

# Distanzwahrnehmung in virtuellen Räumen für Schalle von vorne und hinten

Gabriel Gomez, Bernhard U. Seeber

Audio-Signalverarbeitung, Technische Universität München, 80333 München,

E-Mail: gabriel.gomez@tum.de, seeber@tum.de

## Einleitung

Die Wahrnehmung von Distanzen akustischer Ereignisse wurde in der Literatur bereits ausführlich untersucht [1, 2, 3]. Allerdings wurde bisher hauptsächlich die Distanzwahrnehmung von Schallen von vorne betrachtet und Schallen von hinten kaum Beachtung geschenkt. Aufgrund der spektralen Filterung der Ohrmuschel sowie des Abgleichs wahrgenommener akustischer Distanzen zu den entsprechenden visuellen Schallquellen, ist ein Unterschied der Distanzwahrnehmung von Schallen von vorne gegenüber solchen von hinten vorstellbar. Diese Hypothese wurde in einem virtuellen Akustikexperiment untersucht, indem mehreren Probanden verschiedene Sprach-Stimuli in einer halligen Umgebung präsentiert wurden. Es zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede der Antworten zwischen vorne und hinten für Sprachsignale.

Bei der Durchführung von Distanzexperimenten sollten Einflüsse der Beschränkung der Antwortmethode beachtet werden, da es sonst zum sogenannten Range-Effekt kommen kann, einer Beeinflussung der Antworten aufgrund der Antwortbegrenzung. Aus diesem Grund wurde in einem zweiten Experiment der Einfluss einer visuellen Begrenzung in der Antwortmaske auf die Antworten der Probanden untersucht. Hierzu wurde ein Experiment mit Rausch-Stimuli zweimal wiederholt, wobei im ersten Fall die Antwortmöglichkeit visuell unbegrenzt, im zweiten Fall durch eine eingezeichnete Raumbegrenzung visuell begrenzt war. Die dargebotenen Schalle waren in beiden Fällen identisch. Die Ergebnisse zeigen bei weiten Distanzen eine größere Unterschätzung der Distanz-Antworten bei Begrenzung der Antwortmöglichkeiten im Vergleich zum unbegrenzten Fall.

## Methoden

### Stimuli

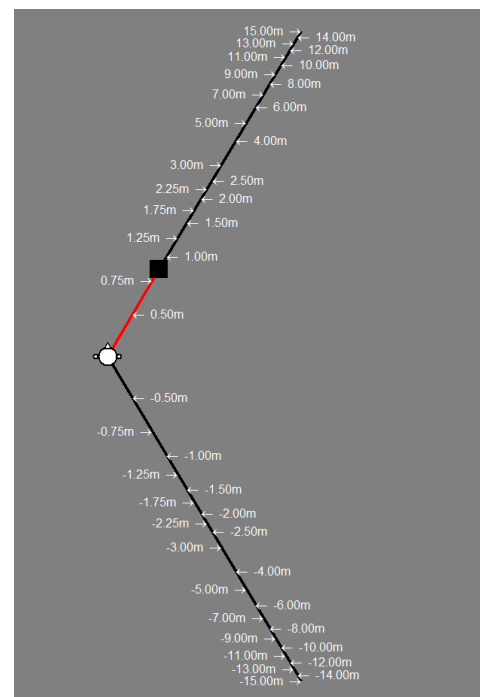
Im ersten Experiment zur Untersuchung von Unterschieden in der Distanzwahrnehmung zwischen Schallen von vorne und von hinten wurden 10 gesprochene Sätze mit zwei bis vier Sekunden Dauer verwendet, die von 10 verschiedenen männlichen Sprechern stammen. Der Wiedergabepiegel wurde auf 55-58 dB SPL normiert, die Stimuli dann mit Hall versehen und auf 200-12000 Hz bandbegrenzt. Im Experiment zur Untersuchung des Range-Effektes wurde in sieben Wiederholungen bandpassgefiltertes weißes Rauschen (200-12000 Hz) als Pulsfolge der Länge 500 ms dargeboten, mit einer Länge der jeweils fünf einzelnen Pulse von 30 ms für Werte oberhalb von 67.5% des Maximums, 70 ms Pause dazwischen und 3 ms langem gaußförmigen Ein- und Ausklingen. Der Pegel wurde auf 60 dB SPL normiert und das Rauschen mit Hall versehen.

