

Raumwahrnehmung in fMRT

Optimierung binauraler Stimulation für die funktionelle Bildgebung

Jan-Gerrit Richter¹, Liliana Ramona Demenescu², Klaus Mathiak^{2,3}, Ute Habel^{2,3}, Janina Fels^{1,3}

¹ *Institut für Technische Akustik, Juniorprofessur für Medizinische Akustik, RWTH Aachen, 52074 Aachen*

² *Universitätsklinikum Aachen, 52074 Aachen*

³ *Forschungszentrum Jülich, 52428 Jülich*

Einleitung

In den letzten Jahren hat die binaurale Wiedergabe von simulierten räumlichen Szenen im Hinblick auf Individualisierung große Fortschritte gemacht. Diese Individualisierung wird sowohl durch personenspezifische Messung der Head-Related-Transfer-Function (HRTF) als auch einer angepassten Kopfhörerentzerrung erreicht.

Im Zusammenhang mit der funktionalen Bildgebung ergeben sich so neue Möglichkeiten zur Untersuchung des räumlichen Wahrnehmens. Untersuchungen im fMRT sind sowohl durch das eingesetzte Kopfhörersystem, als auch durch Störgeräusche des Scanners begrenzt.

In dieser Arbeit wird mit Hilfe eines Hörversuchs exemplarisch untersucht, ob sich trotz dieser Einschränkungen eine Untersuchung der Verarbeitung räumlich dargebotener Stimuli durchführen lässt. Hierbei wird der Fokus auf Vorne-Hinten Verwechslungen und Elevationshören gelegt.

Raumsimulation

Bei Lokalisationsexperimenten, die ohne visuelle Orientierungshilfen arbeiten, kommt es zu sogenannten Vorne-Hinten Fehlern. Hierbei werden hauptsächlich Stimuli, welche vor dem Kopf auralisiert werden, hinter dem Kopf wahrgenommen. Durch eine zusätzliche Raumsimulation kann eine natürlichere Hörsituation erzeugt werden. Dies soll dem Probanden bei der Lokalisation unterstützen und Vorne-Hinten Verwechslungen reduzieren [1].

Aus diesem Grund wird für die Darbietung der Stimuli eine Raumsimulation mithilfe des Programms „Raven“ [2] genutzt. Der simulierte Raum hat Maße von $6\text{ m} \times 3\text{ m} \times 2,4\text{ m}$. Der virtuelle Empfänger befindet sich bei $2,5\text{ m} \times 1,5\text{ m} \times 1,6\text{ m}$. Der Aufbau ist in Abbildung 1 skizziert. Als Sender wurden insgesamt 8 virtuelle Quellen gesetzt. Vier dieser Quellen befinden sich, wie in Abbildung 1 gezeigt, in der Horizontalebene, also auf gleicher Elevation wie die Ohren des Empfängers. Die vier Quellen haben die Winkel 45° , 135° , 225° und 315° zur Blickrichtung des Empfängers. Die anderen vier Positionen befinden sich in gleicher Azimut-Richtung, jedoch in 30° Elevation.

Individualisierung und Stimulus

Grundlegend für die Auralisation von virtuellen Quellen ist die sogenannte Head-Related Transfer Function (HRTF). Diese beschreibt den Einfluss des Kopfes auf das

