

In dieser Reihe erschienen:

Helmut Fink/Rainer Rosenzweig (Hrsg.): Freier Wille –
frommer Wunsch? Gehirn und Willensfreiheit (2006)

Stephan Matthiesen/Rainer Rosenzweig (Hrsg.): Von
Sinnen. Traum und Trance, Rausch und Rage aus Sicht
der Hirnforschung (2007)

Helmut Fink /
Rainer Rosenzweig (Hrsg.)

Neuronen im Gespräch

Sprache und Gehirn

mentis
PADERBORN

Inhalt

| | |
|--|-----|
| Vorwort | 7 |
| <i>Helmut Fink</i> | |
| Einleitung: Die natürlichen Grundlagen der Sprache | 9 |
| <i>Manfred Bierwisch</i> | |
| Der Tanz der Symbole – Wie die Sprache die Welt berechnet | 17 |
| <i>Matthias Schlesewsky und Ina Bornkessel-Schlesewsky</i> | |
| Minimalität und Unterscheidbarkeit – Eine sprach- übergreifende neurokognitive Perspektive auf zwei fundamentale Prinzipien des Sprachverstehens | 47 |
| <i>Stefan Koelsch und Tom Fritz</i> | |
| Musik verstehen – Eine neurowissenschaftliche Perspektive | 69 |
| <i>Markus Steinbach</i> | |
| Gebärdensprachen und das Gehirn – Psycho- und neurolinguistische Grundlagen einer sichtbaren Sprache | 99 |
| <i>Werner Deutsch und Michael Kassecker</i> | |
| Schöne Fehler – Über die Illusion des perfekten Sprechens | 129 |
| <i>Julia Fischer</i> | |
| Zum Ursprung der menschlichen Sprache – Eine evolutionsbiologische Perspektive | 141 |
| <i>Stefanie Hoehl und Tricia Striano</i> | |
| Kommunikation und Interaktion in der Entwicklung – Wie beeinflussen soziale Reize das frühkindliche Lernen? ... | 163 |
| <i>Angela D. Friederici</i> | |
| Gehirnkorrelate sprachlicher Verarbeitungsprozesse in den ersten Lebensjahren | 185 |

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte
bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem
und alterungsbeständigem Papier (∞) ISO 9706

© 2008 mentis Verlag GmbH
Schulze-Delitzsch-Straße 19, D-33100 Paderborn
www.mentis.de

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk sowie einzelne Teile desselben sind urheberrecht-
lich geschützt. Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zulässigen Fällen ist ohne
vorherige Zustimmung des Verlages nicht zulässig.

Printed in Germany
Einbandgestaltung: Alexander Paul, Hannover
Satz: Rhema – Tim Doherty, Münster [ChH] (www.rhema-verlag.de)
Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, Kempten
ISBN 978-3-89785-624-0

| | |
|----------------------------------|-----|
| Glossar | 207 |
| Die Autorinnen und Autoren | 219 |

Vorwort

Das Thema dieses Buches, die Sprache, geht uns alle an. Der Mensch ist ein »Tier mit Sprache«. Die hier versammelten Einblicke in die Sprach- und Hirnforschung gehen allesamt den natürlichen Grundlagen von Sprache nach: Was kennzeichnet Sprache, wie entwickelt sie sich, und was passiert im Gehirn bei Sprachproduktion und Sprachverstehen?

Die Beiträge des Bandes gehen zurück auf ein populärwissenschaftliches Symposium, das unter gleichem Titel von 22. bis 24. September 2006 in Nürnberg stattfand. Veranstalter war die gemeinnützige **turmdersinne** GmbH, eine Gesellschaft des Humanistischen Verbandes HVD-Nürnberg, deren Zweck sowohl im Betrieb eines Erlebnismuseums zur menschlichen Sinneswahrnehmung als auch in der Organisation von Bildungsveranstaltungen im Umfeld der Wahrnehmungs- und Hirnforschung besteht (siehe www.turmdersinne.de).

