

Somatosensorisches Feedback und auditive Wahrnehmung bei Sprechapraxie

Juliane Völsch & Jörg Mayer
Potsdam / Stuttgart

1. Einleitung

Im *Direction Into Velocities of Articulators (DIVA)* - Modell (Guenther 2002, 2006; Guenther et al. 2006), einem computerimplementierten neuronalen Netzwerkmodell, werden zwei Subsysteme der sprechmotorischen Kontrolle unterschieden: ein Feedforward- und ein Feedback-Kontrollsystem, welches aus einem somatosensorischen und einem auditiven Subsystem besteht. Während der Sprachentwicklung wird den Feedback-Kontrollsystemen eine zentrale Bedeutung beim Erwerb sprechmotorischer Befehle beigemessen. Nach Abschluss des Spracherwerbs erfolgt die Sprachproduktion über das Feedforward-Kontrollsystem. Mithilfe der Feedback-Kontrollsysteme können die erworbenen sprechmotorischen Befehle auf der Grundlage des auditiven oder somatosensorischen Inputs modifiziert werden. So ermöglicht beispielsweise das somatosensorische Feedback-Kontrollsystem die unmittelbare Anpassung der sprechmotorischen Befehle an veränderte Sprechbedingungen, wie z. B. das Sprechen mit einem Beißblock (Jacks 2006:6).

Bei der Sprechapraxie handelt es sich um eine hirnschädigungsbedingte Störung der Programmierung von Sprechbewegungen mit Beeinträchtigungen auf den Ebenen Artikulation und Prosodie sowie im Sprechverhalten. Als ein wesentlicher Einflussfaktor auf die sprechapraktische Symptomatik gilt die Auftretenshäufigkeit von Silben (Aichert & Ziegler 2004).

Hinsichtlich des zugrundeliegenden Pathomechanismus der Sprechapraxie werden in der Literatur vielfältige Erklärungsansätze diskutiert, die auf der Grundlage verschiedener modelltheoretischer Annahmen entwickelt wurden

(Mayer 1995; van der Merwe 1997; Clark & Robin 1998; Dogil & Mayer 1998; Whiteside & Varley 1998; Rogers & Storkel 1999; Varley & Whiteside 2001; Aichert & Ziegler 2004; Aichert 2008).

Basierend auf den Annahmen des *DIVA*-Modells postulieren Jacks (2006, 2008) & Robin et al. (2008) eine *Störung der sprechmotorischen Feedforward-Kontrolle* als Pathomechanismus bei Sprechapraxie.

Mögliche Beeinträchtigungen der somatosensorischen Feedback-Kontrolle und der auditiven Wahrnehmung bei Sprechapraxie wurden bisher nur in wenigen Studien untersucht. Die auditive Wahrnehmung bildet einen wesentlichen Bestandteil der auditiven Feedback-Kontrolle, die eine Online-Verarbeitung auditiver Informationen bei gleichzeitiger Sprachproduktion erfordert. Während die Ergebnisse verschiedener Studien auf eine unbeeinträchtigte somatosensorische Feedback-Kontrolle bei Sprechapraxie hindeuten (Sussman et al. 1986; Robin et al. 1989; Baum et al. 1997; Baum 1999; Jacks 2006, 2008), liegen im Hinblick auf eine mögliche Beeinträchtigung der auditiven Wahrnehmung bisher nur sehr heterogene Ergebnisse vor (Blumstein et al. 1977; Square et al. 1981; Square-Storer et al. 1988; Jacks 2006).

2. Fragestellungen

Das Ziel der Untersuchung war die Überprüfung der somatosensorischen Feedback-Kontrolle und der auditiven Wahrnehmung bei Patienten mit Sprechapraxie. Folgende Fragestellungen wurden untersucht:

1. Liegt bei Patienten mit Sprechapraxie eine Beeinträchtigung der somatosensorischen Feedback-Kontrolle vor?
2. Liegt bei Patienten mit Sprechapraxie eine Beeinträchtigung der auditiven Wahrnehmung vor?
3. Hat die Silbenfrequenz einen Einfluss auf die somatosensorische Feedback-Kontrolle und/ oder die auditive Wahrnehmung?

3. Methoden

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden sechs Patienten mit Sprechapraxie und einem variierenden Anteil begleitender sprach-systematischer Störungen untersucht. Darüber hinaus nahmen sechs sprachgesunde Kontrollpersonen an der Untersuchung teil.

