

Iwona Legutko-Marszałek

Empirische Untersuchungen zur Sprachverarbeitung : eine kritische Zusammenstellung

Studia Germanica Gedanensia 25, 217-228

2011

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Gdańsk 2011, Nr. 25

Iwona Legutko-Marszałek
Universität Gdańsk

Empirische Untersuchungen zur Sprachverarbeitung. Eine kritische Zusammenstellung

Empirical research concerning linguistic processing. – The following article focuses on significant empirical research concerning linguistic processing with the help of two methods: fMRI and PET. The research shows that various brain structures, not only the Broca's area and the Wernicke's area, are engaged in language processes. Furthermore, the processes of language perception activate structures of the right cerebral hemisphere. It should be emphasized, however, that the results of the research are ambiguous and due to technical reasons a thorough analysis and observation of brain's activity during the linguistic production is not possible yet.

Badania empiryczne dotyczące procesów przetwarzania językowego. – Niniejszy artykuł jest zestawieniem wyników istotnych badań empirycznych dotyczących procesów przetwarzania językowego za pomocą metod fMRI oraz PET. Z badań tych wynika, że w procesy językowe zaangażowanych jest wiele struktur mózgowych, a nie tylko regiony Broca i Wernicke. Ponadto procesy przetwarzania językowego aktywują również struktury prawej półkuli mózgowej. Należy jednak zaznaczyć, że wyniki tych badań nie są jednoznaczne i w dalszym ciągu z przyczyn technicznych nie jest możliwa dokładna analiza i obserwacja pracy mózgu podczas percepcji i produkcji językowej.

1. Vorbemerkung: Sprachverarbeitung und Möglichkeiten ihrer Erforschung

Sprachverarbeitung ist ein komplexer Vorgang, der eine Reihe von separaten untergeordneten Prozessen integriert. Eine wichtige Eigenschaft von Sprache besteht darin, dass wir sie als Mittel anwenden können, um nicht nur unsere Gedanken mündlich oder schriftlich auszudrücken, sondern auch von jemand anderem verfasste Äußerungen zu verstehen. Sprache tritt demnach in zwei Modalitäten auf: akustisch und visuell. Das Hören und Sprechen wird i.a.R. in den ersten Lebensjahren beiläufig erworben und ermöglicht die zwischenmenschliche Kommunikation, während Lesen und Schreiben erst später gelernt wird und vor allem der Festhaltung des flüchtigen Sprachflusses dient. Das hat Implikationen für die Sprachverarbeitungsprozesse. Während Hören und Sprechen beispielsweise hoch automatisiert ist, ist Lesen und Schreiben in unterschiedlichem Maße automatisiert. Die Sprachverarbeitungsprozesse lassen sich auch unterschiedlich untersuchen, d.h. die Sprachproduktion lässt sich aus psychologischer Sicht schwieriger als die Sprachrezeption erfassen. Bei Experimenten zur Rezeption ist nach SCHADE (2003) die sprachliche Eingabe kontrollierbar, indem sie im Experiment

vorgegeben wird. Bei einem Produktionsexperiment ist lediglich das kontrollierbar, was die Produktion auslösen soll. Die eigentliche Ausgangsinformation des Produktionsprozesses, die Intention, ist dagegen nicht kontrollierbar. Darüber hinaus lässt sich das Resultat des Produktionsprozesses nur unter Umständen einschränken und damit kontrollieren. Je stärker aber die Versuchspersonen auf bestimmte Antwortäußerungen festgelegt werden, desto weniger aussagekräftig ist das Ergebnis eines Experiments in Hinblick auf Sprachproduktion unter nicht-experimentellen Bedingungen. Aus diesem Grunde gibt es zahlreiche Untersuchungen zur sprachlichen Rezeption, während die Sprachproduktion meistens mittels verschiedener Modelle veranschaulicht wird. In die detaillierte Funktionsweise des Gehirns während der Sprachverarbeitung haben wir jedoch keinen Einblick, weil diese dynamischen Prozesse auf neuronaler Aktivität basieren, sehr schnell, parallel und räumlich nah aneinander verlaufen und sogar die tiefgelegenen Gehirnstrukturen integrieren, so dass es noch an technischen Geräten fehlt, um diese Nuancen differenziert zu erfassen.

2. Bildgebende Verfahren in kognitionspsychologischen Experimenten: fMRI, PET

Die bildgebenden Verfahren, wie die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRI) oder die Positronen-Emissions-Tomographie (PET), versuchen zwar, die komplizierten Sprachverarbeitungsprozesse abzubilden, jedoch werden die Möglichkeiten dieser Methoden bezüglich der zeitlichen Auflösung eingeschränkt. Außerdem ist wegen einer relativ hohen Anfälligkeit der fMRI für Bewegungsartefakte des Sprechapparates oder der Handbewegungen die Untersuchung der Sprachproduktion ausgeschlossen.

