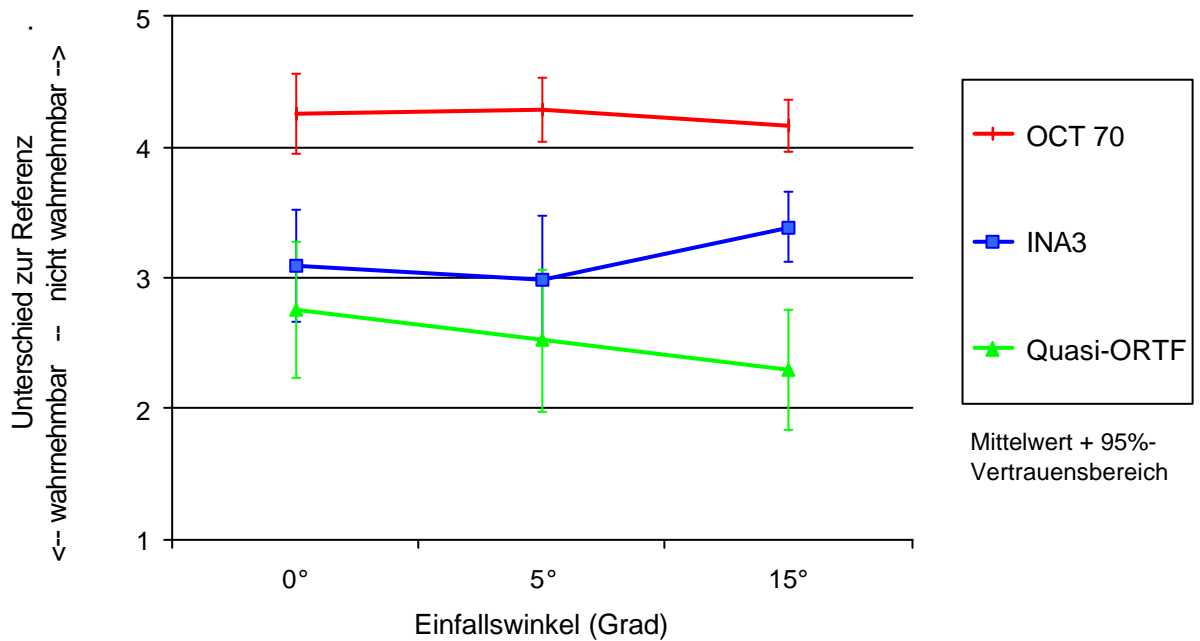


Abbildung 18: Hörversuch seitliche Sitzposition: Beurteilung der Klangfarbe

wahrgenommenen Phantomschallquelle des aus 5 Grad aufgenommenen Signals. Auch OCT zeigt bei zunehmender Entfernung vom Center-Lautsprecher steigende Beeinträchtigung.

Wie schon verschiedene Autoren [Martin et al. 1999][Gernemann 1998] festgestellt hatten, ist bei der Entstehung einer Phantomschallquelle in einer der kleinen vorderen Lautsprecherbasen L-C oder C-R durchaus mit einer größeren Beeinträchtigung der Klangfarbe durch Entstehung von Kammfiltereffekten zu rechnen. Tatsächlich kann die zweikanalige Anordnung bei größeren Auslenkungen bessere Beurteilungen als die beiden dreikanaligen Anordnungen erreichen.

Auch von nicht-optimalen Hörpositionen kann OCT sehr nahe an die Referenz gelangen (Abbildung 18). Die schon im vorhergegangenen Hörversuch (→ 6.Hörversuch 3) besprochenen Vorteile zeigen auch in Bezug auf die Klangfarbe Wirkung. Durch die zunehmende Dominanz des Center-Lautsprechers erzielt OCT an seitlich verschobener Sitzposition sogar noch bessere Bewertungen als an der optimalen Sitzposition.

