

Vorschläge zur Test-Retest-Statistik der Lokalisation im vorderen horizontalen Halbkreis

Andre Morsnowski¹, Katharina Schmidt², Josef Seebacher³, Karsten Plotz², Patrick Zorowka³ und Steffen Maune¹

¹Klinik für Hals-, Nasen-, Ohren-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie und Cochlear Implant Centrum der Kliniken der Stadt Köln gGmbH, Köln, Universität Witten/ Herdecke, Deutschland

²Institut für Hörtechnik und Audiologie, Jade Hochschule, Oldenburg, Deutschland

³Univ.-Klinik für Hör-, Stimm- und Sprachstörungen, Medizinische Universität Innsbruck, Innsbruck, Austria

Schlüsselwörter: Richtungshören, Test-Retest-Statistik, Modellierung, vorderer Halbkreis

Zusammenfassung

Die vorliegende trizentrische Studie soll zur Etablierung geeigneter Maße und Methoden von Schalllokalisations-tests für die klinische Routine beitragen. Es wird exemplarisch ein Schalllokalisationsexperiment im vorderen horizontalen Halbkreis bezüglich seiner Test-Retest-Statistik für den mittleren quadratischen Fehler (rmse) an Daten untersucht, welche mit dem ERKI-Verfahren [2] bei 24 normalhörenden Testpersonen gewonnen wurden. Es zeigte sich, dass zu den Rändern des halbkreisförmigen Lautsprecherfeldes die Hörereignisse systematisch leicht gegenüber der Schallereignisrichtung nach vorn verortet werden. Der rmse erscheint gegenüber Fehlern aufgrund seiner quadratischen Natur zu empfindlich. Die Gauß'sche Modellierung der Test-Retest-Statistiken scheint die gemessenen Daten in ihrer Streuung weniger genau nachzubilden als die Modellierung mit surrogaten Daten.

Hinweis: Die drei Erstautoren teilen sich die Urheberschaft für diesen Beitrag gleichermaßen.

1. Einleitung

Eine zentrale Rolle beim binauralen Hören kommt der Schalllokalisationsfähigkeit zu. Deren Prüfung wird in der aktuellen Leitlinie für die Cochlea Implantat Versorgung gefordert; ohne einheitliche Standards für Schalllokalisations-tests festzulegen. Es haben sich in der klinischen Routine unterschiedliche Maße, Testaufbauten, Prüfsignale und Testparadigmen etabliert.

Für die Schalllokalisierung im vollständigen horizontalen Kreis bei einer Anordnung mit zwölf Lautsprechern wurde die Test-Retest-Statistik bereits modelliert [1]. Zum einen im Sinne einer generalisierten Statistik, basierend auf der Grundannahme einer gaußverteilten Schätzung der wahrgenommenen Hörrichtung der Testpersonen um die vorgegebene Signalrichtung herum. Zum anderen im Sinne einer Individualstatistik für jede einzelne Testgesamtrealisation basierend auf surrogaten Daten. Letzteres nutzt die realisierten Antworten der Testpersonen per vorgegebener Signalrichtung als Grundgesamtheit, um durch Ziehen aus dieser Grundgesamtheit neue künstliche Antworten zu simulieren. Durch Anwendung der genutzten Lokalisationsmaße auf diese Antworten werden Verteilungen in Relation zur echten Antwort der Testpersonen simuliert.

1.1. Methoden

Die statistischen Methoden für den Vollkreis sollen nun in einer trizentrischen Studie, auf die in der klinischen Routine häufiger angewandten Schalllokalisations-tests im vorderen horizontalen Halbkreis übertragen werden. Die gewonnenen Test-Retest Statistiken werden anschließend mit Daten des ERKI-Verfahrens [2] überprüft. Wir haben exemplarisch den **rmse**, den mittlere quadratische Fehler in Winkelgrad zwischen der wahrgenommenen Hörrichtung und vorgegebenen Signalrichtung als **Lokalisationsmaß** ausgewählt.

1.2. Modellierung

Für den Übergang vom horizontalen Vollkreis zum Halbkreis und den speziellen Eigenschaften des Schalllokalisationstests ERKI mit virtuellen Schallquellen stellen sich mehrere Herausforderungen:

a) Manche im Vollkreis genutzte Maße sind im Halbkreis nicht anwendbar. Da keine rückwärtigen Stimuli und Antworten zugelassen sind, können sich keine „Inversionen“ ergeben, d.h. keine Antworten auf vorgegebene Signalrichtungen spiegelsymmetrisch zur Coronelebene.

b) Im Gegensatz zum Vollkreis endet das Lautsprecherfeld an einem bestimmten Winkel zur linken und rechten Seite. Dies führt bei den geschätzten Richtungen der Testpersonen zu einem Randeffect, d.h. die modellierten Verteilungen für die Richtungsschätzungen müssen geeignet modifiziert werden. Beim Auswerten der Hörrichtungen wird oftmals ein „binning“ durchgeführt, etwa eine lautsprecherweise Auswertung. Die Randlautsprecher haben dann bei gleichmäßiger Lautsprecheraufteilung nur die halbe zu erwartende Antworthäufigkeit wie die innenliegenden Lautsprecher.

