

Hörbarkeit der Ausrichtung mittels Spiegelquellen

Seminararbeit aus Algorithmen in Akustik und Computermusik 2

Andreas Fuchs, 9773819

Daniel Rudrich, 1173146

Betreuung: Dr. Franz Zotter, Dr. Matthias Frank

Graz, Juni 2014



institut für elektronische musik und akustik



Zusammenfassung

Der Ikosaeder-Lautsprecher besteht aus 20 einzelnen, diskret ansteuerbaren Lautsprechern, die es ermöglichen, unterschiedliche Signale in die einzelnen Richtungen abzuspielen. Dadurch lassen sich auch verschiedene Richtcharakteristiken erzeugen. In dieser Arbeit wurde ein PureData-Patch geschrieben, welcher einen Raum simuliert, in dem solch ein Lautsprecher beliebig positioniert werden kann. Durch eine Kreisanordnung aus 16 Lautsprechern lässt sich der entstehende Raumeindruck mit den vier Spiegelquellen erster Ordnung simulieren. Ein damit durchgeführter Hörversuch zeigte, dass es möglich ist, die Ausrichtung von Quellen allein durch die ersten Reflexionen und Direktschall zu erkennen und auch einzustellen. Ein weiteres Ergebnis war die Möglichkeit, ein Höreignis zu erzeugen, welches aus einer anderen Richtung wahrgenommen wird. Ein Ikosaeder-Lautsprecher, der die Geometrie des Raumes nutzt, könnte somit eine Stereoanordnung mit einer Basis weit über dessen Abmessungen erzeugen.

Inhaltsverzeichnis

1 Grundidee und Aufgabenstellung	4
2 Umsetzung in PureData	5
2.1 Anforderungen	5
2.2 Dokumentation	6
2.2.1 Steuerung	6
2.2.2 Richtcharakteristik	8
2.2.3 Geometrieberechnung	9
2.2.4 Spiegelquellen	10
3 Hörversuch	10
3.1 Aufbau und Ablauf	10
3.2 Ergebnisse	12
3.2.1 Hörversuch 1	12
3.2.2 Hörversuch 2	16
4 Zusammenfassung und Ausblick	20

1 Grundidee und Aufgabenstellung

In geschlossenen Räumen wird eine natürliche Schallquelle durch Reflexionen nicht nur aus verschiedenen Richtungen gehört, diese Reflexionen stammen auch von verschiedenen Seiten der Schallquelle. Dadurch stehen dem Hörer zusätzliche Informationen zur Verfügung und neben einer verbesserten Lokalisation der Schallquelle ist im Allgemeinen eine Ausrichtung beziehungsweise die zeitliche Änderung dieser wahrnehmbar. Ein gewöhnlicher Lautsprecher kann zwar im Allgemeinen sehr gut in einem Raum lokalisiert werden. Da Richtcharakteristik und Ausrichtung des Lautsprechers jedoch zumeist vorgegeben sind, ist es nicht möglich das komplexe Abstrahlverhalten einer natürlichen Quelle wiederzugeben.

In Zusammenhang mit der Forschung am Ikosaeder-Lautsprecher, der unterschiedliche Ausrichtungen und Richtcharakteristiken einer Schallquelle wiedergeben kann, interessiert die Frage, welche Umstände gegeben sein müssen um neben der Lokalisation auch die Ausrichtung einer Schallquelle an einer fixen Hörposition in einem Raum wahrnehmen zu können. In einem ersten Experiment werden die dabei auftretenden Reflexionen durch die Spiegelquellenmethode in der Ebene $z = 0$ simuliert. Der dabei auftretende Wegunterschied zwischen den Spiegelquellen kann durch eine Zeitverzögerung und Amplitudendämpfung dargestellt werden. Zusätzlich werden Lautsprecher in der jeweiligen Richtung der Spiegelquelle aufgestellt. In einem (nahezu) schalltoten Raum können so die ersten Reflexionen simuliert werden. Die Reflexionen können so von einer künstlichen Quelle, die mit einer gewünschten Richtcharakteristik versehen wird, erzeugt werden. Das heißt ein möglichst trockenes, aber ansonsten beliebiges Quellsignal kann mit einer idealen Richtcharakteristik versehen werden um hauptsächlich den Einfluß der ersten Reflexionen zu untersuchen. Weiters wurde die Beobachtung gemacht, dass, wenn der Ikosaeder-Lautsprecher stark auf eine hart reflektierende Fläche gebündelt wird, sich die Lokalisation verändern kann. Dieser Effekt kann mit einem erhöhten Pegel der Reflexion gegenüber dem Direktschall erklärt werden.

In einem psychoakustischen Experiment sollen folgende Fragestellungen geklärt werden:

- Ist mit diesem einfachen Spiegelquellenmodell die Ausrichtung einer Quelle wahrnehmbar?
- Bleibt die Lokalisation der Schallquelle konstant, wenn diese um die eigene Achse gedreht wird? Kann durch gezieltes Anspielen einer Fläche die Lokalisation beeinflusst werden?

- Welche Effekte können durch eine gezielte Ausrichtung erzielt werden?

2 Umsetzung in PureData

2.1 Anforderungen

Um die Spiegelquellen zu simulieren und anschließend einen Hörversuch durchzuführen, stellen sich diverse Anforderungen an das Simulationsprogramm, welche sich in drei Bereiche einteilen lassen:

- **Geometrie Raum-Quelle**
- **Implementation der ersten Reflexionen**
- **Zuordnung auf Lautsprecheranordnung**

Damit die Reflexionen (Spiegelquellen) berechnet werden können, muss das Programm die **Geometrieinformationen von Raum und Quelle** verarbeiten. Dazu gehören die Maße des Raumes, welche sich jedoch auf Breite und Länge beschränken lassen, da Reflexionen von der Decke vernachlässigt werden. Weiter ist die Position und Ausrichtung der Quelle notwendig, um eine Beziehung zwischen Quelle und Raum herstellen zu können. Letzteres deswegen, weil die Quelle nicht omnidirektional abstrahlen soll, sondern mit einer gewissen Richtcharakteristik versehen wird. Je nachdem in welche Richtung die Quelle dann ausgerichtet ist, soll sich ein entsprechender Höreindruck einstellen. Die Informationen der Richtcharakteristik fallen ebenso in das Aufgabengebiet *Geometrie Raum-Quelle*.

