

# Musik-Verarbeitung von Normalhörenden und CI-Trägern verglichen anhand von kortikalen Potentialen

Michael Büchler<sup>1</sup>, Pascale Sandmann<sup>2</sup>, Waikong Lai<sup>1</sup>, Norbert Dillier<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitätsspital Zürich, ORL-Klinik, CH-8091 Zürich

<sup>2</sup>Universität Zürich, Psychologisches Institut, Lehrstuhl für Neuropsychologie, CH-8050 Zürich

**Schlüsselwörter:** Cochlea-Implantat, zentrale Verarbeitung, Neuroplastizität, kortikale Potentiale

## Einleitung

Obwohl Sprachprozessoren für Cochlea-Implantate (CI) wichtige Aspekte von Musiksignalen wie Melodie oder Timbre nur ungenügend repräsentieren, hören trotzdem viele CI-Versorgte regelmässig Musik. Um die Unterschiede in der Musikwahrnehmung zwischen Normalhörenden und CI-Versorgten genauer zu untersuchen, wurden elektrophysiologische Korrelate (auditorisch evozierte Potentiale) der Musik-Verarbeitung bei beiden Gruppen analysiert. Dabei interessierten folgende Fragen: (1) Können bei kortikalen Messungen an CI-Versorgten die Artefakte genügend unterdrückt werden, und welche Arten von Stimuli eignen sich dazu am besten? (2) Gibt es Unterschiede in den räumlichen und zeitlichen Potentialmustern für Normalhörende und CI-Versorgte?

## Methodik

Durch die CI-Stimulation sind die evozierten Potentiale in vielen Kanälen durch grosse Artefakte überdeckt. Eine Quellenlokalisierung und topografische Analyse ist dadurch begrenzt. Eine Möglichkeit, diesem Problem zu begegnen, besteht darin, die Stimulation und die Messung zeitlich zu trennen, das heisst kurze Stimuli (Klicks) oder die Analyse der späten Potentiale (P300). Eine andere Möglichkeit ist eine Nachverarbeitung der Messdaten, das heisst die Unterdrückung der CI-Artefakte durch eine ICA (Independent Component Analysis).

In dieser ersten Studie wurden beide Möglichkeiten ausgenutzt: Den Probanden wurden kurze Töne vorgespielt. Die Töne bestanden aus zwei Sinuskomponenten, die entweder einen Halbton oder 1.5 Oktaven auseinander lagen, die Länge war 150 ms. Natürlich kann man bei so kurzen Stimuli noch nicht von Musik sprechen; das Ziel dieser Studie war es aber primär, die Methodik der EEG-Messung an CI-Versorgten in den Griff zu bekommen. Der Frequenzabstand der Töne wurde sehr gross gewählt, damit auch CI-Versorgte ihn gut hören können. Der Frequenzbereich war A4 (440 Hz) – E6 (1319 Hz). Eines der beiden Paare war jeweils der Standardton (80% der Stimuli), das andere der Deviant (20% der Stimuli). Die Aufgabe war es, den Devianten zu erkennen und dies durch einen Mausclick mit der rechten Hand zu bestätigen (aktives Oddball-Paradigma). In einer Kontrollbedingung wurden die gleichen Töne vorgespielt, und es musste nur passiv zugehört werden. Gleichzeitig wurden die kortikalen Potentiale in bis zu 64 Kanälen aufgezeichnet (je nach Lage der Spule und des Prozessors wurden bei den CI-Versorgten eine oder mehrere Messelektroden weggelassen). Die Stimulation erfolgte in beiden Gruppen nur monaural, je zur Hälfte links und rechts. Bei den Normalhörenden erfolgte die Stimulation über Kopfhörer, bei den CI-Versorgten über den Audioeingang des Sprachprozessors. Der Pegel der Töne wurde mittels einer Lautheitsskalierung auf einen lauten, aber angenehmen Pegel eingestellt.

## Versuchspersonen

Je zwölf CI-Versorgte und 12 Normalhörende nahmen an der Studie teil. Alle CI-Träger waren mit dem Nucleus-System implantiert, fünf rechts, sieben links. Die Normalhörenden wurden gematched nach Geschlecht, Alter und Musikerfahrung ausgewählt, und sie wurden jeweils auf der gleichen Seite wie die CI-Versorgten stimuliert. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die CI-Versorgten. In Bezug auf Ätiologie und Ertaubungsverlauf war die Gruppe ziemlich heterogen.

