

**Zeitschrift:** Sonos / Schweizerischer Verband für Gehörlosen- und Hörgeschädigten-Organisationen

**Herausgeber:** Sonos Schweizerischer Verband für Gehörlosen- und Hörgeschädigten-Organisationen

**Band:** 98 (2004)

**Heft:** 1

**Artikel:** Musik hören mit dem Cochlea Implantat

**Autor:** Büchler, Michael

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-923736>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Musik hören mit dem Cochlea Implantat

Dr. sc. techn. Michael Büchler, ORL-Klinik, UniversitätsSpital Zürich

**Die heute üblichen Codierungsstrategien in Cochlea Implantaten (CI) sind in erster Linie für ein möglichst gutes Sprachverständnis optimiert. Musik wird mit diesen Strategien jedoch bekanntlich nur unbefriedigend verarbeitet und dargeboten. Welche Verbesserungsmöglichkeiten für das Musikhören mit CI sind derzeit denkbar? Dieser Frage wird im Folgenden mit einem Überblick über die aktuellen Probleme und möglichen Alternativen nachgegangen.**

"Das Ohr ist das Tor zur Seele", sagt der Volksmund, und Musik ist wohl der Schlüssel, der dieses Tor zu öffnen vermag. Seit je rätseln die Philosophen über die herausragende und intensive Wirkung von Musik auf den Menschen. Schon Pythagoras erforschte um 500 v. Chr. die Harmonie von Tönen und setzte Musik zur Vorbeugung und Heilung psychischer und körperlicher Krankheiten ein.

Physikalisch betrachtet haben zwar Musik und Sprache ähnliche Eigenschaften. Sie sind hochgradig organisierte Kombinationen von Tonhöhe und Klangfarbe, Akzenten und Rhythmen, deren Zusammensetzung gewissen Regeln folgt. Die Wichtigkeit dieser Attribute für die Wahrnehmung kann jedoch für Sprache und Musik sehr unterschiedlich sein. Sprache kann zum Beispiel auch noch verstanden werden, wenn die Tonhöhe nicht richtig repräsentiert wird; allenfalls wird die Sprechmelodie (die Prosodie) nicht richtig übertragen. Es ist dann zum Beispiel nicht klar, ob ein Satz als Frage, Feststellung oder Bitte formuliert wird, oder ob es sich um eine Sprecherin oder einen Sprecher handelt. Wenn die Tonhöhe jedoch bei Musik nicht richtig wiedergegeben wird, so wird die Melodie weitgehend zerstört, und das Zuhören ist kaum mehr ein grosser Genuss. Mit andern Worten, das wichtigste Ziel bei Sprache ist zu verstehen, bei Musik aber sich daran zu erfreuen. Das soll nicht heissen, dass Spra-

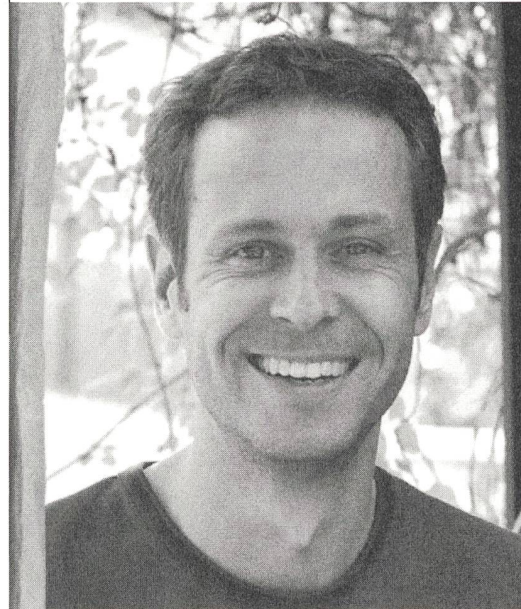
che nicht angenehm tönen soll, aber es zeigt, dass die Codierung von Musik im CI eine grosse Herausforderung ist.

