

Presentation of a long-term study on sound localization ability in newly implanted cochlear implant users with different modalities

Abstract

This prospective long-term study investigates the development of sound localization, speech recognition, and self-perceived hearing in adult cochlear implant (CI) users during rehabilitation. Data is collected over a twelve-month period using the “Erfassung des Richtungshörens bei Kindern (ERKI)” system (Auritec, Hamburg, Germany), the Freiburg monosyllabic test, and the “Speech Spatial Qualities Questionnaire (SSQ12)”. Initial results show significant improvements in sound localization after eight and twelve months, and in speech recognition after four and twelve months. In contrast, subjective hearing perception remains largely unchanged. So far, no significant correlation has been found between patients’ subjective assessments and their audiological outcomes.

Sarah Lewits¹
Max Blümer¹
Alexander Elsholz¹
Katharina Schmidt²
Mark Praetorius¹

¹ University Medical Center
Hamburg-Eppendorf,
Department of
Otorhinolaryngology,
Hamburg, Germany

² Jade University of Applied
Sciences, Institute for
Hearing Technology and
Audiology, Oldenburg,
Germany

Objective

Sound localization in the horizontal plane relies on the processing of interaural cues, particularly interaural time differences (ITDs) and interaural level differences (ILDs). In CI users, the ability to use ITDs is severely limited. This is mainly caused by processing strategies, as well as differences between electrical and physiological acoustic stimulation, which results in a considerable loss of temporal fine structure [1], [2]. Consequently, CI users rely heavily on ILDs for sound source localization.

The aim of this long-term study is to systematically document the progression of localization performance, speech recognition, and self-perceived hearing in adult CI patients during rehabilitation. Additionally, the study seeks to analyze the interrelations between these domains.

Methods

Data collection begins two weeks after the initial fitting and is conducted at fixed intervals of two, four, eight, and twelve months. Localization ability is assessed using the “Erfassung des Richtungshörens bei Kindern (ERKI)-System” [3]. The ERKI setup consists of a modified MAINZER Kindertisch with 32 virtual and 5 real sound sources arranged in a semicircle. In this study, the hori-

zontal localization range of $\pm 75^\circ$ is examined in 5° increments. A 300 ms segment of the ISTS speech signal /alors/ (70 dB SPL, ± 3 dB level roving) is used as the auditory stimulus and is presented in five separate trials at each angle point.

Speech recognition is assessed using the Freiburg Monosyllabic Test at a stimulus level of 65 dB SPL. Subjective hearing ability is evaluated using the “Speech Spatial Qualities Questionnaire (SSQ12)”, which includes the subscales “Speech”, “Spatial”, and “Qualities” [4], [5]. Exclusion criteria include deafness in the contralateral ear as well as psychiatric or neurological disorders. Data collection for the study is still ongoing. Preliminary analysis is based on data from twelve adult patients, seven bimodal, three with single-sided deafness, and two with bilateral cochlear implants, who have completed the study. A total of 48 completed SSQ12 questionnaires and 51 test runs of the Freiburg test and localization tests were evaluated. Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics (Version 29.0.2.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA) with generalized linear mixed models (GLMM). The significance level was set at $p < 0.05$.

Results

Compared to data collected two weeks after initial fitting, a significant reduction in root mean square error (RMSE) for localization was observed after eight months ($t(36)=-3.114$, $p=0.033$) and twelve months ($t(35)=-3.432$, $p=0.016$) (Figure 1). Monosyllabic speech recognition significantly improved after four months ($t(36)=3.334$, $p=0.018$) and twelve months ($t(36)=3.596$, $p=0.010$) (Figure 2). However, total SSQ12 scores did not show significant changes after twelve months ($t(32)=2.143$, $p=0.398$), nor did the subscales "Speech"

($t(32)=0.684$, $p=1.000$) and "Qualities" ($t(32)=1.057$, $p=1.000$). The "Spatial" subscale showed a value near statistical significance ($t(32)=2.974$, $p=0.055$) (Figure 3). No significant correlation has been found thus far between localization performance, speech recognition, and subjective hearing perception (Table 1).