Die **funktionelle Magnetresonanztomographie** (fMRI), auch Kernspintomographie genannt, macht sich die magnetischen Eigenschaften des cerebralen Gewebes zur Erzeugung von strukturellen wie funktionellen Schnittbildern des Gehirns zu Nutze. Insbesondere die Protonen des Wasserstoffatoms eignen sich aufgrund ihres Eigendrehimpulses, der sensitiv für magnetische Momente ist, als Medium. Im Rahmen der fMRI hat sich ein Verfahren bewährt, welches indirekt die lokale Konzentration von Blutsauerstoff im Kapillarbett als Indikator neuronaler Aktivität bestimmt und als **BOLD-Kontrast** (Blood Oxygen Level Dependent) bezeichnet wird (vgl. MEYER 2003: 182). Infolge der erhöhten Stoffwechselprozesse bei der Aktivierung eines Hirnareals kommt es zu einem Abfall der lokalen Blutsauerstoffkonzentration, welcher mit einer Latenz von 5–8 Sekunden durch die verstärkte Heranführung von oxygeniertem Hämoglobin kompensiert wird. Volumen und Geschwindigkeit dieser hämodynamischen Reaktion (HR) werden von der fMRI registriert. Da sauerstoffreiches Blut magnetisch neutral ist, können Stärke und Ort einer selektiven Aktivierung indirekt über den Anteil der desoxygenierten Hämoglobinmoleküle im Blut rekonstruiert werden. Im Gegensatz zur PET-Methode kann die fMRI prinzipiell die hämodynamische Reaktion auf ein einziges flüchtiges neuronales Ereignis aufzeichnen und darstellen, wobei sich die Stärke einer hämodynamischen Reaktion approximativ linear zur Stärke der vorausgegangenen neuronalen Aktivierung verhält. Dieses Prinzip gestattet demzufolge die Zuordnung einer spezifischen hämodynamischen Reaktion zu der Präsentation und Verarbeitung eines einzelnen experimentellen Stimulus und findet unter der Bezeichnung **ereigniskorrelierte fMRI**

vermehrt Anwendung im Zusammenhang mit kognitionspsychologischen Experimenten zur Funktionslokalisation.

Die Methode der **Positronen-Emissions-Tomographie** (PET) bedient sich der Messung des regionalen cerebralen Blutflusses im Gehirn, die ein indirekter Indikator einer selektiven Aktivierung ist. Zur Registrierung des regionalen cerebralen Blutflusses werden dem Körper durch Injektion schwach radioaktivmarkierte Substanzen in geringer Menge zugeführt. Im Gehirn kommt es infolge der Zerfallseigenschaft der oxygenierten Radionukleide zu einer Emission von Positronen, die dort am deutlichsten ist, wo, bedingt durch erhöhte neuronale Aktivität, der stärkste regionale cerebrale Blutfluss auftritt (vgl. MEYER 2003: 182). Die räumliche Auflösung dieses Verfahrens ist relativ gut. Allerdings erlaubt die zeitliche Auflösung keine Aussagen über Prozesse in Echtzeit. Aus diesem Grund werden Ergebnisse dieser Methode zur Identifikation der Subsysteme selbst, nicht jedoch ihrer zeitlichen Verarbeitungscharakteristika herangezogen. Alle PET-Studien arbeiten mit dem so genannten Subtraktionsparadigma, welches auf der Annahme der Additivität von kognitiven Funktionen und der ihr zugrunde liegenden neuronalen Prozesse beruht. Die einfache Version dieses Paradigmas untersucht Probanden in zwei Aufgaben. Meist involvieren beide Aufgaben eine Reihe von gemeinsamen Prozessen. Kritisch ist jedoch, dass nach Möglichkeit ein Subprozess nur in der Zielaufgabe, nicht aber in der Baseline-Aufgabe, enthalten ist. Durch Subtraktion der Hirnaktivität der Baseline-Aufgabe von der Zielaufgabe hofft man, die neuronale Aktivität eines der zu untersuchenden Subprozesse zu isolieren. Dieses Paradigma hat seine Schwächen, die zum einen darin begründet sind, dass nicht immer nur ein relevanter Subprozess isoliert werden kann, und zum anderen, dass die Annahme der Additivität nicht haltbar ist, da es zu Interaktionen zwischen Prozessen und Aufgaben kommen kann (vgl. FRIEDERICI / HAHNE / MECKLINGER 1996). Angesichts der Tatsache, dass die fMRI bezüglich der zeitlichen und räumlichen Auflösung der PET deutlich überlegen ist, hat sich diese Methode zur Erforschung der Sprachverarbeitung durchgesetzt. Es muss zusätzlich betont werden, dass die fMRI im Gegensatz zur PET nicht invasiv ist, was sicherlich dazu beigetragen hat, dass die fMRI in der Sprachforschung die PET verdrängt hat.

3. Untersuchung von einzelnen Subprozessen der Sprachverarbeitung

3.3. Verarbeitung phonetisch-phonologischer Informationen

Sprachverstehen spielt sich in der Zeit ab. Es ist also ein Prozess, bei dem die phonologischen, lexikalisch-semantischen und syntaktischen Subprozesse zeitlich koordiniert werden müssen. Auf Grund der funktionalen Unterschiede dieser Subprozesse ist es wahrscheinlich, dass diese von verschiedenen Hirnarealen oder neuronalen Netzwerken unterstützt werden. Um die möglichst isolierte Verarbeitung phonologischer Information unabhängig von der Modalität zu untersuchen, wurden so genannte **Pseudowörter** verwendet (z.B. FIEZ / RAICHLÉ / BALOTA / TALLAL / PETERSEN 1996). Als Pseudowort bezeichnet man die Kombination von Silben, die den phonetisch-phonologischen Regeln einer Sprache folgen, aber keine Bedeutung tragen (z.B. *fögern*, *klampig*, *Barf* in der deutschen Sprache oder *derpać*, *rampki*, *łokawy* in der polnischen). FRIEDERICI, MEYER und CRAMON (2000) haben in einer