Weiter können die Testpersonen keine rückwärtigen Antworten geben, daher müssen in der Modellierung simulierte rückwärtige Antworten entweder am Rand des Lautsprecherfeldes abgelegt werden (H1, dies führt zu einer Überhöhung der Antworthäufigkeit der Randlautsprecher), oder die rückwärtigen Antworten werden in den vorderen Lautsprecherkreis zurückgespiegelt (H2) oder neu simuliert (H3, jeweils ohne eine solche Überhöhung). Die drei Hypothesen H1-3 werden in Abb. 2 für den rmse gemeinsam dargestellt. Zudem gibt es Hinweise, dass seitliche Schallereignisse ($90^\circ/270^\circ$) systematisch im Hörereignis leicht nach vorn verortet werden ($80,7^\circ/281,6^\circ$) und seitlich eine höhere Lokalisationsunschärfe vorliegt (Preibisch-Effenberger und Haustein/Schirmer nach [3]).

c) Ferner existieren mittlerweile Testaufbauten mit beliebig vielen Signalquellen. Statt ursprünglich eine lautsprecherweise Auswertung, also eine diskrete Auswertung durchzuführen, ist die Modellierung auf kontinuierliche Antwortmöglichkeiten zu erweitern. Bei diesen Schalllokalisationstests werden oft die Anzahl der Wiederholungen pro Signalrichtung zugunsten der Anzahl der Signalquellen verringert. Hieraus ergibt sich ein statistisches Problem zu niedriger Fallzahlen, d.h. von Wiederholungen pro Signalrichtung; insbesondere für die surrogaten Daten stehen damit weniger Datenpunkte für die Ausgangsverteilung zur Verfügung. Durch Kontinuitätsannahmen zwischen den Antwortverteilungen benachbarter Signalrichtungen soll diese Herausforderung zumindest minimiert werden. Die Antwortverteilungen benachbarter Signalrichtungen werden hierzu um die Verschiebung der ausgewerteten Signalrichtungen selbst verschoben. Wir präsentieren hier surrogate Daten, welche 10000-fach simuliert und symmetrisch um die vorgegebene Signalrichtung 5 Winkel zusammengefasst sind.

1.3. Lokalisationstest, ERKI und Testpersonen

Die gewonnenen Test-Retest Statistiken werden mit Daten des ERKI-Verfahrens [2] überprüft. In einer Richtungshöranlage mit einer Anordnung von 37 Schallquellen (5 reale und 32 virtuelle) in einem horizontalen vorderen Halbkreis ($\pm 90^\circ$ in 5° Schritten) werden 24 junge normalhörende Testpersonen (12 männlich; 12 weiblich) bei 3 Wiederholungen getestet. Als Stimuli wurden rosa Rauschen und das ISTS (international speech test signal) mit einer Länge von 300 ms und einem Pegel von 65dB SPL verwendet, mithin liegen also 48 erhobene dreifache Testdatensätze vor. [K. Schmidt et al., Publikation in Vorbereitung, Ethikvotum durch Ethikkommission der CvO Universität Oldenburg: Drs. 50/2012, Nachweis der Normakusis siehe dort]. Die Generierung der virtuellen Schallquellen basiert auf der Methode des Amplitude Panning.

2. Ergebnisse

In Abb.1 sind die Ergebnisse der Lokalisationsmessungen, unterschiedlich farblich codiert für jeden Testdurchlauf, dargestellt. Die jungen normalhörenden Testpersonen schätzen die gehörte Richtung nahe um die Winkelhalbierende, d.h. sie lokalisieren gut. Lediglich einmal in allen Tests verortet eine Person eine Signalrichtung -90° fälschlich zu $+90^\circ$ und dies beim ersten Durchgang (Links-Rechts-Vertauschung).

Weiter ist für alle drei Testdurchläufe der **Median** des Lokalisationsfehlers aufgetragen sowie der Interquartilsbereich (**iqr**) desselben. Deutlich erkennbar ist die perfekte Lokalisation in Richtung 0° und die Zunahme des iqr, also der Lokalisationsunschärfe, nach seitlich. Lediglich die äußeren Winkel haben einen verringerten iqr und der Median der äußeren Winkel ist in der Größenordnung des iqr. Somit verringert sich die Lokalisationsunschärfe am Rand wieder und die Hörereignisse werden systematisch leicht nach vorn verortet.