Die beiden anderen Anordnungen INA3 und Quasi-ORTF weisen größere Unterschiede zur Referenz in Bezug auf die Klangfarbe auf. Wiederum wird gerade bei der Bewertung der INA3-Signale die Beeinträchtigung durch Übersprechen deutlich. Die entstehende dreifache Übermittlung des Signals bewirkt Klangverfärbungen (siehe dazu auch [Griesinger 2000]). Quasi-ORTF verliert an seitlichen Sitzpositionen seine Vorteile bei größeren Auslenkungen.

8. Zusammenfassung

Folgende Konsequenzen lassen sich aus den Versuchsergebnissen ziehen:

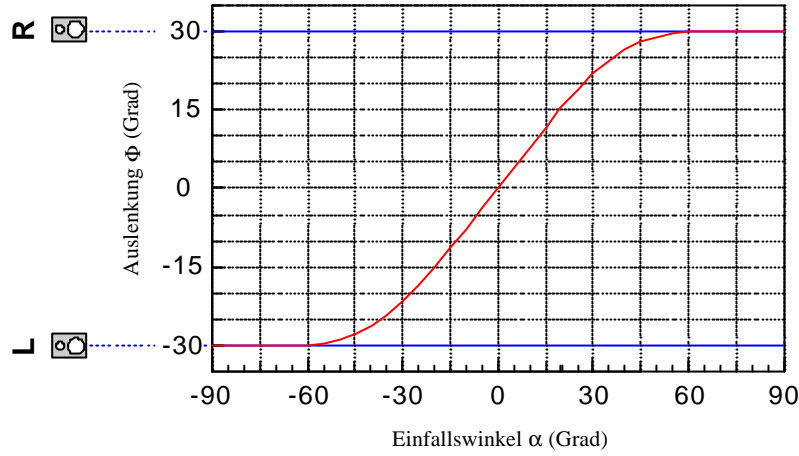
- Der Center-Kanal kann bei geeigneter Konfiguration der Mikrofonanordnungen Stabilität erzeugen, ohne negative Einflüsse auf das Klangbild zu haben. Er kann positive Einflüsse auf die Wahrnehmung von Klangfarbe und Abbildungsschärfe haben.
- Bei ungenügendem Vermeiden von Übersprechen bzw. nachteiliger Zusammensetzung der Signaldifferenzen mindern sich diese positiven Effekte mehr oder weniger deutlich.

Außerdem wurde eine Möglichkeit vorgestellt, rechnerisch die Lokalisationskurve einer zwei- oder dreikanaligen Mikrofonanordnung zu bestimmen. Diese Anwendung ist unter dem Namen „Image Assistant“ online bedienbar: www.hauptmikrofon.de

