

Akustische Analyse der Vokalartikulation von Cochlear Implantat-Trägern

Veronika Neumeyer, Florian Schiel, Phil Hoole

Institut für Phonetik und Sprachverarbeitung, LMU München

Einleitung

Die Sprache von Hörgeschädigten unterscheidet sich von der normal Hörender. Ein typisches Merkmal ist, dass die Vokale eher „verwaschen“ klingen. Der Grund dafür ist, dass Hörgeschädigte ein eingeschränktes auditorisches Feedback haben und ihnen somit die nötige Präzision bei der Artikulation der einzelnen Vokale fehlt (Leonhardt (2002), S.77f). Die Frage, inwiefern die Artikulation von Vokalen bei gehörlosen Sprechern mit Cochlear Implantat (CI) von der Artikulation normal Hörender abweicht, ist Grundlage dieser Akustikstudie, die diese Problematik genauer untersuchen soll.

Die Besonderheit dieser Studie liegt darin, dass die CI-Träger nicht als homogene Sprechergruppe betrachtet werden, sondern sie nach dem Alter bei Eintreten der Hörschädigung und der Dauer ab diesem Zeitpunkt bis zur Versorgung mit einem CI aufgeteilt und in getrennten Gruppen ausgewertet werden.

Die Vokalartikulation ist als Untersuchungsgegenstand außerdem interessant, da das deutsche Vokalsystem vielseitigere Möglichkeiten bietet, ein präzises Bild der Produktionsschwierigkeiten von CI-Trägern zu gewinnen als andere Sprachen. Diese Möglichkeiten wurden in bisherigen Studien, die sich entweder hauptsächlich auf die Perzeption gestützt haben oder globalere Untersuchungsparameter verwendet haben, noch nicht genutzt.

Material und Methodik

An dieser Studie haben 48 CI-Träger und 48 Kontrollgruppensprecher teilgenommen. Die CI-Träger wurden nach folgenden Kriterien in vier Gruppen eingeteilt:

- Gruppe 1: Von Geburt an gehörlose, bzw. vor Spracherwerb ertaubte CI-Träger, die noch vor Spracherwerb mit einem CI versorgt wurden
- Gruppe 2: Von Geburt an gehörlose, bzw. vor Spracherwerb ertaubte CI-Träger, die erst während oder nach Spracherwerb mit einem CI versorgt wurden
- Gruppe 3: Nach Spracherwerb (> 6 Jahre) ertaubte und zeitnah nach Ertaubung (innerhalb von zwei Jahren) mit CI versorgte CI-Träger
- Gruppe 4: Nach Spracherwerb (> 6 Jahre) ertaubte und in deutlichem Abstand (> 2 Jahre) mit CI versorgte CI-Träger

Zu jedem CI-Träger wurde ein in Alter und Geschlecht passender Sprecher ohne Hörschädigung aufgenommen. Die Kontrollgruppensprecher wurden entsprechend zu ihren passenden CI-Trägern ebenfalls in vier Kontrollgruppen eingeteilt. Diese haben dieselbe Alters- und Geschlechterverteilung.

Gruppe	insgesamt	w	m	Alter Ø
CI 1	8	3	5	10.75
CI 2	16	13	3	30.06
CI 3	9	8	1	45
CI 4	15	10	5	59.93

Tabelle 1: Übersicht über die 4 CI-Gruppen

Untersucht wurden die sieben deutsche Langvokale /a:, e:, i:, o:, u:, 2:, y:/¹. Die Zielvokale stehen in zweisilbigen Wörtern immer in der ersten und gleichzeitig betonten Silbe. Alle Zielwörter sind in den Trägersatz 'Ich habe ... gesagt.' eingebettet. Die Satzbetonung liegt immer auf dem jeweiligen Zielwort. Durch den konstanten /tVt/-Kontext sollen koartikulatorische Einflüsse auf die Langvokale durch benachbarte Konsonanten möglichst gering gehalten werden. Die Sätze wurden in randomisierter Reihenfolge aufgenommen und jeder einzelne Satz wurde sechs Mal wiederholt.

