

# Bestimmung von Mithörschwellen von bewegten und statischen Signalen mit Hilfe eines Lautsprecherarrays unter Freifeldbedingungen

Stefan Klockgether<sup>1</sup>, Bastian Epp, Jesko L. Verhey

AG Neuroakustik, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, D-26111 Oldenburg

<sup>1</sup>stefan.klockgether@uni-oldenburg.de

## Einleitung

Bewegungssensitive Wahrnehmung spielt im visuellen System eine große Rolle. Sie kann die Tarnung von potentiellen Gefahren oder Beute aufbrechen und erlaubt es zukünftige Aufenthaltsorte eines Objektes aus den vorherigen abzuschätzen. Welche Auswirkungen bewegungssensitive Wahrnehmung in akustischen Verhaltensexperimenten hat, ist hingegen noch unklar, auch wenn bewegungssensitive Neuronen im auditorischen System von Säugetieren und Vögeln physiologisch nachgewiesen wurden [3]. Solche Neuronengruppen wurden ab der Ebene des Colliculus inferior gefunden, wobei ihre Anzahl auf höheren Stufen der Hörbahn ansteigt.

Um die Auswirkungen von Bewegung auf die Wahrnehmbarkeit von Geräuschen und auditorische Objektbildung beim Menschen zu untersuchen, wurden psychoakustische Experimente im Freifeld durchgeführt. Eine halbkreisförmige Anordnung aus statischen Aktivlautsprechern ermöglicht es, in der horizontalen Ebene bewegte Signale durch Überblenden zu simulieren. Dabei garantiert eine hohe Dichte an Lautsprechern, dass Fehler durch das Überblenden minimiert werden [1]. Mithörschwellen für dynamische und statische Signale aus unterschiedlichen Richtungen wurden mit verschiedenen Rauschmaskierern gemessen, um die Auswirkung der Bewegung auf die Wahrnehmung zu untersuchen. Außerdem wurden Konditionen mit und ohne Bewegung einzelner Stimuluskomponenten miteinander verglichen, um den Einfluss von Bewegung auf objektbildende Mechanismen zu untersuchen.

## Versuchsaufbau

Zur Untersuchung der Bewegungswahrnehmung wurde ein statischer Aufbau gewählt, mit dem bewegte Schallquellen durch Überblenden simuliert werden können. Dazu wurde in einem reflexionsarmen Raum ein Halbkreis in der horizontalen Ebene mit einem Radius von drei Metern aufgebaut und mit 32 Aktivlautsprechern (Genelec 6010A) ausgestattet (Abbildung 1). Die Lautsprecher wurden im Abstand von  $5,625^\circ$  aufgestellt. Durch das Überlagern der Signale zweier Lautsprecher kann bei diesem geringen Lautsprecherabstand für alle Winkel zwischen zwei realen Lautsprechern nahezu fehlerfrei jede virtuelle Schallquelle simuliert werden [1]. Die virtuelle Lautsprecherdichte lässt sich beliebig frei wählen und es ist deshalb möglich die Bewegung in viel kleineren Schritten als dem kleinsten hörbaren Winkelunterschied zu simulieren. Durch das Ausgleichen der Transferfunktionen der einzelnen Lautsprecher ist es mit diesem Auf-



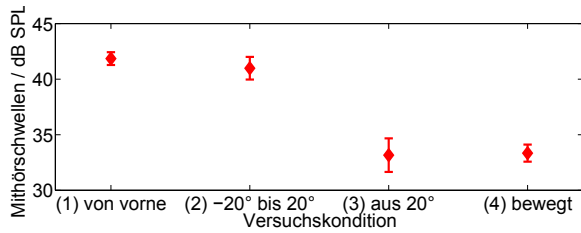
**Abbildung 1:** Lautsprecherring zur Simulation von bewegten Schallquellen. Zu sehen ist der sehr kleine Lautsprecherabstand, der nahezu fehlerfreies Panning erlaubt.

bau möglich, jede beliebige Bewegung in der vorderen Hälfte der horizontalen Ebene flüssig zu simulieren. Die Halbkreisform vermeidet Dopplereffekte im Zentrum des Halbkreises. Die Versuchspersonen werden in der Mitte des Halbkreises mit den Ohren in der Lautsprecherebene positioniert. Eine Kopfstütze minimiert Kopfbewegungen. Ein über der Mitte des Halbkreises angebrachter Monitor ermöglicht Rückmeldungen an die Versuchsperson.

