

Logopädie und die Neurowissenschaften

Neurowissenschaftliche Forschungsfelder werden die logopädische Diagnostik und Therapie in Zukunft nachhaltig verändern

Annette Baumgärtner

ZUSAMMENFASSUNG. Der Artikel gibt aus logopädischer Sicht einen kurzen Rückblick auf die neurowissenschaftlichen Entwicklungen der letzten 100 Jahre. Er diskutiert, inwiefern neurowissenschaftliche Methoden dazu beitragen können, Sprachprozesse im gesunden Gehirn zu erklären, und die Beschreibung der Störungsmechanismen bestimmter Sprach- und Sprechstörungen um die neurobiologische Perspektive zu erweitern. Anhand verschiedener Störungsbilder aus der Logopädie werden konkrete Beispiele für die Nutzung struktureller und funktioneller Bildgebungsdaten als zusätzliche Nachweise für die Wirksamkeit logopädischer Behandlung gegeben. Schließlich wird die Neurostimulation als adjuvante Therapie in der Behandlung von Sprach-, Sprech-, und Schluckstörungen vorgestellt.

Schlüsselwörter: Therapie – Wirksamkeit – Neuromodulation – strukturelle Bildgebung – funktionelle Bildgebung – rTMS – tDCS

Einleitung

In den letzten 100 Jahren hat die Logopädie im deutschsprachigen Raum einen signifikanten Aufschwung erlebt und sich als eigenständige Disziplin etabliert. Dabei wird sie mehr und mehr von der sich parallel entwickelnden Disziplin der (Kognitiven) Neurowissenschaft beeinflusst. In der Logopädie haben neurowissenschaftliche Erkenntnisse Einfluss auf die theoretische Modellbildung, auf das Verständnis zugrunde liegender Störungsmechanismen, auf die Wirksamkeitsnachweise für logopädische Therapie und zunehmend auch auf die Behandlung von Sprach-, Sprech-, Stimm- und Schluckstörungen genommen.

Im Folgenden wird anhand einzelner Beispiele erläutert, inwiefern die Logopädie von der rasanten Entwicklung der Neurowissenschaften profitiert hat. Dabei werden die elektro-physiologischen Methoden (EEG/EKG, MEG) ausgespart, da sie an anderer Stelle mit Bezug auf Sprache und Sprachstörungen ausführlich diskutiert werden (Uwer 2001, Salmelin 2007).

Die Anfänge der kognitiven Neurowissenschaft

Eine erste Verbindung zwischen den Disziplinen der Logopädie und der kognitiven Neurowissenschaft entsteht 1913 – in diesem Jahr wird der Begriff der „Logopädie“ durch den Wiener Mediziner *Emil Fröschels* in sei-

nem „Lehrbuch der Sprachheilkunde (Logopädie) für Ärzte, Pädagogen und Studierende“ eingeführt. Fröschels, der sich nach seiner Promotion 1907 zunächst auf Ohrenheilkunde spezialisiert hatte, baute kurz darauf an der Wiener Universität ein eigenes Ambulatorium für Stimm- und Sprachstörungen auf. *Fröschels* Lehrbuch (1913) umfasst neben ausführlichen Beschreibungen der

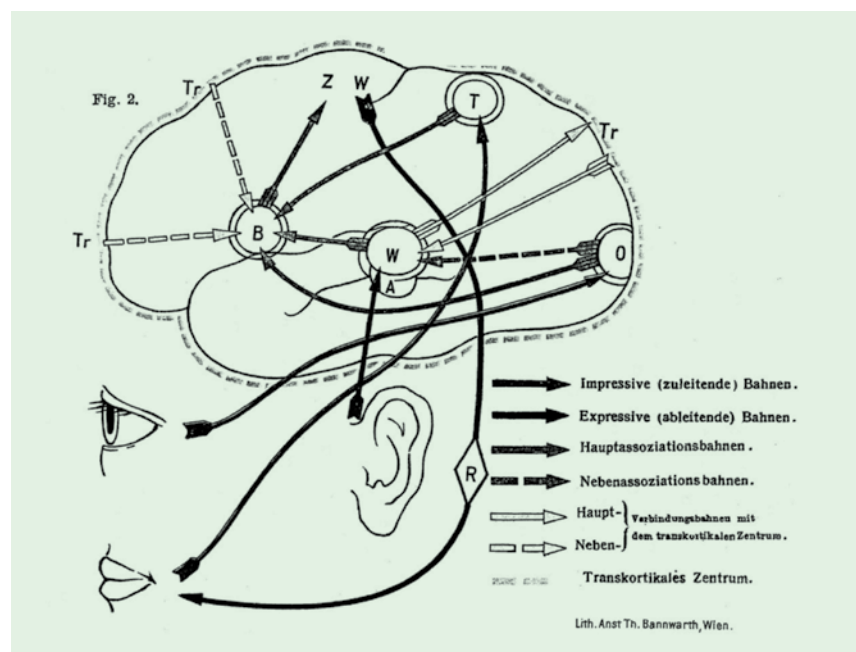
Annette Baumgärtner PhD ist staatlich anerkannte Logopädin.

Sie arbeitete mehrere Jahre in einer logopädischen Gemeinschaftspraxis mit dem Schwerpunkt neurogene Sprach- und Sprechstörungen in Köln, bevor sie ein Studium in Communication Science and Disorders an einer amerikanischen Forschungsuniversität anschloss. Nach der Promotion war sie von 2000 bis 2009 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Systemische Neurowissenschaften des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf. Seit 2009 ist sie Professorin für Logopädie an der Hochschule Fresenius am Standort Hamburg.

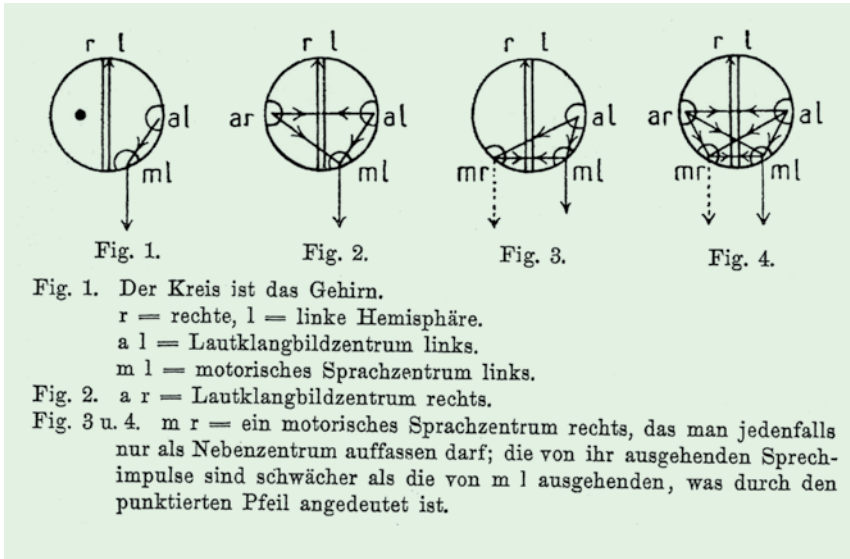


Anatomie der Hör- und Sprechorgane Kapitel zur Sprachentwicklung, zu Störungsbildern wie Taub- und Hörstummheit, Aphasie, Stammeln, Poltern und Stottern sowie zur Hygiene von Stimm- und Sprachstörungen.

