

**Untersuchung des OCT-Aufnahmesystems  
hinsichtlich psychoakustischen Konzepts sowie  
dessen Abbildungseigenschaften**

**Bakkalaureatsarbeit**

**SS 2009**

**Verfasser:  
Florian Wendt**

**Universität für Musik und darstellende Kunst Graz  
Institut für Elektronische Musik und Akustik**

**Aufnahmetechnik 1 SE**

**Betreuer:  
Univ.Ass. DI Dr.techn. Alois Sontacchi**

**Juni 2009**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2. Hauptmikrofon OCT</b>	<b>5</b>
2.1 L-C-R-Hauptmikrofon	5
2.2 Grundprinzip des OCT	5
2.3 Direktschall und Lokalisation	6
2.4 Intensitäts- und Laufzeitstereofonie	7
2.5 Kanalübersprechen	10
2.6 Auswirkungen des Kanalübersprechens.	10
2.7 Kanaltrennung	12
2.8 Konfigurationen des OCT	12
2.9 Aufnahmewinkel	14
<b>3. Abbildungsqualität</b>	<b>15</b>
3.1 Die optimale Abhörposition	15
3.2 Die Lokalisationskurve	15
3.3 Berechnung von Lokalisationskurven	16
3.4 Vergleich Theorie – Praxis.	21
3.5 Einsetzbarkeit	23
3.6 Lokalisationskurven im Vergleich	24
3.7 Abbildungsschärfe	28
3.8 Klangfarbe	29
3.9 Abbildungseigenschaften außerhalb des Sweet Spots	30
<b>4. Erweiterungen des L-C-R-Hauptmikrofons</b>	<b>36</b>
4.1 Frühe Reflexionen.	36
4.2 Nachhall und späte Reflexionen.	37
4.3 Abbildung von Räumlichkeit	37
4.4 Der Einfluss des Direktschalls	38
4.5 Das R/D-Verhältnis	38
4.6 Abstand Hauptmikrofon – Raummikrofon	38
4.7 Abstand zwischen den Mikrofonen und Kohärenzgrad	39
<b>5. Trennung von Haupt- und Raummikrofon</b>	<b>41</b>
5.1 Raummikrofonarrays	41
5.2 Abbildungsqualität der Raummikrofone	43
5.3 Einfluss des Kohärenzgrades auf die Abbildungsqualität.	43
5.4 Abbildungsqualität des Gesamtsystems	44

<b>6. Kompaktes Surround-Mikrofon</b> . . . . .	<b>48</b>
6.1 Grundprinzip OCT-Surround . . . . .	48
6.2 Wahl des Aufstellungsortes . . . . .	49
6.3 Abbildungsqualität . . . . .	49
6.4 Abbildungsqualität von U-Musik . . . . .	52
<b>7. Zusammenfassung.</b> . . . . .	<b>54</b>
<b>Quellenverzeichnis</b> . . . . .	<b>55</b>

# 1. Einleitung

Der 3/2-Stereo-Standard<sup>1</sup> konnte sich in den vergangenen Jahren durch die Digitalisierung der Medien sowie der Entwicklung der Technik von seinem Ursprung, dem Kinobereich auch in die Wohnzimmer des Heimanwenders durchsetzen. Seine Vorteile – nämlich die Einbindung des Zuhörers in ein umhüllendes Klangerlebnis (Surround Sound) kann nun auch für Musik-Produktionen eingesetzt werden. Infolge dessen wurden neue Mikrofonsysteme entwickelt, um Aufnahmen mit relativ geringem Aufwand in diesem Format zu ermöglichen.

Die Mikrofonsysteme verfolgen dabei unterschiedliche Konzepte. Ihr Ziel liegt jedoch nach [1] stets in der Erfüllung folgender Punkte:

- Richtungsdarstellung zwischen den Lautsprechern L, C und R
- Erzeugung von Räumlichkeit und räumlicher Eingebundenheit
- Erzeugung einer geeigneten Klangfarbe

Die folgende Arbeit beschäftigt sich mit dem Mikrofonierungsverfahren OCT. Im Kapitel 2 werden das zugrundeliegende psychoakustische Konzept sowie dessen Realisierung betrachtet. Anschließend wird im Kapitel 3 die Umsetzung dieses Konzepts hinsichtlich seiner Abbildungsqualitäten untersucht und mit gleichwertigen Mikrofonsystemen verglichen. Im letzten Teil der Arbeit (Kapitel 4 und 5) werden auf die kombinierten Lösungen OCT-Surround, sowie die Surround-Mikrofonierung durch hinzufügen von Raummikrofonen eingegangen und mit anderen Verfahren verglichen.

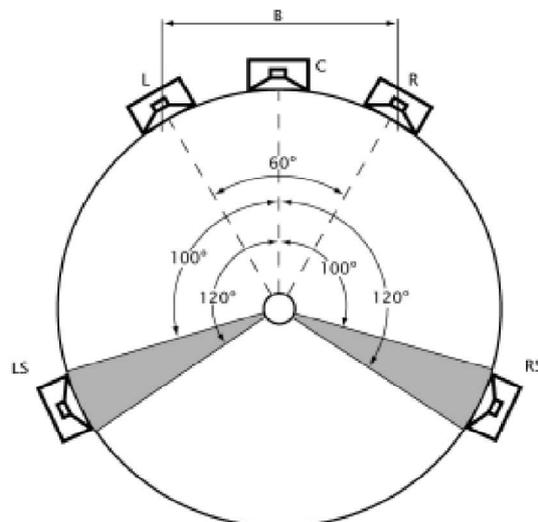


Abb. 1: 3/2-Stereo-Standard, [14]

Ziel der Arbeit ist es nun das Konzept des Mikrofonsystems OCT zu verstehen sowie Vor- und Nachteile im Vergleich mit anderen Mikrofonierungs-Konzepten in unterschiedlichen Einsatzgebieten aufzuzeigen.

<sup>1</sup> [ITU 1992], Bezeichnung aus dem Surround-Bereich, bezeichnet 5 Kanäle in Hinblick auf 3 vordere und 2 hintere Lautsprecher (Abbildung 1)

## 2. Hauptmikrofon OCT

### 2.1 L-C-R-Hauptmikrofon

Wie bereits in der Einleitung angeführt wurde, besteht ein wichtiger Punkt bei der Erzeugung von Aufnahmen in der optimalen Richtungsabbildung zwischen den Lautsprechern. Diese Anforderung kann mit der Verwendung eines sogenannten L-C-R-Hauptmikrofon erfüllt werden, welches zur Aufnahme von Direktschall (Kapitel 2.3) verwendet wird. Das L-C-R-Hauptmikrofon besteht aus 3 Mikrofonen, welche direkt die Signale für die Kanäle Links (L), Center (C) und Rechts (R) des 3/2-Stereo-Standard [ITU 1992] liefert. Das in dieser Arbeit behandelte OCT ist ein Vertreter dieser L-C-R-Hauptmikrofone.

Um eine vollständige 3/2-Surround-Aufnahme zu erzeugen und zur Erzeugung von Räumlichkeit sowie räumlicher Eingebundenheit muss das Hauptmikrofon mit Raummikrofonen ergänzt werden (Kapitel 4 und 5).

### 2.2 Grundprinzip des OCT

Günther Theile, der Entwickler des OCT-Hauptmikrofons forderte bereits im Jahr 2000 die Entwicklung neuer Mikrofonierungs-Konzepte um Aufnahmen im 3/2-Stereo-Standard zu erzeugen. Dazu sollen nach Theile die grundlegenden psychoakustischen Phänomene des menschlichen Hörens verstanden werden. Aufbauend auf diesen Gesetzen soll so eine Mikrofonanordnung entwickelt werden, welche naturgetreue Aufnahmen im 3/2-Stereo-Format erzeugt. Dies bedeutet, es sollen die ästhetischen Anforderungen erfüllt, sowie die klanglichen und räumlichen Eigenschaften der Originalquelle so gut wie möglich übernommen werden [4].

Das Ergebnis seiner Arbeit präsentierte Theile schließlich 1 Jahr später im Rahmen der *19th AES International Conference* in Elmau [2]. Sein entwickeltes Hauptmikrofon trägt den Namen „*Optimized Cardioid Triangle*“ oder kurz *OCT*.

Gehen wir nun der Frage auf den Grund, wie das Hauptmikrofon zu seinen Namen kam:

- *Triangle* (Deutsch: *Dreieck*) bezeichnet für den Aufbau der drei Mikrofone. Dabei liefern 2 seitlich gerichtete ( $90^\circ$  off-center) Mikrofone die Signale für die Kanäle Links und Rechts. Ihr Abstand zueinander (Basisbreite  $b$ ) ist variabel und beeinflusst den Aufnahmewinkel. Den Center-Kanal speist ein nach vorne gerichtetes Mikrofon, welches sich in der Mitte zwischen den beiden Seitenmikrofonen in einem Abstand (Höhe  $h$ ) befindet.

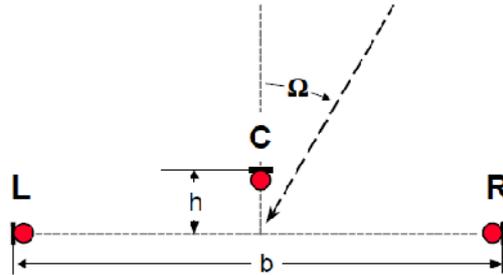


Abb. 2: Aufbau OCT, [2]

- *Cardioid* (Deutsch: *herzförmig*) kommt von der Richtcharakteristik der verwendeten Mikrofone. Hierbei ist im Deutschen der Gebrauch von *nierenförmiger* Richtcharakteristik jedoch treffender. Somit wird angedeutet, dass Mikrofone mit Nieren- bzw. Supernierencharakteristik verwendet werden, wobei es jedoch Ausnahmen geben kann (siehe Kapitel 2.8).
- *Optimized* (Deutsch: *optimiert*) bedeutet, dass die Abstände ( $h$  und  $b$ ) sowie die Richtcharakteristiken der Mikrofone zueinander optimiert wurden, d.h. je nach verwendeter Charakteristik variieren Höhe  $h$  sowie Basisbreite  $b$ . Somit ergeben sich verschiedene Varianten des OCT (Kapitel 2.8).

Zur Verständnis von Dimensionierung bzw. Optimierung der Mikrofonabstände und -charakteristiken müssen die grundlegenden psychoakustischen Begriffe und Gesetze betrachtet werden. Diese werden in den folgenden Kapiteln (Kapitel 2.3 bis 2.9) abgehandelt.

## 2.3 Direktschall und Lokalisation

Wie bereits zu Beginn angedeutet wird das Hauptmikrofon für die Aufnahme von Direktschall verwendet.

Als Direktschall wird die erste Komponente des Schallfeldes bezeichnet, die den Zuhörer erreicht. Er gibt dem Hörer Aufschluss über die Richtung, aus der die Schallwellen kommen und beinhaltet somit den größten Teil der Richtungsinformation.

Zur Richtungsbestimmung beim menschlichen Hörvorgang werden verschiedene Schallinformationen verwendet. Primär werden interaurale<sup>2</sup> Pegel- und Laufzeitdifferenzen ausgewertet. Des Weiteren kann die frequenzabhängige Übertragungsfunktion des Außenohres einen Aufschluss über die Richtung des Schalles bieten. Dies ist auf Beugung bzw. Abschattung von Schallfrequenzen aus unterschiedlichen Richtungen zurückzuführen. Schwieriger wird es, wenn der Schall aus der Medianebene eintrifft, denn da liegen näherungsweise gleiche Ohrsignale vor. Hier

<sup>2</sup> interaural: bedeutet "zwischen den Ohren" (von lat. *inter*, zwischen und *auris*, Ohr) und kennzeichnet auf beide Ohren bezogene Unterschiede oder Zusammenhänge

erfolgt die Richtungsbestimmung aufgrund von charakteristischen Frequenzbändern [14].

## 2.4 Intensitäts- und Laufzeitstereofonie

Zur Erzeugung stereofoner Aufnahmen dienen in der Praxis vor allem Pegel- und Laufzeitunterschiede, welche durch geeignete Mikrofonierung erzeugt werden. Grundsätzlich werden dabei 2 Arten einer stereofonen Mikrofonierung unterschieden:

1. Intensitätsstereofonie
2. Laufzeitstereofonie

Des Weiteren ist eine Kombination aus Intensitäts- und Laufzeitstereofonie möglich, welche als Äquivalenzstereofonie bezeichnet wird.

Folgende Kapitel sollen nun einen Überblick über die einzelnen Verfahren geben.

### 2.4.1 Intensitätsstereofonie

Pegelunterschiede in Mikrofon-Systemen entstehen durch die Verwendung unterschiedlicher Richtcharakteristiken und Ausrichtungen koinzident<sup>3</sup> aufgestellter Mikrofone. Dabei sind die Mikrofon-Kapseln um einen bestimmten Winkel aus der Hauptachse gedreht. Die verwendeten Richtcharakteristika in Zusammenhang mit dem Hauptachsenwinkel<sup>4</sup> der Mikrofone bedingen nun Pegeldifferenzen für einen bestimmten Schalleinfallswinkel.

Bei der Wiedergabe der Pegeldifferenzen  $\Delta L$  über eine Lautsprecheranordnung oder Kopfhörer entstehen somit beim Hörprozess interaurale Pegelunterschiede (*ILD*, *Interaural Level Difference*). Dadurch kommt es zur Auslenkung der Phantomschallquelle aus der Mitte der Stereo-Lautsprecheranordnung. Der Winkel der Auslenkung der Phantomschallquelle ist abhängig von der Pegeldifferenz der Signale und wurde bereits in zahlreichen psychoakustischen Versuchsreihen versucht zu erfassen. Die Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse unterschiedlicher Versuchsreihen, welche unter unterschiedlichen Bedingungen mit unterschiedlichen Testsignalen durchgeführt wurden. Betrachten wir nun die einzelnen Kurven, so sind teilweise erhebliche Unterschiede zu bemerken. Dies deutet auf die Signalabhängigkeit der Auslenkung durch Pegeldifferenzen hin.

---

<sup>3</sup> koinzident: zusammenfallend, gleicher Aufstellungsort

<sup>4</sup> Hauptachsenwinkel  $\varepsilon$ : Winkel, den die Hauptachse des Mikrofons mit der Mittelachse der Mikrofonanordnung einschließt

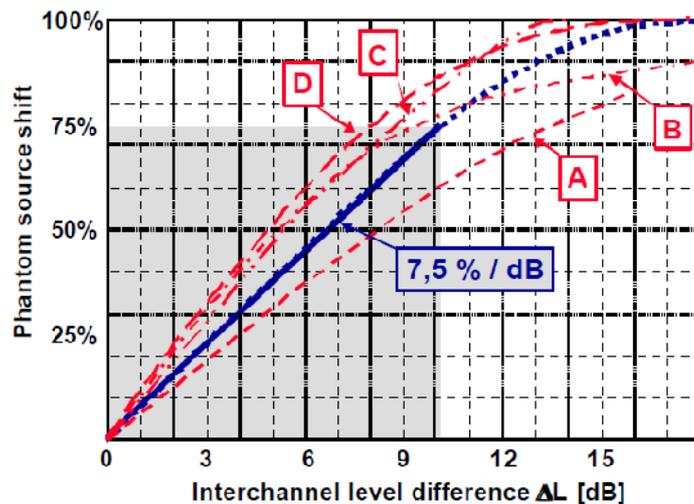


Abb. 3: relative Auslenkung der Phantomquelle durch Pegeldifferenzen, [10]

Wittek führte für die Konzeption seines Hauptmikrofons eine Mittelung der verschiedenen Messergebnisse durch (Abb. 3: blauer Kurvenverlauf). Die somit erhaltene Auslenkung zeigt eine konstante Beziehung zwischen Pegeldifferenz und Auslenkung und beträgt  $7,5\%/dB$ . Dies ist bis zu einer Pegeldifferenz von ca.  $10dB$  gegeben, was einer Auslenkung von knapp  $80\%$  in Richtung des lauterer Lautsprechers entspricht. Anschließend geht die Kurve in Sättigung und ab einer Pegeldifferenz von  $18dB$  wird das Signal nur mehr aus jenem Lautsprecher wahrgenommen.

#### 2.4.2 Laufzeitstereofonie

Ähnlich der Intensitätsstereofonie entstehen bei der Wiedergabe von Laufzeitdifferenzen  $\Delta t$  zweier Signale über eine Lautsprecheranordnung oder Kopfhörer beim Hörprozess interaurale Laufzeitdifferenzen (*ITD*, *Interaural Time Difference*). Diese führen wiederum zu einer Auslenkung der Phantomschallquelle aus der Mitte der Stereobasis in Richtung des früher abstrahlenden Lautsprechers. Die Laufzeitunterschiede der Aufnahme entstehen durch die unterschiedlichen Abstände zwischen den einzelnen Mikrofonen zur Schallquelle.

Auch hierbei wurden von mehreren Autoren Versuchsreihen durchgeführt, um die relative Auslenkung der Phantomschallquelle zu bestimmen. Ähnlich wie bei der Auslenkung durch Pegeldifferenzen ist die Auslenkung durch Laufzeitdifferenzen signalabhängig. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 ersichtlich:

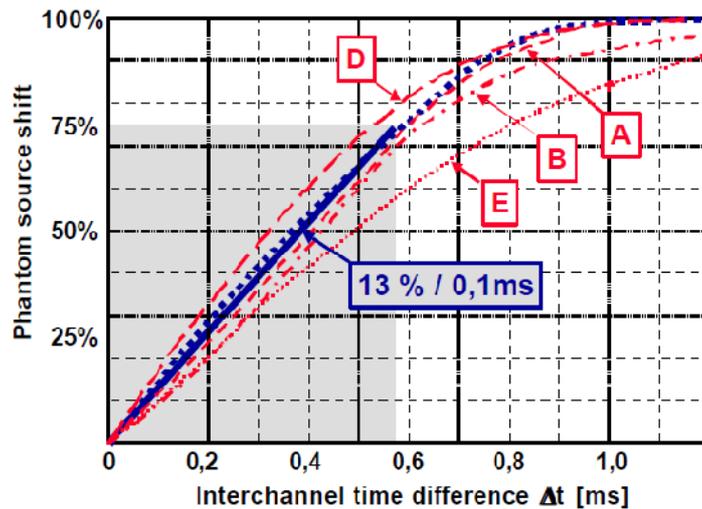


Abb. 4: relative Auslenkung der Phantomquelle durch Laufzeitdifferenzen, [10]

Wiederum wurde eine Mittelung der einzelnen Kurven durchgeführt (Abb. 3: blauer Kurvenverlauf) und wir erhalten eine konstante Auslenkung von 13%/0,1ms bis zu einer Laufzeitdifferenz von knapp 0,6ms. Bei größeren Laufzeitdifferenzen geht die Kurve in Sättigung und ab  $\Delta t = 1\text{ms}$  ist das Signal nur noch vom früher abstrahlenden Lautsprecher wahrnehmbar.

Vergleichen wir nun die Auslenkungen aufgrund von Laufzeit- und Pegeldifferenz, so sind ihre Kurven fast ident und können in ein Gesamtdiagramm übertragen werden (Abbildung 5).