Die Sprachaufnahmen wurden in einem schallarmen Raum am Institut für Phonetik und Sprachverarbeitung der LMU München mit der Aufnahmesoftware SpeechRecorder (Draxler (2004)) durchgeführt. Die Aufnahmen wurden mit MAUS (Schiel (2004)) automatisch vorsegmentiert und manuell nachkontrolliert. Anschließend wurden die ersten zwei Formanten mit PRAAT berechnet. Für die Auswertungen, Abbildungen und die statistischen Berechnungen wurden das EMU Database System (Harrington 2010) und R (R Development Core Team (2010)) verwendet.

Es wurden aufeinander aufbauend drei verschiedene Parameter untersucht: In einem ersten Schritt wurde die erste und zweite Formantfrequenz der CI-Träger (Median im Zeitbereich von 10-90% des Zeitverlaufs) mit denen der Kontrollgruppe verglichen. Anschließend wurden die Flächen in einem Fünfeck mit den Eckpunkten /i:, e:, a:, o:, u:/ im Vokalraum berechnet und den Flächen der normal hörenden Sprecher gegenüber gestellt. Zusätzlich wurden anhand von euklidischen Distanzen zwischen den einzelnen Vokalen die Artikulationsparameter Zungenhöhe, Zungenlage und Lippenrundung untersucht.

Ergebnisse

Die Ergebnisse für die erste und zweite Formantfrequenz (F1 und F2) sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die F1-Werte sind für die CI-Träger mit einer Ausnahme (/i:/ für Gruppe 2) durchgehend tiefer als die der Kontrollgruppensprecher. Am größten sind die Unterschiede für Gruppe 1, da F1 bei sechs der sieben untersuchten Vokale signifikant gesunken ist.

Für F2 gibt es keine so klare Tendenz wie für F1. Nur Gruppe 1 weist auch für F2 einen einheitlichen Trend auf: eine Rückverlagerung von allen gerundeten Vokalen. Die gemessenen Werte von Gruppe 2 unterscheiden sich in F2 bei allen sieben Langvokalen signifikant von den Werten der normal hörenden Sprecher. Die postlingual ertaubten CI-Träger (Gruppe 3 und 4) unterscheiden sich in F2 jedoch kaum von den entsprechenden Kontrollgruppensprechern.

¹ In diesem Paper werden ausschließlich SAMPA-Symbole verwendet. (www.phon.ucl.ac.uk/home/sampa) Von IPA *abweichend*: /ø/ = /2/.

Gruppe /Vokal	/i:/	/y:/	/u:/	/e:/	/ɛ:/	/o:/	/a:/
F1							
CI 1	*** ↓	*** ↓	*** ↓	*** ↓	*** ↓	*** ↓	/
CI 2	* ↑	/	/	** ↓	* ↓	/	/
CI 3	*** ↓	*** ↓	/	/	* ↓	/	*** ↓
CI 4	/	** ↓	/	** ↓	*** ↓	*** ↓	/
F2							
CI 1	/	* ↓	** ↓	/	*** ↓	*** ↓	/
CI 2	*** ↓	*** ↓	*** ↑	** ↓	*** ↓	*** ↑	** ↑
CI 3	/	/	* ↑	/	*** ↑	/	*** ↓
CI 4	/	/	/	/	/	/	*** ↑

Tabelle 2: Übersicht der Ergebnisse für F1 (oben) und F2 (unten) getrennt nach den vier CI-Gruppen und den sieben untersuchten Langvokalen. Die Pfeile geben an, ob der Formantwert signifikant steigt ↑ oder fällt ↓.

Die Ergebnisse aus Tabelle 2 sind in Abbildung 1 noch einmal visuell dargestellt. Die Messung der von den fünf Langvokalen /i:, e:, a:, o:, u:/ eingeschlossenen Flächen zeigt, dass sich nur Gruppe 2 in der Größe des Vokalraumes signifikant von der entsprechenden Kontrollgruppe unterscheidet ($F=12.5$, $p=0.0008$).

