



---

Audio Engineering Society  
**Conference Paper**

Presented at the 21st Conference  
2002 June 1–3 St. Petersburg, Russia

---

# Subjective Validation of Perception Properties Using Binaural Reproduction Systems

Alois Sontacchi, Piotr Majdak, Markus Noisternig and Robert Höldrich

*Institute of Electronic Music and Acoustics, A-8010 Graz, Austria, E-mail: alois.sontacchi@kug.ac.at*

## ABSTRACT

Die Lokalisationseigenschaften eines Systems zur Abbildung virtueller Schallquellen über Kopfhörer gehören zu primären Optimierungszielen während der Entwurfsphase. Erfolgt die Spatialisierung über Filterung mit HRIRs lässt sich zur Beurteilung der Lokalisationseigenschaften ein mathematisches Modell anwenden. Bei Systemen allgemeiner Natur bzw. zur Beurteilung allgemeiner Eigenschaften von Spatialisationsystemen ist die Durchführung von Hörversuchen unumgänglich. Ein neues Versuchsdesign zur Validierung diverser Eigenschaften der Wiedergabesystemen von virtuellen Schallquellen wird hier vorgestellt.

## 0 INTRODUCTION

Bei der Darbietung virtueller Schallquellen beeinflussen mehrere Parameter die Qualität der Wahrnehmung [1]. Der wichtigste Parameter, die Lokalisation, lässt sich mit zwei Größen beschreiben:

- Lokalisationsfunktion: bezeichnet die wahrgenommene Position in Abhängigkeit der tatsächlichen Position des Schallereignisses.
- Lokalisationsunschärfe: gibt die „Breite“ der wahrgenommenen Quelle an und ist ebenfalls eine von der tatsächlichen Position der Schallquelle abhängig.

Daraus lassen sich weitere Größen ableiten: der Lokalisationsfehler, der die Abweichung der Lokalisationsfunktion zur tatsächlichen Position darstellt; sowie die mittleren Lokalisation und die mittlere Lokalisationsunschärfe, beide als Mittelwerte der jeweiligen Funktionen über den untersuchten Bereich.

Die Externität bezeichnet die Wahrnehmung der Entfernung der virtuellen Schallquelle und kann sich im Bereich „im Kopf“ und „weit-ausser-Kopf“ bewegen. Das Ziel der virtuellen Akustik ist die Darbietung von Schallquellen, die auch ausserhalb vom Körper wahrgenommen werden können. Somit ist die Externität ein wichtiges Beurteilungskriterium.

Eine weitere Eigenschaft der Wahrnehmung stellt die Ambiguität dar, sie wird auch als "front-back confusion" genannt. Als Ambiguitätsfehler wird das Problem bezeichnet, die dargebotene Quelle aus der gegenüberliegenden Richtung der interauralen Achse wahrzunehmen. Zur Vermeidung dieses Fehlers wird bei der Wahrnehmung reeller Schallquellen eine spontane Kopfdrehung durchgeführt [5]. Auch bei der Wiedergabe virtueller Schallquellen können durch die Miteinbeziehung geringer Kopfbewegungen die Lokalisations- und Ambiguitätsfehler reduziert werden [2] [3].

Die Klangfärbung stellt eine weitere Eigenschaft der Wahrnehmung bei Benutzung von binauralen Systemen dar. Obwohl es sich um eine monoaurale Eigenschaft handelt, hat sie bei den Wiedergabesystemen mit bewegten Schallquellen einen dynamischen Charakter und kann mit einem statischen Filter nicht entzerrt werden. Die Beurteilung der Klangfärbung erweist sich schwieriger, weil die Wahl der zu beschreibenden Begriffe sehr verschieden sein kann. Als eine Vereinfachung kann ein Vergleich des Realismus mit der Klangfarbe einer realen Quelle durchgeführt werden.

Bei der Untersuchung von Wiedergabesystemen mit bewegten Schallquellen spielt die Konsistenz der Bewegung eine wichtige Rolle. Die räumliche Auflösung des Spatialisationsalgorithmus

(zB. der Datenbank mit HRIRs) steht hier in unmittelbarem Zusammenhang mit der Konsistenz.