■ **Abb. 1: Überlegungen zur Lokalisation der Sprache im Gehirn (Fröschels 1913, Anhang)**



■ **Abb. 2: Auffassungen zur Funktionsrestitution bei Aphasie (Fröschels 1916, 41)**



Ausführlich beschreibt Fröschels die jeweilige Diagnostik und Therapie.

Was die Repräsentation der Sprache im Gehirn betrifft, ist er in der Wernicke-Lichtheim'schen Tradition verankert. Ausgangspunkt seiner Überlegungen ist die Fähigkeit der Kinder, die Sprache ihrer Umgebung nachzuahmen. Stimuliert wird die Sprachentwicklung eines Kindes nach Fröschels' Auffassung neben dem Höreindruck auch durch die Beobachtung der Lippenbewegungen beim Sprechen, die ebenso wie die Höreindrücke „Wortklangbilder“ im Zentrum „W“ (für Wernicke) hervorrufen (Abb. 1)

Die vom „Zentrum der Sprachbewegungsvorstellungen“ („B“ für Broca) ausgelösten Sprechbewegungen hinterlassen laut Fröschels einen taktilen Eindruck im „Lagegefühlzentrum T“, das wiederum neue Reize an „B“ rückmeldet.

Für das aufkeimende Sprachverständnis eines Kindes werden laut Fröschels zusätzliche Gehirnpartien herangezogen. Dieses „transkortikale Sprachzentrum Tr“, in dem die Verbindung zwischen einem Begriff und seiner Bedeutung hergestellt wird, lässt sich laut Fröschels nicht genau lokalisieren: „In Anbetracht seiner [gemeint ist das Zentrum Tr] vielseitigen Arbeit haben wir uns entschlossen, es nicht in einen engen Bezirk zu verlegen, sondern es als über die gesamte Hirnoberfläche verbreitet anzunehmen“ (ebd., 61).

Während des Ersten Weltkrieges ist Fröschels als Chefarzt der Abteilung für Kopfschüsse und Sprachstörungen des Garnisonspitals

Dieser Artikel ist die modifizierte Version des Eröffnungsvortrags des 42. Jahreskongress des dbl 2013 in Erfurt. Eine Abbildung der wichtigsten methodischen Entwicklungen ist bei der Autorin erhältlich.

Wien tätig. Diese Tätigkeit konfrontiert ihn mit Patienten mit Hirnverletzungen, sodass er sich verstärkt dem Thema der Aphasie zuwendet. Die Patienten beschäftigen ihn als Diagnostiker und Arzt, der seinen Patienten die beste Behandlung zukommen lassen möchte.

Aber auch aus wissenschaftlicher Sicht interessieren ihn diese neurogenen Sprachstörungen, denn im Gegensatz zu seiner Klientel vor Kriegsbeginn tritt bei den Soldaten eine plötzliche Verletzung in einem bis dato intakten Organismus auf. Dies erlaubt Fröschels, Veränderungen im spezifisch beeinträchtigten Sprachsystem zu beobachten. Besonders interessiert ihn eine isolierte Verletzung der linken Hemisphäre bei erhaltener rechter Hemisphäre.

Viele seiner Patienten machen sprachliche Fortschritte, was ihn zu der Frage führt, wie aus anatomischer Sicht „die Wiederkehr der Sprache“ vorstellbar sei. In einem Artikel aus 1916 stellt er die damaligen Auffassungen einer Funktionsrestitution bei Aphasie dar (Abb. 2): Ein Teil der Forscher nimmt an, dass die rechte Hemisphäre im gesunden Gehirn „am Sprechakt unbeteiligt ist“ und erst nach einer Hirnschädigung beginnt, Sprachfunktionen der linken Hemisphäre zu übernehmen. Fröschels selbst ist überzeugt, dass „gewisse primäre Sprachbahnen und Regionen rechts vorhanden sein müssten, die mit der linksseitigen in physiologischer Verbindung stehen [...]“ (Fröschels 1916, 43) und schließt „Was zutrifft, lässt sich heute nicht entscheiden“ (ebd., 43-44).

Nach dem Ersten Weltkrieg wird die rege Forschungstätigkeit in der Logopädie fortgesetzt. Im Jahr 1918 veröffentlicht Fröschels sein Buch „Die Kopfverletzungen im Kriege.

Ihre psychologische Untersuchung, Behandlung und Fürsorge“, in dem er detailliert 50 Fallbeispiele neurogener Sprachstörungen darstellt.

Nach Ende des Krieges gründet er im Jahr 1924 die IALP. Die Annalen der IALP sprechen von 65 Teilnehmern, unter ihnen viele Frauen. Auf die Empfehlung der Teilnehmerin Branco van Dantzig hin, einer jüdischen Sprachlehrerin aus Rotterdam, verabschiedet der Kongress die Annahme der folgenden Resolution: „Der II. Internationale Kongress für Logopädie und Phoniatrie vertritt die Forderung, dass die künftige Ausbildung der Logopäden eine spezielle und zugleich wissenschaftliche mit akademischer Abschlussprüfung sein muss.“

In der Zeit des Nationalsozialismus kommt der Aufschwung der jungen Disziplin der Logopädie fast vollständig zum Erliegen. Deutschland verliert Tausende führender Persönlichkeiten in Logopädie und Neurowissenschaften durch Emigration oder Ermordung. Viele Vertreter des Fachgebiets passen sich der Ideologie der Nationalsozialisten an, wie z.B. Hermann Gutzmann jun. (Macha-Krau 2000, Stichel 2004, Grohnfeldt 2009).

Emil Fröschels wird von den Nationalsozialisten die Lehrerlaubnis entzogen; er verliert damit auch seinen Lehrstuhl. 1938 emigriert er in die USA, wo er seine Forschungstätigkeit wieder aufnimmt. Branco van Dantzig wird 72-jährig im September 1942 in ihrem Haus in Amsterdam verhaftet und über Westerbork nach Auschwitz verschleppt, wo sie bald nach ihrer Ankunft ermordet wird.

Nach dem Zweiten Weltkrieg beginnt eine rege Forschungstätigkeit im Bereich der Neurowissenschaften. Die Läsions-Methode, bei der aus den Beobachtungen des erkrankten Systems Rückschlüsse auf das gesunde System gezogen werden, ist passé; neue Bildgebungsmethoden erlauben das direkte Beobachten des gesunden Sprachsystems. Im Folgenden werden die wichtigsten Bildgebungsmethoden und ihre Anwendung bei logopädischen Störungsbildern vorgestellt.

Mehr als nur Lokalisation: Funktionelle Bildgebung

Zu den funktionell bildgebenden Verfahren gehören hämodynamische Verfahren (PET, fMRT, fNIRS), sowie im weiteren Sinn (da sie ebenfalls die Hirnfunktion abbilden) elektro-physiologische Verfahren (EEG, EKP, MEG, tDCS, rTMS). Letztere bieten eine schlechte räumliche, aber sehr gute zeitliche Auflösung, während hämodynamische Verfahren eine schlechte zeitliche, dagegen gute räumliche Auflösung aufweisen (gute einführende

Übersichtsartikel bieten *Poepfel & Krause 2005, Müller & Weiss 2010*.

fMRT

Hämodynamische Verfahren basieren auf der Grundannahme, dass Sprachverarbeitungs- oder Sprachproduktionsprozesse mit einer Erhöhung von Blutfluss und -volumen in den beteiligten Hirnarealen einhergehen. Diese Veränderung in der zerebralen Oxygenierung, die mit fMRT gemessen werden kann, wird als ein indirektes Maß der zugrunde liegenden neuronalen Aktivität im betreffenden Areal betrachtet. Aus einer fMRT-Untersuchung resultiert demnach eine „Landkarte“ der an einer sprachlichen Aufgabe beteiligten („aktivierten“) Areale.

fMRT-Untersuchungen erfordern eine sorgfältige experimentelle Kontrolle, damit die gewonnenen Daten valide interpretierbar sind. Probanden müssen die jeweilige Aufgabe mehrfach und reliabel ausführen, und das Verhalten muss während einer Messung oft wiederholt werden. Wiederholte fMRT-Untersuchungen von Personen mit Aphasie (wie sie z.B. bei Wirksamkeitsstudien notwendig sind) stellen vor diesem Hintergrund oft eine Herausforderung dar.