Die Symposien des **turmdersinne** finden seit 1998 mit jährlich wechselndem Schwerpunktthema statt. Nach »Freier Wille – frommer Wunsch?« (Symposium 2004) und »Von Sinnen« (Symposium 2005) erscheint nun zum dritten Mal in Folge die Sammlung der Beiträge in Buchform. Erneut sind die Autoren Forscherinnen und Forscher, die über ihren Gegenstand präzise, aber doch mit Blick auf ein breiteres Publikum berichten. Naturwissenschaftler, Philosophen und interessierte Laien mögen sich gleichermaßen angesprochen fühlen.

Wir danken dem Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig für die fruchtbare Kooperation bei der Planung und dem Team des **turmdersinne** für die Durchführung des Symposiums. Ohne Barbara Rosenzweig gäbe es kein Glossar und ohne Michael Kienecker keine Fortsetzung dieser Reihe im mentis Verlag.

Nürnberg im August 2008

Die Herausgeber

Helmut Fink

Einleitung: Die natürlichen Grundlagen der Sprache

Der Titel »Neuronen im Gespräch« ist dreideutig. Er meint erstens unsere Gehirnzellen als materielle Grundlage unserer geistigen Aktivität, wenn wir gerade ein Gespräch führen. Er meint zweitens die Wechselwirkung dieser Gehirnzellen, die dann in einem metaphorischen Sinn ein »Gespräch« miteinander führen. Und er meint schließlich drittens Neuronen als einen populären Gesprächsgegenstand.

Diese drei Bedeutungen umreißen Thema und Anspruch der nachfolgenden Sammlung von Beiträgen. Gespräche führen zu können ist eine hoch komplexe Fähigkeit, die vielfältige Einzelfähigkeiten voraussetzt: Man muss die sprachlichen Äußerungen des Gesprächspartners sinnlich wahrnehmen können, ihre Bestandteile erfassen, ihre Bedeutung erschließen, sich an vorherige Gesprächsteile erinnern, eigene Gedanken und Assoziationen entwickeln, eigene Äußerungen planen, die Muskeln zu ihrer Formulierung ansteuern – und das alles in »Echtzeit« und miteinander überlappend. Alle diese Fähigkeiten und ihr koordiniertes Zusammenspiel beruhen auf der Tätigkeit unseres Gehirns, auf den raumzeitlich organisierten Mustern neuronaler Anregungen in Hirnarealen, die jeweils auf bestimmte Aufgaben spezialisiert sind, und auf den zahlreichen Hintereinanderschaltungen, Querverbindungen und Rückkopplungen all dieser Areale. Das Ergebnis ist ein Strom aus Gedanken, den wir als kontinuierlich und – mehr oder weniger – schlüssig empfinden. Doch welche Neuronen müssen wann mit welchen anderen Neuronen »sprechen«, um diese scheinbar mühelose Abfolge hervorzubringen?

Die Hirnforschung hat in den vergangenen Jahrzehnten große Fortschritte im Auffinden *neuronaler Korrelate*, also in der Zuordnung spezifischer Hirnaktivität zu einzelnen geistigen Leistungen, gemacht. Diese Fortschritte ziehen das Interesse einer breiteren Öffentlichkeit auf sich. So füllt das Themenfeld »Gehirn und Geist« schon seit einigen Jahren eine eigene populärwissenschaftliche Zeitschrift (*Gehirn & Geist*, 2002). Für dieses breite Interesse ist sicherlich die allgemeine Erwartung

von Bedeutung, so etwas wie »Erklärungen« für die geistigen Fähigkeiten zu bekommen, die uns zu Menschen machen. Ob und in welchem Sinn es sich dabei um kausale Erklärungen handeln kann, ist ein zentraler Streitpunkt in der Philosophie des Geistes. Als aktueller Überblick über philosophische Fragen und Konzepte zum Verhältnis von materieller Welt und mentalem Geschehen sei (Walter, 2006) empfohlen.

