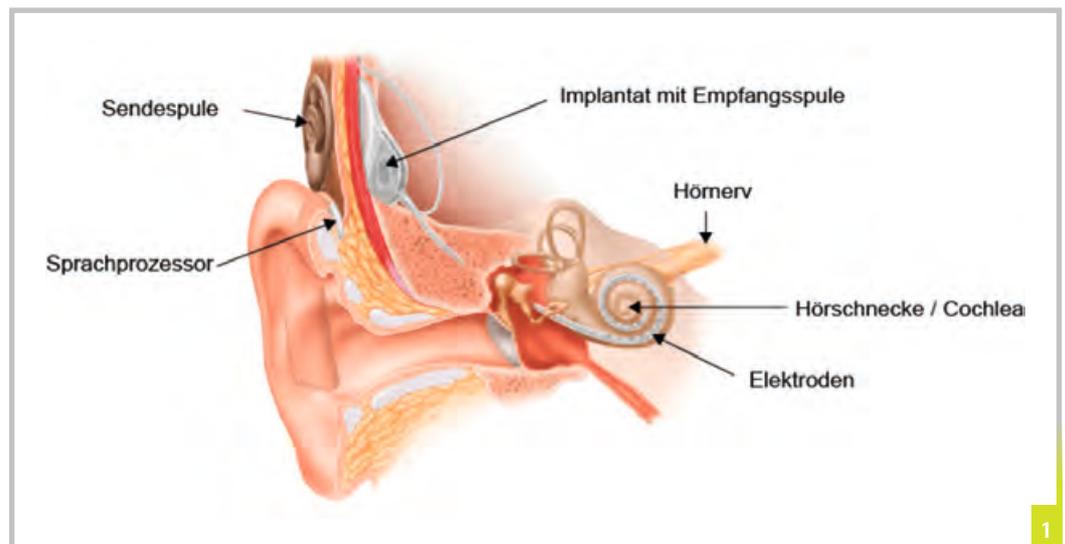


# Links und rechts verbinden

## Räumliches Hören mit Cochlea-Implantaten

Viele Menschen, die ein Hörgerät nutzen, haben oft Schwierigkeiten, bei Hintergrundlärm ihren Gesprächspartner zu verstehen. Insbesondere bei sogenannten Cochlea-Implantaten (CI) liegt dies wesentlich daran, dass nicht alle Funktionen eines Ohres übernommen werden können.

Um CI-Trägern räumliches Hören sowie verbessertes Sprachverstehen zu ermöglichen, arbeiten das Institut für Informationsverarbeitung (TNT) der Leibniz Universität Hannover sowie das Deutsche Hörzentrum (DHZ) im Bereich Hörforschung gemeinsam an technischen Lösungen.



Jeder kennt es: Man trifft sich mit Freunden in einem Restaurant und trotz der Gespräche anderer Gäste ist es uns leicht möglich uns gegenseitig zu verstehen. Dies ist der sogenannte „Cocktailparty“-Effekt. Mit zwei gesunden Ohren ist es dem Menschen möglich, in Gesprächen seine Aufmerksamkeit, trotz Hintergrundlärms, auf den Gesprächspartner zu konzentrieren. Ermöglicht wird dies maßgeblich durch die Kombination der empfangenen Schallsignale des linken sowie des rechten Ohres. Dadurch können Unterschiede etwa in der Lautstärke oder in der Laufzeit zur Lenkung der Aufmerksamkeit genutzt werden. Diese Unterschiede sind es auch, die es uns gestatten, Schallquellen im Raum zu lokalisieren, sowie die Größe von uns umge-

benden Räumen einzuschätzen. Die letztgenannten Fähigkeiten werden als räumliches Hören bezeichnet.

Was für normalhörende Menschen selbstverständlich ist, stellt ein großes Problem für Menschen mit einem sogenannten Cochlea-Implantat dar. Diese Geräte sind in der Lage, mittels direkter Stimulation der Hörnerven vielen gehörlosen Menschen ein Hörempfinden zurückzugeben. Die wesentlichen Komponenten eines CIs, dargestellt in *Abbildung 1*, sind ein Mikrofon, welches das akustische Signal aufnimmt, ein Signalprozessor, der die Signale des Mikrophons in elektrische Ströme umwandelt, und Anregungselektronik, welche, implantiert in Ohr und Cochlea, den eigentlichen Hörein-

druck erzeugt. Während die Anregungselektronik fest in das Gehör eines CI-Trägers implantiert ist, werden sowohl das Mikrofon als auch der Signalprozessor, die neben der Übertragungsspule den äußeren Teil eines CIs bilden, heutzutage hinter dem Ohr getragen und sind nach Belieben auf- und absetzbar.

