

Den Ursachen auf der Spur:

Wie Cochlea-Implantate besser überwacht werden können

Die Funktion eines Cochlea-Implantats hängt stark von seiner Position in der Hörschnecke und der Umgebung der Stimulations-elektroden ab.

Wissenschaftler*innen des Instituts für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik (GEM) der LUH sowie der Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde (HNO-Klinik) der MHH forschen daher an einer impedanzspektrometrischen Methode zur Überwachung der Implantatposition.

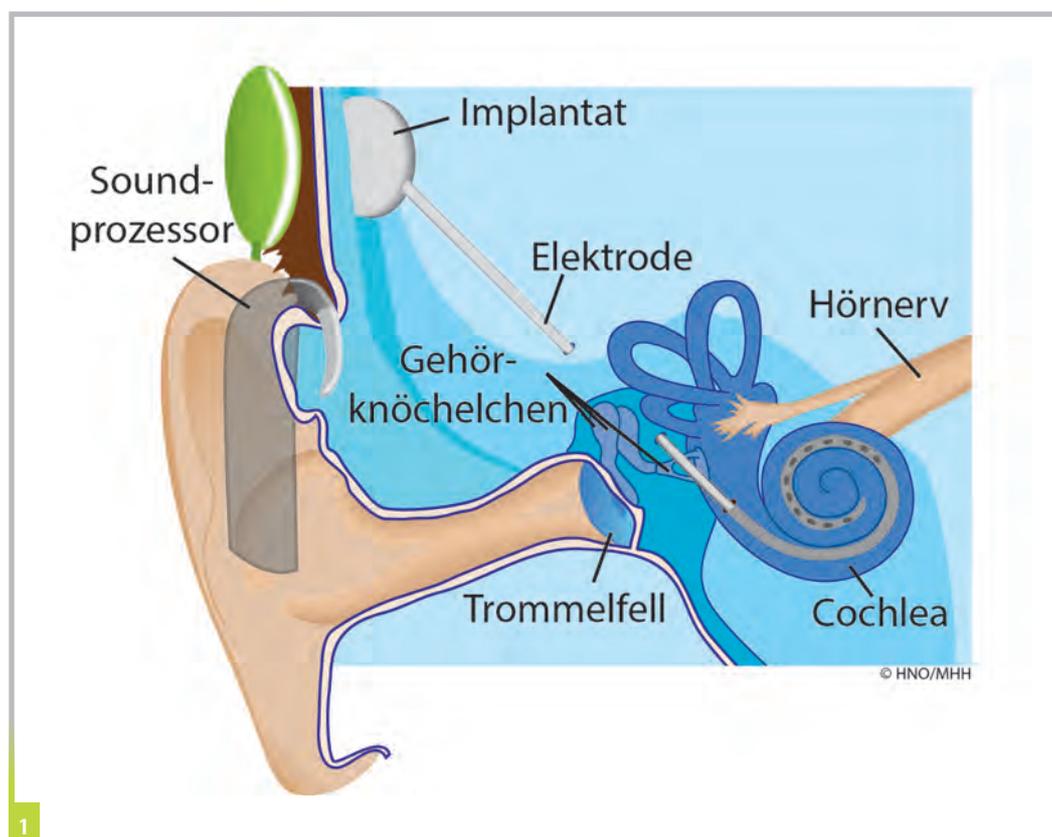


Abbildung 1
Schematische Darstellung eines Cochlea-Implantats im Innenohr eines Patienten.
Quelle: HNO-Klinik, MHH

Eine der wichtigsten Formen der Kommunikation zwischen Menschen ist noch immer das Hören und Sprechen. Ist ein Mensch schwerhörig oder sogar taub, schränkt dies seine Kommunikationsfähigkeit erheblich ein und kann die Lebensqualität beeinträchtigen. In vielen Fällen kann hier heutzutage ein verstärkendes Hörgerät helfen. Beruht das eingeschränkte Hörvermögen jedoch auf einer Degeneration der Haarzellen oder anderen Fehlbildungen des Gehör-

gans, reicht auch ein verstärkendes Hörgerät nicht aus, um das Hören wiederherzustellen. Ist der Hörnerv jedoch noch voll intakt, kann ein sogenanntes Cochlea-Implantat (CI) in das Innenohr eingesetzt werden, um die geschädigten oder fehlgebildeten Bereiche des Ohrs gezielt zu umgehen und dem Patienten einen Höreindruck durch elektrische Reize im Innenohr zu vermitteln.

Wie in *Abbildung 1* zu sehen ist, besteht ein CI aus einem

externen Teil an der Außenseite des Kopfes und einem implantierten Teil. Ein externer Soundprozessor nimmt Geräusche aus der Umgebung auf, wandelt sie in elektrische Signale um und überträgt diese dann an das eigentliche Implantat, welches unter der Kopfhaut sitzt. Anschließend erfolgt eine Weiterleitung der elektrischen Signale an eine Elektrodenanordnung, die sich im Innenohr in der Hörschnecke, der sogenannten Cochlea, befindet. Innerhalb

der Cochlea stimulieren die Stimulationselektroden des CIs den Hörnerv mit elektrischen Pulsen.

