

BARBARA SADOWNIK

*Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie*

barbara.sadownik@wp.pl

## **Die Modularität als Schlüssel zum Verständnis des Sprachverarbeitungssystems – kognitive Modelle und ihre neuronale Basis**

Modularity as a key to understanding the system  
of language processing –  
cognitive models and their neurological basis

ABSTRACT. The scope of this paper is the concept of modularity of language, which is a key to understanding the complexity of human cognitive system. The author of the paper presents various arguments in favor of the thesis that both moderate and extreme modularity-related theories allow, to a much greater extent than non-modularity theories, for reconstruction and description of complex structures of the language perception and production.

KEYWORDS: modularity of mind, modular approaches, modular versus connectionist models of language processing, language perception, language production, syntactic processes in speech production, generative grammar, neuroimaging.

### **1. EINLEITUNG**

Der vorliegende Artikel zielt darauf ab, die Debatte um modular-serielle versus interaktiv-konnektionistische Ansätze zur Erklärung der Gesamtarchitektur des Sprachverarbeitungssystems darzustellen und schwerwiegende Argumente für die Modularität dieses Systems vorzubringen. Zu-

nächst wird versucht zu zeigen, dass das modulare Paradigma als Solches nicht einheitlich ist und dass auch das modulare Konzept der menschlichen Kognition unterschiedliche Ausprägungsvarianten hat. Die Modularität wird über das Sprach(verarbeitungs)system hinaus als organisierendes Prinzip der gesamten kognitiven Anlagen des Menschen betrachtet. Es gibt nicht nur eine sondern mehrere Modularitätshypothesen und ihre mentale sowie neurobiologische Plausibilität scheint viel stärker als die der holistischen Hypothesen zu sein. In den aktuellen Kognitiven Wissenschaften und Neurowissenschaften sind es die modularen bzw. die komplementären Ansätze, die entschieden den Forschungsbereich bestimmen. Die Suche nach den kognitiven sowie nach den neuralen Modulen vorwiegend mit Hilfe des Einsatzes von Neuroimaging wird heutzutage als ein fruchtbares methodologisches Unternehmen aufgefasst und die neurofunktionale Modularität als Schlüssel zur Rekonstruktion der Organisation und Lokalisation kognitiver Funktionen des Gehirns, darunter der Sprachfunktionen wie Sprachperzeption und Sprachproduktion bei Monolingualen wie Multilingualen, bei Früh- und Spätmehrsprachigen.

## **2. DAS KONZEPT DER MODULARITÄT DES MENSCHLICHEN KOGNITIONSSYSTEMS UND SEINE AUSPRÄGUNGSVARIANTEN**

Der modulare Ansatz in den Kognitiven Wissenschaften basiert deutlich auf Thesen, die bereits von vielen Vertretern der Neurologie des vorigen Jahrhunderts postuliert wurden, dass die Sprache auf Eigenschaften der dominanten, linken Großhirnrinde basiert, also auf Eigenschaften, die selbst sehr speziell sein können. Der Modularitätskonzeption liegt demnach die Annahme zugrunde, dass die menschliche Kognition ein komplexes System verschiedener Subsysteme darstellt, die sich durch bestimmte Charakteristika hinsichtlich ihrer Struktur und Funktion unterscheiden, also jeweils eigenen Gesetzmäßigkeiten folgen. Die Subsysteme fungieren als Module, d.h. jedes Modul weist als kognitives Wissenssystem eine ihm inhärente Struktur auf, die sich nicht durch die Struktureigenschaften eines anderen Moduls erklären lässt. Mit anderen Worten, die Modularitätshypothese besagt, dass der menschliche Geist nach dem Prinzip der Arbeitsteilung funktioniert, d.h. so organisiert ist, dass verschiedene Subsysteme verschiedene Funktionen ausüben. Diese kognitiven Funktionen lassen sich also voneinander abgrenzen und im Geist bzw. Gehirn lokalisieren (vgl. dazu ausführlich Sadownik 2010).

Es unterliegt keinem Zweifel, dass Chomsky die gesamten Kognitiven Wissenschaften entscheidend beeinflusst hat. Chomsky hat ein einflussreiches Modell für die Sprache, für ihre Grammatik, sowie für den von ihm in den Mittelpunkt gestellten Sprecher und Hörer der Sprache entwickelt. Für das generative Paradigma ist der menschliche Geist ähnlich wie das menschliche Gehirn modular organisiert, wobei das Sprachvermögen als ein eigenes System bzw. autonomes Modul der Kognition eine spezifische strukturelle Beschaffenheit aufweist, die auch autonom studiert werden kann. Die menschliche Sprache, ihre Struktur, ihr Erwerb sowie ihr Gebrauch involvieren, so die Annahme, ganz spezielle Eigenschaften, „die sich, soweit wir wissen, nirgendwo sonst, finden“. Chomsky (1975: 14) Als Anhänger der Modularitätshypothese argumentiert Chomsky in seinen zahlreichen Arbeiten (z.B. 1981; 1984; 1986; 1988; 1995; 2000), dass *Geist* bzw. *Gehirn* des Menschen ein modulares System sein muss, weil *Geist/Gehirn* nur als modulares System detailliert erforscht und verstanden werden kann. Die menschliche Kognition bzw. der Geist des Menschen als Ganzes ist laut Chomsky nicht nur für die sprachlichen Leistungen verantwortlich. Die wissenschaftliche Beschäftigung mit der speziellen menschlichen Leistung, wie die Fähigkeit, eine menschliche Sprache zu sprechen und zu verstehen, sollte – der Chomskys Annahme zufolge – als ein Modell fungieren, an dem sich die Erforschung weiterer Bereiche der menschlichen Kompetenz und des menschlichen Handelns orientieren könnte, und zwar die Erforschung dieser kognitiven Bereiche, die einer direkten Untersuchung weniger gut zugänglich sind. Die Modularitätsthese und die Autonomiethese stellen ein essentielles Spezifikum der Generativen Grammatiktheorie in all ihren verschiedenen Ausprägungen dar. Die beiden Thesen sind in ihrem empirischen Gehalt eng miteinander verbunden. Historisch gesehen entwickelte sich jedoch die entscheidende Argumentation von der Autonomie der Syntax zur Modularität der Sprache und Kognition.

Chomskys Argumentation pro Modularität ist in erster Linie methodologisch motiviert, in dem Sinne, dass das modularistische Element forschungsstrategisch vielversprechender ist als (eventuelle) integrative oder ganzheitliche Merkmale des Forschungsgegenstandes *Gehirn/Geist*. Mit der Modularität führt also Chomsky ein primär methodologisches Argument ein und unterstellt implizit, dass sich Teilbereiche der Kognition zunächst isoliert voneinander untersuchen lassen, ohne dass damit deren Organisation und Eigenschaften verkürzt oder verzerrt werden. Grammatik bzw. Syntax werden als eigenständige mentale bzw. biologische Größen aufgefasst und die syntaktischen Gesetze müssen demnach als autonome Gesetze erfasst und erklärt werden. Beachtenswert ist dabei, dass Chomskys Vorstellungen mit den Ergebnissen der modernen Neuropsychologie und Neurobiologie durchaus vereinbar sind.

Die Diskussion um die Architektur des menschlichen Kognitionssystems hat Fodor (1983; 1985; 2000; 2001) weitgehend bereichert, indem er eine Reihe von theoretischen Argumenten für die modulare Auffassung des Geistes dargelegt hat. Fodor versteht seine modularistische Theorie des Geistes als Reaktion bzw. Provokation gegen die, seiner Meinung nach, dominierenden holistischen Strömungen der neueren Kognitiven Wissenschaften, als ein Protest gegen eine Art relativistischen Holismus, der viele Unzulänglichkeiten aufweist und der von Fodor (1985: 33) als eine „Modeerscheinung“, bzw. als „New Look“ bezeichnet wird. Fodor, der sein Interesse an der Modularität aus der Problemlage generativer Syntaxtheorien hergeleitet hat, macht deutlich, dass sein modularistischer Ansatz nicht primär wie bei N. Chomsky aus methodologischen Erwägungen entstanden ist. Er entwickelte ein Modell des Geistes, demzufolge es eine Zentraleinheit gibt, die holistisch arbeitet, sowie periphere Module, bzw. relativ unabhängige kognitive Systeme, die ganz spezifische Funktionen zu erfüllen haben. Diese Systeme – die Module – werden von Fodor wie folgt definiert:

Roughly modular cognitive systems are domain specific, innately specified, hardwired, autonomous, and not assembled. Since modular systems are domain specific computational mechanisms, it follows that they are species of vertical faculties (Fodor 1983: 37).

