

Einfluss der Mikrofonposition auf die akustische Lokalisationsfähigkeit von Cochlea-Implantat-Nutzern

Tobias Weißgerber, Mariana Bandeira, Tobias Rader, Uwe Baumann

Audiologische Akustik / HNO Universitätsklinikum, 60590 Frankfurt am Main, E-Mail: tobias.weissgerber@kgu.de

Einleitung

Die Unterscheidung der Schalleinfallrichtung von vorne und hinten ist bei Gleichheit von interauralen Pegel- und Laufzeitdifferenzen (bei 0° und 180° Azimuth) nur durch Auswertung der richtungsabhängigen spektralen Veränderung durch die Pinna möglich [1]. Da die Mikrofone der Sprachprozessoren von Cochlea-Implantaten (CI) in der Regel über dem Ohr positioniert sind, werden diese spektralen Veränderungen nicht abgebildet. Ziel dieser Studie ist der Vergleich der Lokalisationsleistung bei (1) klinischer Versorgung und (2) einer Laborversorgung mit Mikrofonen am Eingang des Gehörgangs.

Material und Methoden

10 CI-Patienten im Alter zwischen 16 und 76 Jahren (Mittelwert: 47 ± 21 Jahre) nahmen an der Studie teil. Alle Probanden waren bilateral mit Implantaten von MED-EL und OPUS2-Sprachprozessor versorgt und hatten mindestens ein halbes Jahr bilaterale Hörfahrung. Vor dem Lokalisationsexperiment wurde die Lautstärke der Sprachprozessoren auf subjektiv gleiche Lautheit ausbalanciert.

Zur präzisen Bestimmung der Lokalisationsleistung wurde ein Wiedergabesystem mit 128 diskret ansteuerbaren 3“-Breitbandlautsprechern entwickelt und in Rechteckanordnung raumschließend an den Wänden des reflexionsarmen Raumes mit den Maßen $4.10\text{m} \times 2.60\text{m} \times 2.10\text{m}$ installiert (Abbildung 1). Ein Server-PC mit 192 digitalen Audioausgängen (3xRME HDSPe MADI) wurde zur Stimuluswiedergabe verwendet. Digital/Analog-Wandlung erfolgte durch acht 16-Kanal A16 Ultra (Sonic Core) Wandler. Die Lautsprecher wurden individuell mit digitalen linearphasigen Filtern mit endlicher Impulsantwort (finite impulse response, FIR-Filter) auf ein möglichst frequenzunabhängiges Übertragungsmaß ($\pm 2,5$ dB) für den Frequenzbereich von 150 Hz bis 10 kHz entzerrt. Durch den Lautsprecherabstand von 8,6 cm kann eine Winkelauflösung von weniger als 5° erreicht werden. Zur Angabe der Schalleinfallrichtung dienen über den Lautsprechern montierte LED-Ketten mit insgesamt 704 Einzel-LEDs.

Der Teststimulus war gepulstes weißes Rauschen (hochpassgefiltert bei 150 Hz) mit einer Anstiegszeit von 3 ms in 5 Pulsen à 30 ms gefolgt von einer Pause von 70 ms (vgl. [2]). Vor Beginn der Schalldarbietung leuchtete bei 0° eine LED auf, die von der Versuchsperson zu fokussieren war. Dann war es die Aufgabe des Probanden, mit Hilfe eines Drehgebers die LED anzuwählen, die dem wahrgenommenen horizontalen Einfallswinkel des Hörereignisses entsprach. Zusätzlich wurde mit einem Kippschalter angegeben, ob der Schall von vorne oder von hinten wahrgenommen wurde. Die Anzeige des

wahrgenommenen Winkels im Falle eines Hörereignisses von hinten war nach vorne gespiegelt anzugeben. Insgesamt wurden 14 Lautsprecher (je 7 zwischen $\pm 60^\circ$ vorne und hinten) getestet. Als Training wurde der Versuch für jeden Testlautsprecher einmal durchgeführt. Danach wurde in randomisierter Reihenfolge jeder der 14 Testlautsprecher 5 Mal geprüft, woraus sich eine Gesamtlänge von 70 Trials bei einer Versuchsdauer von etwa 15 Minuten ergab. Der Test wurde in vollständiger Dunkelheit durchgeführt. Ein Beispielergebnis eines normalhörenden Probanden ist in Abbildung 2 gegeben. Es zeigt sich eine genaue akustische Lokalisation sowie eine korrekte Unterscheidung von vorderem und hinterem Halbraum.



