

Mechanismen der Lokalisation mit bilateralem Cochlea Implantat

Bernhard Seeber, Hugo Fastl, Uwe Baumann+

AG Technische Akustik, MMK, TU München, 80290 München, Email: seeber@ei.tum.de
+ Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke, Klinikum der Universität München

1 Einleitung

Cochlea Implantate (CI) reizen die Spiralganglienzellen des Hörnerven in wenigen, breiten Bereichen mit zeitlich diskreten Stromimpulsen, deren Amplitude quantisiert ist. Dies führt zu einer gegenüber Normalhörenden verschlechterten Zeit-, Frequenz- und Intensitätsauflösung. Trotz dieses hohen Informationsverlustes können bilateral Cochlea-implantierte Probanden akustische Signale mit hoher Genauigkeit orten [3]. Ziel der hier vorgestellten Studie ist es, die zugrunde liegenden Lokalisationsmerkmale zu bestimmen.

Normalhörende sind in der Lage, die interaurale Zeitdifferenz (ITD) des Schalls zur Lokalisation zu nutzen. Weiterhin können die spektralen Änderungen ausgewertet werden, die u.a. durch den Kopfschatten bei hohen Frequenzen auftreten. Für tieffrequente und breitbandige Trägerschalle dominiert die zeitliche Information, bei hochfrequentem Träger die Auswertung interauraler Pegeldifferenzen (ILD). Monaurale spektrale Information kann eingeschränkt zur Lokalisation genutzt werden.

Die hier vorgestellte Studie untersucht unter Verwendung spezieller Testschalle, ob die Auswertung von ILD- oder ITD-Information bei bilateral CI-versorgten Patienten dominiert. Um kleine Unterschiede der Lokalisationsleistung erfassen zu können, wird eine hochgenaue Lichtzeigermethode verwendet [2]. An der Studie nahm ein bilateraler CI-Patient mit besonders hoher Lokalisationsfähigkeit teil [3].

2 Methoden

Die Lokalisationsfähigkeit wird mit einer Lichtzeigermethode untersucht, bei welcher der Proband die Position eines horizontal wandernden Lichtpunktes auf die wahrgenommene Position der Schallquelle mit Hilfe eines Trackballs einstellt [2, 3]. Die Testschalle werden von 11 verdeckten Lautsprechern im völlig abgedunkelten reflexionsarmen Raum dargeboten, die sich im 10° -Abstand von -50° links bis $+50^\circ$ rechts auf Ohrhöhe in einem Abstand von 1,95 m befinden. In jedem Versuch werden diese 11 Richtungen 10-mal in zufälliger Reihenfolge präsentiert. Der Wiedergabepegel wird zufällig in 2 dB-Schritten von 61–69 dB SPL variiert, was die Auswertung monauraler Gesamt-Pegelinformation erschwert. Folgende Schalle werden verwendet:

BBR, gepulst ist ein gepulstes Breitbandrauschen (BBR) (125 Hz–20 kHz, 5 Pulse, Pulsdauer 30 ms, Pausendauer 70 ms). Der Schall stellt die größtmögliche Lokalisationsinformation zur Verfügung: die ITD und ILD im gesamten hörbaren Frequenzbereich, die zeitliche Hüllkurven-ITD und das monaurale Spektrum.

BBR-CI, 200 ms Fl. ist ein BBR mit einer langsamen Änderung der Hüllkurve am Schallanfang und -ende, wodurch die Lokalisationsinformation der Gesamt-Hüllkurve

Versuch	Fehler abs. [°]	Quartile [°]	Regression Faktor/Konst.
1. CI, rechts	30,0	25,7	0,49 –8,6
2. CI, links	17,7	15,2	0,46 6,0
beide CI			
BBR, gepulst	8,5	3,2	0,82 –6,5
BBR-CI, 200 ms Fl.	4,5	3,9	0,97 3,4
TPR, 200 ms Fl.	31,1	22,4	0,03 –7,0
TPR, gepulst	30,8	14,3	0,05 –3,6
HPR, scrambled	9,9	7,6	0,71 2,3

Tab. 1: Übersicht über die Lokalisierungsergebnisse.

reduziert wird. Der spektrale Bereich des Rauschens entspricht dem vom Sprachprozessor des CI-Systems verarbeiteten Frequenzbereich (Gauß'sches weißes Rauschen 300 Hz – 5,5 kHz, 500 ms Dauer, 200 ms gaußf. Flanken). Im Vergleich zu „BBR, gepulst“ sollte „BBR-CI, 200 ms Fl.“ nicht über Hüllkurveninformation lokalisierbar sein, sondern nur über spektrale Information, sowie die ITD bei tiefen Frequenzen.