Lange Zeit wurden CIs nur unilateral eingesetzt, das heißt, dass nur in einem Ohr ein CI implantiert wurde. Mit dieser Konfiguration ist es grundsätzlich nicht möglich, die Vorteile des binauralen Hörens, also des Hörens mit zwei Ohren, zu nutzen. Deswegen ist es unilateralen CI-Nutzern zum Beispiel nur schwer möglich, die Position von Schallquellen im Raum zu schätzen. Diese Möglichkeit

Abbildung 1

Cochlea-Implantat (CI)

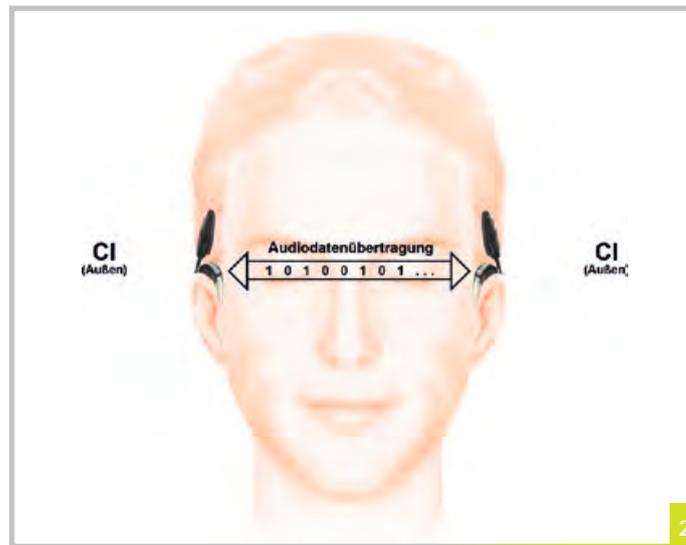
Quelle: <https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/kopf klinik-zentrum/hals-nasen-und-ohrenklinik/ueber-uns/ci-rehabilitationszentrum/das-cochlea-implantat-ci>

eröffnet sich Hörgeschädigten erst mit der Implantierung eines weiteren CIs in das jeweils andere Ohr, man spricht von bilateralen CIs (BiCIs). Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass die Vorteile des binauralen Hörens, welche Normalhörende haben, nicht ohne weiteres bei den BiCI-Nutzern zum Tragen kommen. Es scheint CI-Nutzern nicht wie Normalhörenden möglich zu sein, die Informationen beider Ohren zu verbinden. Die Ursache dafür ist nicht restlos erforscht, es werden unter anderem Mechanismen unterhalb der Ebene des Hirnstamms vermutet, die eine direkte Kommunikation zwischen den Ohren bewerkstelligen, welche im Rahmen der Hörschädigung beeinträchtigt ist.

Während in ruhigen Situationen das Sprachverstehen mit der aktuellen CI-Generation, auch mit unilateralen CIs, problemlos funktioniert und auch die (grobe) Lokalisation mit BiCIs möglich ist, stellen auch mit heutiger Technologie Situationen mit wesentlichem Hintergrundpegel, wie in einem Restaurant oder einer Feier, ein Problem dar, und das Verstehen von Sprache sowie das räumliche Hören wird für CI-Träger schnell unmöglich, bedeutend schneller als für Normalhörende. Dies hat einen negativen Einfluss auf die gesellschaftliche Teilhabe und kann mitunter zu zunehmender Isolation der CI-Träger führen. Ein wesentlicher Teil der Forschung im Bereich der Cochlea-Implantate versucht genau dieses Problem zu beheben.

Im Zusammenhang mit BiCIs können sogenannte binaurale Signalverarbeitungsstrategien (BSS) angewendet werden, welche auditorische Informationen des CIs im linken sowie im rechten Ohr nutzen und verbinden, um das Sprachverstehen insgesamt zu verbes-

sern. Eine einfache Möglichkeit ist etwa, bestehende Asymmetrien hinsichtlich der Hörleistung zwischen den Ohren, welche viele CI-Nutzer aufweisen, auszunutzen. Situationsbedingt können dann die akustischen Signale der Ohren getauscht werden, um das besserhörende Ohr auszunutzen. Kompliziertere BSS bilden wiederum Mechanismen eines intakten Gehörs nach, in welchem es Wechselwirkun-



gen zwischen den Ohren gibt. Durch zusätzliche Signalverarbeitung, welche weitere Teile der Funktion der Ohren nachbildet, kann so das Sprachverstehen und die Lokalisationsfähigkeit verbessert werden.