Die kognitiven Module sind laut Fodor durch eine Reihe von Merkmalen gekennzeichnet, wie Domänenspezifität, angeborene Spezifität, feste Verdrahtung, Autonomie und Unzerlegbarkeit (vgl. Fodor 1983: 36f). Als Kennzeichen modular bzw. vertikal organisierter Funktionseinheiten bzw. Leistungen gelten insbesondere domänenspezifische und undurchsichtige Verarbeitungsmechanismen, die an eine distinkte neurale Architektur gebunden sind. Zu den peripheren Modulen gehört nach dieser Auffassung u.a. das Sprachorgan. Wegen seiner verhältnismäßig einfachen Struktur kann es laut Fodor mit Aussicht auf Erfolg untersucht werden. Ähnlich wie N. Chomsky, der in seinem generativen Ansatz den Gegenstand *Sprache* auf den – mutmaßlich formalisierbaren – Bereich der *Syntax* einengt, meint auch Fodor, dass nur eine Ausgrenzung ganzheitlich arbeitender Wissens- und Glaubenssysteme und die damit verbundene idealisierende Verkürzung des Gegenstandes *Geist* in der Kognitiven Psychologie zum Erfolg führen kann. Chomsky, der sich zwar von Details Fodors Spekulationen distanziert /1/, hält jedoch konsequent seit den achtziger Jahren an dem modularen Bild des Geistes fest. Beachtenswert ist in diesem Kontext, dass Chomskys Bild der Architektur von Geist/Gehirn zunächst eher durchgehend modular war. Was den Status der formalen Grammatik angeht, vertritt zunächst Chomsky mit seinem Postulat der absoluten Syntaxautonomie eine viel stärkere Posi-

tion als Fodor. In seiner späteren Arbeit *Language and Problems of Knowledge* schließt sich Chomsky (1988: 157 ff) jedoch deutlich dem von Fodor (1983) vorgeschlagenen Modell partieller Modularität (mit ganzheitlichen zentralen Systemen) an und spricht auch von modularen und zentralen Systemen.

Sowohl Chomsky als auch Fodor mit seiner von Chomsky etwas abweichenden Version der Modularitätskonzeption liefern zahlreiche Argumente dafür, dass mindestens die perzeptuellen und sprachlichen Prozesse im Kontext der Gesamtkognition des Menschen eine Sonderstellung einnehmen und Gesetzmäßigkeiten und Eigenschaften aufweisen sollten, die in anderen kognitiven Domänen nicht auftreten. Diese Hauptannahme treibt die linguistische und psycholinguistische Forschung deutlich voran. Es verwundert nicht, dass es sich Versuche unter Linguisten, Psychologen Neuropsychologen /2/ mehren, die Modularitätshypothese zu ergründen. So wird beispielsweise die Modularitätshypothese im Bereich der Satzverarbeitung immer wieder aufs Neue überprüft. Zwar sind die empirischen Befunde alles andere als schlüssig, doch kommen die Forscher dem Verständnis des menschlichen Sprachverarbeitungssystems immerhin näher. In jüngerer Zeit sind zusätzlich eingehende Analysen der syntaktischen Merkmale des Satzkontextes und der lexikalischen Merkmale von Wörtern in syntaktischen Untersuchungen in Angriff genommen. In beiden Bereichen erwies sich die Modularitätshypothese von Fodor als treibende Kraft in der Welt der Empirie.

Schwarz-Friesel (2007) weist in diesem Kontext darauf hin, dass die strikte Modularitätskonzeption im Sinne Fodors (1983) durch Ergebnisse der empirischen Kognitions- und Neurowissenschaften zugunsten einer Konzeption aufgegeben wurde, die zwar strukturelle und funktionelle Eigengesetzmäßigkeiten der Module berücksichtigt, deren repräsentationale Überschneidungen und prozedurale Interaktion mit anderen Systemen aber wesentlich stärker betont. Vor diesem Hintergrund werden die Auffassungen von Jackendoff (2002), Jackendoff, Pinker (2005), Pinker (2005; 2007) vorgeführt, aber auch die von Carruthers (2006), der für die Annahme massiver Modularität plädiert.

### **3. DIE KOGNITIVE ARCHITEKTUR DES SPRACHVERARBEITUNGSSYSTEMS: SPRACHREZEPTION VERSUS SPRACHPRODUKTION**

Das Interesse der Sprachverarbeitungsforschung bezieht sich hauptsächlich auf Mechanismen, die den Sprachverarbeitungsprozessen zugrunde liegen /3/. Da bei Sprachrezeption und Sprachproduktion unterschiedliche

Gebiete im Gehirn aktiviert werden, stellt sich natürlich die grundsätzliche Frage, in welchem Verhältnis Perzeptions- und Produktionsmechanismen zueinander stehen. Einerseits könnte man sich aus psycholinguistischer Sicht vorstellen, dass das Perzeptionssystem identisch mit dem Produktionssystem ist, d.h. dass Perzeption nichts anders als die Umkehrung von Produktion ist et vice versa. Andererseits wäre jedoch auch denkbar, dass die beiden Systeme autonom sind und jeweils über eigene spezifische Strategien und Prinzipien verfügen. Beim derzeitigen Forschungsstand ist diese Frage nur schwer zu beantworten, da hierzu detaillierte Kenntnisse über einzelne Perzeptions- und Produktionsmechanismen erforderlich wären, die bislang jedoch nicht vorliegen. Es ist bis heute noch nicht gelungen, eine präzise Eingrenzung der beteiligten Gehirnbereiche und ihr Zusammenspiel bei diesen zwei Prozessen zu erfassen. Generell wird behauptet, dass es sich um sehr unterschiedliche und nicht um zwei lediglich gegenläufige Prozesse handelt. Herrmann (1985: 67) schreibt beispielsweise dazu: „Sprachrezeption und die Sprachproduktion sind zwei komplexe Prozessstrukturen, die man sich nicht derart als symmetrisch vorstellen darf, dass die Rezeption so etwas wie die Umkehrung der Produktion wäre“.

Die Mehrzahl der Psycholinguisten, die die kognitiven Prozesse analysiert und modelliert haben, die sich beim Hören oder Lesen, beim Sprechen oder Schreiben abspielen, unternimmt im Allgemeinen eine strikte Trennung von der Rezeption und Produktion. Sie gehen demnach davon aus, dass Sprachrezeption und -produktion als zwei unabhängige Mechanismen angesehen werden sollen, weil Kinder während des Spracherwerbs in der Regel sowohl phonologische als auch syntaktische Strukturen früher perzipieren als produzieren können. Die Tatsache, dass Sprachverstehen und Sprechen nicht gleichzeitig, sondern mit einer zeitlichen Versetzung erworben werden, gibt Aufschluss über den Anteil von geteilten Ressourcen. Diese Auffassung vertrat schon u.a. M. Garrett (1980; 1988), indem er betonte, dass die sog. *garden-path*-Phänomene zwar bei der Perzeption, nicht jedoch bei der Produktion auftreten. Es gibt jedoch Forscher, für die die zeitliche Versetzung darin liegt, dass sich die Artikulationsfähigkeit später als Hörfähigkeit entwickelt, nicht aber die dahinter liegenden kognitiven Prozesse (vgl. Palmer et al. 1985).