## Experiment I: Statische und dynamische Wahrnehmung

Um zu untersuchen, ob Bewegung bei der Detektion eines Geräusches hilft, wurden in diesem psychoakustischen Experiment Mithörschwellen von bewegten und statischen Tönen gemessen. Dabei wurde ein adaptives 3-Alternative Forced Choice (AFC) mit 1-up 2-down Regel verwendet. Fünf normalhörende Versuchspersonen nahmen an dem Experiment teil. Ihre Aufgabe bestand darin, einen 500 ms langen Sinuston mit einer Frequenz von 500 Hz in einem gleich langen, weißen Rauschen zu detektieren. Das maskierende Rauschen wurde immer über alle Kanäle dargeboten. Die Mithörschwellen wurden für vier verschiedene Konditionen (drei statisch, eine dynamisch) des Sinustones gemessen. In Kondition 1 wurde der Sinus direkt von vorne ( $0^\circ$ ) dargeboten. Bei Kondition 2 kam das Zielsignal aus einer  $40^\circ$  breiten Quelle ( $-20^\circ$  bis  $20^\circ$ ), hatte aber den gleichen Gesamtpegel wie der Sinuston in Kondition 1. In Kondition 3 war das Signal um  $20^\circ$  im Azimuth verschoben und in Kondition 4 wurde es mit  $80^\circ/s$  von  $-20^\circ$  bis  $20^\circ$  bewegt dargeboten.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt. Zu sehen ist, dass die Quellenbreite (Konditionen 1 und 2) keinen nennenswerten Einfluss auf die Schwelle hat. Die Ver-



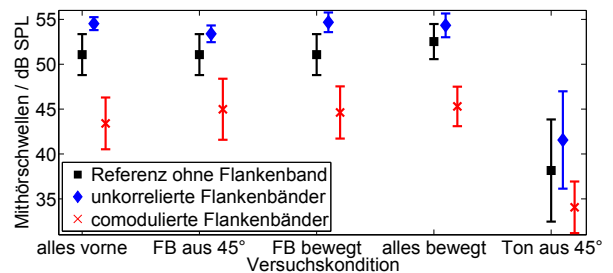
**Abbildung 2:** Mithörschwellen für statische und bewegte Sinustöne in weißem Rauschen. Zu sehen ist, dass eine Verschiebung im Azimuth, sowie auch Bewegung eine Schwellenverbesserung von 8 dB gegenüber statischen Tönen von vorne bewirkt.

schiebung im Azimuth (Kondition 3) hingegen bewirkt eine Schwellenverbesserung um 8 dB. Durch die Verschiebung im Azimuth kommt der Ton mit unterschiedlicher Phase an beiden Ohren an, was dem Gehör hilft, den Ton vom Rauschen zu trennen. Dieser binaurale Gewinn wird Binaural Masking Level Difference (BMLD) genannt. Für den bewegten Ton (Kondition 4) ergibt sich auch eine Verbesserung der Mithörschwelle um 8 dB. Diese könnte auch durch BMLD zu erklären sein, da der bewegte Ton am Anfang und am Ende der Bewegung für sehr kurze Zeit auch eine Verschiebung im Azimuth von  $\pm 20^\circ$  hat. Das bewegte Signal hat die gleiche Mithörschwelle wie das statische aus Kondition 3, was nahelegt, dass der größte Phasenunterschied zur Detektion des bewegten Signals benutzt wird.