Für die Optimierung eines Wiedergabesystems ist eine Beurteilung dieser Eigenschaften notwendig. Zur objektiven Beurteilung der Lokalisationseigenschaften wurde in [6] und [7] ein mathematisches Modell vorgestellt. Es basiert auf einem Vergleich des Übertragungsverhalten des geprüften Systems mit einem Satz von Referenz-HRIRs unter Berücksichtigung diverser psychoakustischer Effekte. Für den Vergleich wird eine Annahme getroffen, dass der Satz der Referenz-HRIRs eine perfekte Lokalisation bieten kann. Mit diesem Verfahren kann ein System bezüglich der Lokalisationseigenschaften beurteilt werden, die Ergebnisse sind dann nur für den verwendeten Satz von HRIRs gültig und somit individualisiert. Systeme, die keine HRIRs als Berechnungsgrundlage verwenden (zB.: auf der Basis von funktionalen Modellen [9]) eignen sich nicht zur Beurteilung mit diesem Verfahren - es kann höchstens ein Vergleich mit einem Satz von HRIRs aufgestellt werden.

Die objektive Beurteilung anderer Eigenschaften erweist sich als sehr schwierig und unzufriedenstellend.

Es sind somit Hörversuche notwendig, denn nur über die Auswertung der aufgenommenen Daten verschiedener Versuchspersonen lässt sich eine Erkenntnis zur Beurteilung und der weiteren Optimierung des verwendeten Systems gewinnen.

Beim allgemeinen Ansatz der Versuchsdurchführung gibt es zwei grundlegende Wege:

- die Darbietung eines Reizes und der anschließenden Beurteilung der Eigenschaften der Wahrnehmung durch die Versuchsperson. Die grundlegende Schwierigkeit für die Versuchsperson ergibt sich bei der Übermittlung der wahrgenommenen Eigenschaften den Versuchsleitenden. Speziell bei der Untersuchung der Lokalisation ergibt sich das Problem, dass die Versuchsperson Schwierigkeiten hat, eine gezielte Angabe zu der Position der wahrgenommenen Quelle zu erstellen. Es muss mit einem systematischen Fehler diesbezüglich gerechnet werden.
- die Aufforderung der Versuchsperson ein vorgegebenes Ziel zu erreichen und die anschließende Beurteilung des Fehlers von Versuchsleitenden. Der Vorteil dieser Methode liegt im Entfallen des systematischen Fehlers, der bei der vorher erwähnten Methode auftritt. Eine Fehlerquelle kann allerdings die Fehldeutung des vorgegebenen Ziels von der Versuchsperson darstellen.

Das hier vorgestellte Verfahren versucht beide Methoden zur Beurteilung verschiedener Eigenschaften virtueller Schallquellen zu verbinden um die systematischen Fehler zu minimieren.

Dieses Verfahren wurde primär dazu verwendet, das in [6] vorgestellte Fehlermass zu validieren, es handelt sich aber um einen allgemeinen Ansatz zur Beurteilung von Eigenschaften virtueller Quellen. Hier wird dieses Verfahren begrenzt auf den 2-D-Bereich mit einer Veränderlichen, den Azimutwinkel, verwendet.

## 1 EXPERIMENTAL DESIGN

### 1.1 Used Methods

Die Hörversuche sollten weitere Erkenntnisse zur verschiedenen Wiedergabesystemen (=Settings) liefern. Es sollten die Daten über die Lokalisation (und somit die Ambiguität), Externität, Klangfärbung und Konsistenz für jedes Setting erhoben werden. Die Daten der Lokalisationsfunktion sollten in späterer Folge die Bildung einer Entzerrungsfunktion ermöglichen. Damit sollte es möglich sein, eine verbesserte Lokalisation den Zuhörenden zu bieten.

Zur Beginn des Versuchs wurde den Versuchspersonen eine virtuelle Schallquelle über den Kopfhörer dargeboten. Die Versuchspersonen konnten die Quelle über den gesamten

Azimutbereich bewegen und wurden währenddessen dazu aufgefordert, Angaben über die Externität, Breite der Quelle, Klangfarbe und Konsistenz der Bewegung zu erstellen. Für diesen Teil des Versuchs hatten die Versuchspersonen ca. 2 Minuten.