Patienten machen (idealerweise) vor einer Therapie mehr Fehler als nach Beendigung der Therapie (was bei der Auswertung der Daten zu einem Ungleichgewicht führt); Patienten mit Hirnschädigung führen die jeweilige Aufgabe häufig individuell unterschiedlich aus, und der Blutfluss in den Regionen um die Läsion herum ist häufig beeinträchtigt. Diese zusätzlichen Faktoren in der Durchführung von fMRT-Studien schränken die Interpretierbarkeit der Daten von Personen mit Hirnschädigung möglicherweise ein.

In der Auswertung wird das gemessene Verhalten dann über mehrere Probanden gemittelt. Die Messungen der Veränderungen in einer bestimmten Hirnregion während eines bestimmten Verhaltens (z.B. Mitsprechen) werden dann mit Messungen der Veränderungen in derselben Region bei einem anderen Verhalten (z.B. Zuhören als Kontrollbedingung) verglichen und die „Mehraktivierung“ wird dargestellt (relativer Unterschied).

Alternativ zur Kontrastierung mit einer Kontrollbedingung untersuchen neuere fMRT-Studien manchmal, wie sich Aktivität (d.h. Blutflussveränderung) in einem bestimmten Areal ändert, wenn sich das Verhalten graduell (nur in einer Komponente, z.B. beim stimmhaften vs. stimmlosen Sprechen im Scanner) verändert.

Die zuletzt angesprochene Form des Studiendesigns deutet bereits hin auf eine Verwen-

dung der fMRT jenseits der simplen Frage, welche Areale bei einer bestimmten sprachlichen Aufgabe aktiviert sind. Die Frage nach einer Veränderung der Hirnaktivität mit zunehmender Komplexität der Aufgabe ist für viele logopädische Störungsbilder relevant.

Ein aktuelles Beispiel stammt aus dem Bereich der phonetischen Enkodierung/Artikulation (*Kellmeyer et al. 2010*). In dieser fMRT-Studie sprachen gesunde Probanden Wörter und Pseudowörter nach, deren artikulatorische Schwierigkeit modellgeleitet systematisch zunahm (*Ziegler 2009*). Eine Frage der Autoren war, ob die Anzahl der beteiligten Areale mit der Komplexität der auszusprechenden Wörter und Pseudowörter zunehmen würde, und ob die Zunahme in denjenigen Arealen zu beobachten wäre, die häufig bei einer Sprechapraxie geschädigt sind. Beide Erwartungen erfüllten sich (*Kellmeyer et al. 2010*). Diese fMRT-Studie liefert somit über die Darstellung der an der sprechmotorischen Planung beteiligten Areale hinaus eine zusätzliche, neurobiologische Erklärung des Störungsmechanismus bei Sprechapraxie.

Ein weiteres Beispiel ist eine longitudinale fMRT-Studie, bei der 14 Patienten mit akuter Aphasie über einen Zeitraum von bis zu einem Jahr dreimal mit derselben sprachlichen Aufgabe untersucht wurden (*Saur et al. 2006*, eine Zusammenfassung findet sich in *Saur 2010*). Die Studie hatte zum Ziel, zu überprüfen, ob sprachliche Verbesserungen durch unterschiedlichen Phasen der Funktionsrestitution (Spontanremission vs. spätere langsamere Konsolidierung) erklärbar sind (*Saur 2010*). Tatsächlich deuteten die fMRT-Ergebnisse in

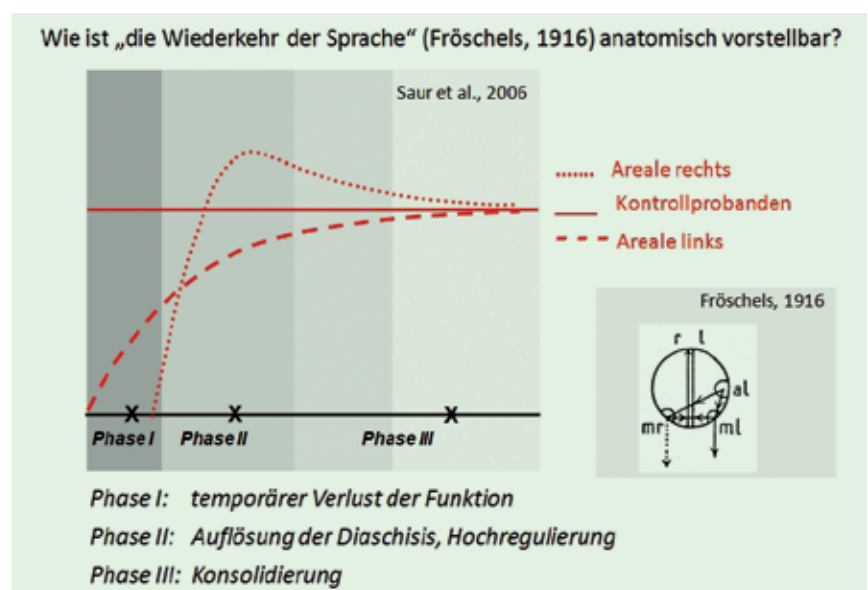
Kombination mit den sprachlichen Verhaltensdaten auf drei verschiedene Phasen der sprachlichen Erholung: Eine erste Phase, in der das sprachliche Netzwerk akut gestört ist; eine zweite, subakute Phase, in der die Diaschisis aufgelöst ist und die verbleibenden Teile des Netzwerkes versuchen, die Funktionsstörung zu kompensieren; und eine dritte, chronische Phase, in der sich das Aktivierungsmuster mehr und mehr dem gesunder altersgleicher Probanden annähert (*Saur 2010*). Interessanterweise bestätigt die Studie von *Saur* und Kollegen nach 90 Jahren die Vermutung von *Fröschels* (1916), die rechte Hemisphäre sei an der „Wiederkehr der Sprache“ beteiligt (Abb. 3).

fNIRS

Ein weiteres hämodynamisches Verfahren ist die funktionelle Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS). Mit dieser Methode lassen sich Veränderungen des Blutflusses (und somit, so die Annahme, Veränderungen der zugrunde liegenden neuronalen Aktivität) in den oberen kortikalen Schichten mit relativ geringem Messaufwand beobachten. Grundlage der Methode ist die wellenlängenspezifische Lichtabsorption von oxygeniertem und deoxygeniertem Hämoglobin.

Anders als die fMRT kann die fNIRS die Hirnanatomie nicht darstellen, sodass die Auswertung und die räumliche Zuordnung der Messwerte über ein Normgehirn erfolgt (zur ausführlicheren Erklärung s. *Müller & Weiss 2010* sowie *Ludlow 2012*; eine detaillierte Übersicht über die Wirkungsweise und die bisherigen Anwendungen der Me-

■ **Abb. 3: Was Fröschels vor 90 Jahren vermutete, ist heute bewiesen: Die rechte Hemisphäre ist an der „Wiederkehr der Sprache“ beteiligt**



thode in der Sprachforschung findet sich in *Quaresima et al.* 2012). Die relativ einfache Handhabung sowie die größere Reichweite der Infrarotstrahlung bei Kindern und Säuglingen macht die fNIRS besonders für die Spracherwerbsforschung attraktiv.