## Experiment II: Objektbildung und Dynamik

Im zweiten Experiment wurde die Auswirkung von Bewegung auf Comodulation Masking Release (CMR) untersucht. Es wurde ein 500 ms langer 700 Hz Sinuston von einem 20 Hz breiten, bei 700 Hz zentrierten Schmalbandrauschen maskiert (SCB). Diese Situation stellt die Referenz dar (RF). Durch das Hinzufügen weiterer 20 Hz breiter Rauschbänder (Flankenbänder) bei 300, 400, 1000 und 1100 Hz wird die Maskierwirkung verändert. Haben die jeweiligen Flankenbänder (FB) unkorrelierte Einhüllende (UN), verstärkt sich die Maskierwirkung. Wird allen Rauschbändern die gleiche Modulation aufgeprägt (CM), werden die fünf Rauschbänder, wenn man dem Konzept der objektbildenden Mechanismen folgt, aufgrund ihrer Komodulation als ein Objekt wahrgenommen und sind leichter vom Signal zu trennen. Dadurch sinkt die Maskierwirkung deutlich ab (CMR). Das Experiment wurde mit der gleichen Methode und den gleichen Probanden durchgeführt, wie das vorherige. Es wurden für fünf verschiedene Konditionen jeweils die Mithörschwellen für RF, UN und CM gemessen. In Kondition 1 werden Ton, SCB und FB direkt von vorne dargeboten. In Kondition 2 werden Ton und SCB räumlich von den FB, die aus  $45^\circ$  von der Seite dargeboten werden, getrennt. Das untersucht, ob Objektbindung durch

Komodulation bei räumlicher Trennung der komodulierten Komponenten möglich ist. In Kondition 3 werden die FB zusätzlich mit  $120^\circ/s$  von  $45^\circ$  bis  $-15^\circ$  über die Position von Ton und SCB hinweg bewegt, so dass untersucht wird, ob durch Komodulation auch Objekte, die aus bewegten und statischen Komponenten bestehen, gebunden werden können. In Kondition 4 wird der gesamte Stimulus genau so bewegt, wie die FB in Kondition 3. Kondition 5 stellt eine klassische BMLD-Situation dar. Alle Rauschbänder kommen von vorne und der Ton ist um  $45^\circ$  im Azimuth verschoben. In Abbildung ist für alle fünf



**Abbildung 3:** Mithörschwellen für einen von Rauschbändern maskierten 700 Hz Ton. Zu sehen ist eine Schwellenverbesserung durch Komodulation der Rauschbänder.

Konditionen eine Schwellenverbesserung durch Komodulation ( $\times$ ) gegenüber der Referenz ( $\blacksquare$ ) zu erkennen, wo hingegen ein Hinzufügen unkorrelierter Flankenbänder ( $\blacklozenge$ ) die Schwellen verschlechtert. Die Verbesserung der Schwellen scheint unabhängig von der Kondition und damit auch von der räumlichen Trennung von SCB und FB zu sein. Auch die Bewegung der FB bei statischem SCB (Kondition 3) kann die Objektbindung durch Komodulation nicht aufbrechen. Für Kondition 5 ist zudem zu sehen, dass durch die Verschiebung des Zieltones im Azimuth eine starke Schwellenverbesserung durch BMLD erreicht wird, die mit CMR zu kombinieren scheint.

## Schlussfolgerung

- CMR und BMLD lassen sich mit dem Aufbau im Freifeld messen.
- Bewegungswahrnehmung scheint es zu ermöglichen, die beste BMLD zur Detektion zu nutzen.
- Objektbindung durch CMR ist auch durch Bewegung nicht aufzubrechen.

## Literatur

- [1] Seeber, B. U.; Hafter, E. Perceptual equalization in near-speaker panning. Fortschritte der Akustik (2007) 375-376
- [2] Verhey, J. L.; Pressnitzer, D.; Winter, I. M. The psychophysics and physiology of comodulation masking release. Experimental Brain Research, 2003, 153, 405-417
- [3] Wagner, H.; Kautz, D.; Poganiatz, I. Principles of acoustic motion detection in animals and man. Trends in Neuroscience, 1997, 20, 583-588