Die Sprachverarbeitungsprozesse sind hochkomplexe Prozesse, bei denen eine Reihe von Subprozessen aufgerufen und zeitlich koordiniert werden müssen. Die Forscher, die die Sprachverarbeitungsprozesse zu rekonstruieren versuchen, sind sich darüber einig, dass die verschiedenen Subprozesse notwendiger Bestandteil des Verstehens- und Produktionsprozesses sind. Uneinigkeit herrscht aber über die Frage, ob und wie genau diese Subprozesse miteinander interagieren, ob jede Komponente ihre Ver-

arbeitung zunächst abschließen muss, bevor die nächste Komponente deren Output weiterbearbeiten kann, oder ob von Anfang an eine Interaktion zwischen den Prozessorkomponenten stattfindet. Die Forschungsaufgabe besteht somit darin, sachlich zutreffende Erkenntnisse über die Struktur dieser Subsysteme und über die Art und Weise ihres Zusammenwirkens zu gewinnen. Dies wird als eine enorme Herausforderung betrachtet, da die kognitiven Strukturen und Prozesse, auf die sich das Forschungsinteresse richtet nicht direkt beobachtbar sind, sondern sich lediglich mit Hilfe geeigneter Untersuchungsmethoden erschließen lassen. Aus methodologischen Gründen orientiert sich die Sprachverarbeitungsforschung überwiegend an linguistischen Theorien. Unterschiedliche Prozessdomänen werden demnach für die Verarbeitung von gesprochener Sprache postuliert: Syntax, Phonologie und innerhalb dieser die Prosodie, Semantik, Pragmatik. In jeder kognitiven Domäne stellt sich die Frage nach der allgemeinen Architektur, in der sie zu modellieren ist. Es gilt einerseits die Systeme zu identifizieren, die an der generellen Aufgabe beteiligt sind, andererseits die Prozesse, die zwischen den Systemen vermitteln.

Das Problem der Sprachverarbeitung in der Realzeit steht für die experimentell-arbeitende Psycholinguistik im Vordergrund. Inzwischen haben sich zur Frage, wie die Sprachverarbeitung organisiert ist, zwei Gruppen von Modellen herausgebildet und zwar, modular-serielle Modelle auf der einen Seite und interaktiv-konnektionistische bzw. holistische Modelle auf der anderen Seite. Einen entscheidenden Stellenwert in der Debatte um modulare versus holistische Ansätze zur Erklärung der Sprachverarbeitung nimmt die Frage ein, ob es feedback-Prozesse zwischen den Systemen gibt. Während modular-serielle Modelle diese zentrale Frage verneinen, sind feedback-Prozesse ein konstituierendes Element in konnektionistischen Modellen. Friederici (2006: 347) merkt hierzu an, dass bislang nicht entschieden werden kann, ob die Annahme serieller Prozesse oder die Annahme interaktiver Prozesse die richtige ist /4/. Die Auseinandersetzung zwischen beiden Vorschlägen dauert an.

Modular-serielle Spracherarbeitungsmodelle, wobei *seriell* im Sinne *zeitlich und logisch aufeinanderfolgend* benutzt wird, gehen davon aus, dass jeder Arbeitsschritt von einem eigenen Teilsystem durchgeführt wird. Die einzelnen Teilprozesse der Sprachrezeption bzw. der Sprachproduktion laufen demnach nacheinander ab, d.h. der nachfolgende Prozess fängt erst an, wenn das vorangegangene Teilsystem seine Arbeit abgeschlossen hat. *Serialität* bedeutet hier, dass das Verarbeitungssystem zunächst eine syntaktische Struktur unabhängig von lexikalisch-semantischen oder satz-semantischen Aspekten erstellt und Bedeutungsaspekte erst in einer zweiten Verarbeitungsphase ins Spiel kommen. Aitchinson (1997: 264) erklärt die

Annahme der strikten Serialität der Teilprozesse auf folgende Art und Weise: „Jede Phase ist abgeschlossen, bevor die nächste beginnt, und zwischen den einzelnen Schritten erfolgt keine Interaktion“.

Beachtenswert ist dabei, dass mit den seriellen Modellen auch die Annahme eng verbunden ist, dass das Sprachverarbeitungssystem modular aufgebaut ist, d.h. aus einer Reihe von modularen Subsystemen/Untersystemen mit speziellen Funktionen besteht. Die funktionale Abgeschlossenheit des Sprachverarbeitungssystems wird – wie oben betont – seit Fodor (1983) im Rahmen der Modularitätshypothese heftig diskutiert. Sie besagt, dass die kognitiven Vorgänge zwischen den äußeren Wahrnehmungsprozessen und den Prozessen des zentralen Arbeitsspeichers modular funktionieren, also wie autonome Subsysteme/Module arbeiten /5/. Fodors Modularitätsbehauptungen betreffen zwar Vorgänge des Sprachverstehens, sie treffen aber mutatis mutandis auch für die Sprachproduktionsprozesse zu. Es ist wichtig hier anzumerken, dass die erste Konzeption der Sprachverarbeitungsprozesse von Fodor, Bever, Garrett (1974) von der damaligen Generativen Transformationsgrammatik abgeleitet war und eher theoretisch als empirisch plausibel gemacht wurde. Man versuchte zu zeigen, dass transformationell komplexere Strukturen längere Verarbeitungszeit benötigen als weniger komplexe Strukturen. Diese Konzeption hat auf die empirische Forschung nachhaltig einen Einfluss ausgeübt und einige grundlegende Annahmen sind bis in die Gegenwart forschungsleitend. Laut Friederici (2006: 347) erlauben seriell-modulare Sprachverarbeitungsmodelle, „sehr stricte Hypothesen zur empirischen Überprüfung zu formulieren“. Inzwischen ist die empirische Unterstützung für die modularen Modelle, die eine serielle Anordnung einzelner Verarbeitungsschritte in der Sprachproduktion und im Sprachverstehen annehmen, beträchtlich.

#### **4. MODELLE VOM MODULAR-SERIELLEN AUFBAU DES SPRACHPRODUKTIONSSYSTEMS**

Wichtige Rückschlüsse auf die kognitiven Prozesse der Sprachproduktion erlaubt die Versprecherforschung. Zu nennen ist hier zunächst Garrett (1980), dem es anhand der detaillierten Analyse von Versprechern gelungen ist, ein überzeugendes Modell vom modularen Aufbau des Produktionssystems und vom Ineinandergreifen der einzelnen Prozesse vorzuschlagen. Garrett geht davon aus, dass im Zuge der Äußerungsproduktion mindestens zweimal lexikalisches Wissen abgerufen wird; erst zur syntaktischen Kodierung (Lemmainformation) und dann zur phonologischen Kodierung (Lexeminformation) d.h. zur Erzeugung der Lautform, und zwar in einem

strikt seriellen Vorwärtsverfahren. Inzwischen wurde die Frage nach der zeitlichen Abfolge von syntaktischer und phonologischer Kodierung, d.h. die Frage, ob Lemmazugriff und Lexemzugriff bei der Produktion zeitlich separate Vorgänge sind und der erste dem zweiten folgt, in vielen empirischen Studien überprüft.

An dieses Modell knüpft u.a. das von Levelt (1989; 1992; 1993) ausgearbeitete modular-serielle bzw. autonom-inkrementelle Sprachproduktionsmodell, das inzwischen zu den wichtigsten psycholinguistischen Modellen der Sprachproduktion geworden ist. Die in seinem modularen Modell angenommene Inkrementalität sorgt dafür, dass Sprachproduktion, die insgesamt drei autonome Verarbeitungsschritte umfasst, innerhalb derer jeweils ein Modul für bestimmte Aufgaben zuständig ist, schnell und effizient abläuft /6/. Zu den beteiligten Modulen werden folgende gezählt: (1) der Konzeptualisierer, der für die Makro- und Mikroplanung auf der semantischen Ebene zuständig ist, (2) der Formulator, der die grammatische und phonologische Enkodierung leistet, d.h. der die Zuweisung morphosyntaktischer Funktionen und den Zugang auf das mentale Lexikon sichert, (3) der Artikulator, der die Äußerungspartitur auf der Lautebene realisiert. Die inkrementelle Verarbeitung läuft nach Levelt (1989; 1992; 1993) wie folgt ab: Sobald der Konzeptualisierer den ersten Teil der präverbalen Botschaft erzeugt hat, wird das Ergebnis zunächst an den Formulator und anschließend an den Artikulator weitergeleitet, während der Konzeptualisierer schon den nächsten Teil der präverbalen Botschaft bearbeitet und so fort. Die Verarbeitung kann demnach auf unteren Ebenen bereits beginnen, obwohl die Verarbeitung auf höherer Ebene noch nicht abgeschlossen ist. Die Sprachproduktion hebt damit nicht allein auf den intendierten Inhalt der Äußerung ab, sondern wird beträchtlich von autonomen syntaktischen Gesetzmäßigkeiten gesteuert, die in spezifischer Weise miteinander interagieren. Mit anderen Worten, die Produktionsprozesse involvieren keineswegs komplette, konkrete Laute, sondern operieren mit abstrakten Lautrepräsentationen wie sie von der phonologischen Theorie postuliert werden. Der Produktionsprozess auf der syntaktischen Ebene scheint sich ebenso entscheidend an Kategorien und Prinzipien zu orientieren, die bereits aus der Generativen Grammatiktheorie wohlbegründet sind.