TPR-CI, 200 ms Fl. ist ein Tiefpaßrauschen (TPR) im Frequenzbereich der unteren beiden CI-Kanäle (Gauß'sches weißes Rauschen 300–486 Hz, 500 ms Dauer, 200 ms gaußf. Flanken). Der Kopfschatten bewirkt in diesem Frequenzbereich noch keine auswertbare ILD. Da die Hüllkurve durch die langsame Änderung auch kaum Information zur Verfügung stellt, ist dieser Schall nur über die ITD lokalisierbar.

TPR, gepulst ist ein gepulstes TPR, das dadurch auch über die Hüllkurven-ITD lokalisierbar ist (Rauschen 300–486 Hz, 500 ms Dauer, 10 ms Pulsdauer, 40 ms Pause, 1 ms gaußf. Flanken, Variation des spektralen Dichtepiegels von maximal 40 dB zwischen CI-Kanälen [300, 381, 486] Hz, vgl. „spectral scrambling“ [4]).

HPR, scrambled ist ein Hochpaßrauschen im Frequenzbereich der 3 oberen Kanäle des CI's (Rauschen 2644–5547 Hz, 500 ms Dauer, 200 ms gaußf. Flanken, „spectral scrambling“ [4] 40 dB zwischen [2644, 3377, 4360, 5547] Hz). Monaurale spektrale Information kann mit diesem Schall durch die Pegeländerung in den Verarbeitungskanälen des CI und den fehlenden „tieffrequenten Anker“ kaum genutzt werden. Die langsame Hüllkurvenänderung erschwert die Auswertung der ITD, so daß der Schall „HPR, scrambled“ überwiegend über ILD lokalisierbar ist.

An den Versuchen nahm ein erfahrener bilateral implantierter Patient teil (männlich, 50 Jahre, 1. CI seit 4,2 Jahren, 2. CI seit 3,2 Jahren, beidseitig MED-EL Combi 40+ mit TEMPO+-Prozessor, Ertaubungsursache Otosklerose) [3].

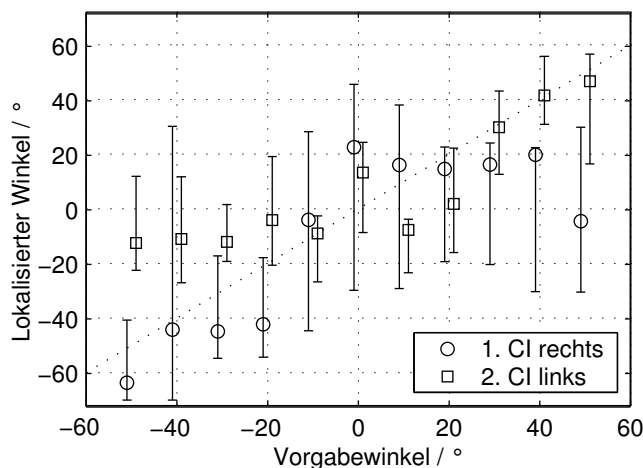


Abb. 1: Lokalisierungsergebnisse eines gepulsten, breitbandigen Rauschens (BBR, gepulst) mit jeweils nur einem CI. Darstellung als Mediane und Quartile.

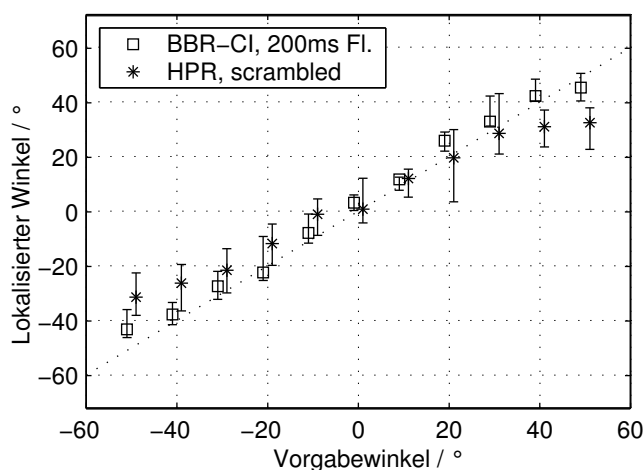


Abb. 2: Lokalisation mit bilateralem CI eines Breitband-Rauschens mit langsamer Hüllkurvenänderung (BBR, 200 ms FI., □), sowie eines Hochpaß-Rauschens (HPR, scrambled, *).

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Lokalisierungsergebnisse des Schalls „BBR, gepulst“ mit jeweils nur einem CI sind in Abb. 1 und Tab. 1 gegeben. Bei Versorgung mit nur einem CI steht dem Patienten nur monaurale spektrale Information zur Verfügung. Diese ist jedoch ausreichend, um grob die Seite des Schalleinfalls zu bestimmen.