Die Messung der Lokalisation teilt sich in die Messung der Lokalisationsfunktion und der Lokalisationsunschärfe. Da die Messung der Lokalisationsunschärfe auf die Messung der Lokalisationsfunktion mit Stimulis verschiedener Frequenz zurückgeführt werden kann, genügt ein Aufbau um beide Größen zu ermitteln. Für den Ablauf der Messung wurde die Methode gewählt, bei der die Versuchsperson aufgefordert wird ein Ziel zu erreichen und die erreichte Abweichung gemessen wird. Als Vorgabe wurde der Versuchsperson ein Stimuli über einen Lautsprecher aus einer bekannten Position dargeboten. Die Versuchsperson trug dabei einen offenen Kopfhörer und konnte somit die Schallquelle, unter bestimmten Vernachlässigungen, fehlerfrei wahrnehmen (vgl. "Räumliches Sampling" in [4]). Gleichzeitig wurde der Versuchsperson eine virtuelle Schallquelle über den Kopfhörer dargeboten. Die Schallquelle konnte von der Versuchsperson über den gesamten Azimutbereich bewegt werden. Die Versuchsperson hatte die Aufgabe beide Schallquellen, die virtuelle und reelle, zur Deckung zu bringen. Dabei wurde die Kopfposition der Versuchsperson mit einem Head-Tracker erfasst und für die Wiedergabe der virtuellen Schallquelle ausgeglichen, sodass spontane Kopfbewegungen der Versuchsperson möglich waren. Um den Bereich der Bewegung einzugrenzen wurden grafische Zeichen am Bildschirm dargestellt, die die Versuchsperson über das Überschreiten der eingestellten Grenzen von  $\pm 5^\circ$  von der Medianebene informiert haben. Das Erreichen des Ziels, die Deckungsgleichheit der beiden Quellen, wurde von der Versuchsperson durch das Betätigen einer Taste signalisiert und die Positionen der Quellen konnten abgespeichert werden. Mit diesem Ablauf kann also der Wert der Lokalisationsfunktion für eine gegebene Richtung des Schallereignisses gemessen werden. Durch die mehrmalige Wiederholung dieses Ablaufes mit der Wiedergabe der realen Stimuli aus verschiedenen Richtungen kann eine vollständige Lokalisationsfunktion des Systems erstellt werden.

Um die Ambiguitätsfehler der realen Quellen gering zu halten, wurden die Stimuli nur von Vorne dargeboten. Weiters wurden lediglich zur Medianebene symmetrische Systeme getestet, somit konnte die Anzahl der Richtungen für die Wiedergabe der realen Stimuli nochmal halbiert werden. Es wurde eine Auflösung der Lokalisationsfunktion von  $10^\circ$  gewählt, im Bereich von  $\pm 70^\circ$ . Es waren somit 8 Lautsprecher notwendig, die im gleichen Radius um die Medianachse so angeordnet wurden, dass die Positionen, auf einen Quadrant zusammengefallen, die erwünschte Auflösung von  $10^\circ$  ergeben haben (siehe Fig 1). Die Messungen der Lokalisationsfunktion wurden für jede Lautsprecherposition mehrmals wiederholt um einen Streufehler zu reduzieren.

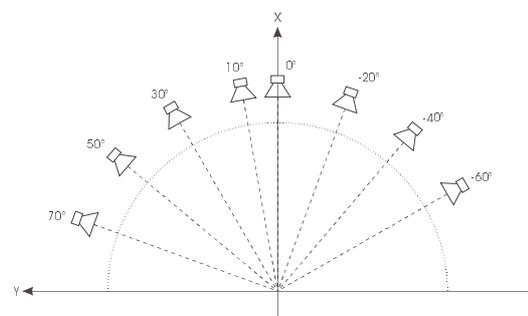


Fig. 1: Lautsprecheranordnung

In einem Vorabversuch wurde der Einfluss des offenen Kopfhörer auf die Lokalisation der realen Schallquelle ermittelt. Es hat sich gezeigt, dass bei der gewählten Auflösung von 10° keine signifikante Beeinflussung stattfand. Lediglich eine Versuchsperson hatte das Gefühl die Stimuli von hinten wahrzunehmen, was zur Ambiguitätsfehler bei der Auswertung führte.