Die Untersuchung der *somatosensorischen Feedback-Kontrolle* erfolgte mithilfe eines Perturbationsexperimentes. Dazu wurde ein Beißblock mit einer Perturbationshöhe von 14,5 mm gefertigt. Als Stimulusmaterialien dienten die hochfrequenten Silben [re:] und [ri:] sowie die niedrigfrequenten Silben [ke:] und [ki:] (Aichert, Marquardt & Ziegler, unveröffentlicht). Die Probanden erhielten die Aufgabe, die auditiv präsentierten Silben ohne und mit Beißblock nachzusprechen. Sowohl die Produktionsbedingungen (ohne/mit Beißblock) als auch die nachzusprechenden Silben wurden den Probanden in randomisierter Reihenfolge dargeboten.

In Anlehnung an Jacks (2006, 2008) wurde zur Auswertung der Daten ein kombinierter Ansatz aus *akustischen* und *perzeptuellen Messungen* ausgewählt. Im Rahmen der *akustischen Messungen* wurden die Frequenzwerte des ersten und zweiten Formanten zu Beginn (unmittelbare Kompensation) und während der stabilen Phase, d. h. in der Mitte (verzögerte Kompensation) der Vokale bestimmt. Darüber hinaus erfolgte die Messung der Transitionsdauern zwischen den Konsonanten und Vokalen der Silben und die Messung der Vokaldauern in beiden Probandengruppen. Im Rahmen der *perzeptuellen Messungen* wurden die von den sprachgesunden und sprech-apraktischen Probanden produzierten Vokale von zehn Hörern hinsichtlich der Güte der Realisierungen bewertet. Das Ziel der Untersuchung war die Ermittlung der „optimalen“ Vokalproduktionen (Vokal mit den höchsten Bewertungen (Mittelwert) bzw. den meisten „sehr gut“/ „gut“ - Bewertungen) in den hoch- und niedrigfrequenten Silben für jeden Probanden. Die „optimalen“ Vokalproduktionen bildeten die Grundlage für die Berechnungen der *Akkuratheit* der Vokalrealisierungen und der *Distinktivität* der produzierten

Vokalkategorien in den verschiedenen Bedingungen (ohne/mit Beißblock) (vgl. Jacks 2006, 2008). Die *Akkuratheit* der Vokalproduktionen wurde durch die Ermittlung der euklidischen Distanzen (ED) zwischen den produzierten Vokalen und dem jeweils „optimalen“ Vokal bestimmt (vgl. Jacks 2006, 2008). Dabei gilt: Je geringer die euklidische Distanz, desto größer die Akkuratheit. Um die *Distinktivität* der produzierten Vokale in den verschiedenen Vokalkategorien zu bestimmen, wurde eine "acoustic distance ratio" (ADR) berechnet. Die ADR beschreibt das Verhältnis des akustischen Abstandes zwischen zwei Vokalkategorien zur akustischen Varianz innerhalb der Vokalkategorien (Jacks 2006, 2008).

Die *auditive Wahrnehmung* bei Sprechapraxie wurde in der vorliegenden Studie mithilfe einer Identifikationsaufgabe überprüft. Als Stimulusmaterialien dienten zwei resynthetisierte, zehnstufige Kontinua aus den Silbenpaaren [re:]-[ri:] (hochfrequent) und [ke:]-[ki:] (niedrigfrequent). Die auditive Präsentation der Stimuli erfolgte in randomisierter Reihenfolge und die Probanden erhielten die Aufgabe, per Tastendruck zu entscheiden, welchen Stimulus sie wahrgenommen hatten. Ausgewertet wurden sowohl die Reaktionen auf die auditiven Stimuli als auch die Reaktionszeiten. Aus den jeweils zehn Reaktionen je Präsentationsschritt wurde dabei die jeweilige Anzahl der ke/ki bzw. re/ri – Identifikationen berechnet und prozentuiert. Darüber hinaus wurden für jeden Präsentationsschritt die Mittelwerte der Reaktionszeiten gebildet.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertung der Daten aus der Untersuchung zur *somatosensorischen Feedback-Kontrolle* erfolgte mithilfe eines kombinierten Ansatzes aus *akustischen und perzeptuellen Messungen*.