Discussion

Localization ability showed both intra- and interindividual variability during the course of the study, and not all participants showed improvements. No clear correlation was

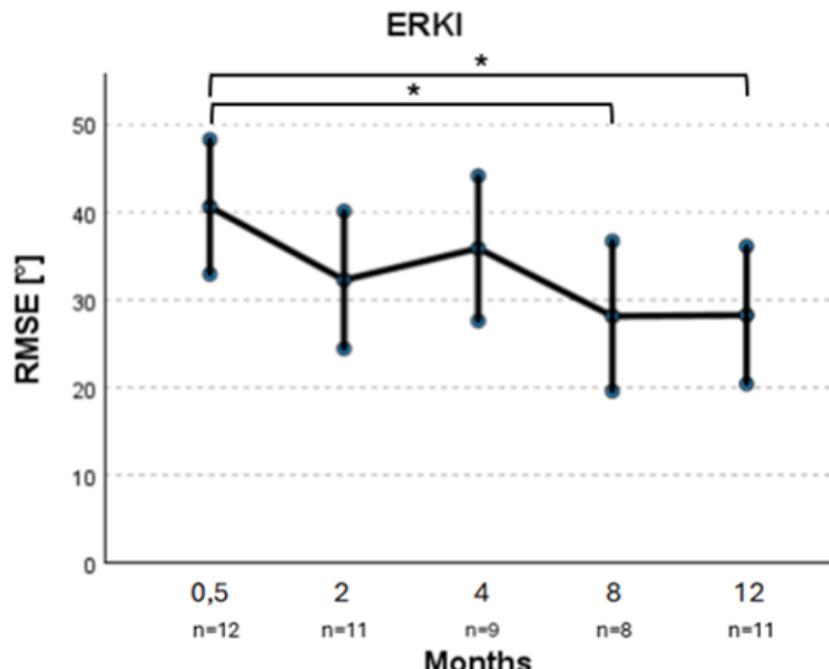


Figure 1: Root mean square error (RMSE) of sound source localization over the months. Measured using the "Erfassen des Richtungshören bei Kindern (ERKI)" system

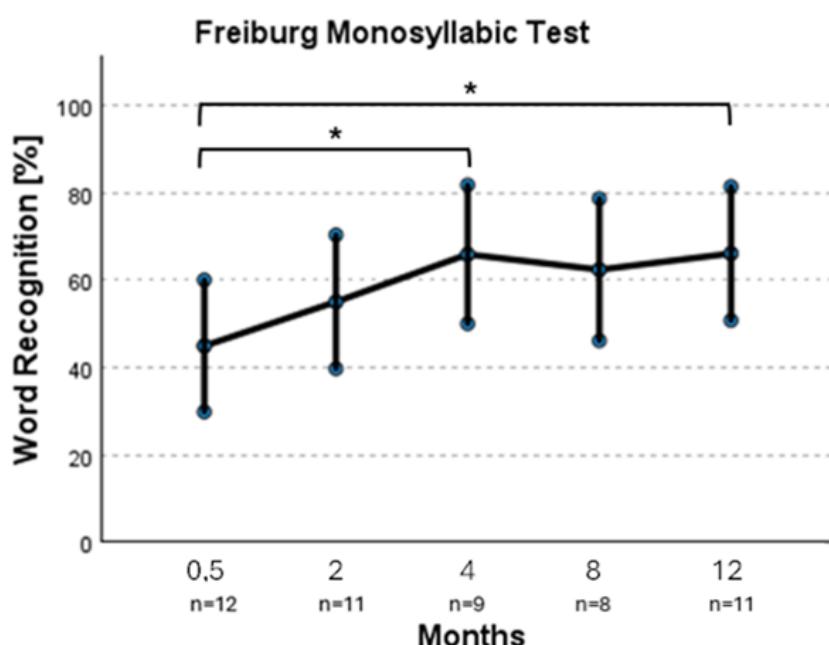


Figure 2: Word recognition performance over the months in the Freiburg monosyllabic test