Ein klassischer Zugang zu neuronalen Korrelaten geistiger Leistungen sind Ausfallerscheinungen nach Verletzungen oder Erkrankungen des Gehirns. In früheren Zeiten konnte der Zustand des Gehirns dabei erst nach dem Tod der betreffenden Person genau untersucht werden. Der Fortschritt der medizinischen Technik im apparativen und operativen Bereich hat es ermöglicht, dass nunmehr Gehirnen »beim Denken zugeschaut« werden kann und gezielte Reizungen, Eingriffe und pharmakologische Wirkungen möglich sind. Das menschliche Gehirn wird dadurch in zunehmendem Maße als ein Untersuchungsgegenstand experimenteller Naturwissenschaft erschlossen. Einen facettenreichen Einblick in heutige und künftige Gestaltungsmöglichkeiten rund ums Gehirn, aber auch in die dadurch erzeugten tiefgehenden ethischen Probleme, gibt Vaas (2008). Eine besonnene Darstellung der Rolle bildgebender Verfahren für die Grundlagenforschung und erhoffte Anwendungen, insbesondere Lügendetektoren, liefert Schlemm (2008). Darin findet sich auch eine ausführliche Erläuterung eines der heute vorherrschenden Verfahren zur Untersuchung neuronaler Korrelate mentaler Zustände, der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT).

Psycholinguistik und Neurolinguistik

Wie jedes komplexe Phänomen wird auch das Phänomen der Sprache erforscht, indem man es in überschaubare Teile oder Teilaspekte zerlegt und dann deren Zusammenspiel studiert. Dies kann auf verschiedenen Beschreibungsebenen geschehen. Nimmt man die alltägliche Praxis des Sprechens als Ausgangspunkt, so liegt zunächst die kulturelle Ebene nahe: Sprache ist Ausdrucksform menschlicher Vernunft, womöglich gar ihre zentrale Voraussetzung. Sie ermöglicht Verständigung über nicht unmittelbar Gegebenes, sei es vergangen oder zukünftig oder räumlich entfernt. Sprache enthält abstrakte Begriffe. Der Umgang

damit unterscheidet uns von allen (manche sagen: von allen *anderen*) Tieren. Solche allgemeinen Betrachtungen führen zur philosophischen Anthropologie.

Die allgemeine Sprachwissenschaft oder *Linguistik* studiert jedoch die Bestandteile und Strukturmerkmale von Sprache. Dabei stehen nicht Wortschatz, Grammatik, Aussprache oder Herkunft einzelner Sprachen im Mittelpunkt des Interesses (dies ist Gegenstand der Philologie), auch nicht die Suche nach Sprachtypen, Sprachfamilien oder Sprachvarietäten (das ist Gegenstand der vergleichenden Sprachwissenschaft), sondern das Gemeinsame aller Sprachen. Hierzu gehört die Phonetik als Lehre von den Sprachlauten, die Phonologie als Lehre der Sprachlautsysteme (Phoneme sind die kleinsten lautlichen Einheiten der Sprache, sie sind alleine noch nicht bedeutungstragend), die Morphologie als Lehre der Wortbausteine und ihrer Zusammensetzung (Morpheme sind die kleinsten bedeutungstragenden Einheiten), die Lexikologie als Lehre vom Wortschatz und seiner Struktur, die Grammatiklehre und schließlich die Semiotik als Lehre von den Zeichen, die wiederum Syntax als Form- und Strukturlehre, Semantik als Sinn- und Bedeutungslehre, sowie Pragmatik als (Sprach-)Handlungslehre umfasst.