Somit sind alle notwendigen Geometrieinformationen abgedeckt, um die **ersten Reflexionen zu implementieren**. Die zu berechnenden Parametern für Direktschall und den vier ersten Reflexionen sind *Richtung der (Spiegel-)Quelle*, *Amplitude* (Dämpfung durch Richtcharakteristik und Abstand) und *Laufzeit*.

Mit diesen Parametern soll dann das Quellsignal bearbeitet werden und auf die reale **Lautsprecheranordnung zugeordnet** werden. Um verschiedene Positionen der Quelle ausprobieren zu können, wurden die benötigten Lautsprecher nicht in diskreten Richtungen aufgebaut, sondern es wurde ein Ring aus 16 Lautsprechern verwendet. Wir haben uns dafür entschieden, keine Phantomquellen zu erstellen, sondern die Signale direkt auf den nächsten Lautsprecher zu mappen. Somit ergibt sich eine Unschärfe von $\pm 11,25^\circ$.

Der Vorteil dabei ist jedoch, dass Einflüsse von Phantomquelleneffekten (vor allem bei Schall von der Seite und von Hinten) ausgeschlossen werden und die Testergebnisse nicht beeinflussen. Bei der Auswahl der Positionen für die Tests wurde jedoch darauf geachtet, dass Direktschall und Reflexionen immer aus verschiedenen Lautsprechern wiedergegeben werden.

2.2 Dokumentation

Die Umsetzung wurde in PD-extended durchgeführt. Der strukturelle Aufbau der signalverarbeitenden Teile des Patches in der unteren Hälfte folgt der logischen Reihenfolge der Anforderungen, siehe Abbildung 1. Die obere Hälfte des Patches dient zur Steuerung.

2.2.1 Steuerung

Um die Verwendbarkeit des Patches möglichst allgemein zu halten, sind die wichtigsten Parameter direkt von der Oberfläche kontrollierbar.

Ein einfacher Audioplayer kann .wav Dateien laden und spielt diese standardmäßig wiederholt ab. Eine einmalige Wiedergabe wird über `Play once` gestartet.

Vor der ersten Ausführung muss die Raumgröße eingestellt werden. Die Hörversuche wurden mit den Werten $x = 5\text{ m}$ und $y = 8\text{ m}$ durchgeführt, wobei die x -Variable nach vorne, die y -Variable zur Seite zeigt. Da die Hörposition fix auf die Raummitte eingestellt wurde, sind somit die simulierten Wände vorne und hinten $2,5\text{ m}$ beziehungsweise links und rechts 4 m entfernt.

Weiters kann die gewünschte Richtcharakteristik, die in Kapitel 2.2.2 beschrieben ist, gewählt werden. `Toggle_Reflections` wurde zum Abspielen des unbearbeiteten Signals verwendet, da hier die simulierten Spiegelquellen ausgeschaltet werden.

Für die Hörversuche wurden verschiedene Kontrollmöglichkeiten implementiert um Parameter wie Richtcharakteristik, Wiedergabesteuerung und die Position (`Radius` und `Phi`) und Ausrichtung (`Rotation`) der Quelle beliebig einstellen zu können.

Die Box `scenarios` stellt für den ersten Hörversuch die benötigten Buttons bereit:

`Referenz_Vorne_Onsight` positioniert die Quelle vor den Hörplatz und richtet diese zu ihm aus. Mithilfe von `Toggle_Reflections` kann somit das unbearbeitete Signal von vorne abgespielt werden.

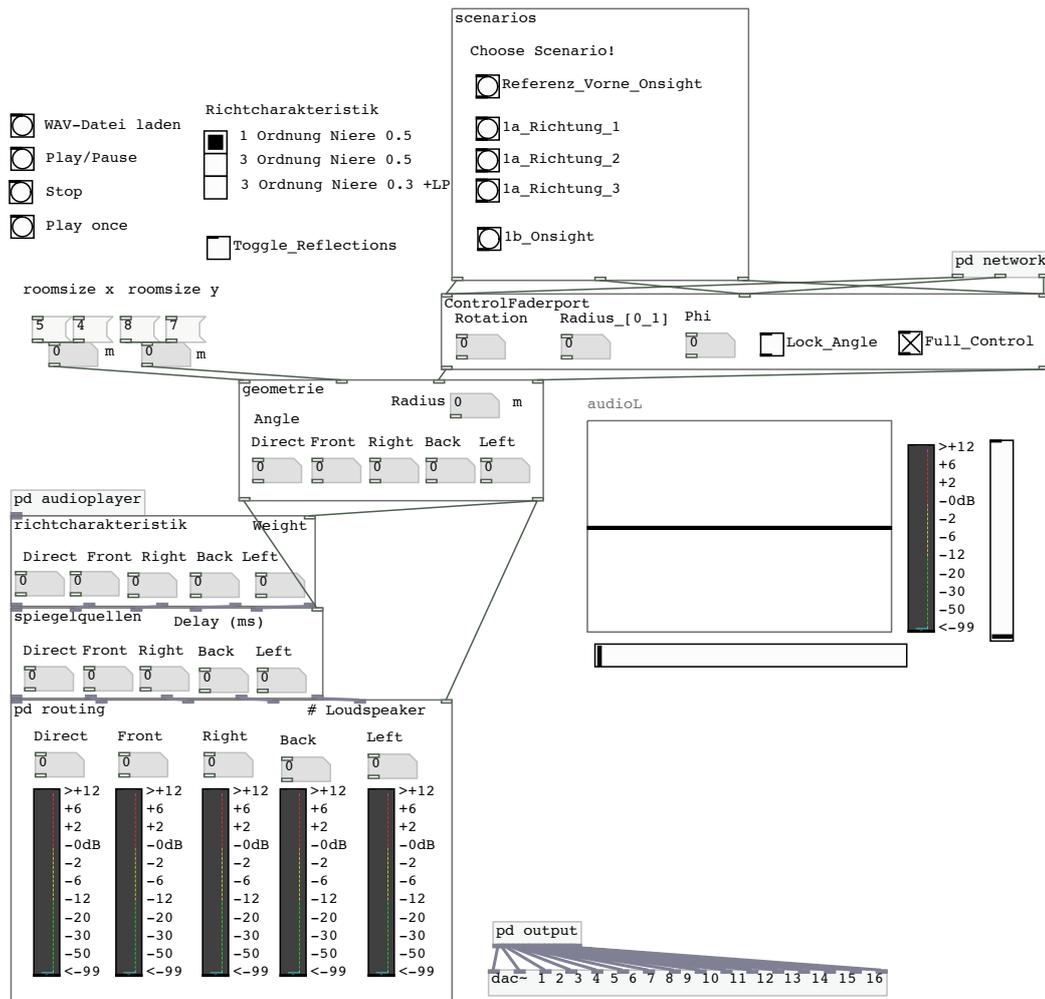


Abbildung 1: PD-Patch Hauptfenster.

