

Psychoakustische Experimente zum Einfluss des Ventriloquismuseffekts auf Richtungsunterschiedsschwellen (Minimum Audible Angles) in der Horizontalebene

Maximilian Schmidhuber^{1,2}, Florian Völk¹, Hugo Fastl¹

¹ AG Technische Akustik, MMK, TU München, 80333 München, Deutschland, E-Mail: florian.voelk@mytum.de

² seit 2010 Akustikbüro Schwartzberger und Burkhart, Pöcking, Deutschland

Einleitung

Die durch einen visuellen Reiz verursachte Veränderung der wahrgenommenen Position eines akustischen Stimulus bezeichnet man als Ventriloquismuseffekt. In diesem Beitrag werden Auswirkungen dieses Effekts auf Richtungsunterschiedsschwellen (Minimum Audible Angles, MAA) bei sequentieller Präsentation gleichmäßig anregenden Rauschens in reflexionsbehalteter Umgebung betrachtet. Zur Wiedergabe der akustischen Stimuli dienen Wellenfeldsynthese oder Intensitätsstereophonie, als visuelle Stimuli kommen rote Leuchtdioden zum Einsatz. Um weitere visuelle Einflüsse zu reduzieren, finden die Versuche in einem abgedunkelten Laborraum statt. Mit dem Ziel, Veränderungen der Richtungsunterschiedsschwellen zu adressieren, wird eine der Leuchtdioden an der intendierten Position eines der Schalle präsentiert, während die Positionen der anderen Diode und des anderen Schalles nicht übereinstimmen. Auf diese Weise kann durch den Ventriloquismuseffekt die Richtungsunterschiedsschwelle erhöht oder verringert werden, je nachdem, ob die Änderung der Position des visuellen Stimulus größer oder kleiner als die der intendierten Position des akustischen Stimulus ist. Es zeigt sich, dass zusätzliche visuelle Stimulation in Dunkelheit ermittelte Richtungsunterschiedsschwellen für beide Wiedergabemethoden in unterschiedlicher Weise verändern kann, wobei deutliche inter-individuelle Unterschiede auftreten.

Ablauf des Hörversuchs

Um den Einfluss des Ventriloquismuseffekts beurteilen zu können, wurde als Vergleichsgrundlage für verschiedene Darbietungsarten jeweils die Richtungsunterschiedsschwelle bei völliger Dunkelheit bestimmt. In Anlehnung an Perrott und Pacheco [1] wurden den Versuchspersonen nacheinander zwei breitbandige Rauschpuls (gleichmäßig anregendes Rauschen, GAR, vgl. [2], Pulsdauer 700 ms, 20 ms gaußförmige Flanken, 300 ms oder 1.3 s Pause) aus unterschiedlichen Richtungen dargeboten. Anschließend wurde die Richtungsänderung mittels eines 2-AFC Verfahrens (vgl. Hellbrück und Ellermeier [3]), beurteilt. Verwendet wurde eine adaptive 2-Down/1-Up-Regel, die zu Konvergenz etwa gegen den 71%-Punkt der psychometrischen Funktion führt, sowie der PEST-Algorithmus (vgl. [4]) zur Anpassung der Schrittweite. Alle Experimente wurden in einem reflexionsbehalteten Laborraum durchgeführt. Zur Untersuchung des Ventriloquismuseffekts wurden unter Beibehaltung der Versuchsstruktur zusätzlich zu den akustischen Reizen visuelle Stimuli (rote Leuchtdioden) dargeboten, wobei vier verschiedene geometrische Konfigurationen gemäß Abbildung 1 betrachtet wurden. Bei jeweils einer der beiden Stimuluskombinationen stimmen dabei der horizontale Winkel des Schallereignisses und des Lichtpunktes überein, bei den anderen unterscheiden sie sich um 5.2° .

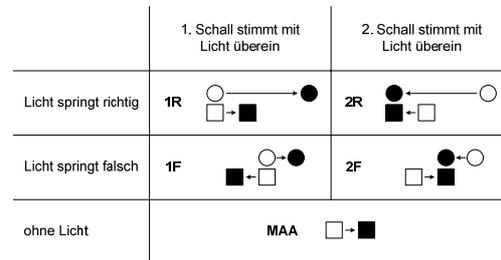


Abbildung 1: Konfigurationen für die räumliche Organisation von visuellem und akustischem Stimulus. Kreise symbolisieren ein Lichtsignal, Quadrate ein Schallereignis. Die zuerst auftretenden Stimuli werden durch weiße, die später auftretenden durch schwarze Symbole repräsentiert.