Die *akustischen Messungen* zeigten, dass die sprechapraktischen Patienten ebenso wie die sprachgesunden Probanden in beiden Produktionsbedingungen (ohne/mit Beißblock) distinktive Vokale produzierten, d.h. es konnten keine

Überlappungen der Formanten in den benachbarten Vokalkategorien [e:] und [i:] beobachtet werden. Beim Vergleich der Vokalproduktionen ohne und mit Beißblock innerhalb der Vokalkategorien ([e:] ohne Beißblock und [e:] mit Beißblock bzw. [i:] ohne Beißblock und [i:] mit Beißblock) zeigte sich in beiden Probandengruppen eine *unvollständige Kompensation* der beißblockinduzierten Perturbation (vgl. auch Ergebnisse von Baum et al. 1997; Baum 1999; Jacks 2006, 2008).

Im Rahmen der *perzeptuellen Messungen* wurden die produzierten Vokale der sprachgesunden und sprechapraktischen Probanden von zehn Hörern hinsichtlich der Güte der Realisierungen bewertet. Dabei erhielten die Vokalproduktionen der sprechapraktischen Patienten in beiden Vokalkategorien und Produktionsbedingungen signifikant schlechtere Bewertungen als die der sprachgesunden Kontrollpersonen (vgl. auch Ergebnisse von Jacks 2006, 2008). Darüber hinaus wurden die *Akkuratheit* der Vokalrealisierungen und die *Distinktivität* der produzierten Vokalkategorien in den verschiedenen Bedingungen (ohne/mit Beißblock) berechnet. Hinsichtlich der *Akkuratheit* zeigten sich bei den sprachgesunden und sprechapraktischen Probanden signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der Produktionsbedingung. So konnte in beiden Probandengruppen eine eingeschränkte Akkuratheit der Vokalproduktionen „mit Beißblock“ in beiden Vokalkategorien beobachtet werden (vgl. auch Ergebnisse von Jacks 2006, 2008). Im Hinblick auf die *Distinktivität* zeigte sich in beiden Probandengruppen in der Produktionsbedingung „mit Beißblock“ eine geringere ADR und somit eine geringere Distinktivität im Vergleich zur Produktionsbedingung „ohne Beißblock“. Eine Ausnahme bildete die ADR während der stabilen Phase der Vokale in der Gruppe der sprechapraktischen Patienten. Hier zeigte sich in der Produktionsbedingung „mit Beißblock“ eine größere Distinktivität als in der Produktionsbedingung „ohne Beißblock“. Bei einem Vergleich der beiden Probandengruppen wurde bei den Patienten mit Sprechapraxie in beiden Produktionsbedingungen insgesamt eine geringere ADR deutlich (vgl. auch

Ergebnisse von Jacks 2006, 2008). Ein Einfluss der Silbenfrequenz auf die Leistungen der Patienten konnte nicht beobachtet werden.

Jacks (2006, 2008) postuliert, dass Patienten mit Sprechapraxie Beeinträchtigungen der *Feedforward-Kontrolle* möglicherweise mithilfe der *somatosensorische Feedback-Kontrolle* kompensieren. Es besteht die Annahme, dass die Sprachproduktion über die Feedforward-Kontrolle sehr konsistent und schnell verläuft, während die Sprachproduktion über die *somatosensorische Feedback-Kontrolle* durch eine erhöhte Variabilität und eine verringerte Produktionsgeschwindigkeit gekennzeichnet ist (Jacks 2008:13, vgl. auch Jacks 2006:127). Für eine solche Annahme spricht in der vorliegenden Untersuchung, die signifikant größere Variabilität der Vokalproduktionen (größere euklidische Distanzen) in der Produktionsbedingung „mit Beißblock“ in beiden Probandengruppen (vgl. auch Ergebnisse von Jacks 2006, 2008).

Nach Jacks könnten sprechapraktische Symptome wie längere Segment- und Intersegmentdauern als Kompensation der beeinträchtigten Feedforward-Kontrolle durch die somatosensorische Feedback-Kontrolle verstanden werden (Jacks 2008: 13). In der vorliegenden Untersuchung wurden sowohl die Transitionsdauern zwischen den Konsonanten und Vokalen der Silben als auch die Vokaldauern in beiden Probandengruppen gemessen. Bei einer Kompensation durch die somatosensorische Feedback-Kontrolle müssten sich bei den Patienten mit Sprechapraxie im Vergleich zu den sprachgesunden Kontrollpersonen längere Transitions- und Vokaldauern zeigen. Diese Annahme konnte in der vorliegenden Untersuchung hinsichtlich der Vokaldauern bestätigt werden. Hinsichtlich der Transitionsdauern konnten demgegenüber keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gemessen werden. Da die Bestimmung von Transitionsdauern jedoch methodisch problematisch ist, könnte dieses Ergebnis auch auf das verwendete Messverfahren zurückzuführen sein.