1a_Richtung_X richtet die Quelle an einer fixen Position in drei verschiedene Rotationen aus.

1b_Onsight richtet die Quelle an der selben fixen Position wie vorher immer zum Hörplatz hin aus.

Weiters wurde der USB/Midi-Controller *Presonus Faderport*¹ eingebunden um mithilfe des Endlosdrehknopfs die Rotation der Quelle zu verändern. Die Rasterung wurde auf 5° festgelegt. Wird Full_Control aktiviert, ist weiters der Radius über den Schieberegler und bei gedrückter Mute-Taste der Winkel Phi mit dem Drehknopf einstellbar. Mit Lock_Angle wird der relative Winkel von der Quelle zum Hörplatz bei Veränderung des Winkels Phi beibehalten. Eine Quelle kann somit um den Hörplatz herum bewegt werden und diesen dabei immer direkt anstrahlen.

Mithilfe der PD-eigenen Netzwerkanbindung kann ein Play_once ausgelöst werden und Richtcharakteristik, Radius und Rotation verändert werden. Dies wurde im Matlab-gestützten zweiten Teil des Hörversuchs verwendet.

2.2.2 Richtcharakteristik

Die Richtcharakteristik gibt vor wieviel Energie zur Seite beziehungsweise nach Hinten von den Quelle abgegeben wird. Im Hörversuch wurden drei verschiedene Richtcharakteristiken verwendet.

Die einfachste Richtcharakteristik 1 wurde mit einer einfachen Niere modelliert:

$$\Gamma_1(\theta) = 0.5 + 0.5 \cos(\theta) \quad (1)$$

Richtcharakteristik 2 geht von einer schmälere Keule aus, die durch einen Cosinus zur dritten Potenz erreicht wird:

$$\Gamma_2(\theta) = 0.5 + 0.5 \cos^3(\theta) \quad (2)$$

Diese beiden Richtcharakteristiken sind frequenzunabhängig und haben bei 180° eine perfekte Nullstelle. Ist die Quelle also exakt entgegengesetzt zur Hörposition ausgerichtet, kommt kein Direktschall beim Hörer an, siehe Abbildung 2a.

Die selbst definierte Richtcharakteristik 3 enthält nicht diese Idealisierungen, da der Kugelanteil vergrößert und ein Tiefpassfilter mit richtungsabhängiger Grenzfrequenz ver-

¹<http://www.presonus.com/products/faderport>

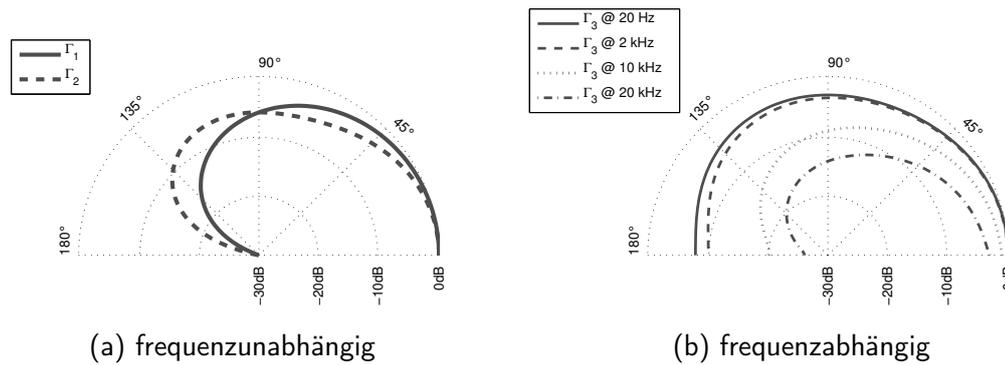


Abbildung 2: Polardiagramme der verwendeten Richtcharakteristiken.

wendet wird:

$$\Gamma_3(\theta) = 0.7 + 0.3 \cos^3(\theta) \quad (3)$$

Die Grenzfrequenz des Tiefpassfilters erster Ordnung berechnet sich mit $f_g(\theta) = 20000 - 17500 \left| \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right|^{0.6}$ Hz. In Abbildung 2b ist das resultierende Polardiagramm zu sehen. Die Richtcharakteristik 3 wurde nach Gehör an einen Sprecher erstellt.

Der Subpatch richtcharakteristik zeigt die resultierenden Gewichtungen der einzelnen Spiegelquellen durch die Richtcharakteristik an.

2.2.3 Geometrieberechnung

Die Position der Quelle wird durch die Parameter Radius und Phi (φ) bestimmt. Radius gibt den Abstand zur Hörposition an und ist auf den kleineren Abstand zur Wand bezogen. Das heißt bei den Raummaßen 5×8 m bedeutet ein Radius von 1 ein Abstand von 2.5 m. Der Winkel φ wird in Richtung der Hörposition positiv nach rechts im Uhrzeigersinn gezählt.

Der dritte Parameter für die Quelle ist die Rotation, die die Ausrichtung der Quelle beschreibt und gleich definiert ist wie φ . Zur besseren Orientierung sind diese Größen in der Skizze zum Hörversuch in Abbildung 3 eingetragen.

Der Subpatch geometrie übernimmt alle geometrischen Berechnungen für die Spiegelquellenmethode. Das heißt aus der Quellposition und den Raummaßen werden die entsprechenden Abstände und Winkel für den Direktschall und die vier Reflexionen berechnet. Im Hauptpatch werden die resultierenden Winkel und der effektive Abstand zur Quelle angezeigt.

2.2.4 Spiegelquellen

Im Subpatch `spiegelquellen` werden die Audiosignale für die vier Reflexionen an den Wänden mit dem entsprechenden Zeitverzögerungen versehen. Der niedrigere Pegel durch den längeren Weg ist als lineares Verhältnis zum Direktschall berechnet. Die entsprechenden Gewichte und die Verzögerungszeiten in Millisekunden sind im Hauptpatch zu sehen.