Der Einsatz struktureller und funktioneller Bildgebung als zusätzlicher Nachweis der Wirksamkeit von Sprachtherapie

In den letzten zehn Jahren wurden strukturelle und funktionelle Bildgebungsmethoden in einzelnen Fallbeschreibungen oder in Gruppenstudien mit relativ wenigen Teilnehmern eingesetzt, um die eine effektive logopädische Therapie begleitende Reorganisation auf neurobiologischer Ebene zu erfassen. Die folgenden vier Studien beschreiben die neurobiologischen Korrelate folgender Therapien:

- eines neuen experimentellen Ansatzes zur Verbesserung der Flüssigkeit bei nicht-flüssiger Aphasie (*Fridriksson et al.* 2012b)
- Melodische Intonationstherapie bei mittel- bis schwergradiger Aphasie (*Schlaug et al.* 2009)
- LSVT bei Morbus Parkinson (*Narayana et al.* 2010)
- Dyslexietherapie (*Gabrieli* 2009).

Audiovisuelles Training

Fridriksson und Kollegen (2012b) führten mit 13 Patienten mit seit mindestens zehn Monaten bestehender Broca-Aphasie und nicht-flüssiger Spontansprache ein sechswöchiges Mitsprech-Training (30 Minuten/Tag) durch. Alle Teilnehmer hatten Läsionen im Stromgebiet der ACM; die größte Überlappung der Läsionen bestand in der linken vorderen Inselrinde.

Die geübten drei Mitsprech-„Skripte“ (Themen: Wetter, Aphasie, Rührei machen) waren jeweils ca. eine Minute lang und wurden mit den Teilnehmern in zwei verschiedenen Bedingungen geübt: Mitsprechen mit audiovisueller Stimulation (bei der die Skripte per Kopfhörer und per Video auf einem iPod-Touch präsentiert wurden). In der anderen Bedingung wurden die Skripte nur auditiv über Kopfhörer präsentiert. Zusätzlich übten die Teilnehmer in einer dritten Vergleichs-Bedingung freies Sprechen über ein vorgegebenes Thema für ca. eine Minute.

Vor und nach der Therapie sowie sechs Wochen nach Therapieende wurden die Mitsprech-Leistungen der Patienten mit einem nicht geübten Mitsprech-Skript überprüft. Zehn der 13 Patienten nahmen außerdem

vor und direkt im Anschluss an die Therapie an einer fMRT-Untersuchung teil. Als Outcome-Maß zählten die Autoren die Anzahl unterschiedlicher Wörter, die während jeder Bedingung produziert werden konnten.

Die Studie ergab u.a., dass unter dem audiovisuellen Training die Anzahl unterschiedlicher Wörter um mehr als das Doppelte zugenommen hatte (und signifikant über der Verbesserung durch auditive Stimulierung alleine lag). Diesem Therapieerfolg entsprach eine Reduzierung der Aktivierung im temporo-parietalen Übergang im posterioren Bereich der Sylvischen Fissur, einem Areal, das vermutlich kritisch für einen effizienten Transfer auditiv-verbaler Information in artikulatorische Repräsentationen beim Mit- und Nachsprechen ist (*Peschke et al.* 2009, 2012).

Melodische Intonations-Therapie (MIT)

Die zweite Studie nutzte zur Darstellung von Therapieeffekten zusätzlich zur sprachlichen Verhaltensmessung die sogenannte Diffusionstensor-Bildgebung (DTI), ein strukturelles MRT-Verfahren, mit dem subkortikale Faserstränge der weißen Substanz dargestellt werden können (*Schlaug et al.* 2009).

Mit dieser Methode untersuchten die Forscher die Therapieeffekte der Melodischen Intonations-Therapie (MIT) bei sechs Teilnehmern mit mittelgradiger nicht-flüssiger Aphasie nach relativ großen Infarkten der linken Hemisphäre. Die MIT wurde für 1,5 Stunden täglich über einen Zeitraum von 15 Wochen durchgeführt.

Wie erwartet zeigte sich nach der Therapie eine Verbesserung der Sprachproduktion (gemessen in „korrekten Informationseinheiten“/Minute) in der Spontansprache, beim Bildbeschreiben und beim Beschreiben von Alltagshandlungen. Die Autoren vermuteten, dass die Therapie zu strukturellen Veränderungen der Hirnstruktur geführt hat; insbesondere im

sogenannten Fasciculus arcuatus (oder „Bogenbündel“), einem für die Sprachproduktion kritischen Faserbündel. Dieses Faserbündel verbindet den hinteren Teil des Temporallappens bzw. die untere Parietalregion mit dem Broca-Areal und ermöglicht damit das für sprachliches Lernen wichtige Monitoring der eigenen Leistung durch feedforward- und feedback-Kontrolle.

Wie erwartet zeigte sich bei den Patienten eine signifikante Verbesserung der sprachlich-produktiven Leistungen. Die absolute Anzahl an Fasern im Fasciculus arcuatus der rechten Hemisphäre hatte signifikant zugenommen (*Schlaug et al.* 2009). Möglicherweise, so die Autoren, bedeutet dieser Zuwachs an Fasern im rechten Fasciculus arcuatus, dass die rechte Hemisphäre zu einem großen Teil die Funktion eines „Mappings“ von Tönen auf verbal-motorische Handlungen (wie es bei der MIT trainiert wird) für die geschädigte linke Hemisphäre übernommen hat.

LSVT bei Morbus Parkinson

Narayana und Kollegen (2010) maßen therapie-induzierte Aktivierungsveränderungen mit Positronen-Emissions-Tomographie (PET), einer weiteren funktionellen Bildgebungsmethode, die auf dem Prinzip der Verteilung einer schwach radioaktiv markierten Substanz im Körper basiert.

Zehn Patienten mit Morbus Parkinson, bei denen der Krankheitsbeginn 1,5 bis 7 Jahre (im Mittel 4,6 Jahre) zurücklag, übten in dieser Studie mit dem Therapieprogramm „LSVT LOUD“. Direkt vor und direkt im Anschluss an die Therapie lasen die Patienten zwei Standardtexte, die auf einen Monitor im Scanner projiziert wurden, zweimal hintereinander in der gewohnten Lautstärke, während eine Audioaufnahme gemacht wurde.

Durch die Therapie zeigte sich eine signifikante Verbesserung in den erhobenen Sprech- und Stimmparametern. Dies wurde begleitet von einer Verlagerung der sprechmotorischen Aktivierung in motorische und prämotorische kortikale Areale der rechten Hemisphäre, passend zu der Beobachtung, dass die rechte Hemisphäre auf Produktion und Verarbeitung globaler prosodischer Parameter wie Intonation und Lautstärke spezialisiert zu sein scheint.

Dyslexietherapie

Auch im Bereich der Dyslexietherapie zeigten funktionelle Bildgebungsstudien, dass effektive Therapien mit hirnplastischen Veränderungen einhergehen (siehe *Gabrieli* 2009 für einen Übersichtsartikel zum Einsatz bildgebender Methoden als präventive Methode bei Dyslexie). So demonstrierten z.B. *Temple*

Abkürzungen	
ACM	Arteria Cerebri Media
DTI	Diffusion Tensor Imaging (Diffusionstensor-Bildgebung)
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie oder NIR-Spektroskopie
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
RCT	Randomized Controlled Trial (randomisierte kontrollierte Studie)
rTMS	repetitive Transkranielle Magnetstimulation
tDCS	transcranial Direct Current Stimulation (transkranielle Gleichstromstimulation)

und Kollegen (2003) in einer kombinierten Therapie/funktionellen MRT-Studie die neurobiologischen Korrelate einer intensiven und effektiven Dyslexietherapie.