Unabhängig von der Komplexität der eingesetzten BSS ist diesen gemein, dass Informationen zwischen den beiden Ohren ausgetauscht werden müssen, das heißt es ist eine Datenübertragung, wie in *Abbildung 2*, zwischen den Ohren notwendig. Aus ästhetischen sowie praktischen Gründen ist dazu eine drahtlose Verbindung wünschenswert. Drahtlos können aktuelle CIs bereits zum Beispiel mit Smartphones kommunizieren, wodurch etwa direkt das Audiosignal von Filmen an das CI gestreamt werden kann.

Insbesondere Nutzern von Smartphones wird bewusst sein, dass eine drahtlose Kommunikation energieintensiv ist und sich vergleichsweise schnell im Akkustand bemerkbar macht. Cochlea-Implantate sind batteriebetriebene Geräte, weswegen die zur Verfügung stehende Energie stark limitiert ist. Da der äußere Teil eines CIs möglichst kompakt gebaut sein soll, können keine größeren Energie-

träger verwendet werden. Dies zwingt dazu, die ausgetauschte Datenmenge der BSS möglichst klein zu halten.

Dies kann erreicht werden, in dem diese Daten komprimiert werden. Zwar existieren allgemeine Datenkompressionsalgorithmen, welche in bekannten Programmen wie Winzip zum Einsatz kommen, jedoch sind anwendungsspezifische Algorithmen den allgemeinen Verfahren überlegen, weswegen es zum Beispiel spezialisierte Algorithmen für die Video- sowie Audiokompression gibt. Für BiCIs respektive BSS entwickelte Kompressionsalgorithmen existierten bis dato nicht.

Im Allgemeinen stehen im Bereich der Datenkompression die drei Größen Rekonstruktio-

Abbildung 2  
Zu sehen ist die Kommunikation zwischen bilateralen CIs welche für binaurale Signalverarbeitungsstrategien notwendig ist.  
Quelle: [https://soundlogicmd.com/wp-content/uploads/2016/12/CI\\_Diagram.png](https://soundlogicmd.com/wp-content/uploads/2016/12/CI_Diagram.png) (angepasst)

Als **Codec** (Silbenwort aus englisch coder, deutsch Kodierer, und decoder, deutsch Dekodierer) bezeichnet man ein Algorithmenpaar oder eine Software, die Daten oder Signale digital kodiert und dekodiert. Im Kontext der Datenkompression ist also damit der Verbund eines Kompressions- und eines Dekompressionsalgorithmus bezeichnet.

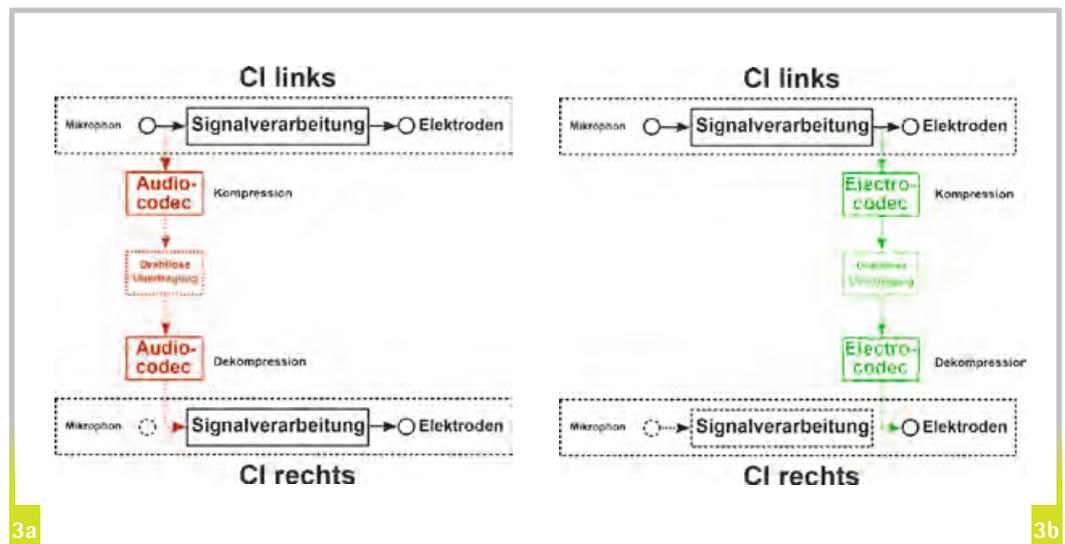
onsgüte, Kompressionsgrad sowie die sogenannte algorithmische Latenz in einer Wechselbeziehung. Eine höhere Rekonstruktionsgüte, ein Begriff, der den Unterschied zwischen den Originaldaten und den dekomprimierten Daten bezeichnet, erfordert üblicherweise einen geringeren Kompressionsgrad oder eine höhere algorithmische Latenz. Der Kompressionsgrad bezeichnet das Verhältnis der