Für die in Abbildung 1 sichtbaren Unterschiede in den Flächen wurde eine genauere Betrachtung einzelner Artikulationsparameter herangezogen. Für die *Zungenhöhe* (vertikale Achse) wurden folgende Distanzen gemessen: /i: - e:/, /y: - ɛ:/, /u: - o:/. Für die *Zungenlage* (horizontale Achse): /y: - u:/ und /ɛ: - o:/. Die *Lippenrundung* wurde anhand von /i: - y:/ und /e: - ɛ:/ untersucht.

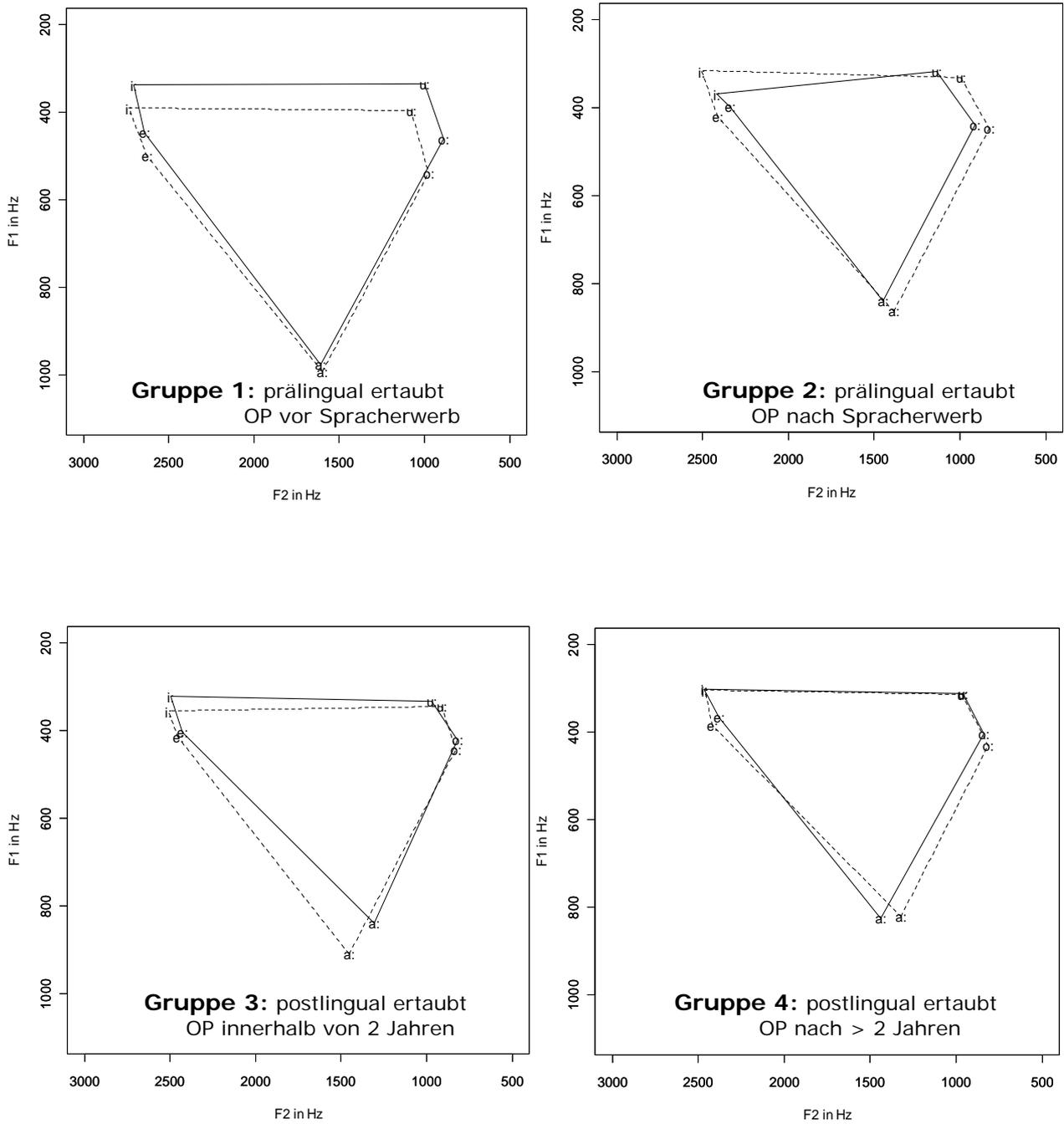


Abbildung 1: Vokalräume der einzelnen Gruppen: Vergleich CI-Träger (durchgezogene Linie) und Kontrollgruppe (gestrichelte Linie).