Wie eingangs erwähnt, ist die Verarbeitung von Musik im CI zur Zeit nicht befriedigend gelöst. Bei Umfragen zeigte sich, dass weniger als ein Drittel der CI-Trägerinnen und -Träger Musikhören mit dem CI als angenehm und natürlich empfindet, und nur rund die Hälfte regelmässig Musik hört. Auch gaben nur 30 % der Befragten an, dass sie Frequenzen und Melodien noch gut unterscheiden können, dagegen 90 % fanden, dass sie den Rhythmus in der Musik recht gut wahrnehmen.

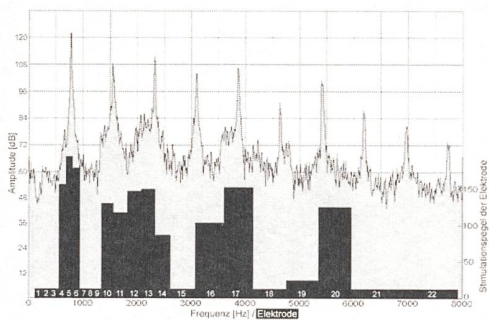
Diese Aussagen decken sich mit einer theoretischen Analyse der derzeit verwendeten Codierungsstrategien und des zu übertragenden Musiksignals. Die drei wichtigsten Attribute von Musik sind Lautheit, Klangfarbe und Tonhöhe. Diese drei Attribute werden im Folgenden kurz daraufhin betrachtet, wie sie mit dem CI dargeboten werden.

## Übertragung der Lautheit, Klangfarbe und Tonhöhe im CI

Klare Schwankungen in der Lautheit, das heisst Takt, Rhythmus und Pausen, werden bereits hinreichend übertragen. Etliche CI-Träger hören sich deshalb auch vor allem Musikstücke an, die eine ausgeprägte rhythmische Struktur haben. Der Dynamikbereich des Pegels im CI ist jedoch für Sprache optimiert (etwa 40 dB), während vergleichsweise bei einem klassischen Konzert viel grössere Pegelunterschiede möglich sind (bis zu 60 dB, also etwa 10-mal grösser als bei Sprache). Das CI komprimiert diese Signale, das heisst, die lauten Pegel werden leiser gemacht; ein Vorgang, der auch bei konventionellen Hörgeräten oder zum Beispiel bei Radio und Fernsehen üblich ist. Auch dort ist der Pegelbereich bei der Übertragung eingeschränkt. Beim CI kann dies zur Folge haben, dass sehr leise Passagen in einem Konzert gar nicht gehört werden, während bei den lauten Passagen dauernd viele Elektroden gleich-



Michael Büchler



Figur 1: Frequenzspektrum und stimulierte Elektroden (eines Nucleus Ci24 Implantats) für den Ton "g" einer Blockflöte. Im Spektrum (grau) sind in regelmässigen Abständen deutliche Spitzen vorhanden, die den Grundton und die harmonischen Obertöne repräsentieren. Die Elektroden (schwarz) stimulieren zwar bei der Grundfrequenz (784 Hz) und ungefähr im Bereich der ersten vier Obertöne. Durch die beschränkte Anzahl der Elektroden ist jedoch die Frequenzauflösung stark verringert und reicht nicht, um die harmonische Struktur des Tons zu erhalten, was Auswirkungen auf die wahrgenommene Tonhöhe und Klangfarbe hat.

zeitig stimuliert werden und dadurch ein "Klangbrei" entsteht.

Die Klangfarbe, oder das Timbre ist das Attribut, mit dem wir Instrumente oder Stimmen unterscheiden. Dafür verantwortlich sind unter anderem die Anzahl und Stärke der Obertöne (harmonische), die ein Instrument produziert, sowie deren zeitlicher Verlauf beim Anspielen und Ausklingen eines Tons. Die einzelnen Obertöne eines Instruments bilden zusammen das spektrale Profil. Die Darstellung dieses Profils wird im CI durch die Anzahl Elektroden beschränkt. Ausserdem kann es sein, dass das Anspielen und Ausklingen eines Tones nicht perfekt wiedergegeben wird, was wiederum auf die oben beschriebene eingeschränkte Dynamik zurück zu führen ist.