Für die Erfassung der Lokalisationsunschärfe könnte der Versuchsablauf der Messung der Lokalisationsfunktion beibehalten werden - lediglich die Stimuli würden als ein bandbegrenztzes Rauschen dargeboten werden. Dabei würde die Anzahl der notwendigen Messung rapide ansteigen. Aus diesem Grund, zusammen mit Zeitmangel, konnten die Messungen der Lokalisationsunschärfe nicht durchgeführt werden.

1.2 Stimuli

Als Stimuli wurden Sprachsignale mit der Dauer eines Messvorganges (ca. 20 Sekunden) gewählt. Damit die reelle und virtuelle Quellen voneinander unterscheidbar werden, wurden eine weibliche und eine männliche Stimme verwendet. Der Grund für die Verwendung von Sprachsignalen bei diesem Versuchsablauf liegt in der endgültigen Bestimmung der untersuchten Systeme - es werden in der späteren Anwendung vorwiegend Sprachsignale spatialisiert. Weiters enthalten die Sprachsignale keine signifikanten Leistungspegeln in den spektralen Bereichen, die für die Lokalisation der Elevation von Bedeutung sein könnten - somit ist die Verwendung für die in der Augenhöhe durchgeführten Versuche durchaus zulässig.

1.3 Subjects

Für diese Studie wurden 10 freiwillige Personen (6 männlich, 4 weiblich, Alter zwischen 25 und 40) hreangezogen. Die Personen hatten bereits mit Teil Erfahrungen mit Systemen für virtuelle Realität, hatten aber an keinen Versuchen im akustischen Bereich teilgenommen. Vor dem ersten Versuch wurden sie über den gesamten Ablauf instruiert und mit dem System bekannt gemacht. Weiters wurden Sie über die verwendeten Begriffe aufgeklärt und die Kopfposition auf die Lautsprecherposition an der Stelle 0° angepasst. Die Versuchreihen wurden zu je halbstündigen Einheiten zusammengefasst, zwischen denen die Versuchspersonen ein Pause machen konnten. Maximal drei Einheiten hatte eine Versuchsperson an einem Tag absolviert.

1.4. Evaluated Systems

Die verwendeten Wiedergabesysteme basierten auf der Schallmodellierung mittels Ambisonic [6], [8], [9]. Das Ziel der Versuche war die Validierung des Fehlermasses anhand dieser Systeme, dementsprechend wurden die in [7] modellierten Systeme für die Versuche ausgewählt. Es wurde folgende Parameter variiert:

- Ordnung des Ambisonic-Systems
- Gewichtung der Ambisonic-Kanäle
- zwei verschiedene HRIRs: KEMAR und proprietäre
- Längen der verwendeten HRIRs
- Anordnung der virtuellen Lautsprecher bei Ambisonic

Die detaillierte Beschreibung der Auswirkung dieser Parameter auf das Ambisonic-System befindet sich in [6] und [9]. Weiters wurden auch direkte Implementierungen von HRIRs verwendet um allgemeinen Einfluss der HRIRs auf die menschliche Lokalisation zu untersuchen. Es wurden auch hier zwei Datensätze an HRIRs verwendet: KEMAR und proprietäre. Die Datensätze lagen in verschiedenen räumlichen Auflösungen vor (KEMAR: 5° und

proprietär: 15°), es fand keine Interpolation zwischen den einzelnen Impulsantworten.

Die verwendete Hardware bestand aus einem Head-Tracker (Flock of Birds) für die Erfassung der Kopfbewegung, einem PC und einem DSP (TI320C6711), der für die gesamte binaurale Wiedergabe verantwortlich war. Der PC war für die Steuerung des DSP zuständig, zusätzlich hat er über ein eigen entwickelte Software die Erfassung der Messdaten bewerkstelligt. Der Audioteil der Hardware bestand aus einem offenen, elektrostatischen Kopfhörer (Sehnheiser) für die Wiedergaber virtueller Schallquellen und einem digitalen Mischpult (Mackie) und einem Satz an Lautsprecherboxen (Tannoy) für die Darbietung reeller Zuspiegelungen.