Anhang 1: Abbildungen einiger Computer-errechneter Lokalisationskurven

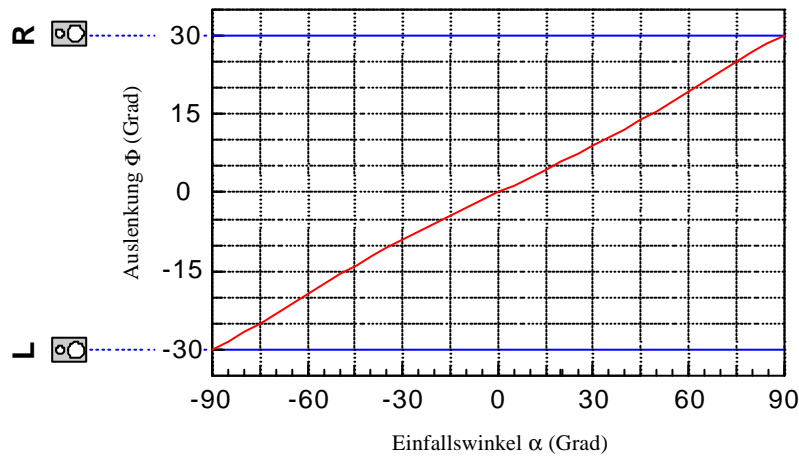
1. Abbildung 19: ab 40cm

ab (Kugeln, L-R= 40cm): rechnerische Lokalisationskurve



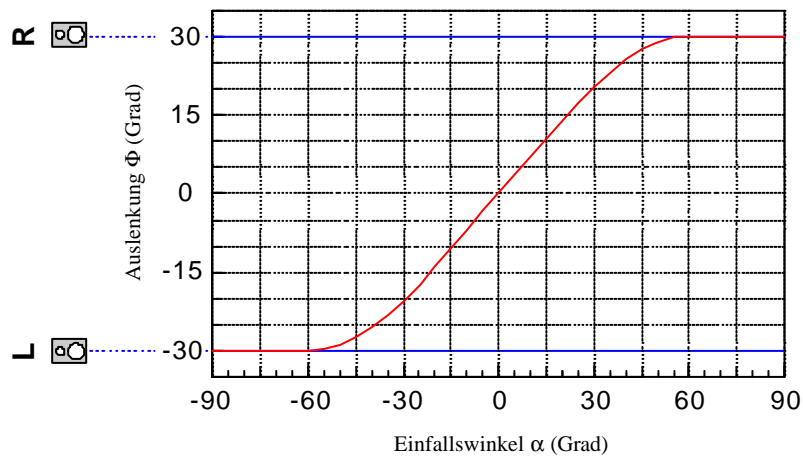
2. Abbildung 20: XY

XY ($\epsilon = 45^\circ$, L-R= 0): rechnerische Lokalisationskurve

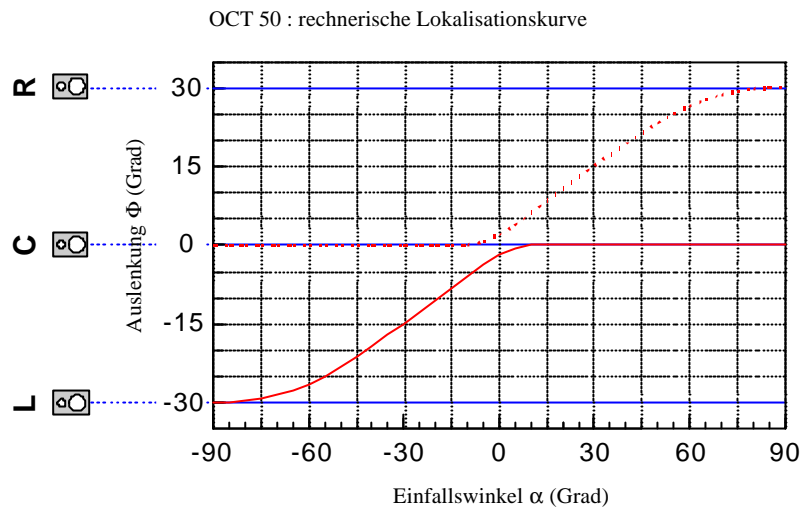


3. Abbildung 21: ORTF

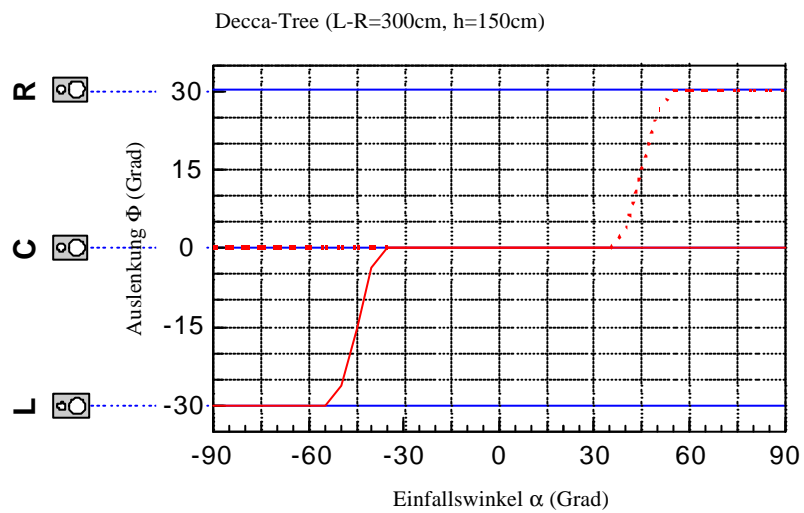
ORTF ($\epsilon = \pm 55^\circ$, L-R= 17,5cm): rechnerische Lokalisationskurve