Der Subpatch `routing` wertet die Winkel der Geometrieberechnung aus und berechnet den nächstgelegenen Lautsprecher zur Wiedergabe. Wird der Lautsprecher geändert sorgen 10 Millisekunden lange Ein- beziehungsweise Ausblendungen für einen sanften Übergang. Im Hauptpatch werden die jeweiligen Nummern der spielenden Lautsprecher und der zugehörige Pegel zu Kontrollzwecken angezeigt.

3 Hörversuch

3.1 Aufbau und Ablauf

Der Hörversuch fand im Akustikmessraum des Institutes für Elektronische Musik und Akustik statt (Petersgasse 116). Es handelt sich hier um einen nahezu schalltoten Raum. Er wurde deswegen gewählt, damit der Raum zu den künstlich erzeugten Reflexionen der virtuellen Quelle keine Zusätzlichen erzeugt. Im Testraum wurden 16 Lautsprecher (Genelec 8020 Nahfeldmonitore) gleichverteilt auf einem Kreis mit Radius 1.5 m angeordnet. Der Winkel zwischen zwei benachbarten Lautsprechern beträgt somit 22.5° . Die Höhe der Lautsprecher wurde so eingestellt, dass sie sich auf Höhe der Ohren der Versuchspersonen befanden (ca. 1.2 m). Diese saßen während des Versuches im Zentrum des Kreises mit jeweils gleicher Blickrichtung auf den Lautsprecher mit der Nummer 1. Der simulierte Raum war 8 m breit und 5 m lang. Eine Skizze des virtuellen Raumes ist in Abbildung 3 abgebildet.

Für den **ersten Test** bekamen die Versuchspersonen einen Midicontroller (Presonus Faderport, siehe Abschnitt 2.2.1), mit dem sie die Schallquelle um die eigene Achse drehen konnten. Diese befand sich fix 1.8 m entfernt und um 65° im Uhrzeigersinn versetzt zur Blickrichtung der Testpersonen (Position B in Abbildung 3). Als Quellsignal wurde hier eine Sprachaufnahme verwendet, da dieses ein natürliches Signal ist, welches vertrauter ist als beispielsweise weißes Rauschen. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, die Quelle so zu drehen, dass die Hauptabstrahlrichtung der Quelle in Richtung Versuchs-

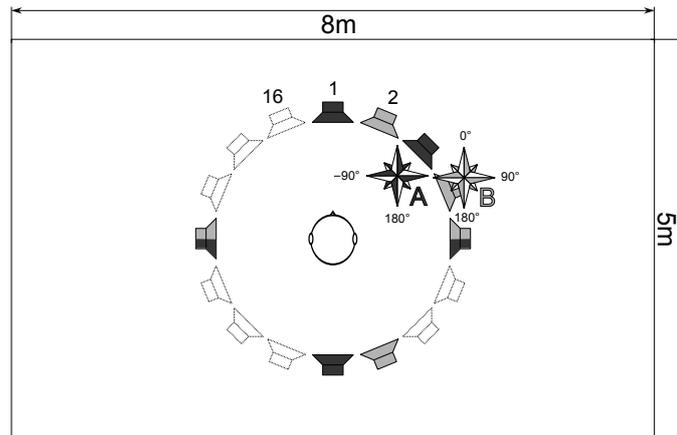


Abbildung 3: Skizze des Hörversuches. Die grau eingefärbten Lautsprecher sind bei den jeweiligen Quellpositionen aktiv.

person zeigt (Zielwinkel -115°). Die Anfangsausrichtung der Quelle war bei den drei aufeinanderfolgenden Durchläufen jeweils unterschiedlich (-20° , 110° und 45°). Dadurch wurde verhindert, dass sich die Versuchspersonen die Anzahl der Rasterpunkte bei der Drehung des Controllers merken konnten, um die Einstellung zu reproduzieren. Bei der darauf folgenden Aufgabe mussten die Versuchspersonen die Quelle so drehen, dass sie nach vorne (Zielwinkel 0°), nach hinten (Zielwinkel 180°), nach links (Zielwinkel -90°) und nach rechts (Zielwinkel 90°) gerichtet ist. Die Winkel mussten jeweils zwei mal eingestellt werden. Bei jedem Trial wurde die Quelle so zurückgesetzt, dass sie die Versuchsperson direkt anstrahlt. Beide Teilaufgaben wurden mit allen drei Richtcharakteristiken (siehe Abschnitt 2.2.2) durchgeführt. Die erste Aufgabe (*zu sich drehen*) diente vor allem dazu, sich an die Richtcharakteristik der Quelle und an den Effekt des Drehens dieser zu gewöhnen.

Beim **zweiten Teil** des Hörversuches wurde den Versuchspersonen jeweils drei kurze Bursts aus Rosa Rauschen (je 100 ms Attack, 100 ms Sustain, 100 ms Release, 100 ms Stille) aus vier verschiedenen Richtungen mit jeweils unterschiedlicher Ausrichtung der Quelle vorgespielt. Aufgabe war es zu sagen, aus welcher Richtung das Signal wahrgenommen wird. Hierzu dienten die Zahlenmarkierungen auf den Lautsprechern (siehe Abbildung 3). Es war auch möglich, Werte zwischen den Lautsprechern anzugeben. Für die Quelle wurden zwei verschiedene Positionen gewählt, die bei den Wiederholungen an der Medianebene gespiegelt wurden, um eine Einseitigkeit des Tests zu vermeiden. Die Positionen samt den verschiedenen Ausrichtungen der Quelle sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Position 1 entspricht der Position A in Abbildung 3, Position 2 respektive Position B. Die gespiegelten Positionen ergeben sich durch Multiplikation aller Winkel

mit dem Faktor -1 . Die Ausrichtungen der Quelle wurden in einem Vorversuch so gewählt, dass die Effekte der Spiegelquellen möglichst stark sind. In diesem Vorversuch fiel auch auf, dass für die Richtcharakteristik 3 der Richtungseindruck immer gleich blieb. Grund dafür war der zusätzliche Anteil der Kugelcharakteristik. Der Direktschallpegel der Quelle ist hier immer groß genug, dass die später eintreffenden Reflexionen die Lokalisation nicht verändern können (Gesetz der ersten Wellenfront). Der Versuch wurde also lediglich mit den ersten beiden Richtcharakteristiken durchgeführt. Insgesamt gibt es also zwei Positionen à 10 Quellwinkel für zwei Richtcharakteristiken mit jeweils einer Wiederholung, folglich $2 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 2 = 80$ Trials. Diese wurden den Versuchspersonen in zufälliger Reihenfolge dargeboten. Sie hatten auch die Möglichkeit den aktuellen Stimulus öfter als einmal zu hören, wenn sie sich unsicher waren.