Zwanzig Kinder mit Dyslexie (im Mittel 9,9 Jahre alt) übten täglich 100 Minuten für insgesamt ca. 28 Therapietage mithilfe eines computer-basierten Dyslexie-Therapieprogramms. Trotz individueller Unterschiede hatten sich die dyslektischen Kinder im Mittel in allen sprachlichen Tests signifikant verbessert und lagen nach der Therapie im normalen Bereich.

Im Scanner bearbeiteten die dyslektischen Kinder vor und nach der Therapie drei verschiedene Aufgaben. In der experimentellen Aufgabe „Reimbuchstaben“ sollten sie immer dann einen Knopf drücken, wenn sich zwei Buchstaben reimten (alphabetisch ausgesprochen reimen sich T und D, G und K reimen sich dagegen nicht). Diese Aufgabe wurde kontrastiert mit einer nicht-phonologischen Aufgabe, bei der die Kinder immer dann den Knopf drücken sollten, wenn zwei Buchstaben (wie P und P) identisch waren. Bei der dritten Aufgabe sollten sie den Knopf immer dann drücken, wenn zwei Linien die gleiche räumliche Orientierung hatten. Dieselben Aufgaben wurden von einer Vergleichsgruppe normallesender Kinder bearbeitet (n=12, im Mittel 10,7 Jahre alt).

Die Ergebnisse der funktionellen MRT ergaben, dass die dyslektischen Kinder, die gegenüber den normallesenden Kindern vor der Therapie eine Minderaktivierung aufwiesen, durch die Therapie eine Normalisierung (sprich, Hochregulierung) in temporo-parietalen Hirnarealen zeigten. Diese Areale steuern die cross-modale Interaktion von visuellen und auditorischen Prozessen beim Lesen.

Neuromodulation als ergänzende Intervention zu konventioneller Sprachtherapie

Um die Effizienz sprachtherapeutischer Intervention insbesondere in der chronischen Phase zu erhöhen, kommen zunehmend Methoden der Neurostimulation bei erwachsenen Patienten zum Einsatz (Allen et al. 2012).

TMS

Bei der transkraniellen Magnetstimulation wird relativ starker Strom durch eine enggewickelte Kupferspule gesendet. Dies erzeugt unter der Spule ein magnetisches Feld, das sich durch die Schädeldecke bis in den Cortex ausbreitet. Dieses lokale Magnetfeld regt die stimulierten Neurone an, ein Aktionspotential auszubilden, das sich vom motorischen

Kortex über die kortikospinale Bahn bis zu den Motoneuronen, die die Muskulatur innervieren, fortpflanzt (deutschsprachige Einführungen in die Methode und Wirkungsweise der TMS bieten die Artikel von Sparing et al. 2005 und Müller & Weiss 2010; das Kapitel von Breitenstein & Knecht 2007 gibt einen Überblick über die Anwendung der TMS in der Sprachforschung).

Ursprünglich wurde die TMS eingesetzt, um die Integrität der neuronalen Verbindung zwischen dem jeweiligen kortikalen (Steuerungs)areal und dem ausführenden Muskel (oder den Muskelgruppen) zu überprüfen. Die Latenz und die Größe der muskulären Antwort auf einen kortikalen Reiz mit TMS gibt dabei Auskunft über die Leitungsgeschwindigkeit in der kortikospinalen Bahn und lässt Rückschlüsse auf eine mögliche Beeinträchtigung durch Hirnschädigung zu (Ludlow 2012).

Neben dieser faszinierenden Wirkung der TMS kann die TMS durch Veränderung der Stimulationsparameter auch in hemmender Weise eingesetzt werden. Ein Beispiel dafür ist das sogenannte „kortikale Mapping“. Wenn bestimmte Bewegungen unter Stimulation spezifischer Hirnareale vorübergehend nicht mehr ausgeführt werden können, kann darauf geschlossen werden, dass dieses spezifische Areal für die Steuerung dieser Bewegung zuständig ist.

Um komplexere Funktionen wie z.B. Schlucken oder Artikulation zu modulieren, wird die sogenannte „repetitive“ TMS (rTMS) eingesetzt, bei der statt eines einzelnen Pulses mit einer kurzen Pulsserie stimuliert wird. Wenn durch eine fokale Stimulation mit rTMS („virtuelle Läsion“) bestimmte Funktionen (z.B. Sprechen oder Stimmgebung) nicht mehr ausgeführt werden können, dann muss das betreffende Areal eine kritische Rolle in dieser Funktion innehaben.

Passagere virtuelle Läsionen können zudem, je nach beobachteten Änderungen des sprachlichen Verhaltens unter Stimulation (wie z.B. verlängerte Reaktionszeiten), Aufschlüsse über die zeitliche Abfolge einzelner kognitiver Verarbeitungsschritte bei einer bestimmten sprachlichen Aufgabe geben (Breitenstein & Knecht 2010). Solche Untersuchungen dienen jedoch eher grundlagenwissenschaftlichen Zwecken.

Da die Wirkung von rTMS je nach den Messparametern auch über den Stimulationszeitraum hinweg anhalten kann, wird seit einigen Jahren intensiv erforscht, ob die rTMS auch zur Unterstützung der sprachlichen Funktionsrestitution bei Aphasie nach Schlaganfall eingesetzt werden kann – entweder, indem sie eine möglicherweise mal-

adaptive Funktion homologer Areale der nicht-läsionierten Hemisphäre hemmt, oder indem sie die Funktion perilesioneller Areale unterstützt (s. Zusammenfassungen bei Wittler & Ptok 2007, Hamilton et al. 2011, Ludlow 2012 sowie Torres et al. 2013).

Eine Kombination von inhibitorischer rTMS über dem rechtshemisphärischen Broca-Homolog und konventioneller Sprachtherapie über einen Zeitraum von drei Wochen führte bei Personen mit schwergradiger Aphasie in der subakuten Phase zu sprachlichen Verbesserungen, die auch knapp vier Monate nach Therapieende nachweisbar waren (Seniów et al. 2013).