Werden beide CI verwendet, so kann der gepulste, breitbandige Schall „BBR, gepulst“ ausgezeichnet lokalisiert werden (Tabelle 1, vgl. [3]). Der ebenfalls breitbandige Schall „BBR-CI, 200 ms FI.“ weist eine verminderte zeitliche Hüllkurveninformation auf. Dennoch kann er nahezu unverändert gut lokalisiert werden (Abb. 2, □). Die Gesamthüllkurve des Schallsignals scheint demnach nicht zur Lokalisation beizutragen.

Bei tiefpaß-geländerten Testschallen fehlen ILD, weil die durch den Schädel bewirkten Abschattungseffekte nicht auftreten. Somit stehen nur ITD zur Lokalisation zur Verfügung. Ein Tiefpaßrauschen (TPR) mit langsamer Hüllkurvenänderung, „TPR, 200 ms FI.“, weist überwiegend nur ITD-Information für eine direkte, periodenbasierte Auswertung auf. Es kann nicht lokalisiert werden (Abb. 3, □). Auch

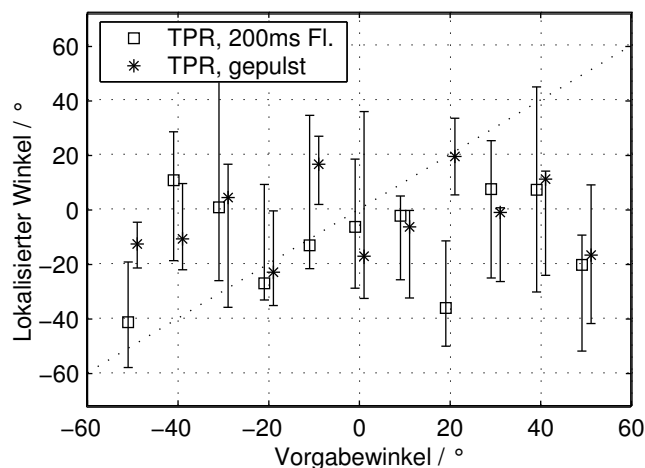


Abb. 3: Wie Abb. 2, jedoch für Tiefpaß-Rauschen mit langsamer Hüllkurvenänderung (TPR, 200 ms FI., □) und mit gepulster Hüllkurve (TPR, gepulst, *).

wenn der Hüllkurve durch Pulsation ITD-Information verliehen wird, kann der Tiefpaß-Schall nicht lokalisiert werden (Abb. 3, *). Daraus läßt sich eindeutig schließen, daß ITD nicht zur Lokalisation von Tiefpaßschallen beiträgt. Lawson *et al.* [1] untersuchten die ITD-Detektionsschwellen des Patienten der vorliegenden Studie und stellten für wenige Elektrodenkombinationen eine Schwelle besser $150\mu s$ fest, entsprechend einer Winkelauflösung von etwa 18° . Für viele Elektrodenkombinationen waren die ITD-Schwellen jedoch um $500\mu s$, so daß die gefundene Lokalisationsgenauigkeit kaum über die Auswertung von ITD-Information erklärt werden kann. Da die ausgezeichnete Lokalisationsfähigkeit mit breitbandigem Träger ebenfalls unabhängig von zeitlicher Hüllkurveninformation scheint („BBR, gepulst“ vs. „BBR-CI, 200 ms FI.“), ist anzunehmen, daß sie auf spektraler Information beruht. Die Pegelinformation bei hohen Frequenzen aufgrund des Kopfschattens kann interaural (ILD) oder monaural gegenüber einem tieffrequenten Anker ausgewertet werden. Ein Hochpaßrauschen, bei dem monaurale spektrale Information unterdrückt ist („HPR, scrambled“), kann ebenfalls gut lokalisiert werden (Abb. 2, *), wobei die Streuung gegenüber breitbandigen Schallen etwas zunimmt. Daraus kann geschlossen werden, daß monaurale spektrale Information zur Lokalisation beiträgt, interaurale spektrale Information (ILD) jedoch das überwiegende Lokalisationsmerkmal darstellt. Eine Untersuchung des Einflusses der ITD-Information kann im Freifeld bei hochfrequentem Träger nicht separat von der ILD-Information durchgeführt werden.

Literatur

- [1] LAWSON, D.T., S. BRILL, R.D. WOLFORD, B.S. WILSON und R. SCHATZER: Ninth Quarterly Progress Report, Research Triangle Park: Research Triangle Institute, 2000. www.rti.org.
- [2] SEEGER, B.: *A New Method for Localization Studies*. Acta Acustica – Acustica, 88(3):446–450, 2002.
- [3] SEEGER, B., H. FASTL und U. BAUMANN: In: *DAGA 2001*, Seiten 167–168, Oldenburg, 2001. DEGA.
- [4] WIGHTMAN, F.L. und D.J. KISTLER: J. Acoust. Soc. Am., 101(2):1050–1063, 1997.