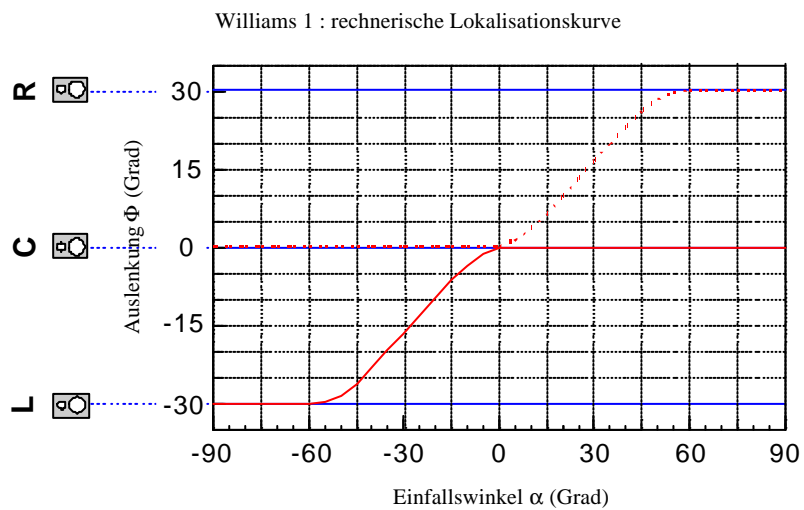
4. *Abbildung 22: OCT 50 – wie in Abschnitt 4c) nur $L-R = 50\text{cm}$*



5. *Abbildung 23: Decca-Tree, $L-R=300\text{cm}$, $h=150\text{cm}$*



6. *Abbildung 24: approach by Williams (110 Grad): $L-C = 55\text{cm}$, $L-R = 100\text{cm}$, $\mathbf{e} = 75^\circ$*



Literaturhinweise

1. EBU Tech.3253-E: *Sound quality assessment material recordings for subjective tests*. Genf, 1988
2. Gernemann, Andreas(1998): *Mikrofonanordnungen für drei Front-Kanäle – eine systematische Betrachtung* in Bericht zur 20. Tonmeistertagung, Saur, 1999, S. 518-542
3. Griesinger, David(2000): *Physik, Psychoakustik und Surround-Technik*, aus Production Partner Spezial 21.Tonmeistertagung, Musik-Media-Verlag Ulm 2000
4. Herrmann, Ulf/ Henkels, Volker: *Vergleich von 5 verschiedenen Hauptmikrofonverfahren* in Bericht zur 20. Tonmeistertagung, Saur, 1999, S. 508-517
5. Martin, Woszczyk, Corey, Quesnel - McGillUniversity(1999): *Sound Source Localization in a Five-Channel Surround Sound Reproduction System*, AES-Preprint No.4994
6. Recommendation ITU-R BS.775-1: *Multichannel stereophonic system with and without accompanying picture*. Genf, 1992.
7. Theile, Günther(2000): *Multichannel Natural Recording*, AES-Preprint No.5156
8. Williams, Michael(1987): *Unified theory of microphone systems for stereophonic sound recording*. AES-Preprint No.2466
9. Williams, Michael(2000): *Multichannel Microphone Array Design*. AES-Preprint No.5157
10. Wittek, Helmut(2000): *Untersuchungen zur Richtungsabbildung von L-C-R-Hauptmikrofonen*, Diplomarbeit FH Düsseldorf / Institut für Rundfunktechnik München