Für die betrachteten mitläufigen Konfigurationen (Licht springt in dieselbe Richtung wie der Schall) wird erwartet, dass sich die Richtungsunterschiedsschwellen bei Auftreten des Ventriloquismuseffekts verringern, bei gegenläufigen Konfigurationen (Licht springt in die entgegengesetzte Richtung) wird eine Erhöhung erwartet.

Darbietungsmethoden

Die Darbietung der akustischen Stimuli erfolgte mittels Intensitätsstereophonie (Intensity Panning, IP) zwischen zwei benachbarten Lautsprecherboxen und mittels Wellenfeldsynthese (WFS). Für IP wurden die Pegelunterschiede zwischen den Lautsprecherboxen anhand eines Lokalisierungsversuches entsprechend 0.47° -Schritten festgelegt. Für WFS wurde mittels eines Arrays aus 96 kreisförmig angeordneten Breitbandlautsprechern (Bose Freespace 3 Satellit, Abstand 8.5 cm bzw. 3.75° , Radius 129.9 cm) die Synthese ebener Wellenfronten angestrebt (Details in Völk et al. [5]).

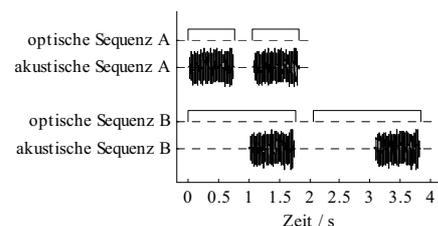


Abbildung 2: Audio-visuelle Sequenzen für die zeitliche Organisation von Licht und Schall.

An dem mit beiden akustischen Darbietungsmethoden bei zeitlicher Abfolge A (Pause 300 ms) gemäß Abbildung 2 durchgeführten Hörversuch nahmen 10 normalhörende Versuchspersonen teil (1w, 9m, 24 bis 29 Jahre). In einem weiteren Durchlauf wurde der Versuch mit WFS von vier normalhörenden Versuchspersonen (4m, 25 bis 29 Jahre) bei veränderter zeitlicher Abfolge (Sequenz B, 1 s früheres Einsetzen des Lichtes, 300 ms Pause zwischen den visuellen Stimuli) wiederholt. Bei jedem Durchlauf wurde von jeder Versuchsperson für jeden Modus gemäß Abbildung 1 dreimal auf die Richtungsunterschiedsschwelle eingeregelt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Hauptaussage der oben genannten Hypothesen (Verringerung der Unterschiedsschwelle für Sprung des Lichts in Schallrichtung und Erhöhung der Schwelle bei entgegengesetztem Sprung) wird durch die in Abbildung 3 bis 5 gefüllte dargestellten Mediane der intra-individuellen Mediane für die untersuchten Darbietungsarten bestätigt. Die zugehörigen Interquartilbereiche lassen deutliche inter-individuelle Unterschiede erkennen.

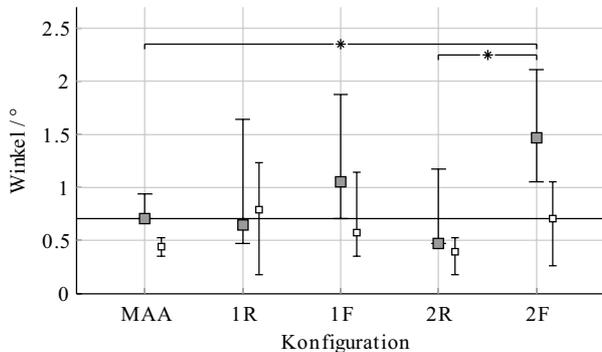


Abbildung 3: Ergebnisse der Hörversuche mit Intensitätsstereophonie (Sequenz A gemäß Abbildung 2). Dargestellt sind für die verschiedenen räumlichen Konfigurationen gemäß Abbildung 1 die Mediane und Interquartilbereiche der intra-individuellen Mediane (gefüllt) sowie der intra-individuellen Interquartilbereiche (offen). Signifikante Unterschiede sind durch Sterne gekennzeichnet.

Für IP (vgl. Abbildung 3) überschneiden sich die Interquartilbereiche der Konfigurationen 1R und 2R jeweils mit MAA, entgegen der Hypothese. Der Bauchrednereffekt tritt hier also nicht bei allen Versuchspersonen auf. Die Mediane und Interquartilbereiche der intra-individuellen Interquartilbereiche (offene Symbole) deuten mit Ausnahme der Konfiguration 2R auf eine im Vergleich zum MAA verringerte Reproduzierbarkeit hin. Signifikante Unterschiede (zweifaktorielle ANOVA) liegen zwischen MAA und 2F sowie zwischen 2R und 2F vor. Die Mediane bei visueller Stimulation weichen vom MAA um bis zu $0,7^\circ$ ab. Eine Einzelanalyse zeigt, dass bei sieben Versuchspersonen Bauchrednereffekte auftreten, die Ergebnisse von drei Personen zeigen für die Konfigurationen 1R und 1F gegensätzliche Tendenzen.