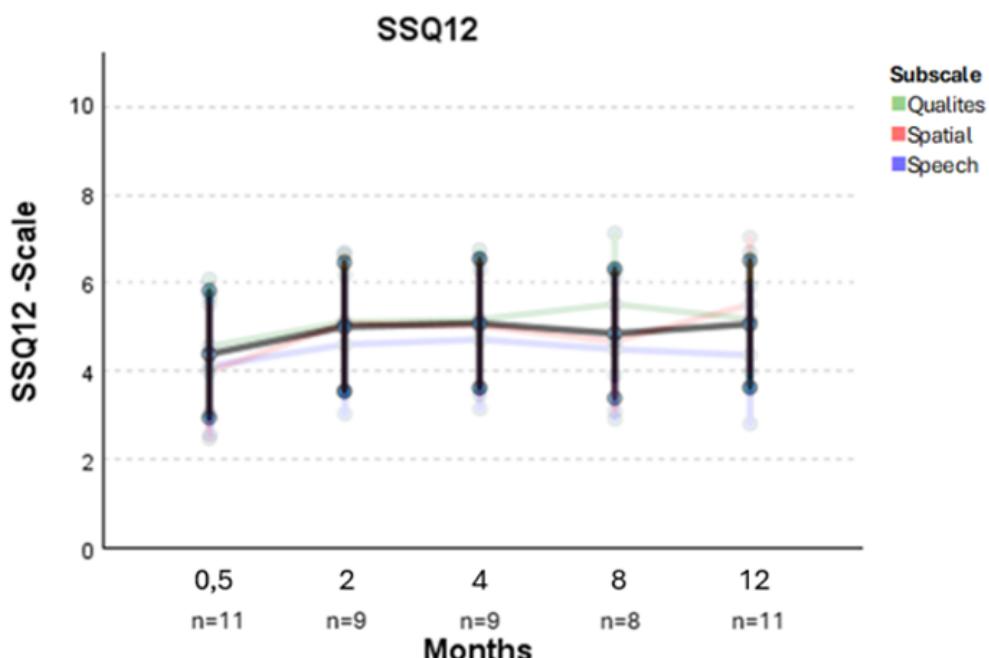


Figure 3: Results of the “Speech Spatial Qualities Questionnaire” (SSQ12) over the months

Table 1: Pearson's Correlation Analysis at different points in time. $r=0.0 < 0.1$ (non), $r=0.1 < 0.3$ (low), $r=0.3 < 0.5$ (moderate)

Months	0,5	2	4	8	12	Total
Word recognition [%] & RMSE [°]	$r=-0.222$ $p=0.487$	$r=-0.195$ $p=0.565$	$r=-0.252$ $p=0.512$	$r=-0.130$ $p=0.512$	$r=-0.127$ $p=0.709$	$r=-0.228$ $p=0.107$
RMSE [°] & Subscale „Spatial“	$r=-0.462$ $p=0.152$	$r=-0.363$ $p=0.337$	$r=-0.175$ $p=0.652$	$r=-0.234$ $p=0.577$	$r=-0.313$ $p=0.349$	$r=-0.150$ $p=0.310$
Word recognition [%] & Subscale „Speech“	$r=0.118$ $p=0.729$	$r=0.077$ $p=0.843$	$r=0.106$ $p=0.786$	$r=0.019$ $p=0.965$	$r=-0.112$ $p=0.744$	$r=0.058$ $p=0.698$

observed between subjective perception and audiological test results: while significant improvements were demonstrated in both speech recognition and localisation, subjective ratings remained largely stable over time following the initial increase observed at the two-month interval. The development of speech recognition aligns with previous studies, particularly reflecting the typical “restoration period” in the early rehabilitation phase, during which an initial performance increase is observed [6]. Further analyses with a larger sample size are planned to validate current findings and provide more detailed insights.

Notes

Conference presentation

This contribution was presented at the 27th Annual Conference of the German Society of Audiology and published as an abstract [7].