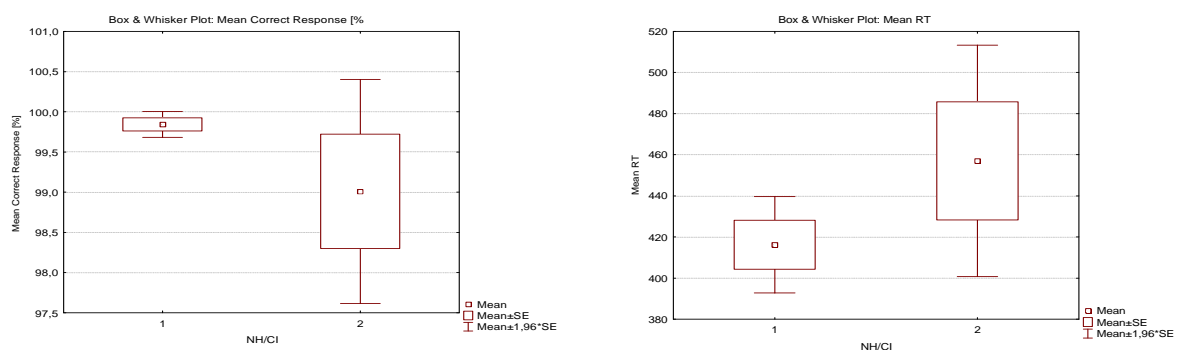
Subj No	Gender	Age	Processor	Etiology	Age of Onset	Time of CI use [years]	Ear	Freiburger Mono-syllables [%]
1	male	50	Freedom	auditory trauma	20, progressive	3	left	90
2	male	21	Esprit3G-22	unknown	congenital deaf	12	right	55
3	female	49	Freedom	unknown	progressive since early youth	5	right	65
4	female	54	Freedom	unknown	progr. since early childhood	2	left	90
5	female	28	Esprit3G	unknown	congenital deaf	7	right	10
6	female	60	Esprit3G	hereditary	progressive since age 35	6	left	45

7	female	47	Freedom	hereditary	progr. since early childhood	7	left	55
8	female	55	Esprit3G	hereditary	progr. since early childhood	12	right	90
9	female	21	Esprit3G	unknown	progr. since early childhood	5	left	85
10	female	47	Esprit3G	Morbus Menière	progressive since early youth	6	left	70
11	female	53	Esprit3G	Meningitis	2, progressive	6	right	55
12	female	51	Freedom	unknown	progressive since early youth	2	left	80

Tabelle 1: Eine Übersicht über die Versuchspersonen mit CI.

## Resultate und Diskussion I: Verhaltensdaten

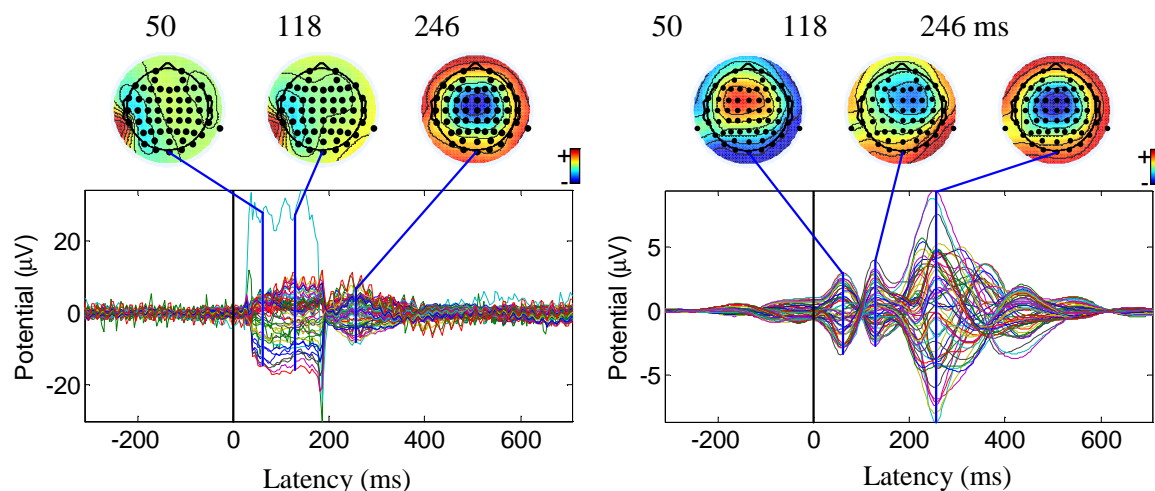
Figur 1 zeigt die Anzahl richtiger Antworten und die Reaktionszeiten. Beide Gruppen erreichten fast 100 % und hatten ähnlich Reaktionszeiten, wobei die CI-Versorgten teilweise etwas schlechter abschnitten. Im t-Test sind die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen aber nicht signifikant. Es ist auch nicht so, dass durch längeres Überlegen die Antwort besser wurde, sondern die Daten reflektieren eine leichte Unsicherheit bei einigen CI-Versorgten.