Wie Jacks anmerkt, ist das Postulat eines Ansatzes, der die Kompensation der beeinträchtigten *Feedforward-Kontrolle* durch die *somatosensorische Feedback-Kontrolle* zur Erklärung sprechapraktischer Charakteristika annimmt

jedoch sehr spekulativ, da die Komponenten und Annahmen des *DIVA*-Modells noch nicht hinreichend für die Sprachverarbeitung sprachgesunder Sprecher belegt sind. Darüber hinaus stellen statische Perturbationsexperimente nicht die günstigste Möglichkeit zur Überprüfung der *somatosensorischen Feedback-Kontrolle* dar, da hier eine schnelle Adaption der Sprechbewegungen an die beißblockinduzierte Perturbation stattfinden kann. Die Verwendung dynamischer Perturbationsexperimente würde bessere Einblicke in die *somatosensorische Feedback-Kontrolle* bei Sprechapraxie ermöglichen, da hier eine unerwartete Perturbation kompensiert werden müsste (Jacks 2008:14).

In der Untersuchung zur *auditiven Wahrnehmung* zeigten sich folgende Ergebnisse: Während bei den sprachgesunden Probanden keine Einschränkungen bei der Identifikation der auditiven Stimuli beobachtet werden konnten, wurden bei allen sprechapraktischen Patienten Beeinträchtigungen bei der Identifikation in beiden Kontinua deutlich. Diese Ergebnisse entsprechen vorangegangenen Studien zur Sprechapraxie (Blumstein et al. 1977; Jacks 2006), in denen ebenfalls Beeinträchtigungen bei der Identifikation auditiver Stimuli nachgewiesen werden konnten. Wie in der Studie von Jacks (2006) wurden auch in der vorliegenden Studie in beiden Probandengruppen identische Kategoriengrenzen bei beiden Kontinua beobachtet. Es wird daher angenommen, dass die auditiv-perzeptuellen Repräsentationen bei Sprechapraxie nicht gestört sind, sondern nur inkonsistent aktiviert werden (Jacks 2006:129). Auf der Grundlage des *DIVA*-Modells postuliert Jacks, dass die für die Identifikation und Kategorisierung der akustischen Stimuli verantwortlichen auditiven Prozesse (neuronale Projektionen von den auditiven Zustandrepräsentationen zur Ebene der Sprachlautrepräsentationen) bei Patienten mit Sprechapraxie beeinträchtigt sind (Jacks 2006:129). Inwieweit die Beeinträchtigungen bei der Identifikation auf die aphasischen Begleitstörungen der sprechapraktischen Patienten zurückzuführen sind, kann im Rahmen der vorliegenden Studie nicht vollständig geklärt werden, da nicht bei allen Patienten Ergebnisse des Lemo-Untertests 1: Auditives Diskriminieren von Neologismenpaaren (De Bleser et

al. 2004) vorliegen. Ein Einfluss der Silbenfrequenz auf die Identifikationsleistungen der Patienten konnte nicht beobachtet werden.

Welchen Einfluss könnte die Beeinträchtigung der auditiven Wahrnehmung auf die Symptomatik bei Sprechapraxie haben? Als ein sprechpraktisches Charakteristikum wird in der Literatur das Selbstkorrekturverhalten beschrieben. Liss (1998) untersuchte in ihrer Studie das Selbstkorrekturverhalten bei Sprechapraxie und konnte beobachten, dass die Patienten nicht bei allen auftretenden phonetischen Fehlern Selbstkorrekturversuche vornahmen. Möglicherweise werden die phonetischen Fehler aufgrund der eingeschränkten auditiven Wahrnehmung von den Patienten nicht immer erkannt, so dass es infolge dessen zu keinem Selbstkorrekturversuch kommen kann.