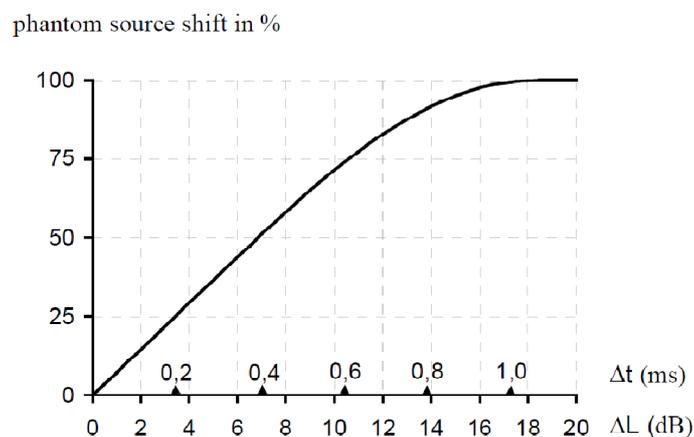


Abb. 5: relative Auslenkung in Abhängigkeit von Pegel- bzw. Laufzeitdifferenz, [1]

Treten nun beide Differenzen in gleicher Richtung auf, so kann die Gesamtauslenkung als Summe der beiden Einzelauslenkungen betrachtet werden, [4]:

$$\vartheta(\Delta L, \Delta t) = \vartheta(\Delta L) + \vartheta(\Delta t) \quad (1)$$

Die Auslenkung der Phantomschallquelle aufgrund von Signal- und/oder Pegeldifferenzen steht in einer konstanten Beziehung mit der verwendeten Lautsprecherbasis. Bei den Versuchsreihen zur Bestimmung der quantitativen

Auslenkung betrug die Stereobasis jeweils  $\psi = 60^\circ$ . Wenden wir nun diese Gesetze auf den 3/2-Stereo-Standard an, welcher zur räumliche Abbildung die 2 frontalen Lautsprecherbasen von jeweils  $\psi = 30^\circ$  (L/C und C/R, siehe Abb. 1) nutzt, so halbiert sich auch die Auslenkung. Diese Tatsache ist unter dem Namen „relative constant shift phenomenon“ (Phänomen der konstanten relativen Auslenkung) bekannt und wurde bereits in zahlreichen Untersuchungen bestätigt, [2].

Somit beträgt die Auslenkung  $\Delta\vartheta$  für  $\psi = 30^\circ$  im konstanten Bereich (in Abb. 3 und 4 grauer Bereich):

$$\Delta\vartheta(\Delta L) = 1,1^\circ/dB \quad \text{bzw.} \quad \Delta\vartheta(\Delta t) = 2,2^\circ/0,1ms \quad (2)$$

## 2.5 Kanalübersprechen

Ein Problem bei L-C-R-Hauptmikrofonen stellt das Kanalübersprechen (*Crosstalk*, [2]) dar. Wie bereits bekannt besteht das Hauptmikrofon aus den Stereobasen L/C und C/R. Zusätzlich zu diesen beiden gibt es jedoch noch die Basis L/R. Ist die Kanaltrennung zwischen den Mikrofonen nicht ausreichend, so erzeugt jede Basis für sich ihre eigene Phantomschallquelle und es kommt zu einer Mehrfachabbildung.

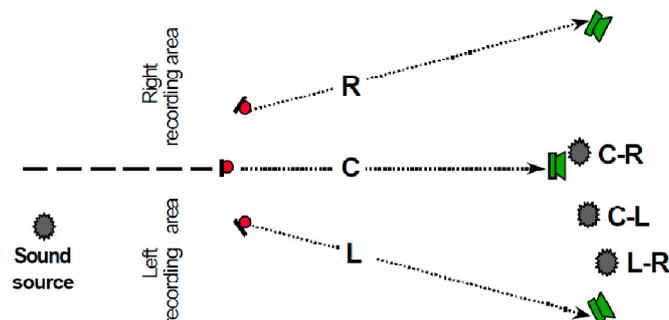


Abb. 6: Mehrfachabbildung durch Kanalübersprechen, [2]

Idealerweise sollte nach [2] eine Quelle im linken Aufnahmebereich nur von der linken Stereobasis (L/C), eine Quelle im rechten Aufnahmebereich nur von der rechten Stereobasis (C/R) und eine Quelle auf der Mittelachse nur vom Center-Mikrofon aufgenommen werden.

## 2.6 Auswirkungen des Kanalübersprechens

Das Kanalübersprechen in L-C-R-Hauptmikrofonen bringt nach [6] zwei dominante Effekte mit sich:

1. Vergrößerung der wahrgenommenen Quellenbreite
2. Verschlechterung der Lokalisierbarkeit

### 2.6.1 Quellenbreite

Als Quellenbreite (*Source width*, [6]) wird die wahrgenommene Breite einer Schallquelle bezeichnet.

Bedingt durch Kanalübersprechen vergrößert sich die wahrgenommene Quellenbreite. Dieser Effekt verstärkt sich, wenn der Anteil der Laufzeitdifferenz gegenüber der Pegeldifferenz steigt. Dies bedeutet, dass bei großen Mikrofonarrays die wahrgenommene Quellenbreite zunimmt. Im Gegensatz dazu kann sie bei koinzidenten Mikrofonen vernachlässigt werden.

Dieses Ergebnis wird nach [7] auf Schwankungen der interauralen Laufzeitdifferenz zurückgeführt. Es wurde gezeigt, dass die wahrgenommene Quellenbreite durch größere Schwankungen sich erhöht. Vergrößert sich die ITD kommt es zu einer Erhöhung der Dekorrelation zwischen den interauralen Signalen, dies wiederum verursacht die Schwankungen der ITD.

Die Erhöhung der Quellenbreite bedingt durch Kanalübersprechen ist unabhängig von der Akustik des Raumes, jedoch von der spektralen Verteilung des Schallsignals. Dabei bewirken tiefe Frequenzanteile, besonders zwischen 100 - 200 Hz eine Vergrößerung der wahrgenommenen Quellenbreite, [9].

Grundsätzlich gilt, je größer das Kanalübersprechen, desto breiter wird die Schallquelle wahrgenommen.

### 2.6.2 Lokalisierbarkeit

Die Lokalisierbarkeit (*Locatedness*, [6]) ist definiert als Einfachheit der Lokalisation.

Auch hier bewirkt das Kanalübersprechen eine Verschlechterung der Lokalisation. Im Unterschied zur Quellenbreite nimmt die Lokalisierbarkeit bei Kanalübersprechen mit zunehmendem Anteil von Pegeldifferenzen gegenüber von Laufzeitdifferenzen ab. Dieser Effekt wurde durch Versuchsreihen in [6] festgestellt. Des Weiteren wurde die Abhängigkeit der Lokalisierbarkeit vom verwendeten Aufnahmeraum gezeigt. Dabei bildet sich der Effekt in halligen Räumen weniger stark aus, als in hallarmen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass in halligen Räumen der Einfluss des Übersprechens durch die Anwesenheit von Reflexionen und Hall unabhängig vom Mikrofonarray vermindert wird. Somit wird im diffusen Schallfeld die Lokalisation bedingt durch Kanalübersprechen weniger stark beeinträchtigt. Die spektrale Verteilung des Schallsignals hat dabei keinen Einfluss auf die Lokalisierbarkeit.

Abschließend gilt, dass die Vergrößerung der Quellenbreite nicht zwangsläufig eine schlechtere Lokalisierbarkeit mit sich bringt.

## 2.7 Kanaltrennung

Um nun die Forderungen Theiles zu erfüllen und eine möglichst unverfälschte Aufnahme einer Schallquelle zu erreichen, ist es deshalb notwendig das Kanalübersprechen bei Mikrofonarrays so gut wie möglich zu vermeiden. Ferner sollen die räumlichen Eigenschaften der Originalquelle durch möglichst lineare Lokalisation zwischen den Lautsprechern übernommen werden.

Im Allgemeinen gibt es zwei Methoden eine gute Kanaltrennung zu erreichen. Zum einen durch ausreichende Pegel- und Laufzeitdifferenzen, welche durch Verwendung unterschiedlicher Mikrofoncharakteristiken und geeigneter Versatzwinkel zwischen den Mikrofonen sowie deren Abstände erzeugt werden. Die zweite Möglichkeit besteht darin, durch die Abmessung des Mikrofonsystems den Präzedenz-Effekt<sup>5</sup> zu nutzen, wodurch das Kanalübersprechen vernachlässigt werden kann. Hierbei entsteht jedoch keine lineare Lokalisation zwischen den Lautsprechern. Deshalb hat sich Theile bei der Entwicklung seines Systems für die 1. Methode entschieden.

Um nun eine Vorstellung über den Einfluss des Kanalübersprechens durch unzureichende Pegel- und Laufzeitdifferenzen der nichtbeteiligten Stereobasen zu erhalten müssen diese berechnet werden.

Die **Laufzeitdifferenz**  $\Delta t$  zwischen L und C bzw. C und R hängt von den geometrischen Abmessungen ab. Die Gleichung lautet nach [2]:

$$\Delta t = \left[ \sqrt{h^2 + \left(\frac{1}{2}b\right)^2} \cdot \cos\left(90^\circ - \Omega + \arctan\frac{2h}{b}\right) \right] \cdot 0,03 \frac{ms}{cm} \quad (2)$$

Dabei ist die Basisbreite  $b$  variabel und bestimmt den Aufnahmewinkel  $\varphi$ .

Die **Pegeldifferenz**  $\Delta L$  ist Abhängig von der Richtcharakteristik der Mikrofone und dessen winkelabhängiger Empfindlichkeit. Dazu betrachten wir Tabelle 2:

<b>Richtung</b> (relativ zur Mikro-Achse)	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	180°
<b>Niere [dB]</b>	0	-0,3	-1	-2	-3	-4	-6	-8	-11	-15	<-18	<-18
<b>Superniere [dB]</b>	0	-0,3	-1	-2	-3,5	-5	-9	-14	<-18	<-18	<-18	-11

Tab. 2: winkelabhängige Empfindlichkeit gerichteter Mikrofone, [2]

## 2.8 Konfigurationen des OCT

Da wir nun Pegel- und Zeitdifferenzen berechnen können beschäftigen wir uns nun mit der Realisierung des OCT. Insgesamt 3 verschiedene Varianten des OCT wurden von Theile in seinem Beitrag zur Realisierung von Mikrofon-Konzepten für Surround-

<sup>5</sup> psychoakustischer Effekt; bezeichnet den Umstand, dass wenn gleiche Signale zeitverzögert aus unterschiedlichen Richtungen beim Hörer eintreffen, das erste Signal richtungsbestimmend ist.

Aufnahmen entwickelt. Tabelle 3 zeigt diese optimierten Konfigurationen für verschiedene Mikrofon-Charakteristiken und Abmessungen. Alle angegebenen Varianten liegt der Vorsatz zugrunde eine genügende Kanaltrennung zu erreichen und eine möglichst lineare Lokalisationskurve (siehe Kapitel 3.1) zu besitzen.

	S-CARD. - CARD. - S-CARD. h = 8 cm / b = 70 cm		CARD. - CARD. - CARD. h = 12 cm / b = 70 cm		S-CARD. - OMNI - S-CARD. h = 8 cm / b = 80 cm	
Source angle $\Omega$	Crosstalk $\rightarrow$ L	Perceived angle $\vartheta$	Crosstalk $\rightarrow$ L	Perceived angle $\vartheta$	Crosstalk $\rightarrow$ L	Perceived angle $\vartheta$
+ 90°	-11 dB	( 30°)	<-18 dB	( 30°)	-11 dB	( 30°)
+ 60°	<-18 dB	30°	<-18 dB	29°	<-18 dB	29°
+ 45°	< 18 dB	25°	15 dB	24°	< 18 dB	25°
+ 30°	<-18 dB	18°	-11 dB	16°	<-18 dB	18°
+ 15°	-14 dB	9°	-8 dB	8°	-14 dB	9°
0°	-9 dB	0°	-5 dB	0°	-9 dB	0°

Tab. 3: Abbildungscharakteristiken verschiedener OCT-Konfigurationen, [2]

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass alle 3 Konfigurationen ähnliche Auslenkungen der Phantomschallquelle bei gleichem Schalleinfall verursachen.

Betrachten wir nun die Kanaltrennung der einzelnen Konfigurationen. Hierzu Berechnen wir Pegel- und Laufzeitdifferenzen der OCT-Konfigurationen für die kritische frontale Besprechung ( $\Omega = 0^\circ$ ).

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse für die Varianten mit Supernieren-Mikrofonen (Variante 1 und 3, Tab. 3):

$\Omega$	L	C	R	$\Delta t$
0°	-9dB	0dB	-9dB	0,24ms

Tab. 4: Pegel- und Laufzeitdifferenz OCT mit Supernierencharakteristik, [2]

Die Pegel- und Laufzeitdifferenzen, hier  $\Delta L = 9dB$  und  $\Delta t = 0,24ms$  verschieben die Phantomquelle in Richtung Center ( $\Delta L$  ungefähr  $10^\circ$  und  $\Delta t$  ungefähr  $5^\circ$ , [2]). Somit ist eine ausreichende Kanaltrennung für diese beiden Konfigurationen gewährleistet.

Die 2. Variante, bestehend aus 3 Nierenmikrofonen ( $\Delta L = 5dB, \Delta t = 0,36ms \rightarrow \Delta\vartheta(\Delta L) = 5,5^\circ; \Delta\vartheta(\Delta t) = 7,2^\circ$ ) erreicht dieses Ziel nicht, weshalb sie nur bedingt empfehlenswert ist.

Im Jahre 2004 wurde von Helmut Wittek und Günther Theile eine Optimierung des OCT vorgestellt. Das neue „OCT2“ verwendet größere Abmessungen zwischen den einzelnen Mikrofonen, um so eine bessere Klangfarbe und räumlichen Eindruck zu erzeugen. Durch die Verwendung eines Delays (zeitliche Verzögerung des Signals) für das Center-Signal wird die optimale Lokalisation des herkömmlichen OCT beibehalten [24].

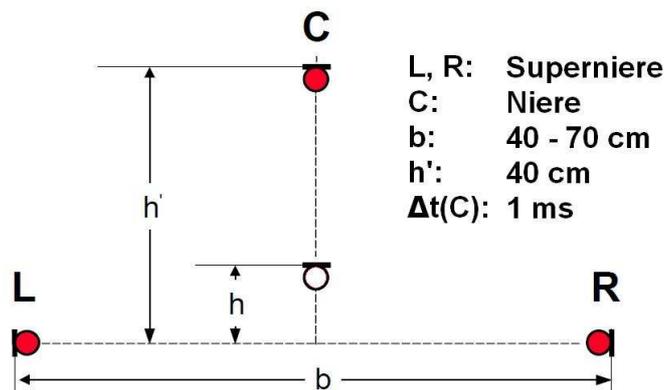


Abb. 7: Aufbau OCT2, [24]

## 2.9 Aufnahmewinkel

Als Aufnahmewinkel wird der Winkel bezeichnet, innerhalb dessen eine nutzbare, eindeutige stereofone Lokalisation der Schallquelle erfolgt. Er schließt somit den Aufnahmebereich ein, der bei der Wiedergabe auf der Lautsprecherbasis abgebildet wird.

Um eine „optimale“ Abbildung zu gewährleisten, müssen nach [10] entscheidende Aspekte wie Klangfarbe, Präsenz, Raum/Direktschall-Verhältnis usw. beachtet werden. Diese werden durch die Positionierung des Hauptmikrofons beeinflusst. Somit ergibt sich der Aufnahmewinkel erst nach der Positionierung des Mikrofonarrays.

Beim Hauptmikrofonsystem OCT ist der Aufnahmewinkel  $\varphi$  Funktion der Basisbreite  $b$ . Dabei gilt, je Größer die Basisbreite  $b$ , desto kleiner der Aufnahmewinkel  $\varphi$ . Der Zusammenhang zwischen Aufnahmewinkel  $\varphi$  und Basisbreite  $b$  ist nach [2] in Abbildung 8 gegeben.

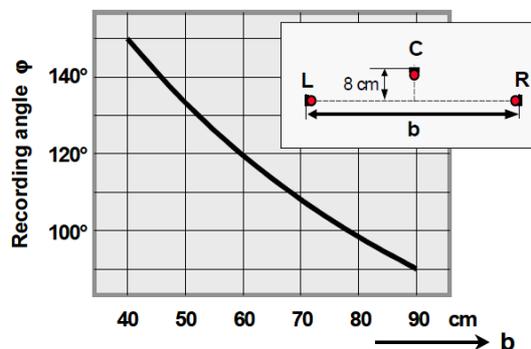


Abb. 8: Aufnahmewinkel  $\varphi$  als Funktion der Basisbreite  $b$ , [2]

### 3. Abbildungsqualität

Wie bereits in Kapitel 2.1 erläutert besteht die Hauptaufgabe eines L-C-R-Hauptmikrofons in der Aufnahme des direkten Schalls. Dabei gilt es nach [1] folgende Aufgaben zu erfüllen:

- ausgewogene Lokalisation, i.e. lineare Lokalisationskurve
- Vermeiden von Klangverfärbungen durch Kanalübersprechen

Somit beschränkt sich die Abbildungsqualität eines Hauptmikrofonierungsverfahrens in der Erfüllung dieser Punkte. Andere Attribute, wie räumliche Eingebundenheit werden durch zusätzliche Mikrofone im diffusen Schallfeld erreicht.

#### 3.1 Die optimale Abhörposition

In den nun folgenden Kapiteln werden die Abbildungsqualitäten des OCT mit anderen Hauptmikrofonanordnungen verglichen. Dabei gehen wir davon aus, dass sich der Hörer an der optimalen Abhörposition befindet. Diese wird als „Sweet Spot“ bezeichnet. Für Stereowiedergaben befindet sich der Sweet Spot auf der Mittelachse der Lautsprecher. Der Abstand der beiden Lautsprecher zum Sweet Spot ist gleich groß und somit bildet der Hörer mit den beiden Lautsprechern ein gleichseitiges Dreieck.

Für Surround-Wiedergaben mit den vorderen Lautsprechern L, C und R findet das optimale Hörereignis in der sogenannten „Sweet Area“ statt. Hierbei ist wiederum der Abstand zwischen Sweet Area und jedem der drei Lautsprecher gleich groß. Durch den zusätzlichen Center-Kanal wird Bereich der Sweet Area besser versorgt und stabilere Abbildungen sind möglich. Auch an leicht abweichenden Hörpositionen entsteht noch ein Klangbild, das von mindestens 2 Lautsprechern geprägt ist.

Weicht der Hörer von der idealen Position ab, so nimmt er Verzerrungen des Klangbildes wahr. Diese treten als abweichende Laufzeiten und Pegelverzerrungen bedingt durch die unterschiedlichen Abstände der einzelnen Lautsprecher auf. Dabei sind die durch Laufzeitverschiebungen ausgelösten Verzerrungen wesentlich größer und fallen mehr ins Gewicht.

#### 3.2 Die Lokalisationskurve

Die Lokalisationskurve kennzeichnet den Verlauf der Abbildung und „[...] drückt die Beziehung zwischen Einfallswinkel des Signals im Aufnahmeraum und Auslenkung der Phantomschallquelle bei der Wiedergabe aus.“, [3]. Aus ihrem Verlauf können Eigenschaften der Abbildung abgelesen werden.

Ziel einer Aufnahme ist eine maßstabsgerechte Aufzeichnung zwischen den Lautsprechern. D.h. die Winkel zwischen den Klangkörpern in der Aufnahmesituation sollten zu bestimmten Winkel der Phantomschallquellen bei der Wiedergabe führen. Daraus folgt die mathematische Beziehung:

$$\Phi = f(\alpha) \quad (3)$$

Aus diesen Forderungen ergibt sich die optimale Lokalisationskurve. Sie ist eine gerade Linie und stellt ein konstantes Verhältnis zwischen Einfallswinkel  $\alpha$  und Auslenkung  $\Phi$  dar (Abbildung 9).

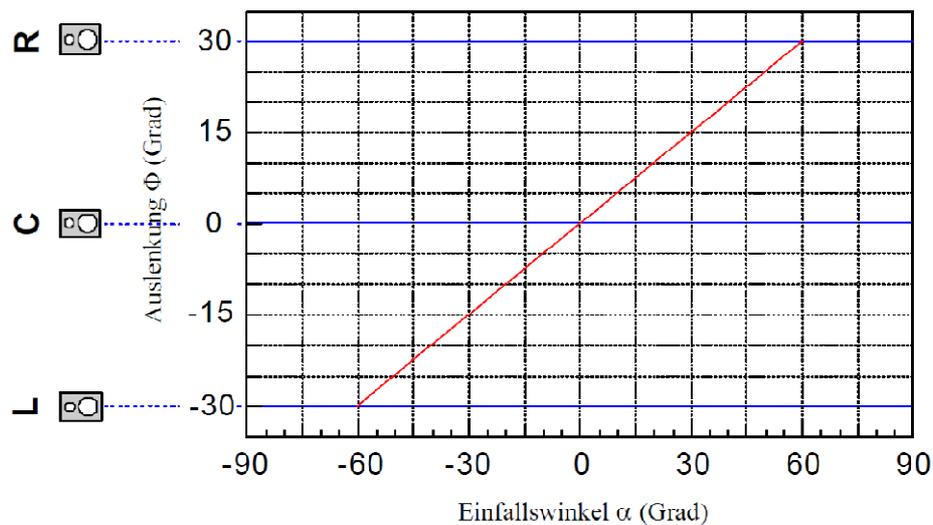


Abb. 9: Verlauf der optimalen Lokalisationskurve, [3]

Einen kritischen Punkt in Bezug auf die Mehrfachabbildung einer Schallquelle stellt die Besprechung von vorne ( $\Omega = 0^\circ$ ) dar. Wegen der Angrenzung der beiden Stereobasen (L/C und C/R) ist die Kanaltrennung hier besonders schwierig zu erreichen, ohne dass der Center-Kanal „aufdringlich“ wirkt.