Neuere Studien erproben die exzitatorische (fazilitierende) Wirkung der auf die sprachdominante Hemisphäre applizierten rTMS auf das Bildbenennen und die Wortflüssigkeit bei Personen mit chronischer Aphasie (eine Zusammenfassung der therapeutischen Anwendung von rTMS und tDCS bei Aphasie, sowie eine übersichtliche Gegenüberstellung beider Methoden findet sich bei Chrysikou & Hamilton 2011).

rTMS wurde zudem mit nachhaltigem Erfolg zur Therapie von Dysphagien eingesetzt (Khedr et al. 2009). Mögliche positive Effekte der rTMS auf eine Dysarthrie bei Parkinson'scher Erkrankung werden zurzeit untersucht (Hartelius et al. 2010, Eliasova et al. 2013). Barwood & Murdoch (2013) fassen die aktuellen Behandlungsansätze mit rTMS bei neurogenen Schluck- und Sprechstörungen zusammen und bieten eine kritische Diskussion der methodischen Herausforderungen bei der Anwendung der rTMS mit Patienten mit Kommunikationsstörungen.

tDCS

Wie die deutlich steigende Anzahl an Veröffentlichungen anzeigt, hat die tDCS (transcortical Direct Current Stimulation oder transkranielle Gleichstromstimulation) in den letzten Jahren einen Aufschwung als begleitende Therapiemethode in der Neurorehabilitation erlebt (siehe Fridriksson et al. 2012a und Feng et al. 2013 für methodische Übersichtsartikel). Dies liegt sicher auch daran, dass das Stimulationsgerät tragbar und die Durchführung dadurch deutlich einfacher als bei der rTMS ist, bei der in der Regel sowohl der Kopf als auch die Stimulationsspule fixiert werden, um das zu stimulierende Zielareal präzise ansteuern zu können (Breitenstein & Knecht 2007, s.a. Abbildung in Wittler & Ptok 2007).

tDCS bewirkt eine Modulation der kortikalen Erregbarkeit, die weniger fokal als bei der TMS ist. Anders als bei der TMS, die durch

die Stärke der elektrischen Stimulation Aktionspotenziale auslöst, nimmt man an, dass die geringe Stromstärke bei der tDCS die Ruhe(membran)potentiale kortikaler Neurone modifiziert (*Hamilton et al. 2011*). Die Stimulation durch einen schwachen elektrischen Strom (normalerweise 1-2 mA) erfolgt von außen durch Anbringung von zwei Elektroden an der Kopfhaut, die mit einem Gleichstromstimulator verbunden sind.

Die Polarität der Elektroden, Anode oder Kathode, bestimmt dabei, ob die Erregbarkeit des stimulierten Gewebes erhöht oder abgeschwächt wird, und somit die mit dem stimulierten Areal assoziierten Hirnfunktionen fasziliert oder gehemmt werden. Wird die Anode (+) über das zu stimulierende Areal platziert und die Kathodale (-) über einem gegenüberliegenden Areal, spricht man von „anodaler Stimulation“ (und exzitatorischer oder faszilierender Wirkung); wird die Kathode über das zu stimulierende Areal gelegt und die Anode entsprechend gegenüberliegend angebracht, nennt man das Vorgehen „kathodale Stimulation“ (und geht von einer hemmenden Wirkung aus).

Die Wirkung einer Stimulation mit tDCS kann Minuten bis Stunden andauern, je nach Intensität, Polarität und Dauer der Stimulation (*Hamilton et al. 2011*). Üblich ist eine Stimulierungsdauer von 10 bis 20 Minuten. Die tDCS wurde bisher als adjuvante Therapiemethode bei Aphasie, Dysphagie und Sprechapraxie eingesetzt.

So führten z.B. *Marangolo* und Kollegen (2011) bei drei Patienten mit chronischer Sprechapraxie eine Stimulation mit anodaler tDCS direkt über der unteren frontalen Hirnwindung (dem Broca-Areal, das bei allen Patienten erhalten war) durch, während die Patienten mit den Therapeuten das Nachsprechen von Silben und kurzen Wörtern übten. Die Stimulation erfolgte an fünf aufeinanderfolgenden Therapietagen während der Therapie für täglich jeweils 20 Minuten.

Während einer weiteren ebenfalls fünftägigen Therapiephase mit strukturgleichen Silben und Wörtern wurde eine sogenannte „sham-“ oder „Schein“-Stimulation durchgeführt, bei der der Stimulator jeweils nach 30 Sekunden abgeschaltet wurde. Laut den Autoren wussten weder Patienten noch Therapeuten, ob während der jeweiligen Therapiephase „echte“ oder Schein-tDCS durchgeführt wurde.

Direkt nach der Therapie zeigte sich erwartungsgemäß eine Abnahme der Fehlerhäufigkeit beim Nachsprechen der geübten Stimuli in beiden Bedingungen. Für die unter tDCS geübten Items war die Verbesserung jedoch größer als für die unter Scheinstimu-

lation geübten Items. Nach zwei Monaten hielt der Therapieerfolg für die unter tDCS geübten Items unverändert an, während die Fehlerrate der Items der Scheinstimulations-Bedingung wieder zunahm.

Die Autoren mutmaßen, dass die Stimulation des erhaltenen Gewebes im Broca-Areal der geschädigten linken Hemisphere in Kombination mit spezifischer Sprachtherapie die Fähigkeit zur kompensatorischen Plastizität in diesem Areal erhöht haben könnte, was dann möglicherweise zu einer höheren Effizienz und einer nachhaltigen Verbesserung der motorischen Sprechplanung führte.

In einer weiteren Studie wurde tDCS eingesetzt, um die Wirksamkeit von Melodischer Intonationstherapie (MIT) bei Patienten mit mittel- bis schwergradiger nicht-flüssiger Aphasie zu verstärken (*Vines et al. 2011*). Auch hier wurde mit tDCS stimuliert, während die MIT in der Therapie durchgeführt wurde. Bei allen sechs beteiligten Patienten lag der erste und einzige Schlaganfall mehr als ein Jahr zurück. Nach nur drei konsekutiven Therapietagen, in denen ein jeweils 20-minütiges Training mit MIT unter gleichzeitiger anodaler tDCS-Stimulation (bzw. Schein-Stimulation) des Broca-Homologs der rechten Hemisphäre durchgeführt wurde, zeigte sich nach der Therapie (verglichen zum Status vor der Therapie) bei fünf der sechs Probanden eine höhere Sprechproduktionsrate bei der Produktion automatisierter Wortreihen und automatisierter kurzer Texte. Dieser Effekt trat nur nach tDCS-Stimulation auf.

Die Autoren nehmen an, dass die anodale Stimulation des nicht betroffenen rechtshemisphärischen Broca-Homologs die synaptische Plastizität dieses Areals, das eine wichtige Rolle bei der Integration von Tönen mit artikulatorischen Gesten während des Singens spielt, zusätzlich erhöhte. Zudem, so die Autoren, könnte die erhöhte Wirksamkeit der sprachtherapeutischen Intervention durch die tDCS-Stimulation des rechtsseitigen Broca-Homologs dadurch zustande gekommen sein, dass genau dieses Areal in der sprachlichen Funktionsrestitution besonders bei schwergradiger Aphasie offenbar eine entscheidende Rolle spielt (*Saur et al. 2006*).

Ein dritter logopädischer Anwendungsbe- reich für die tDCS ist die Unterstützung der Behandlung der Dysphagie (*Kumar et al. 2011, Yang et al. 2012*). Fünf aufeinanderfolgende Behandlungstage mit gleichzeitiger Schlucktherapie und anodaler tDCS über dem inferioren sensorimotorischen Kortex (dem „Schluckareal“) der nicht-läsionierten Hemisphere führten bei sieben Patienten, die ein bis sieben Tage zuvor einen Schlaganfall

erlitten hatten, zu einer signifikant höheren Verbesserung in der „Dysphagia Outcome and Severity Scale“ (DOSS) als bei einer vergleichbaren Scheinstimulations-Gruppe (Kumar et al. 2011). Da auch das Zerebellum in die Schluckfunktion involviert ist, könnte möglicherweise eine Stimulation mit tDCS über dem Zerebellum ebenfalls zu einer Verbesserung der Schluckfunktion führen (Feng et al. 2013).