5. Literatur

- Aichert, I. & Ziegler, W. (2004) *Syllable frequency and syllable structure in apraxia of speech*. *Brain and Language* 88: 148-159.
- Aichert, I. (2008) *Die Bausteine der phonetischen Enkodierung: Untersuchungen zum sprechmotorischen Lernen bei Sprechapraxie*. Dissertation. Tönning: Der Andere Verlag.
- Aichert, I., Marquardt, C. & Ziegler, W. (unveröffentlicht) *German database for sublexical frequencies and structure*.
- Baum, S. (1999) Compensation for jaw fixation by aphasic patients under conditions of increased articulatory demands: A follow-up study. *Aphasiology* 13: 513-527.
- Baum, S., Kim, J., & Katz, W. (1997) Compensation for jaw fixation by aphasic patients. *Brain and Language* 56: 354-376.
- Blumstein, S., Cooper, W., Zurif, E. B. & Caramazza, A. (1977) The perception and production of voice-onset time in aphasia. *Neuropsychologia* 15: 371-383.
- Clark, H. M. & Robin, D. A. (1998) Generalized motor programme and parameterization in apraxia of speech and conduction aphasia. *Aphasiology* 12: 699-713.

- De Bleser, R., Cholewa, J., Stadie, N. & Tabatabaie, S. (2004) *LEMO – Lexikon modellorientiert. Einzelfalldiagnostik bei Aphasie, Dyslexie und Dysgraphie*. München: Urban & Fischer.
- Dogil, G. & Mayer, J. (1998) Selective phonological impairment: a case of apraxia of speech. *Phonology* 15: 143-188.
- Guenther, F. H. (2002) Neural control of speech movements. In: Meyer, A. & Schiller, N. (Hrsg.) *Phonetics and Phonology in Language Comprehension and Production: Differences and Similarities*. Berlin: Mouton de Gruyter.
- Guenther, F. H. (2006) Cortical interactions underlying the production of speech sounds. *Journal of Communication Disorders* 39: 350-365.
- Guenther, F. H., Ghosh, S. S., and Tourville, J. A. (2006) Neural modeling and imaging of the cortical interactions underlying syllable production. *Brain and Language* 96: 280-301.
- Jacks, A. P. (2006) *Vowel targeting and perception in apraxia of speech*. Dissertation, University of Texas at Austin.
- Jacks, A. P. (2008) Bite block vowel production in apraxia of speech. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 51(4): 1-16.
- Liss, J. M. (1998) Error revision in the spontaneous speech of apraxic speakers. *Brain and Language* 62: 342-360.
- Mayer, J. (1995) Phonologisch-phonetische Überspezifizierung bei Sprechapraxie. *Arbeitspapiere des Instituts für Maschinelle Sprachverarbeitung/Phonetik* (Phonetik-AIMS) 2(3), Universität Stuttgart, 35-155.
- Robin, D. A., Bean, C. & Folkins, J. W. (1989) Lip movement in apraxia of speech. *Journal of Speech and Hearing Research* 32: 512-523.
- Robin, D. A., Jacks, A., Hageman, C., Clark, H. M. & Woodworth, G. (2008) Visuomotor tracking abilities of speakers with apraxia of speech or conduction aphasia. *Brain and Language* 106: 98-106.
- Rogers, M. A. & Storkel, H. L. (1999) Planning speech one syllable at a time: the reduced buffer capacity hypothesis in apraxia of speech. *Aphasiology* 13: 793-805.

- Square, P. A., Darley F. L., Sommers R. K. (1981) Speech perception among patients demonstrating apraxia of speech, aphasia, and both disorders. In: *Clinical aphasiology conference proceedings*. Kerrville, TX: BRK Publishers, 83-88.
- Square-Storer, P. A., Darley F. L., Sommers R. K. (1988) Nonspeech and speech processing skills in patients with aphasia and apraxia of speech. *Brain and Language* 33(1): 65-85.
- Sussman, H., Marquardt, T., Hutchinson, J., & MacNeilage, P. (1986) Compensatory articulation in Broca's aphasia. *Brain and Language* 27: 56-74.
- Van der Merwe, A. (1997) A theoretical framework for the characterization of pathological speech sensorimotor control. In: McNeil, M. R. (Hrsg.). *Clinical management of sensorimotor speech disorders*. New York: Thieme, 1-25.
- Varley, R. & Whiteside, S. P. (2001) What is the underlying impairment in acquired apraxia of speech. *Aphasiology* 15: 39-49.
- Whiteside, S. P. & Varley, R. A. (1998) A reconceptualisation of apraxia of speech: A synthesis of evidence. *Cortex* 34: 221-231.

Kontakt

Juliane Völsch

voelsch@uni-potsdam.de