Man kann nun fragen, wie sich diese abstrakten Merkmale von Sprache in den konkreten geistigen Leistungen beim Sprechen wiederfinden, d.h. wie die Sprachverarbeitung beim Menschen »funktioniert«. Bleibt man hierbei auf den Beschreibungsebenen der mentalen Zustände und der »von außen« feststellbaren Leistungen von Sprechern, so betreibt man *Psycholinguistik*. Sprachverarbeitung umfasst Sprach*produktion*, d.h. die Planung einer Äußerung und den Akt des Sprechens, und Sprach*rezeption*, d.h. Sprachwahrnehmung und -verstehen. Beides kann mit psychologischen Mitteln untersucht werden. Aufschlussreich sind dabei einerseits angeborene Sprachentwicklungsstörungen (Dyslexie) und durch Verletzungen entstandene Sprachstörungen (Aphasien), und andererseits die »Vermessung« der Leistungsfähigkeit gesunder Probanden in kontrollierten Testsituationen. Um der inneren Abfolge einzelner Teilleistungen auf die Spur zu kommen, können Probanden etwa durch »priming«-Effekte auf ein Bedeutungsumfeld oder eine Artikulationsplanung voreingestellt werden oder durch Zeitdruck zu Sprechfehlern verleitet werden. Aus Art und Häu-

figkeit der Fehler lassen sich dann Rückschlüsse auf den normalen, ungestörten Ablauf ziehen.

Die Suche nach den neuronalen Korrelaten von Teilleistungen der Sprachverarbeitung vollzieht sich vor dem Hintergrund solcher (sprach-)psychologischer Erkenntnisse. Beispielsweise kann auch schon ohne den »Blick ins Gehirn« zwischen dem mentalen Lexikon und der mentalen Grammatik eines Sprechers unterschieden werden. Der Bezug auf die anatomischen und physiologischen Eigenschaften des Gehirns bleibt dann der *Neurolinguistik* vorbehalten. Sie eröffnet somit eine weitere Beschreibungsebene der Sprachverarbeitung, nämlich diejenige der neuronalen Anregungen in ihrer räumlichen und zeitlichen Ordnung.

Durch diesen Bezug auf das Gehirn als Organ des Denkens baut die Neurolinguistik eine Brücke zwischen Sprachwissenschaft und Biologie. Das Vermessen der Gehirnaktivität erschließt gleichsam das Zustandekommen der Sprache als Organleistung. Hierbei zeigt sich eine Lokalisierung bestimmter Teilleistungen in einzelnen Gehirnarealen, von denen das Broca- und das Wernicke-Areal nur die bekanntesten, aber keineswegs die einzigen sprachrelevanten sind. Insbesondere zeigt sich bei manchen Teilleistungen die bevorzugte Nutzung (Lateralisierung) einer der beiden Gehirnhälften (Hemisphären). Einzelnen Verarbeitungsschritten können charakteristische mittlere Verläufe *ereigniskorrelierter Potentiale* (EKP, vgl. den Anhang im Beitrag von (Bornkessel-)Schlesewsky, S. 64f.) zugeordnet werden. Die natürlichen Grundlagen der Sprache sind – so verstanden – neuronale Grundlagen.

Das Gehirn entwickelt sich jedoch sowohl beim Heranwachsen des Individuums (Ontogenese) als auch im stammesgeschichtlichen Ablauf (Phylognese). Entsprechend entwickelt sich die *Sprachfähigkeit* des Individuums bzw. der Art. Das erste ist Gegenstand der Entwicklungsbiologie, das zweite der Evolutionsbiologie. Beide untersuchen in ihrem jeweiligen Bereich die Herkunft der Sprache. Da auch individuelle Prägungs- und Lernvorgänge angeborene Voraussetzungen besitzen, sind die natürlichen Grundlagen der Sprache – nun etwas anders verstanden – in beiden Fällen genetische Grundlagen.

Statt hier die wichtigsten Methoden und Ergebnisse aus der Erforschung der natürlichen Grundlagen der Sprache zu referieren, sei die hervorragende, knappe und doch gehaltvolle Einführung (Herrmann

und Fiebach, 2004) empfohlen. Sie behandelt sowohl neuronale Korrelate als auch Entwicklung und Evolution der Sprache. Jenseits solcher Einführungen führt die journalistische Aufbereitung des Themas oft zu bunten Mixturen aus wissenschaftlichen und alltagspraktischen Fragestellungen, vgl. etwa (Gehirn & Geist, 2006) oder (GEO, 2007).