	Quelle		Drehwinkel									
	R	φ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pos. 1	1.1 m	45	-35	-15	-5	35	60	65	70	75	80	105
Pos. 2	1.8 m	65	-40	-10	25	35	45	65	80	95	110	125

Tabelle 1: Parameter der beiden Positionen aus Versuch 2 (alle Winkelangaben in Grad).

Ziele der Hörversuche war es zu überprüfen, ob die in der Simulation implementierten ersten Reflexionen ausreichen, um einen Eindruck über die Ausrichtung der Quelle zu vermitteln. Beim zweiten Test soll getestet werden, ob die Lokalisation immer auch dort ist, wo sich die Quelle in Wirklichkeit befindet, oder ob bei bestimmten Ausrichtungen die Reflexionen laut genug gegenüber dem Direktschall sind, um die Lokalisation in deren Richtung zu verändern.

3.2 Ergebnisse

An den Hörversuchen nahmen neun männliche Personen im Alter zwischen 20 und 40 Jahren teil. Es handelte sich hier ausschließlich um Toningenieure, also erfahrene Hörer.

3.2.1 Hörversuch 1

In der Abbildung 5 auf Seite 15 sind die Histogramme aller Ergebnisse für die drei Richtcharakteristiken und fünf einzustellenden Zielwinkel abgebildet. Der Zielwinkel ist mit einer roten Linie markiert. Pro Versuchsperson gibt es pro Winkel und Richtcharakteristik jeweils zwei Werte, für die Aufgabe *Quelle zu sich drehen* (-115°) drei. Jedes Histogramm umfasst somit 18 bzw. 27 (-115°) Werte.



Abbildung 4: Aufbau der Lautsprecher bei den Hörversuchen.

Betrachtet man die Histogramme, lässt sich sehen, dass die eingestellten Winkel grob den Zielwinkel entsprechen - es ist also durchaus möglich, die Quelle grob auszurichten. Vor allem bei den Aufgaben *Quelle zu sich drehen* (-115°) und *Quelle nach rechts schauen lassen* ($+90^\circ$) liegt der Mittelwert nahe dem Zielwinkel und die Werte streuen nur leicht. Bei den restlichen Aufgaben nehmen die Streuungen jedoch größere Werte an. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Ergebnisse lassen sich der Tabelle 2 entnehmen.

Die Standardabweichungen scheinen hier noch sehr groß (bis zu 50°). Wertet man jedoch nicht alle Ergebnisse zusammen aus, sondern betrachtet man die Ergebnisse der einzelnen Versuchspersonen getrennt, erhält man zwar variierende Mittelwerte der Ergebnisse, jedoch fällt die Streuung hier wesentlich geringer aus. Die Mittelwerte über die einzelnen Standardabweichungen der neun Versuchspersonen sind in Tabelle 3 zu entnehmen. Diese liegen zwischen 19° und 25° und bis auf Aufgabe *Quelle nach rechts schauen lassen* ($+90^\circ$) unter den Werten der Gesamtabweichungen. Dies liegt daran, dass hier insgesamt sehr gute Werte abgegeben wurden.

Charakteristik	1		2		3	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
-115	-116	20	-109	21	-109	24
-90	-47	41	-41	37	-42	25
0	23	22	39	39	29	27
90	77	16	109	17	100	14
180	117	50	137	28	141	22

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der gesamten Daten aus Hörversuch 1 (alle Angaben in Grad).

Zielwinkel	$\bar{\sigma}_{gesamt}$	$\bar{\sigma}_{einzel}$
-115	22	19
-90	34	20
0	29	20
90	16	16
180	33	25

Tabelle 3: Mittelwerte der Standardabweichungen der Gesamtergebnisse ($\bar{\sigma}_{gesamt}$) und der einzelnen VPs ($\bar{\sigma}_{einzel}$) (alle Angaben in Grad).

Die Ergebnisse lassen sich so interpretieren, dass sich die Ausrichtungen nicht genau sondern nur grob einstellen lassen. Die Abweichungen sind hier viel zu groß. Jede Versuchsperson liefert aber bei diesem Test konsistente Ergebnisse, zwar mit einem individuellen Versatz zum eigentlichen Zielwert, jedoch mit viel geringeren Streuungen. Die