Neben den modularen Ansätzen gibt es in der Psycholinguistik interaktive Ansätze zur Beschreibung der Äußerungsproduktion von Herrmann, Grabowski (1994). Hier wird angenommen, dass die an der Sprachproduktion beteiligten Subsysteme miteinander interagieren und dass Verarbeitungsergebnisse von unteren Ebenen auf Verarbeitungsprozesse auf höheren Ebenen zurückwirken können. Interaktive Modelle, auf die hier nicht näher eingegangen wird, gehen davon aus, dass neben *bottom-up*- auch *top-down*-

Prozesse bei der Sprachverarbeitung zum Einsatz kommen. Während inzwischen eine Gruppe um Levelt (vgl. Levelt et al. 1999, Indefrey, Levelt 2004) die Befunde eigener Experimente als eine Bestätigung für modular-serielle Verarbeitung semantischer und phonologischer Wertmerkmale interpretierte, versuchte Dell mit seinen Mitarbeitern, die empirischen Ergebnisse in einem interaktiv-konnektionistischen Modell zu erklären (vgl. Dell, O'Seaghdha 1991). Die Auseinandersetzung zwischen zwei alternativen Konzeptionen findet auf dem Gebiet der Sprachproduktion in besonders pointierter und fruchtbarer Weise. Augenblicklich spricht deutlich mehr Evidenz für die modular-seriellen Modelle, doch kann die Diskussion keineswegs als entschieden gelten und dauert an.

## **5. MODELLVORSTELLUNGEN ZUR ARCHITEKTUR DES SPRACHVERSTEHENSSYSTEMS AUS MODULARER PERSPEKTIVE**

Die psycholinguistischen Modelle des Verstehens sprachlicher Äußerungen lassen sich auch in zwei Gruppen theoretischer Ansätze untergliedern. Das sind einerseits modular-serielle Modelle andererseits interaktiv-konnektionistische Modelle. Ein modular-serielles Modell des Sprachverstehens, das sich als sehr einflussreich erwiesen hat, stammt von Frazier (1987; 1990). Dieses Modell differenziert beim Satzverstehen zwei Verarbeitungsstufen. In einer ersten Phase, der sog. *first-pass parse*, wird eine initiale Satzstruktur nur aufgrund syntaktischer Informationen aufgebaut. In einem zweiten Schritt, dem sog. *second-pass parse* bzw. in der Phase des semantischen Zugriffs werden thematische Rollen vorgegeben: Es wird festgelegt, „*wer tut was wem*“, es werden pragmatische Informationen integriert, evaluiert und wenn nötig auch revidiert. Genauer gesagt, zunächst muss laut Frazier eine akustisch-phonetische Analyse des Gesagten vorgenommen werden. Dann erfolgt der Zugriff auf Wortkategorie, d.h. die Informationen, die für den Aufbau der Satzstruktur herangezogen werden, beziehen sich lediglich auf die Wortkategorie. Ein neues Wort wird unmittelbar in einen ‚Phrasenstrukturbaum‘ aufgenommen. Frazier argumentiert, dass diese schnelle Strukturzuweisung einen geringen Verbrauch mentaler Ressourcen erfordert. Die initiale Strukturbildung wird nach ihm von Ökonomieprinzipien bestimmt, indem zunächst die einfachste syntaktische Struktur erstellt wird, ohne die Semantik einzubeziehen. Der Parser richtet seine Analyse gerade nicht nach semantischen oder pragmatischen, sondern nach syntaktischen Präferenzen. Bestimmte Sätze, die als „Garden-path-Sätze“ (dt. Holzwegsätze oder auch Gartenpfadsätze) bezeichnet werden, führen jedoch zu

syntaktischen Verarbeitungsschwierigkeiten /7/. Die syntaktische Struktur eines solchen Satzes ist in der Regel nicht bei einer ersten Analyse korrekt aufzubauen, weshalb eine Reanalyse (engl. *backtracking*) und gegebenenfalls eine ‚Reparatur‘ der aufgebauten Struktur notwendig ist. Laut Frazier (1987; 1990) muss es zu syntaktischen Reanalysen, die immer zeitaufwendig sind, erst dann kommen, wenn semantische Informationen nicht integriert werden können. Bei Garden-Sätzen können insbesondere Muttersprachler rückblickend die Stelle identifizieren, an der das Gefühl der Schwierigkeit entstanden ist: es ist die Stelle, an der die Analyse revidiert werden müsste. Der so genannte Garden-Path-Effekt wird damit erklärt, dass das Analysesystem in zwei Schritten arbeitet (eng. *two-step analysis*): Im ersten Schritt wird von einem Teilsystem des Parsers eine Folge von Wortformen zu Phrasen verknüpft, die aber zunächst unverbunden bleiben. Im zweiten Schritt verbindet ein anderes System die phrasalen Kategorien zu einem Satzganzen. Die syntaktischen Prozesse werden in diesem Modell als autonom definiert, was bedeutet, dass anfangs eingehende Informationen zunächst an strukturelle Informationen gebunden und nicht durch andere linguistische Prozesse beeinflusst werden („*Syntax-First-Annahme*“).

Nach Frazier (1987; 1990) lässt sich das Ökonomieprinzip, das die Sprachverarbeitung regelt, mit der Modularitätstheorie ganz gut vereinbaren. Das dem Garden-path-Modell zugrunde liegende Ökonomieprinzip sagt nämlich aus, dass bei der Verarbeitung der Syntax minimaler Aufwand betrieben wird, um dem Zeitdruck des normalen Verstehens entgegenzuwirken. Hierbei spielen zwei Mechanismen eine entscheidende Rolle: *Minimal-Attachment* (dt. „Minimaler Anschluss“) und *Low Attachment* bzw. *Late Closure* (dt. „Später Anschluss“). Die Minimal-Attachment-Strategie schreibt vor, bei syntaktischer Analyse möglichst wenig syntaktische Knoten zu bilden, d.h. bei Vorliegen mehrerer Verknüpfungsmöglichkeiten diejenige Verknüpfung zu bevorzugen, die im Rahmen der gegebenen Grammatik minimal ist. Die Late Closure-Strategie schreibt dagegen vor, neu ankommende Wortformen so lange wie nur grammatisch möglich in die aktuelle Phrase einzufügen. Diese Strategie erklärt die Neigung des Parsing-Systems zur sog. tiefen Verknüpfung (vgl. dazu Frazier, Flores d’Arcais 1989; Frazier, Clifton 1989; 1996).

Die Analyse des Sprachverarbeitungsmodus bei Garden paths lieferte eine reichliche empirische Evidenz dafür, dass der syntaktische Prozessor durch einen universell gültigen Mechanismus geregelt ist, der den allgemeinen abstrakten Prinzipien der Grammatik genügt. Außerdem wird bei der Garden-path-Analyse die Tendenz des syntaktischen Prozessors bestätigt, *on-line* zu wirken: Die Entscheidungen über die Interpretation der Satzstruktur werden unmittelbar getroffen, auch auf die Gefahr hin, die Interpreta-

tionsarbeit wiederholen zu müssen. Das Vorhandensein einer starken Korrelation zwischen den Theorien der Sprachverarbeitung und der Grammatiktheorie, was inzwischen von zahlreichen Daten empirisch unterstützt wird, ermöglicht schließlich, die von der Grammatiktheorie angenommenen Strukturen auf der Basis von Effekten der syntaktischen Verarbeitung zu überprüfen (vgl. Pritchett 1992). Insgesamt ist festzuhalten, dass aktuelle Untersuchungsergebnisse über den Verständnisprozess weitgehend die Hypothese zu unterstützen scheinen, dass das linguistische System, das sehr schnell und unbewusst tätig wird, mit einem autonomen, modular organisierten syntaktischen System von Prinzipien, die von der Generativen Grammatik postuliert werden, ausgestattet ist.