Abbildung 1: Rechteckanordnung der Lautsprecher im reflexionsarmen Raum. Bei der Versuchsdurchführung waren die Lautsprecher mit akustisch transparentem Vorhang verdeckt und die Versuchsdurchführung erfolgte in Dunkelheit.

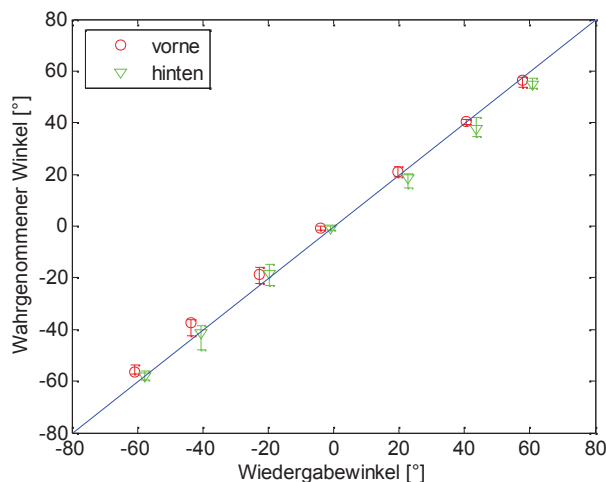


Abbildung 2: Lokalisationsgenauigkeit bei einem normalhörenden Probanden bei Schalleinfallrichtung vorne (rot) und hinten (grün). Die Vorne-/Hinten-Verwechslung beträgt im Mittel nur wenige Prozent.

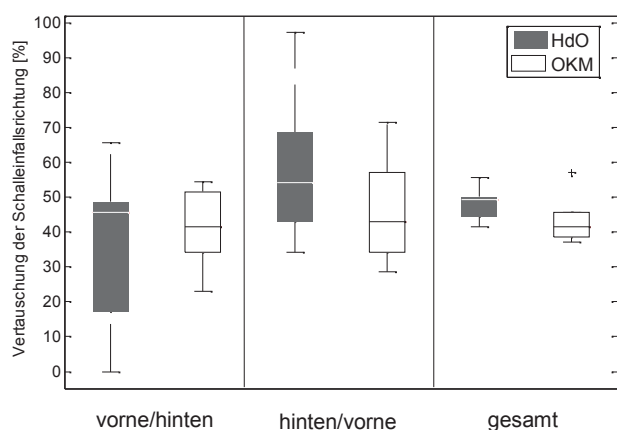


Abbildung 3: Vertauschung der Schalleinfallrichtung vorne/hinten (links), hinten/vorne (Mitte) und Gesamtvertauschung (rechts) in Abhängigkeit der Mikrofonposition hinter dem Ohr (HdO) oder in der Ohrmuschel (OKM).

Um den Einfluss der Mikrofonposition zu bestimmen, wurde die Lokalisationsleistung je einmal mit den Mikrofonen des Opus2-Sprachprozessors und mit direkter Signaleinkopplung von Soundman OKM-Mikrofonen, die in der Ohrmuschel der Probanden positioniert waren, bestimmt.

Ergebnisse

Die prozentuale Vorne-/Hintenvertauschung mit HdO- bzw. OKM-Mikrofon ist in Abbildung 3 angegeben. Es wurde jeweils die Vertauschung vorne/hinten, hinten/vorne und die Gesamtvertauschung bestimmt. Die mittlere Verwechslung liegt je nach Kondition zwischen 41,5 % und 54,3 %. Bei Schalldarbietung von hinten ist die Verwechslung mit OKM-Mikrofon signifikant geringer als mit HdO-Mikrofon ($T=3,06$, $p=,014$).