Der Vorteil solcher Lokalisationskurven liegt in der grafischen Verdeutlichung des Abbildungsverlaufes einer Phantomschallquelle einer bestimmten Mikrofonanordnung. Somit können mit ihr verschiedene Mikrofonierungstechniken verglichen und je nach Anforderung eingestuft werden. Für andere akustische Aspekte wie Räumlichkeit, Klangfarbe, Abbildungsschärfe, Raum-Direktschallverhältnis, frequenzabhängiges Abbildungsverhalten und Stabilität liefern Lokalisationskurve keine bzw. nur indirekte Aussagen.

### 3.3 Berechnung von Lokalisationskurven

Helmut Wittek hat basierend auf den statischen Kurven aus Hörversuchen (siehe Kapitel 2.4) eine Methode entwickelt, um für beliebige L-C-R- oder L-R-Hauptmikrofone die Lokalisationskurve und Aufnahmewinkel berechnen zu können. Diese Anwendung (*Image Assistant 2.1*) kann online auf der Website [www.hauptmikrofon.de](http://www.hauptmikrofon.de) [11] als Java-

Applet von jedem genutzt werden. Die Berechnung erfolgt dabei aufgrund von Pegel- und Laufzeitunterschieden.

Die Eingabe-Parameter zur Berechnung sind folgende:

- Basisbreite  $B$  ( in den vorhergehenden Kapiteln mit  $b$  bezeichnet)
- Höhe  $h$
- Hauptachsenwinkel<sup>4</sup>  $\varepsilon$  (siehe Kapitel 2.4.1)
- Richtcharakteristik der verwendeten Mikrofone
- Abstand  $R$  der Signalquelle zum Mikrofonarray

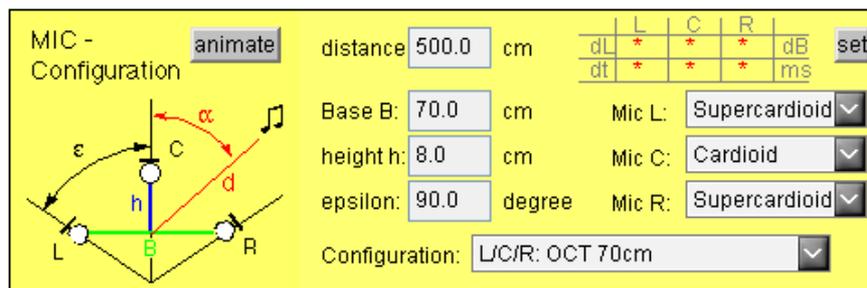


Abb. 10: Eingabefeld des Java-Applets, [11]

Des Weiteren können auch vordefinierte Konfigurationen, wie INA 3<sup>6</sup>, ORTF<sup>7</sup> u. ä. ausgewählt werden.

### 3.3.1 Berechnung der Laufzeitdifferenzen

Die Berechnung der Laufzeitdifferenzen erfolgt nach [12] über die unterschiedlichen Weglängen des Signals zu den einzelnen Mikrofonen. Dazu verwendet man die geometrische Anordnung des Systems und kann mit der Schallgeschwindigkeit auf die einzelnen Laufzeiten schließen. Die Laufzeitdifferenzen ergeben sich schließlich aus der Differenz der einzelnen Laufzeiten.

### 3.3.2 Berechnung der Pegeldifferenzen

Zur Berechnung der Pegeldifferenzen müssen nach [12] zwei Einflüsse betrachtet werden:

- abweichende Entfernung der Mikrofone zur Signalquelle
- Verwendung unterschiedlicher Mikrofoncharakteristiken

<sup>6</sup> INA 3 (*Ideale Nieren Anordnung*), L-C-R-Hauptmikrofon (siehe Kapitel 3.5)

<sup>7</sup> ORTF (*Office de Radiodiffusion Télévision Française*), Stereo-Mikrofon mit Basisbreite  $b = 17\text{ cm}$  und Hauptachsenwinkel  $\varepsilon = 55^\circ$

Die unterschiedlichen Entfernungen der Mikrofone zur Schallquelle haben Einfluss auf die Amplitude des Signals.

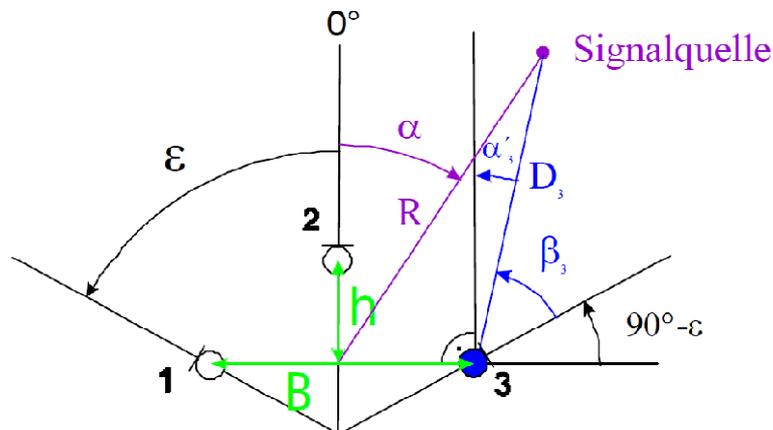


Abb. 11: Parameter einer Mikrofonanordnung mit Parameter, [12]

Dieser Einfluss auf die Amplitude berechnet sich wie folgt:

$$A'_3 = R \cdot \left(\frac{1}{D_3}\right) \cdot A_3 \quad (4)$$

Ist jedoch  $R, D_3 \gg B, h$  (siehe Abbildung 11), so kann dieser Einfluss vernachlässigt werden und es gilt:

$$A'_3 \approx A_3 \quad (5)$$

Zusammenfassend kann somit gesagt werden, dass der Einfluss der unterschiedlichen Entfernungen der Mikrofone zur Schallquelle nur dann zum Tragen kommt, wenn sich diese relativ nahe am Mikrofonarray befindet.

Einen wesentlich stärkeren Einfluss auf die Pegeldifferenzen der Mikrofone hat dagegen ihre Richtcharakteristik. Durch Verwendung unterschiedlicher Mikrofoncharakteristiken wird der Schall im Mikrofon mit winkelabhängiger Dämpfung gewandelt. Hierzu müssen der Einfallswinkel des Schalls, die Ausrichtung der Mikrofone und die winkelabhängige Dämpfung der gerichteten Mikrofone bekannt sein. Die ersten beiden Forderungen ergeben sich wiederum aus der Geometrie des Mikrofonarrays. Die winkelabhängige Dämpfung ist durch theoretisch ermittelte Funktionen für die unterschiedlichen Charakteristiken gegeben. Die Dämpfung realer Druckgradienten-Mikrofone ist jedoch frequenzabhängig und entspricht nur einer Annäherung der mathematisch ermittelten Richtcharakteristik. Wittek griff deshalb zur Berechnung der Lokalisationskurven auf Messprotokolle der Firma Schoeps zurück, um reale Dämpfungsfunktionen zu erhalten. Diese werden von ihm jedoch nicht weiter angeführt.

Somit erhält man unterschiedliche Pegel der gewandelten Signale und kann auf die Pegeldifferenz schließen.

### 3.3.3 Näherungsfunktion $\Phi = f(\Delta t, \Delta L)$

Zur weiteren Berechnung der Auslenkung bedingt durch  $\Delta L$  und  $\Delta t$  muss nun die Kurve der relativen Auslenkung (Abb. 5) mit einer mathematischen Funktion angenähert werden. Dazu wird der Kurvenverlauf in 3 Teile unterteilt:

	$\Delta L$ :	$\Delta t$ :	Kurvenverlauf:
1.	0dB – 7dB	0ms – 0,4ms	lin. Zusammenhang zwischen $\Delta L$ bzw. $\Delta t$ und Auslenkung
2.	7dB – 18dB	0,4ms – 1ms	allmähliche „Sättigung“ der Kurve, Steigung nimmt ab
3.	>18db	>1ms	Kurvenverlauf konstant und Auslenkung maximal

Tab. 5: Kurvenverlauf der relativen Auslenkung bedingt durch  $\Delta L$  bzw.  $\Delta t$ , [12]

Des Weiteren müssen nun die Laufzeitdifferenzen in entsprechende Pegeldifferenzen umgerechnet werden. Da die relative Auslenkung bedingt durch  $\Delta L$  und  $\Delta t$  dieselbe Kurvenform (Abb. 5) besitzen genügt ein einfacher Umrechnungsfaktor. Dieser ist nach [12] gegeben als:

$$z = 17,3 \frac{dB}{ms} \quad (6)$$

Daraus erhält man die Summe der Signaldifferenzen  $\Delta_{ges}$ :

$$\Delta_{ges} = \Delta L + z \cdot \Delta t \quad (7)$$

Eingesetzt in die mathematische Annäherung der Kurve aus Abb. 5 ergibt dies die relative Auslenkung  $\phi$ .

Wirken Pegel- und Laufzeitdifferenz gegensinnig (Trading), so gilt dieser Zusammenhang nicht mehr.

Zur Bestimmung der Lokalisationskurve einer bestimmten Stereophonieanordnung müssen nun die durch die Funktion erhaltenen relativen Auslenkungsgrade  $\phi$  über den Öffnungswinkel  $\Omega$  der Stereobasis in absolute Auslenkungen  $\Phi$  umgerechnet werden. Bei einem L-C-R-Hauptmikrofon wird anschließend gemäß der 3/2-Standard-Stereoanordnung noch die Auslenkungen der Mittelachsen ( $\pm 15^\circ$ ) der beiden Stereobasen L/C und C/R korrigiert.

Zusätzlich kann noch der Summenleistungspegel aller beteiligten Mikrofone berechnet werden. Er berechnet sich aus der Summe der Leistungen aller Mikrofone und ist wiederum winkelabhängig. Der Summenleistungspegel gibt Auskunft über den Verlauf der Schallleistung. Ist sein Verlauf ungleichmäßig, so werden bestimmte Bereiche bevorzugt oder benachteiligt. Dies wiederum bedeutet, dass keine ausgeglichene Lokalisation über die gesamte Stereobasis mehr möglich ist.

In der folgenden Abbildung werden die Pegel- und Laufzeitdifferenzen, sowie der Summenleistungspegel der Kanäle L / C einer OCT 70cm-Anordnung dargestellt:

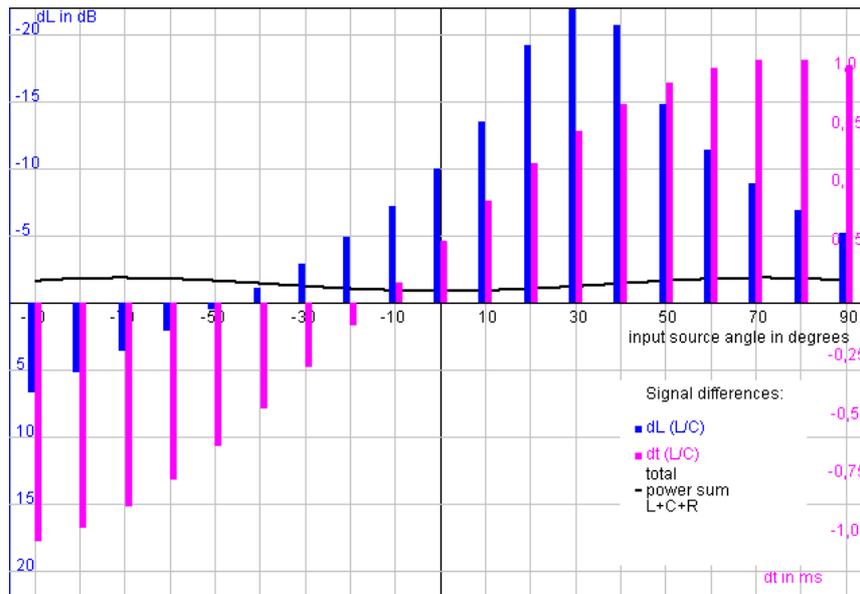


Abb. 12: winkelabhängige  $\Delta L$ ,  $\Delta t$  sowie Summenleistungspegel der Kanäle L / C einer OCT 70cm-Anordnung, [11]

In der Abbildung 12 sind die Maßstäbe bereits so gewählt ( $1\text{ms} \cong 17,3\text{dB}$ ), dass aus der Zeitdifferenz die äquivalente Pegeldifferenz gelesen werden kann.

Somit ist es nun möglich die jeweiligen Auslenkungen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel des Signals zu Berechnen und in Form der theoretischen Lokalisationskurve auszugeben. Bei einem L-R-Hauptmikrofon, das nur eine Stereobasis besitzt erhalten wir somit eine Lokalisationskurve. Besteht das Mikrofonarray hingegen aus 3 Kanälen erhalten wir hingegen 3 Lokalisationskurven (Stereobasen L/C, C/R und L/R). Dabei ist die Lokalisationskurve der Basis L/R immer ungewollt, genauso die Kurve L/C in der rechten Hälfte und die Kurve R/C in der linken Hälfte der Abbildung. Diese Überschneidungen der einzelnen Kurven sind ein Indiz für Kanalübersprechen. Meist werden nur die Lokalisationskurven der Stereobasen L/C und C/R als Lokalisationskurve des Gesamtsystems betrachtet. Hierbei sollte jedoch der Einfluss der Lokalisationskurve L/R nicht vernachlässigt werden, da sie wie bereits in Kapitel 2.6 erläutert die Abbildungsqualität mit beeinflusst.

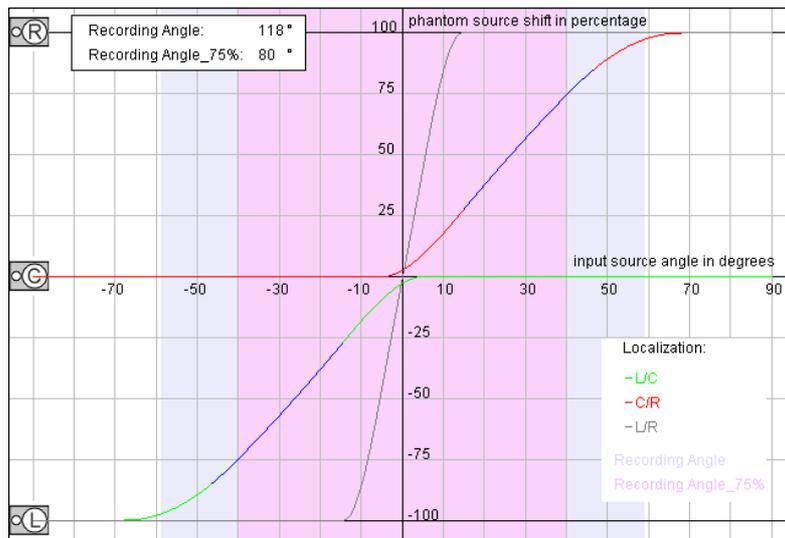


Abb. 13: Lokalisationskurven der Kanäle L/C, C/R und L/R eines OCT 70cm, [11]

### 3.4 Vergleich Theorie – Praxis

Um nun die berechneten Lokalisationskurven auf ihre Gültigkeit zu überprüfen müssen sie mit Lokalisationskurven aus Versuchsreihen verglichen werden. Wittek führte einen solchen Vergleich von Lokalisationskurven verschiedener Hauptmikrofone im Rahmen seiner Diplomarbeit ([12]) durch.

Zur Gewinnung der Testsignale wurde in der Mitte eines reflexionsarmen Raumes ein Computer-gesteuerter Drehteller aufgebaut, mit dem sich verschiedene Winkelpositionen einstellen lassen. Darauf befand sich das jeweilige Mikrofonarray. Im Abstand von 250cm dazu wurde ein Lautsprecher, welcher das Quellsignal (menschliche Stimme) wiedergab aufgestellt. Somit konnten durch verschiedene Drehungen des gesamten Mikrofonaufbaus unterschiedliche Einfallsrichtungen des Quellsignals simuliert und aufgenommen werden. Abbildung 14 zeigt den schematischen Versuchsaufbau sowie die verwendeten Drehwinkel. Als Hauptmikrofone kamen die dreikanaligen OCT 70 und INA 3 sowie das zweikanalige Quasi-ORTF zum Einsatz. Aufgrund der Symmetrie der Hauptmikrofone war es ausreichend die Auslenkungen auf eine Richtung zu beschränken.

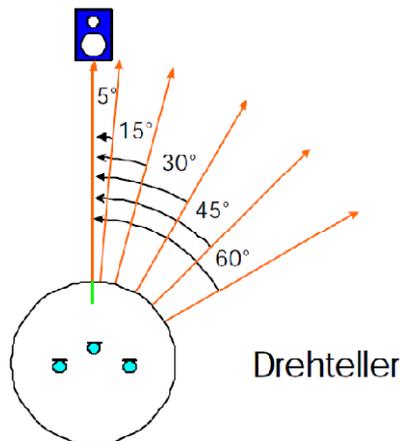


Abb. 14: Schematischer Aufbau zur Testsignalgewinnung, [12]

Zur Ermittlung der Lokalisationskurven wurden in einem reflexionsarmen Raum die vorderen 3 Lautsprecher einer 3/2-Standard-Stereo-Aufstellung aufgebaut. Zwischen den Lautsprechern und der Abhörposition befand sich eine schalldurchlässige Spezialwand, sodass die Testhörer die Lautsprecher nicht sehen konnten. Im Versuch wurde dem jeweiligen Testhörer dann die gewonnenen Aufnahmen mit unterschiedlichen Auslenkungen der Phantomschallquelle vorgespielt. Die Aufgabe des Testhörers lag nun in der Bestimmung der Auslenkung der Phantomschallquelle, indem er mit einem Laserpointer in Richtung der wahrgenommenen Phantomschallquelle zeigte.

Somit konnten durch die verschiedenen Auslenkungen eines jeweiligen Hauptmikrofones dessen Lokalisationskurve bestimmt werden. Dazu wurde der Mittelwert aus den Versuchsdaten aller Testpersonen ermittelt.