Tabelle 3 ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse für alle einzelnen Distanzen. Im Folgenden sollen die grauen Felder in der Tabelle betrachtet werden, die dafür stehen, dass bei einer Gruppe alle Distanzen eines Artikulationsparameters einen signifikanten Unterschied zeigen. Gruppe 1 unterscheidet sich in der Lippenrundung signifikant von der ihr entsprechenden Kontrollgruppe, was in direktem Zusammenhang mit den Ergebnissen von F2 steht, laut denen alle gerundeten Vokale (/y:, u:, 2:, o:/, vgl. Tabelle 1) bei den CI-Trägern dieser Gruppe zurückverlagert sind. Die Gruppe der prälingual ertaubten und spät versorgten CI-Träger (Gruppe 2) unterscheidet sich in allen Distanzen und somit in allen Artikulationsparametern signifikant von den normal hörenden Sprechern. Die Gruppe der postlingual ertaubten CI-Träger (Gruppe 3 und 4) unterscheiden sich jeweils nur in der Zungenhöhe von den Kontrollgruppensprechern. Auch dieses Ergebnis ist insofern mit den Ergebnissen der Formantmessung in Einklang zu bringen, da sich für F1, das in direktem Zusammenhang mit der Zungenhöhe steht, viele Vokale für diese zwei Gruppen signifikant unterscheiden – für F2, das mit der Zungenlage zusammenhängt, jedoch nicht.

Parameter/ Gruppe	CI 1	CI 2	CI 3	CI 4
<u>Zungenhöhe</u>				
/i: -e:/	*	***	***	**
/y: -2:/	*	*	***	***
/u: -o:/	/	***	*	*
<u>Zungenlage</u>				
/y: -u:/	/	***	/	/
/2: -o:/	***	***	***	/
<u>Lippenrundung</u>				
/i: -y:/	*	***	/	/
/e: -2:/	***	**	***	***

Tabelle 3: Übersicht der Ergebnisse für die drei Artikulationsparameter Zungenhöhe, Zungenlage und Lippenrundung getrennt nach den vier CI-Gruppen. Die grauen Flächen zeigen an, wenn alle Distanzen für einen Parameter einen signifikanten Unterschied zeigen.

Diskussion

Bei der Untersuchung von F1 wurden für die CI-Träger fast durchgehend tiefere F1-Werte gemessen als bei den normal Hörenden. Dieses Ergebnis wird sowohl von einer Studie mit schwedischen CI-Trägern (Löfqvist et al. (2010)) als auch von zwei Langzeitstudien, in deren Verläufen F1 bei den CI-Trägern immer weiter gesunken ist, bestätigt (Perkell et al. (1992), Schenk et al. (2003)). Artikulatorisch lässt dieses Ergebnis vermuten, dass die CI-Träger bei der Produktion von Vokalen den Mund nicht (ganz) so weit öffnen wie die normalhörenden Kontrollgruppensprecher. In Studien von Liker et al. (2007) mit kroatischen Vokalen und von Neumeyer et al. (2010) mit deutschen Vokalen wurde in F1 jedoch kein Unterschied zwischen CI-Trägern und normal Hörenden gefunden.

Bei F2 konnten für die postlingual Ertaubten kaum Unterschiede zwischen CI-Trägern und normal Hörenden gefunden werden. Bei den prälingual Ertaubten, sind in der Gruppe mit den früh versorgten nur die gerundeten Vokale signifikant. Bei den prälingual ertaubt und spät Versorgten unterscheiden sich alle Vokale signifikant. Dieses Ergebnis ist konsistent mit den Resultaten von Liker et al. (2007) und Neumeyer et al. (2010). In Studien von Perkell et al. (1992), Schenk et al. (2003) und Löfqvist et al. (2010) wurden keine signifikanten Unterschiede in F2 gemessen.