ereigniskorrelierten fMRI-Studie die akustisch dargebotenen Pseudowörter untersucht und eine bilaterale Anregung im mittleren Abschnitt des superioren temporalen Gyrus, d.h. des oberen Temporallappens, während der phonologischen Verarbeitung beobachtet. In anderen Untersuchungen (z.B. BINDER / RAO / HAMMEKE 1994; FIEZ / RAICHLE / BALOTA / TALLAL / PETERSEN 1996) ließ sich zusätzlich eine frontale Aktivierung im linken inferioren frontalen Sulcus nachweisen. HERBSTER, MINTUN und NEBES (1997) haben die visuelle Verarbeitung phonologischer Information in Form von Pseudowörtern untersucht und konnten auch die Aktivierung der Broca-Region im inferioren frontalen Gyrus beobachten. Aus diesen Untersuchungen geht hervor, dass die Verarbeitung phonologischer Information in der auditiven Modalität vorwiegend bilateral in distinkten Arealen des superioren temporalen Gyrus stattfindet. Nur in den Studien, in denen besonders die phonologischen Merkmale der sprachlichen Stimuli fokussiert wurden, konnte man auch eine signifikante Beteiligung frontaler Areale registrieren. In der visuellen Modalität dagegen erweist sich die Aktivierung des inferioren frontalen Gyrus bei der phonologischen Verarbeitung als obligatorisch. MEYER (2003:184) sieht eine mögliche Ursache dafür in einer notwendigen Graphem-Phonem-Transformation bei der visueller Verarbeitung von phonologischen Informationen. Auch die PET-Studien (vgl. PETERSEN / FOX / POSNER / MINTUN / RAICHLE 1989; ZATORRE / EVANS / MEYER / GJEDDE 1992) zur akustischen Wahrnehmung und zur akustischen Wortverarbeitung legen nahe, dass der superiore temporale Gyrus der linken und der rechten Großhirnhemisphäre für die perzeptuelle Analyse sprachlicher Signale, d.h. wenn Probanden passiv sprachliche Stimuli hören, zuständig sind. Die posteriore Region des linken superioren temporalen Gyrus sowie des temporalen Oberculums unterstützt gezielt die Verarbeitung gesprochener Sprache (vgl. PETERSEN / FOX / POSNER / MINTUN / RAICHLE 1989; ZATORRE / MEYER / GJEDDE / EVANS 1996). PRICE et al. (1992) fanden zusätzlich heraus, dass der regionale Blutfluss linear mit der Präsentationsrate von Wörtern im linken und rechten primären auditorischen Kortex ansteigt, aber im linken posterioren superioren temporalen Gyrus (Wernicke-Areal) konstant bleibt. Interessanterweise zeigen die PET-Studien für die Verarbeitung von phonologischen Information auch Aktivierung links anterior in oder in der Nähe des Broca-Areals. Dies trifft insbesondere bei Aufgaben zu, die eine genaue Analyse phonetischer Einheiten oder Sequenzen verlangen (vgl. ZATORRE / MEYER / GJEDDE / EVANS 1996).

Wie wir sehen, kommen sowohl die PET- als auch die fMRI-Untersuchungen zu ähnlichen Ergebnissen bezüglich der phonologischen Verarbeitung. Es konnte erwartungsgemäß gezeigt werden, dass das Hören und Lesen von Sprache primär-auditorische und primär-visuelle Regionen des Großhirns aktiviert. Die Broca-Region selbst scheint weniger bedeutsam als ursprünglich angenommen. Eines ist sicher: In der visuellen Modalität werden andere kortikale Regionen aktiviert als in der auditiven. Während der akustischen Sprachverarbeitung wird vor allem die Aktivierung des oberen Temporallappens in beiden Gehirnhälften registriert und beim Lesen geschriebener Wörter war die Aktivität des Gehirns vor allem auf der Unterseite des Temporallappens zu finden (vgl. HERRMANN / FIEBACH 2007:22). Die genauere phonetische Analyse aktiviert zusätzlich den linken frontalen Hirnbereich des Broca-Areals.

3.4. Verarbeitung syntaktischer Informationen

Im Zusammenhang mit den syntaktischen Sprachverarbeitungsprozessen wird regelmäßig auf die herausragende Rolle des inferioren frontalen Kortex der linken Hemisphäre, insbesondere des Broca-Areals, hingewiesen (z.B. ZURIF / SWINNEY 1994). Bezüglich der strukturellen Verarbeitung untersuchten MEYER, FRIEDERICI und CRAMON (2000) in einer auditiven fMRI-Studie, ob und inwiefern sich die Verarbeitung syntaktisch inkorrekturer im Vergleich zu korrekten Sätzen in der Stärke der lokalen hämodynamischen Reaktion manifestiert. Beim Vergleich der bedingungsspezifischen Aktivierungsmuster stellte sich heraus, dass der gesamte linke supratemporale Kortex wesentlich stärker in die Verarbeitung der inkorrekten Sätze involviert war. Dies galt im Besonderen für das anterior zum Heschlschen Gyrus gelegene Planum polare im temporalen Operculum (vgl. MEYER 2003:185). Die Verarbeitung syntaktischer Informationen auf der Satzebene im Vergleich zu einer syntaxfreien Aufzählung von Inhaltswörtern ging auch in einer anderen auditiven ereigniskorrelierten fMRI-Studie von FRIEDERICI, MEYER und CRAMON (2000) mit einer nachweisbar stärkeren Aktivierung im Planum polare beider Hemisphären einher. Bei der Verarbeitung von Pseudosätzen, die die syntaktische Information fokussierten, wurde beispielsweise das tiefe frontale Operculum in unmittelbarer Nähe des Broca-Areals beteiligt, während die Verarbeitung normaler Sätze im Kontext desselben Experiments keinerlei frontale Aktivierung auslöste (vgl. MEYER 2003:186). In den Pseudosätzen werden die Wortbedeutungen eliminiert, d.h. Inhaltswörter werden vollständig durch phonologisch legale und grammatisch eindeutig flektierte Pseudowörter ersetzt, so dass die syntaktische Struktur erhalten bleibt, z.B. *Der gapföge R6gel t6ppelt das Lomb*. Die Aktivierung von frontalen Hirnregionen w6hrend der Verarbeitung von Pseudos6tzen k6nnte auf die Suche nach einer fehlenden Verbindung zu Konzepten f6r sprachliche Einheiten hinweisen. Nach dem lexikalischen Zugriff wird normalerweise die entsprechende au6ersprachliche Wissensrepr6sentation aktiviert. In diesem Fall wird dieser Prozess gest6rt, weil die Zugriffsrepr6sentation im mentalen Lexikon einfach nicht existiert, so dass die Verbindung zum entsprechenden Begriff nicht erstellt werden kann.