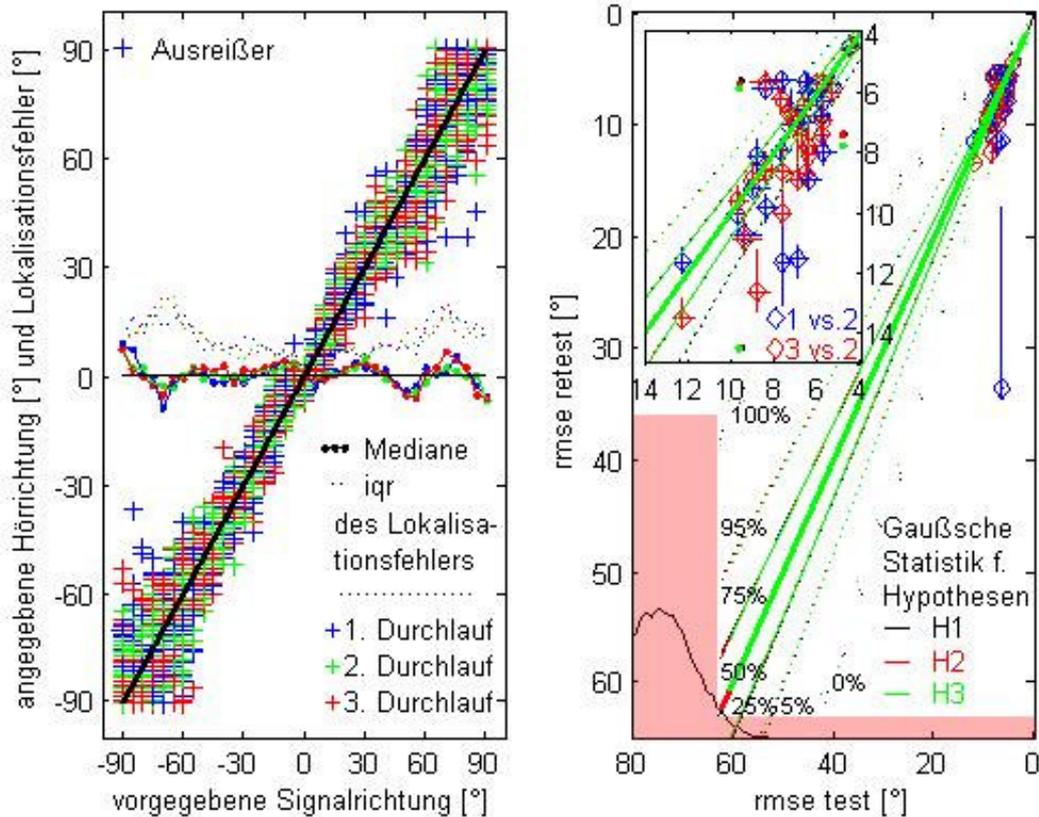


Abbildung 1 (links): Lokalisationsergebnisse von 24 Testpersonen in 3 farblich abgesetzten Testwiederholungen für 37 vorgegebene Signalrichtungen, ferner aufgetragen ist die Differenz von Hör- zu Signalrichtung mit Medianen und Interquartilsbereichen für die 3 Durchgänge, Signal ISTS, 300 ms

Abbildung 2 (rechts): die rmse Test-Retest-Statistik berechnet nach Gauß'schem Ansatz ist mit Perzentillinien (0%, 5%, 25%, 50%, 75%, 95%, 100%) für die drei Hypothesen H1-3 zur Randverteilung (siehe Abschnitt 1.2b) eingetragen. Die Testdaten sind als Punkte 1. vs. 2. Messung bzw. 3. vs. 2. Messung dargestellt, daran horizontal und vertikal die Interquartilsbereiche der surrogaten Daten der jeweiligen Messung. Links unten in schwarz die Verteilung zufällig gleichverteilter Hörrichtungen, nur rmse-Werte $< 63^\circ$ sind relevant, damit enthält der rosa markierte Bereich nur irrelevante Daten.

In Abb. 2 wird die Test-Retest-Statistik für das Lokalisationsmaß rmse behandelt: die natürlichen Begrenzungen des rmse für das vorliegende Experiment sind die perfekte Lokalisation mit $rmse = 0^\circ$ und der maximale mögliche Wert $\approx 138^\circ$ für eine Person, die stets zum Rand $\pm 90^\circ$ der gegenüberliegenden Seite zur vorgegebenen Signalrichtung schätzt, sowie den für die Realität wichtigeren Wert von $\approx 63^\circ$. Dieser ergibt sich aus der Verteilung zufälliger gleichverteilter Hörrichtungen aus der Gesamtheit der möglichen Hörrichtungsantworten. Diese Verteilung ist über der Abszisse aufgetragen und lässt sich interpretieren als die Grenze oberhalb derer, sich ein realisierter rmse auf einem Signifikanzniveau von 5% von einer Testantwort mit zufällig realisierten gleichverteilten

Hörereignisrichtungen statistisch trennen lässt. Insofern ist für die Statistik des rmse also nur die Fläche $[63^\circ 0^\circ] \times [63^\circ 0^\circ]$ bei den 37 vorgegebenen Lautsprecherrichtungen relevant.