Einige Autoren (Vines et al. 2011, Elsner et al. 2013) merken an, dass zurzeit noch viele Fragen bezüglich eines therapeutischen Einsatzes der tDCS offen sind. So ist z.B. zu klären, wie entscheidend für den Effekt die räumliche Spezifität der Stimulation ist und in welcher Weise die Behandlung mit tDCS optimal dosiert ist, bzw. welche Stimulationsfrequenz und -intensität die nachhaltigsten Verbesserungen erzeugt. Es bestehen Hinweise darauf, dass die Nachhaltigkeit der erreichten Verbesserung durch eine längere Interventionsdauer erhöht werden könnte (Vines et al. 2011).

Bezogen auf eine adjuvante Anwendung der tDCS in der Behandlung von Sprach-, Sprech- und Schluckstörungen ist zu klären, ob eine Stimulation mit tDCS insbesondere in Kombination mit Sprachtherapie effektiv ist, und unter welchen Bedingungen der Modus der Stimulation (anodal versus kathodal) eine stärkere Verbesserung der sprachlichen Leistungen bewirkt (für ein Beispiel einer sprachlichen Verbesserung bei Aphasie unter kathodaler Stimulation s. You et al. 2011).

Abhängig davon, ob sich eine Intervention mit tDCS auf die Durchführung einer Aufgabe oder auf die Konsolidierung des Gelernten auswirkt (was zurzeit noch unklar ist), könnte zudem eine Stimulation vor, während, oder sogar im Anschluss an eine therapeutische Intervention am effektivsten sein (Vines et al. 2011).

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich das Fazit ziehen, dass Methoden aus der Kognitiven Neurowissenschaft zum Verständnis der Störungsmechanismen der Sprach-, Sprech-, Stimm- und Schluckstörungen beitragen. Zudem liefert die Neurowissenschaft Aufschlüsse über (sprachliche) Lernmechanismen und die Interaktion von Sprache und Sprechen mit anderen kognitiven Funktionen (siehe Kasten). Mit neurowissenschaftlichen Methoden erhobene Daten können dazu genutzt werden, die Nachweise der Wirksamkeit logopädischer Therapie zusätzlich zu untermauern.

Einige neurowissenschaftliche Methoden wie die rTMS und die tDCS werden bereits jetzt als adjuvante Methode in der logopädischen Therapie eingesetzt.

Weitere neurowissenschaftliche Forschungsfelder werden die logopädische Diagnostik und Therapie in Zukunft nachhaltig verändern. Dazu zählt u.a. die Frage nach dem genetischen Einfluss auf Prozesse des Spracherwerbs. Vermutlich werden neurowissenschaftliche Techniken (z.B. Neurofeedback) und Interventionen (z.B. Neuroenhancement) das zukünftige Behandlungsspektrum bei Sprach-, Sprech-, Stimm- und Schluckstörungen ergänzen und bereichern.

LITERATUR

- Allen, L., Mehta, S., McClure, J.A. & Teasell, R. (2012). Therapeutic interventions for aphasia initiated more than six months post stroke: a review of the evidence. *Topics in Stroke Rehabilitation* 19 (6), 523-35
- Barwood, C.H.S. & Murdoch, B.E. (2013). rTMS as a treatment for neurogenic communication and swallowing disorders. *Acta Neurologica Scandinavica* 127 (2), 77-91
- Breitenstein, C. & Knecht S. (2007). Sprache. In: Siebner, H.R. & Ziemann, U. (Hrsg.), *Das TMS-Buch: Handbuch der transkraniellen Magnetstimulation* (429-438). Heidelberg: Springer
- Medizin, link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-71905-2_43.pdf (29.07.13)
- Chryssikou, E.G. & Hamilton, R.H. (2011). Noninvasive brain stimulation in the treatment of aphasia: exploring interhemispheric relationships and their implications for neurorehabilitation. *Restorative Neurology and Neuroscience* 29 (6), 375-394
- Eliasova, I., Mekyska, J., Kostalova, M., Marecek, R., Smekal, Z. & Rektorova, I. (2013). Acoustic evaluation of short-term effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on motor aspects of speech in Parkinson's disease. *Journal of Neural Transmission* 120 (4), 597-605

- Elsner, B., Kugler, J., Pohl, M. & Mehrholz, J. (2013). Transcranial direct current stimulation (tDCS) for improving aphasia in patients after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Issue 6. Art.-No.: CD009760
- Feng, W.W., Bowden, M.G. & Kautz, S. (2013). Review of transcranial direct current stimulation in post-stroke recovery. *Topics in Stroke Rehabilitation* 20 (1), 68-77
- Fridriksson, J., Hubbard, H.I. & Hudspeth, S.G. (2012a). Transcranial brain stimulation to treat aphasia: a clinical perspective. *Seminars in Speech and Language* 33, 188-202
- Fridriksson, J., Hubbard, H.I., Hudspeth, S.G., Holland, A.L., Bonilha, L., Fromm, D. & Rorden, C. (2012b). Speech entrainment enables patients with Broca's aphasia to produce fluent speech. *Brain* 135 (12), 3815-3829
- Fröschels, E. (1913). *Lehrbuch der Sprachheilkunde (Logopädie)*. Leipzig: Franz Deuticke
- Fröschels, E. (1916). Über den zentralen Mechanismus der Sprache. *Deutsche Zeitschrift für Nervenheilkunde* 54 (1), 19-45
- Fröschels, E. (1918). *Die Kopfverletzungen im Kriege: ihre psychologische Untersuchung, Behandlung und Fürsorge*. Wien: Moritz Perles
- Gabrieli, J.D. (2009). Dyslexia: a new synergy between education and cognitive neuroscience. *Science* 325 (5938), 280-283
- Grohnfeldt, M. (2009). Zur Geschichte des Sprachheiwesens in Deutschland. *Sprache – Stimme – Gehör* 33, 39-45
- Hamilton, R.H., Chryssikou, E.G. & Coslett, B. (2011). Mechanisms of aphasia recovery after stroke and the role of noninvasive brain stimulation. *Brain and Language* 118 (1-2), 40-50
- Hartelius, L., Svantesson, P., Hedlund, A., Holmberg, B., Revesz, D. & Thorlin, T. (2010). Short-term effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on speech and voice in individuals with Parkinson's disease. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 62 (3), 104-109
- Khedr, E.M., Abo-Elfetoh, N. & Rothwell, J.C. (2009). Treatment of post-stroke dysphagia with repetitive transcranial magnetic stimulation. *Acta Neurologica Scandinavica* 119 (3), 155-161

Neurowissenschaftliche Erkenntnisse mit Relevanz für die Logopädie

1. Use it or lose it.
2. Höhergeordnete kognitive Prozesse (exekutive Funktionen, Gedächtnis, Aufmerksamkeit) beeinflussen Sprache und Sprachentwicklung.
3. Motorische und Sprachentwicklung hängen zusammen.
4. Bei Schädigung kommt es zu dynamischen Anpassungsprozessen auf Systemebene.
5. Es existieren kritische Hirnareale für Spracherwerb und Spracherholung nach Schlaganfall.
6. Funktionen werden repetitiv (wieder-)erlernt.
7. (Wiederer-)Lernen erfolgt optimal in bestimmter Dauer und in bestimmten Abständen.
8. Reorganisation des Gehirns wird durch Therapie unterstützt.