2. RESULTS

2.1 Localisation

Die Ergebnisse der Evaluierung der Lokalisation liegen in Form einer vierdimensionalen Matrix

$$L(sub, seti, spk, ex) \quad (1)$$

wobei sub die Versuchsperson, seti das verwendete Setting, spk den Winkel des realen Stimuli und ex die Nummer des Versuchs darstellen.

Die Daten müssen vor einer weiteren Verarbeitung in ein Quadrant geklappt werden und von den Ambiguitätsproblemen befreit werden. Der Anteil der Ambiguitätsverwechslungen wird dabei erfasst und gesondert ausgewertet. Die Untersuchung der Ambiguität bezüglich des Verlaufs mit dem Azimutwinkel ergab einen starken Zuwachs mit der weiteren Auslateralisierung der realen Quelle. Eine Auswertung der Ambiguitätsverwechslungen jeder Versuchsperson ergab, dass dieses Problem sehr individueller Natur ist (Fig 2.)

Die weitere Verarbeitung der ambiguitätsbefreiten Daten kann über die Mittelung bzw. Berechnung der Standardabweichung über ex erfolgen:

$$\begin{aligned} std(sub, seti, spk) \\ \bar{L}(sub, seti, spk) \end{aligned} \quad (2)$$

wobei std die Standardabweichung und  $\bar{L}$  die Mittelwerte von  $L$  darstellen.

Die Standardabweichung steht für die Sicherheit, mit der eine Position lokalisiert werden konnte. Bei Systemen die eine sehr hohe Lokalisationsunschärfe boten, wurde eine hohe Unsicherheit diesbezüglich erwartet. Da die natürliche Lokalisationsunschärfe

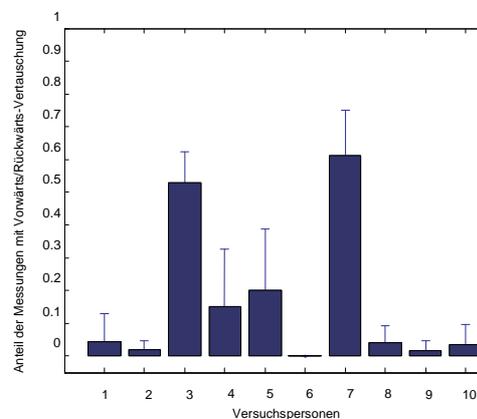


Fig. 2 : Ambiguitätsauswertung der Versuchspersonen

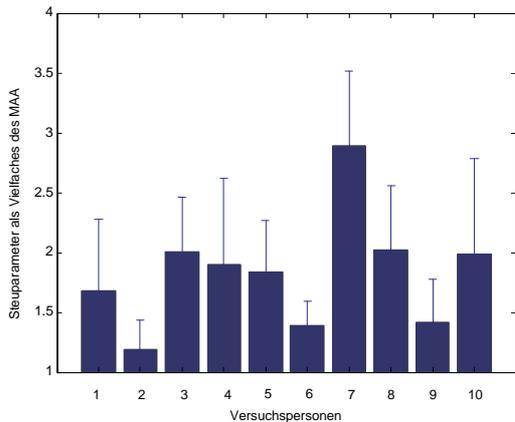


Fig. 3: Streuparameter der Versuchspersonen

des Menschen mit weiterer Auslateralisierung ansteigt [1], wird diese vor weiteren Berechnungen in den Daten berücksichtigt. Dies erfolgt durch das Normieren der Standardabweichung auf den zugehörigen Wert der MAA an der Stelle L. Daraus ergibt sich ein Streuparameter, dessen Werte zwischen verschiedenen Azimutwinkeln verglichen werden dürfen:

$$S = \frac{std_{sub, seti, spk}}{MAA(\bar{L}_{sub, seti, spk})} \quad (3)$$

Nun können die Streuparameter über die Richtung spk gemittelt werden um weitere Analyse zu ermöglichen. Die Mittelung über die verwendeten Settings zeigt die persönliche Lokalisationsunsicherheit jeder Person (Fig. 3 [???]). Es zeigt sich, dass die Versuchspersonen eine unterschiedliche Lokalisationsunsicherheit hatten. Die Versuchsperson Nr. 2 hatte einen vergleichsweise geringen Fehler, die Versuchsperson Nr. 7 einen um Faktor 2.5 grösseren Fehler. Weiters zeigt die Betrachtung der Standardabweichung in dieser Abbildung auch, dass die Versuchspersonen Nr. 2 und Nr. 6 weniger unterschiedlich auf die verschiedenen Settings reagiert haben, als andere Personen. Da die Lokalisationsunsicherheit der Versuchsperson Nr. 7 signifikant höher als beim Rest vorliegt, deutet dass auf etwaige Schwierigkeiten beim Versuchsablauf (Konzentrationschwierigkeiten, Schwierigkeiten mit der Benutzerschnittstelle). Für die weitere Untersuchung sollte nun diese Person aus der Berechnung ausgeschlossen werden um ein konsistentes Datensatz zu gewährleisten.

Nun können mittels einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) signifikante Unterschiede zwischen den evaluierten Settings berechnet werden.

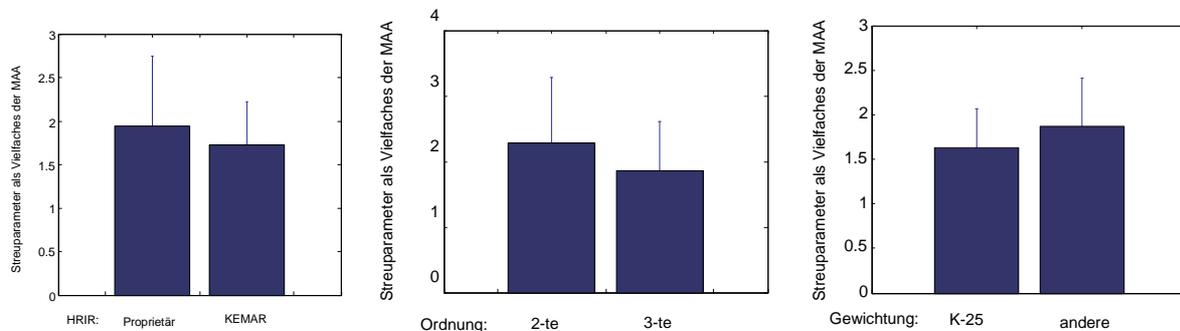


Fig. 4, 5 und 6: Auswirkung diverser Parameter auf die Streuparameter

2.1.1. Dependence of HRIRs

Die Untersuchung der Streuparameter mittels ANOVA bezüglich des verwendeten HRIR-Datensatzes zeigte signifikante Unterschiede (p=0.0285) zwischen den Daten (Fig 4 [???]). Die Abbildung 4 zeigt, dass die Lokalisationsunsicherheit bei Verwendung der proprietären HRIRs signifikant höher ist. Zusätzlich sieht man auch die höhere Standardabweichung, die darauf deutet, dass diese HRIR sich für mehr individualisierte Systeme eignen.

2.1.2. Dependence of ambisonic order

Die weitere Untersuchung der Streuparameter mittels ANOVA erfolgte im Bezug auf die Ambisonic-Ordnung. Es zeigten sich deutliche, an der Grenze zur Signifikanz, Unterschiede (p=0.0598) zwischen den Systemen zweiter und dritter Ordnung. Wie aus der Abbildung 5 zu entnehmen ist, weisen Ambisonic-Systeme zweiter Ordnung eine höhere Lokalisationsunsicherheit auf.