Die Test-Retest-Verteilungen für jeweils 10000-fach simulierte Gaußverteilungen um die vorgegebene Signalrichtung sind für alle drei Hypothese mit Standardabweichungen von 2 bis 90° berechnet, über ihrem Median in die Abb. 2 aufgetragen worden und unterscheiden sich nur geringfügig.

Ferner sind die gemessenen Daten als Paare erste vs. zweite und dritte vs. zweite Messung eingetragen (Diamanten, die Abszissenwerte gehören also stets zum zweiten Messdurchlauf). Diese Auswahl wurde getroffen, um die maximale Fehlschätzung einer Person (-90° nach $+90^\circ$) nur in einem Messpunkt zu haben. Vielfach liegen die Datenpunkte außerhalb des Interquartilsbereichs bzw. außerhalb des 95% zu 5%-Bereichs der Gaußschen Statistik. Als horizontale und vertikale Linien an den Diamanten sind angeheftet die Interquartilsbereiche der surrogaten Daten, diese überlappen sich oft (vertikal) für zusammengehörende Datenpaare.

Zuletzt sei noch auf den „Ausreißer“ im rmse hingewiesen. Dies liegt an einer Fehlschätzung (-90° zu $+90^\circ$) von einer einzigen Person, wodurch der rmse für diesen einen Durchlauf stark von der Gesamtheit abweicht. Auch der Interquartilbereich der surrogaten Daten ist hier extrem.

3. Diskussion

Die Testpersonen zeigen in dem Experiment eine gute Lokalisationsfähigkeit, wobei die Hörereignisrichtungen an den Rändern ($-90^\circ/ +90^\circ$) systematisch leicht nach vorne verortet werden. Die Medianverschiebung ist dort immerhin in der Größe des Interquartilsbereichs iqr. Dies könnte ein Hinweis auf den vergleichbaren systematischen Effekt nach [3] sein. Es spricht gegen eine Überhöhung der Antworthäufigkeit der Randlautsprecher, welche als Hypothese in Abschnitt 1.2 ‚Modellierung‘ angedeutet wurde. Die Abnahme des iqr zum Rand hin könnte ein „Ceiling“-Effekt sein, durch die Beschneidung der Antwortmöglichkeiten.

Die Test-Retest-Verteilungen für Gaußverteilungen unterscheiden sich unter den drei formulierten Hypothesen für den rmse allenfalls geringfügig. Die obige Hypothesenbildung ist für die gemessenen Daten des aktuellen Experiments zumindest für den rmse nicht relevant. Die Test-Retest-Verteilungen basierend auf Gaußscher Statistik scheinen nicht die Daten der normalhörenden Testpersonen nachzubilden. Hingegen führen die Test-Retest-Verteilungen basierend auf den surrogaten Daten zu einer besseren Nachbildung der betrachteten Richtungsschätzungen, da sich die Interquartilsbereiche zusammengehörender (vertikaler) Datenpaare zumeist überlappen.

Der rmse weist bei den beschriebenen Daten bei lediglich einem einzigen Ausreißer einen stark unterschiedlichen Wert aus. Als Lokalisationsmaß ist es also wenig stabil, da es grundsätzlich Ausreißer aufgrund seiner quadratischen Natur Übergewichtet.

Es ist zu erwähnen, dass die surrogaten Daten mögliches systematisches Leicht-nach-vorn-Verorten für seitliche Signalrichtungen direkt mitberücksichtigen. Die generalisierte Statistik basierend auf Gaußverteilungen müsste dagegen explizit angepasst werden.

4. Literatur

[1] Morsnowski, A, Maune, S, Modeling the Test-Retest Statistics of a Localization Experiment in the Full Horizontal Plane. *Otol Neurotol*, 2016, 37(9): e391-9. doi: 10.1097/MAO.0000000000001174

[2] Plotz, K., & Schmidt, K. (2017). Lokalisation realer und virtueller Schallquellen mit einem automatisierten Erweiterungsmodul am Mainzer-Kindertisch. *Z Audiol*, 56(1), 6–18.

[3] Blauert J, Räumliches Hören, Monographien der Nachrichtentechnik, S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1974, ISBN 3 7776 0250 7, hier speziell: Seite 33