Der Grund für die Aufteilung dieser Studien in zwei verschiedene Gruppen von Ergebnissen scheint mit Blick auf die Resultate dieser Studie darin zu liegen, dass es stark davon abhängt, wie sich die Sprechergruppe der CI-Träger zusammensetzt. Je nachdem ob mehr prä- oder postlingual ertaubte CI-Träger teilgenommen haben, stimmen die Ergebnisse mit denen der Gruppe 2 bzw. den Gruppen 3 und 4 überein. Die Gruppe der prälingual ertaubt und früh Versorgten scheint eine Ausnahmeposition einzunehmen.

Die Messungen der Distanzen zwischen einzelnen Vokalpaaren, die den Artikulationsparametern Zungenhöhe, Zungenlage und Lippenrundung zugeordnet werden, unterstreichen die Ergebnisse der Formantmessungen zusätzlich, da F1 mit der Zungenhöhe und F2 mit der Zungenlage korreliert ist. Des Weiteren bestätigen die Ergebnisse der Untersuchung der Lippenrundung, dass sich in der Gruppe 1 die gerundeten Vokale der CI-Träger stark von denen ihrer Kontrollgruppensprecher unterscheiden.

Ein signifikant kleinerer Vokalraum als bei der zugehörigen Sprechergruppe ohne Hörschädigung wurde in dieser Studie nur für die prälingual ertaubt und spät versorgten CI-Träger, die sich gleichzeitig auch in allen Artikulationsparametern von ihren Kontrollsprechern unterscheiden, gefunden. Dieses Ergebnis wird von Studien von Ibertsson et al. (2007) und Neumeyer et al. (2010) bestätigt. Liker et al. (2007) haben in ihrer Langzeitstudie mit kroatischen Vokalen beobachtet, dass sich der Vokalraum der CI-Träger im Verlauf ihrer Langzeitstudie vergrößert hat (jedoch nicht signifikant).

Um die Hypothese, dass sich die einzelnen Studien in ihren Ergebnissen so stark unterscheiden, da die Zusammensetzung ihrer Sprechergruppen so stark variiert (prä- und postlingual ertaubte Sprecher), weiter untersuchen zu können, ist in Zusammenarbeit mit der HNO des Klinikum Großhadern, LMU München eine Langzeitstudie geplant. Es soll der gleiche Versuchsaufbau wie in dieser Studie verwendet werden. Ziel ist es, zu untersuchen, ob sich die Gruppen auch vor OP ähnlich unterscheiden und auf welche Weise sich diese Unterschiede im Laufe eines Jahres nach Aktivierung des Sprachprozessors entwickeln.

Literatur

- Draxler, C., Jänsch, K. (2004): SpeechRecorder - a universal platform independent multi-channel audio recording software. Proceedings of the IVth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC), 559-562.
- Harrington, J. (2010): The Phonetic Analysis of Speech Corpora. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Ibertsson, T., Sahlén, B., Löfqvist, A.: Vowel spaces in Swedish children with cochlear implants. Proceedings of Acoustics, Paris, Frankreich, 2007.
- Leonhardt, A. (2002). Einführung in die Hörgeschädigtenpädagogik. Ernst Reinhardt Verlag, München. 2. Auflage.
- Liker, M., Mildner, V., Sindija, B. (2007). Acoustic analysis of the speech of children with cochlear Implants: A longitudinal study. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 21(1), 1-11.
- Löfqvist, A., Sahlén, B., Ibertsson, T. (2010). Vowel spaces in Swedish adolescents with cochlear implants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 128(5), 3064-3069.

- Neumeyer, V., Harrington, J., Draxler, C. (2010). An acoustic analysis of the vowel space in young and old cochlear-implant speakers. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 24(9), 734-741.
- Perkell, J., Lane, H., Svirsky, M., Webster, J. (1992): Speech of cochlear implant patients: A longitudinal study of vowel production. *Journal of the Acoustical Society of America*, 91(5): 2961-2978.
- R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, URL <http://www.R-project.org>.
- Schenk, B., Baumgartner, W.-D., Hamzavi, J. (2003). Changes in Vowel Quality after Cochlear Implantation. *ORL*, 65, 184-188.
- Schiel, F. (2004): MAUS goes iterative. Proceedings of the IVth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC), 1015-1018.