Konventionell würde im Kontext der BSS das Audiosignal, welches vom Mikrophon eines CI aufgenommen wurde, mittels bekannter Audio-kompressionsverfahren komprimiert werden und das komprimierte Signal an das andere CI versendet werden. Dort würde das Signal dekomprimiert und weiterverarbeitet werden. Dieses Vorgehen ist in *Abbildung 3 (a)* zu sehen.

diodesignal, welches das Mikrophon aufnimmt, verwendet. Stattdessen werden die Erregungsmuster, welche ein CI aus den Mikrophonsignalen erzeugt, komprimiert, wie in *Abbildung 3 (b)* dargestellt. Als Erregungsmuster wird die Abfolge von Stromwerten, in die der Signalprozessor eines CI die Audiosignale des Mikrophons transformiert, bezeichnet, mit denen dann die Hörnerven in der Cochlea erregt

Abbildung 3

(a): Konventionell: Ein Audio-codec komprimiert das Mikrophonsignal eines CI, welches anschließend drahtlos an das andere CI versendet wird. Dort wird das Signal dekomprimiert und steht für weitere Signalverarbeitung zur Verfügung. Dargestellt ist nur eine Richtung der Kommunikation. (b): Neu: Unser Codec („Electrocodec“) komprimiert nicht das Mikrophonsignal sondern die Erregungsmuster des CI. Diese können anschließend drahtlos an das andere CI übertragen werden und stehen für weitere Signalverarbeitung zur Verfügung. Dargestellt ist nur eine Richtung der Kommunikation.



unkomprimierten zur komprimierten Datenmenge. Ein geringerer Kompressionsgrad bedeutet, dass eine größere Zahl an Bits für die Darstellung oder Übertragung der Daten benötigt wird. Für eine drahtlose Übertragung dieser Daten ist dies gleichbedeutend mit einer höheren Bitrate. Die algorithmische Latenz bezeichnet die einem Kompressionsalgorithmus intrinsische zeitliche Verzögerung, die etwa durch Warten auf eine gewisse Datenmenge auftreten kann. Eine höhere algorithmische Latenz führt somit zu einer größeren Zeitdauer, die vergeht, bis Daten komprimiert sind und an das andere Ohr versendet werden können. Dies kann in zeitkritischen Anwendungen unerwünscht sein.

Das Deutsche Hörzentrum (DHZ) und das Institut für Informationsverarbeitung (TNT) arbeiten im Bereich der Hörforschung zusammen, um CI-Trägern räumliches Hören sowie verbessertes Sprachverstehen zu ermöglichen. Am TNT wird im Rahmen eines von der deutschen Forschungsgesellschaft geförderten Projekts an einer auf CIs spezialisierten Kompressionstechnik („Electrocodec“) geforscht. Zwar kann die Wechselbeziehung zwischen Rekonstruktionsgüte, Kompressionsgrad sowie algorithmischer Latenz nicht aufgehoben werden, jedoch durch Vernachlässigung von subjektiv nicht wahrnehmbaren Signalbestandteilen ein besserer „Arbeitspunkt“ gefunden werden. Anders als bei üblichen Kompressionsverfahren wird nicht das Au-

werden. In den Erregungsmustern sind in kompakter Form die wesentlichen Informationen des Höreindrucks enthalten und für den CI-Nutzer irrelevante Bestandteile entfernt. Dies macht es attraktiv an dieser Stelle mit einem neuen Kompressionsalgorithmus anzusetzen. Ein erster Entwurf wurde bereits erfolgreich am DHZ an CI-Nutzern getestet. Hierbei zeigte sich unser Verfahren einem modernen Audiocodec als überlegen. Es konnte gleiche Sprachverständlichkeit bei geringerer algorithmischer Latenz und höherem Kompressionsgrad erreicht werden.