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

References

1. Aronoff JM, Yoon YS, Freed DJ, Vermiglio AJ, Pal I, Soli SD. The use of interaural time and level difference cues by bilateral cochlear implant users. *J Acoust Soc Am*. 2010 Mar;127(3):EL87-92. DOI: 10.1121/1.3298451
2. Zirn S, Angermeier J, Arndt S, Aschendorff A, Wesarg T. Reducing the Device Delay Mismatch Can Improve Sound Localization in Bimodal Cochlear Implant/Hearing-Aid Users. *Trends Hear*. 2019 Jan-Dec;23:2331216519843876. DOI: 10.1177/2331216519843876
3. Plotz K, Schmidt K. Lokalisation realer und virtueller Schallquellen mit einem automatisierten Erweiterungsmodul am Mainzer-Kindertisch. *Z Audiol*. 2017;56(1):6-18.
4. Noble W, Jensen NS, Naylor G, Bhullar N, Akeroyd MA. A short form of the Speech, Spatial and Qualities of Hearing scale suitable for clinical use: the SSQ12. *Int J Audiol*. 2013 Jun;52(6):409-12. DOI: 10.3109/14992027.2013.781278
5. Cañete O. The 12-item Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale questionnaire: administration suggestions and guidance. *Auditio*. 2023;7:e0094.
6. Hoth S. Der Nutzen von Verlaufsdigrammen nach der Versorgung mit Cochlea-Implantat. *Z Audiol*. 2020;59(1):16-9.

7. Lewits S, Blümer M, Elsholz A, Schmidt K, Praetorius M. Vorstellung einer Langzeitstudie zur Erhebung der Lokalisationsfähigkeit bei neuimplantierten CI-Träger:innen mit verschiedenen Versorgungsformen. In: Deutsche Gesellschaft für Audiologie e. V.; ADANO, editors. 27. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie und Arbeitstagung der Arbeitsgemeinschaft Deutschsprachiger Audiologen, Neurootologen und Otologen. Göttingen, 19.-21.03.2025. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2025. Doc211. DOI: 10/3205/25dga214

Please cite as

Lewits S, Blümer M, Elsholz A, Schmidt K, Praetorius M. Presentation of a long-term study on sound localization ability in newly implanted cochlear implant users with different modalities. *GMS Z Audiol (Audiol Acoust)*. 2026;8:Doc01.
DOI: 10.3205/zaud000078, URN: urn:nbn:de:0183-zaud0000785

This article is freely available from
<https://doi.org/10.3205/zaud000078>

Published: 2026-01-08

Corresponding author:

Sarah Lewits
University Medical Center Hamburg-Eppendorf,
Department of Otorhinolaryngology, Martinistraße 52,
20246 Hamburg, Germany
s.lewits.ext@uke.de

Copyright

©2026 Lewits et al. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License. See license information at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Vorstellung einer Langzeitstudie zur Erhebung der Lokalisationsfähigkeit bei neuimplantierten Cochlea-Implantat-Träger:innen mit verschiedenen Versorgungsformen

Zusammenfassung

Diese prospektive Langzeitstudie untersucht die Entwicklung des Richtungshörens, des Sprachverständens und der subjektiven Hörwahrnehmung bei erwachsenen Träger:innen von Cochlea-Implantaten während der Rehabilitation. Die Erhebung erfolgt über zwölf Monate hinweg mittels „Erfassung des Richtungshörens bei Kindern (ERKI)“ System (Auritec, Hamburg, Deutschland), Freiburger Einsilbertest und „Speech Spatial Qualities Questionnaire (SSQ12)“. Erste Ergebnisse zeigen signifikante Verbesserungen im Richtungshören nach acht und zwölf Monaten sowie im Sprachverstehen nach vier und zwölf Monaten. Die subjektive Hörwahrnehmung bleibt hingegen weitgehend unverändert. Bisher konnte keine signifikante Korrelation zwischen der subjektiven Einschätzung der Patient:innen und den audiologischen Ergebnissen nachgewiesen werden.