### 1. Lokalisationskurve Quasi-ORTF

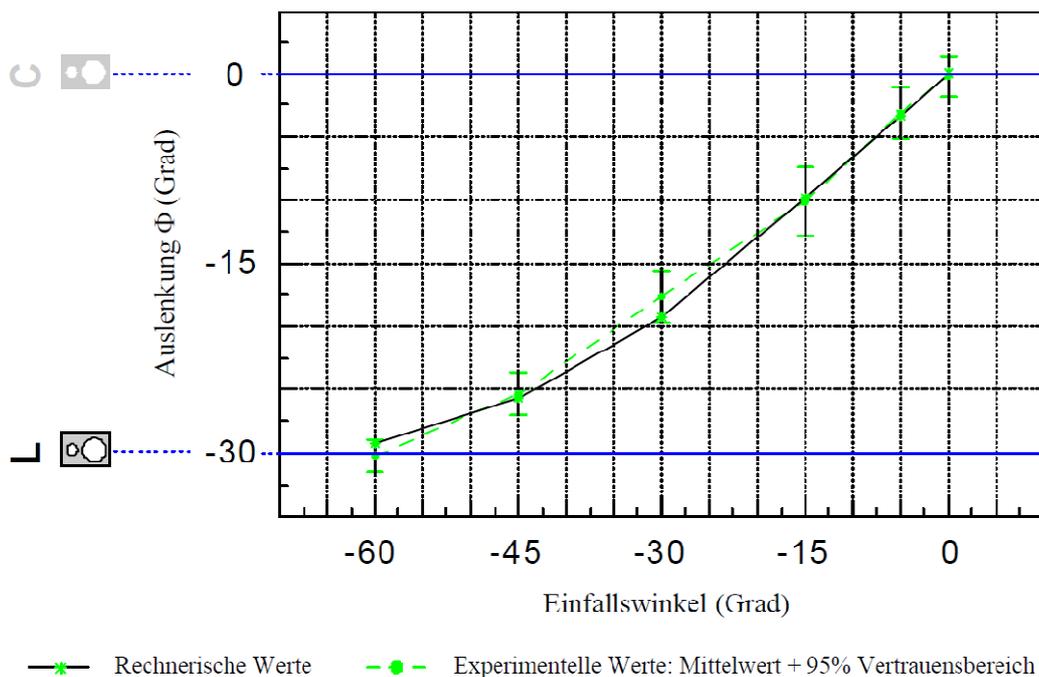


Abb. 15: Lokalisationskurve Quasi-ORTF, rechnerisch und experimentell, [12]

Abbildung 15 zeigt die Lokalisationskurve des zweikanaligen Systems Quasi-ORTF mit einem Aufnahmewinkel von  $120^\circ$ . Es ist ersichtlich, dass die rechnerisch ermittelte Lokalisationskurve eine gute Näherung der experimentellen Lokalisationskurve darstellt. Dies gibt nach [12; S. 121] „[...] Anlass zur Vermutung, dass die aus der Zweikanal-Stereofonie bekannten Gesetze in dieser rechnerischen Form anwendbar sind.“

## 2. Lokalisationskurve OCT

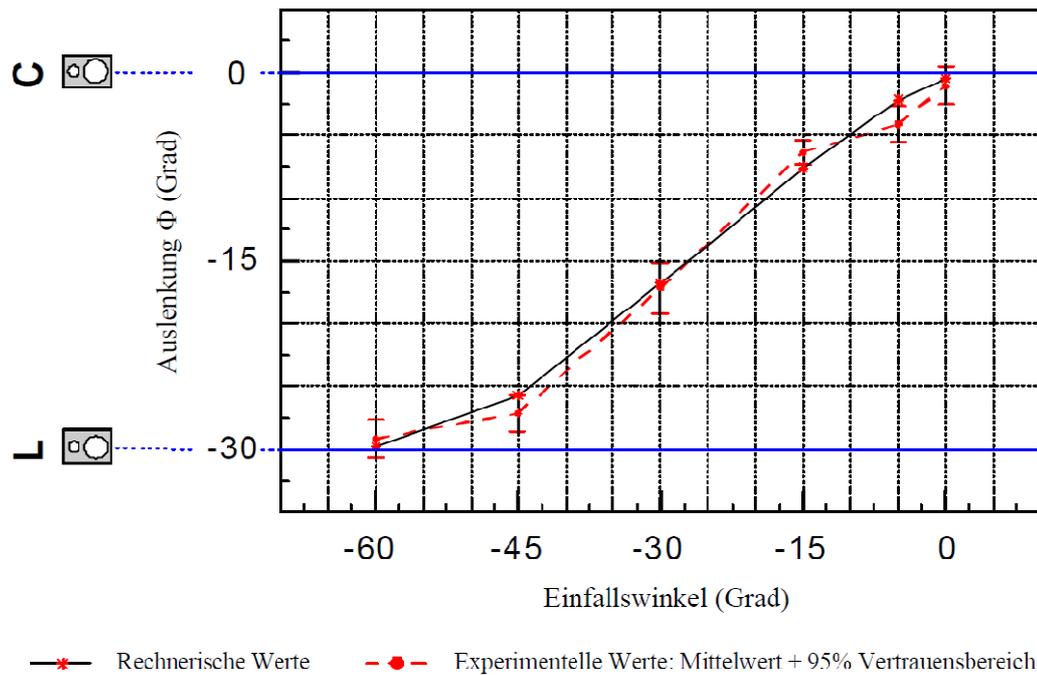


Abb. 16: Lokalisationskurve OCT 70cm, rechnerisch und experimentell, [12]

Abbildung 16 zeigt die Lokalisationskurve des OCT 70cm mit einem Aufnahmewinkel von  $120^\circ$ . Man erkennt, dass die experimentellen Werte über den gesamten Bereich ( $60^\circ$  Aufnahmewinkel bzw.  $30^\circ$  Wiedergabewinkel) relativ gut mit den berechneten Werten übereinstimmen und linear sind. Besonders bei maximaler Auslenkung ( $\alpha = -60^\circ$ ) sowie frontalem Schalleinfall ( $\alpha = 0^\circ$ ) stimmen die beiden Kurven überein.

## 3.5 Einsetzbarkeit

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die errechneten Lokalisationskurven eine gute Näherung der tatsächlichen Lokalisationskurven sind. Dies gilt besonders für zweikanalige Mikrofonierungsverfahren, in denen es kein Übersprechen zwischen den einzelnen Kanälen gibt. Bei den dreikanaligen Systemen bieten die berechneten Lokalisationskurven eine gute Näherung. Allerdings scheint, als würde die Phantomschallquelle zum näherliegenden Lautsprecher hingezogen [12]. Ferner ist festzustellen, dass errechnete und tatsächliche Lokalisationskurve besser übereinstimmen, je besser die Kanaltrennung ist. Besonders wird das ersichtlich bei

dreikanaligen Systemen, wo die Anwesenheit der L/R-Kurve das gesamte Ergebnis schwächt.

Abschließend sollte noch verdeutlicht werden, dass zur Berechnung der Lokalisationskurven statistische Kurven aus Hörversuchen verwendet wurden. Wie bereits in Kapitel 2.4 verdeutlicht wurde sind diese keineswegs universell, sondern signalabhängig. Des Weiteren wird die frequenzabhängige Dämpfung der Mikrofone nicht berücksichtigt. Somit bieten die berechneten Lokalisationskurven lediglich einen gemittelten Abbildungsverlauf und berücksichtigen weder die Frequenz noch den Typ des Quellsignals.

### 3.6 Lokalisationskurven im Vergleich

Untersucht wird nun die Lokalisation und Kanaltrennung des OCT im Vergleich zu anderen L-C-R-Hauptmikrofonierungstechniken. Hierzu werden die einzelnen Lokalisationskurven begutachtet.

#### 1. INA 3

In Abbildung 18 ist die Lokalisationskurve für INA 3 mit einem Aufnahmewinkel von  $\varphi = 110^\circ$  dargestellt. Es besteht aus 3 Mikrofonen mit Nierencharakteristik, einer Basisbreite  $b = 92\text{cm}$  und einer Höhe  $h = 26\text{cm}$ . Die Mikrofone L und R sind um  $\varepsilon = 60^\circ$  nach außen gerichtet.

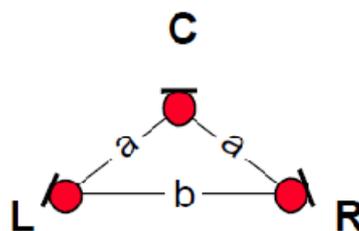


Abb. 17: Aufbau INA 3, [2]

Da nach [2] die Kanaltrennung zwischen den beiden Stereobasen weniger als  $6\text{dB}$  beträgt und die Zeitverzögerung zwischen den Kanälen im Bereich zwischen  $1$  und  $2\text{ms}$  liegt, kommt es zu Interferenzeffekten. Zusätzlich wirkt sich auch die von L/R erzeugte Phantomschallquelle stark aus, da diese im Pegel nur  $3\text{dB}$  geringer ist als die Phantomschallquellen die von den Stereobasen L/C und C/R erzeugt werden. Somit kommt es zu einer starken Betonung des Center-Kanals. Dies lässt sich im Verlauf des Summenleistungspegels (Abbildung 18) beobachten, welcher eine Anhebung hin zur Mitte zeigt.

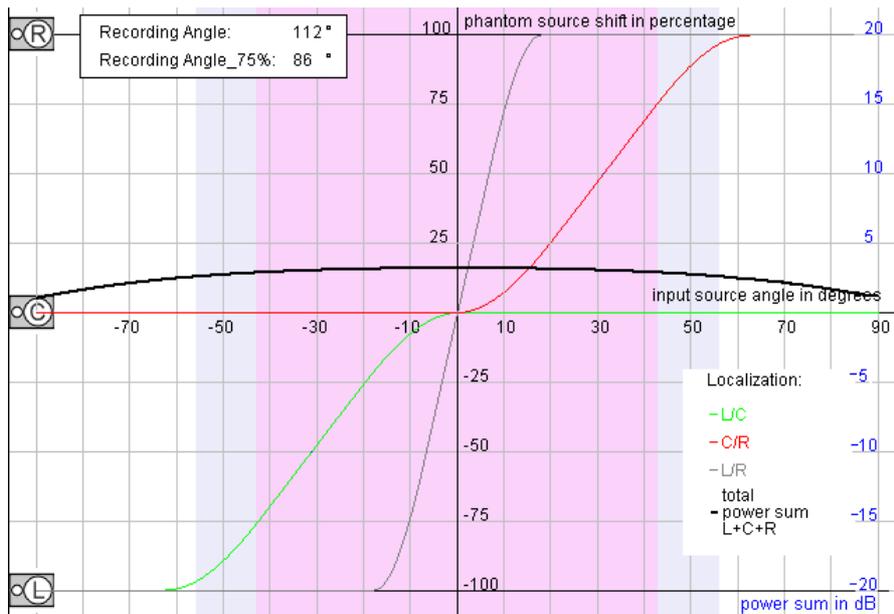


Abb. 18: Lokalisationskurve und Summenleistungspegel INA 3, [11]

## 2. Decca-Tree

Der Decca-Tree besteht aus 3 Kugelmikrofonen. Er hat eine Basisbreite von  $b = 2m$  und die Höhe beträgt  $h = 1,5m$ . Somit nimmt diese Mikrofonanordnung den größten Raum ein.

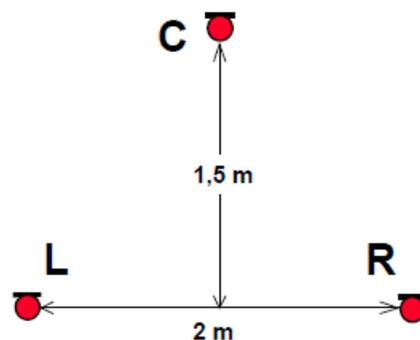


Abb. 19: Aufbau Decca-Tree, [2]

Die Zeitverzögerung der Signale zwischen den Mikrofonen liegt im Bereich von 3 bis 5ms. Dadurch wird der Präzedenz-Effekt<sup>5</sup> wirksam und das Kanalübersprechen kann vernachlässigt werden. Die Lokalisationskurve bietet jedoch keine gleichmäßige Verteilung der Phantomschallquellen zwischen den Lautsprechern. Betrachten wir die Lokalisationskurve (Abb. 20), so muss bedacht werden, dass wegen der großen Laufzeitdifferenzen die L/R-Kurve für die Lokalisation nicht ausschlaggebend ist. Nur die Kurven L/C und R/C sind relevant für die Lokalisation. Alle Quellen im Aufnahmebereich von  $\pm 45^\circ$  werden in oder sehr nahe an der Mitte abgebildet. Quellen außerhalb von  $\pm 60^\circ$  werden links oder rechts abgebildet. Dadurch kann es sein, dass der Center-Kanal ohne Pegelverringern störend wirkt.

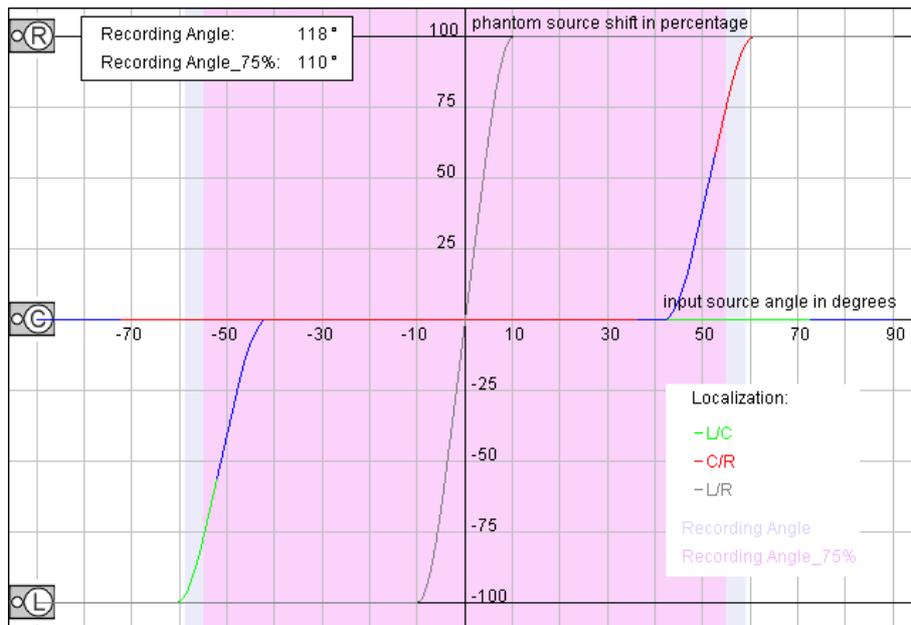


Abb. 20.: Lokalisationskurve Decca-Tree, [11]

### 3. Nahkoinzidenz

Die Nahkoinzidenz-Aufstellung besteht aus 3 Mikrofonen in einer Reihe. Dabei haben die Mikrofone der Kanäle L und R eine Supernierencharakteristik und sind um  $\varepsilon = 30^\circ$  nach außen gerichtet. Das nach vorne gerichtete Center-Mikrofon besitzt Nierencharakteristik und der Abstand zwischen den einzelnen Mikrofonen beträgt 17,5cm.

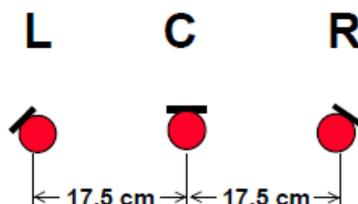


Abb. 21: Aufbau Nahkoinzidenz, [2]

Die Kanaltrennung des Nahkoinzidenz-Mikrofons liegt bei frontaler Besprechung ( $\Omega = 0^\circ$ ) bei lediglich 1dB und die Laufzeitdifferenz zwischen den Kanälen beträgt weniger als 1ms. Somit kommt es zu einer Mehrfachabbildung der Quelle. Wie aus dem Verlauf des Summenleistungspegels in Abb. 22 ersichtlich ist der Aufnahmewinkel der Mikrofone L/R im Bereich zwischen  $\pm 30^\circ$  dominant gegenüber den beiden Subbasen L/C und C/R. Somit ergibt sich durch die gewählten Charakteristiken eine verstärkte Abbildung im Center-Bereich. Bedingt durch den geringen Abstand zwischen den Mikrofonen ergibt sich ein großer Aufnahmewinkel von  $\varphi = 180^\circ$ .

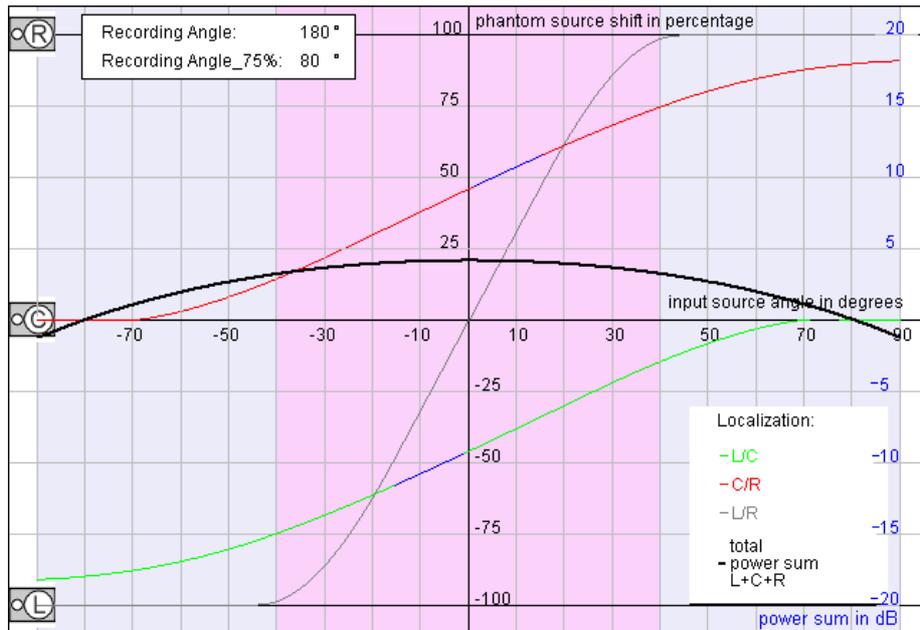


Abb. 22: Lokalisationskurve und Summenleistungspegel Nahkoinzidenz, [11]

#### 4. OCT

Betrachten wir nun die Konfiguration OCT 70cm ( $b = 70\text{cm}$ ,  $h = 8\text{cm}$ , Superniere – Niere – Superniere, Abbildung 2) mit einem Aufnahmewinkel von  $\varphi = 118^\circ$ .

Die rechnerisch ermittelte Lokalisationskurve für das Hauptmikrofon OCT 70cm sieht folgendermaßen aus:

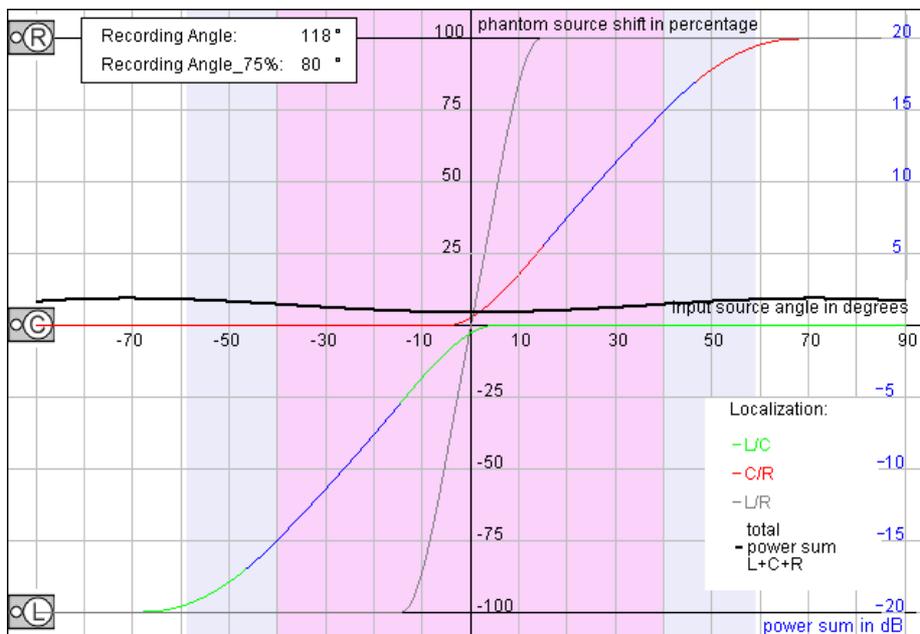


Abb. 23: Lokalisationskurve und Summenleistungspegel von OCT, [11]

Die Abbildung zeigt, dass im Gegensatz zu den anderen Verfahren die Lokalisationskurve des OCT fast über den gesamten Bereich des Aufnahmewinkels

linear ist. Des Weiteren ist zu erkennen, dass bei Besprechung im Bereich der Mittelachse es zu einer leichten Mehrfachabbildung kommt. Betrachten wir aber den Summenleistungspegel des OCT so sehen wir dass dieser hin zur Mitte leicht abnimmt. Somit kann man davon ausgehen, dass die Mikrofonbasis L/R nicht so dominant ist gegenüber den Subbasen L/C bzw. C/R. Dadurch bleibt die jeweils doppelte Abbildung vernachlässigbar und keiner der Kanäle wird hervorgehoben.

Das OCT-Verfahren erfüllt demnach die geforderten Punkte der ausreichenden Kanaltrennung und ausgeglichenen Lokalisation am besten. Einzig das INA 3-System kann hier noch einigermaßen mithalten. Die beiden anderen Verfahren, Decca-Tree sowie Nahkoinzidenz verfolgen andere psychoakustische Ziele, weshalb sie im weiteren Verlauf nicht berücksichtigt werden.