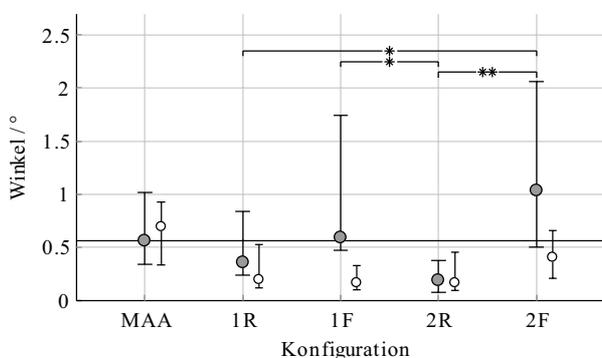


Abbildung 4: Ergebnisse der Hörversuche mit Wellenfeldsynthese (Sequenz A gemäß Abbildung 2).

Für WFS bei zeitlicher Abfolge A (siehe Abbildung 4) bestätigen Mediane und Streubereiche im Wesentlichen die Hypothesen, allerdings ist die Ausprägtheit des Bauchrednereffekts bei den gegenläufigen Konfigurationen (1F und

2F) geringer als bei IP. Gleichzeitig ist im Falle der audiovisuellen Konfigurationen eine erhöhte Reproduzierbarkeit anhand der Mediane und Interquartilbereiche der intra-individuellen Interquartilbereiche im Vergleich zum MAA und zu IP festzustellen. Überschneidungen der Streubereiche von 1R, 1F und 2F mit dem MAA deuten auf individuell unterschiedlich starke Ausprägung des Bauchrednereffekts hin. Signifikante Unterschiede treten zwischen 1R und 2F sowie zwischen 1F und 2R auf, die Konfigurationen 2R und 2F unterscheiden sich hochsignifikant.

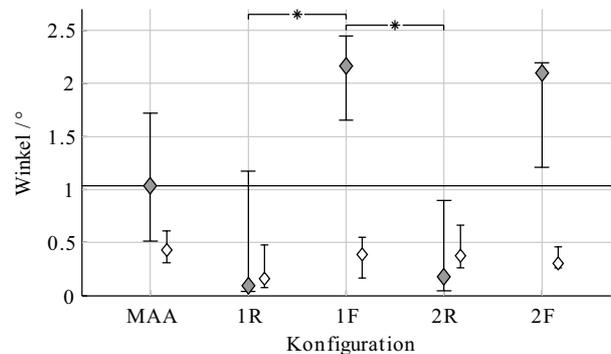


Abbildung 5: Ergebnisse der Hörversuche mit Wellenfeldsynthese (Sequenz B gemäß Abbildung 2).

Eine stärkere Ausprägung des Bauchrednereffekts und damit eine deutliche Bestätigung der Hypothesen zeigen die Ergebnisse bei Darbietung mit WFS bei zeitlicher Abfolge B (Abbildung 5), bei gleichzeitig hoher intra-individueller Reproduzierbarkeit. Die Konfigurationen 1R und 1F sowie 1F und 2R unterscheiden sich hier signifikant.

Bei 6 von 10 Versuchspersonen konnte bei WFS mit zeitlicher Abfolge A kein Bauchrednereffekt festgestellt werden. Diese Tatsache deutet darauf hin, dass mit der physikalisch motivierten WFS erzeugte Hörereignisse stabiler hinsichtlich ihrer Position sind. Durch die psychoakustisch motivierte Intensitätsstereophonie erzeugte Hörereignisse sind hingegen anfälliger für den Ventriloquismuseffekt. Bei der Mehrzahl der Versuchspersonen bewirkte das Hinzufügen visueller Information hier eine Änderung der Unterschiedsschwellen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Projekts FA 140/4 gefördert.

Literatur

- [1] Perrott D. R., S. Pacheco: Minimum audible angle thresholds for broadband noise as a function of the delay between the onset of the lead and lag signal. *J. Acoust. Soc. Am.* **85**, 2669–2672 (1989)
- [2] Fastl H., E. Zwicker: *Psychoacoustics. Facts and Models*. 3. Auflage, (Springer, Berlin, Heidelberg, 2007)
- [3] Hellbrück J., W. Ellermeier: *Hören*. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage (Hogrefe, 2004)
- [4] Gelfand, S. A.: *Hearing*. 2nd Edition (M. Dekker, 1990)
- [5] Völk, F., M. Schmidhuber, H. Fastl: Influence of the ventriloquism effect on minimum audible angles assessed with wave field synthesis and intensity panning. *Proceedings of the 20th International Congress of Acoustics, ICA 2010* (2010)