Am DHZ wird derzeit unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Waldo Nogueira an einer neuen BSS („BINOM“) geforscht, welche nicht nur das Sprach-

verstehen, sondern auch die Lokalisation von BiCI-Nutzern insbesondere bei signifikantem Hintergrundrauschen verbessern soll. Dazu werden die zwei Signalprozessoren der BiCIs auf spezifische Weise verbunden, um Teile der Signalverarbeitung zu synchronisieren.

Der vom Institut für Informationsverarbeitung entwickelte Kompressionsalgorithmus wird in naher Zukunft zusammen mit BINOM vom DHZ an CI-Probanden getes-

tet werden. Schematisch ist dieses Zusammenwirken in *Abbildung 4 (a) und (b)* zu sehen. Durch die spezialisierte Kompression der Erregungsmuster kann BINOM das Sprachverstehen und die Lokalisation verbessern und gleichzeitig die Batterielaufzeit möglichst wenig beeinträchtigt werden. Diese Kooperation zwischen dem DHZ und dem Institut für Informationsverarbeitung wird in Zukunft hoffentlich dazu beitragen, die Lebensqualität von CI-Nutzern zu verbessern.

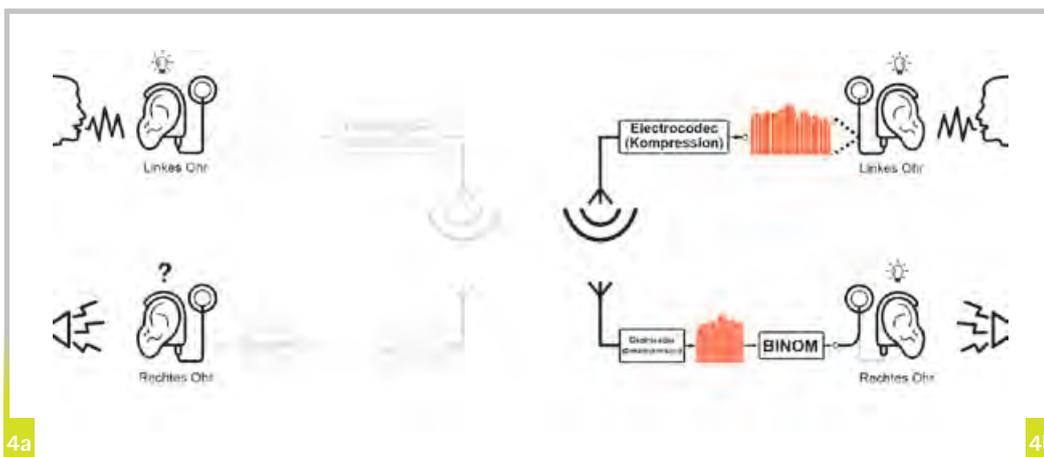


Abbildung 4

(a): Die binaurale Signalverarbeitung („BINOM“) samt Electrocodec ist deaktiviert und das Sprachverstehen ist auf Grund einer Geräuschkulisse vermindert. (b): Durch Übermittlung und Verwendung der Erregungsmuster des linken Ohres an das rechte Ohr kann das Sprachverstehen durch BINOM verbessert werden. Durch die Kompression des Electrocodec ist die notwendige Energie für die drahtlose Übertragung minimal.

Quellen: <https://thenounproject.com/term/idea/147191/>; <https://thenounproject.com/search/?q=noise&ti=1149483> (angepasst); <https://icons8.com/icon/23221/voice>; <https://www.shutterstock.com/image-vector/cybernetics-cochlear-implant-770293921>



#### Prof. Dr.-Ing. Jörn Ostermann

Jahrgang 1962, ist Mitglied des L3S und leitet das Institut für Informationsverarbeitung. Er forscht auf dem Gebiet der Signalverarbeitung mit Fokus auf Video-, Sequenzierungs- und Audiodaten. Kontakt: [ostermann@tnt.uni-hannover.de](mailto:ostermann@tnt.uni-hannover.de)



#### Reemt Hinrichs, M. Sc.

Jahrgang 1986, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Informationsverarbeitung. Er beschäftigt sich mit Datenkompression und dessen Anwendungen im Bereich der Biosignalverarbeitung. Kontakt: [hinrichs@tnt.uni-hannover.de](mailto:hinrichs@tnt.uni-hannover.de)