Sarah Lewits¹
Max Blümer¹
Alexander Elsholz¹
Katharina Schmidt²
Mark Praetorius¹

¹ Universitätsklinikum
Hamburg Eppendorf, Klinik
und Poliklinik für Hals-,
Nasen- und Ohrenheilkunde,
Hamburg, Deutschland

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

Zielsetzung

Das Richtungshören in der Horizontalebene beruht auf der Verarbeitung interauraler Cues, insbesondere der interauralen Zeitdifferenzen (ITDs) und der interauralen Pegeldifferenzen (ILDs). Bei Träger:innen von Cochlea-Implantaten (CI) ist die Fähigkeit zur Nutzung von ITDs eingeschränkt. Ursächlich hierfür sind die Zerlegung und Umwandlung des akustischen Eingangssignals durch die Sprachkodierungsstrategie, sowie die Unterschiede zwischen der elektrischen und der physiologischen akustischen Stimulation, welche mit einer verringerten Verfügbarkeit der temporalen Feinstruktur einhergeht. Infolgedessen sind CI-Nutzer:innen in besonderem Maße auf ILDs zur Schallquellenlokalisierung angewiesen [1], [2]. Ziel dieser Langzeitstudie ist es, den Verlauf der Lokalisationsleistung, des Sprachverständens sowie der subjektiven Hörwahrnehmung bei erwachsenen Patient:innen mit Cochlea-Implantaten (CI) während der Rehabilitation systematisch zu dokumentieren. Darüber hinaus sollen die Zusammenhänge zwischen diesen Bereichen analysiert werden.

Methoden

Die Datenerhebung beginnt zwei Wochen nach der ersten Anpassung und erfolgt in festgelegten Intervallen von zwei, vier, acht und zwölf Monaten. Das Richtungshörvermögen wird unter Anwendung des „Erfassens des Richtungshörens für Kinder (ERKI)-Systems“ [3] bestimmt. Das ERKI-Setup besteht aus dem modifizierten MAINZER-Kindertisch mit 32 virtuellen und 5 realen Schallquellen in einem Halbkreis. Für diese Studie wird der horizontale Lokalisationsbereich von $\pm 75^\circ$ in Schritten von 5° untersucht. Als akustischer Stimulus dient ein 300 ms langer Ausschnitt des ISTS-Sprachsignals /alors/ (70 dB SPL, ± 3 dB Pegel-Roving), welcher an jedem Winkelknoten in fünf separaten Trials dargeboten wird. Das Sprachverständen wird im Rahmen des Freiburger Einsilbertests bei einem Stimuluspegel von 65 dB SPL erfasst. Zur subjektiven Einschätzung des Hörvermögens wird der „Speech Spatial Qualities Questionnaire (SSQ12)“ herangezogen, welcher die Subskalen „Speech“, „Spatial“ und „Qualities“ umfasst [4], [5]. Als Ausschlusskriterien für die Teilnahme gelten eine Taubheit auf der kontralateralen Seite sowie das Vorliegen psychiatrischer oder neurologischer Erkrankungen.

Zum aktuellen Zeitpunkt ist die Datenerhebung der Studie noch nicht abgeschlossen. Die vorläufige Analyse basiert auf den Daten von zwölf erwachsenen Patient:innen, darunter sieben bimodal versorgte, drei mit einseitiger Taubheit sowie zwei bilateral mit Cochlea-Implantaten versorgte Personen, die die Studie bereits vollständig durchlaufen haben. Insgesamt wurden 48 ausgefüllte SSQ12-Fragebögen sowie 51 Testdurchläufe zum Freiburger Einsilbertest und zum Richtungshören ausgewertet. Die statistische Analyse erfolgte mit IBM SPSS Statistics (Version 29.0.2.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA) unter Anwendung verallgemeinerter linearer gemischter Modelle (GLMM). Das Signifikanzniveau wurde auf $p<0,05$ festgelegt.

Ergebnisse

Im Vergleich zur Erhebung zwei Wochen nach der Erstanpassung zeigte sich beim Richtungshören eine signifikante Reduktion des Root Mean Square Error (RMSE) nach acht Monaten ($t(36)=-3,114$, $p=0,033$) sowie nach zwölf Monaten ($t(35)=-3,432$, $p=0,016$) (Abbildung 1). Das Einsilberverstehen verbesserte sich signifikant nach vier Monaten ($t(36)=3,334$, $p=0,018$) und nach zwölf Monaten ($t(36)=3,596$, $p=0,010$) (Abbildung 2). Die SSQ12-Gesamtwerte zeigten nach zwölf Monaten hingegen keine signifikanten Veränderungen ($t(32)=2,143$, $p=0,398$), ebenso wenig wie die Subskalen „Speech“ ($t(32)=0,684$, $p=1,000$) und „Qualities“ ($t(32)=1,057$, $p=1,000$). Für die Subskala „Spatial“ ergab sich ein Wert nahe der statistischen Signifikanz ($t(32)=2,974$, $p=0,055$) (Abbildung 3). Ein signifikanter Zusammenhang zwischen