- Kellmeyer, P., Ewert, S., Kaller, C., Kümmerer, D., Weiller, C., Ziegler, W. & Saur, D. (2010). *Brain regions modulated by articulatory difficulty*. Posterpräsentation, 16th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Barcelona (Spanien).
- Kumar, S., Wagner, C.W., Frayne, C., Zhu, L., Selim, M., Feng, W. & Schlaug, G. (2011). Noninvasive brain stimulation may improve stroke-related dysphagia: a pilot study. *Stroke* 42 (4), 1035-1040
- Ludlow, C.L. (2012). Using neuroimaging and neuro-modulation to study changes in brain functioning with therapy. *Seminars in Speech and Language* 33 (3), 175-87
- Marangolo, P., Marinelli, C.V., Bonifazi, S., Fiori, V., Caravolo, M.G., Provinciali, L. & Tomaiuolo, F. (2011). Electrical stimulation over the left inferior frontal gyrus (IFG) determines long-term effects in the recovery of speech apraxia in three chronic aphasics. *Behavioural Brain Research* 225 (2), 498-504
- Macha-Krau, H. (2000). Logopädie im Dritten Reich. *Forum Logopädie* 14 (4), 23-27
- Müller H.M. & Weiss, S. (2010). Elektrophysiologische und hämodynamische Verfahren zur Untersuchung von Sprache. *Sprache – Stimme – Gehör* 34 (2), 106-111
- Narayana, S., Fox, P.T., Zhang, W., Franklin, C., Robin, D.A., Vogel, D. & Ramig, L.O. (2010). Neural correlates of efficacy of voice therapy in Parkinson's disease identified by performance-correlation analysis. *Human Brain Mapping* 31 (2), 222-236
- Peschke, C., Ziegler, W., Kappes, J. & Baumgaertner, A. (2012). Phonological manipulation between speech perception and production activates a parieto-frontal circuit. *Neuroimage* 59 (1), 788-799
- Peschke, C., Ziegler, W., Kappes, J. & Baumgaertner, A. (2009). Auditory-motor integration during fast repetition: the neuronal correlates of shadowing. *Neuroimage* 47, 392-402
- Poeppel, T. D. & Krause, B. J. (2005). Einführung in die funktionell bildgebenden Verfahren und die Datenanalytik. *Sprache – Stimme – Gehör* 29, 99-111
- Quaresima, V., Bisconti, S. & Ferrari, M. (2012). A brief review on the use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for language imaging studies in human newborns and adults. *Brain and Language* 121 (2), 79-89
- Salmelin, R. (2007). Clinical neurophysiology of language: the MEG approach. *Clinical Neurophysiology* 118 (2), 237-54
- Saur, D. (2010). Bildgebung der Aphasien. *Der Nervenarzt* 81 (12), 1429-1437
- Saur, D., Lange, R., Baumgaertner, A., Schraknepper, V., Willmes, K., Rijntjes, M. & Weiller, C. (2006). Dynamics of language reorganization after stroke. *Brain* 129 (6), 1371-1384
- Schlaug, G., Marchina, S. & Norton, A. (2009). Evidence for plasticity in white-matter tracts of patients with chronic Broca's aphasia undergoing intense intonation-based speech therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1169, 385-394
- Seniów, J., Waldowski, K., Leśniak, M., Iwański, S., Czepiel, W. & Członkowska, A. (2013). Transcranial magnetic stimulation combined with speech and language training in early aphasia rehabilitation: a randomized double-blind controlled pilot study. *Topics in Stroke Rehabilitation* 20 (3), 250-261
- Sparing, R., Meister, I. G. & Mottaghy, F. M. (2005). Untersuchungen neuronaler Sprachnetzwerke mit der Transkraniellen Magnetstimulation (TMS). *Sprache – Stimme – Gehör* 29 (3), 139-143
- Stichel, C. (2004). *Ursachenforschung und Beschreibung von Sprachstörungen in der Sprachheilkunde des Nationalsozialismus*. Norderstedt: Grin
- Temple, E., Deutsch, G.K., Poldrack, R.A., Miller, S.L., Tallal, P., Merzenich, M.M. & Gabrieli, J.D. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100 (5), 2860-2865
- Torres, J., Drebing, D. & Hamilton, R. (2013). TMS and tDCS in post-stroke aphasia: Integrating novel treatment approaches with mechanisms of plasticity. *Restorative Neurology and Neuroscience* 31 (4), 501-515
- Uwer, R. (2001). Elektrophysiologische Befunde. In: von Suchodoletz, W. (Hrsg.), *Neurobiologische Grundlagen von Sprache und Sprachentwicklungsstörungen* (70-98). Stuttgart: Kohlhammer
- Vines, B.W., Norton, A.C. & Schlaug, G. (2011). Non-invasive brain stimulation enhances the effects of melodic intonation therapy. *Frontiers in Psychology* 2 (230), 1-10
- Wittler, M. & Ptok, M. (2007). Transkranielle Magnetstimulation – eine neue Therapieoption bei Aphasie? *Sprache – Stimme – Gehör* 31 (3), 112-117
- Yang, E.J., Baek, S.R., Shin, J., Lim, J.Y., Jang, H.J., Kim, Y.K. & Paik, N.J. (2012). Effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on post-stroke dysphagia. *Restorative Neurology and Neuroscience* 30 (4), 303-311
- You, D.S., Kim, D.Y., Chun, M.H., Jung, S.E. & Park, S.J. (2011). Cathodal transcranial direct current stimulation of the right Wernicke's area improves comprehension in subacute stroke patients. *Brain and Language* 119 (1), 1-5
- Ziegler, W. (2009). Modelling the architecture of phonetic plans: Evidence from apraxia of speech. *Language and Cognitive Processes* 24 (5), 631-661

Weiterführende Leseempfehlungen

- Baer, M.F., Connors, B.W. & Paradiso, M.A. (2009). *Neurowissenschaften*. Heidelberg: Spektrum (darin: das Kapitel „Sprache“)
- Gehirn & Geist Highlights: *Sprich mit mir!* (2010). Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft
- Hermann, C. & Fiebach, C. (2007). *Gehirn & Sprache* Frankfurt/M.: Fischer Taschenbuch (gute Einführung; leider vergriffen)
- von Suchodoletz, W. (2001). Hirnorganische Repräsentation von Sprache und Sprachentwicklungsstörungen. In: von Suchodoletz, W. (Hrsg.), *Neurobiologische Grundlagen von Sprache und Sprachentwicklungsstörungen* (27-69). Stuttgart: Kohlhammer

Interessante Websites zum Thema „Hirnstimulation“

- www.aphasietraining.de > Vortrag „Hirnstimulation“
- www.dgkn.de/patienten/therapie/behandlungsmethoden-der-neurophysiologie/transkranielle-gleichstromstimulation
- www.klinikum.uni-muenchen.de/Klinik-und-Poliklinik-fuer-Psychiatrie-und-Psychotherapie/de/forschung/tms/schwerpunkte/tdcs.html

DOI dieses Beitrags (www.doi.org)

10.2443/skv-s-2013-53020130502

Autorin

Annette Baumgaertner PhD
 Professorin für Logopädie
 Hochschule Fresenius, Hamburg
 Fachbereich Gesundheit & Soziales
 Alte Rabenstraße 2
 20148 Hamburg
baumgaertner@hs-fresenius.de

SUMMARY. Speech Language Pathology and the Neurosciences

This paper provides a brief review of the beginnings of neuroscience, seen from a speech language pathologist's view. It discusses the way neuroscientific methods may be used to explain language processing in the healthy brain, and how they may contribute to clarify the underlying mechanisms of specific communication disorders. The paper gives concrete examples of the way structural and functional imaging data may corroborate behavioral treatment efficacy data. Finally, it presents neurostimulation as an adjuvant therapeutic procedure in the treatment of speech, language, and swallowing disorders.

KEY WORDS: Therapy – efficacy – neuromodulation – structural imaging – functional imaging – rTMS – tDCS