### **3.7 Abbildungsschärfe**

Ein weiterer Punkt, der Aufschluss über die Abbildungsqualität einer Hauptmikrofonanordnung bietet ist die Abbildungsschärfe. In Kapitel 2.6 wurde als Auswirkung des Kanalübersprechens die Vergrößerung der wahrgenommenen Phantomquellenbreite erwähnt. Abbildungsschärfe und wahrgenommene Quellenbreite sind voneinander abhängig und beschreiben dieselbe akustische Qualität eines Mikrofonsystems. Je größer die Abbildungsschärfe, desto geringer die wahrgenommenen Quellenbreite.

Wittek hat in [12] nun Versuchsreihen zur Bestimmung Abbildungsschärfe durchgeführt. Als Testaufnahmen dienten dieselben, welche zur Bestimmung der Lokalisationskurven verwendet wurden. Somit sind die beteiligten Hauptmikrofone wiederum die dreikanaligen OCT 70 und INA 3 sowie das zweikanalige Quasi-ORTF.

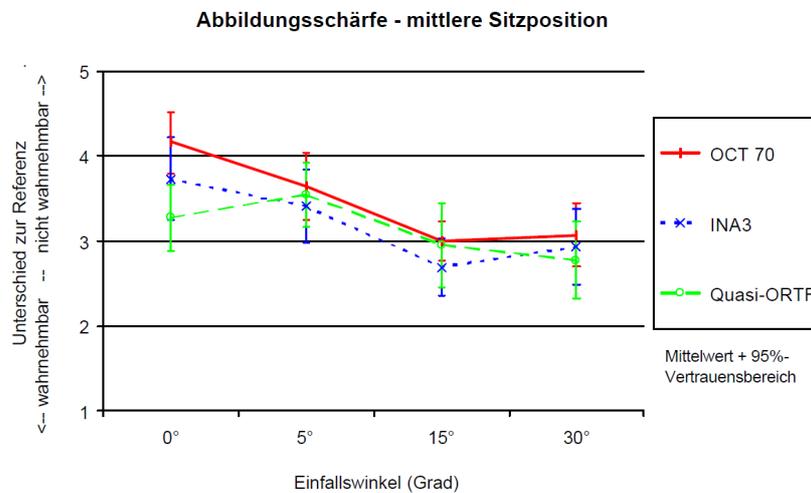
In diesem Versuch bekamen die Testhörer jeweils zweimal das Quellsignal zu hören. Als erstes wurden die Aufnahmen die zur Bestimmung der Lokalisationskurven erstellt wurden verwendet und über die vorderen 3 Lautsprecher der 3/2-Standard-Stereo-Anordnung wiedergegeben. Somit konnte das jeweilige Mikrofonarray simuliert werden. Als Referenz dazu wurde das Quellsignal (menschliche Stimme) direkt über einen Referenzmonitor der sich jeweils an der gleichen Stelle befand wie die ausgelenkte Phantomschallquelle der ersten Aufnahme wiedergegeben. Die Winkel der Lautsprecher bzw. abgebildeten Phantomquellen waren  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $15^\circ$ , und  $30^\circ$ .

Im A/B-Vergleich mussten die Versuchspersonen so die Veränderungen in Bezug auf Abbildungsschärfe auf einer 5-stufigen Skala mit:

- 5: nicht wahrnehmbar
- 4: leicht wahrnehmbar
- 3: wahrnehmbar
- 2: deutlich wahrnehmbar
- 1: sehr deutlich wahrnehmbar

bewerten.

Folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse:



*Abb. 24: Abbildungsschärfe mittlere Sitzposition, Hörversuch [12]*

Aus Abbildung 24 wird nach [12] ersichtlich, dass die 3 Mikrofonierungsverfahren aus der mittleren Hörposition ähnlich gute Abbildungsschärfe erzielen. Einzig beim Signal aus der Mittelachse ( $0^\circ$ ) zeigt das OCT-System eine Verbesserung gegenüber den anderen Verfahren, was durch das geringe Übersprechen der Kanäle L und R zu erklären ist. Auch der vorhandene Center-Kanal wirkt sich in der Verbesserung der Abbildungsschärfe aus der  $0^\circ$ -Richtung aus, wodurch sich der Einbruch beim Quasi-ORTF-System erklären lässt. Für alle 3 Systeme gilt, dass bei größeren Einfallswinkeln die Abbildungsschärfe bedingt durch steigende Laufzeitdifferenzen sinkt.

### 3.8 Klangfarbe

In einem zweiten Versuch hat Wittek ([12]) eine weitere, wesentliche Abbildungseigenschaft untersucht, nämlich die Veränderung der Klangfarbe. Hierbei wurden wie beim ersten Versuch A/B-Vergleiche zwischen einem realen Lautsprecher und der Phantomschallquelle durchgeführt. Auch Winkel und Bewertungstabelle waren die Selben.

Hier das Ergebnis:

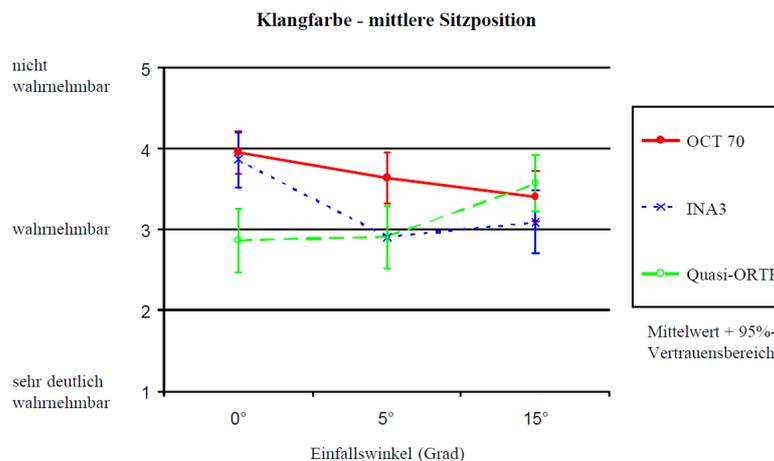


Abb. 25: Klangfarbe mittlere Sitzposition, Hörversuch [12]

Die beiden dreikanaligen Verfahren sind im Bereich der Mittelachse näher an der Referenz, was aufgrund des zusätzlichen Center-Kanals zurückzuführen ist. Die Qualität der Klangfarbe der INA 3-Anordnung nimmt jedoch bei Abweichung nach außen steiler ab als die des OCT-Systems. Nach Wittek lassen sich die Abweichungen bei seitlichen Einfallswinkeln folgendermaßen erklären: „Wie schon verschiedene Autoren [...] 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.“, [3; S. 20]. Dies wird durch die bessere Beurteilung des zweikanaligen Systems bei größeren Auslenkungen gegenüber den dreikanaligen ersichtlich.

### 3.9 Abbildungsqualitäten außerhalb des Sweet Spots

Untersuchen wir nun die Abbildungsqualitäten der Hauptmikrofone bei Hörpositionen abseits des Sweet Spots. Wie bereits angeführt entstehen dadurch Pegelverzerrungen sowie abweichende Laufzeiten, welche das Klangbild verzerren.

#### 3.9.1 Abbildungsschärfe und Klangfarbe außerhalb des Sweet Spots

Um nun die Auswirkungen dieser Verzerrungen zu beobachten hat Wittek in [12] Abbildungsschärfe und Klangfarbe auch in einer um 50cm vom Sweet Spot nach links verschobenen Position untersucht. Dabei sind Auslenkung der Phantomschallquelle und Abweichung der Sitzposition vom Sweet Spot entgegengesetzt (siehe Abbildung 26). Ansonsten blieben die Versuchsabläufe die Selben.

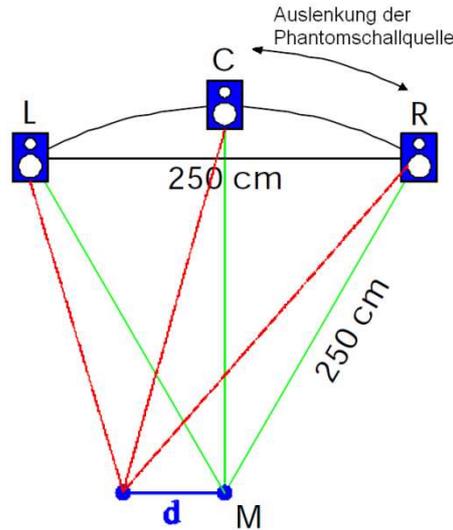


Abb. 26: Signalwege seitliche Sitzposition, [12]

- Abbildungsschärfe seitliche Sitzposition:

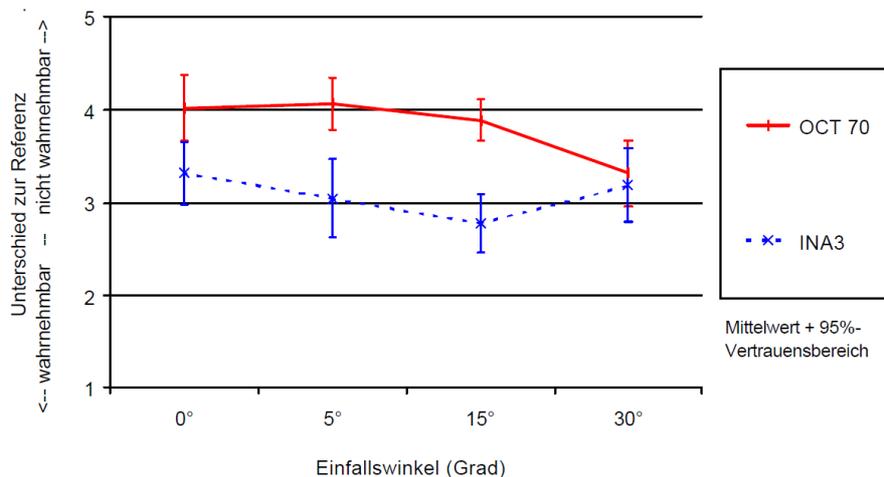


Abb. 27: Abbildungsschärfe seitliche Sitzposition, Hörversuch [12]

Gegenüber dem Hörversuch in der idealen Hörposition schneidet in diesem Versuch die INA 3-Anordnung deutlich schlechter ab. Dies ist nach [12] auf das auftretende Übersprechen auf den linken Kanal sowie auf die größere Wirkung der Laufzeitdifferenzen zurückzuführen. Beim OCT-System fällt auf, dass durch die dominierende Rolle des Center-Lautsprechers bei allen 3 Signalen die Abbildungsschärfe im Vergleich zur optimalen Sitzposition noch besser ausfällt. Aufgrund der schlechten Eigenschaften zweikanaliger Systeme in Bezug auf Stabilität wurde das Quasi-ORTF-System nicht untersucht.

- Klangfarbe seitliche Sitzposition:

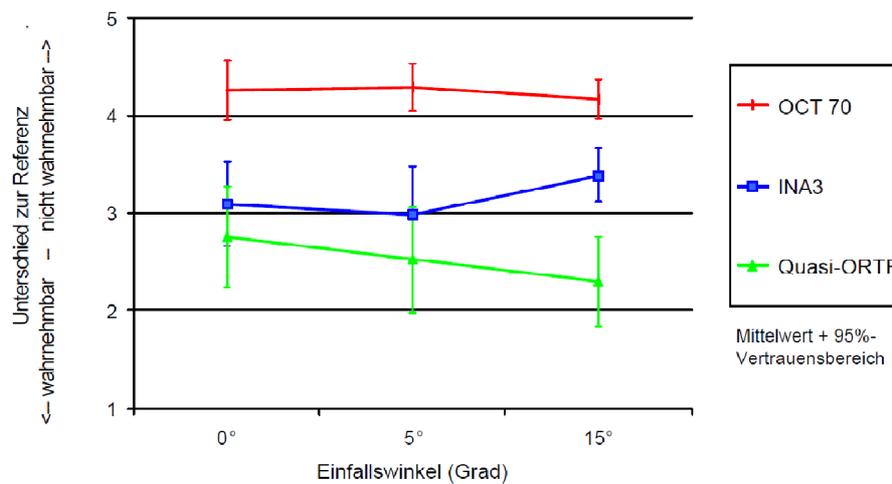


Abb. 28: Klangfarbe seitliche Sitzposition, Hörversuch [12]

Auch hier zeigt beim OCT-Verfahren der Einfluss des Center-Kanals seine Wirkung und man erreicht bessere Werte als beim Versuch in der optimalen Sitzposition. Beim INA 3-Verfahren wirkt sich wiederum die Mehrfachabbildung durch Kanalübersprechen negativ auf die empfundene Klangfarbe aus. Die Qualität des Quasi-ORF-Verfahren verschlechtert sich, je weiter man vom Sweet Spot abweicht.

Abschließend kann festgehalten werden das leichte Abweichungen vom Sweet Spot die Abbildungsqualität der OCT-Anordnung nur geringfügig beeinflussen. Es wurden zum Teil sogar bessere Ergebnisse erzielt, als bei idealen Hörpositionen. Es stellt sich die Frage, ob dies auch dann der Fall ist, wenn die Auslenkung des Einfallswinkels und der Sitzposition nicht entgegengesetzt sind (siehe Abbildung 26) und somit der Einfluss des Center-Kanals schwindet.

### 3.9.2 Lokalisationskurve außerhalb des Sweet Spots

Weicht man vom Sweet Spot ab, so ändert sich bedingt durch gegensinnige Pegel- und Laufzeitdifferenzen auch die Lokalisationskurve dementsprechend. Auch dieser Effekt wurde in [12] untersucht und mittels Hörversuchen festgehalten. Der Versuch wurde analog zu dem in Kapitel 3.4 beschriebenen durchgeführt, allerdings befanden sich die Versuchspersonen 50cm links vom Sweet Spot. Die untersuchten Verfahren sind wiederum die dreikanaligen Verfahren OCT, INA 3 und das zweikanalige Quasi-ORF.

Abbildung 29 zeigt die Ergebnisse:

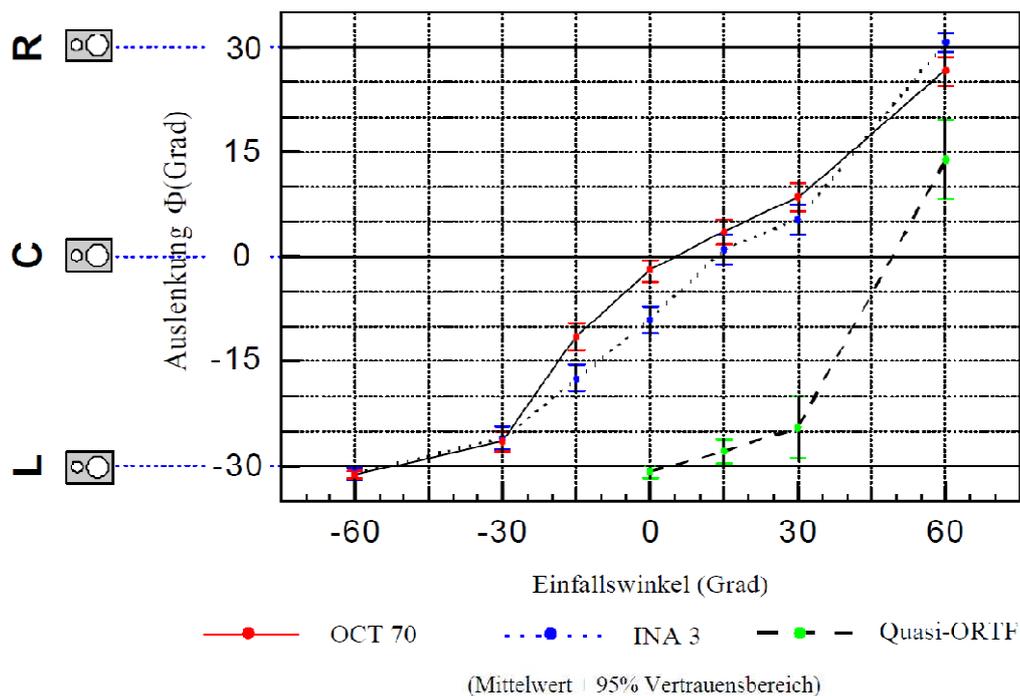


Abb. 29: experimentelle Lokalisationskurven, seitliche Sitzposition, [12]

Auch hier wird die Anwesenheit des Center-Kanals deutlich: Die Quasi-ORTF-Anordnung erreicht keine zufriedenstellende Ergebnisse. Bei der INA 3-Anordnung wird die Abbildungskurve im mittleren Bereich deutlich zum Hörer hingezogen. Dies ist nach [12] eine Folge des Übersprechens auf den linken Lautsprecher. Die OCT-Kurve hat einen ähnlichen Verlauf wie die der INA 3, ist jedoch im Center Bereich deutlich stabiler: ein Signal, das in der Mitte abgebildet werden sollte, bleibt stabil im Center-Lautsprecher.

Abschließend ist in Bezug auf die die Abbildungsqualität von Hauptmikrofonen festzustellen, dass ein zusätzlicher Center-Kanal bei geeigneter Konfiguration der Mikrofonanordnung Stabilität erzeugt, ohne dabei negative Einflüsse auf das Klangbild zu haben. Des Weiteren hat er positiven Einfluss auf die Wahrnehmung von Klangfarbe und Abbildungsschärfe. „Bei ungenügendem Vermeiden von Übersprechen bzw. nachteiliger Zusammensetzung der Signaldifferenzen mindern sich diese positiven Effekte mehr oder weniger deutlich.“, [3].

### 3.9.3 Berechnete Lokalisationskurven außerhalb des Sweet Spots

Zur Bestimmung der Lokalisationskurven an einer nicht idealen Hörposition gibt es die Möglichkeit sich diese mit Hilfe des in Bereits in Kapitel 3.3 beschriebenen Java –Applets „Image Assistant 2.1“ [11] berechnen zu lassen. Dabei können horizontaler und vertikaler Offset verändert werden. Auch der Einfluss durch Verändern der Basisbreite der Lautsprecher kann berechnet werden.

Vergleichen wir nun die experimentell ([12]) und rechnerisch ([11]) ermittelten Lokalisationskurven des Mikrofonarrays OCT bei einer Hörposition 50cm links vom Sweet Spot und einer Basisbreite der Lautsprecheranordnung von 250cm:

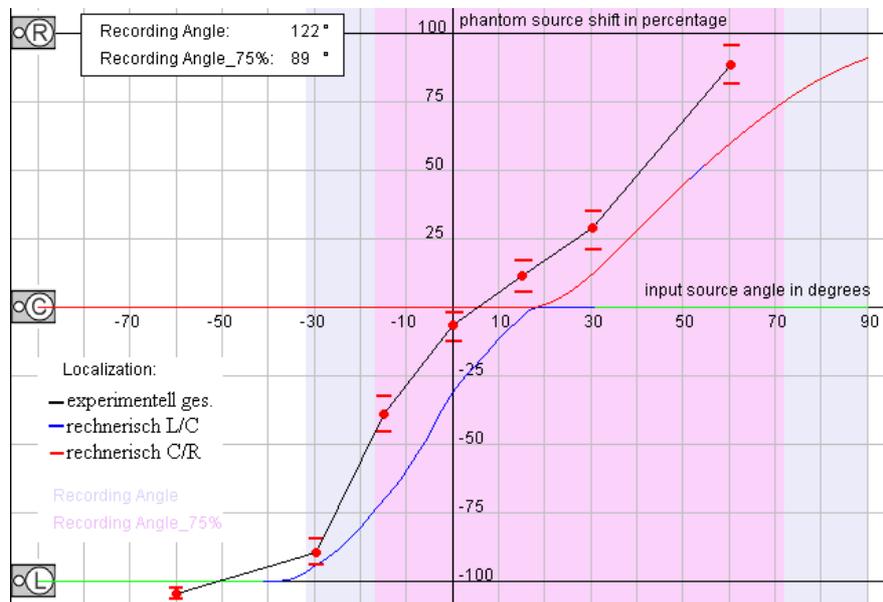


Abb. 30: experimentelle und rechnerische Lokalisationskurven OCT 70cm, seitliche Sitzposition, [12], [11]

Die Grafik zeigt eindeutige Abweichungen der beiden Kurven. Dabei ist die berechnete Lokalisationskurve gegenüber der experimentell ermittelten um ca. 20% in Richtung des linken Lautsprechers verschoben.