Richtungshörvermögen, Sprachverständnis und subjektiver Wahrnehmung konnte bislang nicht festgestellt werden (Tabelle 1).

Diskussion

Das Richtungshören zeigte im Verlauf der Erhebung sowohl intra- als auch interindividuelle Schwankungen, so dass nicht bei allen Patient:innen eine Verbesserung festgestellt werden konnte. Ein klarer Zusammenhang zwischen subjektiver Wahrnehmung und den Ergebnissen audiologischer Tests ließ sich nicht nachweisen: Während sich sowohl das Sprachverstehen als auch das Richtungshören signifikant verbesserten, blieb die subjektive Einschätzung, nach einem anfänglichen Anstieg nach zwei Monaten, über den weiteren Verlauf hinweg weitgehend konstant. Die Entwicklung des Sprachverständens steht im Einklang mit früheren Studien und spiegelt insbesondere die für die Anfangsphase typische „Restaurationszeit“ wider, in der ein initialer Leistungsanstieg zu beobachten ist [6]. Zukünftige Analysen mit einer größeren Stichprobe sind geplant, um die bisherigen Ergebnisse weiter zu validieren und differenziertere Aussagen zu ermöglichen.

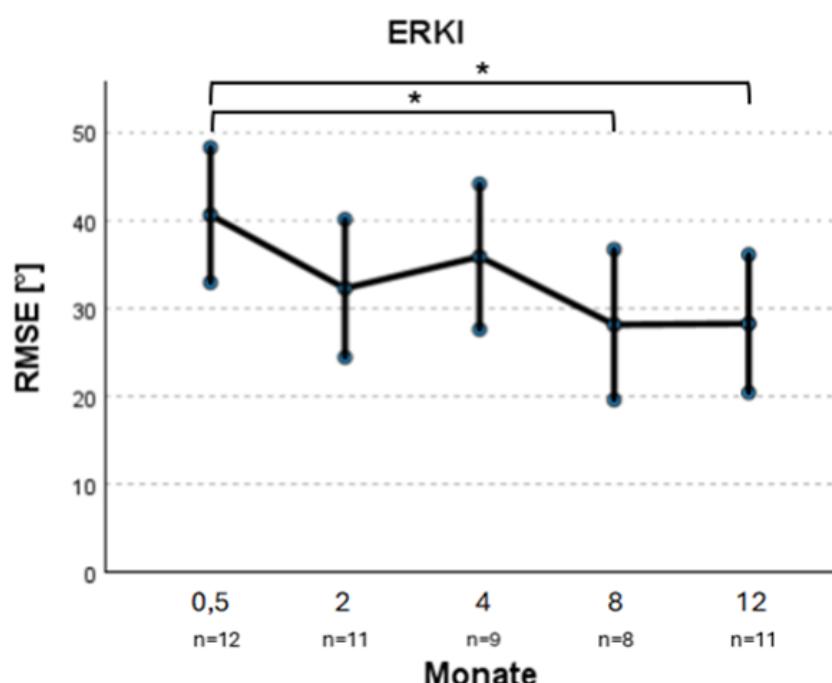


Abbildung 1: Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers (RMSE) der Schallquellenlokalisierung über die Monate. Gemessen mit dem „Erfassen des Richtungshörens bei Kindern (ERKI)“ System