## Simulation und Wiedergabe

Es wurden für verschiedene Distanzen zwischen 0.75 m und 9 m in den azimuthalen Richtungen 30° und 150° (vorne rechts und hinten rechts) Raumimpulsantworten (RIRs) für einen virtuellen Raum (18.5 m x 15.5 m x 10 m) mit der Simulated Open Field Environment (SOFE) [4] simuliert und die Stimuli durch Faltung mit den RIRs mit Hall versehen und auralisiert, wobei ein Ring aus 48 horizontal angeordneten Lautsprechern verwendet wurde. Der Direktschall und die einzelnen Reflektionen (bis 30. Ordnung) wurden jeweils vom nächstliegenden Lautsprecher im Ring gespielt. Späte Reflektionen ab der 5. Ordnung wurden zeitlich um 5% gejittert. Der schalltrockene Wiedergaberaum hat einen Ruhepegel von 26 dB(A) und wurde für die Experimente komplett verdunkelt.

## Eingabe der wahrgenommenen Distanzen

Vorläufige Ergebnisse von normalhörenden Probanden (6 im ersten Experiment, 5 im zweiten Experiment) werden hier vorgestellt. Die Probanden saßen im Zentrum des Lautsprecherringes, den Kopf an einer Kopflehne angelehnt. Die wahrgenommenen Distanzen wurden über einen Touchscreen durch Berühren eines Punktes entlang eingezeichneter Achsen mit logarithmischer Darstellung eingegeben. Im ersten Experiment wurden die Antwortmöglichkeiten nicht begrenzt (siehe Bild 1).

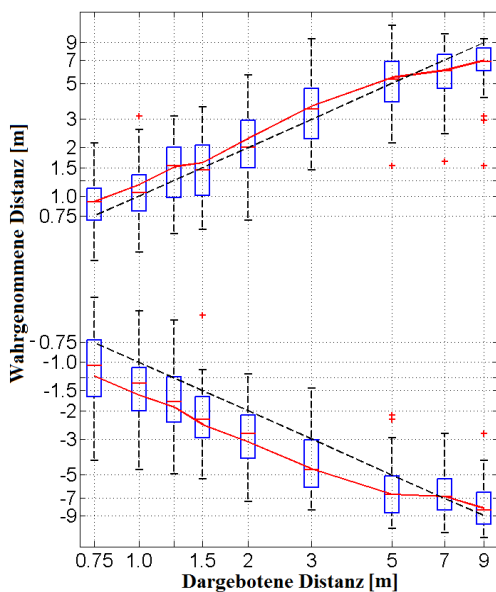


**Bild 1:** Ausschnitt der Eingabemaske. Der Kopf zeigt die Position des Hörers im virtuellen Raum. Die Achsen in 30° und 150° haben logarithmisch aufgetragene Entfernungen. Das schwarze Lautsprechersymbol zeigt die Antwort der wahrgenommenen Distanz an.

# Ergebnisse

## Experiment 1: Untersuchung von Unterschieden der Distanzwahrnehmung zwischen Sprachsignalen von vorne und hinten.

Die Einschätzung der Distanz eines Hörereignisses ohne visuelle Einflüsse ist eine schwere Aufgabe, die sich durch eine große Varianz der Antworten für alle Distanzen sowohl zwischen den Probanden als auch der einzelnen Probanden bemerkbar macht. In Bild 2 ist die Verteilung (Boxplots) aller Antworten resultierend aus jeweils 10 Sprachsignalen für vorne und hinten pro Distanz zu sehen. Die rote Kurve verbindet die Mittelwerte dieser Verteilungen. Eine Tendenz zu Unterschieden zwischen vorne und hinten ist aus den Kurven erkennbar und wurde statistisch auf Signifikanz untersucht.