Noch deutlicher sind die Unterschiede bei der zweikanaligen Anordnung Quasi-ORTF:

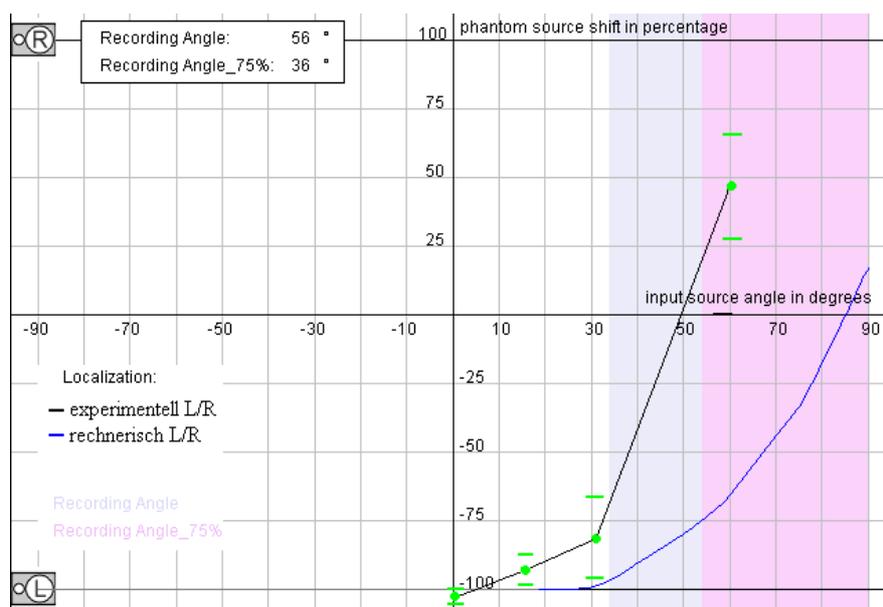


Abb. 31: experimentelle und rechnerische Lokalisationskurven Quasi-ORTF, seitliche Sitzposition, [12], [11]

Hier sind nur mehr die tendenziellen Verläufe der Kurven übereinstimmend. Somit kann ein systematischer Offset-Fehler ausgeschlossen werden. Auch bei der INA 3-Anordnung fällt der Vergleich der Kurven nicht zufriedenstellend aus.

Somit kann festgehalten werden, dass bei gegensinnigen Pegel- und Laufzeitdifferenzen die bekannten Lokalisationsgesetze nicht mehr gelten. Deshalb wurde von Wittek ein Versuch durchgeführt, in denen Probanden Phantomschallquellen bei gegensinnigen Signaldifferenzen (Pegel- und Laufzeit) lokalisieren mussten, [21]. Die Auswertung des Versuchs ergab, dass die Versuchsteilnehmer jeweils 2 deutlich getrennte Phantomquellen wahrnahmen. Eine davon enthielt den hochfrequenten Anteil des Quellsignals und deren Auslenkung war primär von den Laufzeitdifferenzen abhängig, während die zweite den tieffrequenten Anteil enthielt und primär durch die Pegeldifferenzen ausgelenkt wurde. Die Aufgabenstellung lag jedoch darin nur eine Phantomquelle zu lokalisieren. Dadurch kam es zu großen Abweichungen zwischen den einzelnen Versuchsteilnehmern. Allgemein konnte jedoch festgestellt werden, dass wenn:

- $\Delta L > 12dB$  nur mehr Pegeldifferenzen für die Lokalisation verantwortlich sind,
- $\Delta L < 3dB$  in etwa die bekannten Lokalisationsgesetze gelten.

Um nun weitere Schlüsse zur Berechnung von Lokalisationskurven abseits des Sweet Spots ziehen zu können, sollten nach [21] weitere Untersuchungen in Bezug auf diese doppelte Abbildung durchgeführt werden.

Abschließend kann festgehalten werden, dass zur Berechnung der Lokalisationskurven außerhalb des Sweet Spots noch zusätzliche Faktoren zum Tragen kommen. Diese werden vom *Image Assistant* jedoch nicht berücksichtigt. Somit kann damit höchstens ein tendenzieller Verlauf der Lokalisationskurve errechnet werden.

## 4. Erweiterungen des L-C-R-Hauptmikrofons

Um Aufnahmen für den 3/2-Stereo-Standard [ITU 1992] durchführen zu können ist es von Nöten, das Hauptmikrofon mit zusätzlichen Raummikrofonen zu erweitern. Dabei werden 2 Arten der Erweiterung unterschieden:

- kompaktes Surround-Verfahren
- Trennung von Raum- und Hauptmikrofon

Dabei ist das Ziel der Erweiterungen nach [1] jedoch immer die Erzeugung von Räumlichkeit und räumlicher Eingebundenheit, also dreidimensionaler räumlicher Abbildung, [4].

### 4.1 Frühe Reflexionen

Zur Erzeugung des räumlichen Eindrucks sind die frühen Reflexionen von besonderer Bedeutung. Als frühe Reflexionen versteht man Reflexionen im Bereich zwischen 15 und etwa 50ms nach dem Direktschall.

Dabei ist die empfundene Raumgröße abhängig von der Zeitspanne zwischen Direktschall und erster Reflexion. Eine lange Zeitspanne zwischen Direktschall und erster Reflexion entspricht einem langen Weg des reflektierten Schalls, was auf einen großen Raum zurückzuführen ist. Außerdem wurde gezeigt, dass erste Reflexionen innerhalb von ca. 35ms direktschallverstärkend wirken, ohne die Deutlichkeit zu beeinflussen, [14]. Trifft die erste Reflexion erst später ein, so wird sie als Echo empfunden. Des Weiteren sind die Auswirkungen dieser frühen Rückwürfe richtungsabhängig: „Treffen sie aus der Medianebene ein bewirken sie ausschließlich eine größere Lautstärkeempfindung des Direktschalls. Nur wenn sie aus seitlichen Richtungen eintreffen, wird beim Hörer eine begriffliche Vorstellung des Raumes geprägt“, [14; S. 18].

Eine weitere Auswirkung die durch seitliche Reflexionen entstehen kann, ist die Vergrößerung der empfundenen Quellenbreite. Dieser tritt Effekt allerdings erst ab Pegeln von 75 bis 85dB und Tönen mit langen Einschwingvorgängen auf.

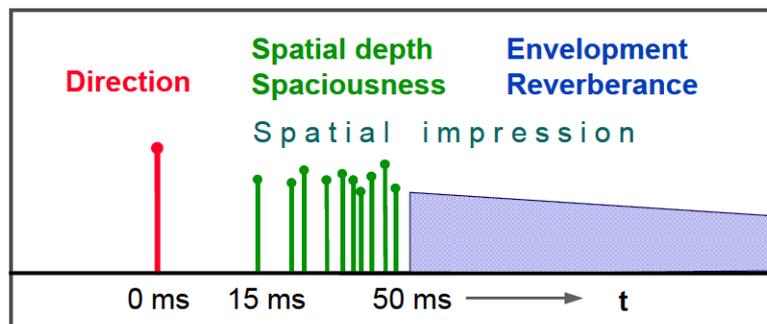


Abb. 32: Reflexionen zur Erzeugung von Räumlichkeit, [2]

## 4.2 Nachhall und späte Reflexionen

Späte Reflexionen ab ca. 50ms nach dem Direktschall bilden in ihrer Gesamtheit den Nachhall. Dieser lässt die Schallquellen zu einer Gesamtheit verschmelzen. Bei Pausen wird er als raumerfüllend wahrgenommen und umhüllt den Zuhörer mit Hörereignissen. Des Weiteren wirkt er direktschallverstärkend.

Ähnlich den frühen Reflexionen sind für ein umhüllendes Klangbild die seitlichen, diffusen Komponenten des Nachhalls von entscheidender Bedeutung. Diese Umhüllung ist nach [14] auf Schwankungen der ITD und der ILD zurückzuführen. Die Stärke der empfundenen Umhüllung ist abhängig von der Lautstärke des Nachhalls. Es können jedoch Maskierungseffekte auftreten, weshalb der Grad der empfundenen Umhüllung je nach Signaltyp auch von der Lautstärke des Direktschalls abhängen kann.

## 4.3 Abbildung von Räumlichkeit

Die Abbildung der Räumlichkeit und dreidimensionalen Darstellung lässt sich nun in die Attribute räumliche Tiefe, räumlicher Eindruck sowie Umhüllung aufteilen. Wie bereits gesehen beinhalten erste Reflexionen Informationen über räumliche Tiefe und Eindruck während der Nachhall Aufschluss über den Grad der Umhüllung gibt. Ferner wurde gezeigt, dass diese Reflexionen vor allem aus den seitlichen Richtungen die Vorstellung des Raumes beeinflussen. Deshalb sind zur Abbildung der Räumlichkeit die seitlichen Lautsprecherbasen L/LS (Links/Links-Surround) und R/RS (Rechts/Rechts-Surround) von entscheidender Bedeutung. Nach [2] sollten die ersten Reflexionen aus seitlichen Richtungen wiedergegeben werden, während zur Wiedergabe des Nachhalls auch die Medianebene hinzugezogen wird.

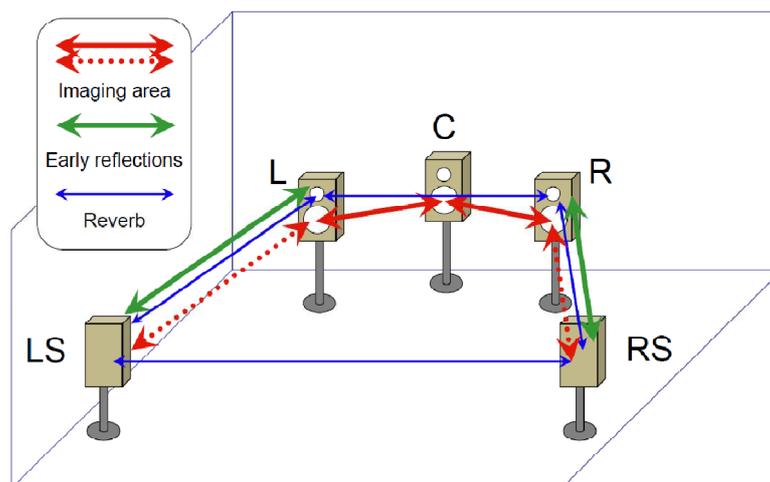


Abb. 33: Abbildung einer 3/2-Stereo-Standard Anordnung, [5]

Zur Abbildung des Direktschalls sind stabile Phantomschallquellen erforderlich. Versuche haben gezeigt, dass die seitlichen Basen zur Darstellung stabiler Phantomquellen ungeeignet sind, womit sich diese Aufgabe primär auf das Front-Triplet (L-C-R) beschränkt. Da bei der Abbildung von Räumlichkeit vor allem diffuser Schall

wiedergegeben wird, ist diese Tatsache von untergeordneter Bedeutung. Hinzu kommt, dass genannte räumliche Attribute überraschend resistent gegenüber Abweichungen vom Sweet Spot sind und ein stabiles Klangbild besitzen, [2].

Die Aufgabe der Raummikrofone liegt somit in der stereophonen Abbildung des natürlichen Reflexionsmusters. Aber auch Atmo und Applaus einer Konzertsituation gilt es zu übertragen. Primär liefern Raummikrofone die Signale für die Surround-Kanäle (LS und RS) und der Kanäle L und R.

#### **4.4 Der Einfluss des Direktschalls**

Wie bereits erwähnt obliegt die Aufnahme des Direktschalls dem Hauptmikrofon. Somit ist klar, dass die Raummikrofone keinen bzw. möglichst wenig von diesem Schall aufnehmen sollten. Ist dies nicht gewährleistet und beide Mikrofonsysteme nehmen den direkten Schall auf, so leidet die Phantomquelle des Hauptmikrofons darunter und neigt zu verschwimmen.

Am besten lässt sich dies durch nach hinten gerichtete Mikrofone mit Nierencharakteristik oder seitlich gerichtete Achten vermeiden.

#### **4.5 Das R/D-Verhältnis**

Einen wichtigen Punkt stellt das Verhältnis zwischen direktem Schall und Nachhall (R/D-Verhältnis, *Direct/Reverbration Ratio*) von Hauptmikrofon und Raummikrofon dar. Allgemein gilt, dass dieses Verhältnis sich ungefähr die Waage halten sollte. Hierbei spielt der Aufstellungsort der Mikrofone eine entscheidende Rolle. Bei den zweiteiligen Systemen, mit getrennter Haupt- und Raummikrofonie ist das geeignete R/D-Verhältnis leichter zu erzielen, als bei dem kompakten Surround-Verfahren. Dies ist ein entscheidender Nachteil solcher Kompaktsysteme. Ein natürlicher Klang wird erzielt, wenn das Hauptmikrofon die trockeneren und das Raummikrofon den halligeren Signale aufnimmt. Ist dies nicht gegeben, so kommt es zu einer schlechten Abbildung und das Hauptereignis (Bühne) wird entfernt abgebildet.

#### **4.6 Abstand Hauptmikrofon – Raummikrofon**

Beim getrennten Verfahren hat das Raummikrofon keinen festen Bezug zum Hauptmikrofon, dadurch kann es in im diffusen Schallfeld eingesetzt werden, wo sowohl ein optimaler Raumeindruck vorherrscht, als auch Störgeräusche aus dem Publikum und dergleichen weniger ins Gewicht fallen. Somit kann ein optimales R/D-Verhältnis erreicht werden. Allgemein sollten Raummikrofone weit entfernt von der Bühne an einer hohen Position aufgestellt werden, [13]. Hierbei haben sich Abstände zwischen 5 und 10m ([17]) bzw. bis zu 12m ([2]) als praktikabel erwiesen. Zu beachten ist dabei

allerdings, dass durch das Fehlen der natürlichen Laufzeitdifferenz geeignete Verzögerungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen (RRB, *Room Related Balancing*).

Der Aufstellungsort des Hauptmikrofons ist durch den Aufnahmewinkel eingeschränkt. Die Literatur empfiehlt dabei eine Aufstellung in der Nähe des Hallradius, wo direkte und diffuse Schallenergie sich die Waage halten. Der Hallradius (*Critical distance,  $r_H$* ) lässt sich aus dem Volumen  $V$  des Raumes und dessen Nachhallzeit  $T$  berechnen.

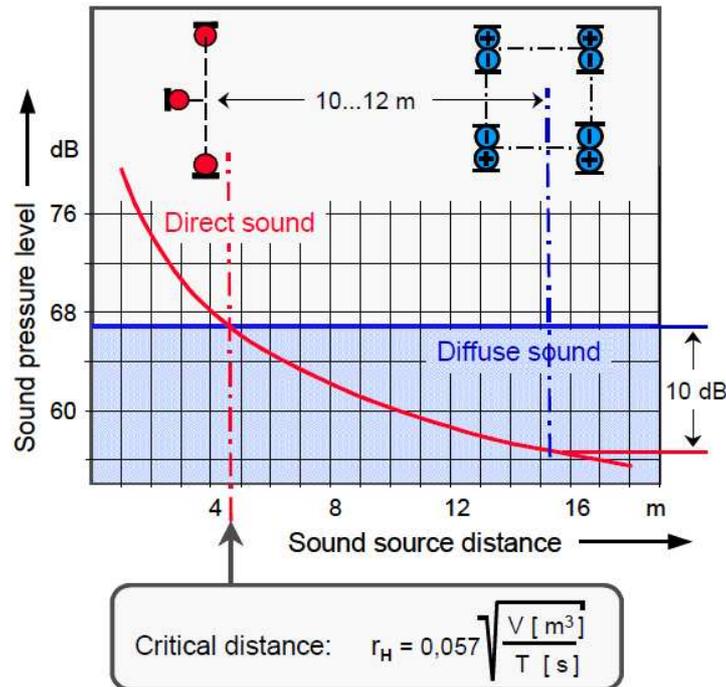


Abb. 34: R/D-Verhältnis und Hallradius, [2]

Betrachten wir nun die Abmessungen der kompakten Surroundverfahren, so liegt der Abstand zwischen Haupt- und Raummikrofonen bei etwa einem Meter oder weniger. Da aber wie beim getrennten Verfahren der Aufnahmewinkel eingehalten werden muss, wird meist ein Kompromiss zwischen direkter und räumlicher Abbildung eingegangen.

#### 4.7 Abstand zwischen den Mikrofonen und Kohärenzgrad

Ein wichtiger Parameter bei der Gestaltung von Raummikrofonen ist der Kohärenzgrad. Dieser steht in direkter Beziehung zur Wahrnehmung räumlicher Information, [2]. „Vereinfacht kann man sagen, der Kohärenzgrad ist ein Maß für die Ähnlichkeit zweier Signale. Er kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei  $k = 1$  identische Signale anzeigt“, [14; S. 49]. Bei unkorrelierter Wiedergabe der Signale entsteht ein diffuses Klangbild, das den Hörer umhüllt, jedoch keine räumliche Information beinhaltet. Steigt der Korrelationsgrad, werden auch Reflexionen zwischen den Lautsprecherbasen

abgebildet und die räumliche Information nimmt zu. Somit ist ein bestimmter Grad an Kohärenz nötig um eine geeignete räumliche Abbildung zu erzeugen.

Der Kohärenzgrad wird durch den Abstand der Mikrofone untereinander, sowie deren Charakteristik beeinflusst. Dabei sinkt dieser wenn sich der Abstand erhöht. Je nach Raummikrofon werden bestimmte Abmessungen vorgeschlagen, für die sich ein geeigneter Kohärenzgrad ergibt.

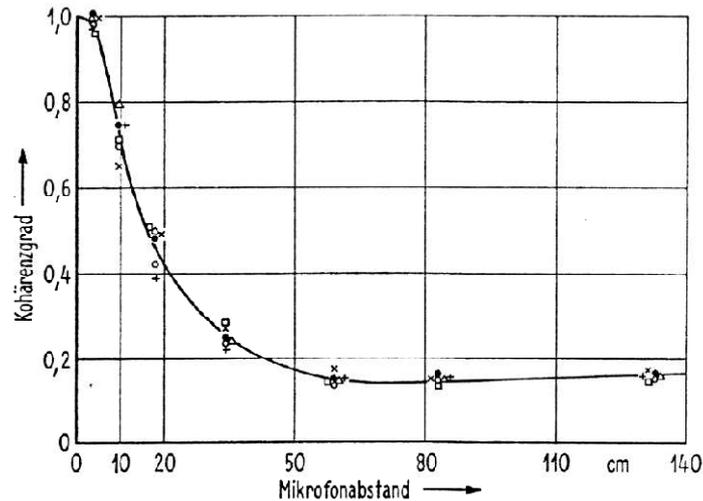


Abb. 35: Kohärenzgrad von 4 Mikrofonen in Abhängigkeit von ihrem Abstand, [13]

## 5. Trennung von Haupt- und Raummikrofon

Die Technik mit getrennten Haupt- und Raummikrofon bietet dem Aufnahmeleiter sicher die größte Freiheit. Denn neben Aufstellungsort der einzelnen Systeme kann er noch beliebige Haupt- und Raummikrofonarrays kombinieren, um somit die gestellten Anforderungen bestmöglich zu erfüllen. Somit ist diese Lösung in vielerlei Hinsicht in der Praxis den kompakten Surround-Mikrofonen überlegen.

### 5.1 Raummikrofonarrays

Grundsätzlich werden bei Raummikrofonen zwei- und vierkanalige Systeme unterschieden.

#### 5.1.1 Vierkanalige Raummikrofone

Wie der Name schon andeutet bestehen vierkanalige Raummikrofone aus 4 Mikrofonen zur Aufnahme des diffusen Schallfelds. Die Signale der Mikrofone werden normalerweise bei einer 3/2-Stereo-Standard-Anordnung von den Lautsprechern L, R, LS, RS wiedergegeben. Im Folgenden werden die wichtigsten Systeme vorgestellt.

##### 1. IRT-Kreuz

Das IRT-Kreuz wurde von Theile entwickelt und besteht normalerweise aus 4 Mikrofonen mit Nierencharakteristik, die sich an den Eckpunkten eines Quadrats befinden und von dessen Mittelpunkt weggerichtet sind. Die Seitenlänge des Quadrats ist nach Theile 20 bis 25cm zu wählen. Es wurde für Atmo- und Applaus-Aufnahmen optimiert. Aufgrund der Ausrichtung der Mikrofone nimmt das IRT-Kreuz auch Direktschall auf.