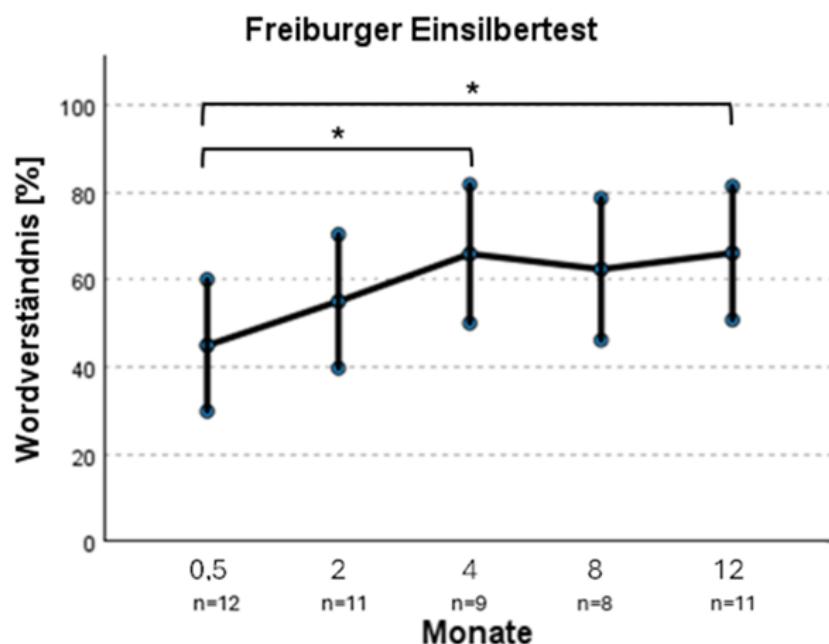


Abbildung 2: Wortverständnis über die Monate im Freiburger Einsilbertest

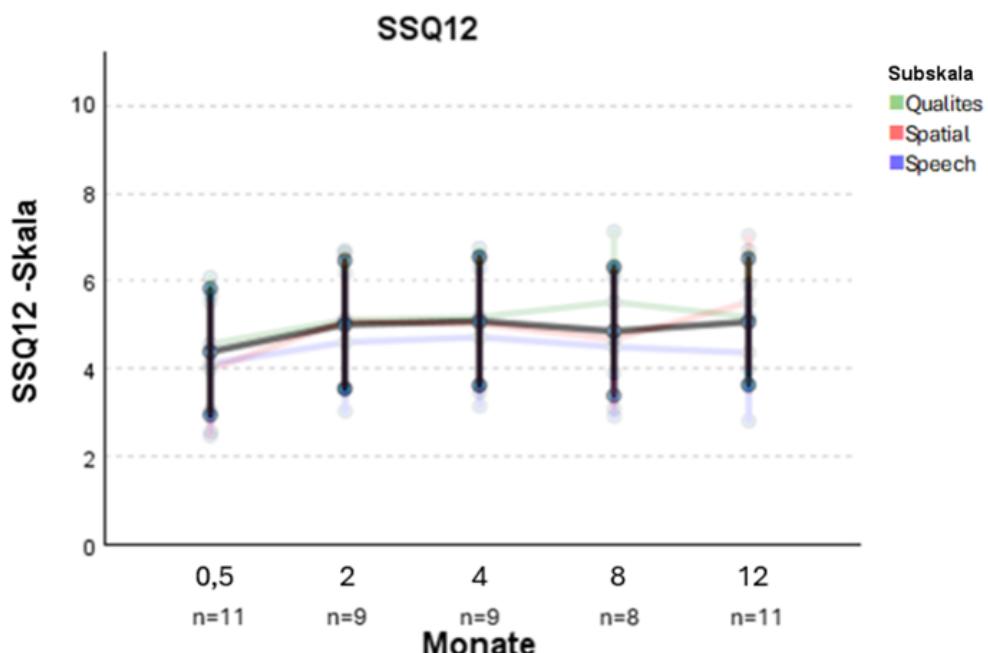


Abbildung 3: Ergebnisse des „Speech Spatial Qualities Questionnaire“ (SSQ12) über die Monate

Tabelle 1: Pearsons-Korrelationsanalyse zu verschiedenen Zeitpunkten. $r=0,0 < 0,1$ (keine), $r=0,1 < 0,3$ (geringe), $r=0,3 < 0,5$ (mittlere)