Figur 1: Links die richtigen Antworten und rechts die Reaktionszeiten der Normalhörenden (1) und der CI-Versorgten (2). Die Unterschiede sind nicht signifikant ( $p=0.26$  und  $p=0.20$ ).

## Resultate und Diskussion II: Elektrophysiologische Messdaten

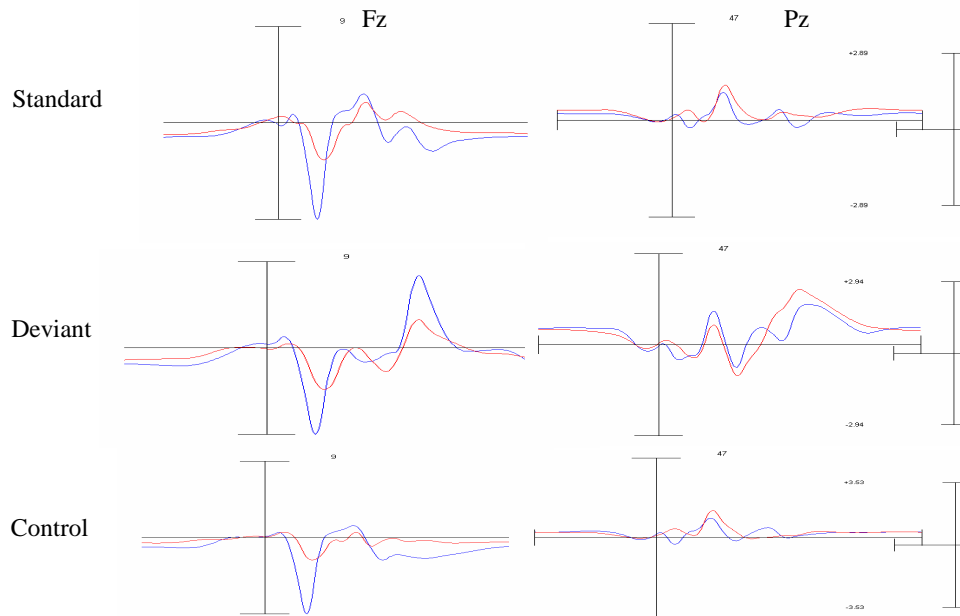
Bei den CI-Versorgten zeigten sich die erwarteten Artefakte der CI-Stimulation. Figur 2 zeigt die Messdaten für einen CI-Versorgten, links vor und rechts nach der ICA. Die Artefakte sind vor der ICA in einigen Kanälen um ein Vielfaches grösser als die Potentiale. Sie beginnen einige Millisekunden nach Stimulusbeginn und enden je nach Prozessor 10-30 ms nach Stimulusende. Die P300 liegt damit ausserhalb der Artefakte. Die topografischen Karten zum Zeitpunkt der P1 (50 ms) und N1 (118 ms) zeigen deutlich, wie sich der Artefaktsschatten praktisch über alle Elektroden legt. Nach der ICA sind die Artefakte praktisch verschwunden. Somit können auch die „frühen“ späten Potentiale (z.B. N1) analysiert werden. Ausserdem lässt dies den Schluss zu, dass in einer Folgestudie auch längere Stimuli möglich wären.



Figur 2: Messdaten für einen CI-Versorgten vor (links) und nach (rechts) der Artefaktunterdrückung durch eine ICA. Die Artefakte sind nach der ICA praktisch verschwunden.