Als Alternative zu den modular-seriellen Sprachverarbeitungsmodellen sind, wie oben angedeutet, Modelle entwickelt worden, die unter den Begriff des Konnektionismus fallen. Die konnektionistischen Modelle bzw. die *parallel-distributed-processing*-Ansätze postulieren statt strukturierter Einheiten und strukturabhängiger, serieller Prozesse vernetzte Elemente und parallel ablaufende kognitive Verarbeitungsprozesse (Rumelhart, McClelland 1986). Die konnektionistischen Modelle inkorporieren eine große Anzahl einfacher Einheiten oder Knoten, die miteinander vernetzt sind. Die Verbindung zwischen den einzelnen Einheiten sind wie bei den Neuronen im Gehirn gewichtig, d.h. sie weisen bestimmte Werte für ihre Aktivierbarkeit auf. Die einzelnen Knoten sind durch erregenden (exzitatorische) oder hemmende (inhibitorische) Relationen miteinander verknüpft. Damit sind die Zusammenhänge von verschiedenen Zuständen in den Netzwerken assoziativer Natur. Wissen ist in solchen Modellen in den Verbindungen zwischen den Einheiten der Netzwerke enthalten. Lernen beruht hier auf einer Modifizierung der Gewichtung der Verbindungen. Diese Annahme entspricht der in der Neurophysiologie vertretenen Position, dass Lernvorgänge im Gehirn durch eine Veränderung der Synapsenverbindungen zwischen Nervenzellen entstehen. Kurz gesagt, Konnektionismus oder Parallelverarbeitung mit der „regellosen“ Simulation wichtiger flexionsmorphologischer Lernprozesse, erklärt kognitive Prozesse mit Netzen einfacher verknüpfter Einheiten, die entfernt Neuronen ähneln. Vertreter dieser Modelle, wie z.B. MacDonald, MacDonald (1995), Tanenhaus, Trueswell (1995), Tanenhaus et al. (2000), gehen von einer kontinuierlichen Beeinflussung der Syntax durch die Semantik aus, oder genauer gesagt, von einer kontinuierlichen Interaktion aller sprachlichen Subsysteme aus. Mit der Erkenntnis, dass „regelhafter“ Output von einer Maschine erzeugt und verarbeitet werden kann, wird von Anfang an versucht, das Paradigma der Symbolverarbeitung im Sinne von Chomsky zu „erschüttern“. Schwarz (1996: 23) merkt dazu kritisch an:

Eine strikte Trennung von mentaler und neuronaler Ebene (bzw. von Hardware und Software), wie sie in den Computationsmodellen vorzufinden ist, ist nicht mehr gegeben, da das Programm in den physikalischen Mustern verankert ist. Sicherlich liegt ein großer Teil der Attraktivität konnektionistischer Modelle in der neuronal inspirierten Modellbindung, doch scheint es beim derzeitigen Forschungsstand verfrüht, symbolisch-funktionalistische Kognitionsmodelle aufzugeben. Es bleibt anhand empirisch-experimenteller Befunde zu konkretisieren, inwiefern konnektionistische Modelle die Repräsentations- und Prozesseigenschaften unserer Kognition adäquat darstellen können als symbolische Modelle.

Ein solches Bedenken ist u.E. gerade im Hinblick auf methodische und begriffliche Voraussetzungen, unter denen die interaktiv-konnektionistischen Ansätze entsprechende Fragestellungen angehen, tatsächlich begründet. Aus Platzgründen kann die kritische Auseinandersetzung mit diesen Ansätzen hier nicht ausführlich vorgeführt werden.

## 6. NEUROBIOLOGISCHE MODELLE ZUR MODULAREN ARCHITEKTUR DES SPRACHVERARBEITUNGSSYSTEMS

Mit der Einführung von bildgebenden Verfahren und computerunterstützter Analysemethoden zur Erfassung von Hirnaktivitäten während der Sprachverarbeitung konnte das bisherige Wissen um die neuronale Basis von Sprachverstehens- und Sprachproduktionsprozessen um wesentliche Aspekte erweitert werden. Zurzeit existieren zahlreiche experimentelle Versuche für die Validität der modular-seriellen und interaktiv-konnektionistischen Modelle (vgl. z.B. Altmann, Steedman 1988; Friederici 1995; Friederici, von Cramon 1999; Friederici et al. 2004; Altmann, Kamide 2004). Dabei hat sich gezeigt, dass insbesondere die modular-serielle Annahme sehr stark durch neurowissenschaftliche Befunde validierbar ist. Mit anderen Worten, mehr Evidenz spricht für die modular-seriellen Ansätze.

An dieser Stelle des vorliegenden Beitrags werden nur einige Befunde aus einer Fülle von bisherigen empirischen Studien dargelegt, die für die Plausibilität der neurofunktionalen Modularitätsannahmen sprechen, d.h. dafür, dass bestimmte Gehirnareale die Sprachverarbeitungsprozesse unterstützen und dass syntaktische, semantische und prosodische Prozesse einer festgelegten, umbeschriebenen Hirnstruktur zugeordnet werden können. An dieser Stelle soll betont werden, dass Untersuchungen zur Sprachproduktion eher die Ausnahme sind, was nicht zuletzt mit der relativ hohen Anfälligkeit der fMRI für Bewegungsartakte des Sprechapparates zu erklären ist. D.h. die Reaktionen, die motorische Tätigkeiten wie Gestikulieren, Handbewegungen etc. erfordern, sind aufgrund dieser Anfälligkeit ausgeschlossen.

Dies erklärt auch die relativ restriktiven Aufgabenanforderungen im Rahmen von fMRI-Studien.

Bekannt geworden ist inzwischen das neurokognitive Modell des Sprachverstehens von Friederici (1995), in dem die Autorin drei aufeinander folgenden Phasen festlegen konnte: eine 1. Phase zwischen 150-250ms, eine 2. Phase zwischen 300-500ms und eine 3. Phase nach 500ms. Diesen Phasen werden verschiedene Prozesse zugeordnet, die sich in den einzelnen Komponenten widerspiegeln: Eine 1. Phase der initialen Phrasenstrukturierung (ELAN), eine 2. Phase der lexikalischen und thematischen Integration (N400), die von der 3. Phase, der syntaktischen Integration bzw. Reanalyse gefolgt wird (P 350/P600) (vgl. dazu auch Friederici 2006).

Beachtenswert ist vor diesem Hintergrund die Topographie der Sprachverarbeitung. Seit der Einführung nicht-invasiver bildgebender Verfahren können auch die neuroanatomischen Strukturen, die bei der Sprachverarbeitung beteiligt sind, mit hoher räumlicher Auflösung viel genauer identifiziert werden. Inzwischen hat sich deutlich gezeigt, dass Sprachverstehen und Sprachproduktion nicht nur innerhalb eines Zwei-Areale-Modells stattfinden, sondern weitere Areale für die Sprachprozessierung involviert sind. Mit anderen Worten, es werden zusätzlich zu dem Broca- und Wernicke-Areal neue Hirnbereiche erkannt, die als für die Sprachverarbeitung ebenfalls relevant gelten (vgl. z.B. Friederici et al. 2003; Friederici 2006; Nitsch 2007) /8/. Zudem belegen eine Fülle von Daten zur funktionellen Neuroanatomie des Sprachverständnisses und der Sprachproduktion, dass die Funktionen beider konstitutiven Sprachzentren weit komplexer sind als bisher vermutet wurde. Als eine wesentliche Aufgabe des Broca-Areals wurde bis jetzt, nach den Ergebnissen zahlreicher Tests, neben der Kontrolle der Sprachproduktion, die Ausführung syntaktischer Operationen bezeichnet. Inzwischen konnte festgelegt werden, dass Zerstörungen im Broca-Zentrum z.B. durch Schlaganfälle oder Hirntumore nicht nur rein motorische Ausfälle sowie Störungen der Grammatik verursachen, sondern auch Störungen der Sprachmelodie und Sprachverständnisse. (vgl. Hagoort 2003; Hagoort et al. 2004).