In einer PET-Studie lie6en STROMSWOLD et al. (1996) Probanden Subjekt- und Objektrelativs6tze lesen und fanden selektive Aktivierung als Funktion der syntaktischen Komplexit6t in der Pars opercularis der dritten Stirnhirnwindung links (Broca-Areal). Im Vergleich zur phonologischen Verarbeitung, die die obersten und posterior gelegenen Abschnitte der Pars opercularis ben6tigen, scheint die syntaktische Verarbeitung eher durch deren inferioren Anteil unterst6tzt zu werden. Auch JUST et al. (1996) konnten in 6hnlich konzipierter fMRI-Studie ebenfalls die Aktivierung der dritten Stirnwindung in der linken Gehirnh6lfte und des Wernicke-Areals bei der Verarbeitung von komplexen S6tzen beobachten. Dar6ber hinaus erwiesen sich auch die rechtshemisph6rischen homologen Areale als aktiv. Beide Areale scheinen bei der Satzverarbeitung bilateral aktiv, jedoch ist es vor allem das Broca-Areal links, das f6r die syntaktische Verarbeitung zust6ndig ist (vgl. FRIEDERICI / CRAMON 1999: 329). Sowohl visuelle als auch auditive Studien zur Satzverarbeitung berichten 6bereinstimmend 6ber die Beteiligung perisylvischer Strukturen. Eine distinkte Hirnregion als Sitz syntaktischer Funktionen zu benennen, ist aufgrund der heterogenen Resultate jedoch nicht m6glich (vgl. KAAAN / SWAAB 2002). Wie wir anhand der dargestellten Untersuchungen beobachten

konnten, sind sowohl das linke frontale Broca-Areal bzw. das tiefe frontale Operculum als auch der anteriore Abschnitt des superioren temporalen Gyrus als syntaxrelevant identifiziert worden. Die Aktivierung von frontalen Hirnarealen scheint immer mit Prozessen zu tun zu haben, die eine sprachliche Analyse erfordern. Zusätzlich muss noch vermerkt werden, dass auch die rechthemisphärischen Regionen an der syntaktischen Verarbeitung beteiligt sind, was einige Untersuchungen belegen konnten. Die Studien zu den ereigniskorrelierten Potentialen (EKP) (z.B. MECKLINGER / SCHRIEFERS / STEINHAUSEN / FRIEDERICI 1995; FRIEDERICI / CRAMON 1999; FRIEDERICI 2001) zeigen, dass verschiedene Ebenen der syntaktischen Verarbeitung unterschieden werden müssen. Die Ebene, auf der die Phrasenstruktur ermittelt wird, ist unabhängig von semantischen Prozessen. Die Interaktion von syntaktischer und semantischer Verarbeitung folgt erst dann, wenn differenziertere Analysen die thematischen Rollen bzw. ihre Zuordnung zur Phrasenstruktur ermitteln. Ein besonderer Fall liegt vor, wenn weitgehend erstellte syntaktische Strukturen revidiert werden müssen. Dass die Reanalysen dann noch semantikfrei sind, muss man bezweifeln (vgl. ENGELKAMP / ZIMMER 2006: 552). Hier dürfte eher die Semantik die syntaktische Analyse motivieren.

3.5. Verarbeitung der Satzintonation

Zur Untersuchung der Satzintonation wurden im Rahmen einer ereigniskorrelierten fMRI-Studie Sätze auditorisch präsentiert, welche vorher mit einem speziellen Filterverfahren vollständig delexikalisiert wurden (vgl. MEYER / ALTER / FRIEDERICI / LOHMANN / CRAMON 2002). Dieses Verfahren filtert sämtliche akustischen Informationen oberhalb der dritten Harmonischen sowie alle aperiodischen Signale einer sprachlichen Äußerung aus dem Signal, so dass ausschließlich die Satzintonation erhalten bleibt (vgl. MEYER 2003:187). Während der Verarbeitung der Intonationskontur wurden vor allem rechtshemisphärische Areale des perisylvischen Kortex (rolandisches Operculum, Planum temporale, Planum parietale) aktiviert, was sich als abweichend von den Untersuchungsergebnissen zu der links dominanten Organisation semantischer und syntaktischer Verarbeitung erwies. Ein bedeutender Anstieg der hämodynamischen Reaktion kann für die Verarbeitung isolierter prosodischer Informationen im frontoopercularen Kortex, insbesondere im rechten tiefen frontalen Operculum, beobachtet werden. Die Satzintonation aktiviert demnach hauptsächlich die rechtshemisphärischen Regionen, was eigentlich nicht wundert, weil in dieser Gehirnhälfte allgemein die Melodien verarbeitet werden.