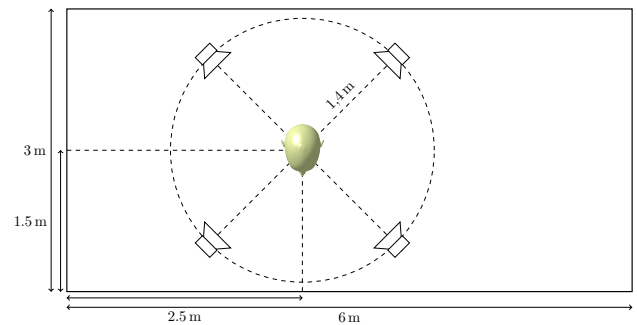


Abbildung 1: Top-view of the simulated room

Schallfeld und wird zur Lokalisation von Schallquellen benötigt. Da die HRTF stark von der Geometrie des Kopfes und der Schulter der Person abhängt, ist sie individuell stark unterschiedlich. Für Raumsimulation wird die HRTF aus möglichst vielen Richtungen benötigt, um Reflektionen von den Wänden genau abbilden zu können. Hierbei wird aus praktischen Gründen auf eine HRTF von sogenannten Kunstköpfen zurückgegriffen. Um die Lokalisationsleistung weiter zu verbessern, wird in diesem Versuch die Kunstkopf HRTF durch eine individuelle HRTF Messung erweitert. Da eine hochaufgelöste individuelle Messung nicht in praktikablen Zeiten realisierbar ist, wird sich auf die Richtung des Direktschalls der virtuellen Quellen beschränkt.

Als Stimulus wird auf Sprachstimuli zurückgegriffen. Diese bestehen aus zwölf zweisilbigen Pseudowörtern, die sich an den Phonationsregeln der deutschen Sprache orientieren [3]. Vorgetragen werden diese Stimuli von vier Sprechern. Die Stimuli haben unterschiedliche Länge zwischen 500 ms und 900 ms. Alle Stimuli wurden vor der Weiterverarbeitung nach DIN 45631/A1 auf gleiche wahrgenommene Lautheit normiert. Abgespielt werden die Stimuli über ein proprietären Kopfhörer der Firma Nordic Neuro Labs. Dieser Elektrostat-Kopfhörer ist speziell für die Wiedergabe im MRT entwickelt. Um eine frequenzunabhängige Wiedergabe zu erreichen, wird die Wiedergabe ebenfalls individuell entzerrt.

Test Paradigma

Der eigentliche Hörversuch wurde nach dem sogenannten Oddball-Paradigma durchgeführt. Hierbei wurden drei sogenannte Deviants definiert, welche sich von einem Standardreiz nur durch die Position der virtuellen Quelle

unterscheidet. Hier wurden die 3 „benachbarten“ Positionen, also Positionen auf denen sich der Azimutwinkel nicht mehr als 90° ändert, gewählt.

Der Test bestand insgesamt aus vier Blöcken. Jeder Block beinhaltet 410 Stimuli und dauerte ungefähr 8 Minuten. Die 19 Versuchspersonen wurden bei der Versuchsdurchführung angewiesen die dargebotenen Stimuli zu ignorieren und ein Video zu schauen.

Ergebnisse

Während des Versuchs wurde mit einer Frequenz von 0,5 Hz die hämodynamische Antwort mit einer Auflösung von 3 mm im Gehirn erfasst. Hierfür wurden jeweils 34 Schichten aufgenommen. Die Unterschiede dieser Antwort zwischen dem jeweiligen Standardreiz und einem Deviant lässt sich so in einem linearen Modell für jeden Teilnehmer auswerten. Hierzu wurde eine Gruppenanalyse aller Deviants in einer Region of Interest (ROI), der Planum temporale, durchgeführt. Als Grenzwert wurde $p < ,05$ für den family-wise error (FWE) genommen. Die Analyse konnte für alle drei Deviants signifikante

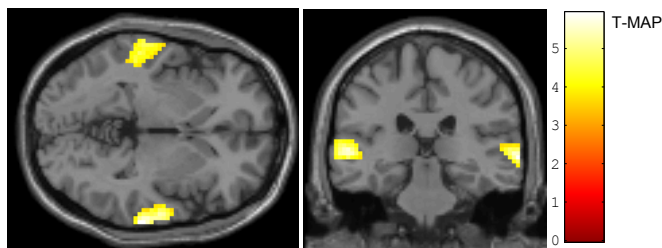


Abbildung 2: Gruppenanalyse der Links/Rechts Wechsel

Antworten bestätigen. Abbildung 2 zeigt T-Werte für einen Links-Rechts Wechsel. In Abbildung 3 und 4 zeigen die aktiven Bereiche für einen Vorne-Hinten bzw einen Elevations-Wechsel. Hierbei sind die beobachteten Effekte deutlich kleiner, allerdings noch signifikant. Bei Elevations-