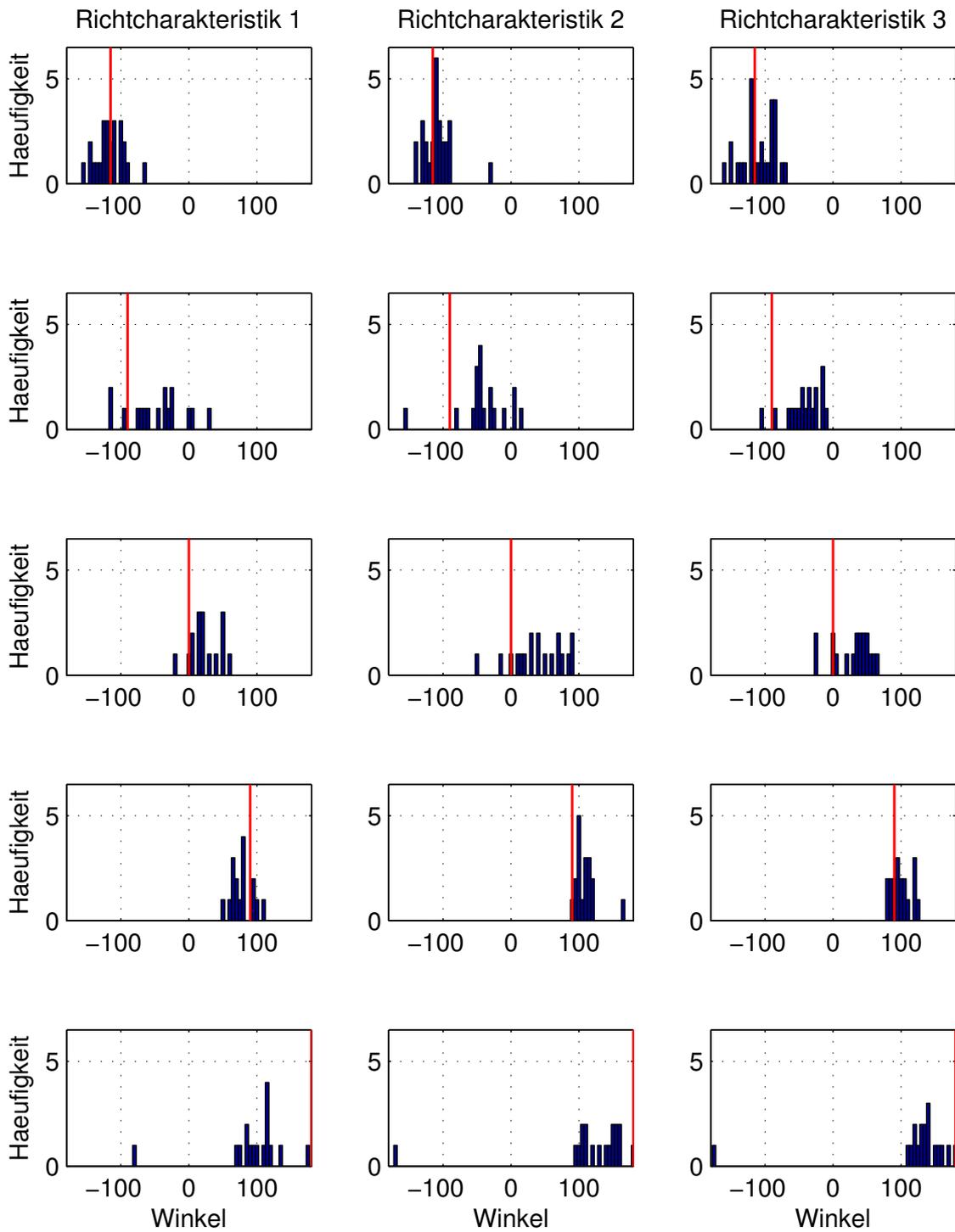


Abbildung 5: Histogramme der von den VPs eingestellten Winkel.

Versuchspersonen haben die Richtungen also unterschiedlich wahrgenommen, konnten diesen aber auch unabhängig von der Richtcharakteristik reproduzieren. Aus einem Vor-test wurde ersichtlich, dass sich die Ausrichtung einer statischen Quelle nicht erkennen lässt. Zusammen mit dem ersten Hörversuch zeigt dies somit, dass sich erst durch eine Drehbewegung der Quelle ein individueller Eindruck der Ausrichtung einstellt, welcher von Person zu Person unterschiedlich ist, sich aber nicht zu stark unterscheidet.

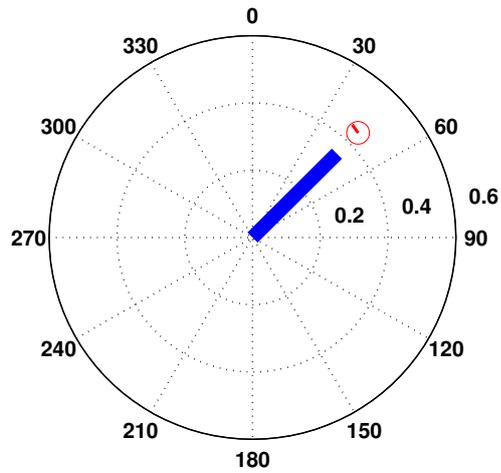
3.2.2 Hörversuch 2

Der zweite Hörversuch soll herausfinden, ob es durch Drehung der Quelle zu verschiedenen Lokalisationen kommen kann, obwohl die Quelle dabei immer auf gleicher Position bleibt. In Abbildung 6 sind die Ergebnisse drei ausgewählter Quellausrichtungen abgebildet. Dabei handelt es sich jeweils um die Position 1 der Quelle mit der Richtcharakteristik 1 (erster Ordnung). Zu sehen ist die Position und Ausrichtung der Quelle (rot) und in blau die Richtungen, aus denen die Quelle lokalisiert wird. Die Breite der Linien gibt die Häufigkeit der Antworten mit dieser Richtung an. In Abbildung 6a sieht man, dass alle abgegebenen Antworten mit der wahren Position der Quelle übereinstimmen. Dreht sich die Quelle weiter vom Hörer weg (6b) zerfällt diese stabile Lokalisation in eine stark instabile. Die Richtungen schwanken hier zwischen 0° und 65° . Dieser Effekt rührt daher, dass die Pegel von Direktschall und Reflexionen die Lokalisation etwa gleich beeinflussen und keine davon überwiegt. Erst wenn der Pegel des Direktschalls durch weitere Drehung (6c) immer kleiner wird im Vergleich zu den Reflexionen (in diesem Fall die erste Reflexionen der vorderen Wand) entsteht wieder eine stabile Lokalisation - jedoch aus einer Richtung verschieden zur Quellposition.

Die Boxplots in Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen alle Ergebnisse der Position 1 bzw. Position 2. Das beschriebene Verhalten der Lokalisation ist auch in den anderen Ergebnissen zu beobachten. Es gibt Winkelbereiche, in denen die Lokalisation stabil (geringe Streuung) und sowohl korrekt als auch inkorrekt ist. Dazwischen befinden sich instabile Winkelbereiche, in denen die Streuung der Lokalisation zu groß ist, um eine genaue Aussage über die Richtung treffen zu können.

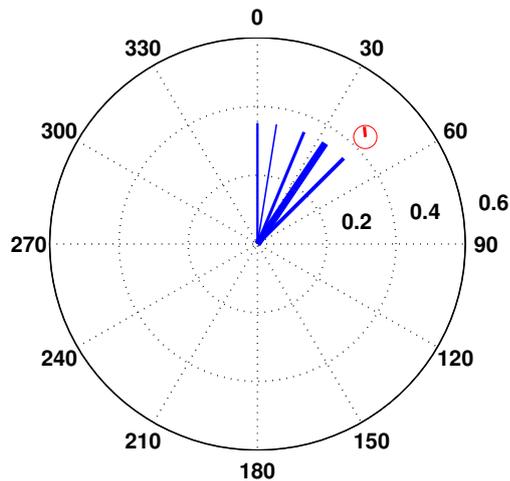
Für diese beiden Testfälle liefert die Richtcharakteristik 1 größere Winkelbereiche für stabile Lokalisationen aus Richtung einer ersten Reflexion. Im Gegensatz dazu sind die Winkelbereiche für stabile Lokalisationen aus Richtung des Direktschalls (Quellposition) bei Richtcharakteristik 2 größer. Je nach Anwendung sollte also hier eine der Richtcharakteristiken gewählt werden. Durch die wenigen Testfälle lässt sich jedoch keine allgemeine Aussage über den Einfluss der Richtcharakteristik machen.