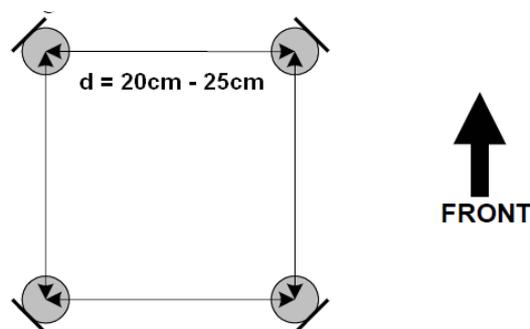


Abb. 36: IRT-Kreuz, [13]

## 2. Hamasaki-Square (NHK)

Ein weiteres Raummikrofon mit 4 Kanälen ist das Hamasaki-Square, benannt nach seinem Erfinder K. Hamasaki. Es besteht aus 4 Mikrofonen mit Achtercharakteristik, die wie folgt angeordnet sind:

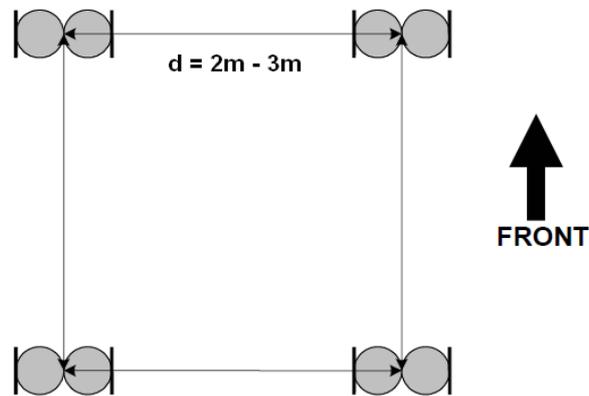


Abb. 37: Hamasaki-Square, [13]

Der Abstand zwischen den Mikrofonen sollte laut Hamasaki 2 bis 3m betragen. Wie auf Abbildung 37 ersichtlich sind die Mikrofone so ausgerichtet, dass sie Direktschall nicht übertragen. Theile [2] zieht deshalb dieses Array zur Erzeugung eines räumlichen Eindrucks dem IRT-Kreuz vor.

Allgemein ist es üblich die Signale der beiden rückwärtigen, also von der Bühne abgewandten Mikrofone den Lautsprechern LS und RS zuzuführen. Die beiden vorderen Kanäle hingegen können zwischen die Lautsprecherbasen L/LS bzw. R/RS gepanned werden. Dabei kann durch die Aufteilung der Signale auf die Stereobasen der Raumeindruck beeinflusst werden. Eine besonders geschlossene Atmosphäre wird erreicht, wenn der Großteil der Signale den Kanälen L und R dazu gemischt werden, [17].

### 5.1.2 Zweikanalige Raummikrofone

Bei zweikanaligen Raummikrofonen werden die Signale der beiden Mikrofone den Lautsprechern LS und RS der 3/2-Anordnung zugeführt. Vom Prinzip her kann jedes Stereo-Hauptmikrofon verwendet werden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass durch die Verwendung der Laufzeitstereofonie bessere räumliche Abbildungen entstehen. Hier wird nun auf zwei wichtige Vertreter eingegangen:

#### 1. A/B-Verfahren

Die Idee bei diesem Stereofonieverfahren ist das Erzeugen eines räumlichen Eindruckes durch die räumliche Trennung zweier Mikrofone gleicher Charakteristik. Um Direktschallaufnahme zu vermeiden bieten sich entweder nach hinten gerichtete

Nierenmikrofone oder seitlich gerichtete Achten an. Je nach Anforderung kann der Abstand zwischen den Mikrofonen frei gewählt werden, wobei ein geeigneter Kohärenzgrad entscheidend ist.

## 2. Kunstkopf-Technik

Bei diesem Aufnahmeverfahren wird eine Nachbildung des menschlichen Kopfes verwendet. Die beiden Mikrofone befinden sich in den Gehörgängen des Kunstkopfes, somit wird die natürliche Übertragungsfunktion nachgebildet. Klepko empfiehlt in [18] diese Technik zur Aufnahme des diffusen Schallfeldes. Da sich die Surround-Lautsprecher ungefähr auf beiden Seiten der Abhörposition befinden ( $\pm 110^\circ$ ), wird mit Hilfe des Kunstkopfes ein kontinuierliches und klares Klangbild erzeugt. In Bezug auf das Kanalübersprechen zwischen Haupt- und Raummikrofon eignet sich die Kunstkopfmethode weniger, da zu viel Direktschall aufgenommen wird. Dies kann jedoch durch genügend großem Abstand zwischen den Mikrofonarrays gemindert werden.

## 5.2 Abbildungsqualität der Raummikrofone

An der Universität Surrey wurden Vergleiche zwischen den beschriebenen Raummikrofone in Kombination mit verschiedenen L-C-R-Hauptmikrofonen durchgeführt, [13]. Die Testpersonen sollten ein allgemeines Ranking der einzelnen Kombinationen abgeben. Dabei wurde festgestellt, dass beim Vergleich der beiden vierkanaligen Raummikrofone, mit den von den Entwicklern vorgeschlagenen Abmessungen, überraschend geringe Unterschiede wahrgenommen wurden. Auch bei den zweikanaligen Raummikrofonen wurden nur geringe subjektive Unterschiede festgestellt. Bei beiden Systemen wurden jedoch die Ausführungen bevorzugt, welche keinen Direktschall übertragen (Hamasaki-Square & A/B-Verfahren).

Beim Vergleich dieser beiden Systeme miteinander wurden deutlichere Unterschiede bemerkbar und das Hamasaki-Square wurde gegenüber dem A/B-Verfahren bevorzugt. Zusammenfassend schien das Hamasaki-Square die abgebildeten Atmosphären von Raum- und Hauptmikrofon mehr zu vermischen. Ferner erhöhte sich die wahrgenommene Quellenbreite, was von den Testpersonen als positiv beurteilt wurde. Das ganze System erzeugte ein umhüllenderes Klangbild, [13]. All diese Attribute sind auf die beiden zusätzlichen Mikrofone, die den Lautsprechern L und R zugeführt wurden zurückzuführen.

## 5.3 Einfluss des Kohärenzgrades auf die Abbildungsqualität

Der Einfluss der Abmessungen und der sich somit ergebenden Kohärenzgrade auf die Abbildungsqualität von Raummikrofonen wurde in [14] untersucht. Dabei wurden verschiedene Testsignale (Streichquartett und Percussion-Trio) mit der Kombination

aus OCT als Hauptmikrofon und IRT-Kreuzen unterschiedlicher Abmessungen als Raummikrofone aufgenommen. Auch der Einfluss durch unterschiedliche Richtcharakteristiken der Raummikrofone wurde untersucht. Hierbei wurden Nieren- und Kugelmikrofone verwendet. Anschließend wurde das gewonnene Material den Testpersonen vorgespielt und die empfundenen räumlichen Attribute abgefragt. Dabei wurde ersichtlich, dass es für nicht geübte Hörer schwierig ist Unterschiede auszumachen und einzuordnen, was teilweise zu Widersprüchen in ihren Antworten führte. Deshalb beschränkten sich die Autoren in der Auswertung auf ihre eigenen subjektiven Höreindrücke.

Dabei beobachteten sie, dass die kleineren Aufstellungen mit Seitenlänge des Quadrates von 15 bzw. 25cm mit Nierenmikrofonen sowie 60cm mit Kugelmikrofonen das gesamte Ensemble breiter wirken ließen, als die größeren Aufstellungen. Die Ensembles schienen sich besser in die akustische Umgebung zu integrieren, vor allem war die beim Streichquartett zu beobachten. „Die größeren Aufstellungen [215, 300 und 500cm Seitenlänge] tendierten dazu, Schwerpunkte (Klangwolken), bei den Lautsprechern L und R zu bilden. Es entstand ein Loch in der Mitte.“, [13]. Bei perkussiven Testsignalen schienen jedoch die kleinen Anordnungen das Ensemble weiter vom Zuhörer entfernt abzubilden. Zur weiteren Auswertung wurden die Aufnahmen an David Griesinger weitergegeben. Dieser vertritt die Meinung, dass die Signale der Raummikrofone völlig dekorreliert sein sollten. Nach ihm klangen die kleinen Aufstellungen eng, die größeren hingegen lieferten einen konstanteren Höreindruck über eine größere Abhörzone.

Beim Vergleich zwischen den beiden Mikrofoncharakteristiken konnten nur geringe Unterschiede festgestellt werden und es entstanden in etwa vergleichbare Raumeindrücke. Es bestätigte sich nur wie bereits bekannt, dass sich Kugeln besser für die Aufnahme tiefer Frequenzen eignen.

Bei der Suche nach einem „idealen“ Kohärenzgrad bzw. den „idealen“ Abmessungen wird somit deutlich, dass es diesen nicht gibt. Er ist abhängig von Aufnahmesituation und von der gestellten Anforderung, allerdings bieten die Vorschläge der jeweiligen Entwickler einen durchaus brauchbaren Wert.

#### **5.4 Abbildungsqualität des Gesamtsystems**

Betrachten wir nun die Abbildungsqualität des Gesamtsystems bestehend aus dem Hauptmikrofon OCT in Kombination mit einem Raummikrofon. Wir unterscheiden hierbei in Abbildungsqualität kleiner Klangkörper (z.B. einzelne Interpreten) sowie größerer Klangkörper (z.B. Sinfonieorchester).

### 5.4.1 Abbildungsqualität kleiner Klangkörper

Wie bereits erwähnt werden in [13] die Kombinationen aus verschiedenen L-C-R-Hauptmikrofonen mit Raummikrofonen miteinander verglichen. Im Konkreten handelt es sich dabei um die Hauptmikrofone Fukada-Tree (Aufbau wie Decca-Tree, jedoch mit 3 Nierenmikros), OCT, Nahkoinzidenz und INA 3, sowie die Raummikrofone Hamasaki-Square und das A/B-Verfahren. Diese wurden alle an derselben Position aufgebaut. Anschließend wurden damit verschiedene Musikstücke aufgenommen und den Testhörern vorgespielt. Bei den Tracks handelte es sich um Solostücke und Duette aus dem Bereich der E-Musik. Die Aufnahmen wurden dann den Versuchsteilnehmern vorgespielt und diese mussten anschließend die bevorzugte Kombination für jedes Musikstück bestimmen, sowie einen „Gesamtsieger“ wählen. Somit wurden keine spezifischen Attribute in Bezug auf Abbildung befragt. Das Ergebnis fiel relativ deutlich aus, wie Abbildung 38 zeigt:

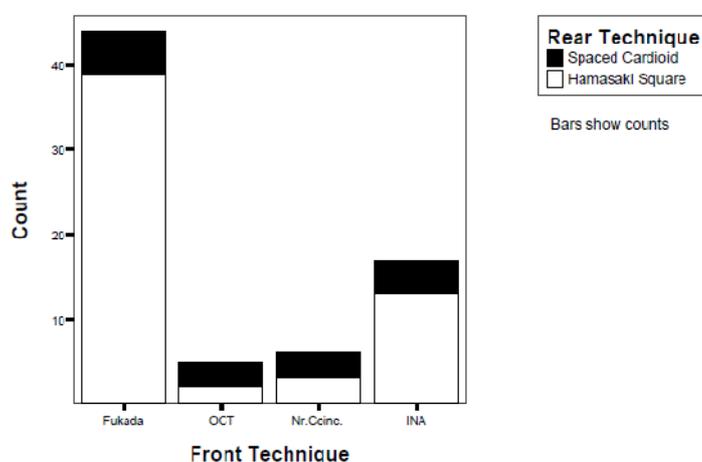


Abb. 38: Gesamtergebnis, alle Mikrofonsysteme, alle Musikstücke, [13]

Der Sieger ist somit der Fukada-Tree in Kombination mit dem Hamasaki-Square. Dies lässt sich nach [13] durch die großen Laufzeitdifferenzen zwischen den Kanälen und durch die dadurch entstehenden räumlichen Eindruck erklären. In punkto Lokalisation sollte der Fukada-Tree laut Theorie (Kapitel 3.6) am schlechtesten abschneiden. Die Kommentare der Versuchsteilnehmer belegten jedoch das Gegenteil. Laut [13] könnte dies auf die relativ stabile Abbildung und somit eindeutige Lokalisation zurückzuführen sein, die jedoch mit der originalen Schallquelle nicht übereinstimmt.

Das Hauptmikrofon OCT hat bei diesem Versuch am schlechtesten abgeschnitten. Theoretisch ist es in Bezug auf Lokalisation zwar das Beste, die abgebildeten Phantomquellen wurden jedoch entweder zu nahe oder zu weit weg abgebildet und es konnte kein gleichmäßiges Klangbild entstehen. Somit scheint das OCT als kombinierte Lösung für größere Klangkörper geeigneter zu sein. Des Weiteren sollte bei der Interpretation dieser Ergebnisse erinnert werden, dass sich die Mikrofone nicht am jeweils idealen, sondern alle am selben Aufstellungsort befanden. Somit ist für jedes Hauptmikrofon ein Kompromiss eingegangen worden. Es muss davon ausgegangen werden, dass dieser für manche besser ausfiel als für andere. Deshalb kann [13] nur

bedingt aussagekräftige Resultate liefern und die Abbildung kleiner Schallquellen bedarf noch weiterer Untersuchungen.

### 5.4.2 Abbildungsqualität größerer Klangkörper

Die Versuche [19] sowie [20] beschäftigen sich mit der Aufnahme größerer Klangkörper. Hier wurden ähnlich wie in [13] Vergleiche zwischen verschiedenen Surround-Mikrofonierungssystemen durchgeführt. Dabei diente als Schallquelle jedoch jeweils ein Sinfonieorchester. Des Weiteren wurde versucht jedes Mikrofonsystem für sich an einem idealen Ort zu positionieren. Die Vertreter der zweiteiligen Mikrofonierungssysteme waren hier u. a. der Decca- bzw. Fukada-Tree sowie das OCT, alle drei in Kombination mit dem Hamasaki-Square. Die Versuchsteilnehmer mussten beim Hörtest unterschiedliche Attribute in Bezug auf Abbildungsqualität der einzelnen Systeme bewerten.

In beiden Versuchen ([19] und [20]) fiel das Ergebnis ziemlich ähnlich aus. Beim Vergleich zwischen Decca-Tree und OCT schnitt letzteres im Versuch [19] fast über den gesamten Bereich besser ab als der Decca-Tree, wobei die Unterschiede gering waren (siehe Abbildung 39). Im Versuch [20] wurde das OCT mit dem Fukada-Tree verglichen. Beide Systeme konnten überzeugen, wobei der Fukada-Tree leicht bevorzugt wurde, wie Abbildung 43 zeigt.

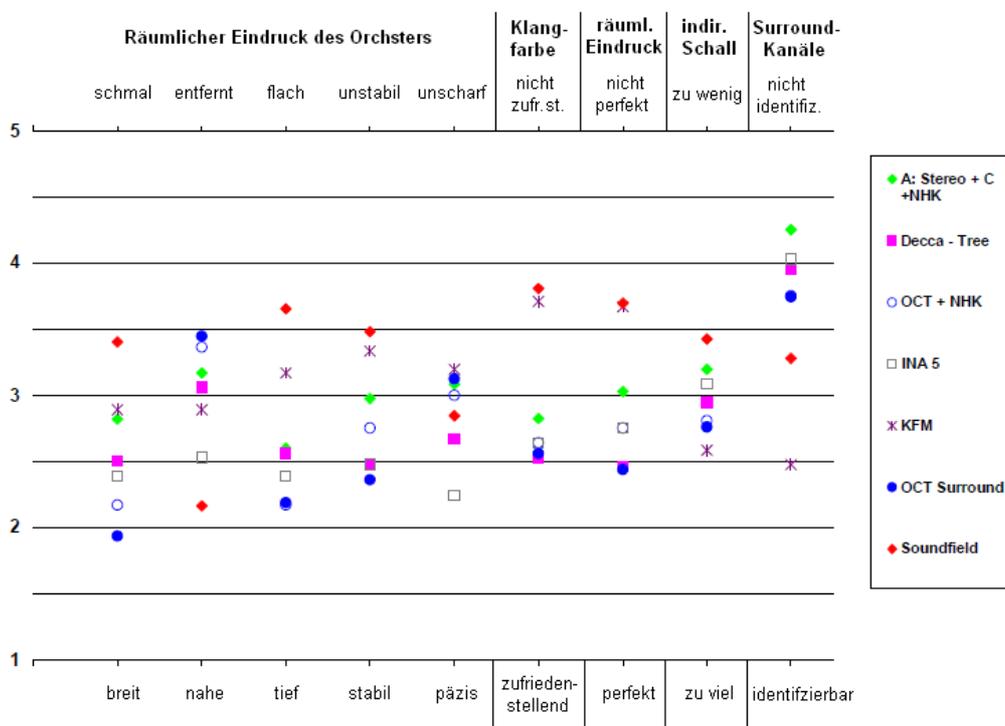


Abb. 39.: Abbildungsqualitäten Surround-Mikrofone, [19]

Auffallend war wiederum das bessere Abschneiden des Decca- bzw. Fukada-Trees in Bezug auf Lokalisation des Orchesters gegenüber dem OCT in beiden Versuchen. Das

OCT hielt sich dabei nur im Mittelfeld auf. Eine Erklärung dafür könnte wiederum die stabilere Abbildung sein.

Somit kann abschließend festgehalten werden, dass sich die Kombination von OCT und Raummikrofon besonders für große Klangkörper eignet, wobei es die Vorteile der räumlich korrekten Abbildung nur bedingt ausspielen kann.

## 6. Kompaktes Surround-Mikrofon

Betrachten wir nun das Prinzip kompakter Surround-Mikrofone, im speziellen des OCT-Surround. Wie der Name schon andeutet, sind diese kompakter gegenüber den getrennten Systemen. Des Weiteren sind sie lediglich mit 2 Raummikrofonen ausgestattet. Eine weitere Kategorie der kompakten Surround-Mikrofone bilden die sog. „Single Point Source“-Mikrofone. Diese nehmen das Schallfeld in einem Punkt auf. Auf sie wird jedoch hier nicht weiter eingegangen.

### 6.1 Grundprinzip OCT-Surround

Das kompakte Surround-System, OCT-Surround, besteht aus der Kombination Hauptmikrofon OCT mit einem A/B-Verfahren als Surround-Mikrofon, welches sich in 40cm Abstand zum Hauptmikrofon befindet.

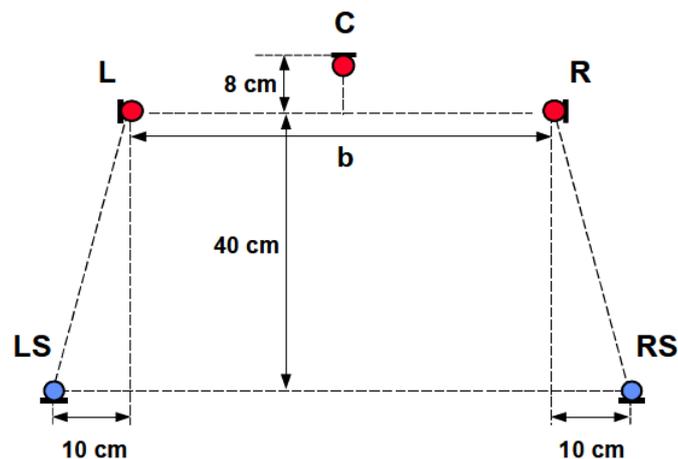


Abb. 40: OCT-Surround, [2]

Das Surround-Mikrofon besteht dabei aus zwei nach hinten gerichteten Nieren. Damit vermeidet Theile die Aufnahme von Direktschall und trennt somit die Bereiche. Dies wird durch die Pegeldifferenzen der einzelnen Mikrofone ersichtlich:

$\Omega$	L [dB]	C [dB]	R [dB]	RS [dB]	LS [dB]
$0^\circ$	-4	+5	-4	<-20	<-20
$45^\circ$	<-20	+3	+3	-10	-10
$90^\circ$	-6	-1	+5	-1	-1
$135^\circ$	<-20	-10	+3	+3	+3
$180^\circ$	-4	<-20	-4	+5	+5

Tab. 6: winkelabhängige Pegeldifferenzen des OCT-Surround bei Aufstellung am Hallradius, [2]

Der Aufnahmewinkel des Hauptmikrofons, sowie der Kohärenzgrad der Surround-Mikrofone ändern sich mit der Basisbreite  $b$ . Theile empfiehlt dabei für einen optimalen

Kohärenzgrad einen Abstand zwischen den Surround-Mikrofonen von 60cm bis 110cm ( $\rightarrow b = 40\text{cm} \div 90\text{cm}$  und  $\varphi = 164^\circ \div 100^\circ$ ).