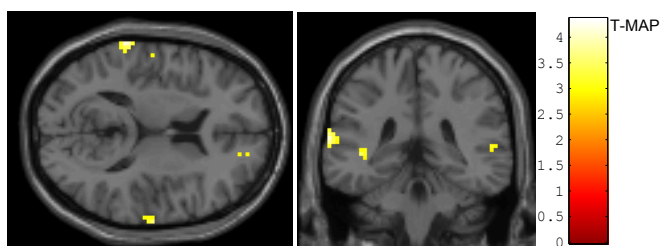


Abbildung 3: Gruppenanalyse der Vorne/Hinten Wechsel

Wechseln ist zusätzlich zur Aktivierung im rechten und linken auditorischen Kortex eine Aktivierung im Bereich des visuellen Kortex zu erkennen. Diese Aktivierung lässt auf einen Wechsel in der Aufmerksamkeit des Probanden als Folge der Quellverschiebung schließen.

Zusammenfassung

In diesem Paper wurde ein Hörversuch zur räumlichen Wahrnehmung im Zusammenhang mit funktioneller Bildgebung vorgestellt. Hierbei wurde die Verarbeitung von

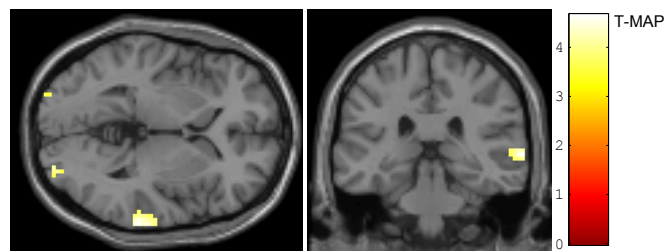


Abbildung 4: Gruppenanalyse der Elevationswechsel

räumlichen Sprachstimuli untersucht. Zur Unterstützung der Lokalisationsleistung wurde sowohl eine Raumsimulation erstellt, als auch individuell angepasste HRTFs und Kopfhörerentzerrungen verwendet.

Die statistische Auswertung des Tests zeigt eine klare Aktivierung der auditiven Kortex gerade bei Wechseln zwischen der rechten und linken Seite. Wechsel des Stimulus von Vorne nach Hinten hat einen deutlich schwächeren, aber immernoch signifikanten Effekt.

Unterschiede zwischen Elevationen zeigen hauptsächlich eine Aktivierung des rechten auditorischen Kortex. Nicht signifikant lässt sich aber auch eine symmetrische Aktivierung des visuellen Kortex erkennen welche als supramodale Aufmerksamkeitsverschiebung gedeutet werden kann.

Ausblick

Um die Ergebnisse besser vergleichen zu können, kann ein klassischer Lokalisationsversuch durchgeführt werden. Dieser kann die relativ geringen Detektionsraten bei Elevationänderungen und Vorne-Hinten Wechseln bestätigen und so den Einfluss des Störgeräusches des Scanners quantifizieren. In einem weiteren Schritt kann diese Untersuchung mit einem modifizierten Kopfhörer wiederholt werden. Um die lauten Störgeräusche des Scanners zu dämpfen, wurde hier ein geschlossenes System verwendet. Eine Modifizierung auf ein offenes System könnte die Lokalisationsleistung weiter steigern. Hierbei kann es einen gegenläufigen Zusammenhang zwischen Lokalisationsleistung und möglicher Scannerauflösung geben.

Literatur

- [1] M. Rychtáriková, T. V. D. Bogaert, G. Vermeir, and J. Wouters, “Perceptual validation of virtual room acoustics: Sound localisation and speech understanding,” *Applied Acoustics*, vol. 72, no. 4, pp. 196–204, Mar. 2011.
- [2] D. Schröder, F. Wefers, and S. Pelzer, “Virtual Reality System at RWTH Aachen University,” *Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics*, 2010.
- [3] H. Thönnessen, F. Boers, J. Dammers, Y.-H. Chen, C. Norra, and K. Mathiak, “Early sensory encoding of affective prosody: neuromagnetic tomography of emotional category changes.” *NeuroImage*, vol. 50, no. 1, pp. 250–9, Mar. 2010.