Das kortikale Sprachfeld im Temporallappen, das Planum temporale, das als Wernicke-System gilt, ist anatomisch gesehen in der linken Hemisphäre größer als in der rechten und wird weiterhin konsequent als *sprachspezifisch* beschrieben (vgl. z.B. A. Friederici, D.Y. von Cramon 1999: 339; W. Hartje 2002: 90). Diese Region ist in erster Linie an der Erkennung von Wörtern und an der Weiterverarbeitung bzw. Integration wahrgenommener auditiver sprachlicher Reize in vorhandenes Wissen beteiligt (vgl. dazu Befunde von Binder et al. 2000; Friederici, Meyer, von Cramon 2000). Friederici (z.B. 2003; 2005; 2006), die semantische und syntaktische Informationen

innerhalb der Wernicke-Region genauer zu lokalisieren versuchte, hat gezeigt, dass vordere, mittlere und hintere Anteile des Wernicke-Areals in völlig unterschiedlichem Maße aktiviert werden. Die vordere Windung des Wernicke-Areals analysiert vornehmlich den Satzbau und die mittlere die Wortbedeutung. Der hintere Teil des Wernicke-Areals scheint bei beiden Aufgaben mitzuwirken und ist vermutlich für die grammatikalische Verknüpfung der Wörter und ihre Bedeutung verantwortlich (vgl. Friederici 2003: 44). Das Wernicke-Areal hat sich als das nicht nur für reines Sprachverständnis verantwortliche Areal erwiesen, sondern auch zusätzlich für Elemente der Grammatik und der Sprachproduktion (vgl. Schindelmeister 2005). Dem Wernicke-Zentrum benachbarte Areale der sekundären Hörrinde weisen demnach eine Beteiligung bei der Analyse von Phonemen auf und die multimodalen, temporalen und partietalen Rindfelder sind Zwischenstationen für die Laut-Bedeutungs-Analyse (vgl. Hickock, Poeppel 2000; Poeppel, Hickock 2004). Diese Felder sind um die Sylvische Furche angelegt (vgl. Nitsch 2007: 53ff). Im Allgemeinen zeigte sich durch den Einsatz bildgebender Verfahren innerhalb der letzten Jahre, dass neben den primären und sekundären auditiven Verarbeitungsarealen folgende Areale eine große Rolle spielen: (1) der anteriore Teil des Gyrus temporalis superior (morphosyntaktische Verarbeitung), (2) der posteriore Teil des Gyrus temporalis superior (Integration semantischer und syntaktischer Information), (3) Gyrus frontalis inferior (satzsemantische und syntaktische Verarbeitung sowie Arbeitsgedächtnis), (4) Gyrus temporalis medius (wortsemantische Verarbeitung).

Da im Zuge sich verbesserter bildgebender Methoden aphasische Syndrome nicht nur nach Läsionen gewisser kortikaler aber auch subkortikaler Hirnregionen, insbesondere der Basalganglien und des Thalamus nachgewiesen wurden, wird in den letzten Jahren der Versuch unternommen zu überprüfen, ob auf dieser Ebene, d.h. auf der Ebene von Basalganglien und Thalamus auch kognitive Sprachleistungen, spezifisch der syntaktischen Verarbeitung bei gesunden Probanden nachgewiesen werden können und inwieweit sich eventuell die subkortikale von der kortikalen Sprachverarbeitung unterscheidet. Den Basalganglien wurden primär sensomotorische Kontrollfunktionen zugewiesen, während der Thalamus oft als Relais-Station des Informationsaustausches zwischen anatomisch entfernten Arealen des Nervensystems aufgefasst wurde. Inzwischen werden Basalganglien und Thalamus jedoch noch weitere Funktionen zugeschrieben wie die Funktion zur Bereitstellung, Aufrechterhaltung und Auslenkung der Aufmerksamkeit bei der Verarbeitung kognitiver Aufgaben (Cavedini et al. 2006; Marzinzik et al. 2008).

Einige Modellvorstellungen weisen diesen subkortikalen Strukturen auch explizit Sprachfunktionen zu. Man vermutet seit einiger Zeit, dass subkortikal gelegene Areale wie Putamen, Nucleus caudatus, Basalganglien und prämotorische (Brodmann Areal 6) an der Sprachverarbeitung beteiligt sind. Diese Annahmen sind jedoch Gegenstand kontroverser Diskussionen. Ein Grund hierfür ist, dass Sprachstörungen nach Läsionen der Basalganglien und des Thalamus kaum klassifiziert, äußerst heterogen und nicht regelhaft beobachtbar sind. Die gegensätzlichen Auffassungen konnten bisher nicht hinreichend experimentell belegt oder widerlegt werden. Auf der Grundlage von Studien mit funktioneller Kernspintomographie wird bislang eine Beteiligung der Basalganglien an späten syntaktischen Verarbeitungsprozessen postuliert (Kotz et al. 2003; Friederici et al. 2003). Im Allgemeinen macht jedoch die Vielzahl von Ansichten über die Beteiligung und die Rolle der Basalganglien und des Thalamus an Sprachverarbeitungsprozessen deutlich, dass diesbezüglich lediglich modellhafte Auffassungen existieren. Dies gilt insbesondere für Sprachverständnisleistungen, d.h. für die Arbeiten, die die auditive Verarbeitung von Syntax und Semantik in den Basalganglien und dem Thalamus zu beweisen versuchen.

Die hämodynamische Korrelation von Sprachrezeption und Sprachproduktion ist nicht leicht zu erforschen. Rösler et al. (2003: 10) schreiben hierzu:

Es gibt inzwischen eine Reihe von ERP-Komponenten, die mehr oder weniger eng mit psycholinguistischen Konstrukten in Zusammenhang gebracht worden sind und die anhand ihrer charakteristischen Merkmale – Amplitude, Latenz und Topographie – voneinander unterschieden werden können. Allerdings ist die funktionale Zuordnung dieser Komponenten zu Prozessen des Sprachverstehens oder der Sprachproduktion noch nicht so, wie man sich wünschen würde. Die funktionalen Definitionen sind derzeit eher als Hypothesen zu verstehen, die es gilt, weiter in ihrer Spezifität einzugrenzen.

Nach Rösler et al. (2003) können EEG- und MEG-Signale parallel zum Sprachverstehen und, mit einigen Einschränkungen, parallel zur Sprachproduktion erfasst werden, d.h. mit ihnen werden die Aktivierungsverläufe kortikaler Zellverbände in den Phasen erfasst, die normalerweise für einen experimentellen psycholinguistischen Untersuchungsansatz keine Information liefern. Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren, durchgeführt an Arbeitsgruppen um Hickock und Poeppel (vgl. Hickock, Poeppel 2000; Poeppel, Hickock 2004; Okada, Hickock 2006) zeigen beispielsweise, dass bei der Produktion der Sprache auch Areale im superioren posterioren Temporallappen aktiv sind und dass umgekehrt bei Perzeptionsprozessen frontale Areale der linken und der rechten Großhirnrinde Aktivitäten aufweisen. Die zahlreichen Befunde zeigen, dass insbesondere das ereigniskorrelierte Hirn-

potential (EKP) die Sprachverarbeitungsprozesse, sowohl Akte des Sprachverstehens als auch Akte der Sprachproduktion mit der elektrischen Aktivität des Gehirns von Probanden, relativ präzise zu korrelieren erlaubt, was jedoch, wie oben betont, noch keine Erklärung der Sprachverarbeitungsprozesse darstellt. Es kann zwar die physikalische Realisierung der von der Kognitiven Linguistik und Psycholinguistik identifizierten sprachlichen Eigenschaften und abstrakten Prinzipien in der Gehirntätigkeit festgestellt werden, es fehlt aber an einer kohärenten Sprachverarbeitungstheorie, die die Grundeigenschaften und -prinzipien eines Systems definieren konnte.