Betrachten wir nun den relativ kleinen Abstand zwischen Haupt- und Surround-Mikrofonen. Nach [2] wurde dieser im Hinblick auf eine optimale seitliche Abbildung ausgelegt, um somit einen guten räumlichen Eindruck wiedergeben zu können, ohne zeitliche Verzögerungen durchführen zu müssen (*RRB*).

Des Weiteren soll durch die ausbalancierten Pegel der Kanäle der Nachhall optimal aufgenommen werden und für eine geeignete Umhüllung sorgen.

## **6.2 Wahl des Aufstellungsortes**

Die Wahl des richtigen Aufstellungsortes ist für eine erfolgreiche Aufnahme von entscheidender Bedeutung. Durch die Wahl des Abstandes zwischen Surround-Mikrofon und Schallquelle und einer geeigneten Höhe werden Lautstärke, Verteilung der Klangelemente auf Stereobasis, R/D-Verhältnis, Klangfarbe, Breite der Schallquelle, Applause sowie Nebengeräusche beeinflusst, [2]. Dies erfordert eine Menge Erfahrung von Seiten des Aufnahmeleiters und beansprucht viel Zeit, weshalb die Lösung mit getrennten Raum- und Hauptmikrofon meist bevorzugt wird.

Grundsätzlich wird auch bei kompakten Surround-Mikrofonen eine Aufstellung in der Nähe des Hallradius empfohlen, wobei kleinere Abweichungen das Gesamtergebnis bereits stark beeinflussen können.

## **6.3 Abbildungsqualität**

Vergleichen wir nun das OCT-Surround in Bezug auf Abbildungsqualität mit verschiedenen Surround-Systemen. Hierbei sind vor allem Vergleiche mit anderen kompakten Surround-Mikrofonen, sowie der Vergleich mit der getrennten Methode OCT in Kombination mit Raummikrofon interessant.

### **6.3.1 Beteiligte kompakte Surround-Mikrofone**

Zum besseren Verständnis wird hier kurz auf die kompakten Surround-Mikrofone eingegangen, mit denen das OCT anschließend verglichen wird. Weitere an den Versuchen ([19], [20] und [22]) beteiligte kompakte Surround-Mikrofone werden nicht angeführt, da ein Vergleich mit ihnen nicht sinnvoll erscheint.

## 1. INA 5

Das INA 5 besteht aus dem bereits bekannten Hauptmikrofon INA 3, sowie aus 2 Surround-Mikrofonen LS und RS mit Nierencharakteristik. Diese wurden dabei so platziert, dass ein Aufnahmewinkel von  $360^\circ$  erreicht wird.

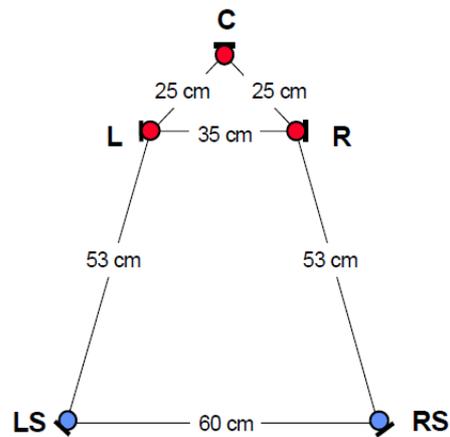


Abb. 41: Aufbau „INA 5“, [2]

Damit diese  $360^\circ$  erreicht werden, wurde das Hauptmikrofon mit einem Aufnahmewinkel von  $\varphi = 180^\circ$  ausgelegt. Dies ist jedoch nach [2] nicht üblich für Hauptmikrofone und bringt Probleme mit sich. Durch diesen großen Aufnahmewinkel muss das gesamte System relativ nahe an der Schallquelle platziert werden um eine geeignete Abbildung zwischen den Lautsprechern zu erzeugen. Dieser Aufstellungsort ist in Bezug auf das R/D-Verhältnis jedoch ungeeignet. Wird das INA 5 weiter entfernt aufgestellt, so wird das Orchester nur im Bereich des Center-Lautsprechers abgebildet.

Ferner ist durch die Wahl des INA 3 als Hauptmikrofon Kanalübersprechen zu erwarten.

## 2. Williams MMA

Die Grundidee des Williams MMA (*Multichannel Microphone Array*) besteht in der Aufteilung des  $360^\circ$ -Aufnahmebereichs in 5 einzelne Sektoren. Dabei bieten sich nach seinem Entwickler Michael Williams eine Reihe unterschiedliche Aufstellungsmöglichkeiten an, wobei alle durch 5 Mikrofone mit Nierencharakteristik realisiert werden.

Jedes dieser 5 Segmente wird von einem Mikrofonpaar aufgenommen und vom korrespondierenden Lautsprecherpaar wiedergegeben. Dadurch soll bei der Wiedergabe der Eindruck eines homogenen Klangfeldes, unabhängig von der Kopfposition des Hörers vermittelt werden („*Critical Linking*“), [23].

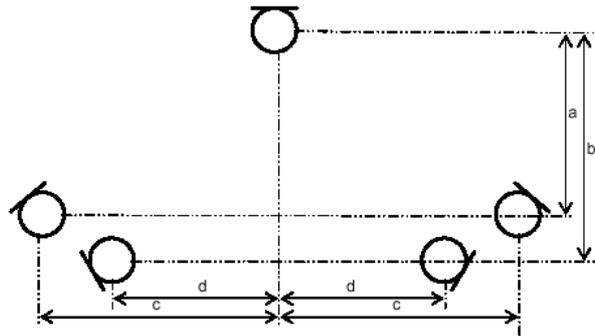


Abb. 42: Williams MMA, [23]

Williams schlägt in [23] zum Aufbau seines Systems vor, zuerst den geeigneten Aufstellungsort des Arrays zu finden. Anschließend wird aufgrund dessen der Aufnahmewinkel bestimmt und somit die drei Front-Mikrofone ausgerichtet. Im zweiten Schritt werden die beiden rückwärtsgerichteten Mikrofone in Bezug auf räumliche Abbildung ausgerichtet. Schließlich wird im dritten und letzten Schritt der Abstand zwischen Front-Triplet und den beiden Surround-Mikrofonen so eingestellt, dass sich eventuelle seitliche „Löcher“ schließen. Dies kann auch durch ein elektronisches Offset erreicht werden.

Somit lässt sich das MMA sehr variabel einsetzen und der Erfolg der Aufnahme ist vor allem vom Aufnahmeleiter abhängig, da die genannten Schritte durchzuführen hat.

Durch die 3 Nierenmikrofone als Front-Triplet ist Kanalübersprechen zu erwarten.

### 6.3.2 Vergleich mit kompakten Surround-Mikrofonen

Betrachten wir nun die Abbildungsqualitäten des OCT-Surround sowie des INA 5, welche in [19] bestimmt wurden (siehe Abb. 39). Die Versuchsdurchführung wurde bereits in Kapitel 5.4.2 erklärt. Die Ergebnisse zeigen, dass das sich INA 5 und OCT relativ ähnlich sind. Größere Unterschiede sind nur bei der räumlichen Abbildung des Sinfonieorchesters zu erkennen. Dabei schien das OCT dieses relativ entfernt Abzubilden, während das INA 5 eine dem Zuhörer näher wirkende Abbildung erzeugte. Des Weiteren schnitt in Bezug auf Lokalisation das INA 5 am besten ab, während sich das OCT im hinteren Mittelfeld befindet. Bei den anderen Attributen der Abbildung des Sinfonieorchesters, Klangfarbe sowie bei der Abbildung des Raumes hatte das OCT die Nase vorn, wobei die Unterschiede gering sind. Zusammenfassend kann das OCT im Vergleich zu allen kompakten Mikrofonen als „Sieger“ genannt werden, gefolgt von dem INA 5.

Beim zweiten Versuch ([20]) wurden u. a. das MMA mit unserem OCT-Surround verglichen. Bei diesem Versuch mussten die Testhörer von 3 unterschiedlichen Musikstücken des mikrofonierten Sinfonieorchesters die Abbildungsqualität beurteilen. Als Favorit ging bei diesem Versuch das MMA hervor, das fast im gesamten Bereich überzeugte. Gefolgt wurde dieses von OCT-Surround, sowie den Kombinationen von

OCT bzw. Fukada-Tree mit dem Hamasaki Square. Diese 3 lagen in etwa auf, wobei wiederum in punkto „Lokalisation“ die Fukada-Kombination sowie das MMA besser abschnitten als die OCT-Systeme.

Interessanterweise schienen alle Systeme bei der Frage der persönlichen Vorliebe bei allen 3 Musikstücken relativ gleich abzuschneiden. Nur das MMA schnitt beim Musikstück 2 (Anfangs solistisch und Steigerung zu lautem Tutti) deutlich schlechter ab.

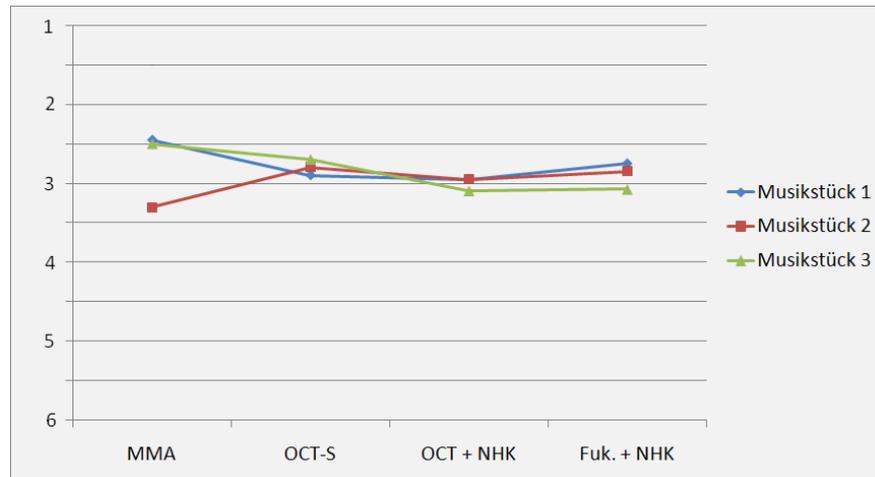


Abb. 43: Persönliche Vorliebe, alle 3 Musikstücke, [20]

Da die Musikstücke 1 und 2 (Ausschnitte aus der gleichen Ouvertüre) relativ ähnlich waren, könnte dies auf eine programmabhängige Abbildungsqualität des MMA hinweisen, während die anderen Systeme darauf weniger reagierten.

### 6.3.3 Vergleich mit Kombination OCT und Hamasaki-Square

Betrachtet man nun die Abbildungen 39 und 43, so fällt auf, dass die beiden möglichen OCT-Surround-Mikrofone fast identische Abbildungseigenschaften besitzen. Des Weiteren belegen die Versuche [19] und [20], dass das kompakte OCT-Surround bei den Attributen „räumlicher Eindruck“, [19] und „Realismus des Raumes“, [20] jeweils besser abschneidet als das getrennte Verfahren. Dies überrascht, da zu erwarten war, dass das vierkanalige Raummikrofon hierbei besser abschneidet.

## 6.4 Abbildungsqualität von U-Musik

Bis jetzt wurden die Abbildungsqualitäten von E-Musik betrachtet. Es stellt sich nun die Frage, ob diese auch für andere Stilrichtungen gültig sind. Damit setzt sich [22] auseinander. Dabei werden verschiedene Surround-Mikrofonierungstechniken zur Aufnahme von U-Musik (*Pop-Musik*, [22]) untersucht. Als Schallquellen dienten dabei Klavier, Schlagzeug sowie ein Sänger-Trio, welche nach [22] den Bereich der U-Musik weitestgehend abdecken. Die Elemente wurden getrennt voneinander aufgenommen. Die verwendeten Mikrofone waren dabei u. a. der Fukada-Tree als kompakte Surround-

Lösung, OCT-Surround sowie INA 5. Wie bei den Versuchen aus [19] und [20] wurde versucht sie an einem idealen Ort zu positionieren. Im Unterschied zu den bisherigen Versuchen wurde dieser in einem Tonstudio mit kurzen Nachhallzeiten durchgeführt, was einen Einfluss auf die Abbildung haben kann. Ein weiterer Unterschied bestand darin, dass zur Beurteilung des Materials nicht Hörtests durchgeführt wurden, sondern die Versuchsleiter dies selbst durchführten. Das kann einen erheblichen Einfluss auf die Abbildungseigenschaften haben, da den Urteilenden das psychoakustische Prinzip der Mikrofone sowie das zu erwartende Ergebnis bekannt ist.

Laut [22] schnitt das OCT-System über den gesamten Bereich am besten ab. Zwar konnte es bei der Abbildung der Räumlichkeit nicht so überzeugen wie INA 5 und vor allem der Fukada-Tree, jedoch erzeugte es eine naturgetreue Klangfarbe und sowie hohe Transparenz. Auch in punkto Lokalisation war das OCT den anderen beiden Verfahren überlegen. Dies ist zwar zu erwarten, überrascht jedoch, wenn wir die vorhergehenden Ergebnisse betrachten und könnte ein Indiz für die fehlende Objektivität der Betrachtung sein.

Somit kann festgehalten werden, dass die Mikrofonsysteme sich zwar bezüglich ihrer Abbildungsqualitäten von U- und E-Musik ähneln, wobei jedoch Unterschiede festzustellen sind. Diese Erkenntnis wurde bereits in [20] offengelegt, wo das MMA eine programmabhängige Abbildung zeigte. Einen endgültigen Aufschluss über die in [22] gewonnenen Erkenntnisse könnte jedoch erst ein unabhängiger Hörversuch bringen.

## 7. Zusammenfassung

Betrachtet man nun das Gesamtergebnis, so kann festgestellt werden, dass Theiles Hauptmikrofon dessen Grundprinzip erfüllt und bei den Aufnahmen durch naturgetreue Klangfarben sowie Transparenz überzeugen kann. Des Weiteren ist es resistent gegen Abweichungen vom Sweet Spot und bildet die Schallquellen räumlich richtig ab.

Der Vergleich mit anderen Hauptmikrofonen fiel jedoch nicht immer zugunsten des OCTs aus. Dabei scheint die Natürlichkeit der Abbildung des Systems auch dessen Schwachpunkt zu sein, denn nicht immer ist eine naturnahe Abbildung erwünscht. So werden z.B. kleine Klangkörper auch als solche abgebildet, was jedoch als Schwäche beurteilt wurde.

Auch die vermeintlich gute Lokalisation der Schallquellen wurde von den Hörern nicht immer positiv aufgefasst und stabilere Abbildungen wurden bevorzugt.

Bei den Surround-Lösungen hat vor allem das kompakte OCT-Surround überzeugt, dass trotz seiner geringen Abmessungen eine gute räumliche Abbildung ermöglichte und sich mit den kombinierten Mikrofonen messen konnte.

Überraschend war, dass die Ergebnisse allgemein relativ gering ausfielen trotz der geübten Testhörer, die an den Versuchen teilnahmen. So können bereits geringe Unterschiede bei der Positionierung der Mikrofonarrays über dessen Abschneiden gegenüber anderen entscheiden.

Trotzdem ist die Verwendung des OCTs für naturnahe Aufnahmen anderen Systemen vorzuziehen und ist als kompakte Surround-Lösung vielseitig einsetzbar.

## Quellenverzeichnis

- [1] Wittek H., Neumann O., Schäffler M., Millet C., 2001: „Studies on Main and Room Microphone Optimization“, *Proceeding of the AES 19th International Conference Elmau*
- [2] Theile G., 2001: „Natural 5.1 Music Recording Based on Psychoacoustic Principles“, *Proceeding of the 19th AES International Conference Elmau*
- [3] Wittek H., Theile G., 2000: „Untersuchungen zur Richtungsabbildung mit L/C/R-Hauptmikrofonen“, *21. Tonmeistertagung, Germany*
- [4] Theile G., 2000: „Multichannel natural recording based on psychoacoustik principles“, *Convention Paper 5156, 108th AES Convention Paris, France*
- [5] Wittek H., 2008: „Surround Microphone Techinques in Practice“, *Demonstration of experimental Recordings on behalf of Schoeps Mikrofone*
- [6] Lee H.-K., Rumsey F. 2005: „Investigation into the Effect of Interchannel Crosstalk in Multichannel Microphone Technique“, *Convention Paper 6374, 118th AES Convention Barcelona, Spain*
- [7] Mason R., Rumsey F., 2001: „Internaural time difference fluctuations: their mesurment, subjective perceptual effect, and application in sound reproduction“, *Proceeding of the AES 19th International Conference Elmau*
- [8] Barron M., 1981: „The subjective effect of first reflections in concert halls – The need of lateral reflections“, *Journal of Sound and Vibration, 77*
- [9] Morimoto M., Maekawa Z., 1988: „Effects of low frequency components on auditory spaciousness“, *Acustica, 66*
- [10] Wittek H., Theile G., 2002: „The recording angle – based on localisation curves“, *Convention Paper 5568, 112th AES Convention Munich, Germany*
- [11] Wittek H., 2008: „Image Assistant 2.1“, *JAVA-Applet auf der Webseite <http://www.hauptmikrofon.de/>*
- [12] Wittek H., 2000: „Untersuchungen zur Richtungsabbildung mit L/C/R-Hauptmikrofonen“, *Diplomarbeit FH Düsseldorf / Institut für Rundfunktechnik München*
- [13] Kassier R., Lee H.-K., Brookes T., Rumsey F., 2005: „An informal comparison between Sorround-Sound microphone techniques“, *Convention Paper 6429, 118th AES Convention Barcelona, Spain*
- [14] Neumann O. Schäffler M., 2001: „Optimierung der Raummikrofonanordnung bei Mehrkanal-Aufnahmen im 3/2-Stereo Format“, *Diplomarbeit an der Hochschule für Druck und Medien, Stuttgart*
- [15] Griesinger D., 2000: „The theory and practice of perceptual modeling – how to use electronic reverberation to add depth and envelopment without reducing clarity“ *21. Tonmeistertagung*
- [16] Barron M., Marshall H.A., 1981: „Spatial Impression due to early lateral reflections in concert halls“, *Journal of Sound and Vibration, 77*
- [17] Slotte B., 2005: „Sharpening the image in 5.1 surround recording“, *Convention Paper 6509, 118th AES Convention Barcelona, Spain*

- [18] Klepko J., 1997: „5-Channel Microphone Array with Binaural Head for Multichannel Reproduction“, *Convention Paper 4541, 103rd AES Convention New York, USA.*
- [19] Camerer F., Sodl C., 2001: „Classical Music in Radio an TV – a multichannel challange“, *The ORF Surround Listening Test*
- [20] Dokumentation auf der Website:  
<http://www.stud.tu-ilmenau.de/~proverdi/indexen.html>, Stand 06/2009,  
*Versuch im Rahmen eines Studienprojekts der technischen Universität Ilmenau, 2001*
- [21] Oag J., Wittek H., 2002: „Localization of phantom sources derived from contrading signal differences“, *Institut für Rundfunktechnik München*
- [22] Abbing M., 2004: „Experimenteller Vergleich verschiedener Surroundmikrofonanordnungen hinsichtlich ihrer Eignung als Hauptmikrofon“, *Diplomarbeit an der Hochschule für angewandte Wissenschaften, Hamburg*
- [23] Williams M., Le Dù G., 2001: „The Quick Reference Guide to Multichannel Microphone Arrays - Part 1: using Cardioid Microphones“, *Convention Paper 5336, 110th AES Convention Amsterdam, Netherlands*
- [24] Dokumentation auf der Website:  
<http://www.hauptmikrofon.de/>, Stand 06/2009, *OCT2*