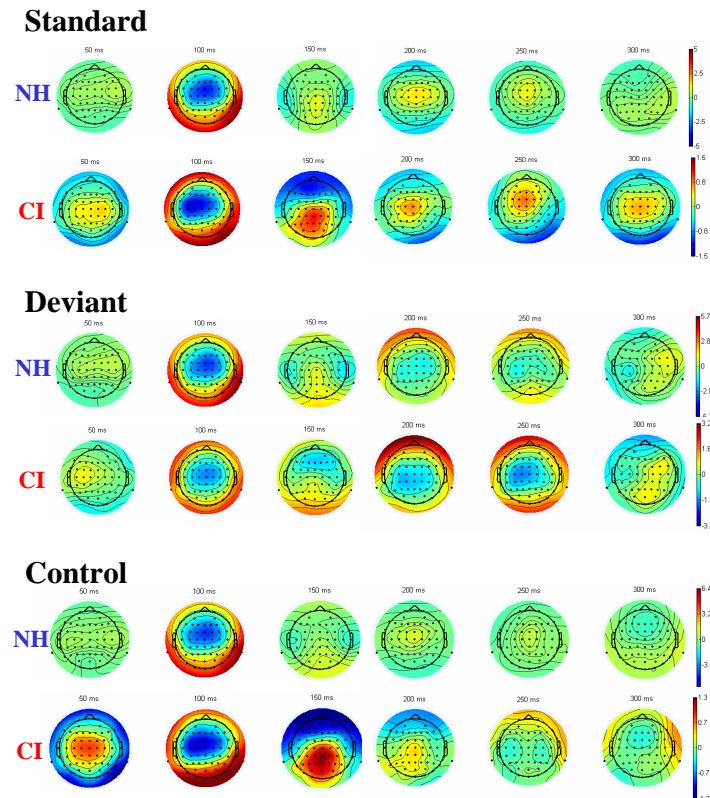
In Figur 3 sind die Mittelwerte über alle Normalhörende (blau) und CI-Versorgte (rot) für die fronto-zentrale Elektrode Fz und die parieto-zentrale Elektrode Pz abgebildet. Eine statistische Auswertung der frontalen,

zentralen und parietalen Regionen zeigt signifikant und konditionsunabhängig grössere N1-Amplituden bei den Normalhörenden in den fronto-zentralen Regionen ( $p < 0.001$ ). Die P2-Amplituden und -Latenzen unterscheiden sich nicht signifikant. Bei den Devianten zeigt sich die typische P3, die sich aber weder in der Amplitude noch in der Latenz signifikant unterscheidet zwischen den beiden Gruppen. Bei den CI-Versorgten ist die P3-Amplitude jedoch negativ korreliert mit Länge der Schwerhörigkeit vor der Implantation ( $p = 0.002$ ). Es ist aber nicht auszuschliessen, dass in den P3-Antworten bereits ein motorischer Anteil steckt, der vom Mausclick her rührt.



Figur 3: Mittelwerte über alle Normalhörende (blau) und CI-Versorgte (rot) für Fz und Pz.

Figur 4 zeigt die Topografien zu verschiedenen Zeitpunkten für die beiden Gruppen und die drei Bedingungen. Bei den Normalhörenden zeigt sich bei 150 ms der typische T-Komplex, also eine radiale Komponente, die sich in den temporalen Elektroden ausprägt. Die Annahme ist, dass der Generator des T-Komplexes im sekundären auditorischen Kortex liegt, in welchem auditorische Objekte synthetisiert werden (Ponton et al., 2002). Bei den CI-Versorgten zeigt sich jedoch dieser T-Komplex nicht, was ein Hinweis ist auf Plastizität im sekundären auditorischen Kortex. Was dies konkret bedeutet, ist derzeit unklar.



Figur 4: Topografische Mittelwerte über alle Normalhörende (blau) und CI-Versorgte (rot) für Fz und Pz.

## Zusammenfassung

Durch eine ICA können die Artefakte der CI-Stimulation zuverlässig unterdrückt werden, was ein detailliertes Studium der evozierten Potentiale bei CI-Versorgten über den gesamten Schädel ermöglicht. Somit können in einer Folgestudie auch längere Stimuli verwendet werden, die mehr richtiger Musik entsprechen.

Die CI-Versorgten zeigen in dieser Studie kleinere N1-Amplituden als die Normalhörenden. Die Topographien der beiden Gruppen sind im N1- und P2-Zeitfenster korreliert, aber die CI-Versorgten zeigen keinen T-Komplex (d.h. keine radiale Komponente), was auf plastische Veränderungen im sekundären auditorischen Kortex hinweist.

## Literatur

Ponton, C., Eggermont, J. J., Khosla, D., Kwong, B., and Don, M. (2002). "Maturation of human central auditory system activity: separating auditory evoked potentials by dipole source modeling," *Clin Neurophysiol* **113**(3), 407-420.

Diese Arbeit wurde unterstützt durch den Forschungskredit 320000-110043 des Schweizerischen Nationalfonds.