## 7. FAZIT

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass die Debatte um modulare versus holistische Ansätze zur Erklärung der neurokognitiven Organisation des Sprachverarbeitungssystems keineswegs als abgeschlossen gilt. Im Gegenteil, sie ist nach wie vor attraktiv und stellt eine Herausforderung dar. Es ist eine Tatsache, dass die Sprachverarbeitung unabhängig in welcher Modalität als komplexer Prozess definiert wird, der eine Reihe von separat beschreibbaren, untergeordneten Prozessen von der Identifikation einzelner Wörter anhand ihrer Klangmuster bzw. graphemischen Merkmale bis zur finalen Interpretation einer sprachlichen Äußerung integriert. Zur Gesamtarchitektur des Sprachverarbeitungssystems hat es bisher viele detaillierte und empirisch abgesicherte Vorstellungen darüber gegeben, wie der Wechselwirkungsprozess zwischen konzeptueller Struktur, lexikalischer Selektion und syntaktischer Entwicklung in der Realzeit verläuft. Beachtenswert ist dabei, dass die empirische Unterstützung für die modularen Modelle, die eine serielle Anordnung einzelner Verarbeitungsschritte in der Sprachproduktion und im Sprachverstehen annehmen, beträchtlich ist. Wichtig ist auch zu betonen, dass wir heutzutage gute, detaillierte und zunehmend verbesserte kognitive Modelle des Sprachverarbeitungssystems haben, dagegen nur rudimentäre Vorstellungen über dessen Beziehungen zum Gehirn.

Dank dem Einsatz der Bildgebung eröffneten sich zwar neue Möglichkeiten zur Erforschung der neurobiologischen Dimensionen der Sprachverarbeitungsprozesse, jedoch die Interpretation der Bedeutung von unterschiedlichen Aktivierungsherden im Gehirn während der sprachlichen Aufgaben bereitet den Forschern nach wie vor enorme Schwierigkeiten. Es ist nicht leicht präzise festzulegen, welche aktivierten Areale für die untersuchten Sprachverarbeitungsprozesse die entscheidenden, unverzichtbaren Areale sind und welche nur gleichzeitig mit diesen aktiviert sind und mögli-

cherweise eine ganz andere Funktion haben. Es ist zu erwarten, dass weitere systematische neurobiologische Analysen von Sprachverarbeitungsprozessen zur Erweiterung unseres Horizonts beitragen werden und neue bisher ungeahnte Beziehungen zwischen neurobiologischen und kognitiven Phänomenen auch in Bezug auf die Verarbeitung von Fremdsprachen aufgedeckt werden. Die an der Schnittstelle zwischen Kognitiven Wissenschaften und Neurowissenschaften gewonnenen Befunde werden sicherlich zu erheblichen Fortschritten im Hinblick auf die Erforschung der kognitiven Architektur des Fremdsprachenverarbeitungssystems im Rahmen eines interdisziplinären Ansatzes der polnischen Glottodidaktik führen.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- Aitchinson, J., 1997. *Wörter im Kopf. Eine Einführung in das mentale Lexikon*. Tübingen: Niemeyer.
- Altman, G.T.M. (ed.), 1990. *Cognitive Models of Speech Processing: Psycholinguistic and Computational Perspectives*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Altmann, G.T.M., Steedman, M., 1988. Interaction with Context during Human Sentence Processing. *Cognition* 30, 191-238.
- Altmann, G.T.M., Kamide, J., 2004. Now You See It, Now You Don't: Mediating the Mapping Between Language and the Visual World. In: Hendsen, J. M., Ferreira, F. (eds). *The Interface of Language, Vision, and Action: Eye Movements and the Visual World*. New York: Psychology Press, 347-386.
- Anstatt, T. (ed.), 2007. *Mehrsprachigkeit bei Kindern und Erwachsenen. Erwerb. Formen. Förderung*. Tübingen: Narr Francke Attempto.
- Binder, J., Frost, J.A. et al., 2000. Human temporal lobe activation by speech and nonspeech sounds. *Cerebral Cortex* 10 (5), 512-28.
- Butterworth, B. (ed.), 1980. *Language Production*. Vol. 1: *Speech and Talk*. London: Academic Press.
- Carruthers, P., 2006. *The Architecture of the Mind: massive modularity and the flexibility of thought*. Oxford: Oxford University Press.
- Cavedini, P., Gorini, A., Bellodi, L., 2006. Understanding obsessive-compulsive disorder: focus on decision making. *Neuropsychology Review* 16 (1), 3-15.
- Chomsky, N., 1975. *Reflections on Language*. New York: Pantheon.
- Chomsky, N., 1981. *Lectures on Government and Binding*. The Pisa Lectures, Dordrecht: Foris.
- Chomsky, N., 1984. *Modular Approaches to the Study of the Mind*. San Diego: University of California.
- Chomsky, N., 1988. *Language and Problems of Knowledge. The Managua Lectures*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Chomsky, N., 1995. *The Minimalist Program*. MA/London-Cambridge Mass: MIT Press.
- Chomsky, N., 2000. *New Horizons in the Study of Language and Mind*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Crocker, W., Pickering, M.W., Charles Clifton, Ch., 2000. *Architectures and Mechanisms for Language Processing*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Dell, G., O'Seaghdha, P., 1991. Mediated and convergent lexical priming in language production: A comment on Levelt et al. 1991. *Psychological Review* 98, 604-614.
- Ellis, A., Young, A., 1988. *Human cognitive neuropsychology*. Hove, UK: Lawrence.
- Fodor, J., 1983. *The Modularity of Mind. An Essay on Faculty Psychology*. Cambridge Mass: MIT Press.
- Fodor, J., 1985. Précis of The Modularity of Mind. *The Behavioral and Brain Sciences* 8, 1-42.
- Fodor, J., 1998. *Concepts. Where Cognitive Science Went Wrong*. Oxford: Oxford University Press.
- Fodor, J., 2000. *The Mind Doesn't Work That Way*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Fodor, J., 2001. Language, Thought and Compositionality. *Mind and Language* 16, 1, 1-15.
- Fodor, J., Bever, Th. G., Garrett, M.F., 1974. *The Psychology of Language*. New York: McGraw-Hill.
- Frazier, L., 1987. Theories of Sentence Processing. In: J. Garfield (ed.). *Modularity in Knowledge Representation and Natural Language Understanding*. Cambridge, MA: MIT Press, 291-307.
- Frazier, L., 1990. Exploring the Architecture of the Language-Processing System. In: G.T.M. Altman, (ed.). *Cognitive Models of Speech Processing: Psycholinguistic and Computational Perspectives*. Cambridge, MA: MIT Press, 409-433.
- Frazier, L., Clifton, C., 1989. Successive Cyclicity in the Grammar and the Parser. *Language and Cognitive Processes* 4 (2), 93-126.
- Frazier, L., Clifton, C., 1996. *Construal*. Cambridge, MA: The M.I.T. Press.
- Frazier, L., Flores D'Arcais, G.B., 1989. Filler Driven Parsing: a Study of Gap Filling in Dutch. *Journal of Memory and Language* 28, 331-44.
- Frazier, L., Villiers, J. (eds), 1990. *Language Processing and Language Acquisition*. Dordrecht: Kluwer.
- Friederici, A.D., 1995. The time course of syntactic activation during language processing: A model based on neuropsychological and neurophysiological data. *Brain and Language* 50, 259-281.
- Friederici, A., 2003. Neurobiologische Grundlagen der Sprache. In: H.-O. Karnath, Thier, P. (eds). *Neuropsychologie*. Heidelberg: Springer, 215-241.
- Friederici, A.D., 2003. Sprachverarbeitung – Der Lauscher im Kopf. *Geist und Hirn* 2, 43-45.
- Friederici, A.D., 2004. *Wie der Mensch Sprache versteht. Einblicke ins Gehirn*. Bertha Benz-Vorlesung 22. Landenbourg: Gottlieb Daimler und Karl Benz Stiftung.
- Friederici, A.D., 2005. Neuropsychological markers of early language acquisition: from syllables to sentences. *Trends in Cognitive Sciences* 9, 481-487.
- Friederici, A.D., 2006. Neurobiologische Grundlagen der Sprache. In: H.-O. Karnath, Thier, P. (eds), *Neuropsychologie*. Heidelberg: Springer. 2. Aufl., 346-355.
- Friederici, A.D. (ed.), 1999. *Sprachrezeption*. Band 2. Göttingen-Bern-Toronto-Seattle: Hogrefe.
- Friederici, A.D., Alter, K., 2004a. Lateralization of auditory language functions: A dynamic dual pathway view. *Brain and Language* 89, 267-276.
- Friederici, A.D., von Cramon, D.Y., 1999. Neurobiologische Grundlagen des Sprachverstehens. In: A.D. Friederici (ed.). *Sprachrezeption*. Band 2. Göttingen-Bern-Toronto-Seattle: Hogrefe, 307-349.
- Friederici, A.D., Kotz, S.A., 2003a. The brain basis of syntactic processes: Functional imaging and lesion studies. *NeuroImage*, Special Issue 20, 8-17.