Die Funktionalität eines CIs hängt stark von der elektrischen Stromstärke ab, die den Hörnerv stimuliert. Diese Stromstärke ist wiederum abhängig von der elektrischen Leitfähigkeit und den dielektrischen Eigenschaften (Permittivität und Polarisationsverluste) der umgebenden Strukturen des CIs, wie Gewebe, Knochen und der Zusammensetzung der Innenohrflüssigkeit. Im Idealfall sind die Stimulationselektroden in der Cochlea von einer salzhaltigen Lösung, der sogenannten Perilymphe, umgeben. Ein bekanntes Problem bei CIs ist jedoch das Wachstum von Zellen und Blut, zum Beispiel durch eine Verletzung der Cochlea, auf den Stimulationselektroden. Zellen besitzen andere elektrische Leitfähigkeiten und dielektrische Eigenschaften als Perilymphe, beispielsweise leiten sie elektrischen Strom schlechter. Wachsen Zellen auf den Stimulationselektroden, erhöht dies die Impedanz, also den elektrischen Wechselstromwiderstand, zwischen Stimulationselektroden und Hörnerv, woraufhin die Stimulationseffizienz sinkt und der Patient schlechter hört.

Die Verschlechterung des Hörvermögens eines Patienten kann jedoch auch andere Gründe haben, wie zum Beispiel eine falsche Position des CIs in der Cochlea oder ein Umknicken der CI-Spitze während des Einsetzens [1]. Im Falle einer Verschlechterung des Hörvermögens eines CI-Patienten ist es wichtig, die Ursache frühzeitig zu erkennen, um mit einer individuellen Behandlung eingreifen zu können. Eine Methode zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit von CIs ist die Aufzeichnung der Impedanz zwi-

schen den Stimulationselektroden. Die Messung dieser Impedanz ist bereits in allen heute erhältlichen CIs implementiert, wird aber in der Regel nur bei einer Frequenz durchgeführt. Mit dieser Methode kann ein Zellwachstum auf den Stimulationselektroden nur dann nachgewiesen werden, wenn keine anderen Faktoren vorhanden sind, welche die Impedanz beeinflussen. Die Methode stößt deshalb an ihre Grenzen, sobald zusätzliche Effekte, wie eine Positions- oder Geometrieänderung oder eine Änderung der Perilymphe, die Impedanz beeinflussen. Um zwischen diesen Effekten unterscheiden zu können, soll die Impedanz jetzt über ein breites Frequenzspektrum gemessen werden. So sollen Änderungen der Position des CIs von Änderungen der elektrischen und dielektrischen Eigenschaften der Umgebung des CIs in Abhängigkeit von der Frequenz unterschieden werden.

Im Rahmen eines Teilprojekts des Sonderforschungsbereichs „Safety-Integrated and Infection-Reactive Implants“ (SFB SIIRI) soll ein impedanzspektrometrisches Verfahren entwickelt werden, um die Implantatposition während des Einsetzens und die Funktionalität der Stimulationselektroden im weiteren Verlauf zu überwachen. Projektziel ist die Entwicklung einer Messmethode inklusive der Algorithmen zur Messdatenauswertung, um bei einer Verschlechterung

des Hörvermögens eines Patienten zwischen Zellwachstum, einer Änderung der Lage, Geometrie oder der Zusammensetzung der Perilymphe zu unterscheiden, um die Ursache eines auftretenden und gegebenenfalls fortschreitenden Hörverlustes trotz CI frühzeitig zu identifizieren und den bestmöglichen Behandlungsansatz zu finden.

Um eine geeignete spektrometrische Methode zu entwickeln, wurden im Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik (GEM) der Leibniz Universität Hannover (LUH) zunächst vergrößerte CI-Modelle in Form von flexiblen Leiterplatten entworfen und hergestellt. Diese CI-Modelle haben den Vorteil, dass sie deutlich preiswerter und robuster als kommerzielle CIs sind und sich leichter in großen Stückzahlen reproduzierbar herstellen lassen – echte CIs werden auch heute noch manuell gefertigt. Die CI-Modelle sind aus Polyimid gefertigt und haben sechs Stimulationselektroden. Die Stimulationselektroden bestehen aus Kupfer mit Goldbeschichtung. Ein beispielhaftes CI-Modell ist in *Abbildung 2* zu sehen. Obwohl es sich um ein vergrößertes Modell eines CIs handelt, ist dieses Modell sehr gut geeignet, den vorgeschlagenen impedanzspektrometrischen Ansatz zu testen.