4. Mentales Lexikon, sprachliche Bedeutung vs. sprachunabhängiges Konzept

Um Aspekte des mentalen Lexikons zu lokalisieren, wurde in der Studie von FRIEDERICI, MEYER und CRAMON (2000) die explizite Verarbeitung von gehörten Listen semantisch nicht assoziierter Inhaltswörter untersucht. Als hämodynamisches Korrelat dieser Verarbeitung fanden sich eine bilaterale Aktivierung der supratemporalen Areale, deren Maximum in anterioren und mittleren Anteilen des superioren temporalen Gyrus geortet wurde, sowie

kleinere Aktivierungsherde im inferioren frontalen Sulcus beider Hemisphären (vgl. MEYER 2003: 185). Eine Beteiligung des rechten inferioren frontalen Gyrus an der semantischen Verarbeitung einzelner Wörter wurde auch in einer anderen Studie von FRIEDERICI, OPITZ und CRAMON (2000) bestätigt. Diese Tatsache könnte darauf hinweisen, dass die lexikalischen Einheiten die in der rechten Gehirnhälfte gespeicherten Bildrepräsentationen aktiviert haben. Die semantische Verarbeitung in der visuellen Modalität lässt sich dagegen in weit distribuierten inferioren, mittleren und superioren temporalen Arealen lokalisieren (vgl. PRICE / MOORE / HUMPHREYS / WISE 1997). Inferior frontale Areale wurden nur dann aktiviert, wenn im experimentellen Kontext semantische Operationen erforderlich waren, die über die implizite Anforderung eines einfachen lexikalischen Zugriffs hinausgingen (vgl. FIEZ 1997).

Es bleibt festzuhalten, dass sich der Zugriff auf das mentale Lexikon in temporalen Arealen beider Hemisphären manifestiert. Die bilateralen Areale im inferioren frontalen Kortex werden dann involviert, wenn die Komplexität der Verarbeitung durch explizite semantische Funktionen ansteigt. Dies könnte ein Beweis dafür sein, dass man zwischen **sprachlichen Bedeutungen** und **sprachunabhängigen Konzepten** differenzieren sollte und dass über die sprachlichen Bedeutungen die begrifflichen Wissensrepräsentationen aktiviert werden. BIERWISCH und SCHREUDER (1992) unterscheiden z.B. eine Ebene der semantischen Form für die Repräsentation lexikalischer Bedeutung und eine Ebene der konzeptuellen Struktur, die faktisches Wissen und Annahmen enthält, die in der semantischen Form nicht repräsentiert sind. Auf Grund dessen unterscheiden BIERWISCH und SCHREUDER (1992) zwischen lexikalisch-semantischer und konzeptuell-semantischer Verarbeitung. HERRMANN (1995) dagegen negiert eine Repräsentation der Wortsemantik und nimmt in seinem Verarbeitungsmodell direkte Abbildungsprozesse von der Wortform auf das Konzept an. BIERWISCH und SCHREUDER (1992) begründen ihre Meinung mit der Argumentation, dass bereits der lexikalische Eintrag über mehr Information verfügen muss als über die Wortform. Um einzelne Wörter korrekt in einem Satz verwenden zu können, muss nämlich der lexikalische Eintrag neben der phonologischen Information über die Wortform auch über syntaktische Informationen (z.B. über Wortkategorie bei allen lexikalischen Elementen, über Verb-Argument-Struktur-Information bei Verben, bzw. Genusinformation bei Nomen) verfügen. Außerdem nehmen sie an, dass semantische Informationen im lexikalischen Eintrag in Form von Bedeutungsmerkmalen spezifiziert sind. Diese Bedeutungsmerkmale müssen so vollständig sein, dass sie zum einen erlauben, sprachinternen Bedingungen gerecht zu werden (z.B. Selektionsbedingungen eines Verbs bezüglich seiner Argumente) und zum anderen Abbildungen auf entsprechende Konzepte ermöglichen. Andererseits seien die lexikalisch-semantischen Repräsentationen weitaus weniger reichhaltig als konzeptuelle Repräsentationen, die neben Weltwissen auch episodisches Wissen mit kodieren. Wir vertreten auch die Meinung, dass mit dem Zugriff auf einen lexikalischen Eintrag alle sprachlichen Informationen aktiviert werden, die mit diesem Eintrag zusammenhängen. Darüber hinaus haben die sprachlichen Einheiten, die im mentalen Lexikon gespeichert sind, eine Verbindung zu außersprachlichen Gedächtniskomponenten, wie das deklarative oder das prozedurale Gedächtnis. Funktionell neuroanatomische Studien, die eine mögliche Unterscheidung zwischen lexikalisch-semantischem und konzeptuell-semantischem Wissen direkt untersuchen, sind nicht bekannt. Die Frage nach der sprachlichen Bedeutung einerseits und der nichtsprachlichen konzeptuellen

Wissensrepräsentation andererseits lässt sich auch nur schwer empirisch überprüfen, da wahrscheinlich sowohl bei der Worterkennung als auch bei der Objekt-Bildererkennung ähnliche Hirnareale aktiviert sind, da mit dem Erkennen eines Objektbildes zugleich auch der Objektname aktiviert wird (vgl. FRIEDERICI / CRAMON 1999: 322).

Insgesamt belegen die dargestellten Studien, dass die primär und automatisch lexikalisch-semantische Verarbeitung eher die temporale Gehirnregion und den medio-basalen Schläfenlappen links involviert, die kontrollierten semantischen Prozesse dagegen, die Gedächtnisaspekte beinhalten, den inferioren präfrontalen Kortex links zu involvieren scheinen. Die lexikalisch-semantische Integration verlangt einen Abgleich mit der semantischen Kontextinformation und dem momentan aktivierten Element. Dieser Abgleich bezieht wahrscheinlich nicht nur primär linguistische Subsysteme ein, sondern auch außerlinguistische, konzeptuell-semantische Systeme. FRIEDERICI und CRAMON (1999: 328) nehmen an, dass vermutlich die obere und die mittlere Schläfenlappenwindung der dominanten Großhirnhemisphäre das Lexikon modalitätsunabhängig repräsentiert. Dieses mentale Lexikon ist als abstrakte Repräsentation gedacht, die nicht nur die Wortform für jedes lexikalische Element, sondern darüber hinaus auch Informationen syntaktischer Art (z.B. Wortkategorie und ihre Funktion) und Informationen semantischer Art enthält. Wir stimmen dem Konzept zu und definieren das mentale Lexikon als Speicherinstanz für lexikalische Einheiten, die als Zugriffsrepräsentationen auf alle sprachlichen Informationen zu verstehen sind (vgl. LEGUTKO-MARSZALEK 2008). Wenn wir also im Sprachverarbeitungsprozess auf einen lexikalischen Eintrag zugreifen, werden zugleich die mit diesem Eintrag verbundenen phonetisch-phonologischen, graphemischen, morphologischen, semantischen, syntaktischen und pragmatischen Informationen aktiviert.