Position 1 – Charakteristik: 1. Ord. – Quellrotation: -35°



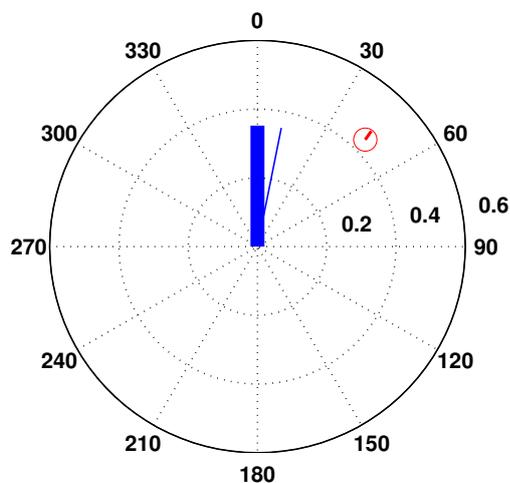
(a) stabile korrekte Lokalisation

Position 1 – Charakteristik: 1. Ord. – Quellrotation: -5°



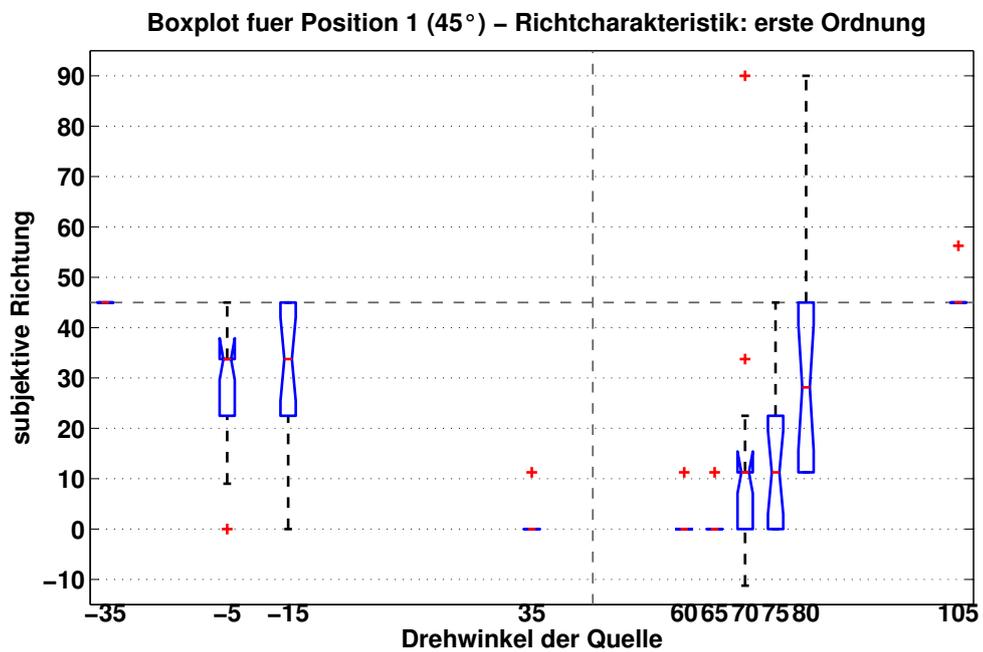
(b) instabile Lokalisation

Position 1 – Charakteristik: 1. Ord. – Quellrotation: 35°

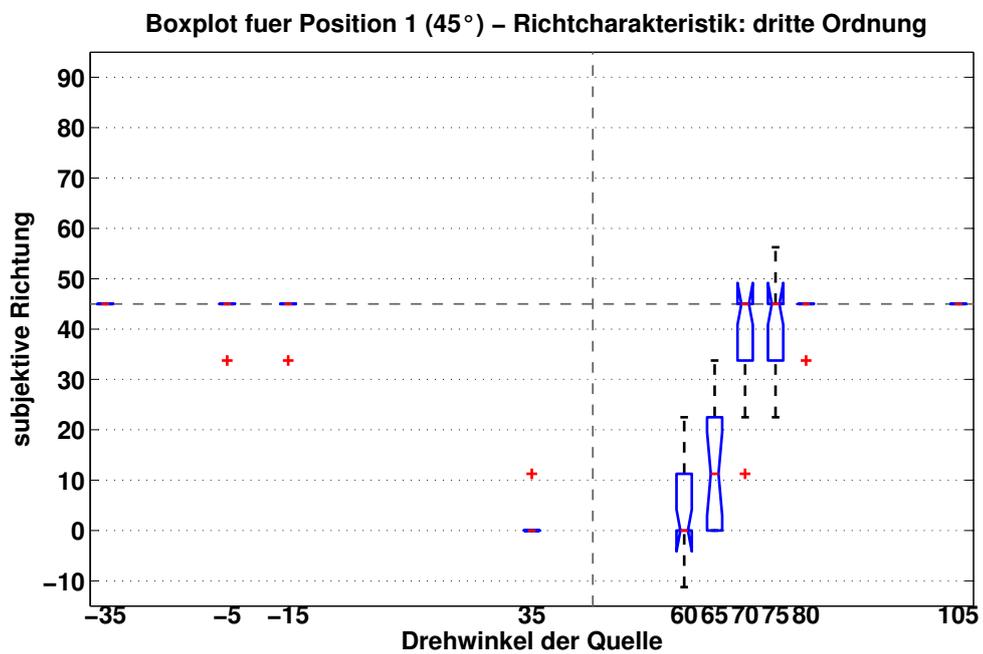


(c) stabile inkorrekte Lokalisation

Abbildung 6: Beispiel für stabile und instabile Lokalisationen aus Hörversuch 2.