Die Tonhöhe oder der Pitch beschreibt, wie Klänge auf einer Tonleiter von tief nach hoch eingeordnet werden können. Die Wahrnehmung der Tonhöhe ist ziemlich komplex; sie wird stark beeinflusst durch die Verteilung der Obertöne im Signal. Auch hier ist es die Anzahl Elektroden, die die Darstellung der Tonhöhe beschränkt. Während aber die Grobstruktur im Spektrum, eben das spektrale Profil, trotz der beschränkten Anzahl Elektroden noch einigermaßen gut übertragen wird, sind die Auswirkungen auf die Tonhöhen-Wahrnehmung viel gravierender (Figur 1). Die Frequenzen der Obertöne stehen bekanntlich in einem harmonischen Verhältnis zur Grundfrequenz (1:2, 1:3, 1:4, ...). Durch die eingeschränkte Frequenzauflösung im CI wird diese harmonische Struktur zerstört, und im Extremfall wird für zwei unterschiedliche Obertöne die gleiche Elektrode stimuliert. Ausserdem wird die ganze Frequenzskala verschoben, das heisst, man stimuliert eine tiefe Frequenz an einem Ort in der Cochlea, der eigentlich für eine höhere Frequenz bestimmt ist. Ein Grund für diese Frequenzverschiebung ist, dass man bei Sprache bewusst möglichst viel Information übertragen will, auch wenn damit die Sprache am Anfang etwas hochfrequent klingen mag. Erfahrungsgemäss gewöhnt man sich für Sprache recht gut an die Fre-

quenzverschiebung. Ob dies auch für Musik gilt, ist gegenwärtig unsicher.

## Mögliche Alternativen für Musik

Leider sind kurzfristig keine Quantensprünge zu erwarten. Musik bleibt im Moment die grösste Herausforderung bei der Weiterentwicklung von CIs. Mittel- bis langfristig sind Verbesserungen vor allem bei der Codierung der Lautheit und der Tonhöhe denkbar, durch Anpassungen einerseits im Sprachprozessor, andererseits im Implantat.

Was die Lautheit betrifft, weiss man heute, dass bei elektrischer Stimulation andere Summationseffekte der Lautheit stattfinden als bei akustischer Stimulation. Das heisst, werden viele Elektroden gleichzeitig stimuliert, so hat dies eine andere (wahr)genommene Lautheit zur Folge, als wenn die gleichen Gebiete in der Cochlea akustisch stimuliert worden wären. Bei der Übertragung der Lautheit ist deshalb eine andere Vorverarbeitung des Signals als bis anhin erwünscht, was insbesondere für Signale mit hoher Dynamik, wie Musik, Vorteile bringen soll.

Für eine verbesserte Codierung der Tonhöhe ist vor allem eine grössere Anzahl Elektroden vorstellbar. An einem internationalen CI-Kongress in Kalifornien wurde kürzlich die Frage diskutiert, wie viele Frequenzkanäle (das heisst im Endeffekt Elektroden) denn überhaupt nötig sind für die befriedigende Übertragung von verschiedenen Signalen. Für Sprache in Ruhe ging man von einem Minimum von 4 Kanälen aus. Bei Sprache in lärmiger Umgebung verdoppelt sich diese Zahl mindestens und steigt weiter an für einfache Musik, bis man für komplexe Musik bei mindestens 64 Kanälen anlangt, um einen einwandfreien Klangeindruck zu erzeugen.

Der Anzahl Elektroden im Implantat sind jedoch vorderhand physikalische Grenzen gesetzt. Macht man die Elektroden noch kleiner als bisher, so kann durch die dabei entstehenden hohen Stromdichten das

umliegende Gewebe angegriffen werden. Man ist im Moment daran zu forschen, wie dieses Problem gelöst werden kann. Eine Alternative, die auch in der nächsten Generation von Implantaten zum Einsatz kommen wird, ist das gleichzeitige Stimulieren von zwei benachbarten Elektroden, um damit sozusagen eine dazwischen liegende virtuelle Elektrode zu schaffen. Damit könnte sich im Idealfall die Anzahl Kanäle verdoppeln lassen.