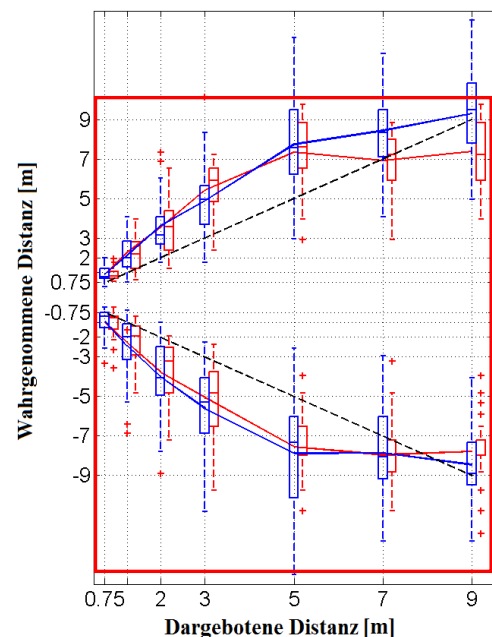


**Bild 2:** Verteilung der Distanzantworten für Schalle von vorne und hinten in doppel-logarithmischer Darstellung. Die Boxplots zeigen die 25%-Quantile aller Antworten von sechs Personen und 10 Sprach-Darbietungen pro Distanz an. Die Rechtecke bilden den Interquartilabstand (IQR) mit 50% der Daten ab. Die Länge der gestrichelten Whiskers ist auf  $1,5 \cdot \text{IQR}$  beschränkt, so dass für normalverteilte Daten  $\pm 2,7$  Standardabweichungen oder 99,3 der Daten innerhalb der Whiskerbegrenzungen liegen. Außerhalb der Whiskergrenzen liegende Antworten stellen Ausreißer dar und sind durch rote Kreuze markiert.

Mit Hilfe eines Quantil-Quantil Diagramms zum Vergleich der Verteilung der Quantile der standardisierten Daten zum theoretischen Wert einer Normalverteilung, zeigte sich anhand einer Gerade im Diagramm die Normalverteilung der logarithmierten Daten. Als standardisierte Daten wurde die Differenz der Distanzantworten zum jeweiligen Mittelwert gewählt. Eine statistische Varianzanalyse der logarithmierten Mittelwerte (multifaktorielle ANOVA) mit den Faktoren vorne/hinten (v/h), präsentierter Distanz und Proband ergab signifikante Unterschiede ( $p < 0.0001$ ) für die Faktoren v/h, Distanz und Proband, aber keine signifikante Unterschiede ( $p > 0.05$ ) für die Interaktion zwischen v/h und Distanz. Um die Bedingungen für die ANOVA zu erfüllen, wurden sieben der 108 Datenpunkte von der Analyse ausgeschlossen.

## Experiment 2: Untersuchung des Einflusses des Range-Effektes auf die Distanzantworten

Bild 3 zeigt die Distanzwahrnehmung von fünf Probanden, die nicht am ersten Experiment teilgenommen hatten. Die Darstellung wurde im Gegensatz zu Bild 2 für eine bessere Visualisierung der fernerer Distanzen linear gewählt. Im Vergleich zum unbegrenzten Fall ist im begrenzten Fall bei Schallen von vorne eine deutlich geringere Einschätzung der Distanzen ab fünf Metern präsentierter Distanz zu sehen (einknicken der roten Kurve). Da der verfügbare Antwortbereich nicht durch die Probanden ausgereizt wurde, führte die Beschränkung der Antworten zu anderen Ergebnissen. Zu bemerken ist auch, dass die Varianzen im begrenzten Fall für Distanzen ab fünf Metern kleiner sind als im unbegrenzten Fall (siehe Boxplots).



**Bild 3:** Verteilung der Distanzantworten für Schalle von vorne und hinten in linearer Darstellung. In rot ist der in den Antwortmöglichkeiten begrenzte, in blau der unbegrenzte Fall dargestellt. Die Boxplots zeigen wie in Bild 2 die 25% Quantile. Das rote Rechteck stellt die visuelle Begrenzung in der Antwortmaske dar.

## Literatur

- [1] Zahorik, P., Brungart, D. S., & Bronkhorst, A. W. (2005). Auditory distance perception in humans: A summary of past and present research. *Acta Acustica united with Acustica*, 91(3), 409-420.
- [2] Zahorik, P. (2002). Assessing auditory distance perception using virtual acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 111(4), 1832-1846
- [3] Loomis, J. M., Klatzky, R. L., Philbeck, J. W., & Golledge, R. G. (1998). Assessing auditory distance perception using perceptually directed action. *Perception & Psychophysics*, 60(6), 966-980
- [4] Seeber, B. U., Kerber, S., & Hafter, E. R. (2010). A system to simulate and reproduce audio-visual environments for spatial hearing research. *Hearing research*, 260(1), 1-10