Wir differenzieren auch zwischen einer sprachlichen Bedeutung und einem nichtsprachlichen Konzept (vgl. LEGUTKO-MARSZALEK 2007). Während sprachliche Bedeutung als semantische Repräsentation und Teilinformation einer lexikalischen Einheit zu verstehen ist, bilden Konzepte begriffliche Wissensrepräsentationen und sind nicht an das sprachliche System gebunden. Die Daten aus der Aphasieforschung und der PET-Forschung zusammen mit denen aus der EKP-Forschung deuten darauf hin, dass vor allem der Temporallappen links, aber auch rechts, die Verarbeitung lexikalisch-semantischer Information unterstützt. Lexikalischer Zugriff und Identifikation der Bedeutung scheinen 400 ms nach der Präsentation des Stimulus abgeschlossen zu sein (vgl. FRIEDERICI / CRAMON 1999: 333). Die PET-Studien von PETERSEN et al. (1989) legen nahe, dass die visuelle Wortformrepräsentation im linken extrastriären visuellen Kortex liegt. Das leise Lesen von Wörtern wurde mit dem visuellen Verarbeiten einfacher visueller Reize verglichen. Die visuelle Präsentation von Wörtern evokierte die bilaterale Aktivierung des extrastriären visuellen Kortex, nicht jedoch des Temporallappens. Das bloße Lesen oder Betrachten von Wörtern erfordert keine Aktivierung des mentalen Lexikons, weil die Wörter in keinen sprachlichen Zusammenhängen vorzufinden sind und nicht analysiert werden müssen. In diesem Fall könnte das Wort als ein Muster betrachtet werden, so dass es vom Gehirn nicht als sprachliche Einheit erkannt, d.h. seine Bedeutung nicht abgerufen wird.

In einer anderen Studie (PETERSEN / FOX / SNYDER / RAICHLER 1990) produzierten sowohl Wörter als auch Nichtwörter Aktivierung im linken medialen extrastriären Kortex (Gyrus

lingualis und Cuneus), wobei Wörter zusätzliche Aktivität im linken inferioren frontalen Kortex zeigten. Diese beiden Studien werden als Evidenz dafür angesehen, dass orthographische Enkodierung im linken medialen extrastriären Kortex anzusiedeln ist. Der Befund, dass bedeutungstragende Wörter, nicht aber Nichtwörter, Aktivierung im linken inferioren frontalen Kortex hervorriefen, wird als Beleg dafür gewertet, dass diese frontale Region semantische Verarbeitungsprozesse unterstützt. Wir meinen aber, dass dieses Gehirnareal immer dann aktiviert wird, wenn auf die begrifflichen Wissensrepräsentationen zugegriffen wird. Die Verarbeitung von Inhaltswörtern aktiviert diesen Gehirnteil immer dann, wenn eine semantische Analyse erforderlich ist. Die Verarbeitung von sprachlichen Bedeutungen, genauso wie von Pseudowörtern, verursacht keine Aktivierung dieser Region.

5. Das Modell des auditiven Sprachverstehens

Aus den EKP-Daten kann man in Verbindung mit Daten aus fMRI-Studien ein vorläufiges neuroanatomisches Modell des auditiven Sprachverstehens generieren (vgl. FRIEDERICI / KOTZ 2003). Auditive Reize verursachen zunächst eine sensorische Verarbeitung bilateral in dem primären Hörkortex (Heschl Gyrus). Zusammen mit umgebenden Arealen (Wernicke-Areal) führen diese Strukturen eine phonologische Analyse durch, d.h. die Identifikation der wahrgenommenen Laute und die prälexikalische Integration. Für Personen mit einem linkshemisphärischen Sprachzentrum sind es Strukturen in der linken Hemisphäre. Dann folgt die syntaktisch-strukturelle Verarbeitung, d.h. die Bestimmung der Verb-Argument-Struktur und der thematischen Rollen, Satzart- und Tempus-Modus-Genus-Identifizierung. Sie findet dominant im linken anterioren oberen temporalen Gyrus statt. Allerdings sind auch inferiore Bereiche des frontalen Stirnhirns beteiligt (Broca-Areal), die gewöhnlich mit der Sprachproduktion in Zusammenhang gebracht werden. Diese frontalen Aktivierungen sind umso stärker, umso schwieriger die syntaktische Analyse der Sätze ist (vgl. MEYER / ALTER / FRIEDERICI 2003), während sie bei Standardsätzen eher fehlen (vgl. MEYER / ALTER / FRIEDERICI / LOHMANN / CRAMON 2002). Dieser syntaktischen Verarbeitung folgt die semantische, an der dominant posteriore Areale des oberen temporalen Sulcus beteiligt sind.

FRIEDERICI und KOTZ (2003) nehmen noch eine spätere syntaktische Verarbeitung unter Beteiligung der Basalganglien an, die eine syntaktische Integration unter Einbezug semantischer Information leisten soll. Die prosodische Information und paraverbale Komponenten, wie die emotionale Tönung des Gesprochenen, werden im rechten oberen temporalen Gyrus verarbeitet (vgl. MEYER / ALTER / FRIEDERICI 2003), wobei auch hier gilt, dass unterschiedliche Substrukturen an verschiedenen Sprachparametern (Melodie, Tonhöhe, spektrale Information) beteiligt werden (vgl. LATTNER / MEYER / FRIEDERICI 2005). Emotionale und prosodische Informationen werden somit offensichtlich parallel und zunächst unabhängig von der Sprache verarbeitet, allerdings werden sie sehr bald mit dieser integriert, wobei die weiblichen Hörer früher auf diese emotionalen Informationen der Sprache ansprechen als männliche (vgl. SCHIRMER / KOTZ / FRIEDERICI 2002).