Eine weitere Verbesserung bei der Codierung der Tonhöhe könnte sich durch einen Ausgleich der erwähnten Frequenzverschiebung ergeben, das heisst, dass für eine gegebene Frequenz möglichst exakt die Elektrode stimuliert wird, deren Ort in der Cochlea physiologisch für diese Frequenz vorgesehen ist. Bei Versuchen mit dieser Stimulationsart im Labor ergab sich bis anhin keine klare Aussage: Einige Probanden fanden die neue Einstellung harmonischer und differenzierter, andere jedoch fanden sie zu grell. Die Schwierigkeit bei solchen Laborversuchen indessen ist, dass die Probanden praktisch keine Angewöhnungszeit an die neue Einstellung haben. Damit sind wir bei einer grundsätzlichen Frage: Wie viel Adaptionszeit braucht es für eine neue Einstellung, und kann man überhaupt umlernen?

### Neuroplastizität – Wie flexibel ist das Gehirn?

Es ist bekannt, dass gewisse Lernvorgänge nur in der Kindheit möglich sind. Das akzentfreie Erlernen einer Sprache zum Beispiel ist als Erwachsener praktisch unmöglich. Andererseits können sich Darstellungen im Gehirn, wie zum Beispiel eine "Abbildung" der Tonleiter, langsam während Monaten und Jahren verändern, wenn sich die Wahrnehmung der Sinne ändert. Man kann sich deshalb fragen, ob Ertaubte so umlernen können, dass sie Musik durchs CI wieder als harmonisch empfinden, oder ob nur Kinder, die mit dem CI aufwachsen, Musik als angenehm und natürlich empfinden können.

Die Erfahrungen mit Sprache zeigen klar, dass bei den meisten ertaubten CI-Trägern einige Monate nach der Implantation ein Umlernen stattgefunden hat; man kann dies mit den bekannten Sprachtests belegen. Die guten Fortschritte sind jedoch nicht einfach von selbst erzielt worden, sondern durch langes, geduldiges Training. Nun ist es verständlich, dass man für Musik nicht den gleichen Aufwand treiben will, vor allem, wenn sie am Anfang so schrecklich tönt. Die Vermutung liegt jedoch nahe, dass eine bessere Angewöhnung an Musik stattfindet, wenn man sich ihr immer und immer wieder aussetzt, so dass die durchs CI unharmonisch gemachten und frequenzverschobenen Signale im Gehirn nach und nach neu verknüpft werden. Berichte von CI-Trägern, die sich selbst intensiv mit Musik trainierten, bestätigen diese Vermutung.

### Fazit

Musik hören mit dem CI ist und bleibt eine Knacknuss. Kurzfristig sind keine grossen Fortschritte zu erwarten. Mittelfristig sind Verbesserungen denkbar im Bereich des Sprachprozessors, wie verbessertes Lautheitsmodell, veränderte Abbildung der Frequenzen auf die Elektroden oder höhere zeitliche Auflösung, langfristig im Bereich des Implantats, wie virtuelle Elektroden oder verändertes Elektrodendesign.

In der Zwischenzeit kann nur jeder CI-Trägerin und jedem CI-Träger fortwährendes Training ans Herz gelegt werden, das bedeutet, regelmässig Musik zu hören, um sich nach und nach mit dem veränderten Klang anzufreunden. Dabei ist es empfehlenswert, nicht gerade mit einem ganzen Sinfonieorchester zu beginnen, sondern mit einfacher, allenfalls bekannter Musik, wie mit einzelnen Instrumenten oder, je nach Vorliebe, mit Stücken von ausgeprägter rhythmischer Struktur. Ausserdem ist es ratsam, die Musik in einem ruhigen Raum ohne grosses Echo oder direkt über den Audioeingang zu hören, und nicht zu laut zu stellen.

### Literatur

Manfred Spitzer: Musik im Kopf. Hören, Musizieren, Verstehen und Erleben im neuronalen Netzwerk. Schattauer Verlag, 2002.