Monate	0,5	2	4	8	12	Total
Wordverständnis [%] & RMSE [°]	$r=-0,222$ $p=0,487$	$r=-0,195$ $p=0,565$	$r=-0,252$ $p=0,512$	$r=-0,130$ $p=0,512$	$r=-0,127$ $p=0,709$	$r=-0,228$ $p=0,107$
RMSE [°] & Subskala „Spatial“	$r=-0,462$ $p=0,152$	$r=-0,363$ $p=0,337$	$r=-0,175$ $p=0,652$	$r=-0,234$ $p=0,577$	$r=-0,313$ $p=0,349$	$r=-0,150$ $p=0,310$
Wordverständnis [%] & Subskala „Speech“	$r=0,118$ $p=0,729$	$r=0,077$ $p=0,843$	$r=0,106$ $p=0,786$	$r=0,019$ $p=0,965$	$r=-0,112$ $p=0,744$	$r=0,058$ $p=0,698$

Anmerkungen

Konferenzpräsentation

Dieser Kurzbeitrag wurde bei der 27. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie präsentiert und als Abstract veröffentlicht [7].

Interessenkonflikte

Die Autor:innen erklären, dass sie keine Interessenkonflikte in Zusammenhang mit diesem Manuskript haben.

Literatur

1. Aronoff JM, Yoon YS, Freed DJ, Vermiglio AJ, Pal I, Soli SD. The use of interaural time and level difference cues by bilateral cochlear implant users. *J Acoust Soc Am*. 2010 Mar;127(3):EL87-92. DOI: 10.1121/1.3298451
2. Zirn S, Angermeier J, Arndt S, Aschendorff A, Wesarg T. Reducing the Device Delay Mismatch Can Improve Sound Localization in Bimodal Cochlear Implant/Hearing-Aid Users. *Trends Hear*. 2019 Jan-Dec;23:2331216519843876. DOI: 10.1177/2331216519843876
3. Plotz K, Schmidt K. Lokalisation realer und virtueller Schallquellen mit einem automatisierten Erweiterungsmodul am Mainzer-Kindertisch. *Z Audiol*. 2017;56(1):6-18.
4. Noble W, Jensen NS, Naylor G, Bhullar N, Akeroyd MA. A short form of the Speech, Spatial and Qualities of Hearing scale suitable for clinical use: the SSQ12. *Int J Audiol*. 2013 Jun;52(6):409-12. DOI: 10.3109/14992027.2013.781278
5. Cañete O. The 12-item Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale questionnaire: administration suggestions and guidance. *Auditio*. 2023;7:e0094.
6. Hoth S. Der Nutzen von Verlaufsdiagrammen nach der Versorgung mit Cochlea-Implantat. *Z Audiol*. 2020;59(1):16-9.
7. Lewits S, Blümer M, Elsholz A, Schmidt K, Praetorius M. Vorstellung einer Langzeitstudie zur Erhebung der Lokalisationsfähigkeit bei neuimplantierten CI-Träger:innen mit verschiedenen Versorgungsformen. In: Deutsche Gesellschaft für Audiologie e. V.; ADANO, editors. 27. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie und Arbeitstagung der Arbeitsgemeinschaft Deutschsprachiger Audiologen, Neurootologen und Otologen. Göttingen, 19.-21.03.2025. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2025. Doc211. DOI: 10/3205/25dga214

Korrespondenzadresse:

Sarah Lewits

Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf, Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Martinistraße 52, 20246 Hamburg, Deutschland
s.lewits.ext@uke.de

Bitte zitieren als

Lewits S, Blümer M, Elsholz A, Schmidt K, Praetorius M. Presentation of a long-term study on sound localization ability in newly implanted cochlear implant users with different modalities. *GMS Z Audiol (Audiol Acoust)*. 2026;8:Doc01. DOI: 10.3205/zaud000078, URN: urn:nbn:de:0183-zaud0000785

*Artikel online frei zugänglich unter
<https://doi.org/10.3205/zaud000078>*

Veröffentlicht: 08.01.2026

Copyright

©2026 Lewits et al. Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel und steht unter den Lizenzbedingungen der Creative Commons Attribution 4.0 License (Namensnennung). Lizenz-Angaben siehe <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.