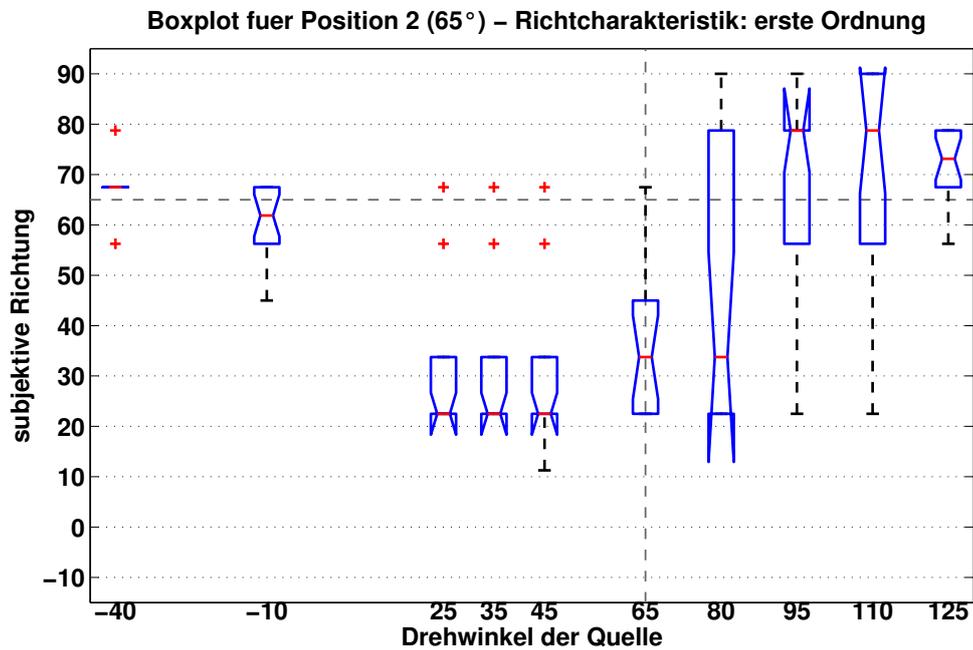


(a) Position 1 - Richtcharakteristik 1

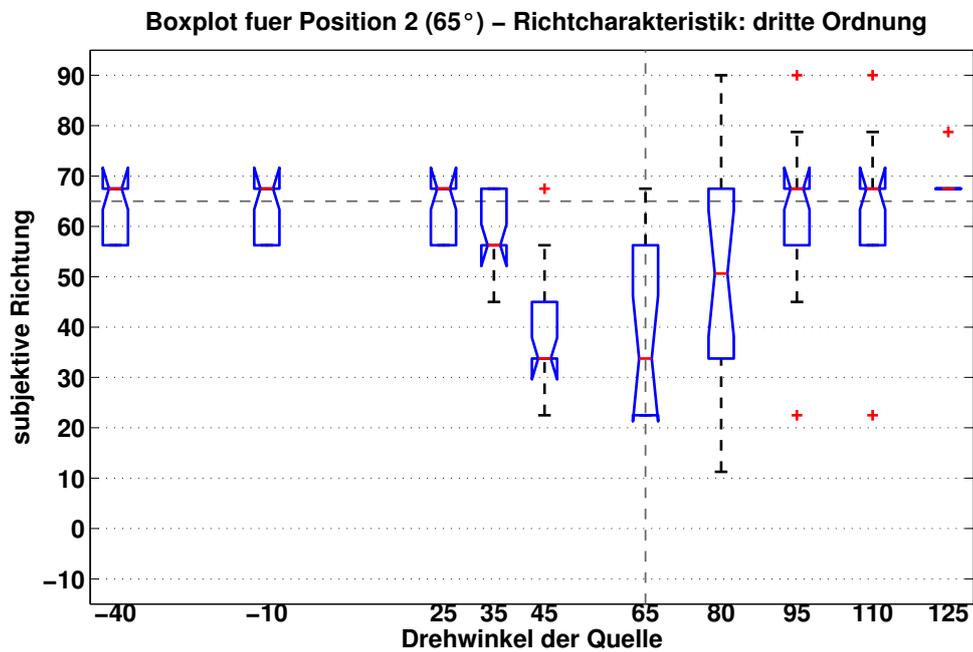


(b) Position 1 - Richtcharakteristik 2

Abbildung 7: Ergebnisse des zweiten Hörversuches für Position 1.



(a) Position 2 - Richtcharakteristik 1



(b) Position 2 - Richtcharakteristik 2

Abbildung 8: Ergebnisse des zweiten Hörversuches für Position 2.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Wie die Hörversuche gezeigt haben, liefert dieses einfache Modell mit Spiegelquellen erster Ordnung schon einen Eindruck über die Ausrichtung einer Quelle. Jedoch entsteht dieser Eindruck nur, wenn sich die Quelle bereits gedreht hat. Die Klangfärbung die durch die andere Ausrichtung entsteht, kann auch direkt von der Quelle selbst stammen. Es muss also eine Vorher-Nachher-Verarbeitung stattfinden um eine Aussage über die Ausrichtung treffen zu können.

Eine mögliche Anwendung wäre ein neues Audio-Mixing-Konzept, welches diesen Effekt nutzt. Man könnte zusätzlich zum Panning des Direktsignales die ersten Reflexionen einblenden. In einer 5.1-Konfiguration (oder besser 7.1) lassen sich die Spiegelquellen als Phantomschallquellen hinzufügen (bzw. für spezielle Positionen der Quelle auch diskret an den Lautsprecherpositionen). So könnte zum Beispiel eine Trompete sich am Anfang eines Musikstückes vom Hörer wegdrehen (dadurch entsteht der Ausrichtungseindruck) und während seines Solos zum Hörer richten. Zusätzlich zu den drei Mixing-Dimensionen Panorama, Tiefenstaffelung, und Frequenzspektrum entstünde hier die Möglichkeit, eine Quelle vom Hörer wegzudrehen.

Weiter zeigen die Ergebnisse auch, dass es mit einem Ikosaeder-Lautsprecher möglich ist, *neue* Quellen zu erstellen, die sich nicht am selben Ort befinden wie der Lautsprecher selbst (beispielsweise könnte ein Schallereignis von vorne links wahrgenommen werden, obwohl der Lautsprecher vorne rechts plazierte). Dieser Effekt hängt jedoch von mehreren Parametern - wie *Quellposition, Raum (Abmessungen, Reflexionsfaktoren), Position des Hörers* und *Richtcharakteristik der Quelle* - ab und ist nur für einen Sweet-Spot berechenbar. Hörer auf anderen Positionen würden einen komplett anderen Eindruck erhalten und Quellen nicht aus den gewünschten Richtungen orte. Um über die Eindeutigkeit/Stabilität der neuen Lokalisationen und der geeigneten Richtcharakteristiken eine Aussage treffen zu können sind jedoch noch weitere Hörversuche notwendig. Die in dieser Arbeit durchgeführten Tests reichen dazu nicht aus, da nur getestet wurde, ob es generell möglich ist.