2.1.3. Dependence of channel weighting

Die letzte Untersuchung der Streuparameter mittels ANOVA, die signifikante Unterschiede ergab, war die Untersuchung des Einflusses von der Gewichtung der Kanäle. Es wurden 3 verschiedene Gewichtungsarten evaluiert, wobei zwischen den nichtgewichteten Systemen und den Systemen mit Kaiser-Fenster-Gewichtung ein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte. Die Abbildung 6 zeigt, dass die Systeme mit einer Kaiser-Fenster-Gewichtung eine deutlich geringere Lokalisationsunsicherheit bieten können.

2.1.4. Equalisation function

Für die Berechnung der Entzerrungsfunktion für ein System bezüglich der Lokalisation ist eine Lokalisationsfunktion notwendig.

Mit der Funktion  $\bar{L}$  ist die Lokalisationsfunktion für jedes evaluierte Setting, und jede Versuchsperson gegeben. Eine Mittelung dieser Funktion über die Versuchspersonen sollte die Lokalisationsfunktionen aller Settings ergeben. Die einzelne Lokalisationsfunktion muss streng monoton sein, damit sich daraus die Entzerrungsfunktion bilden lässt, die die Umkehrfunktion zur Lokalisationsfunktion darstellt. Weiters sollten die Daten soweit allgemeiner Natur sein, dass die einzelnen Positionen nach der Mittelung sich signifikant voneinander unterscheiden.

Es zeigte sich, dass nach der Mittelung der Lokalisationsfunktion über die Versuchspersonen die einzelnen Lokalisationsfunktionen der Settings die oben erwähnten Kriterien nicht erfüllten. Die Entzerrungsfunktionen konnten also lediglich individualisiert, für

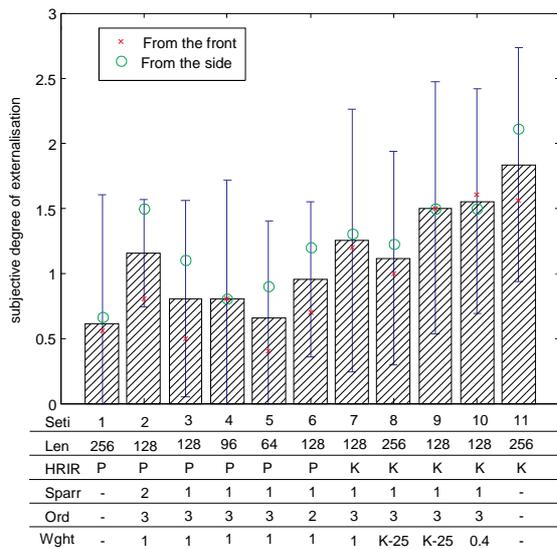


Fig 7: Subjektiver Mass der Externität (siehe Text) vorn vorne, von der Seite und gemittelt. Seti: Settingsnummer, Len: Länge der HRIRs, HRIR: die Arte der HRIRs (P: proprietär, K: KEMAR), Sparr: Anzahl der virtuellen Lautsprecher in der Nähe der Medianachse, Ord: Ordnung von Ambisonic, Wght: Gewichtung der Ambisonic-Kanäle

jede Person und jedes Setting, erstellt werden.

**2.2 Verbal statements**

Die verbal erfassten Daten wurden im ersten Arbeitsschritt katalogisiert, das Ziel war eine Liste von numerischen Beträgen zu erstellen, die mathematische weiterbearbeitet werden könnte. Zu diesem Zweck wurde ein Katalog mit allen angegebenen Begriffen erstellt. Ähnliche Begriffe wurden in einer Gruppe zusammengefasst, die extremen Angaben haben den Bereich der Auswertung abgesteckt. Anschließend wurden die einzelnen Gruppierungen durchnummeriert. Somit entstand, hier als Beispiel angegeben, folgender Schlüssel für die Angaben zur Externität:

- 0: im Kopf
- 1: am Kopf
- 2: leicht Außerkopf, ca. 10cm
- 3: Außerkopf, ca. 30cm
- 4: weit Außerkopf, weiter als ca. 50cm

Der Abstand der Abbildung der virtuellen Schallquellen entsprach dem Abstand der Aufnahmen der HRIRs und lag bei ca. 1.2 Meter. Somit wäre die Angabe „4: weit Außerkopf“ die Erwünschte.