Der mittlere Winkelfehler, bestimmt über (links) die 7 frontalen, (Mitte) die 7 hinteren und (rechts) alle 14 Wiedergabewinkel in Abhängigkeit der Mikrofonposition ist in Abbildung 4 dargestellt. Bei Schalldarbietung von hinten beträgt der mittlere Fehler mit OKM-Mikrofon $7,1^\circ$ und ist um $2,3^\circ$ signifikant geringer als mit HdO-Mikrofon ($T=2,53$, $p=,032$). Im Gesamten ist ein Trend zu geringeren Fehlern in der OKM-Kondition zu erkennen.

Diskussion

Die korrekte Detektion der Schalleinfallrichtung „Vorne“ oder „Hinten“ liegt in allen Konditionen nahe der Ratewahrscheinlichkeit. Die Mikrofonposition innerhalb der Ohrmuschel konnte die Trefferquote zwar leicht erhöhen, die Ergebnisse bleiben jedoch weit hinter denen von Normalhörenden zurück. Da in diesem Experiment keine Kopfdrehungen zugelassen waren, musste die Lokalisation ausschließlich basierend auf Pinna-Cues erfolgen. Im Alltag werden durch leichte Kopfdrehungen auch binaurale Cues ausgewertet, sodass hierbei eine geringere Fehlerquote zu erwarten ist.

Auch in der Lokalisationsgenauigkeit (mittlerer Fehler) zeigt sich eine Verbesserung durch die Nutzung von Mikrofonen in der Ohrmuschel.

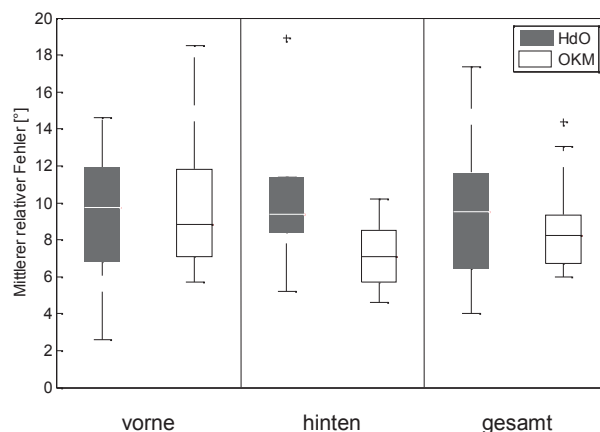


Abbildung 4: Mittlerer Winkelfehler bei Schallen von vorne (links), hinten (Mitte) und Gesamtfehler (rechts) in Abhängigkeit der Mikrofonposition hinter dem Ohr (HdO) oder in der Ohrmuschel (OKM).

Im Vergleich zu Normalhörenden (mittlerer relativer Fehler: $2,4^\circ$) ist der Lokalisationsfehler bei bilateraler CI-Versorgung deutlich erhöht, jedoch in einem Bereich, in dem zuverlässig zumindest eine korrekte Lateralisation möglich ist.

Zusammenfassung

Bei bilateraler CI-Versorgung kann die Positionierung der Mikrofone innerhalb der Ohrmuschel die Lokalisationsleistung gegenüber HdO-Mikrofonen verbessern. Insbesondere bei Schalldarbietung von hinten wurde sowohl die Schalleinfallrichtung als auch die genaue Position im hinteren Halbraum genauer erkannt.

Zur besseren Ausnutzung von Pinna-Effekten ist vermutlich eine längere Akklimation an die veränderte Signalübertragung mit Gehörgangsmikrofonen erforderlich. Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden in einem akuten Hörversuch ohne vorangehendes Training ermittelt. Weitergehende Studien sollen den Einfluss von Lerneffekten und Kopfbewegungen auf die Lokalisationsgenauigkeit bei bilateraler CI-Versorgung unter Verwendung von Gehörgangsmikrofonen untersuchen.

Literatur

- [1] Blauert J. (1997): Spatial Hearing. MIT Press, Cambridge.
- [2] Seeber B.U. (2003): Untersuchung der auditiven Lokalisation mit einer Lichtzeigermethode. Dissertation, TU München.