6. Schlussbetrachtung

Aus den Betrachtungen zur zeitlichen Dynamik unterschiedlicher Aspekte der Satzverarbeitung ergibt sich eine Unterstützung für diejenigen Modelle der Wortverarbeitung, welche eine sehr frühe Phase der Wortidentifikation annehmen. Dies sollte zwangsläufig der Fall sein, wenn erste Syntax-Operationen der Satzstrukturierung, welche auf Informationen aus dem Lexikoneintrag des Wortes (z.B. Kategorie des Wortes) angewiesen sind, schon ca. 150 bis 200 ms nach der Wahrnehmung des Wortes stattfinden können. Hieraus muss geschlossen werden, dass die Wortverarbeitung zu diesem Zeitpunkt schon so weit fortgeschritten sein muss, dass das Wort erkannt und der zugehörige Lexikoneintrag wenigstens teilweise aktiviert wurde (vgl. HERRMANN / FIEBACH 2007: 42).

Wie wir sehen, laufen die komplizierten Sprachverarbeitungsprozesse zusammen mit allen kognitiven Prozessen im menschlichen Gehirn ab, ohne dass sie bewusst erlebt werden. Von allen Sprachverarbeitungsprozessen wurde die Sprachrezeption am meisten untersucht. Anhand zahlreicher Ergebnisse von bildgebenden Studien zur Sprachverarbeitung können Angaben zur kortikalen Repräsentation der verschiedenen Verarbeitungsstufen gemacht werden. So ist es unbestritten, dass frühe akustische Verarbeitung von Sprache im primären Hörkortex stattfindet, weil diese Gehirnstrukturen für die Wahrnehmung jeglicher Signale zuständig sind. Die Identifikation von Phonemen, d.h. die prälexikalische Analyse, wird im sekundär-auditorischem Kortex durchgeführt. Die Erkennung der akustischen Wortform wird superior-posterioren Regionen des linken Temporallappens zugeschrieben und findet 100 bis 150 ms nach Hören des Wortes statt (vgl. FRIEDERICI 2002). Als nächste Verarbeitungsschritte folgen die Identifikation der Wortkategorie im superior-anterioren Temporallappen (150–200 ms), die Aktivierung des Lexikoneintrags im mittel-posterioren Temporallappen und die Verwendung dieser Information zum Aufbau eines mentalen Abbildes der Struktur des Satzes im Temporallappen (300–500 ms). Höhere semantische Funktionen scheinen wiederum auf andere Regionen des Temporallappens zurückzugreifen (vgl. HERRMANN / FIEBACH 2007: 44). Die Prozesse, die komplexe sprachliche Analysen erfordern, aktivieren auch die frontalen Gehirnregionen (Broca-Areal). Dabei muss noch hinzugefügt werden, dass sich die Untersuchungsergebnisse nicht immer eindeutig interpretieren lassen. Allerdings wird die Sprachfunktion des Gehirns nicht ausschließlich auf Regionen der Großhirnrinde begrenzt. Die subkortikalen Areale sind in viele sensorische, motorische und kognitive Prozesse involviert, so auch in die Sprachverarbeitung. Anders als bisher gedacht, werden in großem Maße auch die rechthemisphärischen Teile des Gehirns in Sprachverarbeitungsprozessen aktiviert.

Literatur

- BIERWISCH, M. / SCHREUDER, R. (1992): From concepts to lexical items. In: *Cognition* 42, 23–60
- BINDER, J.R. / RAO, S.M. / HAMMEKE, T.A. (1994): Functional MRI of human auditory cortex. In: *Annales of Neurology* 35, 662–672.
- ENGELKAMP, J. / ZIMMER, H.D. (2006): *Lehrbuch der kognitiven Psychologie*. Göttingen / Bern / Wien / Toronto / Seattle / Oxford / Prag: Hogrefe.