Um die Messmethode zu validieren und erste Impedanzspektren der CI-Umgebung zu

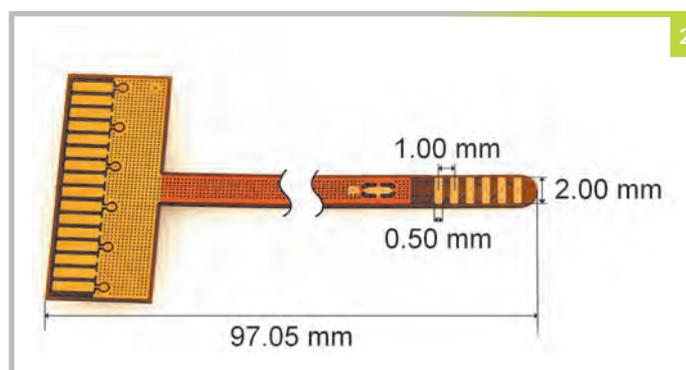


Abbildung 2
Vergrößertes CI-Modell aus einer flexiblen Leiterplatte mit sechs Stimulationselektroden an der Spitze. Die Stimulationselektroden und Leiterbahnen bestehen aus Kupfer mit Goldbeschichtung.
Quelle: GEM, LUH

generieren, wurden zunächst Messungen in Salzlösungen aus Natriumchlorid (NaCl) und deionisiertem Wasser zur Nachbildung der Perilymphe durchgeführt. Diese zeigten, dass der Betrag der Impedanz zwischen zwei Stimulationselektroden mit zunehmender Salzkonzentration über das gesamte Frequenzspektrum von 20 Hz bis 20 MHz wie erwartet sinkt, da eine höhere

danzspektrometrische Messmethode zur Untersuchung der Beschaffenheit des umgebenden Mediums verwendet werden kann. Im Weiteren sollen die vorhandenen Stimulationselektroden des Cochlea-Implantats als Sensoren genutzt werden, um Veränderungen in der Perilymphe zu detektieren. Im Rahmen des SFBs SIIRI soll die impedanzspektrometrische

zung der Perilymphe unterscheiden zu können. Auf diese Weise soll die Ursache für den weiteren Hörverlust trotz CI frühzeitig identifiziert werden, um den bestmöglichen Behandlungsansatz zu finden und so die Patientensicherheit zu erhöhen.

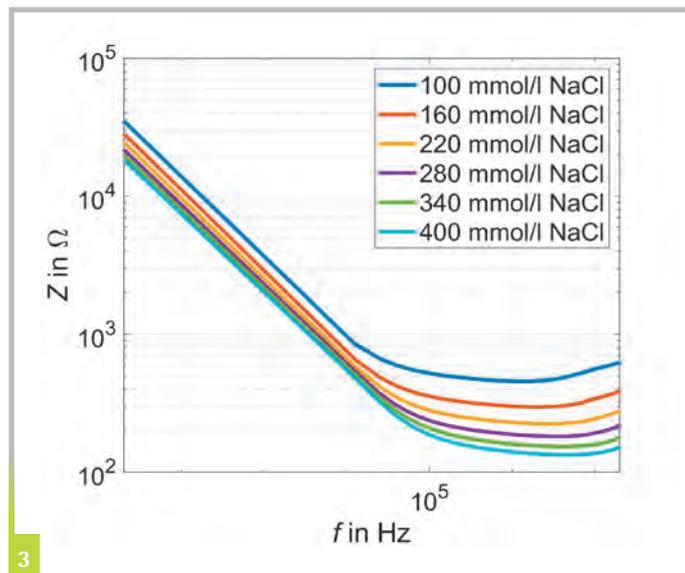
Danksagung

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – SFB/TRR-298-SIIRI – Projektnummer 426335750

Literatur

- [1] M. G. Zuniga, A. Rivas, A. Hedley-Williams, R. H. Gifford, R. Dwyer, B. M. Dawant, L. W. Sunderhaus, K. L. Hovis, G. B. Wanna, J. H. Noble, R. F. Labadie, Tip Fold-over in Cochlear Implantation: Case Series, *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otolaryngology and Neurotology* 38, 199–206 (2017); DOI: 10.1097/MAO.0000000000001283.

Abbildung 3
Betrag Z der Impedanz zwischen zwei Stimulationselektroden eines vergrößerten CI-Modells in Abhängigkeit der Frequenz f und NaCl-Konzentration des umgebenden Mediums.
Quelle: GEM, LUH



Salzkonzentration zu einer besseren elektrischen Leitfähigkeit der Lösung führt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass erste Messungen mit einem vergrößerten CI-Modell zeigen, dass die impe-

Messmethode dann weiterentwickelt werden, um bei einer Verschlechterung des Hörvermögens eines Patienten zwischen Zellwachstum, einer Änderung der Lage, Geometrie oder der Zusammensetzung

Merle Schlmeyer
Mit B. Bhavsar
Hannes Maier
Stefan Zimmermann

→ Weitere Informationen siehe Autor*innenseiten.