Rundgang durch die Beiträge

Der Beitrag von *Manfred Bierwisch* untersucht Sprache als symbolisches Zeichensystem. Der Bezug zwischen der Artikulationsstruktur sprachlicher Signale und der Begriffsstruktur zur Erfassung der Umwelt muss gelernt werden. Der Mensch hat die Anlage dazu. Er kann insbesondere Symbole auf potentiell unendlich viele Weisen sinnvoll kombinieren und sogar Symbole – im Sinne einer Metasprache – auf sich selbst anwenden. Da der Mensch aber außerdem analoge Informationen wie etwa Gesichtsausdrücke verarbeiten kann, ist trotz der universellen Anwendbarkeit von Symbolen auf Begriffe eine Reduktion *aller* geistigen Leistungen auf symbolische Repräsentationen nicht möglich. Die »Grenzen meiner Sprache« sind insofern noch nicht die »Grenzen meiner Welt« (Wittgenstein). Bierwischs Analyse bleibt überwiegend auf der mentalen Beschreibungsebene. Die neuronalen und genetischen Grundlagen der Symbolkombinatorik werden als offene Fragen der Forschung benannt, für deren Beantwortung vorerst nur einige Bedingungen angegeben werden können.

Wie die einheitliche Bauart des menschlichen Gehirns mit der Vielfalt der existierenden Sprachen vereinbar ist, ist die Ausgangsfrage von *Matthias Schlesewsky* und *Ina Bornkessel-Schlesewsky*. Referiert werden neurophysiologische Daten, die durch EKP-Messungen bei Leistungen des Sprachverstehens in verschiedenen Sprachen gewonnen wurden. Dabei zeigen sich zwei allgemeine, d.h. sprachübergreifende Prinzipien: erstens ein Minimalitätsprinzip für den Bezug zwischen Verben und Handlungsteilnehmern, und zweitens ein Prinzip der maximalen Unterscheidbarkeit von Handlungsteilnehmern. Das Gehirn scheint somit universelle Erwartungen beim Sprachverstehen hervorzubringen, die in verschiedenen Sprachen nur verschiedenen Ausdruck finden.

Der Beitrag von *Stefan Koelsch* und *Tom Fritz* widmet sich den neuronalen Korrelaten der Musikverarbeitung. Syntax und Semantik sind nicht nur für Sprache, sondern auch für Musik sinnvolle Konzepte. Die entsprechende Information wird zudem im Gehirn für Musik auf ähnliche Weise verarbeitet wie für Sprache. Dies belegen sowohl EKP-Messungen als auch fMRT-Daten. Ferner wird die gezielte Auslösung von Emotionen durch Musik vorgestellt und die daran beteiligten Hirnprozesse werden besprochen. Schließlich schildert dieser Überblicksartikel auch noch die weiteren Auswirkungen emotionaler Aktivität durch Musik, wie etwa prämotorische Prozesse, Aktivierung des vegetativen Nervensystems oder Beeinflussung des Immunsystems.

Musik hat mit Lautsprache die akustisch-auditive Erscheinungsform gemeinsam: Beides muss man hören. Wer nicht hören kann, braucht eine sichtbare Sprache. Gebärdensprachen sind gestisch-visuell. *Markus Steinbach* erläutert an einigen Beispielen ihren Aufbau. Durch die größeren Artikulationsorgane und die Nutzbarkeit aller Dimensionen des Gebärdenraums ergeben sich Unterschiede zu den Lautsprachen. Psycholinguistische Untersuchungen von Versprechern in Gebärdensprache (»Vergebärdler«) und neurolinguistische Befunde zeigen jedoch bei den mentalen Prozessen und den neuronalen Repräsentationen weitgehende Gemeinsamkeiten zwischen Laut- und Gebärdensprachen.