- Friederici, A.D., Fiebach, C.J., Schlesewsky, M., Bornkessel, I., von Cramon, D.Y., 2006. Processing linguistic complexity and grammaticality in the left frontal cortex. *Cerebral Cortex* 16, 1709-1717.
- Friederici, A.D., Gunter, T.C., Hahne, A., Mauth, K., 2004. The relative timing of syntactic and semantic processes in sentence comprehension. *NeuroReport* 15, 165-169.
- Friederici, A.D., Rüschemeyer, S.-A., Hahne, A., Fiebach, C.J., 2003b. The role of the left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: Localizing syntactic and semantic processes. *Cerebral Cortex* 13, 170-177.
- Friederici, A.D., von Cramon, D.Y., Kotz, S.A., 2007. Role of the corpus callosum in speech comprehension: Interfacing syntax and prosody. *Neuron* 53 (1), 135-145.
- Friederici, A.D., Meyer, M., von Cramon, D.Y., 2000. Auditory language comprehension: An event-related fMRI study on the processing of syntactic and lexical information. *Brain and Language* 74, 289-300.
- Garfield, J. (ed.), 1987. *Modularity in Knowledge Representation and Natural Language Understanding*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Garrett, M.F., 1980. Levels of Processing in Sentence Production. In: Butterworth, B. (ed.). *Language Production*. Vol. 1: *Speech and Talk*. London: Academic Press, 66-97.
- Garrett, M.F., 1988. Processes in Language Production. In: Newmeyer, F.J. (ed.). *Linguistic Theory: Extensions and Implications*. Cambridge: Cambridge University Press, 69-96.
- Hagoort, P., 2003. How the brain solves the binding problem for language: A neurocomputational model of syntactic processing. *NeuroImage* 20 (Suppl. 1), 18-29.
- Hagoort, P., Hald, L., Bastiaansen, M., Petersson, K.M., 2004. Integration of word meaning and world knowledge in language comprehension. *Science* 304, 438-41.
- Hartje, W., 2002. Funktionelle Asymmetrie der Großhirnhemisphären. In: Hartje, W., Poeck, K. (eds). *Klinische Neuropsychologie*. New York-Stuttgart: Thieme, 67-92.
- Hartje, W.K., Poeck, K. (eds), 2002. *Klinische Neuropsychologie*. New York-Stuttgart: Thieme.
- Henderson J. M., Ferreira F. (eds), 2004. *The Interface of Language, Vision, and Action: Eye Movements and the Visual World*. New York: Psychology Press.
- Herrmann, Th., 1985. *Allgemeine Sprachpsychologie*. München: Urban & Schwarzenberg.
- Herrmann, Th., Grabowski, J., 1994. *Sprechen: Psychologie der Sprachproduktion*. Heidelberg: Spektrum.
- Hickock, G., Poeppel, D., 2000. Towards a functional neuroanatomy of speech perception. *Trends in Cognitive Sciences* 4 (4), 131-138.
- Indefrey, P., Levelt, W.J.M., 2004. The spatial and temporal signatures of word production components. *Cognition* 92, 101-144.
- Jackendoff, R., 2002. *Foundations of Language: Brain, Meaning, Grammar, Evolution*. Oxford: Oxford University Press.
- Jackendoff, R., Pinker, S., 2005. The nature of the language faculty and its implications for the evolution of language. *Cognition* 97, 211-225.
- Karnath, H.-O., Thier P. (ed.), 2006. *Neuropsychologie*. Heidelberg: Springer.
- Kotz, S.A., Frisch, S., von Cramon, D.Y., Friederici, A.D., 2003. Syntactic language processing: ERP lesion data on the role of the basal ganglia. *Journal of the International Neuropsychological Society* 9, 1053-1060.
- Levelt, W.J.M., 1989. *Speaking. From Intention to Articulation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Levelt, W.J.M. (ed.), 1992. Accessing words in speech production: stages, processes and representations. *Cognition* 42, 1-22.
- Levelt, W.J.M. (ed.), 1993. *Lexical Access in Speech Production*. Oxford: Blackwell.

- Levelt, W.J.M., Roelofs, A., Meyer, A.S., 1999. A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Sciences* 22, (1), 1-38.
- MacDonald, M., MacDonald, G. (eds), 1995. *Connectionism: Debates on Psychological Explanation*. Oxford: Blackwell.
- Marzinzik, F., Wahl, M., Schneider, G.H., Kupsch, A., Curio, G., Klostermann, F., 2008. The human thalamus is crucially involved in executive control operations. *Journal of Cognitive Neuroscience* 22, 1903-1914.
- Miller, J.L., Eimas, P.D., 1995. *Speech, Language and Communication*. San Diego, CA: Academic Press.
- Newmeyer, F. (ed.), 1988. *Linguistic Theory: Extensions and Implications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nitsch, C., 2007. Mehrsprachigkeit: Eine neurowissenschaftliche Perspektive. In: T. Anstatt (ed.). *Mehrsprachigkeit bei Kindern und Erwachsenen. Erwerb. Formen. Förderung*. Tübingen: Narr Francke Attempto. 47-67.
- Okada, K., Hickock, G., 2006. Left posterior auditory-related cortices participate both in speech perception and speech production: Neural overlap revealed by fMRI. *Brain and Language* 98, 112-117.
- Palmer, J., MacLeod, C.M., Hunt, E., Davidson, J.E., 1985. Information processing correlates of reading. *Journal of Memory and Language* 24, 59-88.
- Pinker, S., 2005. A reply to Jerry Fodor on how the mind works. *Mind and Language* 20, 33-38.
- Pinker, S., 2007. *The Stuff of Thought: Language as a Window into Human Nature*. New York: Viking, London: Penguin.
- Poeppel, D., Hickock, G., 2004. Introduction: Towards a new functional anatomy of language. *Cognition* 92 (1-2), 1-12.
- Pritchett, B.L., 1992. *Grammatical Competence and Parsing Performance*. Chicago: University of Chicago Press.
- Rösler, F., Streb, J., Hann, H., 2001. Event-related brain potentials evoked by verbs and nouns in a primed lexical decision task. *Psychophysiology* 38, 694-703.
- Rumelhart, D.E., McClelland, J.L., the PDP Research Group, 1986. *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. Vol. I. Cambridge, MA: Bradford Books.
- Sadownik, B., 2010. *Modulare Architektur der menschlichen Sprachfähigkeit – kognitive und neurobiologische Dimensionen*. Lublin: Wydawnictwo UMCS.
- Schindelmeister, J., 2005. *Anatomie und Physiologie für Sprachtherapeuten*. München-Jena: Urban und Fischer.
- Schwarz, M., 1996. *Einführung in die kognitive Linguistik*. Tübingen– Basel: Francke.
- Schwarz-Friesel, M., 2007. *Sprache und Emotion*. Stuttgart: UTB für Wissenschaft.
- Tanenhaus, M.K., Trueswell, J.C., 1995. Sentence comprehension. In: J.L. Miller, Eimas, P.D. (eds). *Speech, Language and Communication*. San Diego, CA: Academic Press, 217-262.
- Tanenhaus, M.K., Spivey-Knowlton, M.J., et al., 2000. Modelling thematic and discourse context effects with a multiple constraints approach: Implications for the architecture of the language comprehension system. In: M.W. Crocker et al. (eds). *Architectures and Mechanisms for Language Processing*. Cambridge: Cambridge University Press, 90-118.