- FIEZ, J.A. (1997): Phonology, semantics, and the role of the left inferior prefrontal cortex. In: *Human Brain Mapping* 5, 79–83.
- FIEZ, J.A. / RAICHLER, M.E. / BALOTA, D.A. / TALLAL, P. / PETERSEN, S.E. (1996): PET activation of posterior temporal regions during auditory word presentation and verb generation. In: *Cerebral Cortex* 6, 1–10.
- FRIEDERICI, A.D. (2002): Towards a neural basis of auditory sentence processing. In: *Trends in Cognitive Sciences* 6, 78–84.
- FRIEDERICI, A.D. (2001): Event-related brain potentials and aphasia. In: BERNDT, R.S. (Hg.): *Handbook of Neuropsychology* (Vol.3). New York: Elsevier Science.
- FRIEDERICI, A.D. / CRAMON, D.Y. (1999): Neurobiologische Grundlagen des Sprachverstehens. In: FRIEDERICI, A. (Hg.) *Enzyklopädie der Psychologie. Sprachrezeption*. Göttingen – Bern – Toronto – Seattle: Hogrefe, 309–340.
- FRIEDERICI, A.D. / HAHNE, A. / MECKLINGER, A. (1996): Temporal structure of syntactic parsing: Early and late event-related brain potential effects. In: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, Cognition* 22(5), 1219–1248.
- FRIEDERICI, A.D. / KOTZ, S.A. (2003): The brain basis of syntactic processes: functional imaging and lesion studies. In: *NEUROIMAGE* 20, Suppl. 1, 8–17.
- FRIEDERICI, A.D. / MEYER, M. / CRAMON, D.Y. (2000): Auditory language comprehension: An event-related fMRI study on the processing of syntactic and lexical information. In: *Brain and Language* 74, 289–300.
- FRIEDERICI, A.D. / OPITZ, B. / CRAMON, D.Y. (2000): Segregating semantic and syntactic aspects of processing in the human brain: A fMRI investigation of different word types. In: *Cerebral Cortex* 10, 698–705.
- HERBSTER, A.N. / MINTUN, M.A. / NEBES, R.D. (1997): Regional cerebral blood flow during word and nonword reading. In: *Human Brain Mapping* 5, 84–92.
- HERRMANN, CH. / FIEBACH, CH. (2007): *Gehirn und Sprache*. Frankfurt am Main: Fischer.
- HERRMANN, TH. (1995): *Allgemeine Sprachpsychologie. Grundlagen und Probleme*. Weinheim: Beltz.
- JUST, M.A. / CARPENTER, P.A. / KELLER, T.A. / EDDY, W.F. (1996): Brain activation modulated by sentence comprehension. In: *Science* 274, 114–116.
- KAAN, E. / SWAAB, T.Y. (2002): The brain circuitry of syntactic comprehension. In: *Trends in Cognitive Science* 6, 350–356.
- LATTNER, S. / MEYER, M.E. / FRIEDERICI, A.D. (2005): Voice, perception: Sex, pitch, and the right hemisphere. In: *Human brain mapping* 24, 11–20.
- LEGUTKO-MARSZALEK, I. (2007): Die Unterscheidung zwischen Bedeutungen und Begriffen in Anbetracht des Bilingualismus. In: *Studia Germanica Gedanensia* 15. Gdańsk, 163–168.
- LEGUTKO-MARSZALEK, I. (2008): Struktur und Organisation des mentalen Lexikons in Kontext psychologischer Gedächtnistheorien. In: *Glottodidactica XXXIV. An International Journal of Applied Linguistics*. Poznań, 65–73.
- MECKLINGER, A. / SCHRIEFERS, H. / STEINHAEUER, K. / FRIEDERICI, A.D. (1995): Processing relative clauses varying on syntactic and semantic dimensions: An analysis with event-related potentials. In: *Memory and Cognition* 23, 477–494.

- MEYER, M. (2003): Spezielle Verfahren III: Bildgebende Verfahren. In: RICKHEIT, G. / HERRMANN, TH. / DEUTSCH, W. (2003) *Psycholinguistik. Ein internationales Handbuch*. Berlin – New York: Walter de Gruyter, 181–189.
- MEYER, M. / ALTER, K. / FRIEDERICI, A.D. (2003): Functional MR imaging exposes differential brain responses to syntax and prosody during auditory sentence comprehension. In: *Journal of Neurolinguistics* 16, 277–300.
- MEYER, M. / ALTER, K. / FRIEDERICI, A.D. / LOHMANN, G. / CRAMON, D.Y. (2002): Functional MRI reveals brain regions mediating slow prosodic manipulation of spoken sentences. In: *Human brain mapping* 17, 73–88.
- MEYER, M. / FRIEDERICI, A.D. / CRAMON, D.Y. (2000): Neurocognition of auditory sentence comprehension: Event-related fMRI reveals sensitivity to syntactic violation and task demands. In: *Cognitive Brain Research* 9, 19–33.
- PETERSEN, S.P. / FOX, P.T. / POSNER, M.I. / MINTUN, M. / RAICHLER, M.E. (1989): Positron emission tomographic studies of the processing of single-word. In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 1, 153–170.
- PETERSEN, S.P. / FOX, P.T. / SNYDER, A.Z. / RAICHLER, M.E. (1990): Activation of extrastriate and frontal cortical areas by visual words and word-like stimuli. In: *Science* 249, 1041–1044.
- PRICE, C.J. / MOORE, C.J. / HUMPREYS, G. / WISE, R.J.S. (1997): Segregating semantic from phonological process during reading. In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 9, 727–733.
- PRICE, C.J. / WISE, R. / RANSAY S. / FRISTON, K. / HOWARD, D. / PATTERSON, K. / FRACKOWIAK, R. (1992): Regional response within the human auditory cortex when listening to words. In: *Neuroscience Letters* 146, 179–182.
- SCHADE, U. / KUPIETZ, M. (2003): Repräsentationale Grundlagen der Sprachproduktion. In: Herrmann, Th. / Grabowski, J. (Hg.) *Enzyklopädie der Psychologie. Sprachproduktion*. Göttingen–Bern–Toronto–Seattle: Hogrefe, 287–308.
- SCHIRMER, A. / KOTZ, SA / FRIEDERICI, A.D. (2002): Sex differentiates the role of emotional prosody during word processing. In: *Brain Research. Cognitive Brain Research* 14, 228–233.
- STROMSWOLD, K. / CAPLAN, D. / ALPERT, N. / RAUCH, S. (1996): Localization of syntactic comprehension by positron emission tomography. In: *Brain and Language* 52, 452–473.
- ZATORRE, R.J. / EVANS, A.C. / MEYER, E. / GJEDDE, A. (1992): Lateralisation of phonetic and pitch discrimination in speech processing. In: *Science* 256, 846–849.
- ZATORRE, R.J. / MEYER, E. / GJEDDE, A. / EVANS, A.C. (1996): PET studies of phonetic processing of speech: Review, replication, and reanalysis. In: RAICHLER, M. / GOLDMAN-RAKIC, P.S. (Hg.): *Cerebral Cortex* 6. *Special Issue: Cortical imaging – microscope of the mind*, 21–30.
- ZURIF, E.B. / SWINNEY, D. (1994): *The neuropsychology of language*. In: GERNSBACHER, M.A. (Hg.): *Handbook of psycholinguistics*. San Diego: Academic Press.