Der Beitrag von *Werner Deutsch* und *Michael Kafschecker* beleuchtet die Sprachproduktion und illustriert dabei den Unterschied zwischen vollständig kontrollierten Texten und spontanem Sprechen. Letzteres ist flüssig und flexibel, enthält aber Fehler. Die Untersuchung solcher Versprecher kann Aufschluss über den Ablauf der Sprachproduktion geben. Die Sprachproduktion beruht auf den drei Teilprozessen Konzeptualisierung, Formulierung und Artikulierung. Diese greifen zeitlich so ineinander, dass Improvisation beim Sprechen möglich wird.

Julia Fischer fragt nach dem Ursprung der menschlichen Sprache in evolutionsbiologischem Rahmen. Ihr Beitrag referiert Beobachtungen der Kommunikation bei Tieren. Hierbei ist zwischen Lautproduktion, dem Einsatz und dem Verständnis von Lauten zu unterscheiden. Während die Struktur der Laute weitgehend genetisch festgelegt ist, muss ihre Bedeutung durch Erfahrung gelernt werden. Neben Studien an Affen wie Bärenpavianen, Grünen Meerkatzen und Berberaffen

wird auch das Wortlernverhalten des Haushundes Rico als spannendes Beispiel geschildert. Den Bogen zur Evolution spannen genetische Überlegungen, vor allem zur Rolle des sogenannten »Sprachgens« FOXP2. Als wesentlicher Unterschied menschlicher im Vergleich zu tierischer Kommunikation verbleibt – neben der willkürlichen Steuerung der Lautproduktion – die Einbeziehung der Absichten Anderer.

Auf diese evolutionäre Perspektive folgt im Beitrag von *Stefanie Hoehl* und *Tricia Striano* die entwicklungspsychologische Perspektive. Im Mittelpunkt steht die Frage, wie soziale Reize das frühkindliche Lernen beeinflussen. Durch das Phänomen der »geteilten Aufmerksamkeit« wird das Lernverhalten des Kindes gelenkt. Sowohl im Blickverhalten als auch in EKP-Messungen zeigen sich soziale Erwartungen von Säuglingen schon in den ersten Lebensmonaten. So werden etwa emotionale Gesichtsausdrücke schon mit 7 Monaten erkannt. Diese frühe Entwicklung legt die Grundlage für die spätere Fähigkeit zur Empathie. Autismus ist die Folge von Störungen dieser Entwicklung. Je genauer die gesunde soziale Entwicklung erforscht ist, desto bessere Früherkennung von Autismus ist möglich.

Der abschließende Überblicksartikel von *Angela D. Friederici* fasst den Stand der Forschung zu neuronalen Korrelaten sprachlicher Verarbeitungsprozesse in den ersten Lebensjahren zusammen. Hierbei sind prosodische, lexikalische, semantische und syntaktische Leistungen zu unterscheiden. Der Spracherwerb des Kindes beruht auf einer Abfolge sich entwickelnder Einzelfähigkeiten, die sich in charakteristischen EKP-Komponenten widerspiegeln. Die Entwicklung hin zur Sprachverarbeitung bei Erwachsenen erfolgt kontinuierlich und zeigt zwar quantitative Veränderungen im Gehirn, aber keine strukturellen Sprünge. Generell erweist sich die neurolinguistische Perspektive als sehr fruchtbar für das Verständnis von Spracherwerb und Sprachentwicklung.

Literatur

- Gehirn & Geist, Verlag Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg 2002ff.
- Gehirn & Geist Dossier Nr. 3/2006 »Sprich mit mir!«, Verlag Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg 2006.
- GEO Wissen Nr. 40 »Das Geheimnis der Sprache«, Gruner + Jahr, Hamburg 2007.
- Herrmann, Christoph und Fiebach, Christian: *Gehirn & Sprache*, Reihe Fischer Kompakt, Frankfurt a.M. 2004.
- Schleim, Stephan: *Gedankenlesen. Pionierarbeit der Hirnforschung*, Heise, Hannover 2008.
- Vaas, Rüdiger: *Schöne neue Neuro-Welt. Eingriffe, Erklärungen und Ethik*, Hirzel, Stuttgart 2008.
- Walter, Sven: *Mentale Verursachung. Eine Einführung*, mentis, Paderborn 2006.