Eine Mittelung der katalogisierten Daten wurde in der Abbildung 7 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Standardabweichung bei allen Versuchspersonen sehr gross ist. Somit wäre ein direkter Vergleich einzelner Settings nicht repräsentativ. Eine Tendenz kann trotzdem festgestellt werden: alle Settings mit KEMAR-HRIRs als Grundlage boten eine grundsätzlich höhere Externität, mit einem Maximum bei der direkten Implementation des HRIRs-Datensatzes. Bei der Verwendung der proprietären HRIRs konnte nicht einmal die direkte Implementierung der HRIRs dieselbe Grössenordnung erreichen.

Nach dieser Methode konnten die Analysen aller Eigenschaften über die verbal erfassten Daten erfolgen.

**3 CONCLUSIO**

In den meisten Versuchen wurden die Lokalisationseigenschaften des Menschen in den Vordergrund gestellt. In dem hier

vorgestellten Hörversuch sollte die Beurteilung von Wiedergabesystemen mit dem Fehlermass validiert werden. Zusätzlich sollten weitere Erkenntnisse zu einer Optimierung dieser Systeme gewonnen werden.

Mit der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass mit dem neuen Versuchsdesign diverse Eigenschaften der Wiedergabesysteme sich ermitteln lassen. Da in dieser Studie dieselben Systeme wie in [6] verwendet wurden und die Ergebnisse grossteils übereinstimmten wurde das Fehlermass validiert.

Weiters konnte eine Entzerrungsfunktion eines Wiedergabesystem zur Verbesserung der Lokalisation für eine ausgewählte Versuchsperson ermittelt werden. Um eine allgemeine Entzerrungsfunktion ermitteln zu können ist der Versuchsablauf weiter zu optimieren um personenspezifische Einflüsse weitgehend zu minimieren. Eine Ausweitung der Hörversuche ist für die Messung der Lokalisationsunschärfe unumgänglich.

Zum Schluss sei darauf hingewiesen, dass die hier vorliegenden Ergebnisse nur für die hier verwendeten Systeme sowie Sprachsignale gelten. Bei der Verwendung anderer Stimuli, zB. Rauschen oder Clicks könnten die Ergebnisse ganz anders ausfallen.

Insgesamt ist dieses Versuchsdesign für weitere Experimente zur Beurteilung von Lokalisationseigenschaften binauraler Systeme zu empfehlen.

**4. REFERENCES**

[1] J. Blauert, Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localisation, rev. ed. (MIT-Press, Cambridge, MA, 1997)  
 [2] F. L. Wightman and D.J. Kistler, The Importance of Head Movements for Localising Virtual Auditory Display Objects, in Proc. 1994 Conference on Auditory Displays  
 [3]: D.R. Begault, E.M. Wenzel; Direct Comparison of the Impact of Head Tracking, Reverberation, and Individualized HRTFs on the Spatial Perception of a Virtual Speech Source; J. Audio Eng. Soc. Vol. 49, No.10; 2001  
 [4]: S. Carlile, S. Delaney, A. Corderoy; The localistion of spectrally restricted sounds by human listeners; Hear. Res. Vol. 128, pp 175-189; 1999  
 [5]: G. Theile, U. Felderhoff , P. Mackensen; Stabilität der Lokalisation bei verfälschter Reproduktion verschiedener Merkmale der binauralen Signale; 20. Tonmeistertagung Karlsruhe pp. 229 - 237; 1998  
 [6] P. Majdak P., M. Noisternig; Implementation kopfpositionsbezogener Binauraltechnik, Diplomarbeit 2002, Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz  
 [7] A. Sontacchi, M. Noisternig, P. Majdak, R. Höldrich; An objective model of localisation in binaural sound reproduction systems, unpublished, proposed to the 21<sup>st</sup> AES Int. Conf., 2002  
 [8]: M. A. Gerzon; General Metatheory of Auditory Localisation; Audio Eng. Soc. 92nd Conv. Vienna, preprint 3306; 1992  
 [9]: A. Sontacchi; Neue Ansätze der Schallfeldreproduktion; Dissertation 2002, Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz