

Welche Bedeutung haben die Neurowissenschaften für die Fremdsprachendidaktik?

Eine pro- und retrospektive Studie in Bezug auf
Theorie und Praxis

Von der Philosophischen Fakultät der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Philosophie
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Harald Teepe

aus

Linnich

Berichter: Universitätsprofessor em. Dr. paed. Wolfgang Butzkamm
Universitätsprofessor Dr. phil. Walter Huber

Tag der mündlichen Prüfung: 02.06.2005

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.

Für unsere Schülerinnen und Schüler

Inhalt

Vorwort xi

I Einführung

1 Einleitung 3

Formulierung der Forschungsfragen 4

2 Erläuterung der Methode 6

2.1 **Literaturrecherche innerhalb der Fachdidaktik Englisch 6**

Zeitlicher Rahmen 6

Inhaltlicher Rahmen 6

Auswahlkriterien 7

2.2 **Qualitative Analyse in drei Teilen 8**

Thematische Schwerpunkte 8

Abfolge der Teilanalysen 8

2.3 **Diskussion 8**

3 Was sind Neurowissenschaften? 9

3.1 **Entwicklung der Neurowissenschaften 10**

Die modernen Neurowissenschaften evolvierten aus klassischen
Disziplinen 10

Die Theorie des zellulären Konnektionismus ebnete den Weg für die
modernen Neurowissenschaften 11

Die Korrelation von Verhalten und Gehirnaktivität wird heute vor allem
anhand bildgebender Methoden untersucht 11

3.2 **Teildisziplinen der Neurowissenschaften 12**

4 Methoden der Kartografie des Gehirns 13

4.1 **Elektroenzephalografie 14**

Das Gehirn produziert messbare elektromagnetische Felder 14

Das Elektroenzephalogramm gibt Aufschluss über die Aktivität des Gehirns **15**

Die Gehirnaktivität kann in Bezug auf einen Stimulus gemessen werden **15**

Zur Leistungsfähigkeit der Elektroenzephalografie **16**

4.2 Positronenemissionstomografie 17

Der Blutfluss dient als indirekter Indikator der lokalen Gehirnaktivität **17**

Zur Leistungsfähigkeit der PET **18**

4.3 Magnetresonanztomografie 18

Protonen verhalten sich wie winzige Stabmagnete **18**

Kognitive Funktionen wie die Sprachverarbeitung werden anhand der funktionalen Magnetresonanztomografie analysiert **20**

Zur Leistungsfähigkeit der (f)MRT **20**

II Analyse der Rezeption neurowissenschaftlicher Erkenntnisse durch die Fachdidaktik Englisch

5 Gehirn und Sprache 23

Fragestellungen **24**

Methode **24**

5.1 Lokalisation von Sprache vermittelnden Regionen des Gehirns 26

Zum Aufbau des Gehirns – eine Skizzierung **26**

Sprachliche Funktionen sind lateralisiert **27**

Auch die rechte Hemisphäre ist in den Prozess der Sprachverarbeitung involviert **28**

Aphasien geben Hinweise auf die Sprachverarbeitung **29**

Spezielle Gehirnstrukturen vermitteln Sprache **31**

Holistische und lokalisationalistische Theorien der Sprachverarbeitung sind integrierbar **32**

Das Gehirn kann bei der Sprachverarbeitung beobachtet werden **33**

Die Lokalisation von Sprache vermittelnden Regionen des Gehirns wird in der Fachdidaktik Englisch thematisiert **37**

5.2 Spracherwerb als genetisch und Umwelt bedingter Prozess 46

Chomsky postuliert eine vererbte Universalgrammatik **47**

Drei Faktoren determinieren die ontogenetische Entwicklung von Sprache **49**

Das FOXP2-Gen beeinflusst das Sprachvermögen **51**

Der Spagat zwischen der Humangenetik und der Spracherwerbsforschung **52**

5.3 Ergebnisse 54Lokalisation von Sprache vermittelnden Regionen des Gehirns **54**Spracherwerb als genetisch und Umwelt bedingter Prozess **55****6 Konnektionismus 56**Fragestellungen **57**Methode **57****6.1 Biologische neuronale Netze 58**Gliazellen und Neuronen sind Bausteine des Nervensystems **58**Neuronen weisen elektrochemische Prozesse auf **59**Das Gehirn verarbeitet Information parallel **61**Cortikale Karten sind Organisationseinheiten des Gehirns **61**Neuroplastizität bestimmt die Dynamik des Gehirns **62**Sensible und kritische Perioden beeinflussen den Spracherwerb **63**

Das Phänomen der kritischen Perioden beeinflusst die Fachdidaktik

Englisch und Spracherwerbsforschung **67****6.2 Künstliche neuronale Netze 72**Das Gehirn ist kein Computer **72**Die Struktur und Funktion künstlicher neuronaler Netze ist naturalistisch
inspiriert **74**Information kann ohne Regeln und Symbole verarbeitet werden **75**PDP-Modelle lernen nach zwei Trainingsprinzipien **76****6.3 Biologische Plausibilität konnektionistischer Modelle 79**Der Backpropagation-Algorithmus ist biologisch wenig plausibel **80**Das Gehirn weist sehr wahrscheinlich selbstorganisierende Merkmals-
karten auf **82****6.4 Simulationen des Spracherwerbs anhand konnektionistischer
Modelle 85**Die Bildung des *simple past* kann durch künstliche neuronale Netze
simuliert werden **85**Sprache kann als zeitliche Folge von Input-Mustern beschrieben
werden **88**Autoassoziative neuronale Netze verarbeiten auch unvollständige
Input-Muster **88**Spracherwerb ist mittels rekurrenter neuronaler Netze simulierbar **89**Möglichkeiten und Grenzen des PDP für die Kognitionswissen-
schaften **93****6.5 Konnektionistische Modelle im Kontext der Fachdidaktik
Englisch und der Spracherwerbsforschung 95**Zur biologischen Plausibilität der konnektionistischen Modellbildung **95**Zur theoretischen Integration der konnektionistischen Modellbildung **98**

Zur Integration der konnektionistischen Modellbildung in die unterrichtliche Praxis **105**

6.6 Ergebnisse 111

Biologische neuronale Netze **111**

Künstliche neuronale Netze **112**

Biologische Plausibilität konnektionistischer Modelle **112**

Simulationen des Spracherwerbs anhand konnektionistischer Modelle **112**

Konnektionistische Modelle im Kontext der Fachdidaktik Englisch und der Spracherwerbsforschung **113**

7 Lernen und Gedächtnis 115

Fragestellungen **115**

Methode **116**

7.1 Die Struktur des Gedächtnisses 117

Verhalten und Gedächtnis werden durch das Gehirn vermittelt **117**

Der Cortex ist funktional kartierbar **118**

Über das gestörte Gedächtnis des H.M. **118**

Wissen und Können sind verschiedene Gedächtnisformen **119**

Zur Integration der Dichotomie der Gedächtnisformen in die Fremdsprachendidaktik **120**

Unterschiedliche Gedächtnissysteme vermitteln die verschiedenen Gedächtnisformen **122**

7.2 Explizites Gedächtnis 124

Baddeleys Modell des Arbeitsgedächtnisses entstand aus dem Konzept des Kurzzeitgedächtnisses **125**

Baddeleys Modell des Arbeitsgedächtnisses stößt in der Fremdsprachendidaktik auf Interesse **128**

7.3 Implizites Gedächtnis 132

Nichtassoziatives Lernen **132**

Assoziatives Lernen **133**

Eine Sprache beherrscht man nicht, indem man ihre Regeln lernt **134**

7.4 Lernen auf zytologischer Ebene 138

Rückblende: dem Gedächtnis auf der Spur **138**

Die Meeresschnecke *Aplysia* ist ein Modellorganismus für die Erforschung von Lernen und Gedächtnis **139**

Die Langzeitpotenzierung ist ein Gedächtnismechanismus der Wirbeltiere **140**

Die Langzeitpotenzierung kann am Hippocampus der Ratte erforscht werden **140**

Viele Anzeichen sprechen für eine Verbindung zwischen der Langzeitpotenzierung und dem Lernen **142**

- Die Langzeitpotenzierung ist reversibel **142**
- Eine gestärkte Synapse führt nicht zwingend zu verstärktem Verhalten **143**
- Die Fachdidaktik Englisch und die Spracherwerbsforschung rezipieren zytologische Aspekte des Lernens **143**
- 7.5 Modulation von Gedächtnisleistungen 148**
 - Aufmerksamkeit ist eine begrenzte Ressource **148**
 - Motivation bestimmt wesentlich den Lernerfolg **150**
 - Emotionen beeinflussen kognitive Leistungen **154**
 - Die Amygdala vermittelt das emotionale Gedächtnis **155**
 - Angst unterdrückt – auch die Kreativität **156**
 - Lernen ist kein Notfall **158**
 - Eine tiefe Verarbeitung steigert die kognitive Effizienz **161**
 - Der Selbstreferenzeffekt beeinflusst Gedächtnisleistungen **165**
 - Interferenz- und Kontexteffekte beeinflussen das Gedächtnis **165**
 - Die Leistung des Gedächtnisses kann mit fortschreitendem Alter erhalten bleiben **166**
 - Während des Schlafs werden Gedächtnisinhalte konsolidiert **167**
- 7.6 Ergebnisse 169**
 - Die Struktur des Gedächtnisses **169**
 - Explizites Gedächtnis **169**
 - Implizites Gedächtnis **170**
 - Lernen auf zytologischer Ebene **170**
 - Modulationsfaktoren von Gedächtnisleistungen **171**

III Welche Bedeutung haben die Neurowissenschaften für die Fremdsprachendidaktik?

8 Diskussion 177

- 8.1 Diskussion des Ist-Zustands 177**
 - Zur Integration der Neurowissenschaften in die Fachdidaktik Englisch **177**
 - Was übersieht die Fachdidaktik Englisch? **182**
- 8.2 Diskussion des Soll-Zustands 185**
 - Zukünftig müssen verschiedene Disziplinen Sprache und den Spracherwerb kooperativ erforschen **185**
 - Einige Grundregeln für die Kooperation bisher entfernter Disziplinen **187**
 - Wir benötigen Schnittstellen zwischen der interdisziplinären Bildungsforschung und unterrichtlichen Praxis **188**

Aus transdisziplinärem Arbeiten könnte ein neues Forschungsfeld evolvieren: eine Wissenschaft vom Lernen und Lehren **189**

Wir müssen neue Wege in der Bildungsforschung beschreiten und optimierte Rahmenbedingungen in der Praxis schaffen **190**

Abkürzungsverzeichnis 193

Glossar 194

Bibliographie 200

Lebenslauf 221

Vorwort

Meinem Doktorvater Herrn Professor em. Dr. Wolfgang Butzkamm danke ich herzlich für die interessante Themenstellung, seine ständige Diskussionsbereitschaft, zahlreiche konstruktive Anregungen während meiner Arbeit sowie für wertvolle Literaturhinweise. Mir wurde die Freiheit eingeräumt, meine Dissertation nach eigenen Vorstellungen zu strukturieren und inhaltliche Akzente zu setzen. Auch bedanke ich mich für das in mich gesetzte Vertrauen bei der Erteilung eines Lehrauftrags zur Unterrichtspraxis Englisch.

Bei Herrn Professor Dr. Walter Huber bedanke ich mich für die freundliche Übernahme des Koreferats und interessante Einblicke in die neurolinguistische Forschung des Lehr- und Forschungsgebiets Neurolinguistik des Universitätsklinikums der RWTH Aachen, sei es als Proband bei einer Aktivierungsstudie oder durch die Möglichkeit, an Lehrveranstaltungen teilzunehmen. Auch bedanke ich mich für viele wertvolle Hinweise, die dazu beigetragen haben, Erkenntnisse verschiedener Disziplinen miteinander zu verbinden.

Herrn Professor Dr. Paul Georg Meyer vom Lehrstuhl für Anglistik III der RWTH Aachen danke ich, dass er mir nach der Emeritierung von Herrn Professor Butzkamm einen Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt hat. Auf diese Weise konnte ich mein Projekt nahtlos fortsetzen und meine Zeitplanung einhalten. Mein Dank gilt auch Frau Hermine Roentgen-Shoukry für ihre Hilfe und Elma Kerz für den gegenseitigen Austausch über unsere Projekte.

Der Graduiertenförderung der RWTH Aachen danke ich für die finanzielle Unterstützung meines Projekts, dem ich mich so zwei Jahre intensiv zuwenden konnte.

Ich danke Herrn Professor Dr. Dr. Manfred Spitzer von der Abteilung Psychiatrie III des Universitätsklinikums Ulm für ein Gespräch vor Beginn meiner Arbeit. Als ich mich auf die Reise begab, hatte ich lediglich eine vage Vorstellung über die Bedeutung der Neurowissenschaften für die Pädagogik und Didaktik und fühlte mich nachher in meiner Absicht bestärkt, mein Projekt wie angedacht durchzuführen.

Ebenfalls geholfen haben mir Frau Professor Dr. Angela D. Friederici und Frau Jutta Müller des Max-Planck-Instituts für Kognitionsforschung in Leipzig, indem sie mir ausgewählte Forschungsergebnisse zukommen ließen.

Herrn Professor Dr. Henning Scheich des Leibniz-Instituts für Neurobiologie in Magdeburg, danke ich für ein Gespräch über die Weiterentwicklung der Neurowissenschaften und ihre Bedeutung für die Pädagogik und Didaktik.

Ein Dankeschön sage ich allen ehemaligen MitarbeiterInnen des Lehrstuhls für Englische Sprache und ihre Didaktik der RWTH Aachen für die gute Zusammenarbeit. Gerne erinnere ich mich an unsere Treffen bei Herrn Professor Butzkamm, bei denen wir über Lehrtechniken diskutierten, diese mitunter an uns selbst erprobten sowie auch fachübergreifende Themen besprechen konnten und musizierten.

Herrn Manfred Braam, Herrn Dr. Walter Liedgens und Herrn Heinz Simons vom Studienseminar für das Lehramt für die Sekundarstufe II in Aachen sowie allen KollegInnen des Couven-Gymnasiums in Aachen gilt mein Dank für die Ausbildung und Hilfe während des Vorbereitungsdiensts. Von ihnen habe ich viel gelernt.

Von ganzem Herzen bedanke ich mich bei Inge Heil. Sie hat mich bei der Durchführung des Projekts geduldig und verständnisvoll unterstützt. Ihr Notebook hat mich auf vielen Wegen begleitet. Nicht zuletzt bedanke ich mich herzlichst bei meinen Eltern. Sie haben mir mein Lehramtsstudium ermöglicht und standen mir dabei ebenso motivierend und helfend zur Seite wie während des anschließenden Vorbereitungsdiensts und Forschungsprojekts. Ich werde sie nach besten Kräften unterstützen, wenn sie meine Hilfe benötigen.

Aachen, den 12.07.2005

Harald Teepe

I Einführung

1 Einleitung

Mittlerweile können wir beurteilen,
welche Lernkonzepte – etwa für die Schule –
am besten an die Funktionsweise des Gehirns angepasst sind.

Henning Scheich, 2004

However, past experience has shown that increased funding, educational focus and even political clout have failed to solve the literacy problem. What is needed is a better scientific understanding of how the brain learns spoken and written language, and how to effectively transfer this scientific knowledge into practice.

Paula Tallal, 2004

Ganz gewiss lässt sich kein Schulsystem direkt aus der Gehirnforschung ableiten. Aber genau so, wie Musik durch die Physik schwingender Körper und die Physiologie des Hörens weitgehend bestimmt ist, so ist auch das Lernen durch die Welt, in der gelernt wird, und durch das Organ des Lernens weitgehend bestimmt. Ich denke, man kann auch beim jetzigen Stand der Gehirnforschung (die nicht abgeschlossen ist, sondern gerade erst richtig anfängt) schon eine ganze Reihe praktischer Schlussfolgerungen für Schule, Universität und Gesellschaft ziehen.

Manfred Spitzer, 2003a

Gleichwohl werden in der Praxis weiterhin unbekümmert methodische Annahmen und Maßnahmen gepflegt, die mit Blick auf die involvierten Lernprozesse nach heutigem Verständnis günstigstenfalls als unproduktiv, stellenweise aber sogar eher als lernhemmend einzuschätzen sind.

Heinrich Winter, 2000

Innovative Bildungskonzepte müssen einen wichtigen Faktor berücksichtigen, der den Lernerfolg eines Menschen maßgeblich beeinflusst. Es handelt es sich hierbei um das Organ des Lernens, das Gehirn. Wer weiß, wie es funktioniert, wie es lernt und welche Parameter das Lernen modulieren, muss dieses Wissen zum einen in die Gestaltung von Lehr-Lern-Arrangements einfließen lassen. Zum anderen wird man lebensbegleitendes Lernen auf allen Altersstufen besser verstehen, was für die gesellschaftliche Entwicklung zunehmend von Bedeutung sein wird, weil stets kürzere Innovationszyklen zeitlebens ein hohes Maß an Weiterbildungsbereitschaft erfordern.

Aufgerüttelt durch den PISA-Schock wird die Bildungsforschung in Deutschland zu Beginn des 21. Jahrhunderts vor die Herausforderung gestellt, der Etablierung einer neuen Bildungskultur Rechnung zu tragen. Neue Wege müssen beschritten werden, um diese Herausforderung anzunehmen: Heute wird gefordert, zur Lösung von Bildungsfragen relevante Erkenntnisse der neurowissenschaftlichen Forschung zu rezipieren und die Neurowissenschaften (NW) in ihrem Erkenntnisgewinn zu unterstützen (s. Spitzer, 2003a; Hensch, 2004, Tallal, 2004). Hierbei handelt es sich nicht um die Aktivität einzelner VisionärInnen. Vielmehr wird dieser Ansatz international als zukunftsfähig und

notwendig erachtet, was sich in der Arbeit der OECD manifestiert, die im Jahr 2004 in verschiedenen Staaten Konferenzen zum Thema *Brain and Learning* organisiert und auch entsprechende Publikationen vorgelegt hat (z.B. OECD, 2002).

Längst haben sich hierzulande überregionale, renommierte Wochenblätter wie Die Zeit (s. Hein, 2003; Stollorz, 2004; Kerstan und von Thadden, 2004) und populärwissenschaftliche Magazine wie Gehirn und Geist (s. Friedrich und Preiß, 2002) oder GEO (s. Mechsner, 2004) dieser Thematik angenommen. Das Manifest elf führender Neurowissenschaftler spiegelt die Überzeugung wider, kurz- und mittelfristig die Bildungsforschung unterstützen zu können (s. Scheich, 2004). Somit wird an die Pionierarbeit von Vester angeknüpft, der im Jahr 1973 sein Publikum erstmals für die Beziehung zwischen Körper und Geist begeisterte und sich dabei auch der schulischen Praxis widmete (Vester, 2002).

Heute kursiert der Begriff Neurodidaktik (ND), der 1988 durch den Pädagogen Preiß geprägt wurde. Dieser Begriff bezeichnet eine neue Disziplin, in der die Didaktik mithilfe der NW zu neuen Erkenntnissen gelangen soll, die in pädagogisches Wirken münden. An diese Vorgehensweise wird die Hoffnung geknüpft, das Qualifizierungsniveau lebensbegleitend Lernender zu steigern (s. Friedrich, 1995). Die Praktikabilität der ND und andere Ansätze, neurowissenschaftliche Erkenntnisse auf die Pädagogik und Didaktik zu übertragen, werden auch bezweifelt (s. Bruer, 1997; Paulus, 2003; Schnabel, 2004): So seien Tierversuche nicht auf den Menschen übertragbar, die frühkindliche Förderung anhand unseres Wissens über kritische Perioden kaum legitimierbar, und bestenfalls würden bereits gesicherte Erkenntnisse auf materieller Ebene bestätigt.

Formulierung der Forschungsfragen

Sind diese Einwände berechtigt? Dieser Frage werde ich im Kontext der Fremdsprachendidaktik (FD) nachgehen, wobei ich die Fachdidaktik Englisch (FE) in den Blick nehme. Die Sprache gehört zu den intensiv erforschten Fähigkeiten des Menschen. Betrachtet man die Erkenntnisse der NW über Sprache, Lernen und Faktoren, die das Lernen modulieren, integrativ, stellen sich der FD folgende Fragen:

1. Integriert die FE Erkenntnisse der NW, um sowohl Theorien des Spracherwerbs als auch Handlungsempfehlungen für den Fremdsprachenunterricht (FU) zu legitimieren, zu verwerfen oder sogar neue zu entwickeln?
2. Falls dem so ist, wie geschieht diese Integration? Übersieht die FE wichtige Aspekte? Befindet sich die FE ausschließlich in einer Rezipientenhaltung, oder erforschen die FE und NW Sprache und den Spracherwerb interdisziplinär?

Diese Fragen führen zu einer Bestandsaufnahme und damit zur Ermittlung des Ist-Zustands. Aufgrund der skizzierten Progression der NW auf den Gebieten, die für die fremdsprachendidaktische Forschung von zentraler Bedeutung sind, ergeben sich hinsichtlich des Soll-Zustands weitere Fragen:

3. Wie ist zukünftig das Verhältnis zwischen der FD und den NW zu gestalten?
4. Welche Rolle kommt zukünftig der Kognitionspsychologie (KP) zu?
5. Kann sich ein Forschungsansatz etablieren, in der die Pädagogik und einzelne Fachdidaktiken sowohl mit der NW als auch der KP kooperieren, sodass Theorien und Handlungsempfehlungen für die unterrichtliche Praxis der jeweiligen Fächer weiterentwickelt werden?

Die Beschäftigung mit diesen Fragen muss allerdings auch von einigen kritischen Fragen begleitet sein:

6. Verfügen die NW über ausreichende und gesicherte Erkenntnisse, deren Rezeption durch die FD diesen einen Gewinn brächte?
7. Welche Dosis NW benötigt und verkraftet die FD?
8. Sind nicht schon viele Handlungsempfehlungen für den FU durch die didaktische und lernpsychologische Forschung hinreichend gesichert?
9. Ist wirklich eine neue Ausrichtung der Bildungsforschung erforderlich, sodass eine Kooperation mit den NW erfolgt?
10. Ist eine Integration der NW in die Pädagogik und die einzelnen Fachdidaktiken zukunftsfähig, wenn sich ihre VertreterInnen meist nicht auf die NW spezialisiert haben?

2 Erläuterung der Methode

Die Realisation meines Projekts basiert auf einer viergliedrigen Vorgehensweise: Anhand einer Literaturrecherche habe ich zunächst relevante Publikationen ausgewählt. Anschließend erfolgte eine qualitative Analyse dieser Publikationen, deren Ergebnisse in eine Diskussion einfließen. Abschließend zeige ich Perspektiven für die Etablierung einer Neurodidaktik auf. Diese Schritte werden nachfolgend konkretisiert.

2.1 Literaturrecherche innerhalb der Fachdidaktik Englisch

Innerhalb der FD habe ich bei der Literaturrecherche insbesondere die FE berücksichtigt. Aufgrund der Bedeutung des Englischen als Lingua franca ist die FE die am stärksten entwickelte Abteilung innerhalb der FD. Daher ist zu erwarten, dass die Rezeption der NW dort am deutlichsten erkennbar ist. Mitunter war es lohnenswert, auch andere Abteilungen der FD einzubeziehen. Stellenweise wurde auch die Spracherwerbsforschung berücksichtigt, wenn Bezüge zur FD erkennbar waren.

Zeitlicher Rahmen

Mit dem Jahr 1990 begann in den USA die so genannte *Decade of the Brain*, die durch die *Library of Congress* in Kooperation mit dem *National Institute of Mental Health* ausgerufen wurde. Es wurden Förderprogramme ins Leben gerufen, wie sie die NW bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht erfahren hatten. Zudem sollte die Öffentlichkeit für den Wert der neurowissenschaftlichen Forschung sensibilisiert werden.

Heute versteht man die Struktur und Funktion des Gehirns sowie die wechselseitige Abhängigkeit beider Aspekte weitaus besser als vor 15 Jahren. Natürlich war es Niemandes erklärtes Ziel, innerhalb eines Jahrzehnts sämtliche Fragen, die mit der Struktur und Funktion des Gehirns in Verbindung stehen, beantworten zu können. Sehr viele Fragen sind immer noch offen, und viele neue Fragen sind hinzugetreten – wie es erfolgreiche Forschung gewöhnlich mit sich bringt.

Daher stellt sich die Frage, ob und wie die Progression der NW seit Beginn der 1990er Jahre die FE beeinflusst hat. Deswegen erfolgte die Literaturrecherche historisch-systematisch ab dem Jahr 1990. Vereinzelt wird auch frühere Literatur berücksichtigt, wenn Publikationen innerhalb des zeitlichen Rahmens auf diese rekurren.

Inhaltlicher Rahmen

Ich habe lokal vorhandene und fernleihbare Monografien berücksichtigt. Zudem habe ich folgende Publikationsorgane ausgewertet:

- Praxis des Neusprachlichen Unterrichts (PRAXIS)¹
- Neusprachliche Mitteilungen aus Wissenschaft und Praxis (NM)
- Zeitschrift für Fremdsprachenforschung (ZFF)
- English Language Teaching Journal (ELT J)

Ich setzte voraus, dass die ausgewählten Publikationsorgane die Rezeption der NW durch die FE widerspiegeln. Des Weiteren wurden folgende *abstracting journals* der FE und der FD in die Recherche integriert:

- Language Teaching (Lang Teach)
- Bibliografie Moderner Fremdsprachenunterricht (BMF)

Lang Teach wertet regelmäßig ca. 140 internationale Zeitschriften vollständig aus. Hierzu gehören neben Zeitschriften der FE auch solche verwandter Disziplinen wie die Spracherwerbsforschung. Lang Teach verweist auf Artikel dieser Disziplinen, wenn sie für die FE bedeutsam sind. BMF wertet 28 nationale und internationale Zeitschriften vollständig aus; zusätzlich werden 21 Zeitschriften selektiv ausgewertet. Überschneidungen von Lang Teach und BMF hinsichtlich der Auswahl der ausgewerteten Zeitschriften sind vernachlässigbar gering. Während der probeweisen Recherche mit Indizes bei Lang Teach stellte es sich als treffgenauer heraus, die schätzungsweise mehr als 6 000 *abstracts* innerhalb des zeitlichen Rahmens einzeln zu sichten. Der Arbeitsaufwand verringerte sich, da die Einträge nach Sparten sortiert sind. Anschließend habe ich von potenziell relevanten Artikeln ihre Volltexte mittels elektronischer Lieferdienste bestellt und anschließend auf ihre tatsächliche Verwertbarkeit geprüft, was anhand bündiger *abstracts* nicht zuverlässig möglich ist.

Auswahlkriterien

Für die Analyse habe ich 85 Publikationen ausgewählt, in denen neurowissenschaftliche Erkenntnisse unter Verwendung der entsprechenden Terminologie thematisiert werden. Diese Publikationen sind in der Bibliografie gekennzeichnet. Diejenigen Publikationen, in denen eine akzidentelle Nennung eines oder weniger neurowissenschaftlicher Fachbegriffe erfolgt und eine weiterführende Kontextualisierung ausbleibt, habe ich bis auf einige Beispiele ausgeschlossen. So schreibt Estor (2002): „Dies [Interferenz] ist ein interessantes und noch viel zu wenig beachtetes Phänomen, das mit unserer Hirnorganisation zu tun hat.“ (S. 243) Eine nähere Erläuterung der „Hirnorganisation“ in Bezug auf das diskutierte Phänomen erfolgt dabei nicht, weshalb diese Publikation nicht berücksichtigt wurde. Publikationen der Spracherwerbsforschung wurden integriert, wenn eine eingehende Rezeption neurowissenschaftlicher Erkenntnisse erfolgt und zugleich ein Transfer zur FD erkennbar ist oder in Verbindung mit anderen Publikationen ermöglicht. Dabei reicht es nicht aus, wenn beiläufig auf die NW verwiesen wird.

¹ eingestellt zum 31.12.2003, Nachfolger: PRAXIS Fremdsprachenunterricht (Cornelsen)

2.2 Qualitative Analyse in drei Teilen

Die Analyse der Rezeption neurowissenschaftlicher Erkenntnisse durch die FE ist rein qualitativ ausgerichtet. Eine quantitative Analyse ist zwar weniger aufwendig, aber hinsichtlich der Fragestellungen nicht zielführend.

Thematische Schwerpunkte

Infolge der Literaturrecherche und Sichtung der ausgewählten Publikationen ergibt sich für die Analyse der Rezeption neurowissenschaftlicher Erkenntnisse durch die FE ein inhaltlicher Orientierungsrahmen, der drei thematische Schwerpunkte umfasst:

1. Repräsentation von Sprache im Gehirn
2. Paradigmenwechsel vom Symbolismus zum Konnektionismus
3. Aspekte des Lernens und des Gedächtnisses

Diesen Schwerpunkten entsprechend ist die Analyse in drei eigenständige Teilanalysen untergliedert. Jede Teilanalyse weist eine themenspezifische Einleitung auf. Daran schließen sich entsprechende Fragestellungen und die Erläuterung der Methode an. Die Teilanalysen schließen jeweils mit einer Synopse der Ergebnisse.

Die qualitative Analyse bedingt einen inhaltlichen Abgleich mit den Erkenntnissen der NW und den Disziplinen, die mit ihr verwandt sind. Hierzu werden entsprechende Publikationen berücksichtigt, deren Auswahlkriterien innerhalb der Teilanalysen erläutert werden.

Abfolge der Teilanalysen

Die Abfolge der Teilanalysen ist prinzipiell beliebig. Für die Theorie und unterrichtliche Praxis mag es zunächst attraktiv erscheinen, den dritten Schwerpunkt vorrangig zu behandeln. Jedoch wurde bei der Erstellung der Dissertationsschrift auf eine inhaltlich systematisierte Aufbereitung geachtet, bei der die Inhalte aufeinander aufbauen.

2.3 Diskussion

Die Ergebnisse der Teilanalysen werden im Rahmen einer abschließenden Diskussion zusammengeführt. Hierbei wird Bezug auf die Fragestellungen genommen, die in der Einleitung aufgeworfen wurden. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, Empfehlungen für die Theorie und unterrichtliche Praxis sowie für die zukünftige Ausrichtung der Bildungsforschung auszusprechen, die ausschließlich infolge einer integrativen Betrachtung der Ergebnisse der Teilanalysen legitimierbar sind.

3 Was sind Neurowissenschaften?

In Zukunft wird eine Einführung in die biologischen Grundlagen des Geistes auch in den Grundkursen für Studienanfänger der philosophischen Fakultät, der Mathematik und der Soziologie wahrscheinlich eine immer wichtigere Rolle spielen, denn die Neurobiologie stellt eine natürliche Brücke zwischen Geistes- und Naturwissenschaften dar. [...] Entgegen mancher Erwartungen sieht es nicht so aus, als nehme eine biologische Analyse mentalen Prozessen ihre Faszination oder ließe sie durch Reduktion trivial erscheinen.

Eric R. Kandel, James H. Schwartz, Thomas M. Jessell, 1996

Die Annahme Kandels et al. hat sich in allen Punkten bestätigt. Standardwerke zur Psychologie (z.B. Gerrig und Zimbardo, 2002), zur Entwicklungspsychologie (z.B. Oerter und Montada, 2002) und kognitiven Psychologie (KP) (z.B. Anderson, 2001) weisen eine eindeutige Tendenz zur Integration der NW auf. Dies spiegelt sich auch im aktuellen Lehrangebot der Sozialwissenschaften wider. Auch die didaktische Forschung rezipiert Erkenntnisse der NW. Dies gilt für die Didaktik der Mathematik (s. Preiß, 1996a, 1996b; Friedrich, 2003) ebenso wie für die FD bzw. FE, wie diese Arbeit beweist. Allerdings sind verständlicherweise nicht alle VertreterInnen der Didaktik ExpertInnen auf dem Gebiet der NW. Daher sei zunächst erläutert, was sich hinter dem Begriff Neurowissenschaften verbirgt.

Bei den NW handelt es sich um einen stetig expandierenden interdisziplinären Forschungssektor, in dem im Rahmen verschiedener Teildisziplinen die Struktur und Funktion von Nervensystemen und ihre wechselseitige Abhängigkeit untersucht wird. Dies geschieht auf unterschiedlichsten Organisationsebenen – beginnend auf der molekularen Ebene bis hin zum Nervensystem als Ganzes.

Insbesondere in Bezug auf den Menschen verfolgen die NW die Frage, wie mentale Prozesse und komplexe Verhaltensweisen auf biologische Mechanismen zurückgeführt werden können: Wie ist es zum Beispiel möglich, dass die Aktivität von vielen Milliarden Neuronen ein Individuum befähigt, seine Umwelt wahrzunehmen, Information zu speichern sowie diese jederzeit und an jedem Ort wieder zu erinnern? Wie ist es möglich, Erinnerungen mittels Sprache zu kommunizieren und im Diskurs mit Anderen Entscheidungen zu treffen, die wiederum auf die Umwelt des Individuums zurückwirken?

Von besonderer Bedeutung ist auch die Erforschung der Motivation und der Emotionen: Was bewegt ein Individuum zum Denken und Handeln und wie beeinflussen Emotionen diese Prozesse? Im Kontext medizinischer Fragestellungen tragen die NW zudem dazu bei, entwicklungsbedingte und durch Krankheit oder Unfall erworbene Störungen des Nervensystems zu untersuchen und zu therapieren. Ebenso liefern die NW Impulse für die Diskussion philosophischer Fragestellungen wie zum Beispiel das Leib-Seele-Problem.

Die NW erforschen folglich Fragestellungen, deren Komplexität in der Biologie ihresgleichen sucht. Wie sie sich heute darstellen, sind die NW über einen Zeitraum von zwei Jahrhunderten aus klassischen Disziplinen hervorgegangen. Interdisziplinäres Arbeiten war in frühen Entwicklungsphasen keine Selbstverständlichkeit und wurde erst

im Laufe der Zeit als notwendiger Faktor für die weitere Erkenntnisgewinnung etabliert. Erst seit der Mitte der 1960er Jahre werden die Begriffe Neurowissenschaften bzw. *neuroscience* oder *neural science* verwendet, um das interdisziplinäre Forschungsfeld zu benennen. Sukzessive sind viele Teildisziplinen entstanden, von denen einige nach einem historischen Überblick über die Entwicklung der NW erläutert werden.

3.1 Entwicklung der Neurowissenschaften

Bereits in der griechischen Antike sah Hippokrates (460-370 v. Chr.) im Gehirn den Sitz der Intelligenz und vermutete, dass es sich bei der Epilepsie um eine Störung des Gehirns handelt. Doch erst in den vergangenen Jahrhunderten wurden Nervensysteme verschiedener Spezies im Kontext klassischer, experimenteller Disziplinen analysiert. Erkenntnisse der Psychologie, Physiologie, Pharmakologie, Anatomie und Embryologie haben wesentlich zu unserem heutigen Verständnis von Neuronen, Gehirn und Verhalten beigetragen.

Die modernen Neurowissenschaften evolvierten aus klassischen Disziplinen

Die Tradition psychologischer Verhaltensstudien reicht in Europa bis zur klassischen griechischen Philosophie. Im Zeitalter der Aufklärung hatten unter anderem der Vater der neuzeitlichen Philosophie und Rationalist René Descartes (1596-1650) wie auch die Empiristen John Locke (1632-1704) und David Hume (1711-1776) wichtige Fragen zur Erkenntnisgewinnung und zur Relation zwischen Körper und Seele aufgeworfen. Den Anstoß für systematisierte Verhaltensstudien gaben allerdings erst Charles Darwins (1809-1882) Untersuchungen zur Evolution. Kontrollierte Versuchsbedingungen bei der Erforschung des Verhaltens von Mensch und Tier führten zur experimentellen Psychologie, die von Wilhelm Wundt (1832-1920) in Leipzig begründet wurde. Erste Versuche, psychologische und biologische Erkenntnisse zusammenzuführen, unternahm der deutsche Arzt und Neuroanatom Franz Joseph Gall (1758-1828). Auf seinen Arbeiten basiert die Phrenologie (s. Kap. 7.1), eine Lehre, die heute nur von wissenschaftshistorischem Wert ist (Kosik, 2003).

Auch die Physiologie hat erheblich zum heutigen Verständnis des Nervensystems beigetragen. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts entdeckte der italienische Arzt und Physiker Luigi Galvani (1737-1798), dass lebende Neuronen und Muskelzellen erregbar sind und darüber hinaus Elektrizität produzieren können. Im Laufe des 19. Jahrhunderts begründeten die deutschen Physiologen Emil du Bois-Reymond (1818-1896), Johannes Müller (1801-1858) und sein Assistent Hermann von Helmholtz (1821-1894) die Elektrophysiologie.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts entdeckten der Franzose Claude Bernard (1813-1878), der Deutsche Paul Ehrlich (1854-1915) und der Engländer John Langley (1852-1925), dass Pharmaka spezifisch auf unterschiedliche zelluläre Rezeptoren wirken und Neuronen daher auf chemischem Weg Information übertragen können.

Die Theorie des zellulären Konnektionismus ebnete den Weg für die modernen Neurowissenschaften

Im späten 19. Jahrhundert beschrieben der italienische Arzt Camillo Golgi (1844-1926) und der spanische Histologe Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) detailliert die Struktur der Neuronen. Erst zu dieser Zeit verfügte man über ausreichend leistungsfähige Mikroskope. Zudem hatte Golgi die Methode der Silberfärbung entwickelt, mit der sich Neuronen in einem Präparat selektiv färben lassen – der Mechanismus der Färbung ist bis heute unbekannt.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts gelang es Cajal, dem deutschen Neurologen Carl Wernicke (1848-1905) und dem englischen Physiologen Charles Scott Sherrington (1857-1952), die Theorie des zellulären Konnektionismus zu untermauern. Diese Theorie besagt, dass Neuronen funktionelle Signaleinheiten des Nervensystems sind und eine präzise Verschaltung aufweisen. Weitere Unterstützung erfuhr diese Theorie durch die Arbeiten zu Zellkulturmethoden des amerikanischen Embryologen Ross Granville Harrison (1870-1959). Für ihre Leistungen erhielten Golgi und Cajal 1906 den ‚Nobelpreis für Physiologie oder Medizin‘, Sherrington und sein Kollege Edgar Douglas Adrian (1889-1977) wurden im Jahr 1932 ausgezeichnet. Unter anderem in Bezug auf die Fundierung der Theorie des zellulären Konnektionismus ist es meines Erachtens legitim, den Beginn der modernen NW auf die vorletzte Jahrhundertwende zu datieren.²

Die Korrelation von Verhalten und Gehirnaktivität wird heute vor allem anhand bildgebender Methoden untersucht

Motiviert durch Wernickes Forschung zur menschlichen Sprache bestimmte der Anatom Korbinian Brodmann (1868-1918) insgesamt 52 funktionell und anatomisch verschiedene Felder des Cortex anhand der zytoarchitektonischen Methode. Brodmann gelang es, einige dieser Felder mit verschiedenen Verhaltensabläufen zu korrelieren. Brodmanns Erkenntnisse decken sich mit den Beobachtungen des Engländers John Hughlings Jackson (1835-1911). Dieser hatte bei Individuen mit fokaler Epilepsie entdeckt, dass motorische und sensorische Vorgänge in verschiedenen Regionen des Gehirns lokalisiert sind. Wenn auch heute von mehr als 52 funktionellen Bereichen ausgegangen wird, ist die regionale Spezialisierung des Cortex als ein Schlüsselprinzip des Nervensystems anerkannt. Brodmanns Einteilung des Cortex in Felder dient bis heute der Orientierung (s. S. 27, Abb. 5.3).

Wollte man vor wenigen Jahrzehnten zum Beispiel cortikale Areale untersuchen, die Sprache vermitteln, war man noch weitestgehend auf klinische Untersuchungen von Individuen mit Läsionen angewiesen. Der Pionierarbeit von Michael Posner und Marcus Raichle auf dem Gebiet der bildgebenden Verfahren ist es zu verdanken, dass heute die Korrelation von Gehirnaktivität mit Verhalten noninvasiv bei beliebigen Individuen untersucht werden kann (Posner et al., 1988; Posner und Raichle, 1994).

² Jessel und Kandel (1998) liefern einen gut strukturierten Übersichtsartikel über die neurowissenschaftliche Forschung der vergangenen 60 Jahre.

3.2 Teildisziplinen der Neurowissenschaften

Innerhalb der NW haben sich vielfältige Teildisziplinen etabliert, die auch innerhalb der FE genannt werden. An dieser Stelle seien einige ausgewählt und näher erläutert, da dies in der FE nicht geschieht. Eine scharfe Trennung der Teildisziplinen ist im Übrigen nicht möglich und nicht notwendig. Gerade die unscharfen Grenzen der Teildisziplinen ermöglichen eine produktive Kooperation mit anderen.

Die *Neuroanatomie* beschäftigt sich mit der Struktur des Nervensystems und ermöglicht Schlussfolgerungen von der Struktur auf die Funktion des Nervensystems. In der Vergangenheit wurden viele Erkenntnisse über die Funktion des Gehirns gewonnen, indem Läsionen spezifischer Hirnregionen untersucht wurden.

Die *Neurochemie* beschäftigt sich mit chemischen Prozessen innerhalb eines Nervensystems. Sie trägt dazu bei, die Funktion der Neuronen und ihre Kommunikation zu erklären, indem sie die Wirkung von Molekülen auf die neuronale Aktivität untersucht.

Die *Neurophysiologie* stellt einen Zweig der Tierphysiologie dar und beschäftigt sich mit der Funktion und Interaktion verschiedener Komponenten des Nervensystems. Sie beschreibt zum Beispiel, wie Neurone Erregung weiterleiten.

Die *Kognitiven Neurowissenschaften* untersuchen die biologischen Grundlagen kognitiver Prozesse, wozu auch die Sprache zählt. Dabei trägt auch die *Neuroinformatik* (NI) zur Erkenntnisgewinnung bei. Sie entsteht aus der Kooperation der NW mit der Informatik und der angewandten Mathematik. Die NI untersucht unter anderem, inwiefern computergestützte Simulationen mit biologisch inspirierten, künstlichen neuronalen Netzen dazu beitragen können, kognitive Leistungen des Menschen zu erklären. Auch die Erforschung menschlichen Spracherwerbs profitiert von der NI.

Die *Neuropsychologie* untersucht die Relation zwischen der Struktur und der Funktion des Gehirns in Bezug auf psychologische Prozesse. Die *Neurolinguistik* (NL) beschäftigt sich mit den Mechanismen des menschlichen Gehirns, die das Verständnis, die Produktion und das Wissen und Können in Bezug auf Sprache vermitteln. Insbesondere atypische Sprache wird durch die NL untersucht. Die NL hat sich seit dem Beginn der 1940er Jahre entwickelt.

Bei der *Neurologie* stehen die Diagnose und Therapie von Erkrankungen des Nervensystems im Vordergrund.

Die *Neurogenetik* (NG) zählt zu den jüngsten Teildisziplinen der NW und nähert sich unter anderem dem Phänomen der menschlichen Sprache aus der Perspektive der Humangenetik.

4 Methoden der Kartografie des Gehirns

The study of human learning will dominate a large component of brain mapping studies in the years to come.

John C. Mazziotta und Arthur W. Toga, 2002

It is interesting to note that the most important maps of the past were focused on charting the land and sea. Later, the object of interest was increasingly large in scope, including the depths of the seas, other planets, and even other solar systems. But most recently, the topic of choice has turned inward to the creation of a map of the human genome and [...] the human brain.

Arthur W. Toga und John C. Mazziotta, 2002

Mit dem Begriff Karte assoziiert man üblicherweise eine zeichnerische Darstellung eines geografischen Gebiets, die die Orientierung vereinfacht oder erst ermöglicht. Dabei helfen Koordinatensysteme, Legenden und die Darstellung unterschiedlicher Modalitäten wie beispielsweise Höhenprofile.

Beschäftigt man sich mit der Struktur und Funktion des Gehirns sowie der wechselseitigen Abhängigkeit beider Aspekte, dienen Karten den Neurowissenschaftlern ebenfalls der Orientierung. Diese Karten können allerdings recht verschieden sein: Brodmann erstellte 1909 eine Karte des Cortex, die auf zytoarchitektonischen Untersuchungen beruhte. Inzwischen ist es unter anderem auch möglich, auf verschiedene Weise die Aktivierung von Neuronenpopulationen während eines Verhaltens zu verfolgen und so Struktur mit Funktion zu korrelieren (Toga und Mazziotta, 2002). Auch ist es möglich, eine Karte der Genexpression im Mäusegehirn zu erstellen (Visel et al., 2004). Der Begriff Karte ist folglich innerhalb der NW häufig abstrakter gefasst als in der Geografie.

Viele der heute eingesetzten Methoden produzieren innerhalb von Sekunden eine zunächst unüberschaubare Anzahl von Daten, die mithilfe von Computern in eine verwertbare Darstellungsform transformiert werden müssen. Hierzu zählen insbesondere bildgebende Verfahren. Statistische Berechnungen sind bei der Datengewinnung von erheblicher Bedeutung, da kein Gehirn exakt einem anderen gleicht und eine Standardisierung individueller Messdaten notwendig ist, wenn die Gehirnstruktur und -funktion kartiert werden sollen (Toga und Mazziotta, 2002).

Jede Methode birgt spezielle Vor- und Nachteile. So bestimmt das zeitliche und räumliche Auflösungsvermögen, wie genau gemessen werden kann. Hinzu gesellen sich weitere Aspekte wie die Reproduzierbarkeit der Messung und die Belastung der ProbandInnen mit elektromagnetischer Strahlung oder Kontrastmitteln. Einige invasive Methoden lassen es zu, elektrische Ereignisse in Neuronen direkt und genau zu messen; dabei können allerdings nur wenige Neuronen berücksichtigt werden. Viele noninvasive Methoden hingegen nutzen Sekundäreffekte, die durch metabolische Prozesse der Neuronen eintreten. Diese Methoden sind weniger genau, erfassen aber größere Teile des

Gehirns. Zurzeit existiert keine universelle, kostengünstige, noninvasive Methode mit zugleich hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung (Mazziotta, 2002). Eine genauere Vorstellung der Gehirnstruktur und –funktion kann dennoch erreicht werden, indem mehrere Methoden kombiniert werden (Renault und Garnero, 2004).

Im Rahmen der folgenden Analyse werden häufig einige Methoden der NW genannt, die dazu beitragen, den Zusammenhang von Struktur und Funktion in Bezug auf die Sprachverarbeitung zu erforschen. Ziel dieses Kapitels ist es, diese Methoden vorab zu erläutern, um das Verständnis zu erleichtern, wenn Akronyme wie EEG, ERP, PET oder MRT verwendet werden.

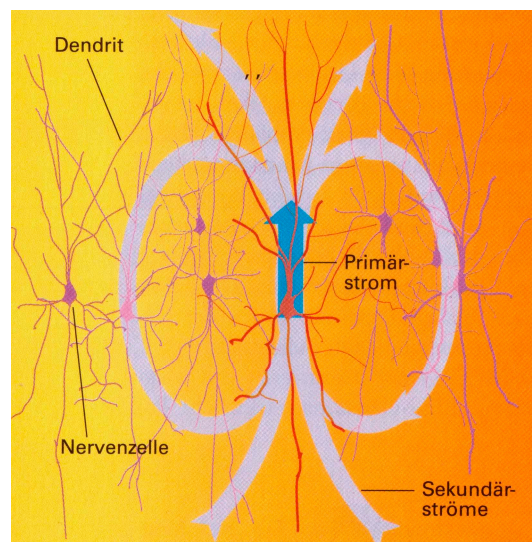
4.1 Elektroenzephalografie

Die Elektroenzephalografie wurde von dem deutschen Neurologen und Psychiater Hans Berger im Jahr 1929 in Jena entwickelt. Obwohl diese Methode im Zuge der technologischen Progression bis dato stets optimiert wurde, hat sie sich in ihren Prinzipien kaum verändert: Es werden elektrische Potenziale gemessen und die Aktivität des Gehirns in Abhängigkeit von der Zeit untersucht.

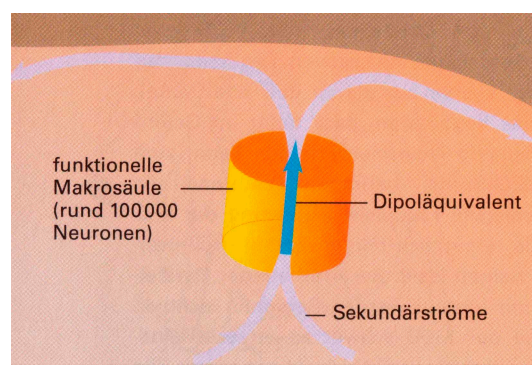
Das Gehirn produziert messbare elektromagnetische Felder

Bei der Signalverarbeitung durch Neuronen verursachen wandernde Ionen Ladungsverschiebungen und daher einen Stromfluss. Innerhalb eines aktivierten Neurons fließt ein Primärstrom, außerhalb ein ausgleichender Sekundärstrom (s. Abb. 4.1a). Da jeder Stromfluss ein Magnetfeld erzeugt, entsteht ein solches auch in der Umgebung aktivierter Neurone. Auf diesem Phänomen basiert übrigens die Magnetenzephalografie, die hier nicht weiter verfolgt wird.

Die elektrische Aktivität und das Magnetfeld eines einzelnen Neurons ist auf der Oberfläche des Schädels nicht messbar. Neuronen arbeiten jedoch synchron in so genannten funktionalen Makrosäulen, die ungefähr einen Durchmesser und eine Höhe von 3 mm aufweisen. Diese Makrosäulen bestehen aus ca. 100 000 Neuronen. Zusammengefasst wirken die Ströme der einzelnen



a



b

Artwork © by Groupe Pour la Science, Paris. Print and electronic permission granted.

Abb. 4.1: (a) Aktivierte Neuronen verursachen einen Stromfluss. (b) Synchron arbeitende Neuronen bilden ein Dipoläquivalent (Renault und Garnero, 2004, S. 46).

Neuronen wie ein einziger elektrischer Dipol. Aufgrund des Beitrags vieler einzelner Neuronen an der Entstehung des Dipols spricht man auch von einem Dipoläquivalent (s. S. 14, Abb. 4.1b). Dieses entspricht in seiner Ausrichtung der Position der Makrosäulen, die in der Regel senkrecht zum Cortex stehen. Mit entsprechenden Instrumenten ist es möglich, elektrische Potenziale und Magnetfelder der Dipoläquivalente zu messen und mit der Aktivität des Gehirns zu korrelieren (Renault und Garnero, 2004).

Das Elektroenzephalogramm gibt Aufschluss über die Aktivität des Gehirns

Ein Elektroenzephalogramm (EEG) repräsentiert Feldpotenziale, die durch Elektroden auf der Kopfhaut gemessen werden (s. Westbrook, 2000, S. 912). Diese Feldpotenziale entstehen vor allem durch die Sekundärströme der Dipoläquivalente. Um eine Elektroenzephalografie durchzuführen, werden Elektroden auf der Kopfhaut befestigt. Mithilfe von Differenzverstärkern werden für jede Elektrode Spannungsänderungen in Abhängigkeit von der Zeit gemessen (Gevins, 2002). Da Spannungsänderungen relativ sind, wird eine Referenzelektrode an einer anderen Körperstelle befestigt und die Spannungsänderung zwischen ihr und den Messelektroden bestimmt; man spricht von einer monopolarer Montage. Alternativ werden Spannungsänderungen zwischen zwei Messelektroden bestimmt; dies entspricht einer bipolaren Montage.

Das auf der Kopfhaut abgeleitete EEG zeigt typische Aktivitätsmuster (s. Westbrook, 2000, S. 912), die mit verschiedenen Wach- und Schlafzuständen korreliert werden können. Ein normales EEG des Menschen zeigt Aktivität zwischen 1-30 Hz mit Amplituden von 20-100 μ V. Dieser Frequenzbereich wird in vier Gruppen unterteilt: Alphawellen (8-13 Hz), Betawellen (13-30 Hz), Deltawellen (0,5-4 Hz) und Thetawellen (4-7 Hz). Alphawellen treten typischerweise auf, wenn ProbandInnen wach und entspannt sind. Betawellen mit geringen Amplituden treten auf, wenn ProbandInnen intensive mentale Aktivität aufweisen. Theta- und Deltawellen treten typischerweise während des Gefühls der Schläfrigkeit und während des frühen *slow-wave sleep* auf; sind sie im Wachzustand vorhanden, deutet dies auf eine atypische Funktion des Gehirns hin (Westbrook, 2000).

Die Gehirnaktivität kann in Bezug auf einen Stimulus gemessen werden

Möchte man neuroelektrische Aktivität bei kognitiven Prozessen zeitlich und in ihrer räumlichen kortikalen Verteilung verfolgen, können elektrische Potenziale gemessen werden, die infolge eines Stimulus auftreten. Man spricht auch von *event-related potentials* (ERP). Diese können allerdings nicht während einer konventionellen Elektroenzephalografie gemessen werden, da sie eine sehr geringe Amplitude aufweisen und durch die übrigen Signale überlagert werden. Mithilfe von computerbasierter Signalverarbeitung können ERPs jedoch verstärkt und als Wellenform dargestellt werden. Dabei werden 25 bis 100 einzelne Messungen berücksichtigt.

Messungen von Veränderungen in der Amplitude und der zeitlichen Abfolge von Spitzen in einer Reihe von Wellenformen erlauben Rückschlüsse auf die Abfolge kognitiver Prozesse im Zusammenhang mit einer Aufgabe (Gevins, 2002). Dieser Methode bedient man sich unter anderem bei der Erforschung der Sprachverarbeitung. So kann beispielsweise die Gehirnaktivität bei der Verarbeitung grammatisch korrekter und fehlerhafter Sätze untersucht werden (Sabourin und Stowe, 2004). Auch wird die Organisation des Lexikons Bilingualer erforscht (Jackson et al., 2004) und die Verarbeitung komplexer sprachlicher Stimuli in Abhängigkeit von der individuellen Kapazität des Arbeitsgedächtnisses untersucht (Bornkessel et al., 2004).

Zur Leistungsfähigkeit der Elektroenzephalografie

Die Elektroenzephalografie zeichnet sich durch eine hohe zeitliche Auflösung auf, die im Bereich von 1-10 ms liegt. Die Aktivität des Gehirns kann daher in Echtzeit wiedergegeben werden. Zudem handelt es sich um ein Verfahren, das im Vergleich zu anderen weniger aufwendig ist. Daher können Messungen auch in einer typischen Umgebung der ProbandInnen durchgeführt werden. Die zu messenden Signale werden allerdings auf unterschiedliche Weise gestört. Dazu tragen zum Beispiel die Schädelknochen und die darunter liegenden Gewebe bei, die wie elektrische Widerstände und Kondensatoren in einem Stromkreis wirken. Aus diesem Grund liegt die Amplitude der gemessenen Potenziale im Mikrovoltbereich, obgleich die Spannungsänderungen in einem einzigen Neuron im Millivoltbereich rangieren (Westbrook, 2000; Renault und Garnero, 2004).

Ein Nachteil der Elektroenzephalografie ist ihre geringe räumliche Auflösung. Diese kann auf einige Kubikzentimeter erhöht werden, indem mehr Messelektroden benutzt werden und das Signal aus einem kleinen Areal stammt, was aber selten der Fall ist. Eine Kombination von Elektro- und Magnetenzephalografie ermöglicht es, relativ grobe Bilder der Gehirnaktivität zu berechnen (Renault und Garnero, 2004).

4.2 Positronenemissionstomografie

1890 entdeckte Sherrington, dass aktivierte Neuronen mit einem lokal erhöhten Blutfluss einhergehen. Dies erklärt sich dadurch, dass aktivierte Neuronen mehr Energie benötigen. Die Freisetzung von Energie ist an die Versorgung der Neuronen mit Glucose und Sauerstoff verbunden. Diese Stoffe werden mit arteriellem Blut bereitgestellt. Um den erhöhten Bedarf zu decken, erweitern sich die Gefäße im Bereich der aktivierten Neuronen (Mazoyer, 2004; Mintun et al., 2004).

Der Blutfluss dient als indirekter Indikator der lokalen Gehirnaktivität

Könnte man den Blutfluss messen, wäre es möglich, die Aktivität von Neuronen bei verschiedenen Aufgaben wie dem Hören oder Lesen von Wörtern und der Produktion von Sprache indirekt zu verfolgen. Um zu bestimmen, welche Regionen des Gehirns an einer bestimmten Aufgabe beteiligt sind, könnte die Durchblutung des Gehirns während einer Aufgabe mit der Durchblutung ohne diese Aufgabe verglichen werden. Dies ist mithilfe der Positronenemissionstomografie (PET) möglich. Dieses Verfahren wurde in den 1970er Jahren von Gordon Brownell in Upton entwickelt und 1983 von Marcus Raichle in Saint-Louis zeitlich optimiert (Mazoyer, 2004). Mittels der PET kann unter anderem die Aktivität des Gehirns während der Sprachverarbeitung verfolgt werden.

Bei der PET wird ProbandInnen eine radioaktiv markierte Substanz als Indikator injiziert. Hierzu eignen sich zum Beispiel Wassermoleküle, die das Isotop Sauerstoff-15 enthalten. Bei Isotopen handelt es sich um verschiedene Atomsorten ein und desselben Elements, also um so genannte Nuklide mit gleicher Protonen- und Kernladungszahl aber verschiedener Neutronenzahl. Da Isotope in der Anzahl von Protonen und Elektronen übereinstimmen, verhalten sie sich chemisch gleich und beeinflussen den Stoffwechsel nicht. Viele Isotope sind stabil, manche aber auch instabil und daher radioaktiv. Für die PET verwendet man unter anderem das instabile Isotop Sauerstoff-15, das mithilfe eines Zyklotrons gebildet wird. Sauerstoff-15 zerfällt mit einer Halbwertszeit von 2,03 Minuten in das Folgeisotop Stickstoff-15 sowie in ein Positron und ein Neutrino.

Im Zuge des Positronenzerfalls trifft ein Positron auf eines seiner allgegenwärtigen Antiteilchen, den Elektronen, rekombiniert und zerstrahlt in zwei Gammaquanten, die exakt in diametral gegensätzliche Richtungen auseinander fliegen. Diese Gammaquanten können mithilfe eines ringförmigen Detektors nachgewiesen werden, der aus zahlreichen ein-

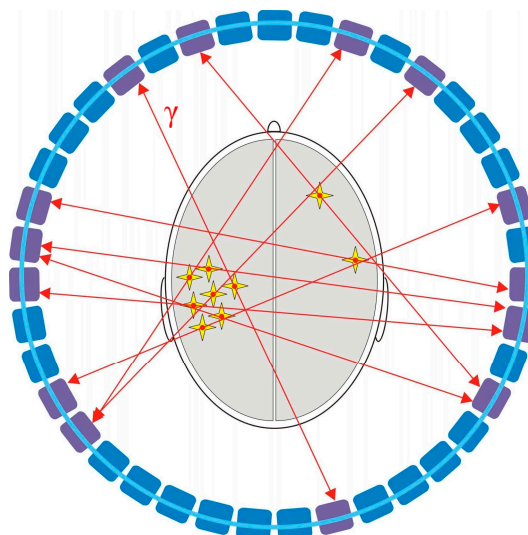
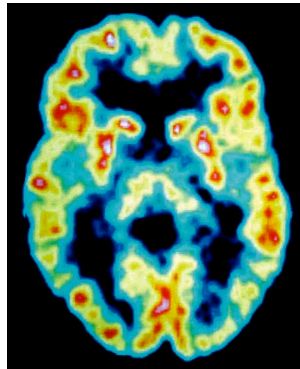


Abb. 4.2: Detektorring bestehend aus Gammastrahlen-Detektoren (in Anlehnung an Saper et al., 2000, S. 377).

zelenen Gammastrahlen-Detektoren besteht (s. S. 17, Abb. 4.2). Da die zwei Gammastrahlen, die von einer Rekombination ausgehen, synchron entstanden sind, bedeutet ihre synchrone Registrierung eine wichtige Information über den Ort der Rekombination.

Eine genaue Lokalisation der Rekombination erfordert eine computergestützte mathematische Aufbereitung der Messdaten. Dabei werden letztlich Folgen von Schnittbildern berechnet, deren einzelne Pixel farbcodiert die Konzentration an Sauerstoff-15 repräsentieren, was wiederum von der Aktivität der jeweiligen Neuronen abhängt (Cherry und Phelps, 2002). Ein Beispiel liefert Abb. 4.3.



Electronic and print permission courtesy of Prof. Hans Herzog, FZ Jülich.

Abb. 4.3: Glukoseverbrauch einer Normalperson (radioaktiver Tracer hier: 15-Fluorodeoxyglukose).

Zur Leistungsfähigkeit der PET

Das räumliche Auflösungsvermögen der PET beträgt ca. 1 cm, das zeitliche Auflösungsvermögen liegt je nach verwendetem Isotop im Minutenbereich (Mazoyer, 2004) und ist daher nicht ausreichend, um neuronale Aktivität in Echtzeit zu verfolgen. Neben der Belastung der ProbandInnen mit der Injektion eines radioaktiven Isotops wird die Qualität der gewonnenen Bilder durch ein statistisches Rauschen geschmälert, weil die Koinzidenzdetektion der Gammaquanten mitunter misslingt. Aus diesen Gründen wird seit der 1990er Jahre vermehrt auf ein anderes bildgebendes Verfahren zurückgegriffen, die Magnetresonanztomografie.

4.3 Magnetresonanztomografie

Mithilfe der Magnetresonanztomografie (MRT) und der funktionalen MRT (fMRT)³ können zwei- und dreidimensionale Bilder der Struktur und Funktion des Gehirns und anderer Regionen des Körpers errechnet werden. Diese Methode wurde Anfang der 1970er Jahre von Paul Lauterbur in New York etabliert (Mazoyer, 2004). Mit ihrer Hilfe können heute alle Strukturen und kognitiven Funktionen des Gehirns im Rahmen der Leistungsfähigkeit der Methode untersucht werden (s. Abb. 4.8) (Saper et al., 2000).

Protonen verhalten sich wie winzige Stabmagnete

Wasserstoff ist das leichteste Element; sein Kern besteht aus nur einem Proton. Wie andere Elementarteilchen weisen auch Protonen eine Eigenrotation auf, den so genannten Kernspin. Aufgrund dieses Kernspins besitzt ein Proton ein magnetisches Moment und verhält sich wie ein winziger Stabmagnet mit magnetischem Nord- und Südpol. Im Normalzustand sind die Kernspins der Wasserstoffkerne im Gewebe willkürlich ausge-

³ Im englischsprachigen Raum spricht man von (*functional*) *magnetic resonance imaging* bzw. (f)MRI.

richtet, sodass die Summe der magnetischen Momente aller Wasserstoffkerne Null beträgt (s. Abb. 4.4).

Legt man ein starkes vertikales Magnetfeld B_0 an, richten sich die Kernspins nach dessen Feldlinien aus (s. Abb. 4.5). Dabei verharren sie nicht starr in dieser Position, sondern kreiseln leicht um die Achse des Magnetfelds B_0 und beschreiben dabei die Form eines Kegels. Man spricht von Larmor-Präzession. Von außen betrachtet lässt sich in der Summe ein magnetisches Moment in Längsrichtung messen. Es erscheint, als wäre das biologische Objekt magnetisiert.

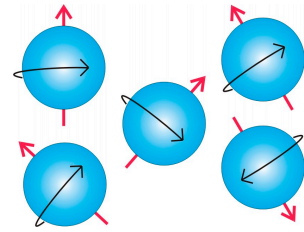


Abb. 4.4: Willkürliche Ausrichtung der Wasserstoffkerne im Gewebe.

Erzeugt man ein zweites magnetisches Feld B_1 , welches senkrecht zu B_0 steht, werden die Kernspins der Protonen aus ihrer Orientierung in Bezug zu B_0 abgelenkt und präzessieren nun in Richtung der horizontalen Achse von B_1 (s. Abb. 4.6). Die Ablenkung wird durch den Winkel θ zwischen den Achsen von B_0 und B_1 beschrieben und ist unter anderem von der Amplitude und Einschaltdauer t von B_1 abhängig. Wird B_1 wieder ausgeschaltet, richten sich die Präzessionsachsen der Protonen wieder nach den Feldlinien von B_0 aus. Man spricht von Relaxation. Je nachdem, ob sich Protonen zum Beispiel innerhalb von Fettgewebe, grauer oder weißer Substanz befinden, weisen sie unterschiedliche Relaxationszeiten T_1 und T_2 auf⁴, da sie durch andere Teilchen des Gewebes beeinflusst werden. Da jedes sich bewegende magnetische Moment eine elektromagnetische Welle aussendet, kann dieses in einer Spule um die Probandin/den Probanden einen Strom induzieren. Auf diese Weise können auf verschiedene Weisen Schnittbilder berechnet werden (s. Abb. 4.7), die die Dichte des Gewebes widerspiegeln: Entweder werden die Relaxationszeiten der zu messenden Volumenelemente (Voxel) des Gewebes Punkt für Punkt bestimmt oder es wird anhand eines gradierten Magnetfelds B_0 jedem Voxel eine andere Wellenlänge zugerechnet (Saper et al., 2000; Mazoyer, 2004).

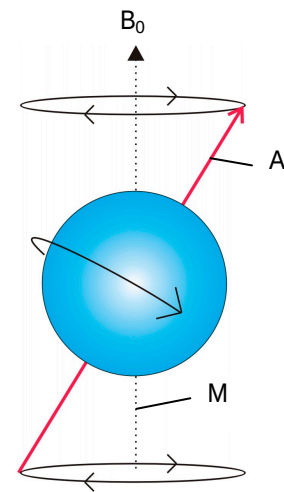


Abb. 4.5: Präzession der Kernspins um die Achse des Magnetfelds B_0 (nach Philips, 2003, S. 20). A = Ausrichtung des magnetischen Moments, M = Ausrichtung des angelegten Magnetfelds B_0 .

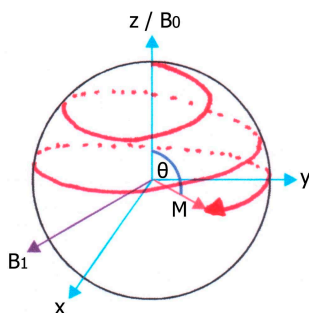


Abb. 4.6: Die Kernspins präzessieren in Richtung des Magnetfelds B_1 (nach Philips, 2003, S. 22).



Abb. 4.7: Gehirn von medial auf Median-schnitt betrachtet (Selbstversuch, UK Aachen, Huber, 2003).

⁴ T_1 beschreibt, den Zeitraum, in dem sich die Kernspins wieder nach B_0 ausrichten. T_2 beschreibt, wie lange es dauert, bis dass die Kernspins ihre Synchronisation nach dem Abschalten von B_1 verlieren.

Kognitive Funktionen wie die Sprachverarbeitung werden anhand der funktionalen Magnetresonanztomografie analysiert

Im Jahr 1991 berichteten Belliveau et al. über einen funktionellen Einsatz der MRT unter Verwendung eines Kontrastmittels, auf das heute verzichtet werden kann. Zudem werden die magnetischen Eigenschaften des oxygenierten und desoxygenierten roten Blutfarbstoffs Hämoglobin genutzt.

Wie auch die PET bedient sich die fMRT dabei der Tatsache, dass aktive Neuronengruppen mehr Sauerstoff benötigen als nicht aktive. Daher weiten sich die entsprechenden Arterien, wodurch sich der Volumenanteil des Hämoglobins an der entsprechenden Stelle erhöht (Belliveau et al., 1991b; Saper et al., 2000). Zudem entsteht immer ein bis zu 10-facher Überschuss an der oxygenierten Form des Hämoglobins. Dieser Überschuss wirkt sich verlängernd auf die Relaxationszeit T_2 der Protonen aus und erzeugt letztlich ein stärkeres Signal. Ohne diesen Überschuss beeinflusst die desoxygenierte Form des Hämoglobins die Relaxationszeit T_2 , indem sie diese verkürzt, was zu einem schwächeren Signal führt.

Zur Leistungsfähigkeit der (f)MRT

Abhängig von den gemessenen Relaxationszeiten T_1 und T_2 , sind entweder Bilder innerhalb von mehreren Minuten mit einer räumlichen Auflösung unterhalb eines Millimeters möglich. Im Sekundenbereich lassen sich Bilder bei einer geringeren Auflösung von wenigen Millimetern gewinnen (Mazoyer, 2004). Die räumliche und zeitliche Auflösung sind somit antiproportional zueinander.

II Analyse der Rezeption neurowissenschaftlicher Erkenntnisse durch die Fachdidaktik Englisch

5 Gehirn und Sprache

Der Mensch ist nur Mensch durch Sprache;
um aber die Sprache zu erfinden,
müsste er schon Mensch sein.

Wilhelm von Humboldt, 1820

It [language] differs, however, widely from all ordinary arts, for man has an instinctive tendency to speak, as we see in the babble of our young children; whilst no child has an instinctive tendency to brew, bake, or write.

Charles Darwin, 1871

Because it seems to be unique, language appears all the more miraculous. Other species bark and scream, grunt and wail, but none speak. Perhaps inevitably, this has encouraged us to view the human species as special, reinforcing our habits of self-worship.

Robin Dunbar, 1996

Viele höher entwickelte Tiere kommunizieren auf ausgefeilte Art und Weise. Man denke an die Tanzformen der Honigbiene, den Gesang der Vögel oder die nahezu menschlich erscheinende Verständigung zwischen Schimpansen. Menschliche Sprache jedoch hat sich im Laufe der Evolution als das komplexeste Kommunikationssystem ausdifferenziert.

Sprache entwickelt sich beim Menschen spontan: Es ist keine Gesellschaft bekannt, in der Kinder sie nicht hervorbrächten. Auch können Kinder eine Gebärdensprache entwickeln, die den Prinzipien gesprochener Sprache entspricht. Es wird dabei lediglich auf andere Modalitäten zurückgegriffen (Bellugi et al., 1989). Sprache kann daher als eine spezifische Adaptation unserer Spezies an die Umwelt aufgefasst werden.

Ohne Sprache wäre es uns nicht möglich, anderen Gedanken mitzuteilen und über Vergangenes, Gegenwärtiges oder Zukünftiges zu sprechen. Auch fällt es uns leicht, über nicht Materielles und sogar Surreales zu diskutieren. Unsere Kulturevolution wurde durch Sprache maßgeblich beeinflusst: Ohne Sprache stürben die Gedanken mit dem Menschen, der sie hervorbrächte. Heute koexistieren schätzungsweise 5 000 bis 6 500 Sprachen, die alle nach dem gleichen Prinzip funktionieren: Wörter stellen willkürliche Assoziationen zwischen ihrer Lautung und Bedeutung dar. Die Grammatik ist ein System, nach dem Wörter zu neuen Wörtern kombiniert werden oder aus ihnen Phrasen und Sätze gebildet werden. Die Bedeutung einer Abfolge von Wörtern ergibt sich aus der Bedeutung der einzelnen Wörter und der Art und Weise ihrer Kombination. In all diesen Aspekten unterscheidet sich menschliche Sprache maßgeblich von der anderer Tiere.

Es ist ein weit verbreiteter Irrtum, Sprache dem Denken gleichzusetzen. Denken bedeutet nichts anderes als Gedanken zu haben und mit diesen eventuell neue hervorzu- bringen. Sprache hingegen ist ein Mittel, diese Gedanken zu kommunizieren. Denken kann auch ohne Sprache funktionieren. Dies zeigt sich beispielsweise bei nicht mensch-

lichen Primaten, Kleinkindern und Individuen, die an einer Aphasie leiden (Dronkers et al., 2000).

Ich weise auch auf den Unterschied zwischen gesprochener und schriftlicher Sprache hin. Bei der Schriftsprache handelt es sich um eine relativ junge Innovation des Menschen: Vor circa 8 000 Jahren benutzte der Mensch in Mesopotamien tönernen Formen, um Mengenangaben festzuhalten; erst vor ca. 3 400 Jahren bedienten sich die Sumerer einer einfachen piktografischen, nicht-phonetischen Schrift (Comrie et al., 1996). Die heutigen Schriftsprachen sind im Allgemeinen weitaus komplexer und müssen im Gegensatz zu gesprochener Sprache in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium des Menschen erlernt werden. Dabei ist im Vergleich zur gesprochenen Sprache eine hohe Spannweite individueller Leistungen auszumachen. Im Folgenden wird unter Sprache vornehmlich gesprochene Sprache verstanden, die sich spätestens vor ca. 50 000 Jahren entwickelte (Holden, 2004).

Die Produktion und das Verstehen von Sprache stellt das Gehirn vor eine informationstechnische Herausforderung. Im 19. Jahrhundert begann die systematische Erforschung der neuronalen Basis von Sprache. Maßgeblich beteiligt waren der Franzose Pierre Paul Broca (1824-1880) und der Deutsche Carl Wernicke (1848-1905), die sich mit der Sprachpathologie beschäftigten. Aufgrund der Forschung der NL verfügt man heute über ein besseres Bild der Sprachverarbeitung, das durch weitere Forschung zu vervollständigen ist. Seit wenigen Jahren trägt hierzu auch die NG bei, wobei die genetische Basis menschlicher Sprache noch weitgehend unerforscht ist.

Fragestellungen

Angesichts der Fortschritte der NW stellt sich die Frage, ob und wie die FE Erkenntnisse der NW zur Sprachverarbeitung sowohl in didaktische Theorien als auch in Handlungsempfehlungen für die unterrichtliche Praxis integriert. Die Analyse basiert auf folgenden Fragestellungen:

1. Welche Erkenntnisse der NW zum neuronalen Substrat von Sprache werden durch die FE rezipiert?
2. Erfolgt die Rezeption fachlich korrekt und entspricht sie dabei dem jeweiligen Erkenntnisstand der NW?
3. Inwiefern dient diese Rezeption der Legitimation oder Ablehnung sowohl von Theorien zum Spracherwerb als auch von Handlungsempfehlungen für den FU?
4. Was können diese Erkenntnisse überhaupt für die FD und den FU leisten und was nicht?
5. Übersieht die FE für sie relevante Erkenntnisse?

Methode

Diese Fragestellungen bedingen die der Analyse zugrunde liegende Methode. Vorbereitend habe ich ausgewählte Publikationen der FE im beschriebenen Zeitraum gesichtet.

Dazu zählen auch solche, die der Spracherwerbsforschung entstammen und seitens der ausgewerteten *abstracting journals* als wertvoll für die FE beurteilt werden. Für diesen Teil der Arbeit habe ich dann die Rezeption der NW zum neuronalen Substrat von Sprache erfasst und gruppiert. Für die Analyse ergeben sich daher folgende Schwerpunkte:

- Lokalisation Sprache vermittelnden Regionen des Gehirns und Schlussfolgerungen für die Theorie und Praxis
- Genetisch und umweltbedingte Einflüsse auf den Spracherwerb und Schlussfolgerungen für die Theorie und Praxis

Um einen Abgleich mit den NW zu erzielen, habe ich ausgewählte Publikationen gesichtet, die sich mit der Repräsentation und Verarbeitung von Sprache im Gehirn beschäftigen. Auswahlkriterien waren hierbei vor allem Standardwerke, Aktualität, der Bekanntheitsgrad der AutorInnen sowie bei Zeitschriften unter anderem ihr *impact factor*.

5.1 Lokalisation von Sprache vermittelnden Regionen des Gehirns

Zum Aufbau des Gehirns – eine Skizzierung

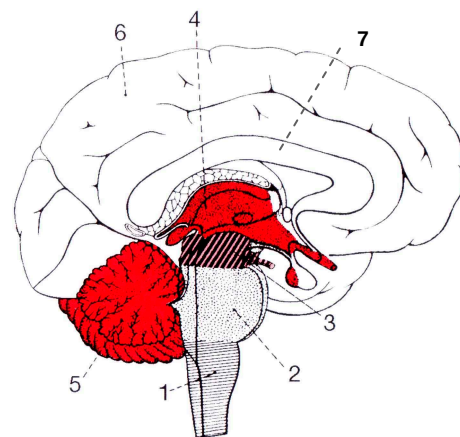
Die Kommunikation des Menschen mit seiner Umwelt wird durch das Nervensystem vermittelt, welches das komplizierteste funktionelle System des Körpers darstellt. Beschäftigt man sich mit der neurobiologischen Basis von Sprache, ist eine Übersicht über den Aufbau des Nervensystems und des Gehirns als Teil desselben unerlässlich. In diesem Abschnitt werden ausgewählte Grundlagen dargestellt. Detaillierte didaktisierte Ausführungen finden sich bei Trepel (1999), Kandel et al. (2000a) und Squire et al. (2003).

Das Nervensystem des Menschen gliedert sich in ein Zentralnervensystem (ZNS) und ein peripheres Nervensystem (PNS). Das Gehirn und das Rückenmark bilden das ZNS, welches durch die Knochen des Schädels und der Wirbelsäule geschützt ist. Das PNS besteht aus den Nerven, die den Körper durchziehen. Dabei leiten afferente Nerven, die Neuronen, Impulse von Rezeptoren in der Peripherie in Richtung des ZNS. Efferente Neuronen leiten Impulse in die entgegengesetzte Richtung, nämlich vom ZNS zu Effektoren wie zum Beispiel Muskeln oder Drüsen.

Aufgrund funktioneller, evolutiver und morphologischer Aspekte kann das Gehirn in sechs Abschnitte gegliedert werden (s. Abb. 5.1). In der Lateralansicht des Gehirns fällt vor allem das Großhirn (Telencephalon) auf. Kaudal ist das Kleinhirn (Cerebellum) angelagert. Die zwei Hemisphären des Großhirns lassen sich in einzelne Lobi untergliedern, deren Bezeichnungen sich von ihrer jeweiligen topografischen Lage ableiten (s. Abb. 5.2). Wenn im Weiteren von Hemisphären gesprochen wird, sind die des Großhirns gemeint.

Betrachtet man die Oberfläche des Großhirns, fallen Kämme von Windungen und Furchen auf, die so genannten Gyri und Sulci. Der biologische Sinn der Gyri und Sulci liegt in der Oberflächenvergrößerung bei zugleich kompakter Bauweise: Ausgebreitet ergäbe sich eine Fläche des Großhirns von ungefähr vier DIN A4-Seiten (Calvin, 2002). Die Gyri und Sulci sind auch bei der Orientierung hilfreich: Zum Beispiel trennt der Sulcus centralis den Frontallappen vom Parietallappen, der Sulcus lateralis trennt den Temporallappen vom Parietallappen und Frontallappen.

Das Großhirn besitzt eine Rinde, den Cortex. Dieser wird auch als graue Substanz bezeichnet. Die Färbung kann auf die Zellkörper der Neuronen zurückgeführt werden, die innerhalb des Cortex sechs Schichten bilden. Unter dem Cortex befindet sich die



Benninghoff / Drenckhahn / Zenker: Anatomie, 13.-15. Auflage 1985, 1994
© Urban & Schwarzenberg Verlag München

Abb. 5.1: Gliederung des Gehirns in sechs Abschnitte. 1 = Verlängertes Rückenmark, 2 = Brücke, 3 = Mittelhirn, 4 = Zwischenhirn, 5 = Kleinhirn, 6 = Großhirn (linke Hemisphäre); 7 = Balken (nach Trepel, 1999, S. 97).

weiße Substanz, die aus Fortsätzen der Neuronen und Gliazellen besteht. Nach Brodmann wird der Cortex des Großhirns in Areale eingeteilt (s. Abb. 5.3).

Betrachtet man das Gehirn von medial her auf den Medianschnitt (s. Abb. 5.1), ist unter anderem der Balken (Corpus callosum) erkennbar, der sich unterhalb der Hemisphäre des Großhirns auf der topografischen Achse von rostral nach kaudal erstreckt. Der Balken verbindet als unpaarige Struktur beide Hemisphären des Großhirns.

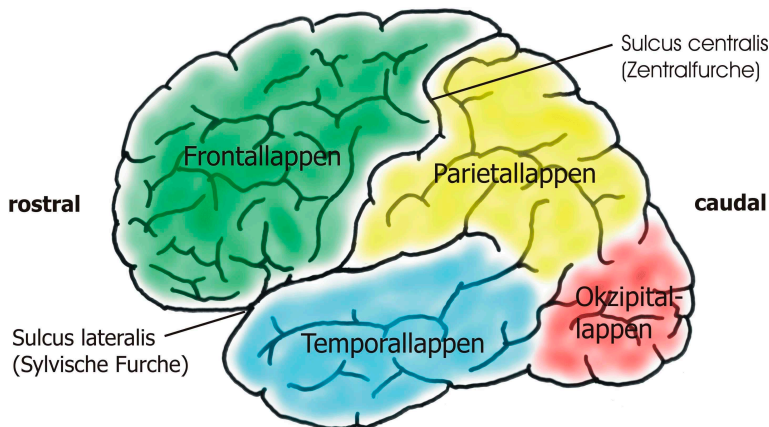


Abb. 5.2: Lateralansicht der linken Hemisphäre. Die vier Lobi sind farblich hervorgehoben. Links entlang des Sulcus centralis ist der primäre motorische Cortex lokalisiert. Rechts entlang des Sulcus centralis befindet sich der primäre somatosensorische Cortex (s. auch Jessell, 1996, S. 85).

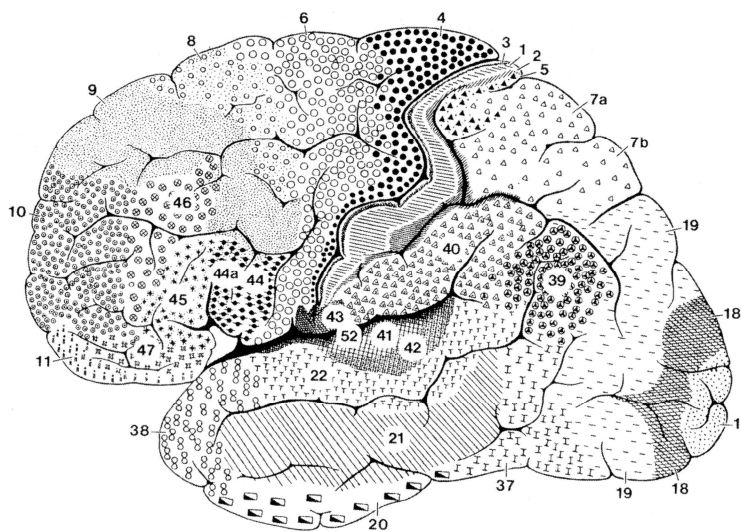


Abb. 5.3: Gliederung des Cortex in 52 Felder bzw. Areale nach histologischen Kriterien. Jedes Feld ist anhand eines Symbols eindeutig kenntlich gemacht. Das motorische Sprachzentrum (Broca-Areal) ist z.B. in A44 und A45 lokalisiert, das sensorische Sprachzentrum (Wernicke-Areal) in A22 (Trepel, 1999, S. 186).

Benninghoff / Drenckhahn: Anatomie, 16. Auflage 2004
© Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag München

Sprachliche Funktionen sind lateralisiert

Nous parlons avec l'hémisphère gauche!

Pierre P. Broca, 1824-1880

Da keine andere Spezies Sprache hervorbringt, wie der Mensch sie besitzt, muss Sprache am Menschen selbst untersucht werden. Die Bildung einer Homologie anhand eines Tiermodells ist ausgeschlossen. Daher müssen Erkenntnisse über Sprache anhand ande-

rer Methoden gewonnen werden. So bietet der Wada-Test eine Möglichkeit, die Lateralisierung sprachlicher Funktionen zu bestimmen. Dabei erhält ein Individuum eine Injektion der Substanz Natriumamytal in die rechte oder linke Arteria carotis interna, wodurch die jeweilige Hemisphäre kurzzeitig ausgeschaltet wird. Tritt während dieser Zeit der Verlust des expressiven Sprachvermögens ein, handelt es sich um die sprachdominante Hemisphäre (Poeck und Hacke, 1998; Saper et al., 2000).

Die sprachlichen Fähigkeiten eines Menschen können infolge eines Schlaganfalls oder einer Kopfverletzung vermindert sein, weil dadurch Gewebe des Gehirns irreversibel geschädigt wird. Das Krankheitsbild wird Aphasie genannt, wobei verschiedene Formen unterschieden werden, wie noch erläutert wird. Die Aphasieforschung hat erheblich dazu beigetragen, Gehirnareale zu identifizieren, die Sprache vermitteln.

Anhand vieler Untersuchungen ist bekannt, dass bei 96% der Rechtshänder Sprache durch neuronale Strukturen der linken Hemisphäre verarbeitet wird. Dies gilt insbesondere für die Grammatik, das Lexikon, die Phonem-Zusammensetzung und die phonetische Produktion – allerdings nicht für alle Aspekte von Sprache. In diesem Kontext wird auch von der Dominanz der linken Hemisphäre gesprochen. Dies betrifft auch 60-65% derer, die Linkshänder sind oder keine Präferenz der Händigkeit aufweisen; die 15-20% weiteren weisen eine Dominanz der rechten Hemisphäre auf, wobei die wenigen übrigen scheinbar beide Hemisphären nutzen. Es existieren Hypothesen, wonach die bilaterale Repräsentation von Sprache Stottern und Legasthenie verursacht. Bislang konnten solche Hypothesen nicht zweifelsfrei verifiziert werden (Caplan und Gould, 2003).

Die Beziehung zwischen der Hemisphärendominanz und der Händigkeit ist sehr wahrscheinlich auf eine genetische Determiniertheit zurückzuführen (Szaflarski et al., 2002). Geschwind und Levitzky berichteten 1968, dass das Planum temporale der linken Hemisphäre größer ist als das der rechten. Anatomische Asymmetrien wie diese wurden mehrere festgestellt, wobei die Beziehung zwischen der Größe der Struktur und der Funktion noch unbekannt ist: Erstaunlicherweise wurde auch von Fällen berichtet, bei denen das Planum temporale der sprachdominanten Hemisphäre nicht vergrößert ist. Insgesamt sehen Caplan und Gould (2003) dennoch in der relativen Größe dieser Struktur einen tauglichen Indikator für die Bestimmung der sprachdominanten Hemisphäre.

Auch die rechte Hemisphäre ist in den Prozess der Sprachverarbeitung involviert

Leidet ein Mensch an einer multifokalen Epilepsie, kann ihm mit einer partiellen Durchtrennung des Corpus callosum geholfen werden: Durch die so genannte Kallotomie soll sich ein neuronales Gewitter nicht über beide Hemisphären ausbreiten. Anhand so behandelter Individuen wurde unter anderem untersucht, inwiefern beide Hemisphären funktional spezialisiert sind. Dies geschah vor allem durch die Arbeiten des Nobelpreisträgers Sperry, sowie Myers und Gazzinagas. Sie stellten fest, dass die rechte Hemisphäre lediglich bescheidene Fähigkeiten aufweist, Wörter zu verstehen oder zu lesen. Syntaktische Fähigkeiten sind noch schwächer ausgebildet. In vielen Fällen sind die genannten Fähigkeiten gar nicht vorhanden. Dennoch ist die rechte Hemisphäre in den

Sprachverarbeitungsprozess involviert: Läsionsstudien zeigen, dass die Prosodie und Pragmatik vermittelt (Dronkers et al., 2000; Saper et al., 2000). Caplan und Gould (2003) schreiben der rechten Hemisphäre weitere sprachliche Funktionen zu. Dazu gehören die Interpretation nicht wörtlicher Bedeutungen wie Metaphern und die Bewertung des Tonfalls. Läsionen der rechten Hemisphäre können zum Beispiel dazu führen, dass Scherze nicht mehr verstanden werden (Gardner, 1981). Insbesondere der Verlust der Pragmatik führt letztlich dazu, dass Individuen kein zusammenhängendes Gespräch mehr führen können und sich einer Ausdrucksweise bedienen, die der jeweiligen Situation unangemessen ist – mit erheblichen Folgen für ihre soziale Integration.

Nach Dronkers et al. (2000) ist die rechte Hemisphäre prinzipiell in der Lage, die gleichen sprachlichen Leistungen zu erbringen wie die linke: Ist es medizinisch notwendig, einem Kind die linke Hemisphäre zu entfernen, kann es später dennoch flüssig sprechen (Devlin et al., 2003), obwohl Verständnisschwierigkeiten bei komplexen Satzkonstruktionen auftreten (van Lancker-Sidtis, 2004). Mit steigendem Alter nimmt diese kompensatorische Plastizität ab und ist bei Erwachsenen nicht mehr vorhanden. Die rechte Hemisphäre scheint für sprachliche Leistungen weniger gut geeignet zu sein als die linke. Kinder, die nur noch die linke Hemisphäre besitzen, weisen kaum Einschränkungen auf (Dronkers et al., 2000). Curtiss et al. (2001) hingegen fanden keinen Unterschied in der sprachlichen Leistung, wenn entweder die linke oder die rechte Hemisphäre entfernt werden musste. Es erscheint mir daher gewagt, aus Einzelfallstudien allgemeingültige Prinzipien abzuleiten.

Es wurde auch vorgeschlagen, dass die rechte Hemisphäre Information eher holistisch und damit weniger detailorientiert verarbeitet (Dronkers et al., 2000). Dies mag für Sprachen und andere Funktionen wie die visuelle Wahrnehmung gelten. Weitere Forschung ist allerdings notwendig, um diese Hypothesen zu überprüfen.

Aphasien geben Hinweise auf die Sprachverarbeitung

Die Schädigung bestimmter neuronaler Strukturen ruft jeweils spezifische Störungen der Sprachverarbeitung hervor. Es werden vier Standardsyndrome unterschieden: die Wernicke-Aphasie, die Broca-Aphasie, die globale Aphasie und die amnestische Aphasie (Huber et al., 1991; Poeck und Hacke, 1998). Für jedes dieser Syndrome ist eine bestimmte Kombination von Symptomen charakteristisch, wobei dominierende Symptome als Leitsymptome bezeichnet werden. Zudem ist jedes Syndrom durch einen unterschiedlichen Schweregrad der Störungen gekennzeichnet. Zur Aphasiediagnostik hat sich der Aachener Aphasie Test etabliert (s. Huber et al., 1983). Im Folgenden gehe ich exemplarisch auf zwei Syndrome detaillierter ein, die Broca-Aphasie und die Wernicke-Aphasie.

Die persistierende Broca-Aphasie ist ein Syndrom, das auf der individuellen Schädigung des Broca-Areals (Brodmann-Areale 44 und 45) und weiterer benachbarter Gebiete wie des motorischen Assoziationscortex basiert. Individuen mit Broca-Aphasie sprechen nur langsam und mühevoll. Ihre Artikulation ist dysarthrisch, ihre Prosodie oft nivelliert und mitunter skandierend. Als Leitsymptom der Broca-Aphasie ist der Agrammatismus definiert (Huber et al., 1991; Kandel, 1996a; Thiel, 2004): Die Satz-

strukturen sind einfach und erinnern an den Stil eines Telegramms. Ebenfalls ist das Lexikon sehr eingeschränkt, was bei der Wortwahl auffällt. Ein Individuum mit Broca-Aphasie könnte beispielsweise folgenden Satz äußern: „Sehen ...grau...Katze.“ Hingegen könnte ein Satz wie „Ich sah einige große graue Katzen.“ nicht mehr geäußert werden (Kandel, 1996a, S. 657). Schwerer Agrammatismus äußert sich dadurch, dass fast nur Hauptwörter geäußert werden (Huber et al., 1991, S. 39):

Frage: „Wie hat das denn damals angefangen mit Ihrer Krankheit?“
 Antwort: „jaja...Hirnschlag...eh...und ohnmächtig...Krankenhaus...ja...Krankenhaus Ander-nach...Rollstuhl“

In Bezug auf die Lautstruktur fällt auf, dass Betroffene häufig Silben und Buchstaben verwechseln wie zum Beispiel „Meksel statt Messer [oder] Zezember statt Dezember“ (Poeck und Hacke, 1998, S. 159). Dieser Befund wird als phonemische Paraphasie bezeichnet. Trotz dieser Einschränkungen ist Kommunikation möglich. Komplexe Sätze können allerdings nicht nachgesprochen werden. Auch verstehen Betroffene Sätze nur in Teilen, wenn diese relativ komplizierte grammatische Konstruktionen enthalten. Daraus kann allerdings nicht geschlossen werden, dass das Broca-Areal das grammatische Zentrum des Gehirns ist. Denn bei Individuen mit Broca-Aphasie sind grammatische Leistungen nachweisbar, wenn diese auch eingeschränkt sind (Dronkers et al., 2000; Thiel, 2004).

Bei der Wernicke-Aphasie ist das hintere Gebiet des linken auditorischen Assoziationscortex geschädigt (Brodman-Areal 22). Schwere Schädigungen schließen auch Gebiete des Gyrus temporalis und der weißen Substanz ein (Kandel, 1996a). Die Leitsymptome der Wernicke-Aphasie sind Sprachverständnisstörungen, Paraphasien und Paragrammatismus (Huber et al., 1991). Sprache wird aber unbeschwert mit gut erhaltener Prosodie und Geschwindigkeit artikuliert. Mitunter kann die Sprachproduktion auch überhand nehmen; man spricht von Logorrhö. Als Beispiel diene folgender Satz: „Ich kam dorthier vor hier und ging dorthin zurück.“ (Kandel, 1996a, S. 656) Der Satzbau Betroffener weist meist Verdoppelungen und Vermischungen von Satzteilen auf; man spricht von Paragrammatismus. Trotz der gut erhaltenen Sprachproduktion ist der Sinn des Gesagten oft nur schwer auszumachen, da zum einen viele phonemische Paraphasien und Neologismen auftreten. Zum anderen fallen viele semantische Paraphasien auf: Betroffene finden oft nicht die Wörter, die der beabsichtigten Bedeutung entsprechen. So kommt es zum Beispiel vor, dass das Wort ‚Frau‘ statt ‚Mutter‘ gewählt wird (Huber et al., 1991; Poeck und Hacke, 1998). Es folgt ein weiteres Beispiel einer Wernicke-Aphasie, die hauptsächlich durch phonemische Paraphasien charakterisiert ist (Huber et al., 1991, S. 44):

Frage: „Wie hat das damals angefangen mit Ihrer Krankheit? Was ist damals passiert?“
 Antwort: „Ja...das weiß ich eben nicht so war mein Mann...weiß von mir an nicht so sehr...selber...ich war zum Trocken...zum Frocken...zum Frocken nicht...und hatte in der Fähren...sit dann bei dem...bei der...beim Mähren zum zu hier [...]“

Spezielle Gehirnstrukturen vermitteln Sprache

Bei frühen Aphasiestudien wurde festgestellt, dass die Läsion unterschiedlicher kortikaler Areale unterschiedliche linguistische Ausprägungen der Aphasie zur Folge hat. Dies führte zur Entwicklung eines Modells der Sprachverarbeitung, das als Wernicke-Geschwind-Modell bezeichnet wird (s. Abb. 5.4 a). Bei diesem Modell wurde vorausgesetzt, dass das Broca- und Wernicke-Areal die Artikulation von Sprache und die Verarbeitung akustischer Stimuli vermitteln. Der Fasciculus arcuatus wurde dabei als unidirektionale Verbindung zwischen dem Wernicke- und Broca-Areal angesehen. Das Verstehen eines gesprochenen Wortes stellte man sich wie folgt vor: Nach der auditorischen Verarbeitung von Schallwellen gelangt Information in das Wernicke-Areal. Die Wortbedeutung entsteht, indem Areale des polymodalen Assoziationscortex aktiviert werden, die dem Wernicke-Areal benachbart sind. Über den Fasciculus arcuatus gelangt dann Information in das Broca-Areal, das letztlich die Produktion von Sprache über motorische Areale vermittelt.

Das Wernicke-Geschwind-Modell half bei der Klassifizierung verschiedener Aphasien, musste jedoch in einigen Teilen optimiert werden. Dies war die Folge weiterer Forschung seitens der NW und Psycholinguistik, die durch zahlreiche Methoden der Erkenntnisgewinnung unterstützt wurden. Hierzu zählen die PET und die fMRT, die Messung von ERPs und die Ableitung elektrischer Potenziale am freigelegten Cortex. Heute ist bekannt, dass die Funktionen des Wernicke- und Broca-Areals nicht so eindeutig definierbar sind, wie es sich im Wernicke-

Geschwind-Modell darstellt. Zudem wird der Fasciculus arcuatus heute als bidirektionales Verbindungssystem betrachtet, das sensorische cortikale Areale mit präfrontalen und prämotorischen Arealen verbindet (Dronkers et al., 2000, 2004; Poeppel und Hickok, 2004; s. Abb. 5.4b).

In den vergangenen 15 Jahren hat die Erforschung von Aphasien zu der Erkenntnis geführt, dass viele andere cortikale und subcortikale Regionen der linken Hemisphäre an der Sprachverarbeitung beteiligt sind. Läsionen des linken temporalen Cortex

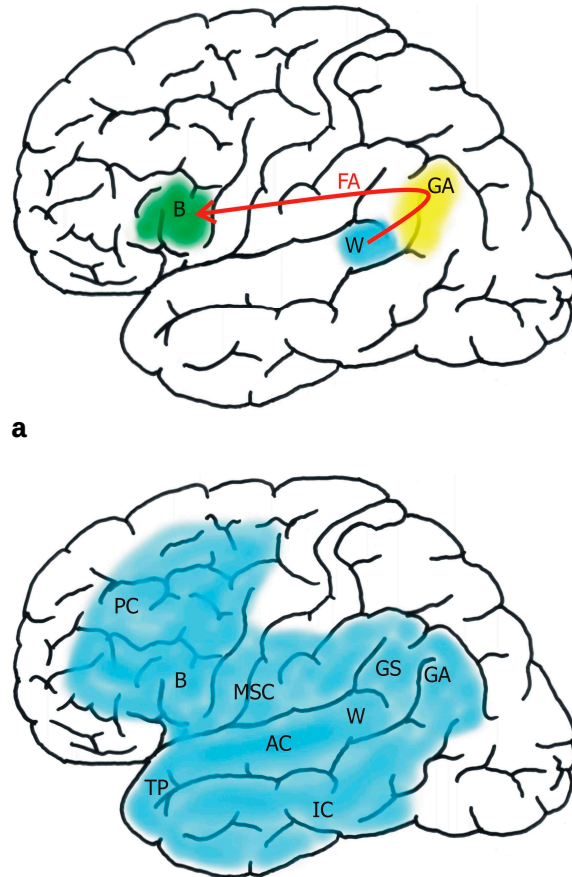


Abb. 5.4: (a) Wernicke-Geschwind-Modell der Sprachverarbeitung in idealtypischer Vereinfachung. (b) Nach heutigem Kenntnisstand sind weitere Areale an der Sprachverarbeitung beteiligt. PC = präfrontaler Cortex, B = Broca-Areal, MSC = motorischer und somatosensorischer Cortex, FA = Fasciculus arcuatus, GS = Gyrus supramarginalis, GA = Gyrus angularis, W = Wernicke-Areal, AC = auditorischer Cortex, TP = Temporalpol, IC = inferotemporaler Cortex (in Anlehnung an Dronkers et al., 2000, S. 1174; s. auch Trepel, 1999, S. 222).

(Brodmann-Areale 21, 20 und 38) verursachen einzig und allein schwere Benennungsdefizite. Ist das Brodmann-Areal 38 betroffen, können sich Individuen nicht mehr an Namen für besondere Orte und Personen erinnern; gewöhnliche Gegenstände werden aber weiterhin richtig benannt. Sind die Brodmann-Areale 20 und 21 geschädigt, werden sowohl Namen für besondere Orte und Personen als auch für gewöhnliche Gegenstände nicht mehr erinnert. Wird der linke posteriore inferotemporale Sektor geschädigt, werden nur Bezeichnungen für Werkzeuge und Dinge ähnlicher Verwendung nicht mehr erinnert. Insgesamt werden Wörter, die Tätigkeiten oder räumliche Beziehungen beschreiben, nicht beeinträchtigt. Dies führt zu dem Schluss, dass der linke temporale Cortex Wörter für Dinge verschiedener Kategorien vermittelt, jedoch nicht Wörter, die Tätigkeiten dieser Dinge oder Beziehungen dieser Dinge zu anderen bezeichnen. Auch ist ein kleiner Bereich der Insula an der Sprachverarbeitung beteiligt. Es zeichnet sich ab, dass dieser Bereich für die Planung und Koordination artikulatorischer Bewegungen notwendig ist. Eine Übersicht über Regionen, die sehr wahrscheinlich an der Vermittlung des Sprachverstehens beteiligt sind, liefern Dronkers et al. (2004).

Diese Befunde bedeuten, dass Sprachverarbeitung von der Interaktion zahlreicher Regionen des Gehirns abhängt. Dazu gehören zum Beispiel auch präfrontale und cinguläre Regionen, die Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsprozesse vermitteln. Daher wurde ein neues Modell der Sprachverarbeitung vorgeschlagen, das sich aus drei interagierenden Systemen zusammensetzt (Dronkers et al., 2000):

1. Ein *Sprachimplementierungssystem* analysiert einlaufende auditorische Signale, aktiviert konzeptuelles Wissen, die phonemische und grammatische Konstruktion sowie die artikulatorische Kontrolle. Es wird durch das Broca- und Wernicke-Areal, einige Areale des Inselcortex und die Basalganglien vermittelt.
2. Ein *konzeptuelles System*, das konzeptuelles Wissen vermittelt. Dies ist durch Regionen der höherstufigen Assoziationscortices repräsentiert.
3. Ein *vermittelndes System*, welches zwischen den beiden genannten Systemen vermittelt. Es wird durch zahlreiche getrennte Regionen der temporalen, parietalen und frontalen Assoziationscortices vermittelt.

Inwiefern dieses Modell die Realität adäquater erfasst, ist noch zu erforschen. Immerhin berücksichtigt es, dass weitere Regionen außerhalb des perisylvianischen Cortex an der Sprachverarbeitung beteiligt sind. Der rechten Hemisphäre wird aber entgegen neuerer Erkenntnisse keine besondere Bedeutung beigemessen (s. Poeppel und Hickok, 2004).

Holistische und lokalisationistische Theorien der Sprachverarbeitung sind integrierbar

Zur Frage, wie die Sprachverarbeitung organisiert ist, haben sich zwei Theorien herausgebildet, und zwar eine holistische und eine lokalisationistische: Aus holistischer Perspektive ist die Repräsentation von Sprache weit verstreut; die Sprachverarbeitung ist daher auf weite Gebiete des Assoziationscortex angewiesen. Aus lokalisationistischer

Perspektive sind verschiedene Komponenten der Sprachverarbeitung in speziellen Gebieten des Cortex lokalisierbar.

Die holistische Perspektive erfährt dadurch Unterstützung, dass die Größe der Läsion einen Effekt auf das Ausmaß der Beeinträchtigung hat. Verhaltensstudien führten aber auch zu Beobachtungen, dass nach Läsionen die Leistung in einem bestimmten sprachlichen Aspekt nicht völlig ausgelöscht ist, sondern individuell davon abhängt, wie sehr sich Betroffene dieses sprachlichen Aspekts bedienen (Caplan und Gould, 2003). Welche Theorie ist die richtige? Kann es überhaupt die richtige geben?

Caplan und Gould schlagen eine integrierende Betrachtung beider Theorien vor: Sprachverarbeitung findet statt, indem verschiedene Areale verschiedene Sprachfunktionen im Sinne des Lokalisationismus verarbeiten; innerhalb jeder dieser Areale findet die Verarbeitung gemäß der holistischen Theorie statt. Treffend schließen die Autoren: „Holism may not be wrong; it just needs to be applied on the right scale. As has been said, the brain may be ‚globally local and locally global‘.“ (S. 1347) Dennoch muss diese plausibel klingende Theorie durch weitere Forschung gestützt werden.

Das Gehirn kann bei der Sprachverarbeitung beobachtet werden

Im Jahr 1997 publizierten Kim et al. die Ergebnisse einer Studie, die sich mit der Repräsentation der Erst- und Zweitsprache⁵ im Gehirn in Abhängigkeit vom Erwerbsalter beschäftigte. Die Forscher bildeten zwei Gruppen bilingualer ProbandInnen: Eine sechsköpfige Gruppe wurde als *early bilingual* definiert, weil ihre Mitglieder ihre Zweitsprache „during the early language acquisition stage“ (S. 171) erworben hatten. Die zweite ebenfalls sechsköpfige Gruppe wurde als *late bilingual* definiert, da ihre Mitglieder ihre Zweitsprache im Erwachsenenalter erworben hatten. Während der fMRT berichteten die ProbandInnen mittels subvokalisierter Sprache über eine Tätigkeit des Vortags. Im Rahmen mehrerer Ansätze wurde zwischen den Sprachen gewechselt.

Kim et al. analysierten die neuronale Aktivität im Bereich des Broca- und Wernicke-Zentrums und fanden Folgendes heraus: Hatte eine Probandin/ein Proband ihre/seine Erst- und Zweitsprache in früher Kindheit erworben, wurden bei der Sprachverarbeitung ein und dieselben Neuronenverbände im Bereich des Broca-Areals aktiviert (s. Abb. 5.5a). War der Erwerb der Zweitsprache erst im frühen Erwachsenenalter erfolgt, wurden bei der Sprachverarbeitung im Bereich des Broca-Areals für die Erst- und Zweitsprache jeweils separate Neuronenverbände aktiviert (s. Abb. 5.5b). Dieser Unterschied konnte nicht für das Wernicke-Areal festgestellt werden. Kim et al. interpretieren ihre Ergebnisse wie folgt:

1. Die funktionale Organisation zweier Sprachen im Bereich des Broca-Areals variiert mit dem Erwerbsalter.
2. Möglicherweise wird die neuronale Repräsentation von Sprache infolge des Spracherwerbs in früher Kindheit im späteren Leben nicht mehr modifiziert.

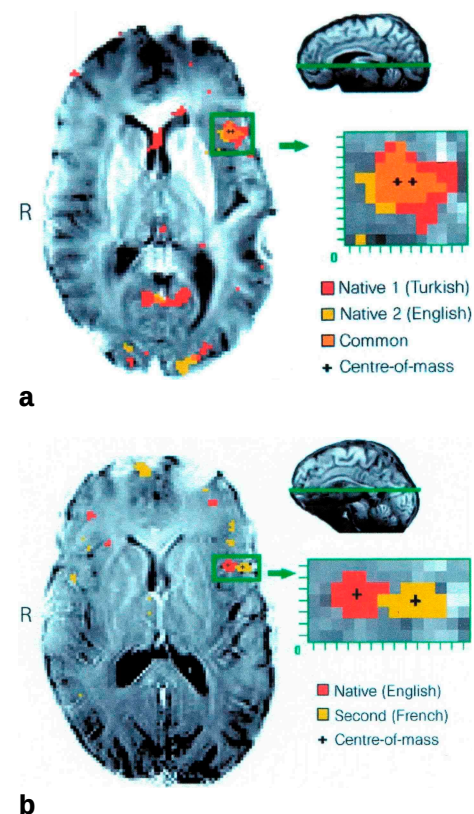
⁵ Diese Begriffe sind treffender als das Begriffspaar Mutter- und Fremdsprache, wenn man *early bilinguals* mit *late bilinguals* vergleicht. Im Rahmen didaktischer Überlegungen verwende ich weiterhin die in der FD etablierten Begriffe Mutter- und Fremdsprache, wenngleich sie mir oft undienlich erscheinen.

Daher werden beim Erwerb einer Zweitsprache im Erwachsenenalter benachbarte cortikale Areale des Broca-Areals rekrutiert.

Für die Interpretation der Ergebnisse erachte ich es als Nachteil, dass zum einen keine genauere Differenzierung hinsichtlich des Erwerbsalters beider Gruppen vorliegt. Für die *early bilinguals* findet sich lediglich die Angabe „early childhood“ (S. 172). Anhand eines Vergleich mit einer referierten Studie kann immerhin geschlossen werden, dass die *early bilinguals* jünger als 7,3 Jahre gewesen sein müssen. Zum anderen wäre es wünschenswert gewesen, dass eine nähere Bestimmung des Grads der Sprachbeherrschung beider Gruppen erfolgt wäre. In Bezug auf die *late bilinguals* findet sich lediglich die unscharfe Angabe „conversational fluency“ (S. 171). Allein anhand der Studie von Kim et al. kann daher weder bejaht noch verneint werden, dass die neuronale Repräsentation von Sprache mit dem Grad der Sprachbeherrschung korreliert ist. Eben diese mögliche Korrelation ist für die FD von großer Bedeutung: Im Kontext der Diskussion einer kritischen Periode des Spracherwerbs (z.B. Lenneberg, 1972) könnte die Forderung nach dem Frühbeginn der ersten Fremdsprache neurowissenschaftlich untermauert und mit einer fundierten Altersempfehlung verbunden werden (s. Kap. 6.1). Somit könnte die Forschung der FD unterstützt werden.

Es ist daher verlockend, aber gefährlich, innerhalb der FD die Ergebnisse von Kim et al. mit Befunden vieler Studien zu kombinieren, die aufzeigen, dass jüngere Lernende in der Regel auf lange Sicht eine Fremdsprache besser beherrschen als diejenigen, die eine Fremdsprache erst nach der Adoleszenz erwerben (s. Johnson und Newport, 1989; Singleton, 1989; Flege et al., 1995; Weber-Fox und Neville, 2001; Johnstone, 2002). Allerdings gestalten sich die Dinge komplizierter: Es finden sich mitunter auch Berichte über Menschen, die im Erwachsenenalter ihre erste Fremdsprache nahezu perfekt erworben haben (z.B. Ioup, 1994; Perani et al, 1998; Nikolov, 2000; Pallier et al., 2003).

Perani et al. (1998) untersuchten anhand der PET die neuronale Aktivität von neun *early bilinguals* und 12 *late bilinguals* während einer Aufgabe zum Hörverstehen. Die ProbandInnen zeichneten sich alle durch einen hohen Grad der Beherrschung ihrer Zweitsprache aus, was anhand von Übersetzungen von Wortlisten bestimmt worden war. Perani et al. definieren *early bilinguals* als solche, die beide Sprachen bereits seit



Print and electronic permission granted by Nature Publishing Group and Prof. Joy Hirsch.
<http://www.nature.com>

Abb. 5.5: (a) Aktivierungsmuster bei einem *early bilingual* (Kim et al., 1997, S. 174). (b) Aktivierungsmuster bei einem *late bilingual* (Kim et al., 1997, S. 171). Die Voxel außerhalb der Ausschnittsvergrößerungen sind irrelevante Artefakte.

ihrer Kindheit gleich gut sprechen. Zu den *late bilinguals* zählen sie diejenigen, die ihre Zweitsprache nach dem zehnten Lebensjahr erworben haben. Die Forscher fanden heraus, dass die *late bilinguals* mit sehr guten sprachlichen Leistungen ähnliche Aktivierungsmuster zeigten wie die *early bilinguals*. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu einer früher durchgeführten Studie (Perani et al., 1996) mit *early bilinguals* und *late bilinguals*, von denen alle ProbandInnen bei der Einstufung ihrer sprachlichen Leistungen vergleichsweise schlecht abgeschnitten hatten. In diesem Fall zeigten sich nämlich unterschiedliche Aktivierungsmuster zwischen *early bilinguals* und *late bilinguals*. Sind nun die von Perani et al. (1998) beschriebenen Aktivierungsmuster bei recht leistungsfähigen Bilingualen die Ursache oder die Folge der sehr guten Leistungen? Diese Frage kann anhand der Ergebnisse nicht geklärt werden:

“What our results show, is that for the happy few late bilinguals that reach high proficiency, the (macroscopic) brain activation is similar to that of native learners of the language. What we do not know, however, is whether the similarity in brain activation is the consequence or cause of learning L2 successfully. Further research is needed to clarify this point.” (Perani et al., 1998, S. 1849)

Ein Vergleich der Ergebnisse von Kim et al. und Perani et al. muss umsichtig erfolgen: Kim et al. arbeiteten mit bilingualen Versuchspersonen unterschiedlicher Kombinationen der Erst- und Zweitsprache; bei Perani et al. war Englisch die Muttersprache aller Versuchspersonen. Zudem benutzten Kim et al. subvokalisierte Sprache zur Aktivierung, wohingegen Perani et al. eine Aufgabe zum Sprachverstehen verwendeten. Auch die Datengewinnung erfolgte unterschiedlich: Während Kim et al. mittels fMRT die Hirnaktivität einzelner ProbandInnen untersuchten, erfolgte bei Perani et al. mittels PET eine Berechnung von Durchschnittswerten für die jeweiligen Gruppen von ProbandInnen. Perani et al. sind sich dieser Tatsachen bewusst, was sich auch in ihrer umsichtigen Interpretation der eignen und anderer Ergebnisse widerspiegelt. Chee et al. (1999) konnten übrigens die Ergebnisse von Kim et al. nicht stützen, wohingegen Wattenberg et al. (2001) zu ähnlichen Ergebnissen wie Kim et al. gelangten. In einer späteren Studie relativieren Chee et al. (2003) ihre Sicht und interpretieren ihre Ergebnisse dahingehend, dass bei Bilingualen für beide Sprachen gemeinsame Regionen wie auch zusätzlich getrennte Regionen existieren.

Wartenburger et al. (2003) beleuchteten jüngst den Zusammenhang zwischen Aktivierungsmustern, dem Spracherwerbsalter und dem Grad der Sprachbeherrschung. Dazu bedienten sie sich eines Tests, bei dem deutsch-italienisch Bilinguale sowohl die grammatische als auch die semantische Richtigkeit von Sätzen beurteilen sollten. Während dessen wurde mittels fMRT ihre Gehirnaktivität gemessen. Wartenburger et al. stellten fest, dass das Erwerbsalter der Zweitsprache vor allem einen Effekt auf die neuronale Verarbeitung der Aufgabe hatte, die die Beurteilung der grammatischen Richtigkeit von Sätzen erforderte: *Late bilinguals* mit sehr guten sprachlichen Leistungen zeigten insgesamt eine ausgedehntere Aktivierung als *early bilinguals*. Erstere hatten ihre Zweitsprache im Mittel ab einem Alter von 19 Jahren erworben, letztere von Geburt an. Im Gegensatz zur Beurteilung der grammatischen Richtigkeit scheint die Gehirnaktivität während der Beurteilung der semantischen Richtigkeit weniger durch das Erwerbsalter beeinflusst zu sein, sondern vielmehr durch den Grad der Sprachbeherrschung. Die Quintessenz der Studie Wartenburgers et al. ist folgende:

„In conclusion, our results revealed that both AOA [acquisition of age] and PL [proficiency level] affect the neuronal substrates for grammatical and semantic processing. In addition, the data clearly indicate that AOA affects the neural correlates of grammatical judgements to a greater extent.” (S. 168)

Statistisch konnte keine Korrelation zwischen dem Erwerbsalter und dem Grad der Sprachbeherrschung nachgewiesen werden, wenn auch hinsichtlich der neuronalen Korrelate der Sprachverarbeitung bei Aufgaben zur Grammatik und Semantik unterschiedliche Aktivierungsmuster auftraten.

Ist nun die neuronale Repräsentation der Zweitsprache bei *late bilinguals* aufgrund der ausgedehnten Aktivierung ineffizienter? Benötigt daher ein *late bilingual* mehr neuronale Kapazität um vergleichbare Leistungen eines *early bilingual* zu erreichen? Eine fMRT-Studie von Briellmann et al. (2004) scheint diese Frage zu bejahen: „The number of activated voxels correlated with proficiency, so that the activated volume increased for languages in which a subject had poorer proficiency.” (S. 531) Im Gegensatz zu Wartenburger et al. sehen sie das Muster der neuronalen Aktivität nicht durch das Erwerbsalter beeinflusst. Hahne und Friederici (2001) vermuten aber aufgrund unterschiedlicher ERP-Muster bei *early* und *late bilinguals* in Bezug auf syntaktische Aufgaben, dass das Erwerbsalter die Verarbeitung von Sprache im Gehirn beeinflusst.

Betrachtet man zusammenfassend den heutigen Erkenntnisstand, ist nur ein Schluss zulässig: Es ist noch keine abschließende, gesicherte Aussage in Bezug auf die Parameter möglich, die den erreichbaren Grad der Beherrschung der Zweitsprache determinieren. Daher ist Fabbros (2001) Schlussfolgerung auch heute noch gültig:

“However, many aspects of the organization of the bilingual brain are still unknown and further clinical research based on an appropriate methodology and future experimental studies, at both the neuro-anatomical and the physiological levels, will hopefully lead to more advanced understanding of language organization in the multilingual brain.” (S. 219-220)

Unter anderem muss überprüft werden, inwiefern die bisher gewonnenen Ergebnisse reproduzierbar sind. Dabei müssen zukünftige Studien meines Erachtens folgende Optimierungsvorschläge berücksichtigen:

1. Die Bestimmung des Grads der Sprachbeherrschung der ProbandInnen muss viele Anforderungsbereiche wie den Wortschatz, das Ausdrucksvermögen und die Aussprache berücksichtigen. Studien, die den Grad der Sprachbeherrschung von ProbandInnen anhand eines einzelnen sprachlichen Aspekts prüfen, bilden keine repräsentative Bewertungsbasis (z.B. Perani, 1998). Wartenburger et al. (2003) und Briellmann et al. (2004) liefern hingegen gute Beispiele.
2. Die Testdesigns müssen standardisiert werden. Es ist möglich, dass unterschiedliche neuronale Aktivierungsmuster durch unterschiedliche Aufgabenstellungen während eines bildgebenden Verfahrens hervorgerufen werden. So müssen ProbandInnen bei Weekes et al. (2004) chinesische Schriftzeichen erkennen, bei Wartenburger et al. (2003) die grammatische Richtigkeit von Sätzen beurteilen und bei Briellmann et al. (2004) zu Nomen passende Verben finden.
3. Es muss eine einheitliche Definition der Begriffe *early bilingual* und *late bilingual* in Bezug auf das Erwerbsalter geschaffen werden. Diese Forderung gilt für alle beteiligten Disziplinen. Es wird daher vorgeschlagen, ProbandInnen als *ear-*

ly bilingual zu bezeichnen, wenn sie von Geburt an mit beiden Sprachen aufgewachsen sind und diese ähnlich gut beherrschen; meist wird eine der Sprachen die dominante sein. *Late bilinguals* hingegen haben ihre Zweitsprache frühestens nach Abschluss ihrer Adoleszenz erworben. Alternativ könnten auch Zeitfenster definiert werden. Für Studien ist dies aber umso problematischer, je weiter diese Fenster definiert sind. Die Trennung zwischen *early bilinguals* und *late bilinguals* wird dann unscharf, was die Interpretation der Messdaten erschwert.

Allein aus den skizzierten Studien lässt sich meines Erachtens für die FD und den FU heute noch kein sicherer Schluss ziehen, wenn auch die Studien von Hahne und Friederici (2001) sowie Wartenburger et al. (2003) Indizien liefern, dass vor allem grammatische Leistungen durch den Frühbeginn des Zweitspracherwerbs verbessert werden können. Eine detaillierte Betrachtung des Frühbeginns des FU im Kontext des Phänomens sensibler und kritischer Perioden erfolgt in Kap. 6.1.

Die Lokalisation von Sprache vermittelnden Regionen des Gehirns wird in der Fachdidaktik Englisch thematisiert

Danesi und Mollica (1988) referieren ihr Konzept des bimodalen Sprachenlehrens. Es basiert auf der Annahme, dass die zwei Hemisphären unterschiedliche, sich ergänzende Arten der Informationsverarbeitung aufweisen. Die Autoren lehnen die Hypothese ab, dass lediglich die linke Hemisphäre als die dominante Verhalten kontrolliert. Im Weiteren stellen sie die Stärken der linken und rechten Hemisphäre bei der Informationsverarbeitung dar. So werden zum Beispiel der linken die Vermittlung der meisten sprachlichen Funktionen zugeordnet und der rechten die Vermittlung intuitiver Aufgaben. Hinsichtlich der Sprachverarbeitung ergibt sich für Danesi und Mollica folgende Verteilung (s. S. 38, Tab. 5.1):

Linke Hemisphäre	Rechte Hemisphäre
• Syntax und Morphologie • Satzbedeutung • Anapher und Deixis • wörtliche Bedeutung • Phonologie	• Prosodie • Satzimplikation • metaphorische Bedeutung • Wortwitz

Tab. 5.1: Vermittlung sprachlicher Funktionen durch beide Hemisphären (nach Danesi und Mollica, 1988, S. 79).

Diese Erkenntnis beziehen die Autoren auf die FD. Sie weisen darauf hin, dass der Begriff „bimodality“ (S. 77) nicht den NW entstammt, sondern für einen methodischen Ansatz im FU steht, der gehirnkompatible Instruktion etikettiert. Dabei sollen die unterschiedlichen Fähigkeiten beider Hemisphären angesprochen werden. Es wird gefordert, neue Inhalte zunächst so darzustellen, dass sie die Funktionen der rechten Hemisphäre optimal ansprechen. Schließlich würden neue Stimuli zuerst durch die rechte Hemisphäre verarbeitet. Erst danach sei die linke bereit, die neue Information zu übernehmen. Für den FU bedeute dies, mit „concrete, sensorial, experiential and global presentation tech-

niques“ (S. 82) zu beginnen. Danesi und Mollica beziehen sich dabei auf die Psychologen Goldberg und Costa (1981), die die Hypothese aufstellen, dass noch nicht routinisierte kognitive Prozesse zunächst durch die rechte und erst später durch die linke Hemisphäre verarbeitet werden.

Zunächst sei festgestellt, dass die Vorstellung von Gehirn kompatibler Instruktion in sich widersprüchlich ist: Für Neurowissenschaftler wie Roth (2001) steht es außer Frage, dass das Gehirn Informationen unserer Sinne konstruktivistisch verarbeitet. Auch meine ich, dass Danesi und Mollica die Ausführungen Goldbergs und Costas überinterpretieren. Damit stelle ich nicht die empfohlene Vorgehensweise in Frage, sondern ihre Begründung: Zum einen mahnen Goldberg und Costa zur Vorsicht, wenn man versucht, aus der Struktur des Gehirns seine Funktion hinsichtlich kognitiver Prozesse abzuleiten. Zum anderen stellen die Psychologen vor allem Hypothesen auf, die sie anhand weniger Studien zu stützen versuchen und auch Einwände darstellen. Dabei weisen sie auf einen wichtigen Aspekt hin: „The theory as presented above is not free of the oversimplification of treating the brain as consisting of two separate processors“ (S. 166). Dennoch sind sie der Meinung, dass die Interaktion beider Hemisphären nur verstanden werden kann, wenn die Funktionen der einzelnen verstanden ist. Es erscheint mir aufgrund der Datenlage daher unzulässig, die wenig konkret beschriebene bimodale Unterrichtsmethode Danesis und Mollicas anhand der Publikation von Goldberg und Costa zu legitimieren. Die Autoren können ihre bimodale Unterrichtsmethode aber auch nicht durch ihre eigene empirische Forschung legitimieren, denn sie kritisieren heftig ihre Planung, Durchführung und Auswertung der Daten. An dieser Stelle weise ich auf eine Aktivierungsstudie von Brechmann und Scheich (2004) hin, die das Phänomen der Lateralisierung der Informationsverarbeitung aus einer neuen Perspektive beleuchtet: Sollten ProbandInnen die spektrale Information eines akustischen Stimulus bewerten, wurde vor allem ihr rechter auditorischer Cortex aktiviert; sollten sie hingegen die zeitliche Information bewerten, wurde vor allem ihr linker auditorischer Cortex aktiviert. Da die unterschiedlichen Aufgabenstellungen im Sinne eines Top-down-Prozesses verarbeitet werden, hängt der Ort der Verarbeitung eines akustischen Stimulus wohl von der Art der zu lösenden Aufgabe ab und nicht vom Input. Es erscheint mir verfrüht, bereits heute diese Erkenntnis im Kontext verschiedener Lerntypen zu interpretieren. Zukünftig sollte man aber kognitive Funktionen zurückhaltender kategorisch einer Hemisphäre zuschreiben. Der Begriff „bimodality“ sollte zukünftig vermieden werden, da der Begriff Modalität bereits seitens der NW in Bezug auf die verschiedenen Sinneskanäle verwendet wird und nicht mit einem didaktischen Konzept verbunden ist.

Auch Robertson (2000) folgt dem Modell von Goldberg und Costa und folgert, dass Lernmaterial mit Farben, Formen und Hervorhebungen versehen werden sollte. Auf diese Weise könne fremdsprachliches Vokabular besser abrufbar gemacht werden, wodurch die Lernenden gesteigerte Leistungen beim Lesen erbringen würden; dies würde durch die linke Hemisphäre vermittelt. Gegen eine ansprechende Darstellung neuer Unterrichtsinhalte ist nichts einzuwenden. Wie bei Danesi und Mollica (1988) basiert aber die Begründung der Methode auf einer Überinterpretation der Hypothese Goldbergs und Costas. Außerdem sehe ich keinen direkten Zusammenhang zwischen der vorgeschlagenen Gestaltung des Lernmaterials, der Abrufbarkeit erworbenen Vokabulars und der

Verbesserung von Leistungen beim Lesen. Die vorgeschlagene Gestaltung des Lernmaterials ersetzt nicht die eingehende Beschäftigung der Lernenden mit den Unterrichtsinhalten im Sinne der Theorie der Verarbeitungstiefe. Robertson vermischt zu viele verschiedene Aspekte, und kaum einer kann auf Goldberg und Costa bezogen werden.

In Bezug auf die funktionale Spezialisierung der Hemisphären untersuchten Alptekin und Atakan (1990), ob die vermehrte Inanspruchnahme der linken oder rechten Hemisphäre einen Einfluss auf die Leistung beim Fremdsprachenerwerb hat, was aber nicht nachgewiesen werden konnte. Dieser Befund widerspricht somit Danesi und Mollica (1988). Unter Verweis auf die Psychologie und Neuropsychologie setzen Alptekin und Atakan voraus, dass Menschen dazu tendieren, für kognitive Aufgaben eine Hemisphäre verstärkt zu nutzen. Menschen, bei denen eher die linke Hemisphäre zur Bewältigung kognitiver Aufgaben aktiviert würde, verhielten sich eher analytisch und rational. Menschen, die vornehmlich die rechte Hemisphäre nutzten, seien eher ganzheitlich und intuitiv orientiert. Diese Vorstellung führt meiner Meinung zur Erforschung verschiedener Lerntypen, wobei ich mich davon distanzieren, unterschiedliche Lerntypen der unterschiedlichen Inanspruchnahme beider Hemisphären zuzuordnen. Hier ist noch viel Forschungsarbeit zu leisten, um eine gesicherte Aussage treffen zu können. Es erscheint mir zu reduktionistisch, kognitive Prozesse allein der linken oder rechten Hemisphäre zuzuordnen. Dabei sehe ich meine Auffassung durch die Studie von Brechmann und Scheich bestätigt.

Die Publikation von Costa und Goldberg (1981) beeinflusst auch Danesi (1994). Einleitend widmet er sich einer historisch-systematischen Synopse zur Erforschung der Sprache durch die NW. Dabei bespricht er Aphasien, Aspekte der Hemisphärendominanz, den Lokalisationismus, den Holismus sowie die kritische Periode des Mutterspracherwerbs. Danesi referiert, dass nach Goldberg und Costa neue Stimuli zunächst durch die rechte Hemisphäre verarbeitet werden. Daraus leitet er ab, dass diese Erkenntnis für die FE weit reichende Implikationen hat. Allerdings vermisse ich konkrete methodische Vorschläge. Zudem übersieht Danesi, den hypothetischen Charakter des Modells von Goldberg und Costa und den weiteren Forschungsbedarf zu seiner Etablierung oder Modifikation. Außerdem widerspricht sich Danesi selbst, wenn er meint, dass aus Studien zur Funktion der Hemisphären zu viele Schlüsse für den FU gezogen werden.

Danesi diskutiert auch Unterschiede bei der Repräsentation der Mutter- und Fremdsprache und gelangt zu folgendem Ergebnis: „To the best of my knowledge, there has emerged no evidence to suggest the presence of differentiated systems in the brain for PLA [primary language acquisition] and SLA [second language acquisition] before or after the critical period [...]“ (S. 210) Im Jahr 1994 lagen in der Tat keine Studien vor, die Danesi zu einer eindeutigen Aussage hätten führen können. Die heute vorliegenden Studien zeigen zwar, dass Bilinguale im Bereich des Broca-Areals topologisch unterschiedliche neuronale Korrelate bei der Sprachverarbeitung aufweisen können. Ob dies auf das Erwerbsalter, den Grad der Sprachbeherrschung oder die Kombination beider Faktoren zurückgeführt werden kann, muss weiter erforscht werden. Die Frage Danesis, ob der Erwerb einer weiteren Sprache nach einer kritischen Periode eine Umstrukturierung der Sprache vermittelnden Areale bewirkt, ist für die NW sicherlich interessant,

aber heute noch nicht eindeutig beantwortbar. Wenn Danesi befürwortet, dass die NW die FD unterstützen können, um ein besseres Verständnis von Sprache und Spracherwerb zu erlangen, zeigt er allerdings Kooperationsbereitschaft zu interdisziplinärem Arbeiten.

Dietrich (1990) kritisiert die Birkenbihl-Methode zum Fremdsprachenlernen als einen „unverdaulichen Aufguss von Vorschlägen zum Sprachenlernen“ (S. 105): Basierend auf der Theorie der funktionalen Spezialisierung der Hemisphären soll eine wörtliche Übersetzung eines fremdsprachlichen Texts angefertigt werden und diese dann gelesen werden, während ein Tonband den fremdsprachlichen Text abspielt. Auf diese Weise könne eine „ganz besondere Synthese“ (Birkenbihl, 1988, zit. v. Dietrich, S. 106) zwischen Lautung und Wortbedeutung erreicht werden, wobei beide Hemisphären aktiviert würden. Dietrichs Kritik zielt auf Birkenbihls Begründung ihrer Methode anhand neurowissenschaftlicher Termini, nicht auf die Methode selbst. Es stellt sich die rhetorische Frage, ob bei neurologisch Unauffälligen in gewisser Weise nicht stets beide Hemisphären aktiv sind. Hier zeigt sich, dass die Begründung einer Methode so allgemein gefasst ist, dass sie nichts erklärt.

Ein ähnliches Argumentationsmuster findet sich bei Holtwisch (1994). Er folgt dem suggestopädischen Ansatz und spricht sich für den Einsatz von Musik aus, um das Speichern von Gedächtnisinhalten zu optimieren: „Auch die rhythmische Struktur der Musik sowie der Lehrerstimme fördern das Behalten. Das wissen wir schon aus den antiken Mnemotechniken.“ (S. 230) Bei diesem Vorgehen würde die rechte Hemisphäre integrativ aktiviert. Allerdings ist keinesfalls bewiesen, dass die Aktivierung der rechten Hemisphäre durch Musik das Speichern von Gedächtnisinhalten fördert. Musik bindet aber erwiesenermaßen Ressourcen der Aufmerksamkeit (Furnham und Strbac, 2002), weshalb ich beim Einsatz von Musik in Lehr-Lern-Arrangements des FU zur Vorsicht rate (s. Kap. 7.5). An dieser Stelle sei auch auf Friedrich (1995) hingewiesen, der erarbeitet hat, dass die „didaktischen Begründungen [der Suggestopädie] als unzulänglich zu bewerten sind und die gehirntheorietischen Ausführungen [...] eher den Sinn haben, der Suggestopädie einen werbestrategischen Vorteil zu liefern“ (S. 152).

Ein weiteres Beispiel für ein Ausborgen neurowissenschaftlicher Termini findet sich bei Rekowski (2003). Er fordert aufgrund der funktionalen Spezialisierung beider Hemisphären multimodales, ganzheitliches Lernen für den FU. Er begründet dies damit, dass über das Corpus callosum beide Hemisphären miteinander in Verbindung stehen. Diese Begründung erklärt einerseits nicht die geforderte Methode, andererseits ist sie aufgrund ihrer allgemein gefassten Aussage nahezu immun gegenüber Kritik. Konkretere Ausführungen und Verweise auf die NW finden sich hingegen nicht.

Multhaup (1995) vertritt in seiner Monografie die Auffassung, dass SchülerInnenorientierung im FU nur erreicht werden kann, wenn die Lehrenden „mehr Wissen um die Natur der Sprachlernprozesse haben“ (S. 214) und dabei auch über neurobiologische Aspekte des Lernens informiert seien. Er will den Lehrenden „die Möglichkeiten und Grenzen der steuernden Einflussnahme auf Sprachlernprozesse“ (S. 214) verdeutlichen. Um dies zu erreichen, startet er mit einer fundierten und sehr verständlichen Darstellung des Aufbaus des Gehirns. Auch evolutive Aspekte zur Entwicklung des menschlichen Gehirns fließen mit ein. Die Repräsentation von Sprache im Gehirn wird erläutert und

die Sprachverarbeitung als eine „integrierte Aktivität verschiedener und zum Teil weit voneinander entfernter Teile des Gehirns“ (S. 221-222) dargestellt. Zudem wird deutlich, dass das vielerorts apostrophierte Sprachverarbeitungsmodul allenfalls eine ungünstig gewählte Metapher für verteilte neuronale Prozesse sein kann. In diesem Zusammenhang geht Multhaup auch auf die Sprachpathologie ein und beschreibt die Broca- und Wernicke-Aphasie. Nebenbei erwähnt er auch mit Bezug auf die NW, dass Gebärdensprache und gesprochene Sprache von der Unversehrtheit der gleichen Areale abhängen. Anhand weiterer Ausführungen thematisiert er zum Beispiel kritische Perioden des Lernens, konnektionistische Modelle, multimodales Lernen und die Theorie der Verarbeitungstiefe. Insbesondere für die Aspekte multimodales Lernen und kritische Perioden muss aber eine Verbindung zwischen der neuronalen Beschreibungsebene und der des Verhaltens sehr zurückhaltend erfolgen. Nur weitere Forschung kann helfen, die beiden Beschreibungsebenen zusammenzuführen.

Später greift Multhaup (1997b) sein neurobiologisches Lernmodell wieder auf. Auch in diesem Kontext finden sich allgemeine Hintergrundinformationen zur Evolution und zum Aufbau des Gehirns, wobei übersichtliche Abbildungen aus neurowissenschaftlichen Publikationen übernommen werden. Multhaup vertritt wie bereits 1995 die Auffassung, dass der Begriff „language module“ (S. 87) lediglich metaphorisch zu verstehen ist. Zudem ließe die Tatsache, dass bei 95% der Bevölkerung die linke Hemisphäre die sprachdominante ist, nicht den Umkehrschluss zu, dass die rechte Hemisphäre nicht am Sprachverarbeitungsprozess beteiligt ist.

Wie Multhaup (1995) referiert auch Meier (1999) in seiner Monografie Hintergrundwissen zum Lernen und konzentriert sich dabei auf den Spracherwerb, indem er beispielsweise unterschiedliche kognitive Funktionen der rechten und linken Hemisphäre darstellt. Dabei wird deutlich, dass Sprache als Ganzes von beiden Hemisphären vermittelt wird, was dem aktuellen Stand der Forschung entspricht. Anschließend widmet sich Meier der Lokalisation von Sprache vermittelnden Regionen des Gehirns. Hierzu verwendet er Abbildungen der Lateralansicht der linken Hemisphäre. Auch wird die Broca- und Wernicke-Aphasie beschrieben. Meier zeigt dann auf, dass verschiedene sprachliche Leistungen durch verschiedene cortikale Regionen vermittelt werden. Zur Veranschaulichung fügt er PET-Bilder des Gehirns beim Hören und Sehen von Wörtern, sowie beim Lesen von Texten und Bilden von Verben ein. Ferner bezieht er sich auf eine Studie von „New Yorker Gehirnforscher[n]“ (S. 115), die mittels MRT feststellten, dass eine später erworbene Fremdsprache in einem anderen corticalen Areal verarbeitet wird als die Muttersprache. Die Studie wird allerdings nicht genannt, auch gehe ich methodisch eher von einer fMRT aus. Ich nehme an, dass es sich bei der zitierten Studie um die von Kim et al. (1997) handelt. Ungünstigerweise sieht Meier allein durch diese Studie die Forderung nach dem Frühbeginn einer Fremdsprache unterstützt. Wie ich bereits erläutert habe, kann allein anhand dieser Studie der Frühbeginn einer Fremdsprache nicht legitimiert werden. Weitere Studien wie die von Perani et al. (1996, 1998) berücksichtigt Meier nicht – und selbst diese führen zu keinem eindeutigen Bild. Vergleichsweise erscheint mir die Darstellung Multhaups (1995) in Bezug auf die NW umfassender recherchiert, inhaltlich ausführlicher und besser strukturiert.

Götze (1999) sieht in den Ergebnissen von Kim et al. (1997) „ein überzeugendes und kaum zu widerlegendes neurophysiologisches Argument für eine sehr frühe Zweisprachigkeit, lange vor dem Eintritt des Kindes in die Schule“ (S. 14). Auch erklärt sich für ihn „die Mühsal des Sprachenlernens im Erwachsenenalter“ (S. 15). Weiter formuliert er: „Im Gehirn scheint ein universales Programm für Sprachen bereitzuliegen, das nur rechtzeitig abgerufen und aktiviert werden muß. Chomskys nativistisch-universalistischer Ansatz könnte hier Unterstützung erfahren.“ (S. 14) Wie ich dargelegt habe, kann die räumliche Überlagerung oder Trennung kortikaler Aktivität allein den Frühbeginn einer Fremdsprache nicht rechtfertigen, noch vermeintliche Mühen des Spracherwerbs im Erwachsenenalter hinreichend erklären. Zudem darf die Sprachverarbeitung nicht allein auf das Broca-Areal reduziert werden. Gleich ob Chomskys „nativistisch-universalistische[r] Ansatz“ (S. 14) richtig oder falsch sein mag, gestützt werden kann er durch Götzes Argumentation jedenfalls nicht. Die Tatsache, dass bei älteren Lernenden bei einer bestimmten Aufgabe zur Sprachverarbeitung zwei räumlich getrennte Areale des Cortex aktiviert werden, ist weder ein Indiz für oder gegen die Universalgrammatik (s. Kap 5.2).

In einem späteren Artikel referiert Götze (2003) unter anderem den Zusammenhang zwischen der Gehirnforschung und dem Verständnis von Sprache. Einen Fortschritt sieht er darin, dass anhand der PET die Lokalisationstheorie verworfen werden konnte. Auch betrachtet er die Vorstellung einer dominanten Hemisphäre für die Sprachverarbeitung als abgelöst. Heute wüsste man, dass Sprache durch beide Hemisphären vermittelt würde. Götzes Darstellung verstehe ich als Vermittlung von Hintergrundinformation, denn konkrete Handlungsvorschläge für den FU lassen sich wie bei Götze (1999) nicht ableiten. Auf die Integration des Lokalisationismus mit dem Holismus nach Caplan und Gould (2003) geht Götze nicht ein.

Schiffler (2000) berichtet darüber, dass mithilfe der MRT⁶ und der PET Gehirnfunktionen sichtbar gemacht werden können. Für ihn stellt sich die Frage nach der Relevanz für den FU. Zunächst beschreibt er die Funktion des Broca- und Wernicke-Areals. In diesem Kontext verweist er auf eine Studie Schlaepfers et al. (1995), die herausfanden, dass diese Areale bei Frauen größer sind als bei Männern. Schiffler meint, diese Erkenntnis entspreche der Tatsache, dass „Frauen im Allgemeinen im verbalen Ausdruck Männern überlegen sind“ (S. 220). Ich schlage vor, diesen Schluss deutlicher als Hypothese zu formulieren, die anhand weiterer Forschung zu überprüfen ist. Eindeutige Erkenntnisse liegen bisher nicht vor.

Multimodales Lernen verknüpft sich nach Schiffler mit der Erkenntnis, dass einige neuronale Verbindungen zwischen dem Broca- und dem Wernicke-Areal interhemisphärisch verlaufen und so den rechten temporalen Cortex tangieren. Dieser sei „für das visuelle Erkennen verantwortlich“ (S. 220). Schiffler begründet dadurch seine Forderung, das Lernen fremdsprachlichen Vokabulars visuell zu unterstützen. Dies könne beispielsweise anhand von Wortikonen erreicht werden. Schiffler stützt sich vor allem auf di Virgilio und Clarke (1997), die zunächst feststellen: „Relatively little is known about human interhemispheric connections between areas subserving cognitive functions.“ (S. 348) Den Autorinnen ist es aber gelungen, anhand einer Färbemethode bei

⁶ Gemeint ist wohl die fMRT.

Gehirnschnitten eines Verstorbenen unter anderem die von Schiffler zitierten interhemisphärischen Verbindungen nachzuweisen. Dieser neuroanatomische Befund allein ist allerdings für die FD nicht verwertbar. Ich werte ihn lediglich als ein Indiz, das hilft die Struktur und die Funktion des Gehirns aufeinander zu beziehen. Aber auch hier ist weitere neurowissenschaftliche Forschung notwendig, um zu einer gesicherten Aussage zu gelangen. Erneut beanstandete ich nicht die unterrichtliche Methode, sondern ihre neurowissenschaftliche Begründung.

Einen weiteren Didaktisierungsvorschlag von Unterrichtsinhalten unterbreitet Schiffler, indem er sich mit einer Studie von McGuire et al. (1997) befasst. Nach dieser Studie werden bei Gehörlosen unter Verwendung der Gebärdensprache die gleichen Areale aktiviert wie bei Hörenden, wenn sie einen inneren Dialog führen. Schiffler schließt daraus, dass bei nicht sprachlich beeinträchtigten Schülerinnen und Schülern ebenfalls dieses Areal aktiviert wird, wenn Sprache von Gesten begleitet ist. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die Gebärdensprache der ProbandInnen McGuires et al. ihre Erstsprache darstellt. Die Gebärdensprache ist daher nicht mit Gesten zu vergleichen, die Schiffler unterstützend für den Zweitspracherwerb vorschlägt. Deshalb erachte ich die Studie McGuires als ungeeignet, um Schifflers Hypothese über den Nutzen von Gesten im FU zu verifizieren. Kann statt dessen die empirische Forschung im FU aushelfen?

Schiffler berichtet von gesteigerten Leistungen Lernender, die Lerninhalte mittels szenischer Darstellung zu erlernen hatten. Dass bei diesen szenischen Darstellungen die Gestik nicht der einzige Parameter sein kann, bleibt unberührt. Ich bezweifle keinesfalls, dass sich Gesten zur Semantisierung neuen Vokabulars im FU bewährt haben. Es darf aber angenommen werden, dass die szenische Darstellung zum Beispiel auch zu einer höheren Verarbeitungstiefe der zu erlernenden Inhalte und auch zu einer günstigen Motivationslage der Lernenden geführt hat.

Verfolgt man Schifflers (2000, 2002) Argumentation an verschiedenen Stellen, ist folgende Schlussfolgerung fraglich: Eine Forschergruppe (Jasiukaitis et al., 1997) hat festgestellt, dass unter Hypnose „das Sprachzentrum in der linken Hemisphäre aktiv und konzentriert arbeitet“ (S. 222). Ich erinnere daran, dass nicht das eine Sprachzentrum existiert. Zudem handelt es sich im biologischen Sinn um einen Anthropomorphismus, wenn Schiffler einem aktivierten kortikalen Areal konzentriertes Arbeiten zuspricht. Er fasst dann zusammen:

„Wenn neuropsychologische Forschungen festgestellt haben, dass bei Tiefenentspannung das Sprachzentrum aktiv ist, so ist davon auszugehen, dass dies bei einem leichten Entspannungszustand erst recht der Fall ist, und dass somit fremdsprachige Lerninformationen verarbeitet werden können.“ (S. 222)

Daher plädiert Schiffler unter anderem für vermehrtes Lernen „in einem entspannten Zustand.“ (S. 222) Ich bezweifle, dass die bloße Aktivierbarkeit von Spracharealen in einem Entspannungszustand zu einer besseren Leistung beim Lernen führt und sich Lernen auf die Aktivierbarkeit von Spracharealen reduzieren lässt. Schiffler glaubt, dies nachgewiesen zu haben. Allerdings wird nicht transparent, was ein „niedriges Ängstlichkeitsniveau der Lernenden“ (S. 222) mit der Aktivierbarkeit von Sprache vermittelnden neuronalen Strukturen gemein hat. Jeder sollte wissen, dass Angst die kognitive

Leistung vermindert und daher in Lehr-Lern-Arrangements keinen Platz finden darf. Der Effekt der Entspannung sollte aber nicht im Kontext sprachverarbeitender Areale betrachtet werden.

In einer neueren Publikation begründet Schiffler (2002) multimodales Lernen erneut anhand der Studie von di Virgilio und Clarke (1997). Diese bedienten sich entgegen Schifflers Angabe nicht der PET, sondern arbeiteten mit Hirnschnitten eines Verstorbenen (s.o.). Schiffler meint, dass Lerninhalte besser aufgenommen werden, wenn sie visuell und auditiv dargeboten werden. Unterstützend zitiert er eine neurologische Rehabilitationsstudie (s. Zencius et al., 1998) sowie zwei neuropsychologische Studien (s. Collins und Coney, 1998; Faust und Weisper, 2000). Ich meine, dass diese Studien nicht auf die Ergebnisse von di Virgilio und Clarke bezogen werden können: Die nachgewiesenen interhemisphärischen Verbindungen erklären kaum die Ergebnisse von Zencius et al., Collins und Coney sowie Faust und Weisper. Zudem arbeiteten Collins und Coney ebenso wie Faust und Weisper allein mit der visuellen Modalität. Der Bezug auf Zencius et al. wirkt besonders deplaziert, da diese das Orientierungsvermögen eines amnetischen Patienten trainierten. Dennoch bin ich der Meinung, dass die gleichzeitige Aufnahme von Information über mehrere Modalitäten eine günstige Grundbedingung für das Lernen darstellen kann. Ich denke dabei zum Beispiel an Filme mit Untertiteln. Eine Integration in das Gedächtnis – und hierfür steht der Begriff Lernen – ist damit aber noch nicht erreicht, denn dies erfordert eine eingehende Beschäftigung mit dem Lerngegenstand seitens der Lernenden. Von „interhemisphärische[n] [...] Unterrichtsphasen“ (Schiffler, 2002, S. 126) zu sprechen, in denen unter anderem mit szenischen Darstellungen, Bildmaterial und Tonträgern gearbeitet wird, trifft nicht den Kern der Sache: Vielmehr werden in solchen Lehr-Lern-Arrangements wichtige Erkenntnisse der KP und der NW zum Lernen und Gedächtnis berücksichtigt (s. Kap. 7). Als Beispiel nenne ich die Theorie der Verarbeitungstiefe.

Schäfer (2003) lehnt Schifflers unterrichtspraktische Vorschläge nicht unbedingt ab, richtet sich jedoch gegen die Art und Weise ihrer Begründung: „[...] aber das ist nicht mit Brocazentrum, Temporalkortex, [PET], Synapsen oder Alphazustand [...] zu belegen.“ (S. 421) Zudem meint er, dass eine vermeintliche Leistungssteigerung aufgrund des Hawthorne-Effekts, des Neuigkeitseffekts sowie des Pygmalion-Effekts zu verzeichnen ist. Schiffler (2003b) entgegnet dem, dass die FD nicht warten darf, „bis die Gehirnforschung ihre Erkenntnisse als gesichert ansieht, was übrigens nie der Fall sein wird“ (S. 423). Höchst problematisch ist aber der Transfer noch nicht ausreichend gesicherter oder unpassend ausgewählter Erkenntnisse in die FD.

Schiffler sieht sich auch durch Spitzer (2003a) bestätigt, der über die Bedeutung von Eselsbrücken berichtet. Diese führen innerhalb der KP zur Theorie der Verarbeitungstiefe, deren neurowissenschaftliche Fundierung gerade erst begonnen hat (s. Kap. 7.5). Es sollte übrigens überprüft werden, ob vorgegebene Eselsbrücken nicht so gut behalten werden wie selbst angefertigte. Nach der Theorie der Verarbeitungstiefe müsste dies der Fall sein, aber welcher Lateiner erinnert sich nicht an den Merksatz ‚3-3-3 bei Issos Keilerei‘? Doch was geschah bei Issos? Eine Vernetzung mit dem Wissen um das Geschehene ist bei manchen Lernenden nicht erfolgt. Dieses Beispiel kann in meinen Au-

gen ebenso gut als Unterstützung für die Theorie der Verarbeitungstiefe gewertet werden.

Eine sehr gute Integration der NW mit der FD findet sich bei Müller (2003). Neben allgemeinen Informationen zur Kommunikation aus biologischer Perspektive konzentriert er sich unter anderem auf neurowissenschaftliche Untersuchungen zur Relation zwischen dem Erst- und Zweitsprachenerwerb. Dabei geht er beispielsweise auf Studien von Kim et al. (1997), Perani et al. (1998) sowie Friederici et al. (2002) ein, deren Ergebnisse er folgerichtig aufeinander bezieht. Er gelangt zu dem Schluss, dass nur weitere Forschung klären kann, welche Relation zwischen der Erst- und Zweitsprache besteht und wie eine kritische Phase des Spracherwerbs zu definieren ist.

5.2 Spracherwerb als genetisch und umweltbedingter Prozess

Language, like other cognitive abilities,
cannot be attributed entirely
to either innate structure or learning.

Nina F. Dronkers et al., 2000

There are good reasons for claiming that proteins are made by being coded for, and hence that a specific gene codes for a particular protein. But once we consider the complex traits of whole organisms, such as camouflage or cooperative behavioural tendencies, none of these traits are coded for by the genes.

Peter Godfrey-Smith, 2002

A common misapprehension is that complex behaviors must be learned. In fact, complex behavior in relatively short-lived species is usually innate, reflecting the reality that intricate activities are very difficult to learn and may require more time and risk of errors than an animal can afford.

David N. Caplan und James L. Gould, 2003

Innerhalb der FE und Spracherwerbsforschung wird rege diskutiert, inwiefern die Fähigkeit zum Spracherwerb genetisch determiniert ist (z.B. Ney und Pearson, 1990; Schmidt, 1990; Rivers, 1991; Jacobs und Schumann, 1992; Eubank und Gregg, 1995; Ellis, 1999; Pinker, 1995, 1997, 2001; Chomsky, 1970, 2003; Butzkamm und Butzkamm, 2004). Hierbei handelt es sich um eine komplizierte Diskussion, die Erkenntnisse unterschiedlichster Disziplinen und verschiedene Beschreibungsebenen menschlichen Verhaltens berücksichtigen muss. Es stellt sich vor allem die Frage, inwiefern ein Transfer von Erkenntnissen von der genetischen Ebene auf die Verhaltensebene und umgekehrt zulässig ist. So tragen viele Gene dazu bei, dass der Mensch laufen kann, dennoch würde man keinem davon die spezielle Funktion zuschreiben, den Menschen zum Laufen zu befähigen (Kosik, 2003). Dennoch können Fortschritte auf dem Gebiet der Humangenetik dazu beitragen, die genetische Komponente der Fähigkeit zum Spracherwerb zu erforschen. Erste Anhaltspunkte liefert unter anderem das FOXP2-Gen, denn Mutationen dieses Gens sind mit der Ausbildung atypischer Sprache assoziiert.

An dieser Stelle sei vorab auf die Verwendung der korrekten Terminologie hingewiesen: Humangenetiker differenzieren zwischen den Begriffen vererbt und angeboren. Ein Merkmal ist vererbt, wenn seine Ausprägung genetisch determiniert ist. Ein Merkmal ist angeboren, wenn es von Geburt an ausgeprägt ist, allerdings die Ursache für diese Ausprägung nicht genetisch determiniert ist. Daher wird im Folgenden ausschließlich von Vererbung gesprochen, wenn die Fähigkeit zum Spracherwerb gemeint ist. Im Englischen differenziert man übrigens kaum zwischen *inherited*, *inborn*, *congenital* und *innate*, weshalb darauf zu achten ist, diese Adjektive entsprechend der klaren Differenzierung im Deutschen richtig einzuordnen.

Chomsky postuliert eine vererbte Universalgrammatik

Chomskys Prinzipien- und Parametermodell (PPM) des Spracherwerbs beeinflusst die FE und Spracherwerbsforschung (z.B. Ney und Pearson, 1990; Schmidt, 1990; Rivers, 1991; Jacobs und Schumann, 1992; Eubank und Gregg, 1995; Ellis, 1999; Hulstijn, 2002; Johnstone, 2002). Vor allem Diskussionen ‚der‘ kritischen Periode des Spracherwerbs und des Zusammenspiels von Genen und Umwelt bei der sprachlichen Entwicklung enthalten Verweise auf das PPM. Daher sei dieses nachfolgend skizziert. Chomskys Modell des *Language Acquisition Device* (LAD) stellt in gewisser Weise einen Vorläufer des PPM dar und wird daher nicht ausgeführt.

Nach dem PPM besitzt jedes Kind eine genetisch determinierte Universalgrammatik (UG). Dabei handelt es sich um „innate, biologically determined principles, which constitute one component of the human mind – the language faculty“ (Chomsky, 1986, S. 24). Die UG basiert auf der Annahme, dass alle Sprachen der Welt bestimmte Eigenschaften teilen, so genannte *universals*. Greenberg (1973) und Keenan (1987) haben sich intensiv mit diesen *universals* beschäftigt. Greenberg et al. (1973) definieren: „Language universals are by their very nature summary statements about characteristics or tendencies shared by all human speakers.“ (S. 15) Im Folgenden seien einige Beispiele gegeben:

1. In Aussagesätzen mit einem Subjekt und Objekt als Nomen, steht fast immer das Subjekt vor dem Objekt.
2. In konditionalen Aussagen, steht der Konditionalsatz immer vor dem Hauptsatz, der die Folge ausdrückt.
3. In jeder Sprache existieren zwei verschiedene Wörter, die das Konzept Mutter und Vater repräsentieren.

Es gelten aber nicht alle *universals* für alle Sprachen. Man spricht dann von *implicative universals*. Hierzu seien zwei Beispiele genannt:

4. Wenn eine Sprache Flexion aufweist, zeichnet sie sich auch durch Derivation aus.
5. Wenn eine Sprache eine Kategorie für das grammatische Geschlecht aufweist, so besitzt sie auch die Kategorie für die Unterscheidung zwischen Singular und Plural.

Greenberg weist selbst darauf hin, die aufgestellten *universals* umsichtig zu rezipieren. Schließlich sind bisher nicht ausnahmslos alle lebendigen Sprachen der Welt detailliert erfasst worden. Hierzu zählen vor allem Sprachen des afrikanischen, amerikanischen und australischen Raums (Comrie, 1981). Zudem weist die UG Parameter auf, nach denen eine limitierte Anzahl von Optionen innerhalb der eindeutig gedachten *universals* möglich ist. Hierzu seien zwei Beispiele genannt:

1. Der *head parameter* definiert die Position des Kopfs innerhalb einer Phrase. In einer englischen Präpositionalphrase wie ‚with the train‘ befindet sich der Kopf

with am Anfang der Phrase. Im Japanischen ist dies anders: ‚*Nihon ni*‘ heißt wörtlich übersetzt ‚Japan in‘. Folglich befindet sich der Kopf am Ende der Präpositionalphrase.

2. Der *null-subject parameter* beschreibt die Option, innerhalb eines Satzes ein Subjekt zu verwenden:

Sprache	null-subject parameter	
Deutsch	Es regnet.	*Regnet.
Englisch	It is raining.	*Is raining.
Italienisch	-	Piove.
Französisch	Il pleut.	*Pleut.

Insgesamt müssen alle Sprachen im Definitionsbereich der UG mitsamt ihren Parametern angesiedelt sein – Ausnahmen sind dennoch möglich: Da ein Kind genetisch mit einer UG ausgerüstet ist, besteht seine Aufgabe darin, während des Spracherwerbs die Parameter seiner Muttersprache anhand sprachlichen Inputs zu erkennen. Infolge dessen bildet sich eine so genannte Kerngrammatik. Ohne die UG ist dies nicht möglich, da die Qualität des sprachlichen Inputs alleine nicht ausreicht, sprachliche Regeln abzuleiten. Diesen Sachverhalt etikettiert der Begriff *poverty of the stimulus*. Erfahrung löst nach Chomsky (1988) lediglich ein genetisch determiniertes Entwicklungsprogramm des Gehirns aus. Idiosynkratische Eigenschaften der Muttersprache, die seitens der UG nicht vorhersehbar sind, müssen hingegen erlernt werden und bilden die so genannte periphere Grammatik. Dazu gehören zum Beispiel Unregelmäßigkeiten innerhalb der Morphologie und idiomatische Ausdrücke. Chomsky konkretisiert allerdings den Prozess des Spracherwerbs nicht weiter.

Für die FD ist insbesondere von Bedeutung, ob die UG den Fremdsprachenerwerb beeinflusst. Diesbezüglich haben sich drei unterschiedliche Auffassungen herausgebildet:

1. Die UG funktioniert beim Fremdsprachenerwerb wie beim Mutterspracherwerb. Folglich ist die Muttersprache für den Fremdsprachenerwerb irrelevant.
2. Die UG ist vor allem bei älteren Lernenden entsprechend der Muttersprache fixiert und steht für den Fremdsprachenerwerb nicht mehr zur Verfügung. In diesem Zusammenhang findet mitunter auch die kritische Periode des Spracherwerbs Erwähnung.
3. Die UG steht auch älteren Lernenden einer Fremdsprache zur Verfügung. Andere Faktoren interferieren allerdings mit der UG.

Allen drei Auffassungen und auf ihnen basierenden Diskussionen ist gemein, dass sie die Existenz und das Wirken einer UG im Gehirn des Menschen voraussetzen, wie Chomsky es vorgeschlagen hat.

Doch Chomskys PPM erfährt auch Kritik, die über das Auffinden wirklich allgemein gültiger *universals* hinausgeht. Die Ausbildung einer Kerngrammatik kann anhand

der Datenlage nur schwerlich erkannt werden. So neigen auch englischsprachige Kinder dazu, das Subjekt eines Satzes auszulassen (Hyams, 1986, S. 26):

Play it
See window
Want more apple

Auch lässt sich provokativ fragen, weshalb im Falle der Existenz der UG die Sprache von Kindern nicht sehr früh der der Erwachsenen gleicht. Radford (1990) setzt diesem Einwand wiederum entwicklungsbedingte Einschränkungen entgegen. Diese *maturational hypothesis* ist aber aus biologischer Sicht nicht fundiert ausgeführt. Braine (1994) wirft Chomsky daher vor, die Erklärung des Spracherwerbs an die Biologie weiterzureichen.

Infolge der Progression der Lebenswissenschaften stellt sich heute die Frage, inwiefern die UG mit ihren *universals* und Parametern vererbt sein könnte. Meiner Meinung nach stellt die UG eine höchst wahrscheinlich unvollständige abstrakte Beschreibung des kleinsten gemeinsamen Nenners von Eigenschaften aller Sprachen dar. Ist aber eine genetische Repräsentation dessen möglich, wenn doch auch von anderen Spezies bekannt ist, dass komplexes Verhalten vererbt sein kann? Mit anderen Worten: Inwiefern ist Chomskys UG aus biologischer Perspektive plausibel?

Bevor diese Frage aus humangenetischer Perspektive diskutiert wird, sei auf eine Studie von Musso et al. (2003) hingewiesen. Die Arbeitsgruppe hat anhand einer fMRT-Studie festgestellt, dass das Broca-Areal nur dann aktiviert wird, wenn eine Probandin/ein Proband Regeln einer neuen Sprache lernt, die den bisher aufgestellten Prinzipien der UG folgen. Dies wurde bei deutschen Muttersprachlern untersucht, die Regeln des Japanischen lernten. Lernten sie hingegen Regeln einer künstlichen Sprache, die nicht den Prinzipien der UG folgten, wies das Broca-Areal kaum Aktivität auf. Musso et al. schließen aus ihren Ergebnissen, dass das Broca-Areal darauf spezialisiert ist, „natural principles of language“ (S. 778) zu identifizieren. Weitere Forschung muss klären, ob das Wirken einer UG durch Aktivierungsstudien nachweisbar ist.

Drei Faktoren determinieren die ontogenetische Entwicklung von Sprache

Chomskys Definition des Vererbten als „innate, biologically determined principles“ (1986, S. 24) bleibt ebenso vage wie die Bezeichnung „biological endowment“ (1988, S. 30). Andererseits sind diese Ausdrücke aufgrund ihrer Abstraktheit immun gegen Kritik. Auch ist der Begriff Sprachverarbeitungsmodul sehr abstrakt und darf allenfalls metaphorisch verstanden werden. Schließlich zeigen die NW, dass Sprache durch viele Areale beider Hemisphären vermittelt wird und diese mit anderen Systemen interagieren. Auch von „innate knowledge“ (z.B. Seidenberg, 1997; Regier und Gahl, 2004) zu sprechen, birgt Probleme: Aus Sicht der NW ist der Begriff *knowledge* zu undifferen-

ziert, obwohl er im Englischen häufig verwendet wird.⁷ Im Folgenden konkretisiere ich Chomskys Vorstellung von „innate, biologically determined principles“ vor allem aus humangenetischer Perspektive. Möchte man die genetische Komponente komplexer Verhaltensweisen wie Sprache erforschen, muss man folgende Erkenntnisse berücksichtigen (s. Hofmann, 2003):

1. Gene interagieren. Dies geschieht in der Regel nicht additiv, sondern integrativ. Dadurch wird die eindeutige Identifikation von denjenigen Genen verkompliziert, die an der Ausbildung der materiellen Basis einer komplexen Verhaltensweise beteiligt sind.
2. Die Ausprägung eines Merkmals kann nicht nur durch genetische, sondern auch durch umweltbedingte Faktoren determiniert sein. Wie kompliziert das Zusammenspiel zwischen Genen und der Umwelt ist, sei an einem Beispiel verdeutlicht: Es wurde nachgewiesen, dass eine Mutation eines Gens mit aggressivem Verhalten erwachsener Männer korreliert; dies gilt aber nur für diejenigen Männer, die in ihrer Kindheit Gewalt ausgesetzt waren.

Dass die Umwelt die ontogenetische Entwicklung von Sprache beeinflusst, ist unbestritten. Vermissten Kinder wie Genie sprachlichen Kontakt, können sie bei fortgeschrittenem Alter Sprache nur stark eingeschränkt erwerben (s. Curtiss, 1977; s. Kap. 6.1). Auch wenn es sich um eine Einzelfallstudie handelt, zeigt dies, dass Spracherwerb von der Interaktion mit der Umwelt, mit anderen Menschen, abhängig ist. Dass nur Menschen menschliche Sprache entwickeln und sie hierfür über eine spezielle genetische Basis verfügen, zeigen Studien, bei denen Individuen anderer Spezies menschliche Sprache erwerben sollten. Sämtliche Versuche schlugen fehl (Kandel, 1996a), wenn auch über rudimentäre sprachliche Fähigkeiten berichtet wird (Savage-Rumbaugh und Lewin, 1995).

3. In jüngerer Zeit hat man gelernt, dass so genannte epigenetische Einflüsse als dritter Faktor die Ausprägung eines Merkmals determinieren. Hierunter versteht man Mechanismen, durch die die vorhandene genetische Information neu strukturiert wird.

Die Fähigkeit des Menschen, eine komplexe Verhaltensweise wie Sprache hervorzu-
bringen ist demnach genetisch, epigenetisch und durch die Umwelt determiniert. Die Interaktion dieser drei Faktoren ist ein komplizierter Prozess, der heute noch kaum verstanden ist. Die ontogenetische Entwicklung von Sprache kann daher nicht allein auf den einen oder anderen Faktor bezogen werden. Diese Position wird in der Spracherwerbsforschung mit dem Begriff Interaktionismus etikettiert, der nicht mit dem philosophischen Interaktionismus zu verwechseln ist. Allerdings wurden bisher lediglich genetische und umweltbedingte Faktoren diskutiert. Zusammenfassend muss man sich für die weiteren Ausführungen vergegenwärtigen: Es ist nicht sinnvoll, die Frage zu stellen, zu welchen Anteilen das Genom und die Umwelt den Spracherwerb determinieren.

⁷ Um dennoch die Differenzierung zwischen Wissen und Können auszudrücken, sollten im Englischen zum Beispiel die Zusammensetzungen *declarative knowledge* und *procedural knowledge* verwendet werden (s. Kap. 7).

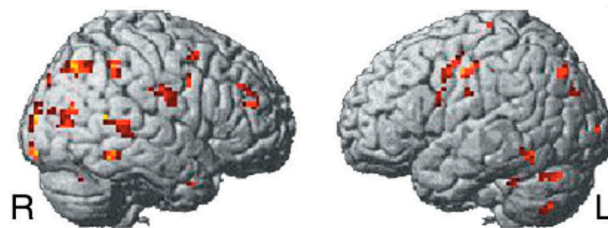
Schließlich ist es die Interaktion dreier Faktoren, die das Phänomen Sprache entstehen lässt. Eine quantitative Bestimmung der jeweiligen Beiträge der drei Faktoren ist weder sinnvoll noch möglich, weil sie nicht additiv, sondern integrativ wirken.

Das FOXP2-Gen beeinflusst das Sprachvermögen

Welchen Einfluss Gene auf den Spracherwerb haben, wird seit einigen Jahren seitens der NG untersucht. Im Jahr 1998 berichteten Fisher et al. erstmalig über ein Gen namens FOXP2. Eine Mutation dieses Gens führt dazu, dass die typische sprachliche Entwicklung eines Individuums beeinträchtigt wird (Fisher et al., 1998; Lai et al., 2001). Diese Erkenntnis verdankt die Humangenetik der Familie KE und einem einzigen, nicht verwandten Menschen. Innerhalb der Familie KE wird das mutierte FOXP2-Gen autosomal-dominant vererbt. Betroffene weisen unter anderem eingeschränkte sprachliche Fähigkeiten auf: Sie leiden an orofacialer Dyspraxie und können keine Sätze mit komplexer syntaktischer Struktur verstehen. Auch können sie kaum Wörter von Pseudowörtern unterscheiden.

Bildgebende Verfahren zeigten, dass Betroffene im Vergleich zu nicht Betroffenen unter anderem bei Wortgenerierungsaufgaben kaum Aktivierung innerhalb des Broca-Areals aufweisen (s. Abb. 5.6). Diese Befunde schließen eine Problematik aus, die sich entsprechend der orofacialen Dyspraxie ausschließlich auf das motorische System bezieht (Marcus und Fisher, 2003). Darüber hinaus betonen Lai et al. (2003), dass vielen Strukturen, an deren Entwicklung das FOXP2-Gen beteiligt ist, bisher ausschließlich motorische Funktionen zugeschrieben wurden. Neuere Erkenntnisse weisen aber auch auf kognitive Funktionen dieser Strukturen hin. Dazu gehören zum Beispiel der Nucleus caudatus (Packard und Knowlton, 2002) und das Cerebellum (Justus, 2004).

Zwischenzeitlich verfügt man über Anhaltspunkte, anhand derer man die Funktion des FOXP2-Gens skizzieren kann. Das FOXP2-Gen ist auf Chromosom 7q31 lokalisiert und gehört zu einer Gruppe von Genen, die für Transkriptionsfaktoren codieren (Marcus und Fisher, 2003). Dabei handelt es sich um Proteine, die die Genexpression in Zellen kontrollieren. Ein Gen besteht aus zwei Bereichen, der Regulator-Region und der eigentlichen Genregion. Die Regulator-Region eines Gens moduliert das Transkriptionslevel des Gens und bestimmt so, wieviel Protein gebildet wird. Auf diese Weise können Transkriptionsfaktoren dazu beitragen, die Struktur und Funktion von Zellen zum Beispiel infolge von Stimuli oder in Bezug auf ein Entwicklungsstadium zu modifizieren. Hierzu sei ein Beispiel angeführt: Das weitaus besser erforschte Gen PAX6 wirkt als Kontrollinstanz auf circa 2 500 weitere Gene, so genannte *downstream targets*. Für das



Print and electronic permission granted by Nature Publishing Group and Frédérique Liégeois. <http://www.nature.com>

Abb. 5.6: Aktivierung bei der subvokalisierten Generierung von Verben in Bezug auf gehörte Nomen bei Anhängern der Familie KE (Liégeois et al., 2003, S. 1231).

FOXP2-Gen wird ein ähnliches Funktionsprinzip angenommen (Marcus und Fisher, 2003).

Das FOXP2-Gen ist nicht das eine Grammtik- oder das eine Sprach-Gen. Es ist höchst wahrscheinlich nicht alleine für die Ausbildung der Fähigkeit zum Spracherwerb verantwortlich. Nur weitere Forschung kann klären, auf welche Weise es an diesem Prozess beteiligt ist. Eine detailliertere Erforschung des FOXP2-Gens wird sicherlich dazu beitragen, den Spracherwerb und die Evolution von Sprache besser erklären zu können, was auch das Selbstverständnis des Menschen betrifft. Weitere Forschung ist aus einem weiteren Grund von Bedeutung: Hierzulande sind schätzungsweise 5% der Kinder von einer Sprachentwicklungsstörung⁸ (SES) betroffen, wobei die Wahrscheinlichkeit des Auftretens bei Jungen zwei- bis dreimal höher ist als bei Mädchen (Berwanger, 2002). Demnach ist allein unter den 4,5 Millionen Kindern unter sechs Jahren von bis zu 225 000 Betroffenen auszugehen. Aufgrund von Erkenntnissen der Human-genetik wird angenommen, dass Regionen um das FOXP2-Gen mit SES assoziiert sind (O'Brien et al., 2003). Wenn auch FOXP2 scheinbar nicht mit weiteren Beeinträchtigungen von Sprache assoziiert ist (Meaburn et al., 2002; Fisher et al., 2003), wird dies unter anderem für das FOXP1-Gen vermutet (Teramitsu et al., 2004).

Aus den bisherigen Erkenntnissen dürfen nicht verfrüht Schlüsse gezogen werden: Pinker (2001) sieht nun Forderungen nach genetischen Wurzeln der Sprache naturwissenschaftlich bestätigt. Doch Pinker spannt den Bogen zu weit, wenn er die Diskussion des FOXP2-Gens wie folgt einleitet: „Chomsky noted that language is universal, complex and rapidly acquired by children without explicit instruction.“ (S. 465) In Ermangelung detaillierterer Erkenntnisse ist es nicht ratsam, einen Bezug zwischen dem FOXP2-Gen und *universals* im Sinne Chomskys PPM herzustellen.

Der Spagat zwischen der Humangenetik und der Spracherwerbsforschung

Jacobs (1988) diskutiert, inwiefern unsere Gene und Umwelt die Sprachentwicklung determinieren. Dabei zitiert er eine Studie von Diamond et al. (1972), die Ratten in einer reizarmen und artgerechten Umgebung hielten. Die Ratten, die in einer artgerechten Umgebung gehalten wurden, wiesen einen dickeren Cortex auf als diejenigen, die in einer reizarmen Umgebung lebten.

Unverständlich ist mir dabei, weshalb in diesem Kontext auf eine Abbildung der Lateral- und Medialansicht des menschlichen Telencephalons verwiesen wird; in der besagten Abbildung werden unter anderem die Sprachzentren und das limbische System hervorgehoben. Die Darstellung Jacobs suggeriert einen unbewiesenen Zusammenhang mit dem Spracherwerb des Menschen. Zudem fällt auf, dass Diamond et al. für ihr Experiment mit Ratten eine artgerechte Umgebung beschreiben. Jacobs hingegen spricht von einer mit Stimuli angereicherten Umwelt und spielt so auf die Diskussion des *en-*

⁸ Unter einer Sprachentwicklungsverzögerung (SEV) verstehe ich die Situation, in der es zu einer Entwicklungsverzögerung in mindestens einem der Bereiche Aussprache, Sprachverständnis, Wortschatz und Grammatik kommt, die auf absehbare Zeit aufgeholt werden kann. Ist dies nicht möglich, handelt es sich um eine Sprachentwicklungsstörung.

riched environment an, in der Kinder bewusst mehr als den natürlichen Stimuli ausgesetzt werden, um sie in ihrer Entwicklung zu fördern (s. Bruer, 1997). Handelt es sich bei dem Perspektivwechsel von der Ratte zum Menschen um einen Taschenspielertrick, um die Forderung nach vielen frühen Lernangeboten neurowissenschaftlich zu untermauern? Oder werden die Ergebnisse Diamonds et al. schlicht falsch interpretiert, wie es bei dem Begriffspaar reizarm und artgerecht geschehen sein könnte? Die OECD (2002) weist ebenfalls auf dieses Phänomen hin, bezieht sich dabei aber auf eine neuere Studie (s. Diamond et al., 1987) und nennt keine Fallbeispiele.

Jacobs meint, dass „rather elementary genotypic expressions“ (S. 329) der Komplexität einer UG nicht gerecht werden können. Ich weise darauf hin, dass zum einen Chomskys PPM nicht vorbehaltlos übernommen werden sollte. Zum anderen beeinflussen unsere Gene in gewisser Weise unsere Sprachentwicklung. Jacobs bezweifelt aber den genetischen Einfluss und stellt sich gegen die UG, die er als einen metaphorischen Begriff für die Fähigkeit zum Spracherwerb auffasst. Meines Erachtens ist es aber unzulässig, die abstrakte UG und eine genetische Komponente des Spracherwerbs auf einer Ebene zu betrachten und aus dieser Perspektive zu argumentieren. Jacobs schlussfolgert dennoch richtig, aber auch trivial:

„Only a cooperative interdisciplinary effort will allow for a comprehensive view of the language acquisition process. One can go so far by examining the individual and often metaphorical pieces of a puzzle.“ (S. 330)

Unverständlich bleibt allerdings, weshalb Jacobs nicht den Einfluss der Gene und der Umwelt integrativ betrachtet. Zweifelsohne sind die Begriffe Universalgrammatik und Spracherwerbsmodul metaphorisch zu verstehen. Dies schließt jedoch nicht die genetische Determiniertheit des Menschen für den Spracherwerb aus. Diese Determiniertheit ist zu erforschen, was die NW vor eine ihrer schwierigsten Aufgaben stellt, die sie nur langfristig lösen kann.

Eubank und Gregg (1995) vertreten im Vergleich zu Jacobs (1988) eine gegenteilige Position, der ich mich anschließe. Sie bemängeln, dass der Begriff Universalgrammatik verwendet wird, als habe man sich darunter etwas Dinghaftes vorzustellen: „The point is that to talk about UG in terms of a physical apparatus is to conduct the discussion at the wrong level of abstraction.“ (S. 42) Verfolgt man die Frage, inwiefern Sprache vererbt ist oder durch Interaktion mit der Umwelt entsteht, versuchen Eubank und Gregg zu moderieren: „The question is not whether the environment plays a role at all, but how much and what kind of role.“ (S. 43) Eine genetische Komponente könne nicht von der Hand gewiesen werden, habe man doch Individuen mit entwicklungsbedingter Dysphasie⁹ untersucht. Dabei verweisen sie auf neurolinguistische Studien.

Butzkamm und Butzkamm (1999) machen deutlich, dass Spracherwerb sowohl genetisch als auch durch die Umwelt bedingt ist: Die Gene bestimmen den „Rahmen unserer Möglichkeiten“ (S. 299), oder die Reaktionsnorm, um den Fachterminus der Biologie zu verwenden. Die Umwelt bestimmt im Hinblick auf die Reaktionsnorm, was der Mensch aus dem Rahmen seiner Möglichkeiten machen kann.

⁹ Die Internationale Neurologische Gesellschaft setzte 1967 fest, dass der Terminus Aphasie auch für partielle Sprachstörungen verwendet werden soll und somit der Terminus Dysphasie überflüssig ist.

5.3 Ergebnisse

Lokalisation von Sprache vermittelnden Regionen des Gehirns

Heute verfügen die NW über ein umfassendes Bild der Lokalisation und Verarbeitung von Sprache im Gehirn, das sich aber in vielen Details als teils unscharf, teils unvollständig darstellt. Viele der bisher gewonnenen Erkenntnisse müssen durch weitere Forschung gesichert werden, wobei man immer wieder an methodische Grenzen stößt. Doch es sind auch Fortschritte zu verzeichnen. Beispielsweise integriert ein plausibles Modell von Caplan und Gould lokalisationistische und holistische Theorien der Sprachverarbeitung. Für die FD sind vor allem folgende Forschungsschwerpunkte interessant:

- Theorien der Sprachverarbeitung und die neuronale Repräsentation von Sprache
- Lateralisierung kognitiver Funktionen
- die mögliche Abhängigkeit der neuronalen Repräsentation von Sprache von Parametern wie dem Erwerbsalter und dem Grad der Sprachbeherrschung
- Lernen in Abhängigkeit verschiedener Modalitäten

Bisher rezipiert die FE Erkenntnisse zu diesen Forschungsschwerpunkten, wobei sich vier unterschiedliche Muster herauskristallisieren, die sich partiell überlagern können:

Das Referat: Es erfolgen Darstellungen neurowissenschaftlicher und kognitionspsychologischer Abhandlungen über Erkenntnisse zum Spracherwerb, die der Lehrerin/dem Lehrer Hintergrundwissen verschaffen. Die Darstellungen sind teils mehr (z.B. Multhaup, 1995), teils weniger (z.B. Meier, 1999) überzeugend. Eine eingehende Verschmelzung des Hintergrundwissens mit der fremdsprachendidaktischen Theorie und der unterrichtlichen Praxis erfolgt kaum. Gelegentlich entsteht der Eindruck, dass die Aura des Hintergrundwissens fremdsprachendidaktische Abhandlungen legitimieren soll.

Die Überinterpretation eines Modells: Einige AutorInnen (z.B. Danesi und Mollica, 1988; Robertson, 2000) orientieren sich an dem selben Modell zur Verarbeitung neuer Stimuli durch die Hemisphären, welches von Psychologen mit neurowissenschaftlicher Orientierung gebildet wurde (s. Goldberg und Costa, 1981). Dabei zeigt sich, dass dieses Modell in seiner Tragfähigkeit für die FD und den FU überinterpretiert wird und kognitive Prozesse teilweise zu reduktionistisch einer Hemisphäre zugeordnet werden. Meist beabsichtigen die AutorInnen, daraus konkrete methodische Vorschläge abzuleiten. Diese Vorschläge mögen dem gesunden Menschenverstand entspringen, sind aber mitunter seitens der AutorInnen empirisch nicht ausreichend geprüft und leiden in ihrer Glaubwürdigkeit vor allem an ihrer ungeschickten neurowissenschaftlichen und auch kognitionspsychologischen Begründung.

Das Ausborgen neurowissenschaftlicher Termini: Einige AutorInnen (z.B. Holtwisch, 1994; Rekowski, 2003) verwenden neurowissenschaftliche Termini, um ihre Unterrichtsmethoden zu legitimieren. Diese erscheinen meist schlagwortartig und dienen letztlich kaum der Erklärung für den vermeintlichen Erfolg der empfohlenen Unterrichtsmethode. Andererseits sind die Darstellungen sehr allgemein gefasst, weshalb sie nahezu immun gegenüber Kritik sind.

Problematische Pionierarbeit: Es werden Erkenntnisse der eigenen Forschung innerhalb der FD mit denen der NW verknüpft. Dabei wird allein anhand einer einzigen Aktivierungsstudie der Frühbeginn der ersten Fremdsprache bereits vor der Schulzeit gefordert (z.B. Götze, 1999). Die zitierte Studie kann diese Forderung aber nicht unterstützen, weil die Aussagekraft ihrer Ergebnisse überbewertet wird. An anderer Stelle (s. Schiffler, 2002) wird versucht, Unterrichtsmethoden mithilfe der NW zu legitimieren, indem Erkenntnisse meist aktueller Studien zitiert werden, die aber kaum oder nicht auf die FD bezogen werden können. Auch wird bei der Rezeption der NW mitunter die neurobiologische Realität zu sehr vereinfacht. In der Regel sind nicht die Handlungsempfehlungen für die unterrichtliche Praxis zu beanstanden, sondern die Art und Weise ihrer Begründung. Die zitierten Studien können zum Beispiel das Leitmotiv des interhemisphärischen Lernens und die damit verbundenen Methoden nicht überzeugend legitimieren.

Gelungene Pionierarbeit: Ein Autor (s. Müller, 2003) stellt in mustergültiger Weise dar, wie Studien der NW für die FD aufbereitet werden können. Dabei wird die Aussagekraft der zitierten Studien in Bezug auf die neuronale Repräsentation von Sprache in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern richtig eingeschätzt.

Spracherwerb als genetisch und umweltbedingter Prozess

Die Fähigkeit zum Spracherwerb wird durch eine genetische, epigenetische und umweltbedingte Komponente determiniert. SES werden inzwischen auch seitens der NG in Kooperation mit der NL erforscht. Dabei wurde festgestellt, dass das Gen FOXP2 die Fähigkeit zum Spracherwerb beeinflusst, wobei der Mechanismus noch weitestgehend unerforscht ist.

Trotz erster Aktivierungsstudien zur UG ist man zur Zeit noch weit davon entfernt, die Metapher Universalgrammatik aufzulösen und durch eine fundierte Beschreibung neuronaler Prozesse zu ersetzen. Zudem zeigt sich aus linguistischer Perspektive, dass die *universals* als Bestandteile des PPM das Ergebnis einer nicht repräsentativen Teilerhebung der Sprachen der Welt sind. Auch sind die *universals* nur in Teilen für alle analysierten Sprachen universell.

Für die FD sind die Erkenntnisse zu genetischen, epigenetischen und umweltbedingten Einflüssen auf die Fähigkeit zum Spracherwerb sowie zum PPM dem Hintergrundwissen zuzurechnen. Wie bei einem Autor geschehen (s. Jacobs, 1988), darf die genetische Komponente nicht ausgeschlossen werden, weil ihm das PPM unplausibel erscheint. Dieser fordert auch, geleitet durch eine falsche Interpretation neurowissenschaftlicher Erkenntnisse, in einer Umgebung zu lernen, die künstlich mit Stimuli angereichert ist.

6 Konnektionismus

Parallel distributed processing (PDP) or connectionist models are systems that “learn without rules”, thus providing an alternative to more traditional symbolic grammars.

Maggie E. Sokolik, 1990

The parallel distributed processing approach to thought and memory has interesting implications for language learning and use.

Wilga M. Rivers, 1991

Computer modelling experiments which misrepresent the nature of the learning problem or the linguistic input will teach us nothing.

Susanne E. Carroll, 1995

[...] although the jury is still out at present, there appears to be room for some optimism in that new developments in connectionism might soon make neural networks compatible with symbolic systems in their capacity to model complex forms of knowledge and processing/learning.

Jan Hulstijn, 2002

Das menschliche Gehirn ist das komplexeste Organ, das die Evolution hervorgebracht hat. Es setzt sich aus schätzungsweise 100 Milliarden Neuronen zusammen. Diese sind hochgradig miteinander vernetzt, sodass man heute von bis zu 100 Billionen interneuronalen Verbindungen ausgeht. Man vergleiche: Auf der Erde leben ca. 6,3 Milliarden Menschen; dies ist ein 16 000-fach geringerer Wert. Aus zellbiologischer Sicht sind die Neuronen aller Tiere prinzipiell gleich aufgebaut. Allerdings haben sich weitreichende Unterschiede im Laufe der Evolution hinsichtlich der Organisation der Neuronen ausdifferenziert. Dies führte unter anderem zur Entwicklung der bedeutendsten Fähigkeit des Menschen, der Sprache.

Das heutige Verständnis von vernetzten Neuronen basiert auf der Neuronentheorie Cajals. Nach der später entwickelten Theorie des zellulären Konnektionismus arbeiten Neuronen in funktionellen Gruppen. Vor allem die Arbeiten Wernickes bewiesen, dass miteinander verbundene Areale des Gehirns jeweils verschiedene Verhaltensreaktionen vermitteln. Diese Annahme spiegelt sich im Wernicke-Geschwind Modell der Sprachverarbeitung wider.

Trotz der Komplexität des menschlichen Gehirns ist es möglich, die Beziehung zwischen seiner Form und Funktion zu ergründen. Kein Neurowissenschaftler beschäftigt sich zugleich mit 100 Milliarden Neuronen, wenn er die Signalübertragung zwischen Neuronen untersuchen möchte: Es ist sowohl notwendig, zu abstrahieren als auch die Zahl der untersuchten Neuronen zu reduzieren. Aufschlussreiche Erkenntnisse liefern auch Modelle als vereinfachte Repräsentanten der Realität. Bei künstlichen neuronalen Netzen handelt es sich um solche Modelle, mit denen sich die NI beschäftigt.

Fragestellungen

Die eingangs vorgestellten Zitate entstammen Publikationen der Spracherwerbsforschung und weisen auch fremdsprachendidaktische Bezüge auf (Rivers, 1991; Hulstijn, 2002). Zunächst scheint es, als stieße eine Alternative zur Symbolgrammatik (s. Sökolik, 1990) auf Akzeptanz (s. Rivers, 1991). Später wachsen Zweifel, die darauf beruhen, dass manche Modelle die Realität nicht ausreichend repräsentierten (s. Carroll, 1995). Einige Jahre später erscheint es so, als ob sich zukünftig zwei ursprünglich antithetische Paradigmen der Informationsverarbeitung in einem hybriden Modell vereinigen könnten (s. Hulstijn, 2002).

Es stellt sich folglich die Frage, inwiefern die FE Erkenntnisse der NW zu biologischen und künstlichen neuronalen Netzen sowohl in didaktische Theorien als auch in Handlungsempfehlungen für die unterrichtliche Praxis integriert. Die Analyse basiert auf folgenden Fragestellungen:

1. Welche Erkenntnisse der NW zu künstlichen neuronalen Netzen werden durch die FE rezipiert?
2. Erfolgt die Rezeption fachlich korrekt und entspricht sie dabei dem jeweiligen Erkenntnisstand der NW?
3. Inwiefern dient diese Rezeption der Legitimation oder Ablehnung sowohl von Theorien zum Spracherwerb als auch von Handlungsempfehlungen für den FU?
4. Was können diese Erkenntnisse überhaupt für die FD und den FU leisten und was nicht?
5. Übersieht die FE für sie relevante Erkenntnisse?

Methode

Diese Fragestellungen bedingen die der Analyse zugrunde liegende Methode. Vorbereitend habe ich ausgewählte Publikationen der FE im beschriebenen Zeitraum gesichtet. Dazu zählen auch solche, die der Spracherwerbsforschung entstammen und seitens der ausgewerteten *abstracting journals* als wertvoll für die FE beurteilt werden. Für diesen Teil der Arbeit habe ich dann die Rezeption der NW zu biologischen und künstlichen neuronalen Netzen erfasst und gruppiert. Für die Analyse ergeben sich daher folgende Schwerpunkte:

- biologische Plausibilität konnektionistischer Modelle
- Rezeption der konnektionistischen Modellbildung
- Schlussfolgerungen aus Ergebnissen der konnektionistischen Modellbildung für die Theorie und unterrichtliche Praxis

Um einen Abgleich mit den NW zu erzielen, habe ich ausgewählte Publikationen gesichtet, die biologische und künstliche neuronale Netze behandeln. Auswahlkriterien waren hierbei vor allem Standardwerke, Aktualität, der Bekanntheitsgrad der AutorInnen sowie bei Zeitschriften unter anderem ihr *impact factor*.

6.1 Biologische neuronale Netze

Es ist die Komplexität der Verbindungen zwischen vielen Elementen,
nicht diejenige einzelner Komponenten,
die eine komplexe Informationsverarbeitung möglich macht.

Eric Kandel, 1996b

Das facettenreiche Verhalten des Menschen entstammt seinem komplexen Nervensystem. Rezeptoren für verschiedenste Sinnesmodalitäten registrieren Ereignisse in der Umwelt. Ein nicht enden wollender Informationsfluss zum Gehirn führt dazu, dass es Wahrnehmungen konstruiert und Verhaltensreaktionen hervorruft. Diese Leistungen basieren auf der eingangs beschriebenen hohen Zahl vernetzter Neuronen. Auch wenn Neurowissenschaftler mehr als 1 000 Typen von Neuronen ausgemacht haben, weisen sie aus morphologischer Sicht gemeinsame Merkmale auf. Das komplexe menschliche Verhalten beruht nicht auf der Diversität neuronaler Typen, sondern auf der Art und Weise ihrer präzisen Verschaltung (Kandel, 2000c).

Beschäftigt man sich mit künstlichen neuronalen Netzen zur Erforschung des Spracherwerbs, müssen Grundlagen zur Form und Funktion biologischer neuronaler Netze behandelt werden. Dies mag die Grenzen des gewohnten Metiers überschreiten, ist allerdings unabdingbar: Eine konstruktive Modellkritik kann nur erfolgen, wenn die Funktionsweise des realen Pendants bekannt ist. Schließlich steht der Mensch und nicht das Modell im Zentrum des Interesses. Im Folgenden findet sich daher zunächst eine übersichtsweise Darstellung zur Form und Funktion biologischer neuronaler Netze. Sie ist durch die Reduktion auf das Wesentliche geprägt.

Gliazellen und Neuronen sind Bausteine des Nervensystems

Das Nervensystem des Menschen setzt sich aus zwei Zellklassen zusammen, den Gliazellen und den Neuronen.

Gliazellen: Es wird geschätzt, dass Gliazellen die hohe Zahl der Neuronen des Gehirns um das 10- bis 50-fache übersteigt. Ihr Name leitet sich von dem griechischen Wort *glia* für Leim ab. Heute weiß man, dass Gliazellen Neuronen nicht schlichtweg miteinander verbinden, sondern diese in vielfältiger Weise unterstützen: Sie isolieren Neuronen von anderen, haben eine Stützfunktion, ermöglichen eine schnelle Signalweiterleitung, entfernen Relikte abgestorbener Zellen und weisen während der Entwicklung des Gehirns wandernde Neuronen in bestimmte Richtungen – um nur einige Funktionen zu nennen (Kandel, 2000c; Fields, 2004).

Neuronen: Aus morphologischer Sicht lässt sich ein typisches Neuron in vier Bereiche unterteilen, und zwar in das Soma, die Dendriten, das Axon und präsynaptische Endungen (s. S. 59, Abb. 6.1). Die Form und Funktion dieser vier Bereiche sei nachfolgend erläutert.

Der Begriff Soma¹⁰ beschreibt eine 50 µm große Region des Neurons, in der zentrale metabolische Prozesse ablaufen. Dort befinden sich auch der Zellkern und der Syntheseapparat für Proteine. Dem Zellkörper entspringen zwei verschiedene Arten von Fortsätzen: Zum einen finden sich einige kurze und verästelte Dendriten¹¹, die dem Neuron Signale anderer Neuronen zuleiten; je nach Neuron finden sich 8 000 bis 150 000 Kontaktstellen¹², so genannte Synapsen¹³. Zum anderen findet sich ein röhrenförmiges Axon¹⁴, das Signale des Neurons anderen Neuronen zuleitet. Dies geschieht bei einem Durchmesser von 0,2 bis 20 µm¹⁵ über eine Axonlänge zwischen 100 µm und 3 m. Ähnlich einem sich aufspaltenden Faden endet ein Axon in bis zu 1 000 Verzweigungen mit einem mehr oder weniger kugelförmigen Ende, den präsynaptischen Endungen. Diese Verzweigungen stellen Kontakte zu anderen Neuronen her.

Das Neuron, das ein Signal sendet, wird als präsynaptisches Neuron bezeichnet; dasjenige, welches das Signal empfängt, wird als postsynaptisches Neuron bezeichnet. Zwischen beiden Neuronen befindet sich ein so genannter synaptischer Spalt, den das Signal überwinden muss.

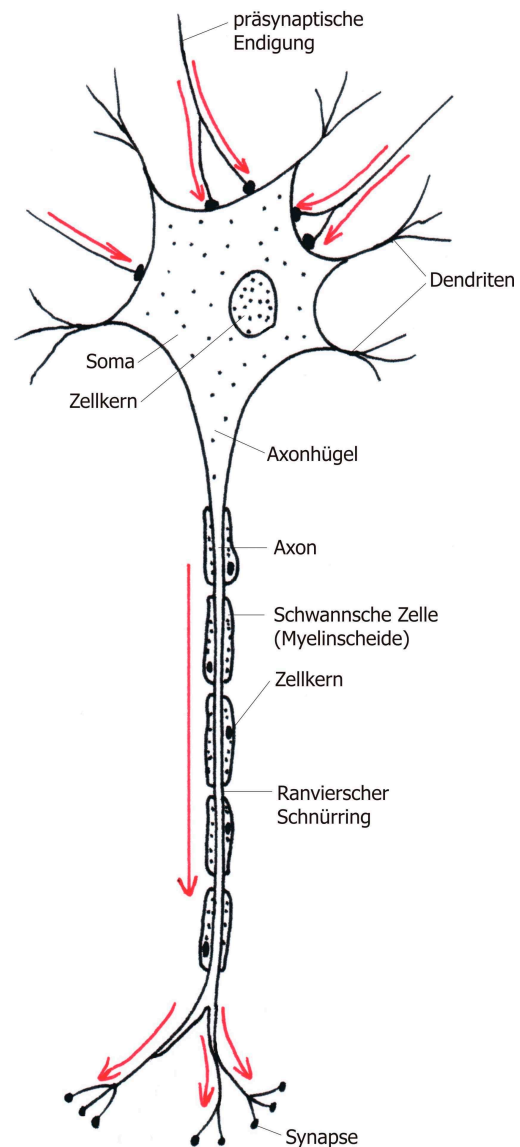


Abb. 6.1: Schema eines Neurons der Vertebraten. Die roten Pfeile zeigen den Fluss der Information.

Neuronen weisen elektrochemische Prozesse auf

Ein Neuron wird wie jede andere tierische Zelle durch eine Zellmembran räumlich begrenzt. An dieser Membran herrscht eine charakteristische Verteilung von Ionen, elektrisch geladenen Teilchen. Die intrazelluläre Flüssigkeit ist reich an Kaliumionen und organischen Ionen, die positiv geladen sind. Die extrazelluläre Flüssigkeit ist reich an positiv geladenen Natriumionen und negativ geladenen Chloridionen.

¹⁰ zu griech. sōma = Körper. Hier ist der Zellkörper des Neurons gemeint.

¹¹ zu griech. déndron = Baum.

¹² Motoneuron im Rückenmark, das auf Muskeln projiziert, bzw. Purkinje-Zelle im Cerebellum.

¹³ zu griech. sínapsis = Verbindung.

¹⁴ zu griech. áxōn = Achse.

¹⁵ Ein menschliches Haar weist einen Durchmesser von durchschnittlich 80 µm auf.

In der Zellmembran des Neurons befinden sich die Membran durchspannende Poren, welche von Proteinmolekülen gebildet werden. Durch diese Poren können aufgrund ihrer Weite ausschließlich Kaliumionen diffundieren. Dies geschieht, weil die Konzentration von Kaliumionen auf der extrazellulären Seite geringer ist als auf der intrazellulären. Daher wird ein Konzentrationsausgleich für die Kaliumionen angestrebt. Andere Ionen können die Membran beiderseits kaum passieren.

Daher entsteht an der Membran ein Membranpotenzial, das mithilfe von Mikroelektroden und eines Oszilloskops gemessen werden kann. Eine Spannungsmessung ergibt eine Potenzialdifferenz von 70 mV. Die negative Ladung liegt dabei innen, die positive außen. Diese Spannung nennt man Ruhepotenzial (RP). Sie kann nur im Ruhezustand des Neurons gemessen werden (s. Abb. 6.2).

Wird ein Neuron entweder durch einen Reiz oder durch ein anderes Neuron erregt, kann an der Membran des Axons eine kurzzeitige Umpolung der Spannung festgestellt werden. Diese Umpolung dauert etwa 1 ms an und führt zu einer Spannung von +30 mV. Die positive Ladung liegt dabei innen,

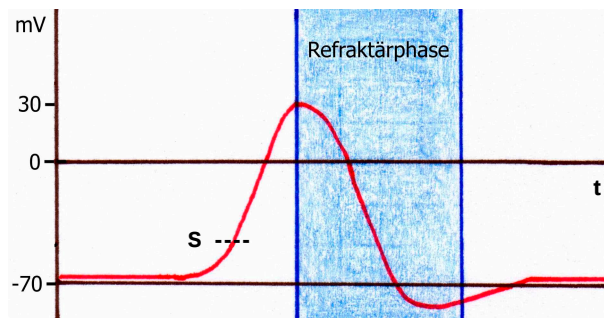


Abb. 6.2: Überschreitet die Depolarisation einen Schwellenwert S, wird ein AP generiert. In der Refraktärphase wird kein zweites AP ausgelöst (oder nur bei höherem Schwellenwert).

die negative außen. Diese Umpolung wird als Aktionspotenzial (AP) bezeichnet (s. Abb. 6.2). Die Generierung eines APs unterliegt dem Alles-oder-nichts-Prinzip: Entweder entsteht ein AP oder nicht; es existieren keine zeitlich kürzeren Signale oder solche mit geringerer Amplitude. Einmal generiert, wandert ein AP als elektrisches Signal ausschließlich unidirektional vom Axonhügel bis zu den präsynaptischen Endungen des Axons. Dies geschieht fehlerfrei mit einer Geschwindigkeit von 1 bis 100 m/s (Kandel, 2000c), umgerechnet mit bis zu 360 km/h.

Gelangt ein AP zu einer präsynaptischen Endung, induziert es die Ausschüttung von Transmittern. Dabei handelt es sich um chemische Botenstoffe, die in die extrazelluläre Flüssigkeit des synaptischen Spalts diffundieren. Das postsynaptische Neuron besitzt in seiner Zellmembran transmitterspezifische Rezeptormoleküle, an die sich die Transmitter anlagern können. Dies führt zur Öffnung von Ionenkanälen. Nun können Ionen aus dem extrazellulären Raum in das Neuron gelangen. Da Ionen elektrisch geladene Teilchen sind, findet eine Verschiebung des elektrischen Potenzials statt.

Man unterscheidet zwischen exzitatorischen und inhibitorischen Neuronen. Je nachdem welcher Transmitter freigesetzt wird, öffnen sich unterschiedliche Ionenkanäle, die entweder positiv oder negativ geladene Ionen die Membran des postsynaptischen Neurons passieren lassen. Strömen positiv geladene Ionen ein, wird die Zellmembran depolarisiert. Man spricht von einem exzitatorischen postsynaptischen Potenzial (EPSP). Strömen negativ geladene Ionen ein, wird die Zellmembran hyperpolarisiert. Man spricht von einem inhibitorischen postsynaptischen Potenzial (IPSP). Eine integrative Gewichtung aller synaptischer Aktivitäten bestimmt, ob ein Schwellenwert überschritten wird. Ist dies der Fall, entsteht am Axonhügel des postsynaptischen Neurons ein

neues AP. Eine sigmoidale Aktivierungsfunktion beschreibt die Wahrscheinlichkeit des Generierens eines APs in Abhängigkeit von der integrativen Gewichtung der einlaufenden Signale.

Das Gehirn verarbeitet Information parallel

Menschliches Verhalten lässt sich prinzipiell in drei Komponenten unterteilen: sensorischer Input, zwischengeschaltete Verarbeitung und motorischer Output. Dabei ist hervorzuheben, dass die meisten interneuronalen Verbindungen die zwischengeschaltete Verarbeitung vermitteln.

Komplexes menschliches Verhalten wird nicht wie bei wirbellosen Tieren durch ein einziges Neuron ausgelöst. Die Informationsverarbeitung innerhalb der genannten Komponenten wird durch eine oder mehrere getrennte Gruppen von Neuronen vermittelt. Eine einzelne Verhaltenskomponente geht gelegentlich mit der Aktivierung ganzer Gruppen von Neuronen einher, die simultan die gleiche oder ähnliche Information verarbeiten. Man spricht dann von paralleler Verarbeitung. Aus evolutiver Sicht stellt dieses Prinzip der Informationsverarbeitung einen Selektionsvorteil dar: Information wird sehr schnell und zuverlässig verarbeitet (Calvin und Ojemann, 1994; Kandel, 2000c).

Cortikale Karten sind Organisationseinheiten des Gehirns

Im Gehirn lassen sich verschiedene neuronale Organisationseinheiten ausmachen, die man als Karten¹⁶ bezeichnet. Die Neuronen, aus denen die Karten bestehen, unterscheiden sich kaum in ihren elektrischen Eigenschaften. Ihre unterschiedlichen Funktionen leiten sich aus der Art und Weise ab, wie sie miteinander verbunden sind. Dies wird während der Entwicklung des Gehirns festgelegt.

Zum einen existieren Neuronengruppen, die nur auf besonderen sensorischen Input antworten. Information einer jeden Sinnesmodalität wie Tasten, Sehen oder Hören wird in einer jeweils anderen Region des Gehirns verarbeitet, wo afferente Neuronen so genannte Karten bilden. Als Beispiele seien die Projektion von Input der Retina auf eine so genannte retinotop Karte angeführt oder auch die somatotop Karte (s. Abb. 18.4 in Kandel und Kupfermann, 1996, S. 335). Diese Karten repräsentieren präzise die Anordnung der jeweiligen Rezeptoren auf der Körperoberfläche – sie sind topologisch geordnet. Dabei spiegeln sie auch die Dichte der Rezeptoren wieder, die mit der Empfindlichkeit auf sensorische Stimuli korreliert ist (Amaral, 2000). So sind beispielsweise die Finger oder die Lippen durch größere Areale repräsentiert als die Beine, obwohl sie nur einen relativ kleinen Teil des Körpers ausmachen.

Zum anderen existieren aber auch topologisch geordnete Karten von eher abstrakten Eigenschaften bzw. Merkmalen. Als Beispiel sei die Karte für das Richtungshören der Eule genannt. Da Karten wie diese ihren Input nicht direkt aus Rezeptoren erhalten, müssen sie während der Ontogenese selbstorganisiert entstehen (Kohonen und Hari, 1999).

¹⁶ Im Englischen spricht man von *brain maps*.

Neuroplastizität bestimmt die Dynamik des Gehirns

Einige Begebenheiten der Umwelt und Ereignisse in ihr sind vorhersagbar, andere wiederum unterliegen einem kaleidoskopischen Wandel. Wahrscheinlich evolvierte das Gehirn aus diesem Grund derart, dass zum einen ein gewisser Anteil seiner Struktur und somit seiner Funktion genetisch und epigenetisch determiniert ist. Zum anderen besitzt es eine hohe Fähigkeit zur lebensbegleitenden Adaptation an die individuelle Interaktion mit der Umwelt. Bereits bei der Geburt des Menschen sind alle Neuronen des Gehirns vorhanden. Daher ging man bis zu den 1980er Jahren noch davon aus, dass das Gehirn ein statisches Organ ist. Die Forschung der letzten 20 Jahre führte zu der Erkenntnis, dass diese Annahme falsch ist: Das Gehirn ist ein äußerst dynamisches Organ, das sich fortlaufend den Erfordernissen der Umgebung anpasst. Das Ausmaß der lebensbegleitenden Adaptation wird neben dem Alter durch den Genotyp bestimmt, mit anderen Worten: durch die Gesamtheit aller Erbfaktoren eines Individuums. Anpassungsvorgänge im Gehirn an die Umwelt werden als Neuroplastizität definiert (Hofmann, 2003; Spitzer, 2003a). Neuroplastizität lässt sich auf verschiedenen Organisationsebenen des Gehirns feststellen, nämlich bei Synapsen, Neuronen und cortikalen Karten (s. Tab. 6.1).

Organisationsebene	Prozess	räumliche Dimension	zeitliche Dimension
Synapse	Langzeitpotenzierung	Nanometer bis Mikrometer	Sekunden bis Stunden
Neuron	Wachstum	Mikrometer	Tage bis Wochen
cortikale Karte	Modifikation von Repräsentationen	Millimeter bis Zentimeter	Monate bis Jahre

Tab. 6.1: Neuroplastizität in Bezug auf unterschiedliche Organisationsebenen (nach Spitzer, 2003a, S. 95).

Für die Diskussion des lebensbegleitenden Lernens muss berücksichtigt werden, dass cortikale Karten nicht nur bedingt durch Erfahrung entstehen, sondern auch lebensbegleitend durch weitere Erfahrung reorganisiert werden können. Dies bedeutet, dass interneuronale Verbindungen fortlaufend modifiziert werden. Hierzu seien sechs Beispiele angeführt:

1. Hashimoto et al. (2004) untersuchten das Phänomen der Neuroplastizität bei MusikerInnen, die Saiteninstrumente spielen. Im Vergleich zur Kontrollgruppe wiesen sie vergrößerte neuronale Repräsentationen der Finger und eine wahrscheinlich höhere Aktivität von Interneuronen innerhalb dieser Repräsentationen auf.
2. Pascual-Leone et al. (1995) haben nachgewiesen, dass bei Menschen die alleinige Vorstellung von Fingerbewegungen ausreicht, um das Areal des motorischen Cortex zu vergrößern, das bei realen Fingerbewegungen aktiviert wird.
3. Wurden erwachsene Affen trainiert, drei ihrer Finger intensiver zu gebrauchen, vergrößerten sich die cortikale Repräsentationen dieser Finger (Kandel, 2000a).

4. Individuen mit Syndaktylie weisen im Gegensatz zu nicht betroffenen keine somatotopische Repräsentation einzelner Finger auf. Werden die Finger chirurgisch getrennt, entsteht im Cortex eine Repräsentation der einzelnen Finger (Mogilner et al., 1993).
5. Giraud et al. (2001) berichten, dass Cochlea-Implantate bei Menschen zu Vorgängen der Reorganisation kortikaler Areale führen. Dadurch konnte die Lebenssituation gehörloser Menschen verbessert werden.
6. Kilgard und Merzenich (1998) sowie Feuerstein et al. (1992) zeigten zudem, dass der Neuromodulator Acetylcholin die kortikale Plastizität beeinflusst. Die Konzentration von Acetylcholin nimmt mit steigendem Alter ab, was sich letztlich auf Gedächtnisleistungen auswirkt (s. Kap. 7.5).

Was geschieht eigentlich, wenn sich erfahrungsbedingt cortikale Karten vergrößern? Könnten nicht benachbarte Karten beeinträchtigt werden? Spitzer (2003a) hat dies recherchiert: Er verweist auf Kossut und Siucinska (1998), die bei Mäusen zeigten, dass sich lediglich überschneidende Bereiche kortikaler Areale ausbilden. Folglich wird die Funktionalität betroffener Karten nicht eingeschränkt. Auch wenn es Spitzer legitim erscheint, diese Erkenntnis auf den Menschen zu übertragen, sollte dieses Phänomen zukünftig auch am Menschen selbst untersucht werden. Hierzu müssen noninvasive Methoden der Erkenntnisgewinnung optimiert werden, um genauere Messwerte zu erhalten.

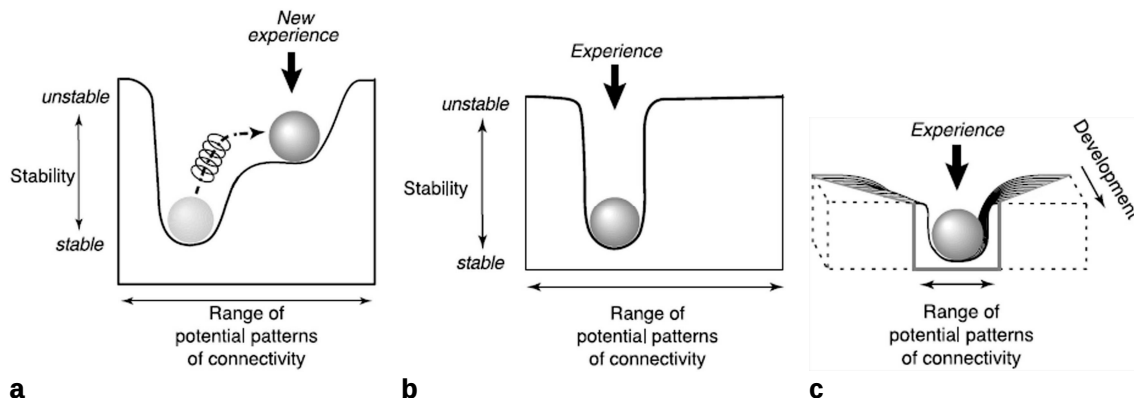
Sensible und kritische Perioden beeinflussen den Spracherwerb

A deeper understanding of critical periods will open new avenues to „nurture the brain“ – from international efforts to link brain science and education to improving recovery from injury and devising new strategies for therapy and lifelong learning.

Tako K. Hensch, 2004

Trotz der beschriebenen Neuroplastizität des Gehirns können einige Fähigkeiten nur zu bestimmten Zeiten erworben werden. Viele interneuronale Verbindungen und daraus resultierende Verhaltensprogramme werden durch frühontogenetische Erfahrung determiniert. Geschieht dies in einem Zeitraum, in dem die erfahrungsbedingte Adaptation an die Umwelt weitaus effizienter gelingt als im späteren Leben, spricht man von einer sensiblen Periode. In diesem Entwicklungsstadium verbinden sich Neuronen mit ausgewählten anderen und bestimmen so ihren Input. Während einer sensiblen Periode lernt es sich folglich leichter. Danach können die interneuronalen Verbindungen zwar auch noch verändert werden, aber dies kostet mehr Energie in Form von Aufmerksamkeit, Vigilanz und/oder Belohnung (s. S. 64, Abb. 6.3a; Knudsen, 2004). Eine kritische Periode ist eine Sonderform der sensiblen Periode, weil in einem bestimmten Entwicklungsstadium Erfahrung die weitere typische Entwicklung interneuronaler Verbindungen irreversibel determiniert. Bleibt diese Erfahrung aus, bleibt auch die weitere Ent-

wicklung dieser interneuronalen Verbindungen irreversibel aus – mit fatalen Folgen für das Individuum (s. Abb. 6.3b, 6.3c; Knudsen, 2003).



Electronic and print permission granted by MIT Press Journals. © 2004 by the Massachusetts Institute of Technology.

Abb. 6.3: Graphische Darstellung des Konzepts (a) der sensiblen und (b, c) kritischen Periode anhand der Landschafts-Metapher. Die Landschaft repräsentiert die möglichen neuronalen Vernetzungsmuster. Eine Kugel repräsentiert Erfahrung in Form von Stimuli, die die Landschaft durch Täler formen und ihr ein individuelles Gesicht geben. Diese Formung der Landschaft entspricht der Ausbildung eines bestimmten neuronalen Vernetzungsmusters infolge von Erfahrung. (a) Ist ein solches Vernetzungsmuster einmal etabliert, kann es durch neue Erfahrung nach Abschluss einer sensiblen Periode durch einen gewissen Energieaufwand im Bereich der möglichen Vernetzungsmuster noch verändert werden. Handelt es sich hingegen um eine kritische Periode, kann das neuronale Vernetzungsmuster nicht mehr auf natürliche Weise verändert werden. Dies kann (b) energetisch erklärt werden, indem man annimmt, dass die Energie einer neuen Erfahrung niemals ausreichen wird, um ein bestehendes neuronales Vernetzungsmuster zu verändern: Die Kugel kann das Tal nicht mehr verlassen (vgl. a). Eine kritische Periode kann auch (c) mechanisch erklärt werden, indem man annimmt, dass keine alternativen neuronalen Vernetzungen mehr möglich sind: Die Kugel befindet sich im einzig möglichen Tal, weil die sie umgebende Landschaft nicht mehr existiert (Knudsen, 2004, S. 1420).

Das Zeitfenster einer kritischen Periode ist allerdings begrenzt flexibel: Kommt es nicht zur notwendigen Erfahrung, verharren die sich entwickelnden neuronalen Schaltkreise für eine gewisse Zeit in einer Art Wartezustand. Kritische Perioden sind somit nicht nur vom Entwicklungsstadium abhängig, sondern auch von Umweltreizen (Hensch, 2004; Knudsen, 2004). Im Folgenden wird ein Beispiel für eine kritische Periode des Spracherwerbs beschrieben, die Differenzierung phonologischer Kategorien. Bereits nach der Geburt unterscheiden Säuglinge menschliche Sprache von anderen Lauten und differenzieren zwischen phonologischen Kategorien. Im Alter von sechs Monaten unterscheiden Säuglinge dabei noch zwischen phonologischen Kategorien aller Sprachen. Diese Fähigkeit bildet sich schnell zurück. Bereits im Alter von 10 Monaten werden nur noch Phoneme der Muttersprache unterschieden (Grimm und Weinert, 2002). Doch nur wenig Sprachkontakt mit einer anderen Sprache als der Muttersprache kann dazu führen, dass die kategoriale Lautunterscheidung für diese andere Sprache erhalten bleibt (Doupe und Kuhl, 1999; Hensch, 2004). Dabei zeigte sich, dass der geringe Sprachkontakt nicht durch bloße Sprachdarbietung mithilfe eines Datenträgers ersetzt werden kann: Der zwischenmenschliche Kontakt ist entscheidend (Hensch, 2004).

Kritische Perioden gibt es auch bei der Entwicklung des stereoskopischen Sehens, bei der Herausbildung der Fähigkeit, Formen und Gesichter unterscheiden zu können sowie beim Sozialverhalten (Kandel et al., 2000; Knudsen, 2004). Nach Lenneberg (1972), endet die Fähigkeit zum typischen Spracherwerb mit der Adoleszenz. Knudsen (2003, 2004) und Hensch (2004) sehen für den Erstspracherwerb ebenfalls eine eindeutige Korrelation zwischen dem Erwerbsalter und der sprachlichen Kompetenz. Fälle sprachlich-sozialer Isolation zeigen dies besonders deutlich (Friederici et al., 2002). Das bekannteste Beispiel liefert Curtiss (1977), die das Schicksal des Mädchens Genie beschreibt.

Es handelt sich meines Erachtens um eine zu starke Vereinfachung der Realität, wenn man lediglich von ‚der‘ kritischen Periode des Spracherwerbs spricht (s.u.). Ich meine, dass diese Vereinfachung zu drei Problemen führt. Erstens wird die oben erläuterte Differenzierung zwischen sensiblen und kritischen Perioden ausgeblendet. Zweitens wird unter anderem dadurch nicht deutlich, dass sehr wahrscheinlich mehrere aufeinander aufbauende sensible und kritische Perioden den Spracherwerb steuern, wie es bei höher entwickelten Spezies vorkommt und auch als universelles Entwicklungsprinzip einleuchtet:

„For example, the analyses of phonetics, semantics, grammar, and prosody are likely to be accomplished by distinct hierarchies of neural circuits. The functional properties of each of these hierarchies are shaped by experience with language.“ (Knudsen, S. 1421)

Man bedenke, dass Sprache von vielen sensorischen, motorischen und kognitiven Fähigkeiten abhängt, die alle durch hierarchisch organisierte neuronale Netze vermittelt werden. Dabei ist mit mehreren sensiblen und kritischen Perioden während der Entwicklung dieser Fähigkeiten zu rechnen, die aber größtenteils noch genau beschrieben werden müssen. Ein drittes Problem besteht darin, dass ‚die‘ kritische Periode des Spracherwerbs keine Unterscheidung zwischen dem Erst- und Zweitsprachenerwerb zulässt. Seit Lenneberg (1972) wird intensiv diskutiert, welche Relation zwischen dem Erstspracherwerb und dem postpubertären Zweitsprachenerwerb besteht (s. Friederici et al., 2002; Hensch, 2004). Für Knudsen (2003) gilt es als erwiesen, dass eine sehr gute Beherrschung sowohl der Muttersprache als auch einer Fremdsprache erreicht wird, wenn beide vor dem siebten Lebensjahr erworben werden. Lebensbegleitende Plastizität gilt nicht für phonologische (Kuhl et al., 2003) und sehr wahrscheinlich nicht für grammatische Leistungen (Doupe und Kuhl, 1999; Hahne und Friederici, 2001; Kuhl et al., 2003; Newport, 2002).

Es wird angenommen, dass kompensatorische Fähigkeiten dazu beitragen können, ausgebliebene oder falsche Erfahrung in Bezug auf kritische Perioden auszugleichen. Dies könnte erklären, weshalb sich Verhaltensleistungen mit zunehmender Erfahrung verbessern, obwohl in der Hierarchie der Entwicklungsabschnitte angesiedelte kritische Perioden nicht genutzt wurden, weil die betroffenen neuronalen Netze keine Aktivierung durch Stimuli erhielten (Knudsen, 2004): „[...] irreversible changes in a neural circuit do not necessarily translate into irreversible changes in a complex behavior.“ (S. 1421)

Kompensatorische Fähigkeiten des Gehirns in Bezug auf ungenutzte kritische Perioden gepaart mit der Eigenschaft sensibler Perioden, zeitlebens unter höherem energetischem Aufwand neuronale Netze verändern zu können, liefern meines Erachtens die nach heutigem Kenntnisstand schlüssigste Erklärung, weshalb es mitunter Menschen gelingt, im Erwachsenenalter ihre erste Fremdsprache oder auch eine Kunstsprache wie BROCANTO (s.u.) mit sehr guten Leistungen zu erwerben. Idealerweise verfügen Erwachsene über folgende Hilfen, eine Fremdsprache zu erwerben: Sie besitzen eine vollständig ausgebildete Muttersprache als Referenzmodell, sie können ihre Muttersprache unterschiedlich gut beschreiben, sie verfügen über verschiedene Methoden des Problemlösens, können weitere Sprachen zum Vergleich heranziehen und können zielgerichtet lernen (Johnstone, 2002). Hinzu gesellen sich auch sozialintegrative Motivationsfaktoren (Berndt, 2001). Mithilfe dieser idealtypischen Ausstattung und hohem Sprachkontakt kann es Menschen auch im Erwachsenenalter gelingen, quasi muttersprachliche Kompetenz zu erwerben, „selbst im Bereich der Aussprache, obwohl hier am ehesten Abstriche gemacht werden müssen“ (Butzkamm, 2004, S. 254). Die Studien mit älteren Lernenden von McClelland et al. (2002) und Callan et al. (2003) untermauern diese Auffassung.

Im Umkehrschluss erklärt sich aber auch, weshalb die meisten Menschen sehr gute fremdsprachliche Leistungen erwerben, wenn sie in jungen Jahren optimal gefördert und gefordert werden. Die von Knudsen (2004) beschriebene hierarchisch organisierte Entwicklung neuronaler Netze erklärt auch, weshalb ein verpasster Mutterspracherwerb (s. Curtiss, 1977) kaum Chancen für seinen späteren typischen Erwerb eröffnet – geschweige denn eine Fremdsprache zu erwerben: Es wurden zu viele kritische Perioden auf basalen Entwicklungsstufen verpasst, was nicht kompensiert werden kann. Der Mutterspracherwerb ist folglich kein „ontogenetisches Hindernis für den Fremdspracherwerb“ (Figge, 2000, S. 511), sondern die entscheidende Voraussetzung dafür, überhaupt eine Fremdsprache erwerben zu können. Zudem hat sich gezeigt, dass die sprachliche Kompetenz in der Erstsprache mit der der Zweitsprache korreliert ist (Mayberry und Lock, 2003; Butzkamm, 2004).

Eine Studie von Friederici et al. (2002) fügt sich allerdings kaum in die bisherigen Ausführungen ein. In dieser Studie wurden erwachsene ProbandInnen in der Kunstsprache BROCANTO trainiert. Anschließend wurden ERP-Messungen durchgeführt. Während dieser Messungen beurteilten die ProbandInnen die grammatische Richtigkeit von Sätzen in BROCANTO. Entgegen bisheriger Auffassungen zeigte sich, dass auch erwachsene ProbandInnen die gleichen ERP-Muster aufwiesen wie MuttersprachlerInnen bei natürlichen Sprachen. ProbandInnen hingegen, die BROCANTO kaum trainiert hatten, produzierten diese ERP-Muster nicht. Als Ergebnis halten die AutorInnen fest: „This way, we could show that with a high degree of language proficiency the brain mechanisms involved in L1 and L2 processing are similar even when the L2 has been learned late.“ (S. 529) Ferner schließen sie: „[...] the strong version of the age-related critical period hypothesis based on maturational neural constraints needs to be reconsidered.“ (S. 534) Ich gebe zu bedenken, dass anhand von ERP-Messungen nicht bestimmt werden kann, welche „brain mechanisms“ in Bezug auf hierarchisch organisierte neuronale Netze eine Erst- und Zweitsprache verarbeiten. Daher stehen die gewonnenen Da-

ten nicht im Widerspruch zu den bisherigen Ausführungen zu sensiblen und kritischen Perioden. Die Daten klären nicht, ob den ERP-Messwerten bei der Verarbeitung des im Erwachsenenalter erlernten BROCANTO neuronale Aktivitäten kompensatorischer Mechanismen des Gehirns zugrunde lagen oder ob genau die neuronalen Netze aktiviert wurden, die auch die Muttersprache vermitteln. Wie ich oben beschrieben habe, wird die biologische Realität zu sehr vereinfacht, wenn man von ‚der‘ kritischen Periode des Spracherwerbs spricht.

Die nächsten Jahrzehnte neurowissenschaftlicher Forschung werden sicherlich dazu beitragen, die Hierarchie sensibler und kritischer Perioden während der Entwicklung kognitiver Leistungen detaillierter als heute zu verstehen.

Das Phänomen der kritischen Perioden beeinflusst die Fachdidaktik Englisch und Spracherwerbsforschung

In the sixties the mistake was made of expecting miracles merely by starting young.
The miracles have not come about. Starting late as such is not the answer either.

Hans H. Stern, 1976

Viele VertreterInnen der FE und Spracherwerbsforschung stellen fest, dass mit steigendem Alter eine Fremdsprache immer ineffizienter erworben wird (z.B. Singleton, 1989, 2000; Westphal, 1989; Patkowski, 1990; Wode, 1994; Slavoff und Johnson, 1995; Bialystok, 1997; Bongaerts et al., 1997; Guion et al., 2000; Ullman, 2001; Petit, 2002; Butzkamm, 2004). Viele erklären dieses Phänomen anhand kritischer Perioden, was ich im Folgenden anhand einiger Beispiele skizziere.

Westphal (1989) sieht im Ende der pubertären Entwicklungsphase eine Grenze des effizienten Spracherwerbs, definiert jedoch nicht, was er als effizient erachtet. Eine vergleichbare Sichtweise findet sich bei Chomsky (1988): „Something must happen to the brain at the age about the time of puberty.“ (S. 179) Hierbei handelt es sich um eine unscharf formulierte Hypothese, denn eine Definition des entscheidenden „something“ bleibt aus. Westphal spricht von einer kritischen Periode des effizienten Spracherwerbs und interpretiert sie im Kontext des LAD nach Chomsky. Die metaphorische Bezeichnung Spracherwerbsmodul ist allerdings wenig hilfreich, da sie dazu verleitet, sich von der biologischen Realität zu entfernen. Ohne eine konkretere Vorstellung des LAD integriert Westphal es in seine Diskussion: „As is very well known, the LAD becomes relatively inefficient after puberty, although not completely dysfunctional since language acquisition is no doubt possible during adulthood.“ (S. 87) Es geht aber nicht darum, ob die Möglichkeit zum Spracherwerb im Erwachsenenalter besteht oder nicht. Vielmehr muss zum einen zwischen dem Erstspracherwerb und dem fakultativen Zweitspracherwerb differenziert werden. Zum anderen muss unterschieden werden, dass der erreichbare Grad der Sprachbeherrschung bezüglich des Erst- und Zweitspracherwerbs erhebliche Unterschiede aufweist, wenn der Spracherwerb erst im Erwachsenenalter beginnt. Im Weiteren integriert Westphal als Argumentationshilfe auch Chomskys UG.

Dabei wird nicht deutlich, dass das PPM als Modell des Spracherwerbs unvollständig ist, insbesondere hinsichtlich der *universals* der UG. Ein Bezug zu den NW ist bis auf die Einstreuung weniger Begriffe nicht zu erkennen.

Auch Patkowski (1990) spricht von einer kritischen Periode, die er auf den Fremdsprachenerwerb bezieht. In allen Studien hinsichtlich der Effizienz des Fremdsprachenerwerbs würde vor allem das Alter des ersten Kontakts als entscheidender Faktor betrachtet. Zur Erklärung interpretiert er Chomskys LAD als einen fördernden biologischen Faktor, der bei jüngeren LernerInnen stärker wirkt als bei älteren. Ein Bezug zu den NW ist nicht erkennbar.

Wie Westphal betrachtet Wode (1994) ohne Verweis auf die NW die kritische Periode als einen Zeitpunkt, nach dem effizientes Sprachenlernen nicht mehr möglich ist. Er sieht die Notwendigkeit, diesen Zeitpunkt zu bestimmen und stellt fest: „No research appears to have successfully identified such a developmental point.“ (S. 328) Die Suche nach einem Zeitpunkt erscheint mir verfehlt; vielmehr ist aus biologischer Sicht beim Menschen von einem graduellen Schließen des Zeitfensters sowohl bei kritischen als auch bei sensiblen Perioden auszugehen.

Die zitierten AutorInnen der FE plädieren entweder explizit für die Existenz einer kritischen Periode in Bezug auf den Spracherwerb oder rufen implizit diesen Gedanken hervor. Einige differenzieren dabei nicht zwischen dem Erst- und Zweitsprachenerwerb.

Immer wieder wird auch über Menschen mit ausgezeichneten fremdsprachlichen Leistungen berichtet, wobei ihr Fremdsprachenerwerb erst im Erwachsenenalter einsetzte (s. Singleton und Ryan, 2004). So untersuchten Ioup et al. (1994) die sprachliche Leistung einer Probandin, die erst nach ihrer Adoleszenz Arabisch gelernt hat. Ihre sehr guten Leistungen führen sie auf eine „neuropsychological brain organization that typifies talented language learners“ (S. 93) zurück. Diese Erklärung bedarf weiterer Konkretisierung, was nicht geschieht. Der Begriff der neuropsychologischen Hirnorganisation klingt eindrucksvoll, ist jedoch gehaltlos. Dennoch darf das Phänomen nicht übergangen werden. Zu einer ähnlichen Erkenntnis wie Ioup et al. gelangt Grotjahn (1998). Er referiert in einem gut strukturierten Übersichtsartikel Ansätze, in denen die kritische Periode des Mutterspracherwerbs mit der Abnahme der Neuroplastizität erklärt wird; erst später hat ein Transfer dieser Erklärung auf den Fremdsprachenerwerb stattgefunden, um vor allem den Akzent zu erklären. Grotjahn meint, dass neben dem Altersfaktor auch soziale und kulturelle Faktoren wirken. So habe man beispielsweise nachgewiesen, dass auch ältere MigrantInnen „eine akzentfreie Aussprache erwerben können“ (S. 52). Dieses Phänomen versucht Grotjahn anhand motivationaler Faktoren zu erklären, wie es auch bei anderen AutorInnen geschieht, aber wenig überzeugt. Auch wird auf intensives Üben und auf eine nicht weiter erläuterte überdurchschnittliche Flexibilität des Gehirns hingewiesen (s. Ioup et al., 1994; Bongaerts et al., 1997). Gelegentlich werden zudem Lennebergs Arbeiten zu kritischen Perioden in Bezug auf die Neuroplastizität des Gehirns zitiert (s. Patkowski, 1990; Ioup et al., 1994; Wode, 1994; Bongaerts et al., 1997; Guion et al., 2000).

Auf der Erforschung der kritischen Periode des Spracherwerbs basieren innerhalb der FE Studien und Diskussionen, die den frühen Beginn der ersten Fremdsprache fordern (z.B. Beck, 2004). Sauer (2004) macht als ausgewiesener Experte der FD deutlich,

dass das Einstiegsalter ein wichtiger Faktor effizienten Fremdspracherwerbs ist. Insgesamt zeichnet sich in der FD die Tendenz zu der Auffassung ab, dass ein früher Start des Zweitspracherwerbs auf lange Sicht zu den besten Leistungen führt (s. Johnstone, 2002; Abb. 6.4). Die Begründung dieser Ansicht erfolgt aber meist unzulänglich – nämlich in Bezug auf eine kritische Periode des Spracherwerbs. Singleton und Ryan (2004) beschäftigen sich ebenfalls mit Leistungen beim Spracherwerb in Abhängigkeit des Erwerbsalters. Nach meinen Recherchen handelt es sich um die aktuellste und umfassendste Publikation innerhalb der FD zu diesem Thema. Die beiden Autoren gelangen unter anderem zu folgendem Ergebnis:

„With specific regard to L2 acquisition, it is no longer possible to accept the view that younger L2 learners are in all respects and at every stage of learning superior to older learners, nor that older learners are in all respects and at every stage of learning superior to younger learners. [...] Concerning explanations for age-related effects, it is difficult not to infer that talking about *an* age factor may be misconceived, and that we should rather be thinking in terms of a range of age-related factors. [...] In other words, the idea of a critical period specifically for language development may well have had its day.“ (S. 226)

Dieses Ergebnis geht aus einer integrativen Betrachtung neurowissenschaftlicher, psychologischer, linguistischer und fachdidaktischer Aspekte hervor und lässt sich problemlos mit meinen Ausführungen zu sensiblen und kritischen Perioden verknüpfen. Singleton und Ryan differenzieren allerdings nicht zwischen sensiblen und kritischen Perioden wie ich es vorgenommen habe, um letztlich eine Erklärung zu liefern, weshalb es nicht die eine kritische Periode des Fremdspracherwerbs geben kann und weshalb Erwachsene LernerInnen einer Fremdsprache in Einzelfällen die gleichen hohen Leistungen erbringen können wie Kinder.

Welche Schlüsse lassen sich aus diesen Erkenntnissen für die FD und den FU ziehen? Ich vertrete die Auffassung, dass Lernende einer Fremdsprache diese in jedem Alter so erwerben können, dass sie in dieser Sprache kommunizieren können – womit bereits ein wesentliches Ziel des FU erreicht ist. Ein weiteres Ziel besteht allerdings darin, eine möglichst muttersprachliche Kompetenz in allen Teilaspekten von Sprache zu erreichen. Dies erweist sich mit steigendem Erwerbsalter für manche Teilaspekte von Sprache als zunehmend komplizierter, wenn nicht gar unmöglich. Ein häufig apostrophiertes Beispiel ist die Schwierigkeit japanischer Erwachsener, die Phoneme /l/ und /r/ sowie /b/ und /v/ zu unterscheiden (Logan et al., 1991; McClelland et al., 2002; Callan et al., 2003). Unter natürlichen Bedingungen gelingt dies nach Callan et al. (2003)

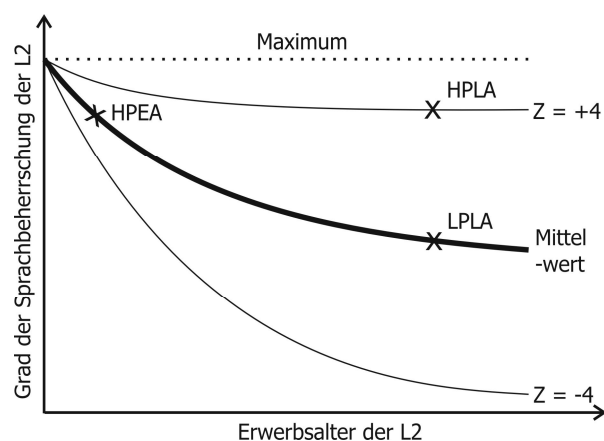


Abb. 6.4: Theoretische Verteilung des Grads der Sprachbeherrschung der Zweitsprache als Funktion des Erwerbsalters. HPEA = gute Frühbeginner, HPLA = gute Spätbeginner, LPLA = weniger gute Spätbeginner (nach Perani et al., 1998). Aufgrund der fehlenden Skalen spiegelt der Graph lediglich einen Trend wider. Ob der Grad der Sprachbeherrschung allein vom Erwerbsalter abhängt, ist fraglich und muss weiter untersucht werden.

selbst nach langjährigem Sprachkontakt nicht mehr, was als Effekt einer kritischen Periode für die Unterscheidung phonologischer Kategorien interpretiert werden kann. Überraschenderweise kann mittels eines ausgefeilten, intensiven Trainings diese Fähigkeit mit Einschränkungen für nicht muttersprachliche Phoneme wieder hergestellt werden (McClelland et al., 2002; Callan et al., 2003). Eine ähnliche Studie wurde von Golestani et al. (2004) durchgeführt, die die Fähigkeit von zehn einsprachig aufgewachsenen englischen MuttersprachlerInnen untersuchten, nach fünfstündigem Training retroflexe von dentalen Konsonanten zu unterscheiden. Es zeigte sich zwar im statistischen Mittel eine Verbesserung der phonetischen Unterscheidungsfähigkeit, allerdings mit erheblichen individuellen Unterschieden. Sicherlich wäre es interessant, mehr über den Langzeiteffekt des Trainings zu erfahren. Weil die Fähigkeit, muttersprachliche Phoneme von nicht-muttersprachlichen zu unterscheiden, bereits nach dem sechsten Lebensmonat beginnt (Golestani et al., 2004), sehe ich in Bezug auf diesen Aspekt kaum Handlungsmöglichkeiten für den FU.

Da sehr wahrscheinlich mindestens eine sensible oder kritische Periode für den Erwerb der sprachspezifischen Grammatik existiert, ist man heute gut beraten, diese in ihren Grundzügen früh und regelmäßig zu üben. In Kap. 8 werde ich eine Begründung entwickeln, weshalb dies regelmäßig geschehen muss und vor allem bei jungen Lernenden im Grundschul-Alter unter Berücksichtigung der Entwicklung des metasprachlichen Bewusstseins auf keinen Fall regelgeleitet (s. Kap. 7.3) erfolgen darf. Auf lange Sicht eignen sich Unterrichtseinheiten, in denen die Lehrenden die Fremdsprache verwenden, die Lernenden aber zunächst in ihrer Muttersprache sprechen dürfen. Dabei werden sie in kleinen Schritten immer mehr an den aktiven Gebrauch der Fremdsprache herangeführt. Auf diese Weise entwickeln die Lernenden ein Gefühl für die Grammatik der Fremdsprache. Zudem sollte das phonologische Bewusstsein trainiert werden. Hierzu eignen sich zum Beispiel Aufgaben wie das Herausfinden von sich reimenden und nicht reimenden Wörtern in einer Wortliste oder Aufgaben, bei denen die Silben von Wörtern geklatscht werden. Wie beim Erlernen eines Instruments führt eine kurze Unterrichtsphase pro Tag zu besseren Ergebnissen als eine längere, aber einzige Unterrichtsphase pro Woche. Dies liegt daran, dass Sprache in vielen Aspekten dem Können zuzuordnen ist, welches sich wie der Erwerb anderer Fertigkeiten durch regelmäßiges Üben graduell über einen längeren Zeitraum entwickelt. Zahlreiche Gestaltungsmöglichkeiten für den FU in der Grundschule finden sich unter anderem bei Klippel (2000), Schmid-Schönbein (2001), Legutke und Lortz (2002) sowie Rück (2004).

Hinsichtlich des Mutterspracherwerbs spricht sich Knudsen (2003) dafür aus, bisherige Erkenntnisse sprachlich beeinträchtigten Kindern möglichst frühzeitig zugute kommen zu lassen. Um diese Forderung zu konkretisieren, verweise ich exemplarisch auf Habib (2003) und Tallal (2004), die Interventionsstrategien wie das Computerprogramm *Fast ForWord* beschreiben, um Probleme beim mündlichen und schriftlichen Gebrauch der Erstsprache zu vermindern. Die Datengewinnung Tallals et al. (1985) und die 1996 publizierten Ergebnisse zum Training der zeitlichen Diskriminationsfähigkeit von Phonemen werden aber auch kritisch diskutiert (z.B. Zhang und Tomblin, 1998; Tallal, 1999; Segalowitz, 2000). Eine Studie von Berwanger (2002) kann nicht bestätigen, dass „Störungen der Laut- und Schriftsprache auf Defiziten im Bereich der Zeit-

verarbeitung beruhen“ (S. 138). Demnach muss zukünftig erklärt werden, wie die Leistungssteigerungen durch Interventionsstrategien wie *Fast ForWord* zustande kommen.

Knudsen sieht auch die Möglichkeit, zukünftig sprachlich nicht beeinträchtigten Kindern optimale Bedingungen zu schaffen, damit sie ihre Kapazität des Gehirns rechtzeitig und effektiv ausschöpfen können. Innerhalb der FE herrscht aber noch keine Einigkeit über ein optimales Erwerbsalter für den Frühbeginn – wenn ein solches aufgrund individueller Entwicklungsdifferenzen der Lernenden überhaupt bestimmt werden kann. Dennoch ist es für einen institutionalisierten Frühbeginn der Fremdsprache notwendig, sich auf ein Einstiegsalter zu einigen, das möglichst vielen Kindern gerecht wird (s. Kap. 8). Kinder mit retardierter Entwicklung der Muttersprache müssen dabei berücksichtigt werden, um sie nicht zusätzlich mit einer Fremdsprache zu belasten, sondern ihren Mutterspracherwerb geeignet zu fördern. Insgesamt sehe ich dringend weiteren Forschungsbedarf seitens der FD und NW.

6.2 Künstliche neuronale Netze

It has always bothered me that models of psychological processing were thought to be inspired by our understanding of the computer. The statement has always been false.

Donald A. Norman, 1988

Es ist das menschliche Gehirn, das die Forscher dazu inspiriert hat, künstliche neuronale Netze zu erschaffen und die Entwicklung auch in Zukunft beeinflussen wird. Im Vergleich zum menschlichen Gehirn sind künstliche neuronale Netze jedoch stark vereinfachte Abstraktionen.

Robert Callan, 2003

In den 1920er Jahren entstand die Idee von künstlichen neuronalen Netzen. Praktische Erfolge konnten aber erst in den 1990er Jahren erzielt werden. Dies begründet sich unter anderem in der Entwicklung von Hard- und Software. Künstliche neuronale Netze werden heute zum einen eingesetzt, um die biologische Informationsverarbeitung bzw. Verhalten zu erforschen. Zum anderen hat ein Transfer gewonnener Erkenntnisse auf Lösungsansätze technischer Probleme stattgefunden, bei denen Information aus komplexen Eingabemustern abstrahiert werden muss. Man denke nur an die optische Zeichenerkennung zur Digitalisierung von Manuskripten oder die Benutzerführung eines Navigationssystems mittels Spracherkennung. Der Weg der Konstruktion künstlicher neuronaler Netze gabelt sich folglich an der Frage des Forschungsziels und verläuft in zwei unterschiedliche Richtungen, und zwar einerseits in eine möglichst naturalistische Modellbildung und andererseits in eine anwendungsbezogene, problemlösende Richtung. Es liegt nahe, den naturalistischen Weg zur Erforschung des Spracherwerbs einzuschlagen.

Der Begriff Konnektionismus kann bei interdisziplinärem Arbeiten zu Missverständnissen führen, weil er innerhalb der NW und der Informatik nicht synonym verwendet wird. In der Informatik werden künstliche neuronale Netze allgemein auch als konnektionistische Netze oder Modelle bezeichnet, anhand derer Simulationen durchgeführt werden können (Callan, 2003). Synonym wird das Adjektiv konnektivistisch verwendet. Die Entwickler künstlicher neuronaler Netze folgen aber nicht notwendigerweise der Maxime einer naturalistischen Modellbildung. Somit sollte vermieden werden, den informationstechnologischen Konnektionismus mit der Theorie des zellulären Konnektionismus konzeptuell gleichzusetzen.

Das Gehirn ist kein Computer

Nicht selten werden die Form und Funktion des Gehirns mit denen eines Computers verglichen. Ein solcher Vergleich ist unzulässig, denn beide Information bzw. Daten verarbeitende Strukturen unterscheiden sich in ihrer Architektur, ihrer Zuverlässigkeit und ihrer Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung.

Architektur: Die Architektur heutiger Computer mit einer CPU basiert auf der Dichotomie zwischen Speicheradressen und Daten. Eine Speicheradresse eines Computers enthält Daten, die als Symbole betrachtet werden können. Eine Rechenvorschrift wird als Regel definiert. Eine Folge von symbolmanipulierenden Regeln ergibt ein Programm, das einen Zentralprozessor steuert. Dadurch werden Daten aus einer Speicheradresse ausgelesen, zwischengespeichert, manipuliert und wieder unter einer Speicheradresse abgelegt. Man spricht von einem symbolistischen Paradigma der Informationsverarbeitung. Der Ablauf des Programms ist seriell: Zu einem bestimmten Zeitpunkt kann nur eine Operation durchgeführt werden. Die Informationsverarbeitung benötigt mit zunehmender Komplexität eines solchen Programms immer mehr Rechenzeit. Dies sei durch folgendes Beispiel verdeutlicht, wobei die Variablen `auswahl` und `Text` auf eine individuelle Speicheradresse bezogen sind und ihnen anhand von Rechenvorschriften Werte zugewiesen werden; Zahlen und Text werden intern in eine Folge von Nullen und Einsen umgewandelt und unterscheiden sich nicht:

```
byte auswahl = 3;           // eine Variable wird auf den Wert
                             // 3 gesetzt
if (auswahl == 1)           // verschachtelte Verzweigung: wenn
                             // diese Bedingung zutrifft,
    labell1.Text = "Wasser"; // dann weise labell1 diesen Text zu
else if (auswahl == 2)      // sonst...
    labell1.Text = "Tee";
else if (auswahl == 3)
    labell1.Text = "Kaffee"; // usw.
else                        // wenn bis hier keine Bedingung
                             // zutrifft, dann...
    labell1.Text = "Fehler!";
```

Je mehr Rechenvorschriften erfolgen, desto länger dauert die Auswertung der Variable `auswahl` und desto länger kann es dauern, bis die Variable `Text` der Auswahl entsprechend auf den gewünschten Wert gesetzt wird. Die Architektur des Gehirns lässt im Unterschied zu Computern keine Differenzierung zwischen Adressen und Daten zu. In einem biologischen neuronalen Netz sind die gespeicherten Daten gleichsam die Adressen und umgekehrt. Zudem besitzt das Gehirn auch keinen seriell arbeitenden Zentralprozessor, denn Daten werden parallel verarbeitet.

Zuverlässigkeit: Die Architektur eines Information verarbeitenden Systems bestimmt seine Zuverlässigkeit. Kommt es in einem Computer zum Ausfall einer Speicheradresse (z.B. `auswahl`), führt dies zu unbrauchbaren oder gar keinen Ergebnissen. Ein biologisches neuronales Netz ist hingegen unempfindlich gegenüber dem Ausfall einzelner Neuronen. Der Ausfall von Neuronen ist dem Leistungsabfall proportional. Man spricht vom Phänomen der *graceful degradation*. Diese Feststellung spiegelt sich übrigens für Spitzer (2000) in der Neurologie wieder: Selbst die Schädigung einer größeren Anzahl von Neuronen führt bei untersuchten Individuen mitunter weder zu subjektiven noch objektiven Beeinträchtigungen ihrer kognitiven Leistung.

Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung: Ein Mensch versteht nahezu augenblicklich Sprache. Psycholinguistische Experimente haben ergeben, dass gesprochene Wörter schon nach weniger als 125 ms erkannt werden – also bevor sie vom Gesprächspartner vollständig ausgesprochen sind (Caplan und Gould, 2003). Ebenso

schnell werden Gesichter erkannt. Man geht davon aus, dass die schnellsten Neuronen des Gehirns mit einer Frequenz von maximal 1 kHz feuern und ein realistischer Mittelwert bei 400 Hz liegt (Spitzer, 2000). Im Vergleich zu Computern sind Neuronen überaus langsam: Zurzeit erhältliche Zentralprozessoren weisen eine Taktfrequenz von bis zu 3,4 GHz auf, was 3,4 Milliarden Operationen in einer Sekunde entspricht. Neuronen sind somit um den Faktor 8,5 Millionen langsamer. Dennoch bedarf es beträchtlichen Aufwands, um Computer in die Lage zu versetzen, Sprache oder Gesichter zu erkennen. Daraus folgt, dass Gehirne Information auf andere Art und Weise verarbeiten.

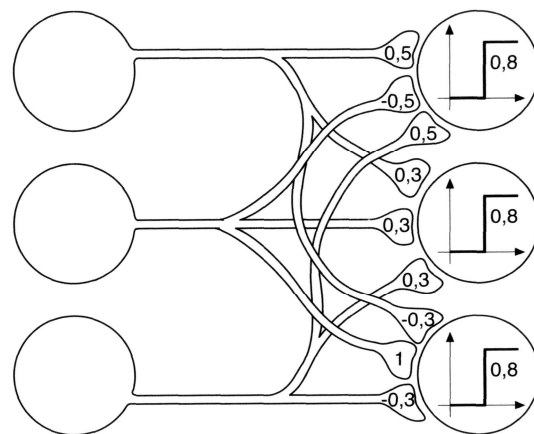
Innerhalb der Spracherwerbsforschung weisen Gasser (1990), Jacobs und Schumann (1992) sowie Shaw (1998) explizit darauf hin, dass das Gehirn und konventionelle Computer strukturell und funktional nicht parallelisierbar sind.

Die Struktur und Funktion künstlicher neuronaler Netze ist naturalistisch inspiriert

Bei einem künstlichen neuronalen Netz handelt es sich um ein Modell, das während des Experimentierens in der Regel als Computerprogramm vorliegt. Parallele Verarbeitungseinheiten werden anhand eines seriell arbeitenden Computers simuliert. Dies erklärt, weshalb solche Simulationen konventionellen Computern eine hohe Rechenleistung abverlangen.

Komplexe Leistungen des Gehirns wie das Verstehen von Sprache oder das Erkennen von Gesichtern lassen sich nur dann erfolgreich modellieren, wenn an die Stelle der seriellen Verarbeitung die parallele tritt. Aus informationstechnischer Sicht handelt es sich bei Sprache um akustische und bei Gesichtern um visuelle Input-Muster, denen ein sinnvolles Output-Muster als Reaktion folgen soll. Die Frage nach der Sinnhaftigkeit einer Reaktion ist leicht beantwortet: Abstrakt betrachtet, muss ein Organismus in der Natur auf einen Stimulus mit einer Reaktion reagieren, die seine Überlebenschance maximiert.

Sprache und Gesichter sind komplexe Muster, die sich seriell nur mit Nachteilen analysieren lassen: Es muss viel Rechenzeit aufgewendet werden, weil entsprechende Algorithmen bei komplexen Mustern ebenso komplex sein müssen. Träte zudem nur ein einziger Verarbeitungsfehler auf, wäre die Analyse des Input-Musters fehlgeschlagen. Für einen Organismus hätte dies eventuell fatale Folgen. Deshalb ist eine solche Funktionsweise nicht evolutionsstabil, weswegen Mechanismen des parallelen Verarbeitens von Information selektiert wurden.



Aus Spitzer: Lernen, 2002 © Elsevier GmbH, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. Permission granted.

Abb. 6.5: Modell eines zweischichtigen neuronalen Netzes (links: Input-Schicht, rechts: Output-Schicht). Die Zahlen in den Synapsen spiegeln die jeweiligen Synapsengewichte wider. In den Output-Neuronen sind die jeweiligen Aktivierungsschwellen eingetragen (Spitzer, 2003a, S. 57).

Künstliche neuronale Netze führen Analysen komplexer Muster schnell und fehler-tolerant durch. Als Beispiel diene ein Netz, das aus zwei Schichten besteht, und zwar einer Input-Schicht und einer Output-Schicht. Jede dieser beiden Schichten besteht aus drei Neuronen. Alle Neuronen sind miteinander verbunden, wobei der Informationsfluss in diesem Beispiel unidirektional zur Output-Schicht gerichtet ist. Jedes Neuron der Output-Schicht weist eine Aktivierungsschwelle mit einem Wert von 0,8 in einem Definitions-bereich von 0 bis 1 auf. Nur wenn diese Schwelle überschritten wird, feuert es (s. S. 74, Abb. 6.5). Differenziert werden soll zwischen drei digitalisierten Input-Mustern, denen jeweils ein Output-Muster zugeordnet ist (s. Tab. 6.2).

Input-Muster						Output-Muster		
1	●	1	→			1	●	1
	○	0					○	0
	●	1					○	0
2	●	1	→			2	○	0
	●	1					●	1
	●	1					○	0
3	○	0	→			3	○	0
	●	1					○	0
	○	0					●	1

Tab. 6.2: Zuordnung von Input- zu Output-Mustern. ● = Neuron aktiv, ○ = Neuron inaktiv (nach Spitzer, 2003a, S. 45).

Ob dem künstlichen neuronalen Netz diese Aufgabe gelingt, hängt einzig und allein von den Synapsengewichten der einzelnen Input-Neuronen ab. Für dieses Beispiel seien Synapsengewichte wie in Abb. 6.6 vorgegeben¹⁷. Wird nun Muster 1 der Input-Schicht dargeboten, werden die einzelnen Input-Neuronen entsprechend des Musters aktiviert. Wird nun das gewünschte Output-Muster 1 produziert? Dies lässt sich anhand der Synapsengewichte berechnen: Output-Neuron 1 erhält ein Signal von Input-Neuron 1 mit einem Wert von $1 \cdot 0,5 = 0,5$. Input-Neuron 2 ist nicht aktiviert. Hier beträgt der Wert $0 \cdot -0,5 = 0$. Input-Neuron 3 ist aktiviert und führt zu einem EPSP mit dem Wert $1 \cdot 0,5 = 0,5$. Output-Neuron 1 erhält somit einen gewichteten Input von 1. Der Schwellenwert von 0,8 ist überschritten, weshalb es aktiviert wird. Die beiden übrigen Output-Neuronen werden aufgrund ihrer gewichteten Input-Signale nicht aktiviert. Dies führt zu dem gewünschten Output-Muster 1.

Information kann ohne Regeln und Symbole verarbeitet werden

Das Prinzip der parallelen Informationsverarbeitung offenbart sich dadurch, dass alle Neuronen des Netzes gleichzeitig aktiv sind, wodurch das Erkennen eines Input-Musters in einem einzigen Arbeitsschritt erfolgt. Man spricht von *parallel distributed processing* (PDP). Komplexere Muster erfordern mehr Neuronen. Die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung bleibt auch bei zunehmender Komplexität der Input-Muster konstant. Ruft man sich die hohe Zahl von über 8 000 möglichen interneurona-

¹⁷ Wie es zu diesen Werten und keinen anderen kommt, wird im Weiteren erläutert.

len Verbindungen eines einzigen Neurons in Erinnerung, wird die enorme Verarbeitungskapazität des Gehirns deutlich.

Bei PDP-Modellen¹⁸ geschieht die Mustererkennung nicht seriell anhand symbolmanipulierender Regeln. PDP-Modelle enthalten keinerlei abrufbare Regeln und Algorithmen. Folglich findet keine schrittweise Umformung von Symbolen infolge eines schematisierten Rechengangs statt. Die Fähigkeit zur Mustererkennung basiert ausschließlich auf der Vernetzung der Neuronen, die durch die Synapsengewichte charakterisiert ist. Auch wenn das künstliche neuronale Netz keinerlei Regeln enthält, kann das Verhalten des Netzes anhand von Regeln beschrieben werden. Diese Regeln sind folglich für das Funktionieren des Netzes überflüssig. Transferiert man diese Erkenntnis auf den Menschen, gelangt man zu einer Aussage wie folgender: „Regeln sind nicht im Kopf, sie sind lediglich brauchbar, um bestimmte geistige Leistungen im Nachhinein zu beschreiben.“ (Spitzer, 2000, S. 29)

Oben wurde in idealtypischer Vereinfachung beschrieben, wie ein künstliches neuronales Netz auf Input-Muster richtig reagiert. Dies setzt optimale Synapsengewichte voraus, die weder im Gehirn noch in künstlichen neuronalen Netzen exakt vordefiniert sind (Spitzer, 2000); sie werden durch Training verändert. Dieses Training entspricht bei Organismen der Erfahrung durch Kontakt mit der Umwelt. Bei künstlichen neuronalen Netzen unterscheidet man zwischen zwei Trainingsprinzipien, und zwar dem selbstorganisierten Lernen und dem angeleiteten Lernen.

PDP-Modelle lernen nach zwei Trainingsprinzipien

Selbstorganisiertes Lernen findet statt, indem Regelmäßigkeiten der Input-Muster zu Lernen führen. Dabei ist es notwendig, dass Input-Muster Ähnlichkeiten aufweisen. Völlig verschiedene Input-Muster stören hingegen den Lernprozess. Man spricht dann von dem Phänomen der *catastrophic interference*. Als Beispiel seien selbstorganisierende Merkmalskarten genannt (s. Kohonen, 1982, 1995; Ritter und Kohonen, 1989), die in Kap. 6.3 näher erläutert werden, wenn die biologische Plausibilität konnektionistischer Modelle diskutiert wird.

Angeleitetes Lernen geschieht auf der Basis eines Vergleichs zwischen produziertem und gewünschtem Output-Muster und ist mit dem Prinzip des *trial and error* parallelisierbar. Mit anderen Worten: Eine simulierte Interaktion zwischen dem Handeln und der Umwelt führt zu einer Rückmeldung suboptimaler Handlungsweisen zwecks ihrer Optimierung. Man spricht auch von *backpropagation of errors*. Wie in Kap. 6.5 erläutert wird, trifft dies auf künstliche neuronale Netze zu, die mehr als zwei Schichten besitzen.

Infolge der Rückmeldung von Fehlern werden die Synapsengewichte bei jedem Trainingsschritt ein wenig geändert. Auf diese Weise findet eine Approximation des produzierten Output-Musters an das gewünschte statt. Gleichung 1 definiert die entsprechende Differenz δ_j zwischen Neuron i und Neuron j . Dabei sind t_j der gewünschte Output des Neurons und o_j der tatsächliche. Nach der so genannten Delta-Regel (s.

¹⁸ In dieser Arbeit konzentriere ich mich auf PDP-Modelle.

Gleichung 2) werden die Synapsengewichte modifiziert: Δw_{ij} ist der Wert, um den das Synapsengewicht verändert werden muss, das die Verbindungsstärke zwischen Neuron i und Neuron j darstellt. Dieser Wert errechnet sich aus dem Produkt der Lernrate η , dem festgestellten Fehler δ_j des Neurons j und der Aktivierung x_i von Neuron i . Das neue Synapsengewicht w errechnet sich nach Gleichung 3 (s. Callan, 2003).

$$(1) \delta_j = (t_j - o_j)$$

$$(2) \Delta w_{ij} = \eta \delta_j x_i$$

$$(3) w = w + \Delta w_{ij}$$

In der Praxis geschieht die Angleichung der Synapsengewichte folgendermaßen: Vor Beginn des Trainings werden alle Synapsengewichte zufallsverteilt auf recht geringe Werte für erregende und hemmende Verbindungen eingestellt. Im Laufe des Trainings werden viele unterschiedliche Input-Muster dargeboten. Für jedes Input-Muster wird der produzierte Output mit dem gewünschten verglichen und die Synapsengewichte entsprechend leicht in Richtung des gewünschten Outputs verändert. So werden während des Trainings einige Synapsengewichte erhöht, andere vermindert. Um welchen Wert die Synapsengewichte verändert werden, wird durch die Lernrate η ausgedrückt. Beträgt ihr Wert 1, werden die Synapsengewichte unmittelbar dem optimalen Output entsprechend angepasst. Beträgt der Wert 0, findet kein Lernen statt. Es wäre allerdings fatal, diese Prozedur abzukürzen: Werden nach einer Trainingseinheit die Synapsengewichte dem gewünschten Output vollständig angepasst, werden beim nächsten Input-Muster infolge der erneut notwendigen Anpassungen alle vorherigen Werte verworfen. Damit entfällt jedoch die entscheidende Fähigkeit, anhand zahlreicher Input-Muster zu generalisieren. Es soll aber nicht die optimale Anpassung an ein einzelnes Input-Muster erreicht werden, sondern eine Anpassung an die Ähnlichkeiten, die sich in der Gesamtheit der Input-Muster finden (s. Spitzer, 2000).

Beim Menschen verhält es sich nicht anders: Jeder besitzt eine allgemeine Vorstellung von einem Baum, allerdings nicht von allen tausenden einzelnen Bäumen, die man bisher betrachtet hat. Man kann auch entscheiden, in welcher speziellen Situation welches Wort angebracht ist, ohne diese vorher erlebt zu haben. Nach dem gleichen Prinzip wird unter anderem die sprachspezifische Wortstellung gelernt (Spitzer, 2000). Beispielsweise favorisieren das Englische, Finnische oder Chinesische die Wortstellung Subjekt-Verb-Objekt; im Arabischen oder Walisischen bedient man sich hingegen der Wortstellung Verb-Subjekt-Objekt (Comrie et al., 1996).

Der Vergleich zwischen Modell und Realität führt zu einem Widerspruch: Einerseits ist es für einen Organismus überlebenswichtig, schnell zu lernen. Andererseits erfolgt eine Abstraktion von einzelnen Input-Mustern nur langsam. Nach Spitzer (2000) ist es vorteilhaft, die Lernrate¹⁹ dem Lebensalter anzupassen. Er vergleicht Erkenntnisse der NI und Statistik mit psychologischen und neurophysiologischen Untersuchungen und gelangt zu dem Schluss, dass viele PDP-Modelle mit der Realität kongruent sind. Demnach stellen einzelne Erfahrungen für einen Organismus Ausschnitte aus einer komple-

¹⁹ Spitzer spricht von einer „Lernkonstante[n]“ (S. 56).

nen Realität als Gesamtheit aller möglichen Erfahrungen dar. Je genauer ein Organismus ein Abbild der Umwelt konstruiert, desto besser ist es für sein Überleben. Aus statistischer Sicht steigt diese Genauigkeit mit der Quadratwurzel der Anzahl der einzelnen Erfahrungen. Dies bedeutet, dass die Approximation an den optimalen Output langsamer zunimmt als die sie fördernde Anzahl an Erfahrungen. Daher sollte die Lernrate anfänglich relativ hoch sein, damit die Synapsengewichte schnell auf die ungefähr richtigen Werte ausgerichtet werden. Eine Feinabstimmung kann dann mit geringerer Lernrate über einen längeren Zeitraum erfolgen. Spitzers Überlegungen decken sich mit psychologischen und neurophysiologischen Untersuchungen: Junge Menschen lernen schneller als ältere. Dieses Phänomen scheint mit der altersabhängigen Menge des Neurotransmitters Acetylcholin positiv korreliert zu sein. Ein älterer Mensch ist hingegen erheblich präziser an seine Umwelt angepasst als ein junger. Dies erklärt im Umkehrschluss, weshalb sich jüngere Menschen leichter auf eine neue Situation und Umgebung einstellen können als ältere. Ältere hingegen profitieren von ihrer Erfahrung. Diese Erkenntnisse sind für die FD von besonderer Bedeutung, denn sie unterstützen zum einen die Idee des Frühbeginns einer Zweitsprache. Auch lassen sich Empfehlungen für den FU legitimieren: „[E]ine allzu dünne Sprachsuppe“ (Butzkamm, 2004, S. 255), bedingt durch zu wenig Kontaktzeit mit der Fremdsprache, konterkariert gerade zu Beginn des FU die Absicht, den Schülerinnen und Schülern eine erste Orientierung in der Fremdsprache zu ermöglichen. Bisher hat die FD für den institutionalisierten Fremdspracherwerb noch nicht umfassend untersucht, wieviel Kontaktzeit im Mittel mindestens angeboten werden muss, um die Schülerinnen und Schüler optimal zu fördern. Lightbown und Spada (2004) stellen zumindest fest: „We have often seen [...] foreign language programs which begin with very young learners but offer only minimal contact with the language.“ (S. 68) Die beiden Autorinnen sind davon überzeugt, dass sich so über einen langen Zeitraum kein spürbarer Lernfortschritt einstellt. Dies demotiviere die sehr jungen Lernenden und brächte keinen Vorteil im Vergleich zu denjenigen, deren FU später einsetzt.

Abschließend sei angemerkt, dass die Lernrate im Modell relativ leicht zu definieren ist. In der Realität betrachte ich sie als Abstraktum eines multifaktoriellen Bedingungsgefüges, da neben dem Lebensalter viele Faktoren hinzutreten, die den Spracherwerb und Gedächtnisleistungen im Allgemeinen beeinflussen – ich denke zum Beispiel an die Motivation Lernender und ihre Emotionen (s. Kap. 7.5).

6.3 Biologische Plausibilität konnektionistischer Modelle

In some respects, these models are thought to resemble neural networks in meaningful ways; in others, most notably the teaching and learning mechanisms, there is no known neurophysiological analogue, and some authors are completely agnostic about how the units and connections are neurally instantiated.

Steven Pinker und Alan Prince, 1988

Diese Kritik entstammt einer Publikation, die sich für das symbolistische Paradigma der Informationsverarbeitung von Sprache im Gehirn ausspricht. Pinkers und Princes Kritik an der konnektionistischen Modellbildung von Spracherwerb und grammatischen Phänomenen zielt vor allem auf die biologische Plausibilität der Simulationen und deren Leistungen. Inzwischen sind zwar biologisch plausiblere Lernalgorithmen entwickelt worden, dennoch müssen stets die Möglichkeiten und Grenzen der Modellbildung als Methode der Erkenntnisgewinnung bedacht werden.

Aus etymologischer Sicht leitet sich das Wort Modell von dem lateinischen Wort *modulus* ab, was Maß oder Maßstab bedeutet. Ein Modell unterscheidet sich vom Original allerdings nicht nur in seiner Dimension. Originale besitzen eine meist unüberschaubare Anzahl an Eigenschaften. Modelle betonen nur diejenigen, die als wesentlich erscheinen. Anatomische, morphologische und funktionelle Details werden bei der Modellbildung in der Regel nicht berücksichtigt. Somit können Modelle als vereinfachte und abstrakte Abbildungen von Originalen angesehen werden, die die gedankliche und materielle Realität repräsentieren. Zudem besteht ein Modell aus einem anderen Substrat als das Original. Folglich ist ein Modell niemals eine Kopie des Originals, denn seine Eigenschaften sind nicht mit denen des Originals identisch. Um dennoch anhand von Modellen Erkenntnisse gewinnen zu können, muss die Modellbildung drei Prinzipien folgen (s. Eschenhagen et al., 1998):

1. *Prinzip der Entsprechung:* Ein Modell muss in essenziellen Eigenschaften dem Original entsprechen.
2. *Prinzip der Einfachheit und Adäquatheit:* Ein Modell soll einfacher als das Original sein, aber trotzdem dessen essenzielle Eigenschaften adäquat abbilden.
3. *Prinzip der Exaktheit und Produktivität:* Ein Modell soll so exakt sein, dass es Prognosen über das Verhalten des Originals zulässt.

Forschungsmodelle werden eingesetzt, um noch unbekannte Sachverhalte aufzuklären, die als Ganzes oder in Teilen der Beobachtung oder dem Experiment aus vielerlei Gründen kaum zugänglich sind. Es können sehr leicht einzelne oder mehrere Parameter geändert werden, was zum Beispiel bei realen Gehirnen kompliziert oder unmöglich ist. Bei der Erkenntnisgewinnung haben Modelle Hypothesencharakter und somit eine heuristische Funktion: Sie dienen der Problemfindung und Problemeingrenzung. Bei einem PDP-Modell handelt es sich um ein Funktionsmodell. Es ist somit dynamisch und bildet

den Verlauf von Prozessen ab. Auf diese Weise können Mechanismen des Funktionierens analysiert werden.

Im hypothetisch-deduktiven Verfahren des Beobachtens und Experimentierens nimmt das Modell die Stelle des originalen Objekts ein. Die Methode gleicht prinzipiell der bei sonstigen Beobachtungen und Experimenten: In einer Planungsphase wird ein gedankliches Modell entworfen. Die Versuchsphase besteht aus der Konstruktion des Modells und des Experimentierens mit dem Modell. In der Phase der Auswertung werden das Modell und das Original miteinander verglichen und Schlussfolgerungen vom Modell auf das Original gezogen. Insbesondere diese letzte Phase muss umsichtig durchlaufen werden, damit im Rahmen einer Modellkritik gewonnene Erkenntnisse in ihrer Tragfähigkeit zur Erklärung des überprüften Problems richtig eingeschätzt werden: Lässt sich eine kognitive Leistung anhand eines Modells simulieren, kann nicht zwingend gefolgert werden, dass das Gehirn auf die gleiche Art und Weise funktioniert. Allerdings sind Rückschlüsse auf biologische neuronale Netze durchaus möglich. Werden beispielsweise Läsionen in ein künstliches neuronales Netz integriert, verhält sich dieses in der Simulation ähnlich wie ein geschädigtes Gehirn (Spitzer, 2000). Es sollte auch bedacht werden, dass verschiedene Modellversuche ein vielseitigeres und umfassenderes Bild vermitteln als nur ein einziges.

Die Kritik Pinkers und Princes an der Struktur und Leistung von PDP-Modellen muss deshalb relativiert werden: Zwar liefert ihre Kritik wertvolle Hinweise zur Optimierung der Modelle als auch zur Diskussion ihrer Tragfähigkeit. Aber es liegt in der Natur der Sache, dass Modelle selbst infolge sorgfältigster Optimierungen nicht alle Eigenschaften des Originals aufweisen können und dürfen. Wer dies als Defizit kritisiert, hat die Bedeutung von Modellen für die Erkenntnisgewinnung nicht erfasst.

Der Backpropagation-Algorithmus ist biologisch wenig plausibel

Soll ein künstliches neuronales Netz bestimmte logische Operationen ermöglichen, reicht ein zweischichtiges Modell nicht aus. Ein klassisches Beispiel ist das exklusive Oder, eine logische Operation anhand derer nur dann ein Output-Signal generiert wird, wenn lediglich einer zweier Input-Kanäle ein Signal liefert. In allen übrigen Fällen wird kein Output-Signal generiert. Um dies zu erreichen, ist eine Zwischenschicht erforderlich. Dies führt zu einem Problem: Es kann zwar eine Differenz zwischen dem erbrachten und gewünschten Output berechnet werden, allerdings ist nicht mehr einfach zu berechnen, welche Synapsengewichte welcher Schicht der Differenz entsprechend modifiziert werden müssen. Auf mindestens eine Zwischenschicht kann aber auch nicht verzichtet werden, wenn komplexeres Verhalten modelliert werden soll.

Um dieses Dilemma aufzulösen, wurde der Backpropagation-Algorithmus entwickelt, der Abweichungen vom gewünschten Output schichtweise zurückmeldet und die Synapsengewichte modifiziert. Begonnen wird dabei rückwärts gerichtet bei der Zwischenschicht, die unmittelbar vor der Output-Schicht liegt. Der Durchlauf ist beendet, wenn die erste Zwischenschicht nach der Input-Schicht erreicht ist. Im folgenden seien einige notwendige Berechnungen skizziert (s. Callan, 2003).

Die Abweichung δ_j der Delta-Regel wird nach Gleichung 3 berechnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass k die Schicht indiziert, die den Fehler zurückmeldet und die einzige verborgene Schicht darstellt.

$$(3) \delta_j = f'(net_j) \sum_k \delta_k w_{kj}$$

Die verwendete Aktivierungsfunktion ist wie bei biologischen Neuronen sigmoid (s. Gleichung 4.1). Im Gegensatz zu einer Schwellenwertfunktion (s. Gleichung 4.2) erzeugt sie ein kontinuierliches Ausgangssignal und ist differenzierbar:

$$(4.1) f(net_j) = \frac{1}{1 + e^{(-net_j)}}$$

$$(4.2) f(net_j) = \begin{cases} 0 & net_j \leq 0 \\ 1 & net_j > 0 \end{cases}$$

Die Ableitung der Aktivierungsfunktion $f(net_j)$ berechnet sich wie folgt:

$$(5) f'(net_j) = \frac{e^{(-net_j)}}{(1 + e^{(-net_j)})^2} = \frac{1}{1 + e^{(-net_j)}} \left(1 - \frac{1}{1 + e^{(-net_j)}} \right) = f(net_j)[1 - f(net_j)]$$

Der Backpropagation-Algorithmus wurde in Modellversuchen eingesetzt, um sprachliche Leistungen zu simulieren. Dazu gehören zum Beispiel morphologische Aspekte (Plunkett und Juola, 1999) oder die Beurteilung der grammatischen Richtigkeit (Lawrence et al., 2000). Ist eine möglichst naturalistisch inspirierte Modellbildung gewünscht, kann der Backpropagation-Algorithmus allerdings wenig überzeugen. Er ist biologisch wenig plausibel, da komplizierte Berechnungen erforderlich sind, die vernetzte Neuronen in diesem Umfang nicht durchführen können. Man bedenke auch, dass bei biologischen vernetzten Neuronen APs das Axon ausschließlich unidirektional entlang laufen. Eine rückwärts gerichtete Informationsübertragung kann somit nicht den selben Weg nehmen, den das AP genommen hat. Dadurch kann nicht auf diesem Weg Einfluss auf die betroffenen Synapsenstärken genommen werden.

Die hier skizzierte Kritik führte zur Entwicklung von Algorithmen, die biologisch plausibler erscheinen: Neben de Sa und Ballard (1998) setzten Mazzoni et al. (1991) erfolgreich eine Variante des A_{R-P}-Algorithmus²⁰ ein. Dieser weist Eigenschaften auf, die mit neurophysiologischen Prozessen vergleichbar sind. So findet zum Beispiel eine Fehlerrückmeldung entlang plausibler neuronaler Verbindungen statt. Auch werden im Sinne der Hebbschen Lernregel ein Bezug zwischen prä- und postsynaptischer Aktivierung hergestellt. Mazzoni et al. stellen fest, dass die Neuronen einer bestimmten Schicht des Modells ein ähnliches Antwortverhalten entwickeln wie die der Area 7a bei Affen, die sich im posterioren parietalen Cortex befindet. Dies kann als deutliches Indiz gewertet werden, dass naturalistisch inspirierte konnektionistische Modelle die Realität ver-

²⁰ Die Abkürzung steht für *associative reward-penalty*.

einfacht repräsentieren können. Folglich erscheint es legitim, umsichtig Erkenntnisse auf die Realität zu transferieren, die anhand solcher Modelle gewonnen werden. Dies wird im folgenden Abschnitt konkretisiert.

Das Gehirn weist sehr wahrscheinlich selbstorganisierende Merkmalskarten auf

The abstract maps might be more common in the brain than it is thought.

Teuvo Kohonen und Riitta Hari, 1999

Durch Gebrauch der Sprache zusammen mit Handlungen in der Welt werden Bedeutungen erlernt und landkartenförmig gespeichert.

Manfred Spitzer, 2000

Kohonen und Hari (1999) gehen anhand von Modellversuchen der Frage nach, ob und wie selbstorganisierte Karten im Gehirn entstehen. Sie meinen, dass sich diese Karten durch einen Algorithmus beschreiben lassen, der von ihnen entwickelt wurde. Ihrer Auffassung nach ähneln simulierte Karten sehr stark ihren realen Vorbildern und verhalten sich auch ähnlich dynamisch.

Kohonen gelang es zum Beispiel im Modellversuch, eine selbstorganisierte phonemotopische Karte von Phonemen des Finnischen zu erzeugen (s. Abb. 6.6). Obwohl im Gehirn bislang keine Phonemkarten nachgewiesen worden sind, deutet vieles auf ihre Existenz hin. Wie bereits dargelegt, unterscheiden Kinder bereits in den ersten beiden Lebensjahren das Repertoire muttersprachlicher Phoneme von Phonemen anderer Sprachen. Dieser Befund entspricht den Ergebnissen der Simulationsexperimente, die aufzeigen, dass sich Karten in Abhängigkeit ihres Inputs verändern. Außerdem haben bildgebende Verfahren gezeigt, dass der auditorische Cortex auf verschiedene Stimuli unterschiedlich reagiert und dies davon abhängt, welcher Sprache die Testperson ausgesetzt ist bzw. war (Kohonen und Hari, 1999). Tallal (2004) fasst die Erkenntnisse aus verschiedenen Studien wie folgt zusammen:



Reprinted from Trends in Neuroscience, 12, Kohonen & Hari, Where the abstract feature maps of the brain come from, pp 135-139, © 1999, with permission from Elsevier.

Abb. 6.6: Phonemotopische Karte finnischer Phoneme. # = /k/, /p/ oder /t/ (Kohonen und Hari, 1999, S. 137).

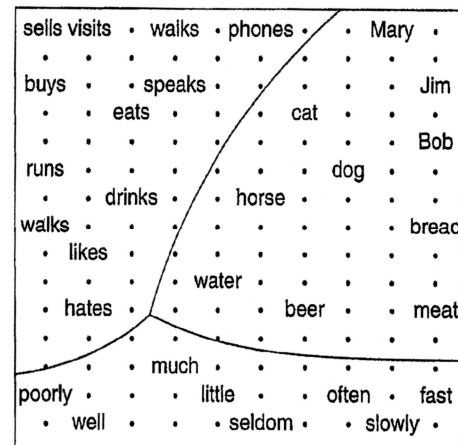
„These studies show that the auditory cortex is shaped early in life by the features and statistical probability of occurrence of acoustic input during critical periods of development. Considering the amount of speech that is directed to an infant, it is easy to understand the importance of speech in shaping the auditory cortex during critical periods of development. To aid this process, adult speech to infants (known as ‘parentese’) has been shown to exaggerate (extend in time and amplitude enhance) the acoustic changes that differentiate phonemes in syllables and words.” (S. 722)

Demnach besteht der biologische Sinn des *parentese*²¹ darin, die akustische Signalverarbeitung unter anderem zeitlich zu vereinfachen, sodass zwischen Lauten besser diskriminiert werden kann. Der Beweis für diese Hypothese muss allerdings noch erbracht werden.

Als ein weiteres Beispiel seien semantische Karten genannt (s. Abb. 6.7). Diese Karten zeichnen sich dadurch aus, dass sie aus einfachen Sätzen als Input die enthaltenen Wörter in Wortklassen unterteilen. Innerhalb dieser Unterteilungen sind semantisch ähnliche Wörter in engerer Nachbarschaft angeordnet als semantisch verschiedene (Kohonen und Hari, 1999).

Nach Kohonen und Hari ist es unrealistisch zu erwarten, dass im Gehirn Karten so eindeutig organisiert sind wie in den Simulationsversuchen. Ihre Existenz betrachten sie allerdings als gesichert. Eine ähnliche Auffassung vertritt Spitzer (2000), der vor einer Gleichsetzung des Gehirns mit einem einzigen neuronalen Netz warnt. Vielmehr müsse das Gehirn als ein Verbund zahlreicher neuronaler Module angesehen werden. Hinsichtlich semantischer Karten scheinen diese in größerer Anzahl vorzuliegen und jeweils für unterschiedliche Abstraktionsebenen zuständig zu sein. So könne zum Beispiel auf einer Karte der Gebrauchsaspekt von Werkzeugen repräsentiert sein, auf einer anderen der Formaspekt. Im *thalamocortikalen* System sind nach Kohonen und Hari die neuronalen Strukturen so beschaffen, dass sie dem Prinzip der selbstorganisierenden Eigenschaftskarten folgen können. Auch könnten dort laterale exzitatorische und inhibitorische Verbindungen dazu beitragen, die Karte gemäß der präsentierten Eigenschaften zu strukturieren. Außerdem meinen sie, dass aktivierte Neuronen lokal ein chemisches Signal aussenden, um bei benachbarten Neuronen die synaptische Plastizität zu modifizieren. Auf diese Weise könnten diese Neuronen eine stärkere Gewichtung erfahren und so zur Strukturierung der Eigenschaften auf der Karte beitragen. Diesem Mechanismus entspricht womöglich die Funktion des retrograden Botenstoffs Stickstoffmonoxid, der es einem Neuron ermöglicht, neben der eigenen synaptischen Plastizität auch die benachbarter Neuronen zu modifizieren (Susswein et al., 2004).

Die Existenz selbstorganisierender Eigenschaftskarten lässt sich aber beim Menschen aus methodischen Gründen bisher nicht nachweisen. Dies liegt insbesondere an dem noch nicht ausreichenden Auflösungsvermögen bildgebender Verfahren, denn bisher bekannte Karten sind nur wenige Millimeter groß. Es gibt jedoch weitere Indizien für die Existenz solcher Karten, und zwar aufgrund psycho- und neurolinguistischer Untersuchungen: Spitzer (2000) zieht hinsichtlich der simulierten semantischen Karten eine Parallele zum mentalen Lexikon des Menschen und weist auf Nachbarschaftsbeziehungen zwischen Begriffen bzw. Inhalten hin. Psycholinguistische Untersuchungen



Reprinted from Trends in Neuroscience, 12, Kohonen & Hari, Where the abstract feature maps of the brain come from, pp 135-139, © 1999, with permission from Elsevier.

Abb. 6.7: Semantische Karte (Kohonen und Hari, 1999, S. 137).

²¹ Eine Übersicht hierzu bieten Butzkamm und Butzkamm (2004) sowie Grimm und Weinert (2002).

zeigen, dass die Aktivierung eines Worts die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass später ein benachbartes Wort aktiviert wird: „Die Bahn senkt die Preise. Das ist ein netter Zug von ihr!“ (Spitzer, 2000, S. 245) Ein weiteres Indiz für eine Netzwerkstruktur des Gedächtnisses liefern Wortassoziationstests, die bereits im 19. Jahrhundert von Wundt durchgeführt wurden. In solchen Tests assoziieren ProbandInnen in der Regel mit dem Wort ‚weiß‘ das Wort ‚schwarz‘ oder mit dem Wort ‚Bruder‘ das Wort ‚Schwester‘. Es handelt sich folglich um semantische und nicht um phonologische Assoziationen. Neurolinguistische Studien haben außerdem zu Tage gebracht, dass es bestimmte semantische Kategorien gibt, die selektiv ausfallen können: So kann zum Beispiel E.S. zunehmend schlechter Gegenstände als Tiere benennen (Moss und Tyler, 2000). F.H. hingegen kann keine Objekte mehr benennen, die ihm als Bilder präsentiert werden. Gleiches gilt für geographische Orte. Es gelingt ihm aber, Bildern von ihm bekannten Personen die entsprechenden Namen zuzuordnen (Lyons et al., 2002). Lyons et al. schließen daraus, dass „knowledge about familiar people may be subserved by its own dedicated neural subsystem.“ (S. 23)

Die Gesamtheit der Ergebnisse zur Erforschung semantischer Karten lassen sich in Bezug auf den Spracherwerb folgendermaßen interpretieren: Semantische Karten stellen eine „sinnvolle[] räumliche[] Verteilung von *Gedächtnisspuren*“ (Spitzer, 2000, S. 251) dar. Es ist anzunehmen, dass das Gehirn diesem Prinzip unterliegt, wenn auch auf einer weitaus komplexeren Organisationsebene.

6.4 Simulationen des Spracherwerbs anhand konnektionistischer Modelle

One view of language, originating with Chomsky, championed by Fodor and Pylyshyn and widely pursued by Pinker, holds that abstract symbolic rules play a central role in human language processing. This claim is part of a broader view that human cognitive mechanisms are symbolic, modular, innate and domain-specific.

James L. McClelland und Karalyn Patterson, 2002

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit ausgewählten Simulationen des Spracherwerbs anhand konnektionistischer Modelle des PDP-Typs. Dabei werden symbolistische und konnektionistische Ansätze miteinander verglichen und hinsichtlich ihrer Plausibilität bewertet. Dabei steht eine Frage im Zentrum des Interesses: Können konnektionistische Modelle Aufschluss über den Spracherwerb des Menschen geben?

Die Bildung des *simple past* kann durch künstliche neuronale Netze simuliert werden

Rumelhart und McClelland (1988a) berichten über ein künstliches neuronales Netz, das 420 englischen Infinitiven²² ihre Form im *simple past* richtig zuordnen konnte. Selbst bei unbekannten Verben geschah dies mit hoher Genauigkeit: Sie betrug 92% bei regelmäßigen Verben und 84% bei unregelmäßigen. Das Modell generalisierte folglich mit hoher Treffsicherheit.

Dieses künstliche neuronale Netz bestand aus zwei Schichten mit jeweils 460 Input- und Output-Neuronen. Da jedes Input- mit jedem Output-Neuron verbunden war, ergaben sich 211 600 Verbindungen. Um den Infinitiven die korrekte Form des *simple past* zuzuordnen, wurden der Input-Schicht die Lautungen der jeweiligen Wortstämme dargeboten. Dies geschah anhand so genannter *wickelfeatures*, Kontext sensibler Phonemeinheiten. Die entsprechenden Output-Muster wurden mit der gewünschten Lautung der Form im *simple past* verglichen. Das künstliche neuronale Netz wurde in zwei Phasen trainiert. Zunächst wurden 10 sehr häufig vorkommende Verben präsentiert, von denen die meisten unregelmäßige waren. Anschließend wurden 410 weniger frequente Verben hinzugefügt. Die meisten dieser Verben waren regelmäßige. Die insgesamt 420 Verben wurden 190 mal präsentiert, um die notwendige Approximation der mit Null vordefinierten Synapsengewichte an den gewünschten Output zu erreichen.

Das Training führte zu folgendem Ergebnis: Das *simple past* unregelmäßiger Verben wird zunächst recht zuverlässig gebildet, dann kommt es zu einem Leistungseinbruch, der im Laufe der Zeit wieder ausgeglichen wird. Regelmäßige Verben hingegen werden stetig besser produziert. Die Lernkurve für regelmäßige und unregelmäßige Verben bei Kindern entspricht der des Modells. Außerdem produziert das Modell Fehler, die auch Kindern unterlaufen. So kommt es vor, dass Kinder unregelmäßigen Ver-

²² In diesem Kontext ist der Infinitiv ohne *to* gemeint, die *simple form* oder auch *bare form*.

ben das Suffix *-ed* anfügen, was zu Fehlformen wie **gaved* oder **taken* führt (Pinker und Prince, 1988). Einer strikten Orientierung an Regeln und Ausnahmen folgend, dürfte dies aber nicht geschehen.

Rumelhart und McClelland sehen ein zweiphasiges Training ihres Modells dadurch gerechtfertigt, dass es bei Kindern zu einem so genannten *vocabulary spurt* kommt. Es lässt sich entgegenen, dass sich dieser vor allem auf die Wortklasse der Nomen auswirkt. Zu bedenken ist auch, dass das Modell ausschließlich korrekten Input erhält. Dies kann nicht für das gesamte soziale Umfeld des Kindes angenommen werden. So könnten beispielsweise andere Kinder Fehlformen als Input-Muster liefern. Ferner ist es unrealistisch, dass Kindern Verben immer gepaart mit ihrer Vergangenheitsform präsentiert werden. Kritik wird auch dahingehend geäußert, dass das Modell Fehler produziert, die Kindern nicht unterlaufen: Zum Beispiel generieren Kinder aus dem Infinitiv *mail* nicht **membled*, sondern die korrekte Form *mailed* (Pinker und Prince, 1988). Zudem wird darauf hingewiesen, dass der Anteil regelmäßiger Verben in allen Lernphasen eines Kindes bei ungefähr 30% liegt. Modelle hingegen benötigen einen unnatürlich hohen Anteil regelmäßiger Verben von mindestens 50%, um wie gewünscht zu funktionieren (s. Taatgen, 2001).

Die Kontroverse um das Für und Wieder symbolistisch oder konnektionistisch basierten Spracherwerbs ist bis dato noch nicht beendet (s. McClelland und Patterson, 2002; Pinker und Ullman, 2002; Albright und Hayes, 2003). Auch konnektionistische Modelle von Plunkett und Marchman (1991, 1996) konnten sich trotz einiger Fortschritte der Kritik nicht erwehren. So gelang es auch ihren Modellen nicht, von homophonen englischen Verben wie *ring* und *wring* ihre korrekten Formen des *simple past* zu bilden. Zudem sind in der NL Individuen beschrieben worden, die je nach Ort der Läsion selektiv eingeschränkt waren, entweder regelmäßige oder unregelmäßige Formen des *past tense* zu bilden (Ullman et al., 1997). Diese Befunde nähren die Vorstellung, dass verschiedene Verarbeitungsmechanismen für die Bildung des *simple past* zuständig sind (z.B. Pinker, 2000). Wie Joanisse und Seidenberg (1999) zeigen konnten, muss diese Annahme relativiert werden: Mithilfe eines PDP-Modells, dem Läsionen im Bereich der Phonologie und Semantik zugefügt wurde, konnten die beschriebenen Defizite reproduziert werden. Ramscar (2002) gelangt anhand von Experimenten mit ProbandInnen ebenfalls zu dem Schluss, dass ein einziger Mechanismus ausreicht, um das *simple past* zu bilden. Dieser funktionierte nach dem Prinzip des „matching and analogous generalization in memory“ (S. 85). Joanisses und Seidenbergs Schlussfolgerungen konvergieren mit denen Ramscars, obwohl sie völlig verschiedene Ansätze verfolgten. Zudem diskutieren Bird et al. (2003) in ihrer Studie mit Individuen, die unregelmäßige Formen des *simple past* besser bilden können als regelmäßige, ihre Ergebnisse in Bezug auf einen einzigen Verarbeitungsmechanismus. Diese Erkenntnisse unterminieren die Forderung nach verschiedenen Verarbeitungsmechanismen im Sinne des Symbolismus, reichen heute jedoch noch nicht aus, um die Debatte zu beenden.

An dieser Stelle sei hinterfragt, inwiefern überhaupt von unregelmäßigen Verben gesprochen werden kann. Betrachtet man beispielsweise die Verben *keep*, *leap*, *creep*, *sleep*, *weep* und *sweep*, ist zunächst festzustellen, dass sie nicht mittels des Suffixes *-ed* flektiert werden. Sie weisen dennoch eine gewisse Regelmäßigkeit auf: Phonologisch

enden sie alle auf /i:p/; ihre Form im *simple past* wird gebildet, indem ein /t/ angehängt wird und gleichzeitig eine Angleichung des Vokals erfolgt. Zahlreiche Beispiele für das Regelmäßige im vermeintlich Unregelmäßigen finden sich bei McClelland und Patterson (2002) sowie bei Lupyan und McClelland (2003). Es ist anzunehmen, dass die Komplexität der hier exemplarisch beschriebenen Regelmäßigkeit konnektionistische Modelle vor die Herausforderung stellt, diese zu erfassen. Diese Hürde liegt in der Natur des Modells. Dem menschlichen Gehirn gelingt diese Aufgabe weitaus besser.

Um den Streit zwischen den Anhängern des Symbolismus und Konnektionismus beizulegen, sind auch Modelle vorgeschlagen worden, die zugleich Vorwissen und Verarbeitungsbeschränkungen enthalten. Solche hybriden Modelle sollen sowohl dem symbolistischen wie auch dem konnektionistischen Paradigma der Informationsverarbeitung gerecht werden (Pinker, 2000). Ich meine, dass diese scheinbaren Optimierungen nicht zielführend sind. Die Kritik an den konnektionistischen Modellen zum Erwerb des *simple past* muss weder zwingend zur Symbolgrammatik und Idee einer vererbten UG führen, noch muss sie zwingend zu einem Kompromiss führen, der beide Paradigmen vereinigt. Da Modelle nicht alle Eigenschaften des realen Objekts exakt wiedergeben können, sind Modelle zum Erwerb des *simple past* erheblich vereinfachte Repräsentanten der Realität, nämlich der Struktur und Funktionsweise des Gehirns. Betrachtet man das Modell von Rumelhart und McClelland, besteht eine erhebliche Reduktion der Realität in der gesamten Struktur des zweischichtigen Modells und der Annahme, dass alle Neuronen miteinander verbunden sind. Auch nimmt kein Neurowissenschaftler ernsthaft an, dass es zu einem bestimmten Zeitpunkt einen Zustand innerhalb eines biologischen neuronalen Netzes gibt, zu dem alle Synapsengewichte exakt die gleiche Intensität aufweisen. Es ist somit erstaunlich, dass Rumelharts und McClellands Simulation trotz der enormen Reduktion der Struktur und Funktionsweise des Gehirns die beschriebene Leistung erbringt.

Ich meine, dass die Simulation des Erwerbs des *simple past* trotz ihrer Reduktion der Realität und ihrer Unvollkommenheit den Weg in die Richtung der konnektionistischer Informationsverarbeitung weist. Es wäre auch unverständlich, weshalb ein universelles Prinzip der Struktur und Funktion des Gehirns für den Spracherwerb nicht gelten sollte. Spitzer (2000) schließt aus konnektionistischen Studien zum Spracherwerb, dass künstliche neuronale Netze und Kinder auf ähnliche Weise lernen. Auch er gelangt zu dem Schluss, dass beim Menschen „ein ähnlicher Mechanismus am Werke“ (S. 33) ist. Dies bedeutet, dass Kinder weder Sprachregeln lernen noch dass Kindern solche Regeln vererbt sind. Folgerichtig stellt Spitzer fest, dass sich eine Regel erst a posteriori aufstellen lässt, nämlich als Abstraktion und meist nützlicher Beschreibung des Gelernten. Somit kann auch angenommen werden, dass ein Kompromiss zwischen dem symbolistischen und konnektionistischen Paradigma der Informationsverarbeitung die biologische Realität erkennt. Die folgenden drei Abschnitte liefern weitere Unterstützung für das konnektionistische Paradigma.

Sprache kann als zeitliche Folge von Input-Mustern beschrieben werden

Die interneuronalen Verbindungen des menschlichen Gehirns dienen nicht nur der Fortleitung von Signalen einzelner Neuronen, sondern auch der Rückkopplung. Daher gelangt ein ausgesendetes Signal nach einigen synaptischen Verbindungen wieder zum ursprünglichen Neuron zurück. Dies wundert wenig, wenn man sich in Erinnerung ruft, dass jedes Neuron tausende Verbindungen zu anderen aufweist. Spitzer (2003a) sieht in der Rückkopplung vor allem die Möglichkeit, Zeit als Folge von Input-Mustern zu repräsentieren. Die Bedeutung für sprachliche Leistungen sei an einem Beispiel illustriert: Sprache existiert für einen Adressaten als eine zeitliche Folge von Input-Mustern. Bei manchen Kindern ist die akustische Signalverarbeitung beeinträchtigt, so dass zwischen kurzen Anlauten von Silben wie /ta/, /pa/ oder /ba/ nicht unterschieden werden kann. Dies kann später bei 85% der durchschnittlich 5-8% betroffenen Kindern zu erheblichen Leseschwierigkeiten führen (Barinaga, 1996). Tallal et al. (1996) und Merzenich et al. (1996) trainierten Betroffene mit zeitlich gedehnten Input-Mustern und führen dies auf die Verbesserung der sprachlichen Kompetenz zurück. Wie bereits ausgeführt, können andere Studien die angewendete Interventionsstrategie nicht eindeutig als Ursache für die erzielte Verbesserung identifizieren. Unbeschadet dieser Kontroverse rufe ich die Bedeutung der kritischen Periode des Spracherwerbs in Erinnerung: Je früher SEV und SES therapiert werden, desto günstiger ist die Prognose für die weitere Sprachentwicklung. Lernen gehörlose Kinder eine Gebärdensprache, entwickelt sich diese übrigens nach den selben Mustern und Entwicklungsschritten wie der Erstspracherwerb nicht beeinträchtigter Kinder. So konvergiert zum Beispiel das Auftreten erster Gebärden zeitlich mit der Äußerung erster Wörter nicht beeinträchtigter Kinder (Klann-Delius, 1999).

Hinsichtlich der Simulation des Spracherwerbs wurden künstliche neuronale Netze entwickelt, die neben der Verarbeitung von Mustern auch den Zeitaspekt berücksichtigen. Dies ist beispielsweise für die Simulation eines Arbeitsgedächtnisses bedeutsam. Nachfolgend werden zwei ausgewählte Typen von Netzwerken vorgestellt und ihre Relevanz für einen Transfer zwischen Modell und Realität diskutiert.

Autoassoziative neuronale Netze verarbeiten auch unvollständige Input-Muster

Dieser Netzwerktyp wurde vor über 20 Jahren von Hopfield (1982) vorgestellt. Dabei ist jedes Neuron mit jedem verbunden, nur nicht mit sich selbst; zudem bestehen Verbindungen zu einer Input- und Outputsicht. Ein Eingangssignal kann als zweidimensionales Aktivierungsmuster gespeichert werden. Entsprechend der Hebbischen Lernregel werden bei der Präsentation des Signals die Synapsenstärken des Netzwerks verändert. Dies benötigt Zeit: Wird ein Neuron erregt, gibt es diese Erregung an alle anderen weiter. Diese wiederum können infolgedessen weitere Neuronen erregen, und natürlich auch dasjenige, das die Erregungswelle verursacht hat. Das Netzwerk kann nach einer

Erregung einen stabilen Zustand erreichen, den man als Attraktor²³ bezeichnet. Spitzer (2000) interpretiert diesen als „Speicher oder Gedächtnisspur“ (S. 185). Je nach Dimension des Netzwerks können mehrere Attraktoren gebildet werden. Eine Faustregel besagt, dass die maximale Anzahl der Attraktoren ungefähr 13% der Anzahl der Neuronen des Netzwerks beträgt (Spitzer, 2000).

Eine besondere Eigenschaft eines autoassoziativen Netzwerks besteht darin, auch unvollständige Input-Muster zu erkennen und einen Aktivierungszustand einzunehmen, der dem vollständigen Muster entspricht. Dies geschieht auch, wenn ein Input-Muster einem der gespeicherten Input-Muster lediglich ähnelt. Das menschliche Gehirn vollbringt ebenfalls eine solche Leistung. Spitzer (2000) vertritt die Auffassung, dass manche kognitiven Leistungen mit Eigenschaften autoassoziativer Netzwerke konvergieren. Dazu gehört zum Beispiel die Fähigkeit, die folgenden Wörter richtig zu ergänzen. Doch ist ein autoassoziatives neuronales Netz wirklich ein geeignetes Modell, um diese kognitive Leistung zu erklären? Diese Frage kann heute noch niemand mit Sicherheit beantworten. Chialvo und Bak (1999) meinen, dass unter anderem aufgrund der notwendigen komplizierten Berechnungen nahezu alle 1999 verfügbaren Modelle biologisch wenig plausibel sind und stellen eine in ihren Augen plausiblere Alternative vor, die sie dennoch als „caricature of a real brain“ (S. 1146) bezeichnen. Die von ihnen vorgebrachte Kritik zeigt auf, dass man umsichtig vorgehen muss, wenn man Modelle auf die Realität bezieht.

Spracherwerb ist mittels rekurrenter neuronaler Netze simulierbar

Interestingly, almost all learnability work ignores the fact that learning and development co-occur.

Jeffrey L. Elman, 1994

Rekurrente neuronale Netze wurden unter anderem von Elman (1994) entwickelt. Ein solches Netz besteht mindestens aus vier Schichten (s. Abb. 6.8): Eine Input-Schicht projiziert auf eine Zwischenschicht. Diese wiederum projiziert auf zwei Schichten, nämlich auf eine so genannte Kontextschicht und auf eine Output-Schicht. Der Informationsfluss verläuft unidirektional von der Input-Schicht in Richtung der Output-Schicht. Die Kontextschicht erhält allerdings eine Kopie des Aktivationsmusters der Zwischenschicht zum Zeitpunkt t_0 , welches sie speichert. Wird zum Zeitpunkt t_1 ein weiteres Input-Muster verarbeitet, wird das zwischengespeicherte Aktivations-

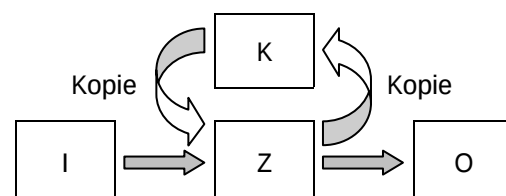


Abb. 6.8: Schema eines rekurrenten neuronalen Netzes. I = Input-Schicht, Z = Zwischenschicht, K = Kontextschicht, O = Output-Schicht.

²³ Trajektorien, die durch Iterationen entstehen, können visualisiert werden. Dabei scheinen die erzeugten Punkte auf einer Bahn zu liegen, die oft zyklisch ist. Dieses Phasenportrait ähnelt einem Orbit um ein imaginäres Gravitationszentrum, den Attraktor (s. S. 91, Abb. 6.10).

muster vom Zeitpunkt t_0 der Zwischenschicht als zusätzlicher Input dargeboten. Dadurch wirkt ein vorhergehendes Input-Muster auf die Verarbeitung des nachfolgenden. Die Verbindungsstärken der Kontextschicht zur Zwischenschicht sind dynamisch, weshalb manche Muster gemeinsam über längere Zeit wirken können. Auf diese Weise kann ein rekurrentes neuronales Netz Kontexteffekte simulieren.

Spitzer (2000) vergleicht die Kontextschicht mit dem Modell des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley. Sowohl bei Menschen als auch bei Tieren konnte nachgewiesen werden, dass Areale des frontalen Cortex funktional Aspekte des Arbeitsgedächtnis-Modells repräsentieren. Experimente mit Affen zeigten Folgendes: Wird ein Stimulus kurz präsentiert, der erst nach einer kurzen Zeit für das Tier von Bedeutung ist, wird dieser behalten. Während der Zeit zwischen dem Verschwinden des Stimulus und der Reaktion steigt die Feuerrate einiger Neuronen. Daher wird davon ausgegangen, dass diese Neuronen die Stimulus-Information kurz zwischenspeichern und daher aktiviert werden (Funahashi et al., 1997; Compte et al., 2003). Eine Gegenprobe führt zu folgendem Ergebnis: Wird der dorsolaterale präfrontale Cortex selektiv gekühlt, fällt das Arbeitsgedächtnis reversibel aus (Quintana und Fuster, 1993). Nachfolgend wird erläutert, wie rekurrente neuronale Netze neues Licht in die Erforschung des Spracherwerbs bringen.

Für Elman steht fest, dass eine Relation zwischen dem Lernen und der Entwicklung des Gehirns besteht: „[...] first language learners (children) are themselves undergoing significant developmental changes during precisely the time that they learn language.“ (Elman, 1994, S. 863-864) Ebenso weist er darauf hin, dass Sprachenlernen nach einer kritischen Periode²⁴ mit geschmälertem Lernerfolg einhergeht. Seiner Meinung nach muss detaillierter aufgezeigt werden, welches Prinzip diesem Phänomen zugrunde liegt. Aus diesem Grund hat Elman verschiedene Simulationen zum Erstspracherwerb durchgeführt. Er bediente sich dabei der von ihm entwickelten rekurrenten Netzwerke. Eine von ihm entwickelte „semirealistic artificial language“ (S. 865) wies unter anderem folgende Eigenschaften auf: Angleichung des Numerus, Unterscheidung transitiver und intransitiver Verben sowie Rekursivität durch Relativsätze. Diese Eigenschaften wurden gewählt, weil zuvor die Einwände geäußert worden waren, dass eine Grammatik mit endlich vielen Zuständen²⁵ und statistische Berechnungen eine Modellbildung von natürlicher Sprache nicht zulassen.

Elmans erste Simulationen waren wenig überzeugend und schienen die Kritiker konnektionistischer Modelle zu bestätigen: Das Modell produzierte viele Fehler, und dies selbst mit den Trainingsdaten. So schlug zum Beispiel eine Übereinstimmung zwischen dem Subjekt und Verb eines Relativsatzes fehl: *,„The boy who the girl chase see the dog.“ (Elman, 1994, S. 866) Auf eben diese Problematik hatten Chomsky und ande-

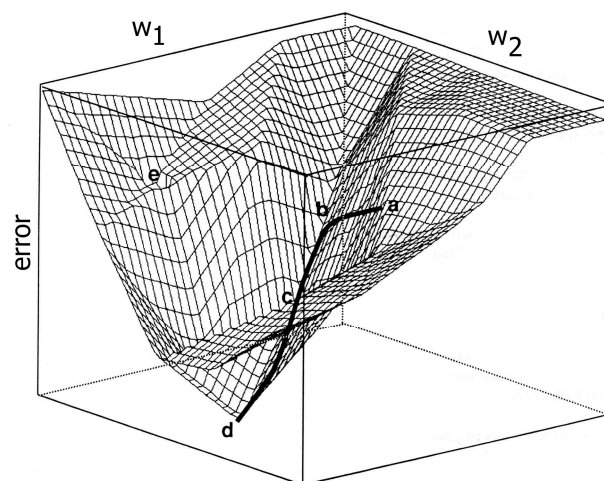
²⁴ Elman differenziert nicht zwischen mehreren sensiblen und kritischen Perioden.

²⁵ Man spricht auch von einer *finite state grammar* oder einem *finite state automaton*. Dieses Grammatikmodell basiert auf der linearen Struktur der Sprache. Es sollen unendlich viele Sätze mittels eines endlichen Wortschatzes und einer endlichen Menge von Regeln gebildet werden. Dabei determiniert das erste Wort im Satz die Wahl für das nächste usw. Chomsky (1973) hat nachgewiesen, dass eine Grammatik mit endlich vielen Zuständen nicht zur Beschreibung einer natürlichen Sprache taugt, weil auch zwischen direkt aufeinander folgenden Elementen syntaktische Abhängigkeiten bestehen. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn Relativsätze eingeschoben werden.

re hingewiesen. An dieser Stelle hätte Elman sein Vorhaben für gescheitert erklären können. Dennoch führte er mit veränderten Parametern weitere Simulationen durch, die bemerkenswerte Ergebnisse hervorbrachten.

Im Rahmen von fünf Trainingsphasen wurden zunächst einfache Sätze als Input präsentiert und erst im Laufe der weiteren Phasen zunehmend komplexere Sätze hinzugefügt. Insgesamt wurden mehr als 200 000 Mal Sätze präsentiert. Nach Abschluss des Trainings lag die Fehlerrate bei 17,7 % und veränderte sich auch nicht bei neuen Sätzen, mit denen die Fähigkeit getestet wurde, grammatische Formen korrekt vorherzusagen. Auch Kinder beginnen mit einfachen Sätzen, die graduell komplexer werden, bis dass das Sprachlevel eines Erwachsenen erreicht wird. Das Modell weist dennoch einen Nachteil auf: Das Training wurde so durchgeführt, dass der Input an komplexen Sätzen je nach Trainingsphase zunimmt. In einer natürlichen Lernumgebung ist dies nicht der Fall, wenn auch die Eltern um eine kindgerechte Sprache bemüht sind. Es ist nicht die Lernumgebung deren Komplexität zunimmt, sondern die interneuronale Vernetzung im Gehirn des Individuums.

Daher führte Elman eine weitere Simulation durch, bei der die Lernumgebung konstant blieb, aber das Modell graduell komplexer wurde. Elman parallelisierte die Kontextschicht des rekurrenten neuronalen Netzes mit dem Arbeitsgedächtnis. Im Laufe des Trainings wurden die Synapsengewichte so modifiziert, dass die Kontextschicht eine immer größer werdende Anzahl an präsentierten Wörtern als Input vermitteln konnte. Dabei wurde nicht wie bei den vorherigen Simulationen zwischen einfachem und komplexem Input differenziert. Nach Abschluss des Trainings war die Leistung ebenso gut wie in der vorangegangenen Simulation. Die Vorgehensweise dieser Simulation ist aber günstiger: Wenn die Aufgabe sehr komplex ist und es in einem Lösungsraum sehr viele falsche Möglichkeiten gibt, besteht die Gefahr, dass das neuronale Netz unzureichend generalisiert und in diesem Zustand verbleibt. Ein lokales Fehlerminimum könnte dann fälschlicherweise als globales Fehlerminimum angenommen werden (s. Abb. 6.9). Dieser Attraktor könnte dann nicht mehr verlassen werden. Die anfänglichen Beschränkungen des rekurrenten Netzwerks fungieren als eine Art Filter des Inputs und lenken das Lernen auf eine Teilmenge der zu lernenden Gesamtheit, um den Weg für



Elman, *Implicit Learning in Neural Networks: The Importance of Starting Small*, Chapter 34, *Attention and Performance XV*, Moscovitch & Umiltà. © by The MIT Press. Electronic and print permission granted.

Abb. 6.9: Graph der Fehleroberfläche, die durch eine hypothetische Datenmenge produziert werden könnte. Die Daten werden durch ein neuronales Netz mit zwei Synapsengewichten w_1 und w_2 verarbeitet. Die Fehleroberfläche ergibt sich aus der Architektur des neuronalen Netzes und dem zu lösenden Problem. Die z-Achse gibt die Fehlergröße wieder, die sich aus allen möglichen Kombinationen von Synapsengewichten ergibt. e = lokales Fehlerminimum, d = globales Fehlerminimum, a = zufälliger Startpunkt, b, c = weitere Punkte, Kurve = Trajektorium der Synapsengewichte (Elman, 1994, S. 879).

erfolgreiches Lernen komplexerer Aufgaben zu ebnen. Daher werden nicht mehr Umweltreize verarbeitet als es der jeweilige Entwicklungsstand des Organismus zulässt. Diese Beschränkung kann als evolvierter Optimierungsmechanismus zur graduellen Adaptation an die Umwelt in Bezug auf die Entwicklung des Organismus interpretiert werden. In Bezug auf Chomskys Einwand, dass Lernen mittels statistischer Verfahren den Spracherwerb nicht erklären kann, entgegnet Elman (1994):

„If the learning algorithm is merely compiling a lookup table of co-occurrence facts (i.e., statistics as output), the approach is indeed doomed for the reasons they [die Kritiker seiner Modelle] give. But this is not what neural networks do. Neural networks are function approximators, not compilers of lookup tables. The goal of learning is to discover the function that underlies the training data.“ (S. 876)

Elman hat mit seinen Simulationen einen wesentlichen Beitrag geleistet, den Erstspracherwerb in Bezug auf die Gehirnentwicklung zu simulieren. Ein Transfer seiner Erkenntnisse auf andere Bereiche des Könnens erscheint zulässig. Die Simulationen haben verdeutlicht, weshalb es unabdingbar ist, Lernen auf einfachster Ebene zu beginnen. Die scheinbare Unvollkommenheit eines Kindes darf nicht als Nachteil angesehen werden: Die Unvollkommenheit ist die grundlegende Bedingung für die erfolgreiche Ausbildung der Fähigkeiten Erwachsener.

„The price paid – a longer period of immaturity – may have negative consequences, but these are outweighed by the positive advantages conferred by the ability to walk upright and to have a larger adult brain. [...] Limited capacity acts like a protective veil, shielding the infant from stimuli that may either be irrelevant or require prior learning to be interpreted.“ (Elman, 1994, S. 884)

Ein vermeintliches Paradoxon löst sich somit auf: Je komplexer ein Organismus und sein Verhaltenspotenzial ist, desto länger dauert die Phase des Lernens und die Approximation an einen optimalen Zustand. Für das Überleben eines langlebigen Organismus wie des Menschen impliziert dies aber auch, dass wesentliche Grundfertigkeiten früh und zügig erworben werden müssen. Daher lassen sich selbst die Phänomene der sensiblen und kritischen Phasen durch diese Simulationen deuten. Auch wurde gezeigt, dass Spracherwerb keinerlei vorgegebener Regeln bedarf, wie es VertreterInnen des Symbolismus fordern. Generalisiert man Elmans Befund, zeigt sich auch die Sinnlosigkeit des übersteigerten Bemühens, Kindern „enriched environments“ (Bruer, 1997, S. 9) mit Stimuli zu bereiten, die sie noch nicht verarbeiten können.

Elman hat gezeigt, dass Spracherwerb anhand stochastischer Approximation simulierbar ist. Dabei ist sein Modell in weiten Teilen biologisch plausibel. Auch die Interpretation der gewonnenen Ergebnisse aus evolutionärer, neurobiologischer und entwicklungsbiologischer Perspektive ist plausibel. Es muss auch bedacht werden, dass ein Modell naturgemäß nicht mehr leisten kann. Eine Optimierungsmöglichkeit sehe ich hinsichtlich des verwendeten Lernalgorithmus. Elman bedient sich des Backpropagation-Algorithmus zur Modifikation der Synapsengewichte. Es wäre höchst interessant zu untersuchen, wie sich das rekurrente Netzwerk unter Verwendung eines biologisch plausibleren Algorithmus verhielte.

Möglichkeiten und Grenzen des PDP für die Kognitionswissenschaften

A large number of issues are now naturally addressed that were difficult to deal with before. In turn, a large number of things that were easy to do before are now difficult. This is a combination of evolution and revolution.

Donald A. Norman, 1988

Konnektionistische Modelle, die dem Prinzip des PDP folgen, könnten den Anschein erwecken, zukünftig die Kognition des Menschen zu erklären. Einem solchen Gedanken kann nicht vorbehaltlos entsprochen werden, wie Norman aufzeigt. Seine Ausführungen sind von beispielhafter Differenziertheit und trotz zwischenzeitlich neuerer Modellversuche nach wie vor relevant. Daher stelle ich im Folgenden einige Möglichkeiten und Stärken sowie Grenzen und Schwächen des PDP-Ansatzes heraus.

Möglichkeiten und Stärken: Der PDP-Ansatz ermöglicht eine engere Beziehung zwischen den NW, der Psychologie und der Informatik. Dies impliziert eine interdisziplinäre Kooperation, die in dieser Intensität vormals nicht erfolgt ist. Ebenfalls innovativ ist das Prinzip des PDP, das die Funktionsweise von Nervensystemen berücksichtigt. Zudem wird Kognition nicht mehr im Licht symbolverarbeitender Prozesse betrachtet, bei denen die Komplexität der Algorithmen der Komplexität der zu simulierenden Verhaltensweisen proportional ist. Vielmehr richtet sich der Blick auf die qualitative Übereinstimmung des zu beschreibenden Inputs und dessen Repräsentation in der beschreibenden Verarbeitungsstruktur. Als Ergebnis erhält man ein adaptives Modell, das sich selbst so konfiguriert, dass es den zu verarbeitenden Daten gerecht wird. Daher simulieren PDP-Modelle basale Charakteristika menschlicher Informationsverarbeitung. Dies führt auch zur Verwendung anderer Metaphern: Es ist nicht mehr von Symbolen und Regeln die Rede, sondern von Begriffen wie Synapsengewicht, stabiler Zustand oder globales Minimum. Wie auch der Mensch kommen PDP-Modelle mit unvollständigem, zweideutigem und falschem Input zurecht. Sie reagieren fehlertolerant und gleichzeitig flexibel. Norman bezieht diese Eigenschaften der PDP-Modelle auf menschliche Sprechakte, die sich ebenfalls durch unvollständige Sätze, Fehler bei der Wortwahl oder falsche Ansätze auszeichnen. Trotz solcher Fehler ist Kommunikation in der Regel möglich. Hinsichtlich unterschiedlicher Beschreibungsebenen menschlichen Verhaltens weist Norman darauf hin, dass die bisher kaum beachtete neuronale, tiefe Beschreibungsebene die Interpretation der Kognition auf einer hohen Beschreibungsebene wesentlich beeinflusst. Dies müsse zu einer Neubewertung der Relevanz der tiefen Beschreibungsebene führen: „So far, the primitives have been based upon symbols: symbol manipulating rules, production systems, control structures, and representational systems. How do we know these are the appropriate descriptors? We don't.“ (Norman, 1988, S. 538)

Grenzen und Schwächen: Der PDP-Ansatz ist besonders gut auf frühe Verarbeitungsstufen der Wahrnehmung und des motorischen Outputs anwendbar. Zwischengeschaltete Verarbeitungsstufen sind hingegen kaum simulierbar. Eine besondere Schwäche der PDP-Modelle ergibt sich aus ihrer Fähigkeit, zu generalisieren: Die ergänzende

Fähigkeit, individuelle Konzepte voneinander zu trennen, bereitet ihnen große Schwierigkeiten. Ein weiteres Problem sieht Norman in der Verarbeitung von Variablen. Er meint, dass komplexes Denken nicht auf mentale Variablen, nämlich Symbole, verzichten kann. Zudem vertritt er die Auffassung, dass komplexes Denken eine Vielzahl hierarchisch angeordneter PDP-ähnlicher Systeme erfordert. Wenn auch keine zentrale Steuereinheit im Gehirn existiert, muss dennoch ein Mechanismus die verschiedenen spezialisierten PDP-ähnlichen Systeme so koordinieren, dass eine Aufgabe als Ganzes erfüllt wird. Es stellt sich zudem die Frage, wie viele PDP-ähnliche Systeme vorhanden sein müssen, um Kognition und andere Aufgaben zu erfüllen, und wie diese Systeme interagieren. Ein weiteres Problem besteht darin, dass einige Aufgaben in ihrer Ausführung evaluiert werden müssen und womöglich eine Korrektur notwendig ist. Dies führt zu der Frage, wie ein solcher Mechanismus gestaltet sein könnte.

Ich bin mit Norman einer Meinung, dass es sich bei menschlicher Kognition um ein Phänomen handelt, das aus dem Zusammenspiel vieler Faktoren resultiert, die alle mehr oder weniger voneinander abhängen. Kognition betrachte ich daher als ein Emergenzphänomen, das aus der Aktivität unzähliger Neuronenverbände entsteht. Da das Ganze, die Kognition, qualitativ mehr ist als die bloße Summe seiner Teile, die zahllosen Neuronenverbände, ist es meines Erachtens sehr kompliziert, aus dem Ganzen auf seine Teile zu schließen. Umgekehrt verhält es sich nicht einfacher: Der PDP-Ansatz ist aufgrund seines interdisziplinären Ansatzes besonders geeignet, modellhaft einen Perspektivwechsel vorzunehmen und von einzelnen Teilen auf das Ganze zu schließen. Letztlich besteht das Problem darin, das Phänomen der Emergenz zu erklären, nämlich zu erklären, wie und warum aus Teilen das Ganze hervorgeht. Ich bin überzeugt, dass es langfristig zumindest partiell gelingen wird, anhand beider Vorgehensweisen menschliche Kognition und damit auch sprachliche Phänomene zu erklären. Hierbei ist die biologisch inspirierte konnektionistische Modellbildung nach dem PDP-Prinzip eine sinnvolle Methode, die aber wie alle anderen Methoden der Erkenntnisgewinnung in ihrer Anwendbarkeit und Aussagekraft weder unter- noch überschätzt werden darf.

Für die Weiterentwicklung ihres Ansatzes sehen Rumelhart und McClelland (1988b) auch die Möglichkeit, hybride Modelle zu entwickeln, die neben PDP-Einheiten auch symbolmanipulierende Einheiten enthalten, wenn dadurch die Realität adäquater modelliert werden kann. Allerdings fehlen bis heute verlässliche Ergebnisse neurowissenschaftlicher Forschung, die hybride Modelle legitimieren.

6.5 Konnektionistische Modelle im Kontext der Fachdidaktik Englisch und der Spracherwerbsforschung

Die Rezeption konnektionistischer Modelle durch die FE und Spracherwerbsforschung lässt sich in drei Abschnitte gliedern. Erstens beschäftigen sich die AutorInnen mit der biologischen Plausibilität der konnektionistischen Modellbildung. Zweitens steht deren theoretische Integration im Zentrum des Interesses, und drittens wird hauptsächlich seitens der FE analysiert, welcher praktische Nutzen für den FU gezogen werden kann.

Zur biologischen Plausibilität der konnektionistischen Modellbildung

Hatch et al. erkennen (1990), dass die von ihnen zitierten konnektionistischen Modelle nur einen kleinen Ausschnitt des Spracherwerbs simulieren können – ein der Methode der Modellbildung immanentes Charakteristikum. Sie meinen, dass eine Theorie des Spracherwerbs unter anderem auch neurobiologisch plausibel sein muss. Dieses Bewusstsein ist für eine umsichtige Interpretation von Ergebnissen konnektionistischer Modellbildungen essenziell.

Etwas ausführlicher diskutiert Sokolik (1990) die neurobiologische Plausibilität konnektionistischer Modelle. Sie geht dabei auf die Kritik ein, dass viele Modelle mit einer Art Tabula rasa starten, wodurch jegliche vererbten Fähigkeiten des Spracherwerbs abgelehnt würden. Sie entgegnet dem, dass eine solche Annahme unbegründet ist: Kein PDP-Modell muss mit Synapsengewichten von Null oder zufällig gewählten Werten starten. Sie vertritt die Auffassung, dass im menschlichen Gehirn ein genetisch determinierter Anfangszustand existiert. Anhand eines Verweises auf die NI nennt Sokolik ein in ihren Augen wesentliches Problem: Dieser Anfangszustand muss identifiziert und anschließend seine Bedeutung für das Lernen ergründet werden. Ich merke an, dass ein solcher Anfangszustand bislang nicht nachgewiesen werden konnte und wohl auch nie nachgewiesen werden wird, weil diese Sichtweise die biologische Realität zu sehr vereinfacht: Genexpression findet fortlaufend statt und wird unter anderem durch Stimuli der Umwelt induziert – insofern existiert ‚der eine‘ Anfangszustand nicht. Zudem codiert das Genom nicht für einzelne Synapsengewichte, sondern für Aminosäuresequenzen. Es ist auch sinnlos zu fragen, zu welchen Anteilen die Gene und die Umwelt an der Entwicklung der Fähigkeit zum Lernen beteiligt sind: Die Entwicklung dieser Fähigkeit entsteht im Sinne des Emergenzprinzips aus der Interaktion genetischer, epigenetischer und umweltbedingter Faktoren. Kaum eine Eigenschaft des einen oder des anderen Faktors kann vorab darauf hinweisen, wie sich diese Fähigkeit nach der Interaktion aller Faktoren darstellt. Ich möchte auch zur Vorsicht aufrufen, wenn die Begriffe Lernen und Spracherwerb nahezu synonym verwendet werden. Hierbei handelt es sich nicht um monolithische kognitive Leistungen, sondern sie lassen sich in Teilaspekte zerlegen, die jeweils Ausschnitte des menschlichen Verhaltens darstellen.

Sokolik meint im Weiteren, dass manche Verbindungen innerhalb des Nervensystems nicht geändert werden können. Als Beispiele führt sie die zentralnervöse Beein-

flussung von Körperfunktionen wie den Herzrhythmus und die Atmung an (!). Dies ist allerdings für die Diskussion der genetischen Determiniertheit des Spracherwerbs erheblich zu weit gegriffen: Bei diesen Beispielen handelt es sich um Systeme, die keinerlei Bezug zu sprachlichen Funktionen zulassen und durch andere Strukturen des Gehirns vermittelt werden.

Jacobs und Schumann (1992) befürworten, neurowissenschaftliche Erkenntnisse in Theorien des Erst- und Zweitsprachenerwerbs zu integrieren. Sie analysieren, inwiefern symbolistische und konnektionistische Modelle neurobiologisch plausibel sind. Ihrer Auffassung nach fußt der Symbolismus auf der Funktionsweise von Computern, die auf die Funktionsweise des Gehirns übertragen wurde – was allerdings unzulässig ist. Daraus leite sich die Suche nach Regeln ab, die Symbole manipulieren und letztlich Verhalten steuern. Allerdings könne die beste Beschreibung von Verhalten nicht erklären, wie Verhalten verursacht wird:

„One would not claim, for example, that a computer chess program capable of defeating a grandmaster tells us anything about the way in which a grandmaster’s brain works.“ (Hsu et al., 1990, zit. v. Jacobs und Schumann, 1992, S. 292)

Diese Feststellung wenden die Autoren auf die Erforschung des Zweitsprachenerwerbs an, wenn sie meinen, dass die Aufdeckung von Regelmäßigkeiten und Strategien nicht abstrakte Charakterisierungen mentaler Prozesse, sondern menschlichen Verhaltens sind. Deswegen sagen sie nichts über die zugrunde liegenden Mechanismen aus. Daher haben sich die NW der Erforschung der Struktur und Funktion des Gehirns verschrieben und versuchen, Verhalten mit neuronaler Aktivität zu korrelieren. Mit Bezug auf die NW lehnen Jacobs und Schumann die Analogie zwischen dem Computer und Gehirn richtigerweise ab. Ihrer Auffassung nach sind Gehirne fähig, Gesichter zu erkennen, aus Erfahrung zu lernen und dies auf Neues anzuwenden. Mit Gasser (1990) meinen die Autoren, dass Computer hingegen nicht die geringsten Abweichungen des erwarteten Programms verarbeiten können. Diese Einschränkungen waren damals noch gegeben; heute sind Computer prinzipiell in der Lage, viele dieser Aufgaben sehr zuverlässig zu bewältigen. Dies geschieht aber meist nicht aufgrund symbolistischer, sondern aufgrund konnektionistischer Ansätze. Einen wesentlichen Unterschied zwischen Computer und Gehirn stellt Jacobs (1988) in einem früheren Artikel heraus: Gehirne verarbeiten Information parallel, konventionelle Computer bis dato (1988) seriell. Auch heute noch arbeiten konventionelle Computer seriell, obwohl inzwischen Rechnerarchitekturen entwickelt worden sind, die parallele Informationsverarbeitung ermöglichen.

Nach Jacobs und Schumann berücksichtigen konnektionistische Ansätze wesentliche Organisationsprinzipien des Nervensystems und führen zu einer Verschmelzung von Hard- und Software. Dennoch sähen Neurowissenschaftler die Gefahr, dass sich konnektionistische Modelle nicht genügend an ihrem biologischen Vorbild orientierten. So dürfe beispielsweise das Prinzip der Inhibition oder der Reafferenz nicht fehlen. Jacobs und Schumann teilen diese Ansicht und fordern neurobiologisch plausible Modelle.

Carroll (1995) achtet Sokoliks und Smiths (1992) konnektionistische Modelle hinsichtlich der Bedeutung für die KI-Forschung, beurteilt die Ergebnisse jedoch für die

FD als irrelevant. Ihre hauptsächliche Kritik lautet sinngemäß: Die Studie lässt glauben, dass die Zuweisung des richtigen grammatischen Geschlechts im Französischen auf einer niedrigen Verarbeitungsstufe der Wahrnehmung im Sinne eines Bottom-up-Prozesses geschieht. Dies trifft ihrer Meinung nach aber nicht zu, da das Modell mit abstrakten Konstrukten wie Buchstaben und Zeichenpositionen arbeitet, was in der Realität die Beteiligung höherer Verarbeitungsstufen impliziert. Zudem sei auch vorab definiert worden, dass es zwei grammatische Geschlechter gäbe – Lernende einer Sprache müssten dies erst erkennen. Carroll kritisiert auch, dass das Modell so ausgelegt ist, dass es eine Unterscheidung zwischen grammatischem Geschlecht vornehmen muss. Dies entspräche nicht der Realität, weil Sprachen existierten, die kein grammatisches Geschlecht besäßen. Somit könne nicht angenommen werden, dass das Gehirn für eine solche Unterscheidung von Anfang an ausgelegt sei. Außerdem hätten Sokolik und Smith dem Modell von vornherein nur Nomen präsentiert. Diese Selektion schliesse allerdings eine Beobachtung des Effekts aus, wie das Modell auf andere lexikalische Kategorien reagierte. Weitere Kritik äußert Carroll dahingehend, dass in das verwendete Modell eine uneingeschränkt funktionierende Feedback-Schleife implementiert worden ist. Ein derart ausgefeiltes Feedback käme nicht dem natürlichen Vorbild gleich. Zudem sei unbewiesen, dass Lernende anhand von Feedback die korrekte Zuweisung des grammatischen Geschlechts lernten.

Carroll zieht aus ihren Einwänden das Fazit, dass Sokoliks und Smiths Modell die komplexe Realität übermäßig vereinfacht. Sie spricht sich aber auch dafür aus, konnektionistische und symbolistische Paradigmen der Informationsverarbeitung in einem Modell zu vereinigen. Schließlich sei bei Sokoliks und Smiths Modell deutlich geworden, dass mithilfe vorgegebenen Wissens bzw. Könnens („knowledge“, S. 196)²⁶ die korrekte Zuweisung des grammatischen Geschlechts äußerst schnell erlernbar ist. Anhand einer solchen Vorgehensweise bei der Modellbildung könne der Anteil vererbten Wissens bzw. Könnens von Grammatik bestimmt werden. Eine solche Vorgehensweise erscheint mir nicht sinnvoll, da in diesem Fall vorausgesetzt wird, dass das Gehirn sowohl gemäß konnektionistischer wie auch symbolistischer Paradigmen der Informationsverarbeitung funktioniert. Zudem ist nicht definiert, was unter vererbtem Wissen bzw. Können hinsichtlich sprachlicher Fähigkeiten zu verstehen ist.

Auch Plunkett (1998) fordert, dass konnektionistische Modelle biologisch plausibel sein müssen. So existiere beispielsweise kein neurobiologisches Pendant des Backpropagation-Algorithmus von Rumelhart und McClelland (1986a). Dies einschränkend meint Plunkett:

„The neuro-transmitters [...] are still only poorly understood. It is known that they communicate information in both directions. Information may be fed backwards through the layered system of neurons in the cortex – perhaps also exploiting the little understood back projecting neurons in the process.“ (S. 19)

Der Hinweis auf die Neurotransmitter erscheint unbeholfen und legitimiert nicht den Backpropagation-Algorithmus. Wie ich dargestellt habe, wurde bereits sieben Jahre vor

²⁶ Zum Beispiel sind nahezu alle Nomen, die auf –ation enden feminin.

Plunketts Publikation ein biologisch plausiblerer Algorithmus eingesetzt (Mazzoni et al., 1991).

Zur theoretischen Integration der konnektionistischen Modellbildung

In einer Publikation von Ney und Pearson (1990) begleiten fachliche Ausführungen eine kontraproduktive Auffassung, die interdisziplinäres Arbeiten konterkariert: Die Autoren meinen, dass viele LehrerInnen und LinguistInnen die fachlichen Hintergründe des Konnektionismus nicht erfassen können. Deswegen erläutern sie in Kürze den Begriff Konnektionismus: „Most important, connectionism is a term which can be used of machines that ‘learn’.” (S. 474) Sie sehen in der Abkehr von der klassischen Transformationsgrammatik und der Hinwendung zum Konnektionismus einen Paradigmenwechsel in der Linguistik und Psychologie. Dabei beziehen sie sich auf die NI. Außerdem wird eine Verbindung zum Behaviorismus gesehen, da sich der Konnektionismus ebenfalls mit Reiz-Reaktions-Verknüpfungen beschäftige.

Meines Erachtens gelingt es den Autoren nicht, den Begriff Konnektionismus verständlich zu definieren. Zudem fallen einige Ungenauigkeiten auf: Es ist zwar richtig, dass sich bei neuronalen Netzen während des Trainings die Synapsengewichte durch Lernen verändern. Aber nicht im Allgemeinen, sondern nur bei angeleitetem Lernen ist eine Reafferenz der Ausgabe zur Eingabe implementiert. Es wird auch nicht erwähnt, dass ein zentraler Unterschied zwischen dem Behaviorismus und dem Konnektionismus darin besteht, dass sich Konnektionisten intensiv mit dem Mechanismus im Inneren der Blackbox beschäftigen.

Ney und Pearson werten es als ein wesentliches Argument gegen den Konnektionismus, wenn angenommen wird, dass Sprache durch Regeln gesteuert ist. Sie meinen, dass es Chomskyaner wenig kümmert, dass neuronale Netze auch Unregelmäßigkeiten einer Sprache meistern. Dem entgegen Ney und Pearson, dass neuronale Netze sowohl mit regelmäßigen als auch mit unregelmäßigen Input-Mustern zuverlässig arbeiten. Wenn auch diese Feststellung im Prinzip richtig ist, bleibt mir die Erklärung dieses Phänomens unverständlich: „The irregularities are handled in the associative networks and the rule-governed regularities are found in the ‚architecture’ [...]“ (S. 476) Chomskys PPM werten Ney und Pearson als ein weiteres Argument gegen konnektionistische Modelle. Sie stellen fest, dass das neuronale Substrat für ein vererbtes LAD noch nicht gefunden wurde und übersehen dabei die metaphorische Eigenschaft des Begriffs Spracherwerbsorgan. Zudem diskutieren sie unzulänglich seine biologische Evolution:

„But this mechanism [dem Menschen eigener genetischer Mechanismus] is not present in the higher mammals [andere Primaten] according to Chomsky. The question then arises: Where did this genetic mechanism come from? Darwinian mechanisms²⁷ cannot account for it. Therefore, the mechanisms must be acquired by the species. Hence, Chomsky’s position logically forces him to adopt the assumption of the inheritance of acquired characteristics [...]“ (S. 476-477)

²⁷ Charles Darwin (1809-1882) schuf 1859 die Basis für die Evolutionstheorie, die einzig zentrale Theorie der Biologie. Evolution bedeutet, dass sich der Genbestand einer Art über die Generationen hinweg ändert und die Genträger optimal an ihre ökologische Nische angepasst sind. Mechanismen der Evolution sind Genmutationen, Rekombination der Erbanlagen (ein Weibchen produziert nie zwei genetisch identische Eizellen) und Selektion (Überleben des am besten an die Umwelt angepassten Individuums).

Letztlich meinen Ney und Pearson, Chomsky argumentativ entkräften zu können, indem sie ihn als Lamarckisten darstellen. Diese Argumentationslinie ist aus biologischer Sicht unhaltbar: NeurowissenschaftlerInnen wie Dronkers et al. (2000) bezweifeln keinesfalls, dass darwinsche Evolution auch die Fähigkeit des Menschen erklärt, Sprache hervorzubringen. Die Ausführungen Neys und Pearsons nützen der FD wenig: Allein hinsichtlich einer Theorie des Spracherwerbs wird unbeholfen versucht, aus konnektionistischer Perspektive für eine starke umweltgesteuerte Komponente des Spracherwerbs zu plädieren.

In vielen Punkten sieht auch Major (1996) Parallelen zwischen dem Konnektionismus und dem Behaviorismus. Dabei wird nicht der wesentliche Unterschied deutlich, dass der Konnektionismus die Blackbox des Behaviorismus erforscht. Im Weiteren betrachtet Major das Erkenntnispotenzial konnektionistischer Modelle differenziert: Der Konnektionismus erkläre unter anderem, dass LernerInnen einer Erst- oder Zweitsprache häufig vorkommende Wörter auch häufiger benutzen. Er erkläre auch, weshalb sie regelmäßige Verben vor den unregelmäßigen lernen. Andererseits sieht Major kreative Aspekte von Sprache unerklärt. Dazu zählt er die Unvorhersagbarkeit interpersoneller Kommunikation wie auch die Tendenz vieler Menschen, bisher häufig verwendete Wörter seltener zu benutzen. Der Konnektionismus könne aufgrund des heutigen Kenntnisstands solche Phänomene nicht erklären. Hier sei eher die Psycholinguistik gefragt. Ebenso verwehrt er sich der Erklärung von Ellis und Sinclair (1996), dass einfache Strukturen vor komplexen gelernt werden, weil einfache Strukturen häufiger auftreten und somit stärker habituiert sind. Major meint, dass Habituation und gespeicherte Sequenzen als Komponenten menschlicher Sprache die Existenz von Regeln und der UG nicht ausschließen. An dieser Stelle verweise ich auf Elman (1994), der zeigen konnte, dass die Ursache für das Lernen einfacher Strukturen vor komplexen nicht in der Häufigkeit ihres jeweiligen Auftretens liegt, sondern von der Gehirnentwicklung abhängt. Ein weiteres Problem im Zusammenhang mit der Wahrscheinlichkeit des Auftretens sieht Major darin, dass im Englischen Wörter häufiger vorkommen, die mit geschlossenen Silben enden. Dennoch lernten Kinder zuerst Wörter mit offenen Silben. Eine gegenseitige Zuweisung der Beweispflicht zwischen Major sowie Ellis und Sinclair ist nicht zielführend.

Letztlich stellt Major fest, dass Linguisten bislang aufgrund anderer epistemologischer Ausrichtungen konnektionistische Theorien abgelehnt haben. Die Idee des „innatism“ (S. 353) weist in seinen Augen unter anderem intellektuelle, philosophische, emotionale und religiöse Anknüpfungspunkte auf, die die Einzigartigkeit des Menschen legitimieren. Letztlich appelliert Major an die Forschung:

„As open-minded researchers, we should be prepared to consider the possibility that human beings do share some common characteristics with apes, pigeons, rats, and cockroaches. Perhaps some of these characteristics apply to language.“ (S. 353)

Wenn auch überzeichnet, wird deutlich, dass menschliche Sprache im Kontext der evolvierten Kommunikationssysteme betrachtet werden muss. Diese Perspektive kann Majors und Ellis Diskussion nicht in Richtung einer Lösung entwickeln, weil in Bezug auf Sprache keine Homologie zu den genannten Spezies existiert. Das Problem liegt hier in einem unzureichenden Verständnis evolutiver Prozesse.

Eine überzeugendere Darstellung konnektionistischer Prinzipien findet sich bei Gasser (1990) – wahrscheinlich, weil er sich selbst mit Modellexperimenten beschäftigt hat. Gasser sieht in konnektionistischen Modellen der Kognition eine Herausforderung symbolistischer Modelle, deren Schwäche in ihrer unnatürlichen Informationsverarbeitung nach dem unflexiblen Alles-oder-Nichts-Prinzip bestünde. Zunächst widmet sich Gasser einer kurzen Erläuterung der Architektur und Funktionsweise konnektionistischer Modelle, um im Weiteren ihre Bedeutung für die Erforschung des Zweitsprachenerwerbs aufzuzeigen. Dabei konzentriert er sich auf PDP-Modelle, deren Eigenschaften er korrekt skizziert. Wenn Gasser dabei von einer statischen Speichergröße dieser Modelle spricht, hatte Elman (1994) seine Modellexperimente noch nicht durchgeführt, bei dem die Kontextschicht graduell wächst und so wesentlich zum Erfolg des Modells beiträgt.

Gut begründet weist Gasser die Kritik zurück, dass der Konnektionismus nichts weiter als ein Wiederaufblühen des Behaviorismus ist, der in der Verkleidung der NW daherkommt. Zwar stimmten Konnektionismus und Behaviorismus darin überein, Reiz-Reaktions-Assoziationen zu untersuchen, aber es gäbe auch wesentliche Kriterien der Unterscheidung: So interessierten sich Anhänger des Konnektionismus für die internen Prozesse der Informationsverarbeitung. Daher beschäftigten sie sich mit der Ausgangsstruktur des neuronalen Netzes vor dem Lernprozess, um so vererbte Fähigkeiten zu berücksichtigen. Diese Aussage stellt somit einen Gegensatz zu den bisher zitierten Autoren dar. Wie bereits erläutert, ist aber die Suche nach vererbten Fähigkeiten fraglich.

In Bezug auf das PPM führt Gasser das Argument an, dass ein künstliches neuronales Netz recht zuverlässig zwischen grammatischen und ungrammatischen Sätzen differenzieren kann, ohne dass es vordefinierte *universals* benötigt. Es konnten sogar ungrammatische Sätze korrigiert werden. Gasser meint, dass *universals* auch bei konnektionistischen Modellen zu finden seien, und zwar in Form der Modifizierbarkeit bestimmter Verbindungen und der gesamten Architektur des neuronalen Netzes. Ich bin der Meinung, dass sich hier die Frage, nach einer genauen Definition des Universellen stellt. Es hat den Anschein, als wollte Gasser vererbte Prinzipien des Spracherwerbs nicht ausschließen, die er im Modell durch vordefinierte Parameter realisiert sieht. An dieser Stelle habe ich aber präzisere Ausführungen erwartet. Gasser berichtet auch von der Implementierung eines Arbeitsgedächtnisses in ein konnektionistisches Modell, um Lernen biologisch plausibler simulieren zu können. Ich erinnere daran, dass auch Elman (1994) diese Idee später erfolgreich verfolgte.

Die referierten Erkenntnisse der NI integriert Gasser in die FD. Dabei bedient er sich der Terminologie der NI, die er stets korrekt verwendet. Im Fremdsprachenerwerb sieht Gasser drei wesentliche Unterschiede zum Mutterspracherwerb:

1. Es findet ein Transfer von Mustern zwischen beiden Sprachen statt. Gasser vermutet, dass konnektionistische Modelle aufgrund ihrer Fähigkeit zu Generalisieren den Transfer von Mustern zwischen Sprachen simulieren könnten. Ebenfalls sei es möglich, Veränderungen in der Neuroplastizität zu implementieren. Vorschläge für Modellexperimente werden allerdings nicht unterbreitet.

2. Neurophysiologische Veränderungen oder²⁸ die kognitive Entwicklung prädisponieren die Lernenden für bestimmte Lernstrategien. Dies verstehe ich wie folgt: Je nach Alter sind maßgeschneiderte Unterrichtsmethoden angebracht. Gasser führt aber nicht weiter aus, an welche Lernstrategien er denkt.
3. Kontextuelle Faktoren beeinflussen den Fremdspracherwerb. Anhand einiger Simulationen zeigt Gasser zum Beispiel auf, dass es neuronalen Netzen anfänglich schwerlich gelingt, die Wortstellung einer Fremdsprache zu erlernen, wenn diese von der Muttersprache stark abweicht. Im Verlauf des Trainings relativiert sich diese Schwierigkeit. Gleiches gilt für Wortbedeutungen.

Gasser beachtet, dass der Effekt des Einflusses der Muttersprache auf die Fremdsprache unter realen Lernbedingungen nicht so stark hervortritt: In einer Simulation wurde das neuronale Netz mit genauso vielen Mustern der Muttersprache konfrontiert wie mit Mustern der Fremdsprache; in der Realität ist dieses Verhältnis so nicht gegeben. Gasser stellt fest, dass ein neuronales Netz leichter phonetische Muster der Fremdsprache lernt, wenn diese der Muttersprache ähneln. Letztlich ist die Feldarbeit der FD im FU notwendig: Zukünftig muss untersucht werden, inwiefern der Einfluss der Muttersprache auf die Fremdsprache in der Realität mit den Ergebnissen von Modellexperimenten kongruent ist. Auf diese Weise kann die Aussagekraft von Modellexperimenten bewertet werden.

Insgesamt betrachtet Gasser die Ergebnisse der Simulationen zurückhaltend, sieht aber in ihnen einen Ausgangspunkt für neue Ansätze in der FD, um Hypothesen des Transfers zwischen Sprachen zu testen. Aus seinen Modellexperimenten, war es ihm bisher unmöglich, Ergebnisse vorherzusagen. Dadurch sieht er ihre konsequente Anwendung legitimiert, denn unerwartete Ergebnisse bergen in seinen Augen ein bedeutendes Erkenntnispotenzial.

Auch Plunkett (1998) beschäftigt sich mit der Bedeutung konnektionistischer Modelle für das Lernen. Wie Gasser gehört er zu denjenigen, die selbst Modellexperimente durchführen. Wahrscheinlich deswegen ist auch seine Publikation sehr gut verständlich aufgebaut. In seinen Augen gehen viele Modelle von einer Tabula rasa aus und simulieren keinesfalls menschliches Lernen: Die Modelle weisen eine definierte Architektur auf und unterliegen zudem mitunter umfangreichen Verarbeitungsbeschränkungen, um Lernen überhaupt zu ermöglichen. Dazu zählen eine unnatürlich hohe Lernrate und die unnatürliche Vermeidung stark unterschiedlicher Input-Muster, um das Phänomen der *catastrophic interference* zu vermeiden. Diese konnektionistische Perspektive konterkariert die UG und den damit verbundenen Begriff *poverty of the stimulus*.

Meines Erachtens hätte Plunkett an dieser Stelle die Reduktion der Realität als wesentliche Eigenschaft von Modellen hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile intensiver diskutieren müssen. Obwohl er sich Elmans (1994) Auffassung anschließt, dass es für den Menschen wichtig ist, mit beschränkten Verarbeitungskapazitäten des Gehirns das lebensbegleitende Lernen zu beginnen, wird an dieser Stelle nicht ausreichend darauf eingegangen, inwiefern durch Modelle erzielte Prognosen mit der Realität vereinbar sind. Elmans Experimente liefern eine überzeugende Erklärung für ontogenetische Phä-

²⁸ treffender: und damit

nomene des Lernens und fügen sich sehr gut in bereits bestehende Theorien ein. Dennoch stellt Plunkett die Funktionsweise künstlicher neuronaler Netze sehr gut dar. Ebenso gelungen erläutert er, weshalb der Backpropagation-Algorithmus biologisch wenig plausibel ist – allerdings ohne verfügbare Alternativen zu diskutieren.

Implikationen für die FD werden aber nur kurz und vage hervorgehoben: Plunkett sieht die Möglichkeit, mittels konnektionistischer Modellbildung die Startbedingungen für lebensbegleitendes Lernen zu ermitteln. Er berücksichtigt dabei die Beschaffenheit der Umwelt, in der Lernen stattfindet: „Release two otherwise identical organisms in radically different environments and the representations they learn can be quite disparate.“ (S. 21) Plunkett sieht folglich, dass der Spracherwerb von der Interaktion zwischen dem Individuum und seiner Umwelt bestimmt wird. Ich füge hinzu, dass diese Interaktion nur innerhalb der genetisch determinierten Reaktionsnorm möglich ist, wie es vererbte Sprachentwicklungsstörungen zeigen. Auch sollte Plunkett deutlicher darauf hinweisen, dass der Erstspracherwerb nicht mit dem Zweitsprachenerwerb gleichzusetzen ist.

In der Spracherwerbsforschung zeichnet sich noch kein klares Bild ab, welcher Position man sich hinsichtlich der verschiedenen Paradigmen der menschlichen Informationsverarbeitung anschließen soll. So lehnt Sokolik (1990) die Möglichkeit nicht ab, dass bestimmte, von ihr nicht näher definierte Komponenten des Spracherwerbs vererbt sein können. Dennoch existiere auf der Beschreibungsebene menschlichen Verhaltens keine Evidenz regelgesteuerter Symbolverarbeitung beim Spracherwerb. Zudem bestünden auf neuronaler Ebene Schwierigkeiten, Strukturen zu identifizieren, die Regeln vermitteln. Sokolik entgeht es, darauf hinzuweisen, dass Regeln – wie wir sie zum Beispiel aus Grammatiken oder Lehrwerken der Mathematik kennen – nicht vererbt sein können. Es kann nicht deutlich und oft genug herausgestellt werden, dass genetische Information dies nicht leisten kann und Spracherwerb hauptsächlich durch die Umwelt determiniert ist. Wie oben ausgeführt, existieren Regeln lediglich als abstrakte Beschreibungen von Verhalten und können uns beim Lernen hilfreich sein, aber sie sind nicht im Kopf abgelegt wie ein Computerprogramm.

Sokolik lehnt dennoch eine serielle, regelgesteuerte Informationsverarbeitung im Gehirn ab. Sie begründet dies damit, dass sonst ein Vielfaches an Rechenzeit aufgewendet werden müsste. Außerdem sei das Gehirn aufgrund seiner Parallelverarbeitung fehlertoleranter als es ein symbolistischer Modus der Informationsverarbeitung sein könnte. Daher sieht sie mit Bezug auf die NI die Architektur von PDP-Modellen biologisch inspiriert, deren Struktur und Funktion sie gut erläutert.

Letztlich stellt Sokolik einen vagen Bezug zur FD her. Sie meint, dass PDP-Modelle sich eignen, um menschliche Mechanismen des Lernens zu modellieren. Als Beispiel führt sie die Fähigkeit von PDP-Modellen an, nach einer Lernphase über unbekannte Input-Muster generalisieren zu können. Konkretere Vorschläge unterbreitet sie der FD keine.

Deutlicher als Sokolik vertritt Multhaup das konnektionistische Paradigma menschlicher Informationsverarbeitung. Im Kontext des Konnektionismus lehnt Multhaup (1997b) umsichtig eine Analogie zwischen Computer und Gehirn ab. Er sieht die Realität nicht modellhaft repräsentiert, wenn Simulationen menschlicher Informationsverar-

beitung das Gedächtnis in verschiedene Speicher unterteilen und symbolmanipulierend operieren. Ein neurobiologisches Modell des Fremdsprachenerwerbs (!) muss seiner Auffassung nach das Gehirn so betrachten, dass viele Areale an der Sprachverarbeitung beteiligt sind. Es wäre wünschenswert gewesen, diesen Gedanken anhand von Beispielen zu konkretisieren, denn hier wird es für die Spracherwerbsforschung interessant.

Wendt (2002) äußert sich verhaltener als Multhaup. Er meint, dass sich aus dem Konnektionismus in der FD die Metapher des Netzwerks etabliert hat. Wendt warnt vor einer „neurophysiologischen und neurobiologischen Modellbildung“ (S. 4) durch die FD. Unter Verweis auf die NW gibt er zu bedenken, dass Methoden zur Erforschung mentaler Prozesse aufgrund ihres relativ geringen Auflösungsvermögens nur die Aktivität großer Neuronenverbände darstellen können. Zudem konzentrierte sich die NW auf die Lokalisationsforschung und kann somit nicht „komplexe verstehensbasierte Kognitionen [...] beschreiben“ (S. 4). Auch sei nicht bekannt, ob Phänomene auf der Verhaltensebene mit Phänomenen auf der neuronalen Ebene parallelisierbar sind. Wie Spitzer (2000, 2003a) aufzeigt, ist dies aber bereits in Ansätzen gelungen, um zum Beispiel psychische Beeinträchtigungen zu erklären; dennoch weiß man wenig über andere Aspekte. Wendt spricht sich dennoch dagegen aus, das kognitive System anhand informationstechnologischer Metaphorik zu beschreiben. Ich gebe ihm insofern recht, wenn er an die Computer-Metapher denkt und darüber hinaus die Grenzen der computergestützten Modellbildung nicht berücksichtigt werden. Den Konnektionismus sieht Wendt übrigens im Einklang mit dem gemäßigten Konstruktivismus, nach dem Realität erkennbar ist, jedoch durch Wissen und Erfahrung ergänzt werden muss. Dies ist der einzige Hinweis auf die Relevanz des Konnektionismus für die FD. Eine eingehendere Diskussion zur Verknüpfung beider Konzepte wäre wünschenswert gewesen.

Ellis (1999) erläutert in seinem Referenzwerk neutral und ausführlich die Funktionsweise neuronaler Netze. Dabei konzentriert er sich auf PDP-Modelle und referiert die Simulation der Bildung des *past tense* (s. Rumelhart und McClelland, 1986a; Rumelhart et al., 1986b). Er stellt heraus, dass die Simulation dem Lernmuster des Erstspracherwerbs entsprach. In dieser Beobachtung sieht er die VertreterInnen des symbolistischen Paradigmas der Informationsverarbeitung herausgefordert und stellt deren Gegenargumente dar. Dabei hätte er aufzeigen müssen, dass Modelle die Realität nicht vollständig widerspiegeln können und daher auch fehlerhafte Formen des *simple past* produzieren. Ellis schließt aus dieser Kontroverse, dass nur weitere Forschung eine Lösung herbeiführen kann, die sich mit der Simulation von Sprachenlernen beschäftigt. Zudem sei der Fremdsprachenerwerb bisher von Konnektionisten wenig berücksichtigt worden.

Schönplflug (2003) stellt wie Ellis ebenso neutral aber bündiger die Tendenz fest, dass viele Auffassungen von Lernen zum Konnektionismus führen. Sie erläutert kurz die Informationsverarbeitung in neuronalen Netzen und verweist auf die NI. Die Transferleistung neuronaler Netzwerke hängt in ihren Augen von der Ähnlichkeit des Neuen in Bezug auf das bereits Gelernte ab. Zur Spracherwerbsforschung stellt sie aber keinen umfassenden Bezug her und liefert der FD keine weiterführenden Erkenntnisse.

Hulstijn (2002) sieht im Vergleich zu den bisher zitierten Beispielen die Möglichkeit, symbolistische und konnektionistische Erklärungen des Spracherwerbs zu vereinigen:

„Knowledge representation is claimed to be possible both in the form of symbols and rules and in the form of networks [...]. Implicit learning is the construction of knowledge in the form of such networks. [...] Explicit learning is the deliberate construction of verbalizable knowledge in the form of symbols (concepts) and rules.“ (S. 213)

Der begrifflichen Eindeutigkeit wegen sei festgestellt, dass Hulstijn unter dem Begriff *knowledge* ungünstigerweise sowohl Können als auch Wissen subsumiert. Eine Kombination aus symbolistischen und konnektionistischen Elementen existiert für ihn ausschließlich für den Bereich des Könnens. Wissen hingegen basiere auf einer rein symbolistischen Architektur. Wie Hulstijn zu letzterer Hypothese gelangt, ist nicht erkennbar. Die erstere leitet er aus konnektionistischen Modellen des lokalen Typs ab, die einzig und allein anhand von Symbolen arbeiten und daher keine Zwischenschichten mit verteilter Repräsentation von Information enthalten. Zudem wiesen viele symbolistische Modelle konnektionistische Charakteristika auf, weil sie beispielsweise parallele Informationsverarbeitung zuließen und sich auch bei ihnen Aktivierung in einem Netzwerk ausbreite. Als Beispiel führt er das Sprachmodell von Levelt an (s. Levelt, 1995). Hierbei handelt es sich aber nicht um ein Computermode, das Experimente ermöglicht. Anschließend erläutert Hulstijn treffend das Konzept des PDP und fasst die Vor- und Nachteile von symbolistischen und PDP-Modellen zusammen.

Mit Pinker (1997) meint Hulstijn, dass neuronale Netze schlechte Leistungen auf dem Gebiet der Manipulation von Symbolen erbringen. Ich wäre erstaunt, wenn dies gelänge: PDP-Modelle unterliegen einem völlig anderen Funktionsprinzip. Entscheidend ist, dass PDP-Modelle in vielen Bereichen deswegen gute Leistungen vollbringen, weil sie nicht Symbol manipulierend operieren.

Hulstijn meint, die Tendenz einiger Konnektionisten erkennen zu können, symbolistische Aspekte in ihren Netzwerken zuzulassen und Attraktoren von PDP-Modellen als Äquivalente zu Symbolen zu betrachten. Ein Hybrid-Modell stellt für ihn das Lernmodell CLARION dar (s. Sun et al., 2001), das als komplexe kognitive Aufgabe ein U-Boot durch ein Feld von Hindernissen steuern kann. Es muss aber noch untersucht werden, inwiefern CLARION biologisch plausibel ist.

Hulstijn schlägt anhand der Einzelstudie von Sun et al. vor, dass Sprachkenntnisse im Gehirn hybrid repräsentiert sind, und zwar in Modulen, von denen einige dem Prinzip des PDP und andere dem des Symbolismus unterliegen. Komplexe Sprachphänomene können demnach entweder symbolistisch oder konnektionistisch repräsentiert sein. Einfache Sprachphänomene sind hingegen rein konnektionistisch repräsentiert. Hulstijn entwickelt keinerlei Ansätze, diese unscharf formulierten Hypothesen zu überprüfen. Ob sprachliche Leistungen symbolistisch oder konnektionistisch vorliegen, ist meines Erachtens ohnehin keine Frage der Komplexität der jeweiligen Struktur, sondern eine basale Frage des Paradigmas der Informationsverarbeitung des Gehirns. Es zeichnet sich seitens der NW ab, dass das Gehirn nach dem konnektionistischen Paradigma der Informationsverarbeitung funktioniert. Deswegen erscheint es mir nicht sinnvoll, auf

einen versöhnlichen Mittelweg zwischen zwei unterschiedlichen Paradigmen der biologischen Informationsverarbeitung auszuweichen.

Zur Integration der konnektionistischen Modellbildung in die unterrichtliche Praxis

Hatch et al. (1990) schlagen angesichts der Modellbildung des Erwerbs des *simple past* eine Brücke zum FU: Ist es günstiger zunächst nur regelmäßige oder nur unregelmäßige Verben zu präsentieren? Wie groß sollte das Tagespensum an zu lernenden Verben sein? Wie ich dargestellt habe, weisen auch vermeintlich unregelmäßige Verben gewisse Regelmäßigkeiten auf – soviel zur theoretischen Betrachtung. Die Lehrwerke führen aber in Lektionsteilen aufgrund ihrer relativen Häufigkeit überwiegend regelmäßige Verben ein. Unregelmäßige Verben werden nur vereinzelt vorgestellt. In ihrer Auswahl richten sich die Lehrwerke nach den Kommunikationsanlässen, die sich durch die Themen der Lektionen und nach dem angestrebten Grundwortschatz ergeben. In Bezug auf den Konnektionismus werden für regelmäßige Verben auf diese Weise sehr viele gute Beispiele gegeben, die es leicht ermöglichen, Regelhaftes zu abstrahieren. Fortgeschrittene SchülerInnen mit der Fähigkeit, ihre Sprache zu analysieren und mit geeigneten Begriffen zu beschreiben, können dann auch eine Regel formulieren, die für alle regelmäßigen Verben gilt. Dies hilft ihnen natürlich nicht, noch unbekannte Verben anhand ihres Infinitivs richtig zu flektieren. Es ist die Aufgabe der Lehrenden, das Auge der SchülerInnen für Regelmäßigkeiten bei unregelmäßigen Verben zu schärfen. Hierzu müssen die Lehrenden natürlich mehr solcher Verben anbieten als sich in den einzelnen Lektionen der Lehrwerke finden – sonst erhalten die SchülerInnen nicht genug Beispiele, um Regelhaftes zu erkennen. Hier wird deutlich, dass der vorgezeichnete Weg eines Lehrwerks den SchülerInnen wichtige Erkenntnisse zur Ausbildung eines metasprachlichen Bewusstseins vorenthalten kann. Die Frage nach dem Tagespensum zu lernender Vokabeln kann allein anhand des Konnektionismus nicht beantwortet werden.

Des Weiteren berichten Hatch et al. über die Studie Gassers (1990), wodurch sie sich darin bestätigt sehen, den Frühbeginn der ersten Fremdsprache zu fordern. Gassers Studie kann diese Forderung aber kaum unterstützen: Hauptsächlich geben seine Ergebnisse Aufschluss über die Relation zwischen dem Mutter- und Fremdsprachenerwerb. Ein Bezug auf das Erwerbsalter kann nur hergestellt werden, wenn er zu dem Ergebnis gelangt, dass eine Fremdsprache meist nicht so gut erworben wird wie die Muttersprache. Wie schon erläutert, haben die NW hierzu erste Ergebnisse geliefert und auch weitere Parameter identifiziert, die vielleicht synergetisch den erreichbaren Grad der Beherrschung der Fremdsprache determinieren.

Auch Sokolik (1990) beschäftigt sich mit dem Frühbeginn der Fremdsprache. Sie stellt fest, dass sich junge Lernende von älteren dadurch unterscheiden, dass sie die Fremdsprache leichter erwerben. Sie erklärt dies anhand des Konnektionismus: Die Lernrate neuronaler Netze ist ein Bestandteil des Modells, der im Gehirn Wachstumsfaktoren (*nerve growth factor*, NGF) von Neuronen entspricht. Nach Lenneberg (1967) basiert diese Parallelisierung auf der Annahme, dass sich Kinder von Läsionen des Gehirns besser erholen als Erwachsene, weil sie über einen höheren NGF-Titer verfügen.

Daraus folgert Sokolik ein geringeres Neuronenwachstum bei Erwachsenen. Dies erklärt in ihren Augen, weshalb Kinder leichter Sprachen lernen als Erwachsene. Diese Auffassung lässt sich meines Erachtens mit Elmans (1994) Modellversuchen verknüpfen. Mittels eines PDP-Modells simulierte Sokolik, wie Kinder und Erwachsene ein „Feature X_f of French“ (S. 691) lernten. Dabei wurde die Lernrate mit dem NGF-Titer parallelisiert: Die Simulation kindlichen Lernens wurde mit einer höheren Lernrate gestartet als bei der Simulation eines erwachsenen Lernenden. Da diese Simulation voraussetzt, dass der NGF-Titer den alleinigen Unterschied zwischen Kindern und Erwachsenen ausmacht, räumt Sokolik ein: „It is important to note that this model does not take into account all of the psychological and sociological factors that may influence learning rates.“ (S. 691) Eine Zusammenfassung solcher Faktoren findet sich bei Butzkamm (2004). Sokolik meint auch, dass Neuroplastizität in Teilen vererbt ist. Damit erklärt sie, weshalb es bei Lernenden von Fremdsprachen jeden Alters gute und schlechte gibt. Sokoliks Hypothese muss aber zunächst durch die NG überprüft werden, bis aus ihr eine Theorie mit Erklärungspotenzial erwächst.

Schmidt (1990) versucht vergeblich, seine *noticing hypothesis* anhand des Konnektionismus zu legitimieren. Dazu referiert er die Schwierigkeit der Bestimmung des grammatischen Geschlechts französischer Nomen. Im FU habe man zeigen können, dass sich Informationen über Regelmäßigkeiten bei der Zuweisung des grammatischen Geschlechts positiv auf die Leistung des expliziten Gedächtnisses auswirken. Beim Mutterspracherwerb französischer Kinder verhält es sich nach Schmidt hingegen anders: „Tucker, Lambert, and Rigaud report that grammar books for French children contain no clues that gender is predictable by phonological shape, so how do they learn the rules?“ (S. 148) Um diese Frage zu beantworten, stellt Schmidt zunächst drei Hypothesen auf:

1. Kinder sind sich zunächst Regelmäßigkeiten bewusst und können sich später nicht mehr daran erinnern.
2. Aus vielen Beispielen haben Kinder unbewusst Regelmäßigkeiten abstrahiert, die sich als Können offenbaren. Schmidt spricht dabei von „implicit rules“²⁹ (S. 148).
3. Kinder akkumulieren einen Bestand an „related forms“ (S. 148), ohne dass sie bewusst oder unbewusst Regeln abstrahieren. Schmidt erläutert aber nicht näher, was er unter „related forms“ versteht.

Nach Schmidt bestätigt Rumelharts und McClellands (1986a) Ansatz des PDP die dritte Hypothese. Dies ist unverständlich, weil Schmidt zwar das Konzept des PDP erläutert, aber nur seine zweite Hypothese damit vereinbar ist. Aus konnektionistischer Perspektive lernen die betrachteten Kinder keine expliziten Regeln, wodurch die von Schmidt aufgeworfene Frage nach der Art und Weise des Regellernens entfällt. Aufgrund seiner Entscheidung für die dritte Hypothese kommt es zu einem logischen Bruch in Schmidts Argumentation. In Bezug auf den Begriff Bewusstsein rate ich übrigens der begrifflichen Klarheit wegen, zwischen Vigilanz und Aufmerksamkeit zu differenzieren

²⁹ Geeigneter wäre der Begriff *implicit knowledge*, auf deutsch: Können.

(s. Kap. 7.5). Letztlich gelangt Schmidt zu folgendem Ergebnis: „Paying attention to language form is hypothesized to be facilitative in all cases, and may be necessary for adult acquisition of redundant grammatical features.“ (S. 149) Ich erkenne aber keinen Bezug zwischen seiner *noticing hypothesis* und dem Konnektionismus. Wird hier versucht, eine Hypothese mit ungeeigneten Mitteln zu verifizieren? Prinzipiell möchte ich feststellen, dass die kognitive Entwicklung weit fortgeschritten sein muss, damit Lernende Sprache analysieren, in ihr Regelhaftes erkennen und dieses auch terminologisch adäquat verbalisieren können. Ich bezweifle keinesfalls, dass sprachbezogene Kommunikation (s. Butzkamm, 2002) insbesondere älteren Lernenden hilfreich sein kann. Junge Lernende dürften weitaus weniger profitieren, da ihre metalinguistische Kompetenz erst heran- und ausreifen muss (s. Kap. 7.3).

Hulstijn (2002) beschäftigt sich mit regelbasiertem Spracherwerb. Er meint, dass Kinder ihre Muttersprache analog zum Lernen assoziativer Netzwerke erwerben, indem sie durch Sprachkontakt Ähnlichkeiten extrahieren und speichern. Hulstijn glaubt zudem, dass die Kognitionswissenschaften in naher Zukunft nachweisen werden, dass implizites Lernen ausreicht, um eine Fremdsprache zu erwerben. In seinen Augen kann explizites Lernen implizites Lernen unterstützen und beschleunigen. Dies sei vor allem für ältere Lernende interessant, weil sie weniger Zeit hätten. Dennoch sollte ihnen bewusst gemacht werden, dass man Sprachen auch implizit lernen kann und deswegen parallel immer Wert auf viel Sprachpraxis gelegt werden muss. Besuchen Kinder die Schule, lernen sie, ihre Sprache analytisch zu betrachten und über Sprache zu sprechen. Erst dies ermöglicht, mittels Regeln Sprachen zu lernen. Da explizites Lernen Regelbildungen erfordert, die erst durch die spätere kognitive Entwicklung ermöglicht werden, tritt explizites Sprachenlernen nicht in früher Kindheit auf. Diese Erkenntnis ist allseits bekannt. Eine Schlussfolgerung Hulstijns bleibt mir allerdings unverständlich: Er meint, dass sich implizites Lernen im Sinne des Konnektionismus und explizites Lernen im Sinne des Symbolismus vollzieht. Auch wenn es erst durch die fortgeschrittene kognitive Entwicklung möglich wird, metasprachliche Analysen durchzuführen und Regeln abzuleiten, bedeutet dies mitnichten, dass das Gehirn Information symbolistisch verarbeitet. Zudem widerspricht sich Hulstijn selbst, wenn er meint, dass scheinbar automatisierte explizite Gedächtnisinhalte de facto automatisierte implizite Gedächtnisinhalte sind, die in Folge der Konstruktion eines neuronalen Netzwerks entstehen. Eine konventionelle Betrachtung führt seiner Meinung nach zu dem falschen Schluss, dass Regeln solange geübt werden, bis sie in Fleisch und Blut übergehen. Seine Begründung ist aber wegen der genannten Unstimmigkeiten kaum überzeugend.

Die Fähigkeit neuronaler Netze, Neues systematisch zu integrieren, wenn es Ähnlichkeiten zu bereits Gelerntem aufweist, bestärkt Rivers (1991) in ihrer Auffassung, dass im FU über alle Sinnesmodalitäten in Form zahlreicher Variationen Sprache angewendet werden muss, um sie zu festigen. Weitere Unterstützung sieht sie in der KP durch Andersons ACT*-Theorie, die nicht näher erläutert wird. Folgendes Zitat bietet hierzu einen Überblick:

„Die Geschwindigkeit und die Wahrscheinlichkeit des Zugriffs auf einen Gedächtnisinhalt werden durch dessen Aktivationshöhe bestimmt. Diese Aktivationshöhe wiederum hängt von der Häufigkeit und dem Zeitpunkt des letzten Abrufs dieses Gedächtnisinhalts ab.“ (Anderson, 2001, S. 185)

Ich kritisiere, dass Rivers sich des Konnektionismus bedient, um Lernen anhand verschiedener Sinnesmodalitäten zu fordern. Andersons ACT*-Theorie zielt zudem auf eine hohe Integrationstiefe der Lerngegenstände und ihre ständige Verwendung in verschiedenen Kontexten. Dies wiederum lässt eine Verbindung zur Erforschung semantischer Karten seitens der NI zu, worauf Rivers aber nicht eingeht.

Sie meint auch, dass es manchmal auch hilfreich ist, im FU neben mitteilungsbezogener Kommunikation („[focus on] function“, S. 259) auch sprachbezogene („[focus on] form“, S. 259) zuzulassen. Sie schließt sich Krashen und Terrell (1983) an, die im so genannten *teacher talk* optimalen Input sehen. Es ist einzuwenden, dass sprachbezogene Kommunikation (s. Butzkamm, 2002) und *teacher talk* völlig verschiedene Konzepte sind.

Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse der NI und KP in Kombination mit Erkenntnissen der fachdidaktischen Forschung fordert Rivers, Lehr-Lern-Arrangements so zu gestalten, dass Lernende ihr Wissen und Können stets anwenden und ihr Tun reflektieren. So genannte *substitution drills* lehnt sie ab: Sie sind unnatürlich, tragen für die Lernenden keine bedeutsame Information und erfüllen lediglich die Erwartungen der Lehrenden. Meines Erachtens bedarf es nicht der NI, um zu diesem Schluss zu gelangen. Vielmehr könnte gefragt werden, ob *substitution drills* nicht optimalen Input für neuronale Netze darstellen, da sie Regelmäßiges mit geringfügigen Veränderungen aufweisen. Dies mag für selbstorganisiertes Lernen künstlicher neuronaler Netze der Fall sein. Beim Menschen verhält es sich aufgrund vieler Lernfaktoren komplizierter, womit die Grenze der Tragfähigkeit von Modellversuchen erreicht ist. Eine Antwort auf die von Rivers eingangs aufgeworfene Frage nach der Art und Weise der Internalisierung eines Sprachsystems ist übrigens nicht auszumachen.

Im Sinne des PDP und des selbstorganisierten Lernens sieht Multhaup (1997a, 1997b) Wissen in biologischen neuronalen Netzen repräsentiert, und zwar in unterschiedlichen Stärken synaptischer Verbindungen, die sich aus Input-Mustern ergeben. Die erfolgreiche Speicherung von Wissen ist an Bedingungen geknüpft: Neben Aufmerksamkeit und anderen persönlichen Einstellungen gegenüber dem Lerngegenstand ist auch die Möglichkeit der Integration in bereits Bekanntes von Bedeutung. Auf diese Weise schlägt Multhaup einen Bogen zum FU und stellt fest, dass *input* von *intake* zu unterscheiden ist. Hier erkenne ich einen Bezug zum Konstruktivismus, wenn auch Multhaup nicht deutlicher wird: Lehrende dürfen nicht davon ausgehen, dass die dargebotenen Informationen sich genauso in den Köpfen der Lernenden widerspiegeln, weil sich jedes Gehirn als selbstreferentielles System seine Realität selbst konstruiert (Roth, 2001).

Auch nach Wendts (2000) Auffassung sind Netzwerkmodelle des Konnektionismus mit dem gemäßigten Konstruktivismus kompatibel. In diesem Sinne seien auch Forderungen wie beispielsweise nach handlungs- und lernerorientierten Lehr-Lern-Arrangements und Lernerautonomie legitimierbar. Unverständlich bleibt, weshalb Wendt ein „ungelöste[s] Problem“ (S. 20) des gemäßigten Konstruktivismus in der Verarbeitungstiefe sieht. Diese beiden Konzepte können kaum aufeinander bezogen werden.

Shaw (1998) appelliert eindringlich an die FE, neurowissenschaftliche Erkenntnisse bei der Auswahl geeigneter Unterrichtsmethoden zu berücksichtigen. Er ruft dazu auf, Lernen als multifaktorielles Bedingungsgefüge zu betrachten³⁰: Theorien und Methoden, die das Lernen des Menschen zu sehr auf wenige Parameter reduzieren, mögen in sich schlüssig sein, verfehlen jedoch den Praxisbezug. Shaw versteht die Entwicklung von Sprache im Individuum folgendermaßen:

„Language is a re-entrant/afferent behaviour of adequate complexity to the overall habitat of experiential and environmental pressures on which neural selection can take place in interchange with meaning.“ (S. 10)

Aus didaktischer Perspektive müsse hinterfragt werden, weshalb der FU oft instruktionistisch ausgerichtet sei und dabei Chomskys PPM zugrunde läge. Konkrete Vorschläge für eine Optimierung der unterrichtlichen Praxis werden allerdings keine unterbreitet. Auch gelangt Shaw zu keinen neuen und weiterführenden Erkenntnissen.

Eine selten konkrete Verknüpfung zwischen unterrichtlicher Praxis und ihrer theoretischer Legitimation liefert Celik (2003). Er berichtet über einen Ansatz, Vokabeln anhand von *code-mixing* zu vermitteln. Im Rahmen der theoretischen Fundierung parallelisiert er das konnektionistische Modell von McClelland et al. (1986) mit „mental processes“ (S. 363). Im Sinne der Relation zwischen dem Modell und seinem realen Pendant wäre es meines Erachtens günstiger, von physiologischen Prozessen zu sprechen. Auch muss Celiks Erläuterung des Modells optimiert werden, um die Grundidee des Konnektionismus zu betonen; er schreibt:

„In this model, learning takes place through the strengthening and weakening of interconnections between and among related meanings, rules, etc., in response to examples encountered in the input.“ (S. 363)

Ein konnektionistisches Modell speichert aber keine Regeln als solche. Daher sind auch keine Querverbindungen zwischen Regeln möglich. Eine Regel wird nur explizit durch die Beschreibung des Betrachters gebildet; implizit manifestiert sie sich in den Synapsengewichten des gesamten neuronalen Netzes. Insgesamt ist der hergestellte Bezug zwischen dem *code-mixing* und dem unzulänglich rezipierten Konnektionismus erheblich zu weit gegriffen. Ich kritisiere nicht Celiks eingesetzte Methode, doch kann sie auf diese Weise nicht begründet werden.

Bei Meara et al. (2000) wird der Konnektionismus im Vergleich zu den übrigen Beispielen rein anwendungsbezogen rezipiert. Sie berichten über eine Studie, in der mithilfe künstlicher neuronaler Netze Texte von Lernenden einer Fremdsprache bewertet wurden. Die Bewertung der Texte findet unter der Prämisse statt, dass sich menschliche KorrektorInnen bei ihrer Beurteilung erheblich durch die Wortwahl der VerfasserInnen leiten lassen. Zunächst wurden Texte durch menschliche KorrektorInnen bewertet. Anschließend wurde ein neuronales Netz trainiert, das Auftreten definierter Wörter in Texten mit einer Note zu korrelieren. Die Leistung des neuronalen Netzes lässt die AutorInnen denken, es könnte Zweitkorrekturen oder zumindest eine grobe Differenzierung zwischen guten und schlechten Leistungen vornehmen und so zur Entlastung der Leh-

³⁰ Tun wir dies nicht bereits?

renden beitragen. Ich bezweifle allerdings, dass ein künstliches neuronales Netz mittelfristig in der Lage sein wird, die Erfüllung aller Anforderungsbereiche bei der Texterstellung zuverlässig integrativ bewerten zu können. Bei aller Belastung der Lehrenden: Ist es wirklich erstrebenswert, Computern die Entscheidung über den Lebensweg Lernender zu überlassen, auch wenn dies irgendwann möglich werden sollte? Wir sollten hingegen weniger diagnostizieren und die gewonnene Zeit und Energie in handlungsorientierten FU investieren, der auf die Anforderungen des Lebens vorbereitet. Ich meine, dass der Schwerpunkt von der zurzeit übertriebenen Diagnose sprachlicher Leistungen auf die Anwendung von Sprache verschoben werden muss.

6.6 Ergebnisse

Biologische neuronale Netze

Das Gehirn verarbeitet Information in neuronalen Netzen parallel und redundant. Daher wird Information sehr schnell und zuverlässig verarbeitet. Im Gehirn existieren topologisch geordnete cortikale Karten, die als Organisationseinheiten des Gehirns verstanden werden und selbstorganisiert den Input der Rezeptoren repräsentieren. Es existieren wahrscheinlich aber auch topologisch geordnete Karten abstrakter Merkmale. Vieles spricht dafür, dass solche Karten Phoneme und Wortbedeutungen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen repräsentieren. Die räumliche Ausdehnung solcher Karten liegt jedoch unterhalb der Nachweisgrenze heutiger Methoden, wobei konnektionistische Modelle auf ihre Existenz hindeuten.

Cortikale Karten behalten zeitlebens die Fähigkeit zur Reorganisation in Abhängigkeit einer sich stets wandelnden Umwelt. Deshalb wird das Gehirn heute als dynamisches Organ aufgefasst; man spricht von Neuroplastizität. Es existieren aber Ausnahmen: Hierarchisch geordnete sensible und kritische Perioden beeinflussen die frühontogenetische Entwicklung bestimmter Fähigkeiten. Hierzu gehört auch der Spracherwerb. Der Mutterspracherwerb unterliegt mehrerer sensibler und kritischer Perioden für jeweils bestimmte Aspekte von Sprache. Erfolgt in etwa bis zum Beginn der Adoleszenz keinerlei Sprachkontakt, ist die weitere sprachliche Entwicklung erheblich und irreversibel beeinträchtigt. Der Fremdsprachenerwerb unterliegt sehr wahrscheinlich in Bezug auf die Grammatik mindestens einer sensiblen oder kritischen Periode, in der es bis zur Adoleszenz deutlich leichter fällt, grammatische Merkmale einer Fremdsprache oder auch weiterer Sprachen zu erwerben. Der Wortschatz kann zeitlebens vergleichsweise unbeschwert erweitert werden. Wie vor allem die FE zeigt, kann es Menschen gelingen, im Erwachsenenalter eine Fremdsprache annähernd so gut wie die Muttersprache zu beherrschen (z.B. Ioup et al., 1994; Bongaerts et al., 1997; Nikolov, 2000). Dies kann mit kompensatorischen Fähigkeiten in Bezug auf verpasste kritische Perioden des Spracherwerbs und Faktoren wie Arbeitseinsatz und Motivation in Bezug auf verpasste sensible Perioden erklärt werden.

Durch die Forschung der FE und der NW steht immerhin fest, dass das Erwerbsalter nicht der einzige Faktor ist, der den Grad der Beherrschung der Fremdsprache bestimmt. Es hat sich gezeigt, dass zum Beispiel auch die muttersprachliche Kompetenz und die Kontaktzeit bedeutsam sind (s. Mayberry und Lock, 2003; Butzkamm, 2004; Singleton und Ryan, 2004). Für die FD sind diese Erkenntnisse von zentraler Bedeutung, wenn der institutionalisierte Frühbeginn einer Fremdsprache diskutiert wird. Insgesamt sind sich VertreterInnen der FE und der NW einig, dass eine frühe Förderung des Fremdsprachenerwerbs diesen erleichtert und auf lange Sicht zu einem hohen Grad der Sprachbeherrschung führen kann, wenn die Lernbedingungen stimmen. Dabei muss sichergestellt werden, dass der Mutterspracherwerb typisch verläuft. Falls nicht, muss eine frühe Förderung erfolgen und der Fremdsprachenerwerb womöglich aufgeschoben werden.

Künstliche neuronale Netze

Das Gehirn darf nicht mit einem Computer verglichen werden, da es Information anders verarbeitet. Biologisch inspirierte künstliche neuronale Netze helfen dabei, die Informationsverarbeitung im Gehirn anhand von Modellexperimenten zu erforschen. PDP-Modelle verarbeiten Information nicht regelbasiert und können selbstorganisiert lernen, indem sie Regelmäßigkeiten ihrer Input-Muster extrahieren. Dazu müssen die Input-Muster viele Ähnlichkeiten aufweisen. Angeleitetes Lernen hingegen erfolgt bei PDP-Modellen durch Fehlerrückmeldung, wodurch der Input unregelmäßiger sein darf. Integriert man die Erkenntnisse der NI mit psychologischen und neurophysiologischen Studien, sind PDP-Modelle geeignete vereinfachte Repräsentanten der Realität. Manche Modellversuche tragen zur Erklärung bei, weshalb junge Menschen schneller lernen als ältere. Zudem zeigen sie, dass Spracherwerb nicht regelbasiert erfolgen muss.

Biologische Plausibilität konnektionistischer Modelle

Viele PDP-Modelle werden von einigen SpracherwerbsforscherInnen als biologisch unplausibel eingestuft (z.B. Carroll, 1995). Dabei wird das Prinzip der Einfachheit missachtet und die Produktivität der Modelle übersehen. Manche Kritikpunkte sind aber berechtigt und helfen, dem Prinzip der Entsprechung und Adäquatheit gerecht zu werden. So wurde inzwischen erfolgreich ein biologisch plausibler Algorithmus zur Berechnung der Synapsengewichte eingesetzt, der aber nicht rezipiert wird. Andere wiederum lehnen richtigerweise die Gehirn-Computer-Analogie ab und sprechen sich deswegen auch gegen den Symbolismus in Bezug auf die Sprachverarbeitung aus.

Mithilfe biologisch inspirierter künstlicher neuronaler Netze wurden erfolgreich phonemotopische und semantische Karten simuliert. Erstere können zur Erklärung des *parentese* beitragen. Indirekt lässt sich auf die Existenz solcher Karten auch anhand psycho- und neurolinguistischer Studien schließen.

Simulationen des Spracherwerbs anhand konnektionistischer Modelle

Anhand von PDP-Modellen konnte erfolgreich die Bildung des *simple past* simuliert werden. Fehler der Modelle werden von Kritikern fälschlicherweise nicht in der Natur der Modellbildung gesehen, sondern dienen ihnen der Ablehnung des Konnektionismus zugunsten des Symbolismus (z.B. Pinker und Prince, 1988). Diese Kontroverse ist noch nicht beigelegt, weil der Symbolismus dogmatisch vertreten wird – trotz aller Erkenntnisse zur Funktionsweise des Gehirns und trotz aller Leistungen konnektionistischer Modelle. Insbesondere tragen rekurrente künstliche neuronale Netze im Einklang mit anderen Methoden der Erkenntnisgewinnung zu einem besseren Verständnis des Mutterspracherwerbs bei. Sie tragen zur Erklärung bei, weshalb eine vermeintliche Frühförderung von Kindern anhand von solchen Lernangeboten sinnlos ist, die dem Reifegrad des Gehirns nicht gerecht werden (s. Elman, 1994).

Konnektionistische Modelle im Kontext der Fachdidaktik Englisch und der Spracherwerbsforschung

Die Grenzen zwischen der Spracherwerbsforschung und der FE sind hinsichtlich der Rezeption konnektionistischer Modellexperimente unscharf, wobei der Anteil der FE überwiegt, wenn Implikationen für den FU extrahiert werden. Wenn auch nicht prozentuell quantifizierbar, erfolgt die Beschäftigung mit dem Konnektionismus im Vergleich zu anderen Themen sehr verhalten. Meist wird nur auf wenige und in der Regel die gleichen Studien der NI verwiesen. Es ist dennoch erkennbar, dass mehrheitlich ein Paradigmenwechsel vom Symbolismus zum Konnektionismus erfolgt. Die theoretische Integration des Konnektionismus lässt sich in folgende Muster gliedern, die sich partiell überschneiden:

Kritik an der konnektionistischen Modellbildung: Die VertreterInnen der FE sehen seltenst die Möglichkeiten und Grenzen der Modellbildung, fordern aber biologisch plausible Modelle. Mitunter wird sogar ungeschickt versucht, anhand von Modellen den genetischen Anfangszustand für den Spracherwerb zu bestimmen (s. Sokolik, 1990). Dabei wird übersehen, dass Spracherwerb das Ergebnis der Interaktion mehrerer Faktoren ist. Erkenntnisse zu phonemotopischen und semantischen Karten werden weder von der FE noch von der Spracherwerbsforschung rezipiert.

Das neutrale Referat: Es werden Unterschiede zwischen dem Symbolismus und dem Konnektionismus beschrieben (s. Ellis, 1999) sowie konnektionistische Modellexperimente erläutert. Möglichkeiten und Grenzen der Modellbildung werden nicht referiert. Abschließend erfolgt ein Verweis auf die weitere Forschung zur Klärung der Kontroverse zwischen beiden Paradigmen der menschlichen Informationsverarbeitung.

Die fast gelungene Integration: Konnektionistische Prinzipien werden überzeugend dargestellt (s. Gasser, 1990). Diese werden mit Erkenntnissen aus eigenen und anderen Modellexperimenten integriert. Es werden Anhaltspunkte gesehen, anhand konnektionistischer Modelle zukünftig Hypothesen über den Transfer von Mustern zwischen der Mutter- und Fremdsprache zu überprüfen. Aus rezipierten Erkenntnissen zu rekurrenten neuronalen Netzen wird geschlossen, dass je nach Alter unterschiedliche Lernstrategien zum tragen kommen. Konkretere Ausführungen in Bezug auf die FD und den FU finden sich leider nicht, hätten aber letztlich den Kreis geschlossen.

Die Computer-Gehirn-Analogie: Man ist sich darüber einig, dass das Gehirn nicht Information anhand symbolmanipulierender Regeln verarbeitet. Dies führt zur Ablehnung des Symbolismus und zur Hinwendung zum Konnektionismus. Dies wird vor allem innerhalb der didaktisch orientierten Spracherwerbsforschung und der FE deutlich. Mitunter halten aber insbesondere SpracherwerbsforscherInnen am Symbolismus fest.

Symbolismus versus Konnektionismus: In Verbindung mit dem Symbolismus wird oft das PPM Chomskys diskutiert (z.B. Ney und Pearson, 1990; Ellis und Sinclair, 1990; Major, 1996; Plunkett, 1998). Dabei wird von Chomskyanern die biologische Realität verschleiert, wenn von einem LAD und vererbten *universals* gesprochen wird. Die meisten AutorInnen versuchen, die UG zu entkräften. Hierzu zeigen sie meist geschickt, teils unbeholfen, dass konnektionistische Modelle sprachliche Aspekte ohne Regeln simulieren. Eine kritische Auseinandersetzung hinsichtlich der Tragfähigkeit solcher Modellexperimente bleibt meist aus. Kritiker sehen in gewissen Fehlleistungen

konnektionistischer Modelle wiederum den Symbolismus bestätigt. Beide Parteien erkennen aber nicht als Ursache von Fehlleistungen die obligatorisch reduktionistische Modellbildung. Letztlich ist es bedauerlich, dass sich die Diskussion im Kreis dreht und niemand die Ergebnisse konnektionistischer Modelle mit anderen Erkenntnissen der NW in ein größeres Gesamtbild einordnet, um das Gehirn als konnektionistisch funktionierendes Organ darzustellen. Stattdessen wird in einem Fall (s. Hulstijn, 2002) als Kompromiss ein hybrides Modell vorgeschlagen, in dem der Symbolismus mit dem Konnektionismus vereint wird. Die hierzu aufgestellten Hypothesen in Bezug auf Sprache sind nicht nachvollziehbar. Da sich die Diskussion des Symbolismus und Konnektionismus aus soeben genannten Gründen im Kreis dreht, erfolgt mitunter eine gegenseitige Zuweisung der Beweispflicht. Dies ist nicht zielführend, wobei die Kontroverse in Ermangelung der Rezeption weiterführender Erkenntnisse auch nicht einschläft.

Alter Wein in neuen Schläuchen: Vereinzelt (s. Ney und Pearson, 1990; Major, 1996) wird der Konnektionismus als ein Wiederaufblühen des Behaviorismus betrachtet. Diese Perspektive wird gut begründet zurückgewiesen (s. Gasser, 1990).

Der Brückenschlag zum Konstruktivismus: Selten wird ein Bezug zwischen dem Konnektionismus und dem Konstruktivismus hergestellt (s. Wendt, 2000, 2002). Die Begründungen werden bündig und wenig überzeugend dargestellt.

Rückfragen aus der Praxis: Infolge der Rezeption von PDP-Modellen wird gefragt, wie regelmäßige und unregelmäßige Verben eingeführt werden sollen (s. Hatch et al., 1990). Diese Frage habe ich aus konnektionistischer Perspektive beantwortet. Die Frage nach dem Tagespensum neuer Vokabeln kann aber anhand des Konnektionismus nicht beantwortet werden. In diesem Fall wird das Erklärungspotenzial des Konnektionismus überschätzt.

Des Lernen von Regeln: Wenn auch für Außenstehende kaum transparent begründet, spricht sich ein Autor (s. Hulstijn, 2002) gegen das Sprachenlernen anhand von Regeln aus. Dabei wird bedacht, dass Regeln älteren Lernenden hilfreich sein können.

Der Frühbeginn des FU: Die Forderung nach dem Frühbeginn des FU ist zwar berechtigt, wird jedoch meist unzureichend anhand der NW begründet. Allerdings findet sich eine interessante Hypothese seitens der FE, die besagt, dass der individuelle Grad an Neuroplastizität erblich bedingten Differenzen unterliegt (s. Sokolik, 1990). Nur weitere Forschung kann die Frage beantworten, ob dieser Faktor dazu beiträgt, dass manche im Erwachsenenalter nahezu muttersprachliche Kompetenz in ihrer Fremdsprache erwerben können und andere nicht.

Verfehlte Legitimierungen und Ablehnungen von Prinzipien und Methoden: Unzulässigerweise versuchen einige AutorInnen, ihr methodisches Vorgehen anhand des Konnektionismus und der entsprechenden Modellbildung zu legitimieren. Hierzu zählen die *noticing hypothesis* (s. Schmidt, 1990), multimodales Lernen (s. Rivers, 1991) und das *code-mixing* (s. Celik, 2003). Auch ist es unmöglich *substitution drills* anhand des Konnektionismus zu verwerfen (s. Rivers, 1991).

Arbeitserleichterung: Eine Studie (s. Meara et al., 2000) bezieht sich auf eine anwendungsorientierte Rezeption konnektionistischer Modelle. Dabei sollen Texte automatisiert bewertet werden. Die Erfolge sind bisher bescheiden und eine solche Praxis prinzipiell fraglich.

7 Lernen und Gedächtnis

Die Transmitterlösung ist jedoch die Voraussetzung dafür, dass Lerninformationen vom Ultra-Kurzzeitgedächtnis über das Kurzzeitgedächtnis ins Langzeitgedächtnis gelangen.

Ludger Schiffler, 2002

Die drei Gedächtnisse, die Kästen, gibt es im Kopf nicht. Sie sind nichts als handliche Abstraktionen, wie etwa auch der Mannschaftsgeist auf dem Fußballfeld. Man kann über ihn reden, aber wer fragt, wo er denn gerade spiele, der hat ganz grundlegend nicht begriffen, worum es geht.

Manfred Spitzer, 2003a

Lernen und Gedächtnis sind bemerkenswerte Eigenschaften des Gehirns. Durch Lernen erlangen wir Wissen über die uns umgebende Welt. Das Gedächtnis ist dafür zuständig, dieses Wissen zu encodieren, zu speichern und später wieder zu erinnern. Viele Verhaltensweisen des Menschen sind erlernt. Die Individualität eines jeden Menschen leitet sich vor allem davon ab, was er lernt und an was er sich erinnert. Unsere Kulturevolution basiert letztlich auf der Evolution von Mechanismen, die Lernen, Gedächtnis und Sprache ermöglichen. Durch diese Fähigkeiten gelingt es uns, Wissen über Generationen hinweg zu tradieren, anstatt das Rad stets neu erfinden zu müssen. Lernen und Gedächtnis ermöglichen zudem, auf Veränderungen der Umwelt flexibel zu reagieren, indem Verhaltensweisen an neue Begebenheiten adaptiert werden.

Wissenschaftlicher Pionierarbeit, die mehr als 100 Jahre in die Wissenschaftsgeschichte zurückreicht, ist zu verdanken, dass man heute über einen sehr guten Einblick in die Welt des Lernens und des Gedächtnisses verfügt. Man denke nur an die ersten systematisch durchgeführten Experimente zum menschlichen Gedächtnis aus dem Jahr 1885 des Philosophen und Psychologen Hermann Ebbinghaus (1850-1909).

Insbesondere seit Mitte der 1970er Jahre verzeichnen die NW erhebliche Fortschritte (Byrne, 2003). Dies liegt vor allem an den kontinuierlich verbesserten Methoden der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung und interdisziplinärer Forschung. Insbesondere durch die Kooperation zwischen den NW und der KP sind Synergieeffekte entstanden, die es erleichtern, die neurobiologische Grundlage des Lernens und Gedächtnisses intensiver zu erforschen (Kandel et al., 2000b).

Fragestellungen

Wie eingangs aufgezeigt differenziert Schiffler zwischen mehreren seriell geschalteten, interagierenden Gedächtnismodulen und betrachtet ihr Funktionieren auf neurophysiologischer Ebene³¹. Frappierend ist, dass Spitzer als Vertreter der NW eine andere Auffassung vertritt, nämlich eine holistische Vorstellung von Gedächtnis. Wie kommt es zu

³¹ Schiffler denkt bei der Transmitterlösung wohl an die Transmitterfreisetzung in den subsynaptischen Spalt bei der Erregungsweiterleitung an einer chemischen Synapse.

diesem Gegensatz? Ist hier die Rezeption der NW durch die FE umsichtig erfolgt? Handelt es sich dabei um einen Einzelfall oder treten Phänomene wie dieses frequent auf?

Es besteht also Anlass zu einer systematischen Analyse der fachdidaktischen Literatur, ob und wie die FE Erkenntnisse der NW zur Sprachverarbeitung sowohl in didaktische Theorien als auch in Handlungsempfehlungen für die unterrichtliche Praxis integriert. Die Analyse basiert auf folgenden Fragestellungen:

1. Welche Erkenntnisse der NW zu Lernen und Gedächtnis werden durch die FE rezipiert?
2. Erfolgt die Rezeption fachlich korrekt und entspricht sie dabei dem jeweiligen Erkenntnisstand der NW?
3. Inwiefern dient diese Rezeption der Legitimation oder Ablehnung sowohl von Theorien zum Spracherwerb als auch von Handlungsempfehlungen für den FU?
4. Was können diese Erkenntnisse überhaupt für die FD und den FU leisten und was nicht? Kann die KP womöglich aushelfen?
5. Übersieht die FE für sie relevante Erkenntnisse?

Methode

Diese Fragestellungen bedingen die der Analyse zugrunde liegende Methode. Vorbereitend habe ich ausgewählte Publikationen der FE im beschriebenen Zeitraum gesichtet. Für diesen Teil der Arbeit habe ich dann die Rezeption der NW zum Lernen und Gedächtnis erfasst und gruppiert. Für die Analyse ergeben sich daher folgende Schwerpunkte:

- verschiedene Gedächtnissysteme und die daraus resultierende Dichotomie in Wissen und Können
- neurophysiologische Grundlagen des Lernens und Gedächtnisses
- Faktoren, die Gedächtnisleistungen modulieren

Um einen Abgleich mit den NW zu erzielen, habe ich ausgewählte Publikationen gesichtet, die sich mit der Sprachverarbeitung im Gehirn beschäftigen. Auswahlkriterien waren hierbei vor allem Standardwerke, Aktualität, Bekanntheitsgrad der AutorInnen sowie bei Zeitschriften unter anderem ihr *impact factor*. Die gleichen Auswahlkriterien galten für Publikationen der Psychologie.

7.1 Die Struktur des Gedächtnisses

Memory [...] is the diary that we all carry with us.

Oscar Wilde (1854-1900)

Stellte man sich früher noch das Gedächtnis in Form eines monolithischen Speichers vor, so ist diese Sichtweise heute überholt. Die Forschung hat gezeigt, dass verschiedene Gedächtnissysteme existieren, wovon jedes über spezifische Eigenschaften verfügt. Heute wird das Gedächtnis als eine emergente Eigenschaft diverser Verarbeitungsaktivitäten des Gehirns angesehen:

„According to this view, memory is a critical element of, and is integrally tied to, the various functions of many brain systems. It is both a part and a product of the ongoing activities of each functional system.“ (Eichenbaum, 2003, S. 1299)

Wie gelangte die Wissenschaft zu einer solchen Erkenntnis? Diese Frage wird nachfolgend anhand eines Streifzugs durch die Wissenschaftsgeschichte beantwortet. Beginnend im 19. Jahrhundert werden chronologisch Meilensteine der Erkenntnis beschrieben, die zu unserem heutigen Verständnis von Lernen und Gedächtnis beigetragen haben.

Verhalten und Gedächtnis werden durch das Gehirn vermittelt

Im 19. Jahrhundert stellte Gall drei Hypothesen auf, die das damalige Verständnis des Menschen und seines Geistes erschütterten (Kandel, 2000b):

1. Sämtliches Verhalten entspringt dem Gehirn.
2. Spezielle Gebiete des Cortex steuern spezielle Funktionen. Dazu gehören beispielsweise neben Sprache auch Persönlichkeitsmerkmale wie die Umsichtigkeit gegenüber Anderen oder die Tendenz zu stehlen (s. Abb. 1.1 in Kandel, 2000b, S. 7).
3. Spezielle Gebiete des Cortex dehnen sich infolge frequenter Benutzung aus und erzeugen so Dellen in den Schädelknochen.

Aus diesen Hypothesen entstand die Phrenologie, eine Lehre, die heute vor allem wissenschaftshistorischen Wert besitzt. Nachweislich existiert keine Korrelation zwischen der Schädelform und Persönlichkeitsmerkmalen. Auch existieren keine den verschiedensten Persönlichkeitsmerkmalen dedizierten Areale. Dennoch haben sich einige Vermutungen Galls in ihren Grundzügen bestätigt. Neurowissenschaftler wiesen später nach, dass cortikale Zonen existieren, die darauf spezialisiert sind, verschiedenartige Information zu verarbeiten wie beispielsweise visuelle und auditive. Im 20. Jahrhundert konnte durch Studien belegt werden, dass diese cortikalen Zonen anatomische Korrelate für modalitätsspezifische Gedächtnisfunktionen sind. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts differenzierte der amerikanische Psychologe und Philosoph William James (1842-1910)

zwischen Gewohnheiten und bewusstem Gedächtnis und wies somit den Weg zu einer Differenzierung zwischen Können und Wissen. Zudem unterteilte er das Gedächtnis in ein Kurzzeitgedächtnis und ein Langzeitgedächtnis (Kandel, 2000b; Eichenbaum, 2003).

Der Cortex ist funktional kartierbar

Wilder Penfield beschäftigte sich um 1940 damit, die motorischen, sensorischen und sprachlichen Funktionen des cerebralen Cortex zu kartieren. Er führte seine Experimente an wachen Individuen durch, indem er die Oberfläche ihres Cortex elektrisch stimulierte. Eine solche Vorgehensweise war ethisch vertretbar, da ohnehin eine Operation notwendig war, um ihre Epilepsie zu behandeln. Mit ihrem Einverständnis konnte dann eine Kartierung zusätzlich zur eigentlichen Operation erfolgen.³² Da das Gehirn keine Nozizeptoren besitzt, genügt eine lokale Anästhesie um die Öffnungsstelle (Calvin und Ojemann, 1994).

Auf diese Weise untersuchte Penfield mehr als 1 000 Individuen, von denen ungefähr acht Prozent während der Stimulation an bestimmten Stellen des Temporallappens über eine besondere Empfindung berichteten: Es wurden Erinnerungen evoziert. Die meisten Wissenschaftler schenken dieser Beobachtung zunächst wenig Aufmerksamkeit, da sie die Ergebnisse aus statistischer Sicht nicht überzeugten (Kandel et al., 2000b).

Über das gestörte Gedächtnis des H.M.

Im Jahr 1953 untersuchte Brenda Milner, eine Kollegin Penfields, H.M. Er litt seit eines Unfalls an epileptischen Anfällen, die von beiden Temporallappen ausgingen. Daher hatte er sich einer bilateralen Ektomie der medialen Temporallappen unterzogen (s. Abb. 19.2 in Saper et al., 2000, S. 352). Seitdem litt er an einer Amnesie: H.M. konnte sich zum Beispiel eine Zahlenfolge merken, indem er sie immer wieder aufsagte; wurde er jedoch auch nur kurz dabei unterbrochen, vergaß er sie unwiderruflich (Calvin und Ojemann, 1994; Kandel et al., 2000b).

Milner dachte zunächst, bilaterale Läsionen des medialen Temporallappens beeinträchtigten alle Gedächtnisformen gleichermaßen. Weitere Untersuchungen zeigten jedoch, dass H.M. gewisse Lernleistungen ebenso gut erbringen konnte wie eine nicht operierte Versuchsperson. Beide konnten beispielsweise gleich gut lernen, einen Stern nachzuzeichnen, wobei sie die Linienführung ihrer Hand nur spiegelbildlich verfolgen konnten. Weitere Untersuchungen zeigten, dass Individuen wie H.M. neben motorischem Lernen andere einfache Lernleistungen erbrachten. Dazu zählen Habituation, Sensibilisierung, klassische Konditionierung und operante Konditionierung. Auch bei bestimmten Wahrnehmungsaufgaben wurden ihnen gute Leistungen bescheinigt (Kandel et al., 2000). Was bei Individuen wie H.M. verschont bleibt, sind erlernte Aufgaben,

³² Diese Methode findet auch heute noch Anwendung, um die Entfernung wichtigen Hirngewebes zu vermeiden (Calvin und Ojemann, 1994).

die gelöst werden können, ohne dass komplexe kognitive Prozesse wie Vergleiche und Bewertungen erforderlich sind. Folgendes Beispiel verdeutlicht, welche Gedächtnisleistungen bei Individuen wie H.M. erhalten und welche eingeschränkt sind:

„Thus, when given a highly complex mechanical puzzle to solve the patient may learn it as quickly and as well as a normal person, but will not consciously remember having worked on it previously.“
(Kandel et al., 2000, S. 1230)

Wissen und Können sind verschiedene Gedächtnisformen

Cohen und Squire postulierten 1980, dass noch verfügbare Fähigkeiten bei Amnesien ein Indiz für einen Bereich verschonter Lernkapazitäten verschiedener Gehirnsysteme seien. In diesem Zusammenhang führten sie die Begriffe prozedurales Gedächtnis und deklaratives Gedächtnis ein (Anderson, 2001). Sie sahen diese beiden Gedächtnisformen als zwei funktionell unterschiedliche Gedächtnissysteme an, für die inzwischen mehrere Synonyme kursieren.

Deklaratives Gedächtnis: Diese Gedächtnisform wird oft auch als explizites Gedächtnis bezeichnet. Sie vermittelt Fakten und Ereignisse, also zu ‚wissen, dass‘ England eine Insel ist, und dass Englisch heute die Lingua franca des wissenschaftlichen Gedankenaustauschs ist. Im Rahmen dieser Arbeit wird fortan der Begriff explizites Gedächtnis für diese Art von Gedächtnis verwendet; das deutsche Wort Wissen etikettiert explizite Gedächtnisinhalte.

Tulving (1972) unterscheidet innerhalb des expliziten Gedächtnisses episodisches Gedächtnis von einem semantischen Gedächtnis. Das episodische Gedächtnis vermittelt die Erinnerung an Situationen wie zum Beispiel an einer Fortbildungsveranstaltung teilgenommen zu haben. Das semantische Gedächtnis wird beispielsweise benutzt, wenn man sich an Inhalte mündlicher oder schriftlicher Texte erinnert. Es umfasst unter anderem Wissen über Fakten, Objekte, Konzepte und Wörter mitsamt ihren Bedeutungen. Inhalte des episodischen und des semantischen Gedächtnisses lassen sich beide durch explizite Aussagen ausdrücken (Kandel et al. 2000b). Spitzer (2000) differenziert weniger stark. Er verwendet den Begriff episodisches Gedächtnis synonym mit explizitem und deklarativem Gedächtnis.

Prozedurales Gedächtnis: Diese Gedächtnisform wird oft auch als implizites oder nichtdeklaratives Gedächtnis bezeichnet. Es handelt sich dabei um den ‚Erwerb und [das] Behalten von Fähigkeiten‘³³ (Spitzer, 2000, S. 217) – also zu ‚wissen, wie‘ etwas funktioniert. Wer Englisch ‚kann‘, muss keineswegs explizit die Inhalte der englischen Schulgrammatik inklusive aller Fachtermini wissen – man denke nur an alle Muttersprachler. In diesem Zusammenhang wird zukünftig der Begriff implizites Gedächtnis für diese Art von Gedächtnis benutzt; das deutsche Wort Können bezieht sich auf implizite Gedächtnisinhalte.

³³ besser: Fertigkeiten

Zur Integration der Dichotomie der Gedächtnisformen in die Fremdsprachendidaktik

Viele VertreterInnen der FD sehen zwischen dem Wissen und Können eine Schnittstelle, was zum Begriff der *interface hypothesis* führt.

Als Basis für eine Diskussion der *interface hypothesis* differenzieren Hecht und Hadden (1992) zwischen Wissen und Können. Sie beziehen sich dabei auf Erkenntnisse der KP und sprechen von deklarativem und prozeduralem Wissen. Ferner verwenden sie den Begriff Wissenssystem, wobei ich anmerke, dass der Begriff Wissensform treffender ist. Die AutorInnen ließen ProbandInnen entscheiden, ob ein Satz grammatisch richtig war oder nicht. Dabei unterschieden sie zwei Modi: Zum einen sollten ungrammatische Sätze erkannt und zwecks Korrektur mit einer Regel versehen werden, soweit diese bekannt war. Zum anderen sollten ungrammatische Sätze korrigiert werden, gleich ob eine entsprechende Regel bekannt war oder nicht. Auf diese Weise wurde der Einfluss des Wissens und des Könnens auf die zu erbringende Leistung untersucht. Es zeigte sich, dass Wissen über Sprache fast immer zur Identifikation und Korrektur der Fehler führte. War für einen Fehler kein Wissen in Form einer Regel verfügbar, wurde dieser dennoch in 50% der Fälle identifiziert und richtig korrigiert. Hecht und Hadden erklären letzteren Befund aus konnektionistischer Perspektive und beziehen sich vor allem auf PDP-Modelle. Für den FU sehen sie im Erwerb von Wissen über eine Sprache im Sinne sprachbezogener Kommunikation „gewiß keine Zeitverschwendung“ (S. 50).

Wie Hecht und Hadden (1992) leitet auch Multhaup (1997a) zu einer Diskussion hinsichtlich der *interface hypothesis* über. Er unterscheidet zunächst zwischen Wissen und Können und sieht zwei Arten des Könnens: Sprachgebrauch und Lernstrategien. Ich halte es nicht für zweckmäßig, das Können weiter zu untergliedern, denn es existieren unzählige weitere Aspekte des Könnens. Diese weisen alle dieselbe Eigenschaft auf: Sie entfalten sich langsam und nützen dem Individuum insbesondere durch das Tun. Multhaup (1997b) beschäftigt sich auch mit Tulvings Untergliederung des expliziten Gedächtnisses. Seiner Ansicht nach beginnt Lernen mit sensorischen Erfahrungen, die in das episodische Gedächtnis münden. Später würden Inhalte von dort ins semantische Gedächtnis überführt. Können sieht Multhaup (1997a, 1997b) in Anlehnung an das Konzept der parallelen Informationsverarbeitung an vielen Stellen zwischen Teilen des Wissens gespeichert. Diese Vorstellung entspringt meiner Meinung aus einer zu modellhaften Vorstellung der Realität und ist daher schwerlich auf das Lebendige zu übertragen, weil seitens der NW bis dato lediglich angenommen wird, dass verschiedene Gedächtnissysteme die verschiedenen Gedächtnisformen vermitteln (s.u.).

Auch Traoré (2002) beschäftigt sich mit der Konvertierbarkeit zwischen Wissen und Können im Sinne der *interface hypothesis*. In seinen Ausführungen konzentriert sich Traoré unter anderem auf das neuronale Substrat von Wissen und Können. Er sieht das neuronale Substrat für Wissen im Zwischenhirn, im medialen Temporallappen und im Hippocampus. Das Können lokalisiert er im Striatum, im Neocortex, in der Amygdala und im Cerebellum. Doch selbst anhand der NW gelangt er zu keinem weiterführenden Schluss hinsichtlich der *interface hypothesis*. Daher nimmt er mit Multhaup (1997a) an, dass sprachliche Strukturen zunächst immer explizit vorliegen und durch Üben in Können umgewandelt werden. Dieser Auffassung kann ich nicht zustimmen. Traoré unter-

scheidet zum einen nicht zwischen dem Mutter- und Fremdsprachenerwerb. Nur für den Fremdsprachenerwerb kommt Lernen anhand explizit vermittelter Regeln in Frage. Zum anderen muss das Erwerbsalter bedacht werden: Wie bereits dargestellt, entwickelt sich die metasprachliche Kompetenz mit zunehmendem Alter und dem Lernen der entsprechenden Terminologie.

Für Hulstijn (2002) steht fest, dass sich im Gehirn durch Sprachpraxis Können aufbaut. Es ist dabei unbedeutend, ob eine Sprache anhand von didaktisierten Grammatiken überwiegend explizit gelernt wird, weil sich der Erwerb impliziter Gedächtnisinhalte nicht abschalten lässt. Daraus schließt Hulstijn, dass Lernenden einer Fremdsprache lediglich die Wahl bleibt, ob sie zusätzlich mittels expliziter Lernmethoden lernen möchten oder nicht. Daher lehnt er die *interface hypothesis* ab: Explizite Gedächtnisinhalte werden nicht in implizite überführt. Ich meine aber, dass Wissen unser Können beeinflussen kann – zumindest in der Hinsicht, dass Wissen uns steuern kann, um unser Können optimal aufzubauen. Hulstijn schreibt im Weiteren:

„Most contributions to the non-interface, weak interface and strong interface debate are couched in rather vague terms, not specified with reference to cognitive architectures or to brain areas. The question then arises as to whether we are dealing with an empirical issue at all. If not, we may be wasting our time with a non-issue.“ (S. 209)

Dieser Auffassung kann ich nur zustimmen, solange keine weiterführenden Erkenntnisse über die Interaktion zwischen den verschiedenen Gedächtnisformen vorliegen. Kritik ist angebracht, wenn Hulstijn feststellt, dass implizite Gedächtnisinhalte im Vergleich zu expliziten nicht operationalisierbar sind – zumal er selbst vorschlägt, mittels der Dual-task-Methode oder anhand von ERP-Messungen die Beteiligung impliziter Gedächtnisinhalte an der Sprachverarbeitung zu untersuchen. Ein Testdesign wird dabei nicht konkretisiert.

Robinson (1995) unterscheidet zwischen „[i]mplicit [und] [e]xplicit memory“ (S. 307). Er stützt sich dabei auf neurowissenschaftliche Studien, in denen der mediale Temporallappen als „the site of memory functions“ (S. 312) identifiziert worden ist. Die von Robinson erwähnten Implikationen für die FD und den FU beziehen sich insbesondere auf die Unterstützung Schmidts *noticing hypothesis*. Wie Schmidt (1990) verwendet Robinson Begriffe wie *noticing*, *consciousness* oder *awareness* zu undifferenziert. Ich sehe keinen direkten Zusammenhang zwischen Robinsons referierendem Teil seines Artikels und den vergleichsweise knappen Implikationen für die FD und den FU. Die Ursache sehe ich hauptsächlich darin, dass wir gerade erst begonnen haben, die Verhaltensebene auf die neuronale Ebene zu beziehen.

Segermann (2003) differenziert zwischen Wissen über eine Sprache als „Systemwissen“ (S. 347) und Können im Sinne „kommunikative[r] Sprachverwendung“ (S. 347). Dies entspricht den Erkenntnissen der NW und KP. Dennoch klagt sie über einen zu undifferenzierten Wissensbegriff. Wie ich oben dargestellt habe, ist es unschwer, die Begriffe Wissen und Können eindeutig zu definieren. Segermann vermutet „neben dem verbalisierbaren, bewussten ‚Wissen‘ [...] kaum untersuchte (und auch schwer untersuchbare) kognitive Prozesse, die sich unterhalb der Schwelle des hellen Bewusstseins abspielen“ (S. 347). Diese verschleiende Beschreibung bezieht sich wohl lediglich auf das implizite Gedächtnis, welches das Können vermittelt. Weshalb das implizite Ge-

gedächtnis „schwer untersuchbar“ sei, wird weder erläutert noch ist es nachvollziehbar (s. Anderson, 2001). Segermann sieht im Können „implizite, vom Bewusstsein unabhängige[], kognitive[] Prozesse“ (S. 347) und misst ihnen hohe Bedeutung für das „Lernen wie bei der Wahrnehmung und der Repräsentation im Gedächtnis“ (S. 347) bei. Obwohl sie die Begriffe deklaratives und prozedurales Wissen verwendet, tragen ihre Ausführungen nicht zur begrifflichen Transparenz bei.

Pilzecker (1998) unterscheidet richtig zwischen Wissen und Können. Es handelt sich dabei um ein Referat, in dem keine Integration mit der FE im Hinblick auf den FU erkennbar ist. Ein ähnliches Vorgehen findet sich bei Götze (1999). Dieser verweist unter anderem auf eine neurobiologische Abhandlung zur Erforschung des Gedächtnisses und unterscheidet zwischen Wissen und Können.

Unterschiedliche Gedächtnissysteme vermitteln die verschiedenen Gedächtnisformen

Kann aufgrund verschiedener Gedächtnisformen auf die Existenz verschiedener Gedächtnissysteme geschlossen werden? Die NW und KP haben spezifische Gedächtnissysteme beim Menschen und anderen Tierarten identifiziert. Diese spezifischen Gedächtnissysteme konvergieren hochgradig über die Grenzen verschiedener Spezies. Nach heutiger Auffassung zeichnet sich ein Gedächtnissystem durch zwei Charakteristika aus (Eichenbaum, 2003):

1. eine spezifische Funktionsweise
2. spezifische Hirnstrukturen und Verbindungen

Gedächtnissysteme können nicht modalitätsspezifisch hinsichtlich von Input-Stimuli (z.B. Sehen, Hören, Riechen, Schmecken) oder Reaktionen (z.B. manuell, verbal) unterschieden werden. Alle bekannten Gedächtnissysteme greifen auf alle Modalitäten zurück, weshalb multimodales Lernen permanent geschieht. Unterschiede zwischen Gedächtnissystemen werden auf ganz anderen Ebenen deutlich und zwar bezüglich

1. der Art und Weise, wie Information repräsentiert ist
2. der Organisation der repräsentierten Information
3. der Flexibilität, mit der Information ausgedrückt wird

Obwohl jedes Gedächtnissystem aus ihm eigenen Hirnstrukturen hervorgeht, sind die zugehörigen Verarbeitungswege nicht völlig gegeneinander abgegrenzt. So spielen beispielsweise weite Teile des cerebralen Cortex bei den meisten Systemen eine wichtige Rolle. Die Unterscheidung zwischen verschiedenen Gedächtnissystemen kann auf drei Ebenen erfolgen, und zwar auf deskriptiver, funktionaler und neuronaler. Wissen und Können sollte auf deskriptiver Ebene unterschieden werden, also auf der Ebene der Beschreibung menschlichen Verhaltens. Tulvings Unterscheidung zwischen episodischem und semantischem Gedächtnis kann auf deskriptiver Ebene erfolgen, hat aber für die funktionale und neuronale Ebene weit reichende Konsequenzen (Buchner und Brandt,

2003), denn eine solche Untergliederung impliziert verschiedene Information verarbeitende Regionen im Gehirn.

Innerhalb der FE fällt der Begriff Gedächtnissystem nur akzidentell. Dann treten allerdings definitorische und systematische Unstimmigkeiten auf: So subsumiert Götze (1999) unter dem Begriff Gedächtnissysteme sowohl Gedächtnisformen als auch die sie vermittelnden Gedächtnissysteme. Auch wäre es günstiger, in der Überschrift zu Traorés Artikel (2002) „Gedächtnis, Gehirnsysteme und Wissenserwerb [...]“ (S. 19) von Gedächtnissystemen als von „Gehirnsysteme[n]“ zu sprechen.

Aufgrund der erfolgten Differenzierung zwischen Wissen und Können werden im Folgenden zunächst zwei Gedächtnissysteme detailliert betrachtet: das explizite und das implizite Gedächtnis. Das emotionale Gedächtnis wird erläutert, wenn die Modulation von Gedächtnisleistungen durch Emotionen analysiert wird.

7.2 Explizites Gedächtnis

All knowledge is remembrance.

Thomas Hobbes (1588-1679)

Dank der Mitwirkungsbereitschaft amnestischer Individuen wie H.M. konnte gezeigt werden, dass dem Hippocampus bei der Vermittlung von Wissen eine besondere Aufgabe zukommt. Zudem schlussfolgerten O'Keefe und Nadel 1978, dass dieser Struktur bei Tieren die entscheidende Rolle bei der räumlichen Wahrnehmung und dem Gedächtnis zukommt. Weitere Forschung führte zu heute zwei allgemein anerkannten Auffassungen über die Bedeutung des Hippocampus (Eichenbaum, 2003):

1. Der Hippocampus ist daran beteiligt, eine bestimmte Art von organisierter Repräsentation verschiedener Reize und Erfahrungen zu vermitteln. Eichenbaum konkretisiert dies hinsichtlich der Fähigkeit, Gedächtnisinhalte zu nutzen, um Verhalten in Situationen zu lenken, die von der ursprünglichen Lernsituation abweichen.
2. Assoziationen zwischen Reiz und Belohnung sowie zwischen Reiz und Reaktion werden durch andere Gehirnsysteme vermittelt.

Individuen mit Läsionen des medialen Temporallappens fällt es vor allem schwer, neue Information über längere Zeit zu speichern. Sie können sich dennoch zum Beispiel an ihre Kindheit oder früher erworbenes Wissen erinnern. Daher liegt der Schluss nahe, dass der Hippocampus nur eine Zwischenstation ist, um Information ins Langzeitgedächtnis zu überführen. Wäre dem so, würde die Langzeitspeicherung von Wissen in den uni- und multimodalen Assoziationsfeldern des cerebralen Cortex erfolgen, die unter anderem daran beteiligt sind, sensorische Information zu verarbeiten. Hierzu sei folgendes Beispiel genannt: Schaut man ein Gesicht an, wird die sensorische Information in den kortikalen Arealen verarbeitet, die zum visuellen System gehören. Dazu gehört auch ein unimodales visuelles Assoziationsfeld des inferotemporalen Cortex, das sich nur mit der Gesichtserkennung beschäftigt. Gleichzeitig gelangt die Information in den Hippocampus. Dieser könnte dann über Tage und Wochen hinweg dazu beitragen, Information über das Gesicht zu speichern.

Wie kann man beweisen, dass die Assoziationsfelder die eigentlichen Speicherorte für Wissen sind? Läsionen des Assoziationscortex sollten die Erinnerung zuvor gespeicherten Wissens einschränken oder unmöglich machen. Eben dies ist bei Individuen mit entsprechenden Läsionen der Fall. Sie erkennen zum Beispiel keine bekannten Gesichter, Objekte oder Orte mehr. Wie bereits erläutert, verursachen zudem unterschiedlich lokalisierte Läsionen spezielle Defekte des expliziten Gedächtnisses (Kandel et al., 2000b).

Es wird zudem vermutet, dass der Hippocampus dazu beiträgt, verschiedene Informationskomponenten miteinander zu verbinden. Aus dieser Sicht würde der Hippocampus die ersten Schritte der Langzeitspeicherung vermitteln, indem er langsam Informa-

tion in das neocortikale Speichersystem überträgt. Die langsame Informationsübertragung trägt dazu bei, dass neue Daten bereits existierende nicht zerstören (Kandel et al., 2000b). Parallelen zur Funktionsweise künstlicher neuronaler Netze sind nicht von der Hand zu weisen, wenn man unter anderem an das Phänomen der *catastrophic interference* denkt. Im folgenden werden drei wesentliche Leistungen des expliziten Gedächtnisses erläutert.

Encodieren: Diese Gedächtnisleistung bezieht sich auf die Prozesse, durch die neue Information festgehalten und verarbeitet wird.

Konsolidierung: Die neu gespeicherte und noch labile Information wird durch Prozesse verändert, um sie für die Langzeitspeicherung zu stabilisieren. Dazu gehören die Genexpression und die Proteinsynthese innerhalb beteiligter Neuronen (s. Kap. 7.6). Letztlich wird die Information an bestimmten Stellen im neuronalen Mikrokosmos auf materieller Ebene dauerhaft gespeichert. Man spricht dann von Langzeitspeicherung, die sich durch scheinbar unbegrenzte Speicherkapazität auszeichnet.

Erinnern³⁴: Dieser Begriff bezieht sich auf das Abrufen und Anwenden von gespeicherter Information, indem einzelne Komponenten aus verschiedenen Speicherorten zusammengeführt werden. Unter Abrufen verstehen Kandel et al. (2000b) daher einen konstruktiven Prozess – ähnlich der Wahrnehmung.

Baddeleys Modell des Arbeitsgedächtnisses entstand aus dem Konzept des Kurzzeitgedächtnisses

Das Arbeitsgedächtnis wird als kognitives System verstanden, anhand dessen eine limitierte Menge an Information (ca. 7 ± 2 Informationseinheiten³⁵) über einen kurzen Zeitraum (einige Sekunden) behalten werden kann. Seit der kognitiven Wende³⁶ in den 1970er Jahren wird das Arbeitsgedächtnis in der Psychologie untersucht. Es entwickelte sich aus dem Konzept des Kurzzeitgedächtnisses, das 1968 von Atkinson und Shiffrin vorgestellt wurde. Baddeley und Hitch stellten 1974 erstmalig ihr Modell vor, das bis heute einige Änderungen erfahren hat (Anderson, 2001).

Das Encodieren und Erinnern von Wissen hängt entscheidend vom Arbeitsgedächtnis ab. Derzeit wird angenommen, dass dieser Kurzzeitspeicher aus mindestens drei Komponenten besteht (Baddeley, 1996, 2000):

Zentrale Exekutive: Das neuronale Substrat dieses Systems wird im präfrontalen Cortex vermutet³⁷ und regelt den Informationsfluss zu den zwei folgenden Systemen,

³⁴ Im Englischen wird das Wort *recall* verwendet.

³⁵ Durch *chunking* kann mehr Information behalten werden (Calvin und Ojemann, 1994). Die Zahlenfolge 123 123 123 123 123 123 ist leicht zu merken: sechs mal 123. Kaum zu behalten ist hingegen die Zahlenfolge 204 632 857 959 137 140, da hier kein erkennbares System eine Komprimierung der Information ermöglicht. Auch sind bis zu 16 Wörter gut zu behalten, wenn sie einen sinnvollen Satz bilden (Baddeley, 2000).

³⁶ Die kognitive Wende bezeichnet Interessenverschiebungen vom Behaviorismus zur kognitiven Psychologie. Sie fand vor allem in den USA in den 1960er Jahren, in Deutschland ab Mitte der 1970er Jahre statt. Inzwischen hat sich auch die interdisziplinäre Kognitionswissenschaft etabliert, die Erkenntnisse der NW, Linguistik, kognitiven Psychologie, Philosophie und Informatik integriert (Zimbardo und Gerrig, 2003).

³⁷ Über Details wird noch heftig debattiert (s. Parkin, 1998).

von denen man annimmt, dass sie Information ähnlich einem Puffer zwischenspeichern. Beide Systeme werden an verschiedenen Stellen im Bereich der posterioren Assoziationscortices vermutet. Die Information beider Systeme kann in das Langzeitgedächtnis überführt werden. Man nimmt an, dass die zentrale Exekutive über Subkomponenten verfügt. Dazu gehören das Fokussieren und Koordinieren von Aufmerksamkeit sowie die Kontrolle des Langzeitgedächtnisses. Wie diese Subkomponenten interagieren, wie sie unterschieden werden können und welchen anatomischen Korrelaten sie entsprechen, ist Gegenstand weiterer Forschung (Baddeley et al., 1998). Läsionsstudien weisen darauf hin, dass das Funktionieren der zentralen Exekutive mit der Unversehrtheit des Frontalhirns einhergeht. Parkin (1998) hingegen lehnt die Existenz einer zentralen Exekutive ab, da je nach Aufgabe verschiedenste, verteilte Aktivierungsmuster auftreten. Wie bei allen Modellen ist es kompliziert, zugehörige neuronale Substrate zu identifizieren. Es besteht daher weiterer Forschungsbedarf.

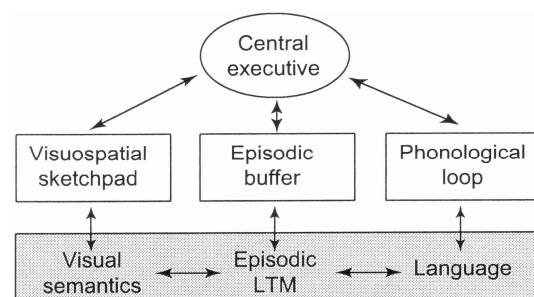
Phonologische Schleife: Dieses System vermittelt Sprache und zeichnet sich dadurch aus, dass es Information sehr schnell verliert. Wörter und Zahlen können jedoch durch subvokalisiertes Wiederholen behalten werden, wie es H.M. gelang. Hinweise für die Existenz der phonologischen Schleife liefern unter anderem folgende Phänomene:

- *Wortlängeneffekt:* Wortlisten, deren Wörter kurz sind (z.B. Hut, Tisch, Haus, Bach), werden besser behalten als Wortlisten, deren Wörter vergleichsweise lang sind (z.B. Demokratie, Unschärfeprinzip, Zukunftskonferenz, Weiterbildung) (Baddeley, 2000).
- *phonologischer Ähnlichkeitseffekt:* Nach Baddeleys Studien werden Listen ähnlich klingender Wörter wie Haus, Maus, Laus, Schmaus, Klaus und Strauß weniger gut behalten als Listen verschieden klingender. Für das Langzeitgedächtnis ist es übrigens die semantische Ähnlichkeit, die die Behaltensleistung beeinträchtigt (Baddeley, 2000).
- *Effekt der artikulatorischen Unterdrückung:* Wörter werden weniger gut behalten, wenn während des Lernens fortwährend irrelevante Wörter wie ‚der‘ oder ‚wir‘ artikuliert werden. Wird stattdessen zum Beispiel regelmäßig auf den Tisch geklopft, erfolgt keine Beeinträchtigung. Daher kann der Effekt der phonologischen Unterdrückung nicht auf verminderte Ressourcen der Aufmerksamkeit bezogen werden. Werden die zu lernenden Wörter hingegen visuell präsentiert, verschwindet der Effekt der artikulatorischen Unterdrückung (Baddeley, 2000). Baddeley (1990) erklärt dieses Phänomen dadurch, dass der visuelle Code nicht in einen phonologischen transformiert wird.
- *Effekt irrelevanter Sprache:* Wörter und sinnlose Silben stören das Erinnern von Wörtern, weil sie Zugang zur phonologischen Schleife erlangen (Martín-Loeches et al., 1997).
- *Modalitätseffekt:* Auditiv präsentierte Wortlisten werden besser erinnert als visuell präsentierte. Erklärt wird dieser Effekt dadurch, dass visueller Input zunächst in ein artikulatorisches bzw. phonologisches Format transformiert werden muss (Baddeley et al., 1998). Diese Erklärung steht im Widerspruch zu Baddeley (1990).

Nach Baddeley et al. (1998) evolvierte die phonologische Schleife, weil sie den Spracherwerb erleichtert, indem sie die Repräsentation eines neuen Worts erhält und so das Lernen optimiert. Dies wird bereits in einer früheren Studie deutlich (Papagno et al., 1991). Die Studie von Baddeley et al. (1998) zeigt auch, dass die phonologische Schleife beim Lernen neuen Vokabulars umgangen werden kann, wenn das zu lernende Material semantische Assoziationen ermöglicht. Mithilfe der fMRT führten neurolinguistische Experimente zu dem Schluss, dass die phonologische Schleife primär den Brodmann-Arealen 40 und 44 der dominanten Hemisphäre zugeordnet werden kann. Coull et al. (1996) postulieren ein linkshemisphärisch fronto-parietales Netzwerk.

Visuell-räumlicher Skizzenblock: Diese Bezeichnung wurde gewählt, da dieses System visuelle Eigenschaften von Objekten sowie ihre räumliche Anordnung repräsentiert. Anhand des visuell-räumlichen Skizzenblocks kann man sich zum Beispiel ein bestimmtes Gesicht merken, das man während einer Feier trifft (Kandel, 2000). Auch gibt es Menschen, die Schach mit verbundenen Augen spielen können. Nach Smith und Jonides (2003) ist die Komponente der visuellen Muster am besten mit bilateralen Aktivierungen im Okzipitallappen assoziierbar. Die räumlichen Aspekte werden vor allem rechtshemisphärisch durch temporo-parietale Regionen vermittelt. Frontale Areale sind für die Koordination zuständig. Ähnlich der phonologischen Schleife kommt dem visuell-räumlichen Skizzenblock die Funktion zu, Information aufrecht zu erhalten. Dies geschieht, indem die visuell-räumliche Lokalisation von Information für kurze Zeit gespeichert wird. Als Beispiel sei das Behalten der räumlichen Position von Text genannt. Getestet werden kann der visuell-räumliche Skizzenblock mithilfe des von Corsi 1972 entwickelten Corsi-Block-Tests (Berch et al., 1998), bei dem die ProbandInnen sich merken müssen, in welcher Reihenfolge die Versuchsleiterin/der Versuchsleiter kleine Blöcke berührt, die auf einem Brett befestigt sind. Papagno et al. (1991) vermuten, dass der visuell-räumliche Skizzenblock Lernen unterstützt, was auf visuell-räumlicher Vorstellung beruht. Sie leiten diese Vermutung von der Bedeutung der phonologischen Schleife für das phonologische Lernen ab.

Baddeley stellte 2000 ein neues Modell vor (s. Abb. 7.1), das einen episodischen Speicher als zusätzliche Subkomponente enthält. Dieser stellt einen Mechanismus dar, anhand dessen eine sinnvolle Interaktion mit der Umwelt erfolgen kann, weil zukünftiges Verhalten geplant werden kann sowie neue kognitive Repräsentationen hergestellt werden können, was zur Erleichterung des Problemlösens beiträgt. Der episodische Speicher wird ebenfalls als temporäres Speichersystem mit limitierter Kapazität angesehen. Er ist die Schnittstelle zwischen verschiedenen Modalitäten und Systemen, die unterschiedliche Kodierungen verwenden. Er verwendet selbst einen multidimensionalen Code und wird durch die zentrale Exekutive kontrolliert. Es ist unwahrscheinlich, dass der epi-



Reprinted from Trends in Cognitive Science, 4, Baddeley, The episodic buffer: a new component of working memory?, pp 417-423, © 2000, with permission from Elsevier.

Abb. 7.1: Aktuelles Modell des Arbeitsgedächtnisses. Der graue Bereich repräsentiert kognitive Systeme, die Information über lange Zeit behalten (Baddeley, 2000).

sodische Speicher an einer eingegrenzten anatomischen Struktur festgemacht werden kann, denn vieles deutet darauf hin, dass es durch synchrones Feuern von Neuronen zum Phänomen des *binding*³⁸ kommt. Dennoch scheinen frontale Areale am ehesten verantwortlich zu sein, denn sie sind an der Integration von Information beteiligt (Prabhakaran et al., 2000). Die neue Komponente könnte helfen, mit dem bisherigen Modell unerklärliche Phänomene zu erhellen (Baddeley und Wilson, 2002). Baddeleys Modell des Arbeitsgedächtnisses wird in Details auch kontrovers diskutiert. So meinen Saeki und Saito (2004) Indizien gefunden zu haben, dass die zentrale Exekutive durch die phonologische Schleife beeinflusst wird, was das bisherige Modell so nicht vorsieht. Baddeley (2000) liefert auch selbst ein differenziertes Bild über die Stärken und Schwächen seines Modells. Trotz dieser Kritik ist das Modell eine Arbeitsvorlage, die einerseits einen Rahmen für viele kognitive Phänomene bildet. Andererseits gibt es auch in überarbeiteter Form Anstoß, zukünftig die Struktur und Funktion des Gedächtnisses zu erforschen. So untersuchten Gathercole et al. (2004) die Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses an mehr als 700 Kindern im Alter zwischen 4 und 15 Jahren. Sie gelangen zu dem Ergebnis, dass sich die drei Komponenten des traditionellen Modells von Baddeley und Hitch linear zunehmend entwickeln und spätestens ab dem sechsten Lebensjahr ausgebildet sind.

Baddeleys Modell des Arbeitsgedächtnisses stößt in der Fremdsprachendidaktik auf Interesse

Wie wird Baddeleys Modell des Arbeitsgedächtnisses in die FD integriert? Zunächst ist eine Differenzierung zwischen einem Ultrakurzzeit-, Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis überholt:

„Demzufolge sieht es so aus, als gäbe es keine Kurzzeitübergangsstation zum Langzeitgedächtnis. Entscheidend ist vielmehr, daß wir die Informationen in einer Art und Weise verarbeiten, die dem Aufbau einer Spur im Langzeitgedächtnis förderlich ist.“ (Anderson, 2001, S. 178)

Dieser Auffassung entsprechen Götzes (1999) Ausführungen. Deutlich wird dies auch bei Multhaup (1997a) und Pilzecker (1998), die das Arbeitsgedächtnis als den gerade aktivierten Teil des Langzeitgedächtnisses betrachten. Aufbauend auf diese aktuelle Betrachtungsweise werden Leistungen beim Erwerb von Wörtern und der Grammatik, der Aussprache sowie dem Leseverstehen auf die Existenz bzw. Funktionsweise des Arbeitsgedächtnisses zurückgeführt. Dies wird nachfolgend konkretisiert.

Wortschatz: Nach Holtwisch (1994) benötigt das „akustische Gedächtnis eine gewisse Verarbeitungsspanne, um neue Informationen abzuspeichern.“ (S. 231) Daher sei die „Memorierfähigkeit innerhalb einer bestimmten Zeiteinheit begrenzt [...] (sieben plus minus zwei Items)“ (S. 231). Holtwisch zieht daraus den Schluss, dass bei der Vermittlung neuen Lernstoffs Pausen notwendig sind, insbesondere in der Unterstufe. Zudem solle die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses bei der Gestaltung von Übungen

³⁸ Dieser Begriff bezeichnet Prozesse, infolge derer sich eine holistische Wahrnehmung der Umwelt aus modalitätsspezifischen Wahrnehmungen ergibt.

berücksichtigt werden. Diese Handlungsempfehlungen werden nicht weiter konkretisiert.

In einem Artikel der Zeitschrift *Applied Psycholinguistics* berichten Atkins und Baddeley (1998) über die Bedeutung des phonologischen Arbeitsgedächtnisses für das Vokabellernen: Die Leistung der phonologischen Schleife ist mit dem Erfolg beim Vokabellernen korreliert, allerdings nicht der visuell-räumliche Skizzenblock. Visuell präsentierte Items werden offenbar phonologisch recodiert. Selbst unter Zuhilfenahme semantischer Strategien kann die Leistung der phonologischen Schleife den Lernerfolg beim Vokabellernen vorhersagen. Die Autoren vermuten daher, dass Kinder aufgrund einer defizitären Leistung der phonologischen Schleife in ihrer Sprachentwicklung retardiert sein können. Sie können zwar neue Vokabeln lernen, aber Lernende mit diesen Defiziten könnten durch gezielte Lernprogramme Hilfe erfahren. Hier bietet sich ein Forschungsprojekt in Kooperation mit der FD an.

Atkins und Baddeley sehen Lernen in Abhängigkeit verschiedener Synergiefaktoren, denn die Bedeutung der jeweiligen Vokabel und die Integration in Bekanntes spielen eine große Rolle:

„An obvious semantic variable is the concreteness or imageability of the concept, with vocabulary relating to concrete objects being acquired more readily than that referring to abstract and unfamiliar concepts.” (S. 550)

Auch die Muttersprache stellt Bekanntes dar und kann offensichtlich nicht unterdrückt werden:

“Furthermore, analogies with existing learning also influence the rate of new learning. Hence, an English speaker acquiring the German word for *dog* benefits from the similarity between *hund* and *hound*.” (S. 550)

Hier findet sich Unterstützung für die Hypothese, dass die muttersprachliche Kompetenz den Fremdspracherwerb beeinflusst und somit die Verwendung der Muttersprache im FU den Lernenden eine Hilfe ist (s. Dodson, 1972; Butzkamm, 2003)³⁹.

Dittmann und Schmidt (1998) befassen sich mit dem Arbeitsgedächtnis aus neuropsychologischer Perspektive und untersuchen unter anderem den Einfluss der phonologischen Schleife auf das fremdsprachliche Vokabellernen. Wie Baddeley et al. (1988) gelangen sie zu dem Ergebnis, dass ihr beim Lernen neuer Wörter eine entscheidende Funktion zukommt. Sie sehen für den Mutterspracherwerb eine Beteiligung der phonologischen Schleife am Erwerb des Vokabulars: Je unähnlicher das neue Vokabular gegenüber dem bereits vorhandenen ist, desto größer ist ihre Beteiligung. Dieses Phänomen wurde auch für den fremdsprachlichen Vokabularerwerb Erwachsener nachgewiesen. Der Beitrag der phonologischen Schleife scheint von zwei Faktoren abhängig zu sein, und zwar „[sowohl] von der Ähnlichkeit des fremden Vokabulars mit dem erstsprachlichen und dem schon vorhandenen Vokabular einer anderen Fremdsprache sowie von dem Umfang des bereits erworbenen fremdsprachlichen Vokabulars“ (Dittmann

³⁹ Niemand denkt dabei an einen unreflektierten, zeitlich ausgedehnten Einsatz der Muttersprache im FU. Vielmehr geht es um gezielt eingesetzte Techniken, in denen zum Beispiel anhand der Spiegelung grammatischer Strukturen den Lernenden in Bezug auf einen fremdsprachlichen Satz transparent wird, was gemeint ist und wie es in der Fremdsprache gesagt wird (s. Butzkamm, 2003).

und Schmidt, 1998, S. 322). Besteht bei erwachsenen Lernenden einer Fremdsprache die Möglichkeit, semantische Assoziationen mit der Muttersprache zu bilden, fände dies unter Entlastung der phonologischen Schleife statt. Die beiden Autoren meinen, dass hierzu noch Studien fehlen, die das Ausmaß der Assoziationsmöglichkeiten von der Ähnlichkeit zwischen der Mutter- und der Fremdsprache analysieren wie beispielsweise Ähnlichkeiten zwischen dem Englischen und Deutschen im Vergleich zu Ähnlichkeiten zwischen dem Englischen und Japanischen.

Dittmann und Schmidt schließen, dass bereits vorhandene Vokabeln auch aus bereits erworbenen Fremdsprachen das Lernen unbekannter Vokabeln vereinfachen: „Es scheint also bei sich erweiternden Vokabularkenntnissen eine schwächere Nutzung der phonologischen Schleife zugunsten des Einsatzes phonologisch-lexikalischer Informationen zu geben.“ (S. 324) Dies schließt ihrer Meinung nach die temporäre Repräsentation von Lautstrukturen neuer Wörter im Arbeitsgedächtnis nicht aus: Die Lerneffektivität steigt beim lauten Wiederholen der Wörter. Einen ähnlichen Effekt des lauten Wiederholens machen die AutorInnen für den fremdsprachlichen Syntaxerwerb aus: „Durch Rehearsal werden die temporären phonologischen Repräsentationen verstärkt und ermöglichen so die Ableitung abstrakter Strukturen; die artikulatorische Unterdrückung verhindert dies.“ (S. 327) Demnach ließen sich für den FU insbesondere SchülerInnen aktivierende Übungen legitimieren, deren Ziel darin besteht, möglichst vielen SchülerInnen gleichzeitig zu hohem Sprachumsatz zu verhelfen. Butzkamm (2004) hat hierzu Unterrichtstechniken zusammengestellt wie die folgende Auswahl zeigt:

1. *buzz reading*
2. *read-and-look-up*
3. verständnistragendes, ausdrucksvolles Lesen
4. gestaltendes Lesen mit verteilten Rollen
5. rhythmisch gegliedertes Chorsprechen

Grammatikerwerb: Unter Vorbehalt verweisen Atkins und Baddeley (1998) auf Studien, die neben dem Vokabellernen auch den Grammatikerwerb von der Leistung der phonologischen Schleife abhängig machen. Ich erinnere auch an Dittmann und Schmidt (1998), die dies für die Syntax annehmen. Folglich besteht weiterer Forschungsbedarf, insbesondere im Hinblick auf sprachlich beeinträchtigte SchülerInnen.

Aussprache: Holtwisch (1994) fordert, dass „Schülern neue Lektionstexte in übersichtlichen Syntagmen, die durch kleinere Sprechpausen getrennt sind, vorgelesen werden sollten“ (S. 231). Der Grund für Aussprachedefizite läge in der zu schnellen Abfolge sprachlicher Phoneme und bewirke eine unzureichende Lautdiskriminierung, was zu mangelnder Verankerung im „akustischen Gedächtnis“ (S. 232) führte: Der „internale[] Echoeffekt“ (S. 232) und das „Subvokalisieren“ (S. 232) seien nicht mehr möglich. Entsprechende Studien werden allerdings nicht zitiert.

Die frühe Einführung des Schriftbilds zwecks besserer Behaltensleistung fordert Winter (2000). Er bemängelt, dass zu wenig Zeit darauf verwendet wird, die SchülerInnen zu unterstützen, ein Gefühl für die Beziehung zwischen Phonemen und Graphemen im Englischen zu entwickeln: „Was im Rahmen des Arbeitsgedächtnisses möglicher-

weise noch nicht auffällt, entpuppt sich im Unterricht in späteren Sprachanwendungsphasen als Dilemma.“ (S. 88) Der Bezug zum Arbeitsgedächtnis bleibt mir dabei unklar.

Leseverstehen: Schmidt (2000) analysiert, inwiefern das Arbeitsgedächtnis fremdsprachliches Leseverstehen beeinflusst, indem sie neurolinguistische und psycholinguistische Erkenntnisse diskutiert. Als Grundlage dient ihr Baddeleys Arbeitsgedächtnismodell mit den drei Modulen zentrale Exekutive, phonologische Schleife und visuell-räumlicher Skizzenblock.⁴⁰ Nach der Erläuterung des Lesespannentests nach Daneman und Carpenter (1980)⁴¹ sowie neuropsychologischer und psycholinguistischer Studien gelangt Schmidt zunächst zu dem Ergebnis, dass „Leseverstehensleistungen in der Muttersprache [...] zumindest im Hinblick auf semantische Prozesse von der individuellen Arbeitsgedächtniskapazität abhängig“ (S. 91) zu sein scheinen. Individuell divergierende Leistungen begründen sich ihrer Meinung nach in Kapazitätsdifferenzen zwischen Individuen oder in der unterschiedlichen Effizienz der Nutzung dieser Kapazitäten. Für die fremdsprachliche Leseverstehensleistung folgert sie daraus hinsichtlich der Syntaxverarbeitung, dass diese im Gegensatz zur Sprachverarbeitung der Muttersprache Arbeitsgedächtniskapazität in Anspruch nimmt. Dies geschieht ihrer Meinung nach vor allem zu Beginn des FU, da hier noch nicht mit einem „automatische[n] Prozess“ (S. 91) gerechnet werden kann.

Schmidt sieht im Können einen Schlüsselfaktor zur Optimierung fremdsprachlicher Lesefertigkeit. Je leichter das Lesen fällt, desto mehr wird die Aufmerksamkeit auf den Inhalt gelenkt. Zudem fordert Schmidt im Rahmen der Ausspracheschulung „Übungen zur Aussprache, Lautwahrnehmung [...] sowie zur Graphem-Phonem-Konversion“ (S. 96-97) einzusetzen. Sie begründet dies wie folgt: „'Gute' LeserInnen können Kontexthinweise besser nutzen, weil sie aufgrund effektiver Dekodierprozesse genügend Kapazität für den Einsatz von Strategien zur Verfügung haben.“ (S. 97) Die Erforschung der Aufmerksamkeit (s. Kap. 7.5) könnte diese Erklärung unterstützen.

Generelle Vorhersagen über die Leistungsentwicklung: Determiniert die Leistung der phonologischen Schleife die fremdsprachliche Entwicklung? Obwohl einige Studien diese Sicht nahe legen (Atkins und Baddeley, 1998), warnen Dittmann und Schmidt (1998), dass eine hypothetische Kompensation durch phonologisch-lexikalisches Wissen aus dem Langzeitgedächtnis nicht ausreichend untersucht ist. Der Vorschlag, anhand von Messungen der Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses Prognosen über Sprachleistungen im Bereich des Fremdsprachenerwerbs zu wagen (s. Robinson, 1995), sollte daher zurückgestellt werden. Auch die Leistung der übrigen Komponenten des Modells von Baddeley scheinen mit der schulischen Leistung korreliert zu sein und zukünftig eventuell Prognosen über die Leistungsentwicklung zuzulassen (Gathercole und Pickering, 2000). Dies muss meines Erachtens durch weitere Forschung abgesichert werden.

⁴⁰ Schmidt äußert sich teilweise kritisch zu Baddeleys Modell, was hier nicht ausgeführt wird.

⁴¹ Der Test wurde in diesem Jahr entwickelt und später optimiert. Schmidt (2000) stellt die aus ihrer Sicht aktuelle Fassung nach Danemann und Green (1986) vor und erörtert entsprechende Kritik.

7.3 Implizites Gedächtnis

Es ist nicht genug, zu wissen, man muß auch anwenden;
es ist nicht genug, zu wollen, man muß auch tun.

Johann Wolfgang von Goethe (1821)

Hätte Giornovicchi Läufe von 16-24 Noten unter einem geworfenen Bogenstrich herausgebracht, so sah Paganini nicht ein, warum er ihn nicht mit einem Dutzend ricochettierender Töne mehr aus dem Felde schlagen sollte. Und wenn Durand das Staunen der Zuhörer auslöste, indem er kurze melodische Phrasen auf den beiden oberen Saiten mit dem Bogen strich und dazu auf den unteren die Begleitung mit der linken Hand pizzikierte, so war das für Paganini Grund genug, in ganzen Stücken mit dem gleichen, aber auf die Spitze getriebenen Verfahren aufzuwarten.

Andreas Moser und Hans-Joachim Nösselt, 1966

Niemand glaubt, dass die hier beschriebenen Violinisten während des Spielens jeden einzelnen Griff durchdacht haben. Im Vergleich zum expliziten Gedächtnis erfordert implizites Gedächtnis nicht direkt bewusste Prozesse: Können erfordert keine Suche nach Wissen. Es wird vor allem durch Handeln ausgedrückt und nicht durch Worte. Können äußert sich daher durch perzeptuelle und motorische Fertigkeiten. Im folgenden wird beschrieben, wie Können entsteht und welche Bedeutung ihm im FU zukommt.

Wie bereits die Ausführungen zu neuronalen Netzen verdeutlicht haben, entwickelt sich Können im Laufe der Zeit. Damit dies optimal gelingt, ist es unter anderem erforderlich, die zu lernenden Inhalte häufig zu wiederholen. Wissen hingegen kann nahezu augenblicklich erlangt werden. Generell unterscheidet man zwei Unterklassen des Lernens im Kontext des impliziten Gedächtnisses, das nichtassoziative und assoziative Lernen (Kandel et al., 2000b).

Nichtassoziatives Lernen

Von nichtassoziativem Lernen spricht man, wenn ein Tier oder eine Person einmal oder wiederholt einem bestimmten Reiz ausgesetzt wird. Alltäglich begegnet man zwei Formen nichtassoziativen Lernens, der Habituation und Sensibilisierung (Byrne, 2003).

Habituation: Wird ein Reiz immer wieder dargeboten, nimmt die Reaktion auf ihn zunehmend ab. Als Beispiel diene die alltägliche Erfahrung, bei der man eine tickende Uhr oder Tastaturgeräusche aus einem benachbarten Büro nach einiger Zeit nicht mehr wahrnimmt. Auch nimmt man nach kurzer Zeit nicht mehr wahr, dass man Kleidung und Schuhe trägt.

Sensibilisierung: Hierunter versteht man eine verstärkte Reaktion auf einen Reiz, nachdem ein besonders starker Reiz präsentiert wurde. Wird man unsanft gekniffen, reagiert man verstärkt auf eine weitere Berührung.

Habituation und Sensibilisierung zeichnen sich dadurch aus, dass keinerlei Assoziation zwischen Stimuli erforderlich ist. Neben diesen recht einfachen Formen des nicht-assoziativen Lernens existieren auch weitaus komplexere. Dazu zählt das Lernen durch

Imitation – ein Schlüsselfaktor beim Spracherwerb ohne offensichtliches, assoziatives Element (Kandel et al., 2000b).

Assoziatives Lernen

Beim assoziativen Lernen lernt ein Tier oder Mensch, eine Beziehung zwischen zwei Reizen oder einem Reiz und einer Reaktion herzustellen (Kandel et al., 2000). Diese Form des Lernens umfasst viele alltäglich ablaufende Vorgänge: Jeder hat das Sprechen gelernt, und viele sprechen eine oder mehrere Fremdsprachen. Auch die Beherrschung eines Musikinstruments ist auf assoziatives Lernen zurückzuführen, ebenso wie zu lernen, sich vor etwas oder jemandem zu ängstigen. Assoziatives Lernen wird in der Fachliteratur meist in zwei Kategorien unterteilt, und zwar in die klassische und operante Konditionierung (Byrne, 2003).

Klassische Konditionierung: Der russische Physiologe Iwan Pawlow (1849-1936) beschäftigte sich mit dem Speichelflussreflex beim Hund. Dieser Reflex wird ausgelöst, wenn ein Tier Nahrung erblickt oder seine Mundschleimhaut durch Nahrung chemisch gereizt wird. Die Nahrung wird als unbedingter Reiz oder Originalreiz bezeichnet und der Speichelfluss als bedingter Reflex. Pawlow führte folgendes Experiment durch: Synchron mit dem unbedingten Reiz präsentierte er einen neutralen Reiz, das Schellen einer Glocke. Dieser akustische Reiz wird daher als neutral bezeichnet, weil er in Bezug auf den Speichelflussreflex normalerweise keine Wirkung zeigt. Die wiederholte synchrone Darbietung des unbedingten und neutralen Reizes führte jedoch dazu, dass fortan allein das Schellen der Glocke genügte, um den Speichelflussreflex auszulösen. Pawlow war es somit gelungen, einen bedingten Reflex mit einem vormals neutralen Reiz zu assoziieren. Der neutrale Reiz war somit zu einem so genannten bedingten Reiz oder Signalreiz geworden (Wehner und Gehring, 1995; Kandel et al., 2000b). Die klassische Konditionierung kann auch umgekehrt werden. Man spricht dann von Extinktion. Hierbei wird nichts vergessen – vielmehr wird hinzugelehrt, dass der bedingte Reiz signalisiert, dass der unbedingte Reiz nicht mehr auftreten wird. Bei der Extinktion handelt es sich demnach um einen Ressourcen verbrauchenden, überlebenswichtigen, adaptiven Mechanismus (Kandel et al., 2000b).

Operante Konditionierung: Edward Thorndike (1874-1949) entdeckte diese Form der Konditionierung im 20. Jahrhundert. Bekannt wurde sie durch die Forschung von Burrhus Fredric Skinner (1904-1990) (Kandel et al., 2000b). In einer nach ihm benannten Skinner-Box, lernen Tiere, Assoziationen zwischen Reizen und Reaktionen herzustellen. Dies geschieht beispielsweise dadurch, dass in Kombination mit einem Lichtsignal das Betätigen eines bestimmten Hebels mit einer Futtergabe als Belohnung assoziiert wird. Man spricht auch von Lernen nach dem Prinzip Versuch und Irrtum, wobei es in diesem Beispiel darauf ankommt, den richtigen Hebel auszuwählen (Wehner und Gehring, 1995). Viele VertreterInnen der experimentellen Psychologie sind davon überzeugt, dass belohnte Verhaltensweisen wiederholt werden. Demgegenüber werden Verhaltensweisen, die negative Konsequenzen nach sich ziehen, normalerweise nicht wiederholt. Diese einfache Dichotomie bestimmt einen großen Teil unseres Handelns und kursiert unter der Bezeichnung *law of effect* (Kandel et al., 2000b). Skinner hat ver-

sucht, auf der Basis seiner experimentell gewonnenen Einsichten, Lernmaschinen und die Methode des kleinschrittigen programmierten Lernens zu etablieren. Auch die heute nicht mehr eingesetzten Sprachlaboratorien lassen sich im Kontext von Skinners Arbeiten betrachten (s. Skinner, 1971). Meines Erachtens wurde das programmierte Lernen vor allem aufgrund konstruktivistischer Betrachtungen von Lernprozessen verworfen. Das neuronale Substrat der operanten Konditionierung ist in zwei funktionell voneinander unabhängigen Strukturen lokalisiert. Hier zeigt sich erneut, dass ein auf der Verhaltensebene monolithisches Konzept auf funktionaler und neuronaler Ebene nicht haltbar ist. Diejenige Struktur, die Belohnung vermittelt, wird im Rahmen der Betrachtung von Motivation beschrieben; diejenige, die Bestrafung vermittelt, wird im Rahmen der Betrachtung von Emotionen vorgestellt.

Beide Formen des assoziativen Lernens sind zeitsensitiv: Ist das Zeitintervall zwischen zwei Stimuli bzw. zwischen Reiz und Reaktion zu groß, findet Lernen kaum statt. Neuerdings weiß man, dass alle Tiere einschließlich des Menschen Ereignisse assoziieren, indem sie für sie wirklich bedeutsame Bedingungen ermitteln, anstatt lediglich auf synchronisierte Ereignisse zu reagieren (Kandel et al., 2000).⁴² Dies erklärt in Teilen, weshalb vergeblich versucht wurde, Primaten menschliche Sprache zu lehren: Assoziatives Lernen unterliegt biologischen Beschränkungen, die sich während der Evolution für jede Spezies herausgebildet haben. Gehirne verschiedener Spezies können so jeweils bestimmte Relationen zwischen Dingen in ihrer Umgebung extrahieren und andere nicht (Kandel et al., 2000b) – mit anderen Worten: Schimpansen lesen keine Zeitung.

Eine Sprache beherrscht man nicht, indem man ihre Regeln lernt

Soviel Belehrung wie möglich
durch Erfahrung ersetzen [...].

Hartmut von Hentig, 1999

Eine Erstsprache kann nur einer unreflektierten Partnerschaft und Geselligkeit entspringen, die im Nachhinein sprachliche Reflexion überhaupt erst ermöglicht. Sie widersetzt sich jeder Reglementierung und Forcierung. Besonders die Grammatik kann nicht angeübt werden, sondern nur im Kontext gemeinsamen Tuns heranreifen. Im Gespräch hat das Kind die Möglichkeit, Sprachstücke gezielt auszuwählen, andere konsequent zu übersehen, dabei einer grammatischen Logik gehorchend, die es selbst nicht versteht.

Wolfgang und Jürgen Butzkamm, 1999

Nur wenig von dem, was wir können, wissen wir auch explizit. Natürlich kann man sich des Könnens bewusst sein, was hier aber nicht gemeint ist. Wie kann dieses Phänomen erklärt werden? Man betrachte zunächst folgenden Satz als Beispiel:

If you buy this book today, you'll get it cheaper.

⁴² Der Sachverhalt ist somit komplizierter als die didaktische Reduktion in vielen Lehrwerken glauben lässt.

Dieser Satz ist grammatisch korrekt – doch warum? Der Satz enthält eine reale Bedingung; sie ist somit erfüllbar. In diesem Fall wird in der *if-clause* das *simple present* und in der *main clause* das *will-future* verwendet. Erfüllbare Bedingungen können übrigens auch mithilfe eines *modal auxiliary* in Kombination mit dem Infinitiv in der *main clause* gebildet werden:

If you buy this book today, you can save £2.

Es ist nicht zu erwarten, dass jeder englische Muttersprachler detailliert begründen kann, weshalb der Beispielsatz grammatisch korrekt ist. Selbst wer es weiß, hat während eines Gesprächs kaum Zeit, darüber nachzudenken. Dennoch bereitet es niemandem Schwierigkeiten, diesen Beispielsatz zu bilden. Wie Spitzer (2003a) ausführt, ist „unser Wissen bei Licht betrachtet unglaublich bescheiden“ (S. 60), wenn wir es mit unserem Können vergleichen. Dies trifft nicht nur auf motorische Fertigkeiten wie das Spielen von Instrumenten zu, sondern auch auf unsere sprachliche Kompetenz – die natürlich auch motorisches Geschick erfordert, auch wenn wir es meist nicht bemerken: „Der größte Teil unserer sprachlichen Kompetenz ist vielmehr in uns gerade nicht sprachlich vorhanden, sondern besteht in Können, nicht aber in Wissen.“ (Spitzer, 2003a, S. 60) Daher sehen Götze (1999) wie Ellis (1990) im Sprachgebrauch einen unbewussten Prozess und schreiben ihn folglich dem Können zu. Meines Erachtens sollte der Begriff Bewusstsein in diesem Kontext unberührt bleiben, weil der Spracherwerb und das Bewusstsein verschiedene Aspekte sind (s. Kap. 7.5). Götze sieht im Sprachenlernen einen nichtlinearen Prozess, in dem durch Üben sprachliche Phänomene in ein Gesamtsystem eingepasst werden. Auch Winter (2000) schließt sich dieser Auffassung an und konstatiert, dass Wissen über eine Sprache nicht deren praktische Beherrschung impliziert. An dieser Stelle weise ich darauf hin, dass nach dem Modell von Karmiloff-Smith aus dem Jahr 1992 eine Reflexion über das Funktionieren von Sprache erst ab dem achten Lebensjahr stattfindet (Grimm und Weinert, 2002), bei den meisten Kindern ungefähr zu Beginn des dritten Grundschuljahrs. Es ist folglich festzuhalten: Das Gros der sprachlichen Information ist implizit gespeichert. Wer eine Sprache beherrscht, muss nicht zwingend über deren Grammatik Bescheid wissen. Dies lässt sich wie folgt erklären.

Unter Einbeziehung der Ausführungen zum Konnektionismus kann resümiert werden, dass Information im Gehirn in Synapsenstärken gespeichert ist. Die Produktion des in einer bestimmten Situation gewünschten, optimalen Outputs unseres Gehirns entsteht durch die entsprechend richtigen Synapsenstärken im neuronalen Zellverbund. In diesen Synapsenstärken ist unter anderem unser Können abrufbar gespeichert. Unser Bewusstsein verfügt aber nicht über einen unmittelbaren Zugang zu den jeweiligen Neuronen, um die Zustände der Synapsenstärken abzurufen: „Ebenso wenig, wie wir den Zustand jeder Zelle unserer Magenschleimhaut kennen [...], kennen wir den Zustand unserer Neuronen.“ (Spitzer, 2003a, S. 63) Es bedarf komplizierter Technik wie beispielsweise bildgebender Verfahren, um die Informationsverarbeitung im Gehirn beschreibbar zu machen.

Im Vergleich zu abrupt einsetzendem Wissen, erwirbt der Mensch Können recht langsam. Im schulischen Alltag spricht man gemeinhin von Üben, das stetig und in ausreichendem Maße erfolgen muss: Studien haben gezeigt, dass sehr gute ViolinistInnen bis zu ihrem 18. Lebensjahr mehr als 7 000 Stunden mit ihrem Instrument geübt haben (Oerter, 2002). Jacobs (1988) hat recherchiert, dass ein Kind im Alter von fünf Jahren seine Muttersprache ca. 9 100 Stunden gebraucht haben muss, um für sein Alter einen relativ kompetenten Sprecher darzustellen. Man möge sich vergegenwärtigen, was diese Berechnungen für den FU bedeuten⁴³ – insbesondere für Diskussionen des Frühbeginns der ersten Fremdsprache und die damit verbundene erhöhte Kontaktzeit. Ein Bezug zum Konnektionismus gelingt leicht: Sowohl die Theorie als auch die Praxis zu neuronalen Netzen legen offen, dass es eine Vielzahl von Trainingsdurchläufen erfordert, um auf ein bestimmtes Inputmuster ein optimales Outputmuster zu erhalten. Auch die Entwicklung der Muttersprache kann im Licht der neuronalen Netze betrachtet werden, indem aus zahllosen Beispielen Regelhaftes extrahiert wird. Dies wird nachfolgend anhand dreier Beispiele konkretisiert.

Phoneme: Schätzungsweise existieren weltweit derzeit mehr als 5 000 Sprachen (Comrie et al., 1996), die alle auf ungefähr 70 Phonemen basieren. Nicht jede Sprache bedient sich aller möglichen Phoneme. Das Englische kommt mit 44 Phonemen aus. In entwicklungspsychologischen Studien konnte gezeigt werden, dass Säuglinge kurz nach der Geburt auf alle 70 Phoneme reagieren. Wie bereits besprochen, beschränkt sich die Unterscheidung phonologischer Kategorien gegen Abschluss des ersten Lebensjahrs auf Phoneme der Muttersprache. Im Alter von sieben Monaten können Säuglinge bereits abstrakte Regeln lernen und anwenden (Kuhl et al., 2003).

Pluralbildung: Kinder im Alter von drei Jahren benutzen offensichtlich bereits Regeln ihrer Sprache. Als Beispiel sei die Bildung des Plurals angeführt:

dog + Plural = dog[z]
 cat + Plural = cat[s]
 box + Plural = boxes[ɪz]

Kinder fügen korrekt das stimmhafte [z] und das stimmlose [s] als Suffix Wortstämmen hinzu. Dies entspricht Chomskys Auffassung über die grammatische Struktur, wonach diese in den meisten Fällen korrekt, effektiv und unbewusst benutzt wird (Pinker, 1995). Die Entwicklung der Grammatik durchläuft dabei verschiedene Etappen, über die Butzkamm und Butzkamm (2004) eine Übersicht liefern.

Vergangenheitsformen von Verben: Kinder lernen die Vergangenheitsformen von Verben schrittweise: zuerst die regelmäßigen, dann die unregelmäßigen (Pinker, 2000). Neuronale Netze lernen in diesem Fall wie Kinder: Ihre Lernkurven verlaufen annähernd gleich. Kritiker könnten einwenden, dass die Vergangenheitsform nicht durch die Extraktion von Regelmäßigkeiten des Inputs gebildet wird, sondern durch Auswendiglernen von Einzelheiten. Positive Ergebnisse erhält man aber auch, wenn eine vermeintlich vorliegende Regel auf unbekanntes Material oder Pseudowörter anzuwenden ist.

⁴³ Kleins (zit. v. Jacobs) Ergebnisse auf den Fremdsprachenerwerb zu transferieren muss dennoch umsichtig erfolgen, da dieser nicht dem Mutterspracherwerb gleichgesetzt werden darf.

Genau wie Kinder wissen auch neuronale Netze nichts von diesen Regeln, was für das Können auch völlig unwichtig ist. Zu keiner Zeit wurde eine Regel explizit gelernt. Eine Regel existiert erst dann, wenn versucht wird, das Untersuchte für sich selbst oder für andere zu beschreiben.

Aus dem überproportional vorhandenen Können und den hier dargestellten Aspekten des Mutterspracherwerbs ist aus der informationstheoretischen Perspektive mitnichten zu schließen, dass die Fremdsprache im FU wie die Muttersprache erworben werden kann. Die Regelungen der Fremdsprache müssen anhand vieler guter Sprachbeispiele extrahiert werden. Nichts spricht dagegen, diesen Prozess mit der Formulierung einer Regel oder eines Merksatzes abzuschließen, wenn die Entwicklung der metasprachlichen Kompetenz der Lernenden dies ermöglicht. Konnektionistische Modelle unterstützen meine Auffassung, dass grammatische Fehlformen wie die des *simple past* nicht als Unverstand oder Minderbegabung zu klassifizieren sind, sondern als erwerbsbedingte Approximation an einen optimalen Zustand. Es ist nicht sinnvoll, nach einer bestimmten Lektion zu erwarten, dass alle SchülerInnen das dort neu behandelte sprachliche Phänomen ab sofort immerzu beherrschen, weil sie doch jetzt die Regeln wissen. Die konnektionistische Perspektive kann dazu beitragen, den Fremdsprachenerwerb besser zu verstehen und angemessen zu handeln.

7.4 Lernen auf zytologischer Ebene

Im Rahmen seiner Kritik an einer Studie Schiffers (2003a) argumentiert Schäfer (2003) unter anderem, dass „Elementarprozesse auf den verschiedenen Ebenen der einzelnen Nervenzelle“ (S. 421) über die Speicherung von Information entscheiden. Diese Prozesse seien „uns schlichtweg unbekannt“ (S. 421). Eine ähnliche Kritik findet sich bei Bruer (1997). Was Schäfer sich unter „verschiedenen Ebenen“ auf neuronaler Ebene vorstellt, ist nicht nachvollziehbar, denn das Neuron ist die kleinste informationsverarbeitende Einheit. Keinesfalls sind die Prozesse unbekannt, die auf neuronaler Ebene ablaufen. Muss sich aber die FD mit Lernen auf der zytologischen Ebene beschäftigen? Sie muss – wenn sie, wie exemplarisch herausgestellt, mit entsprechenden Begriffen der NW operiert und unzutreffende Annahmen publiziert. Ist aber Lernen heute anhand neuronaler Prozesse so genau beschreibbar, dass die FD davon einen Gewinn haben könnten? Im Folgenden wird ersichtlich, dass dies noch nicht zutrifft.

Heute können hinsichtlich des Enkodierens von Information zwei grundlegende neurobiologische Prinzipien als gesichert angesehen werden (Byrne, 2003):

1. Es werden bestimmte biophysikalische Eigenschaften von Neuronen modifiziert.
2. Es ändern sich die Stärken synaptischer Verbindungen zwischen Neuronen.

Kann daher auf einen universellen Mechanismus für Lernen und Gedächtnis geschlossen werden? Die Forschungsergebnisse zeigen Gegenteiliges: Es gilt heute als ein allgemeingültiges neurobiologisches Prinzip, dass verschiedene Gedächtnissysteme existieren, die sich alle unterschiedlicher Mechanismen bedienen können. Zudem kann sich auf zytologischer Ebene jedes einzelne Gedächtnissystem vieler verschiedener Mechanismen bedienen (Byrne, 2003). Was verbirgt sich hinter dem recht abstrakten Begriff Mechanismus auf System- und Zellebene und wie funktionieren diese Mechanismen? Um diese Fragen zu klären, wird nachfolgend dargestellt, wie Neuronen durch Lernen verändert werden. Lernen impliziert ebenfalls, dass Information über einen Zeitraum erhalten werden kann. Dies führt letztlich auch zur Frage nach der neurobiologischen Basis des Gedächtnisses, der nachfolgend unter Berücksichtigung des aktuellen Forschungsstands nachgegangen wird.

Rückblende: dem Gedächtnis auf der Spur

Der Amerikaner William James (1842-1910) gehört zu den ersten Forschern die sich damit beschäftigt haben, wie Information in Gehirnzellen enkodiert wird. 1890 formulierte er das *law of neural habit*. Es besagt, dass durch synchrone Aktivierung elementarer Hirnprozesse Assoziationen entstehen. Drei Jahre später griff der italienische Anatom Eugenio Tanzi (1856-1934) diese Überlegung auf und postulierte Veränderungen zwischen den Verbindungsstellen einzelner Neuronen für das Enkodieren von Information. Cajál entwickelte diesen Gedanken weiter und vermutete, dass Veränderungen der Signalstärke die Aktivität im Gehirn und damit die Reaktion eines Organismus auf Er-

fahrungen beeinflusst. Darauf aufbauend postulierte Donald Hebb 1949, dass Lernen gleichzeitige prä- und postsynaptische Aktivität erfordert (Byrne, 2003).

Die Meeresschnecke *Aplysia* ist ein Modellorganismus für die Erforschung von Lernen und Gedächtnis

Einfache Formen von Gedächtnis werden seit Mitte der 1960er Jahre anhand der Meeresschnecke *Aplysia* erforscht. Seither dient sie als Modellorganismus, um einfache Formen des Lernens auf neuronaler und molekularer Ebene zu verstehen. Aufgrund seiner besonderen Leistungen auf diesem Gebiet wurde Kandel 2000 der ‚Nobelpreis für Physiologie oder Medizin‘ verliehen. Heute sind diejenigen Neuronen identifiziert, die bei *Aplysia* Verhaltensweisen bewirken. Zudem konnte gezeigt werden, dass in vielen Fällen diese Verhaltensweisen durch Lernen modifizierbar sind. Es gelang auch, die Stellen innerhalb neuronaler Schaltkreise zu identifizieren, an denen während des Lernens Veränderungen auftraten. Darauf aufbauend konnten die zugehörigen zellulären Mechanismen analysiert und auch modelliert werden. Eine detaillierte Betrachtung von Gedächtnismechanismen umfasst drei wesentliche Aspekte:

1. Die *Induktion* bezieht sich auf Ereignisse, die Veränderungsprozesse einleiten.
2. Die *Expression* zielt auf die Frage, wie Veränderungsprozesse letztlich umgesetzt werden.
3. Die *Aufrechterhaltung* bezieht sich auf die Art und Weise, wie Veränderungen über einen Zeitraum bewahrt werden.

Nachfolgend werden diese Aspekte im Kontext der Kurz- und Langzeit-Sensibilisierung verdeutlicht (Byrne, 2003).

Kurzzeit-Sensibilisierung: Aus zeitlicher Sicht versteht man unter Kurzzeit-Sensibilisierung (STS, *short-term sensitization*) einen Effekt, der über einige Minuten anhält. Dieser Effekt tritt bei *Aplysia* auf, wenn sie kurz mehrmals elektrisch gereizt wird. Die Folge ist eine Ausschüttung modulierender Transmitter. Diese wiederum aktivieren eine Kaskade molekularer Prozesse, die letztlich zu einer erhöhten Sensibilisierung des betroffenen Neurons führen. Dies bedeutet, dass es sowohl für einige Zeit leichter erregbar ist als auch seine Aktionspotenziale zeitlich gedehnt sind. Die Ursache liegt dabei in einer Depolarisation des Membranpotentials, was wiederum auf die Öffnungszustände bestimmter Ionenkanäle zurückgeführt werden kann. Außerdem führen an einer anderen Kaskade beteiligte Moleküle zu einer erhöhten Verfügbarkeit an Transmittern. Solche Second-messenger-Systeme wurden im Zusammenhang mit synaptischer Plastizität auch bei Säugetieren nachgewiesen, zum Beispiel im Hippocampus (Byrne, 2003).

Langzeit-Sensibilisierung: Genügt für die STS ein einfacher Reiz, erfordert Langzeit-Sensibilisierung (LTS, *long-term sensitization*) eine Trainingsphase über einen längeren Zeitraum, zum Beispiel eine Stunde oder länger. Im Unterschied zur STS findet bei der LTS Proteinsynthese statt. Die synthetisierten Proteine werden im Rahmen struktureller Modifikationen am Neuron benötigt, die mit LTS einher gehen. Dazu ge-

hören unter anderem das Wachstum des Neuriten und Veränderungen der Synapsen. Bei *Aplysia* wurden sogar Veränderungen der postsynaptischen Zelle nachgewiesen (Byrne, 2003).

Die Langzeitpotenzierung ist ein Gedächtnismechanismus der Wirbeltiere

Bei Wirbeltieren gestaltete es sich schwieriger, synaptische Plastizität mit spezifischen Beispielen von Lernen zu verbinden. Ein besonderes synaptisches Phänomen gilt als vielversprechender Kandidat für einen Gedächtnismechanismus: die Langzeitpotenzierung (LTP, *long-term potentiation*). Es handelt sich hierbei um eine andauernde Erhöhung der Synapsenstärke, die experimentell induziert werden kann, indem man präsynaptische Afferenzen kurz elektrisch reizt. Nachweisbar ist der Effekt, indem die Amplitude des exzitatorischen postsynaptischen Potenzials (EPSP) des nachgeschalteten Neurons gemessen wird (Byrne, 2003).

Bliss und Lomo zeigten 1973 erstmalig die LTP im Hippocampus beim Hasen. In anschließenden Studien konnte nachgewiesen werden, dass die LTP über Wochen und sogar Monate vorhielt. Was ursprünglich nur für den Hippocampus von Säugetieren angenommen wurde, ist heute auch für das Cerebellum, neocorticale Regionen und subcorticale Regionen wie die Amygdala und das PNS bekannt. Selbst Invertebraten zeigen dieses Phänomen. Am Rande sei erwähnt, dass kein universeller Mechanismus existiert, der die LTP induziert (Byrne, 2003).

Die Langzeitpotenzierung kann am Hippocampus der Ratte erforscht werden

Der Hippocampus der Ratte wird in verschiedene Regionen unterteilt, die Neurowissenschaftler mit Bezeichnungen versehen, die sich aus Buchstaben und Zahlen zusammensetzen. In einer Region namens CA3 finden sich so genannte Pyramidenzellen, die auf Pyramidenzellen der Region CA1 projizieren. Aufgrund der Form ihrer Zellkörper wurden diese Neuronen nach den altägyptischen Bauwerken benannt. Die folgenden Ausführungen geben eine Übersicht über LTP an der CA3-CA1-Synapse, eben der Stelle, an der die beiden Pyramidenzellen zusammentreffen (s. Abb. 63.13 in Kandel, 2000, S. 1265).

Die Zellmembran des postsynaptischen Neurons (CA1) enthält unter anderem N-Methyl-D-aspartat-Rezeptoren (NMDAR), die als Kanäle für bestimmte Ionen dienen und so eine Verbindung zwischen dem Zelläußeren und –inneren herstellen. Diese Rezeptoren sind das neurobiologische Substrat der Koinzidenzdetektion: Mithilfe eines NMDAR kann ermittelt werden, ob zwei Impulse synchron eintreffen. Dies ist insofern sensationell, als dass bisher keine Ionenkanäle bekannt waren, die eine solche Leistung vollbrachten aber für das Assoziieren zweier Impulse unabdingbar sind (Eichenbaum, 2003).

Die Kanalöffnung eines NMDAR erfordert, dass der Neurotransmitter Glutamat an ihn bindet. Dies wiederum setzt präsynaptische Aktivität mit entsprechender Glutamat-

Ausschüttung voraus. Bindet nun Glutamat an den NMDAR, geschieht wider Erwarten zunächst nichts. Dies lässt sich wie folgt erklären: Im Zustand des Ruhepotenzials sind die NMDAR normalerweise durch Mg^{2+} blockiert. Diese Blockierung wird nur aufgehoben, wenn die postsynaptische Membran ausreichend depolarisiert wird. Erst dann diffundiert Mg^{2+} aus dem NMDAR, wodurch dieser für Ca^{2+} permeabel wird (Kandel und Siegelbaum, 2000). Das Binden von Glutamat alleine reicht somit nicht aus.

Doch wie wird die entscheidende Depolarisation der postsynaptischen Membran erreicht? Hierzu befinden sich weitere Rezeptor-Typen in der postsynaptischen Membran, die man unter dem Sammelbegriff nicht-NMDAR zusammenfassen kann. Die nicht-NMDAR befinden sich in nächster Nähe zu den NMDAR und reagieren nicht spannungsgesteuert. Kommt es zu einer Glutamat-Ausschüttung aus der präsynaptischen Membran in den subsynaptischen Spalt, lagert sich Glutamat sowohl an die NMDAR als auch an die nicht-NMDAR an. Nur die nicht-NMDAR öffnen sich daraufhin, wodurch es zu einem Na^+ -Einstrom und K^+ -Ausstrom kommt. Das Membranpotenzial der postsynaptischen Membran ändert sich in Richtung einer Depolarisation. Das Mg^{2+} diffundiert jetzt durch elektrostatische Abstoßung aus dem NMDAR in den Extrazellulärraum. Nun strömt Ca^{2+} , Na^+ und K^+ in das nachgeschaltete Neuron. Der NMDAR besitzt folglich die bedeutende Eigenschaft, doppelt gesteuert zu sein: Er ist liganden- und spannungsgesteuert.

Theoretisch kann Ca^{2+} auch durch andere Ionenkanäle in die Zelle diffundieren. Es konnte aber gezeigt werden, dass die LTP ausschließlich induziert wird, wenn es zu einem Ca^{2+} -Einstrom über den NMDAR kommt. Da die NMDAR nur auf den Dendritendornen vorkommen, wo sich auch nicht-NMDAR befinden, kommt es in diesem Bereich zu einem Ca^{2+} -Einstrom. Unterstützt durch Ca^{2+} -Pumpen verhalten sich die Dendritendornen wie ein funktionales Kompartiment, wodurch eine weitflächige Diffusion von Ca^{2+} verhindert wird. Auf diese Weise werden Reaktionen nur auf aktive Synapsen begrenzt. Um die NMDAR länger offen zu halten, sendet das nachgeschaltete Neuron einen retrograden Botenstoff, wahrscheinlich Stickstoffmonoxid, zurück an die präsynaptische Membran. Dieser Botenstoff bindet dort an spezielle Rezeptoren, was wiederum die Glutamat-Ausschüttung verstärkt (Byrne, 2003).

Der Ca^{2+} -Einstrom durch die NMDAR aktiviert nun ein Second-messenger-System, das die LTP induziert. Dabei kommt es letztlich zur Genexpression und Proteinsynthese. Bei der Ratte werden dabei verschiedene Proteine synthetisiert. Hierzu zählen Proteine des Cytoskeletts und der Signaltransduktion sowie verschiedene Transkriptionsfaktoren. Die NMDAR-vermittelte Koinzidenzdetektion führt also zur Produktion von Proteinen. Doch wohin gelangen diese Syntheseprodukte und welchen Zweck erfüllen sie? Eine ungesteuerte Diffusion erscheint unnütz, denn die Produkte könnten letztlich in jede beliebige Synapse des Neurons gelangen. Zweckmäßig ist es nur, wenn die Produkte in die entsprechend aktivierten Synapsen gelangen. Daher postuliert Byrne (2003) lokale Marker bzw. Änderungen des lokalen Transports als Organisationsmechanismus.

Die LTP im CA3-CA1-System des Hippocampus der Ratte beruht folglich auf zwei hintereinander geschalteten assoziativen Mechanismen:

1. ein Hebbischer Mechanismus, manifestiert in einem doppelt gesteuerten NMDAR
2. aktivitätsabhängige präsynaptische Verstärkung, die einem Rückkopplungseffekt ähnelt

Hebb vermutete bereits 1949, dass es dadurch zu einem Wachstumsprozess oder zu einer Stoffwechselveränderung in einer oder beiden Zellen kommt, wodurch die Effizienz der vorgeschalteten Zelle erhöht würde. Letztlich behält er mit seiner Annahme recht. Heute bedient man sich gerne des Aphorismus ‚Cells that fire together, wire together‘ (Byrne, 2003), der auch in die FE Einzug gehalten hat (s. Bleyhl, 2004).

Viele Anzeichen sprechen für eine Verbindung zwischen der Langzeitpotenzierung und dem Lernen

Zunehmend kristallisiert sich eine kausale Verbindung zwischen der LTP und Gedächtnis heraus (Byrne, 2003). Die Schwierigkeit ist vor allem methodischer Art. Es ist anzunehmen, dass die synaptischen Veränderungen, die dem Lernen unterliegen, sehr eng lokalisiert sind. Daher ist es fast unmöglich, eine Ableitelektrode an genau die richtige Stelle zu platzieren (Byrne, 2003; Calvin und Ojemann, 1994). Da Lernen auch Veränderungen der Synapsenstärke bedingt, können relativ grobe Ableitungstechniken messtechnisch kaum Veränderungen in Bezug auf eine einzelne Synapse auflösen. Es gilt somit, die Nadel im Heuhaufen zu finden. Hierzu wurden bisher zwei Ansätze verfolgt, nämlich die pharmakologische Blockierung von Stoffwechselwegen und die Knockout-Technik. Byrne (2003) betrachtet jedoch den pharmakologischen Ansatz kritisch:

1. Woher weiß man, dass die Substanz, welche die LTP blockiert, keine weiteren Effekte ausübt, die für Gedächtnisleistungen wichtig sind?
2. Wenn eine Substanz die NMDAR-abhängige LTP nicht blockiert, bedeutet dies nicht unbedingt, dass LTP auch nicht für Lernen verantwortlich ist. Man kann nicht ausschließen, dass NMDAR-unabhängige Formen der LTP aktiviert worden sind.

Knockout-Mäuse scheinen sicherere Ergebnisse zu liefern. Es konnte beispielsweise nachgewiesen werden, dass NMDAR-abhängige synaptische Plastizität an den CA1-Pyramidenzellen des Hippocampus notwendig ist, um das räumliche Gedächtnis aufzubauen (Byrne, 2003). Es handelt sich bei diesen Experimenten um einen wichtigen Ansatz, um eine Verbindung zwischen der molekularen und kognitiven Ebene herzustellen.

Die Langzeitpotenzierung ist reversibel

Hinter dem Begriff Langzeitdepression (LTD, *long-time depression*) verbirgt sich ein Phänomen, dass den Effekt der LTP im Hippocampus und Neocortex rückgängig macht (Byrne, 2003). Bear und Malenka zeigten 1994, dass kurze hochfrequente elektrische Stimulation die LTP induziert, wohingegen längere niederfrequente elektrische Stimula-

tion die LTD induziert. Nach einem molekularen Modell von Lissmann induziert eine hohe intrazelluläre Konzentration von Ca^{2+} durch eine Proteinkinase⁴⁴ die LTP; eine niedrige intrazelluläre Konzentration von Ca^{2+} induziert durch eine Proteinphosphatase die LTD. Es bleibt die Herausforderung an die NW bestehen, die verschiedenen Mechanismen der LTP und LTD detailliert zu erklären und ihre Bedeutung für das Enkodieren und Abrufen von Information herauszustellen (Byrne, 2003).

Eine gestärkte Synapse führt nicht zwingend zu verstärktem Verhalten

Eine Zunahme der synaptischen Stärke muss nicht zwingend mit einer verstärkten Verhaltensreaktion einhergehen. Dies gilt analog für eine Abnahme der synaptischen Stärke. Eine Erklärung ist folgende: Nimmt die synaptische Stärke in einem inhibierenden postsynaptischen Neuron ab, kann dies letztlich zu einer verstärkten Verhaltensreaktion führen (Byrne, 2003). Das inhibierende Neuron würde dann seinen hemmenden bzw. hyperpolarisierenden Einfluss auf das Folgeneuron vermindern.

Dennoch ist es möglich, in einfachen Reflexsystemen mit bekannter Verschaltung eine Veränderung der Synapsengewichte direkt mit Lernen zu korrelieren. Martin und Morris (2002) fassen viele Studien zur erfahrungsbedingten Neuroplastizität im Neocortex und Hippocampus zusammen und sind durch das sich ergebende Gesamtbild überzeugt, dass Veränderungen der Synapsenstärke die Folge von Lernen ist. Allerdings stellt sich die Frage, ob solche Veränderungen die Ursache oder tatsächlich die Wirkung des Lernens sind.

Die Fachdidaktik Englisch und die Spracherwerbsforschung rezipieren zytologische Aspekte des Lernens

Hinsichtlich der Diskussion der Hypothese, dass der Mensch ein angeborenes LAD besitzt, stellen Jacobs und Schumann (1992) fest: „There is no neurobiologically justifiable reason to believe that learning in non-human animals is either anatomically or physiologically different from learning in humans.“ (S. 286) Diese Auffassung ist nicht haltbar, wie oben erläutert wurde. Auf der Suche nach weiteren neurowissenschaftlichen Erkenntnissen, die in die FD integriert werden könnten, meinen sie:

„For example, given that the cerebral cortex prefers novel stimuli and that neurons tend to habituate (i.e. cease responding) to repetitive and/or non-meaningful stimuli, one could have questioned in advance on neurobiological grounds the ultimate effectiveness of methods such as Audio-lingualism, which emphasized parrot-like repetition of chained phrases relatively devoid of communicative meaning.“ (Jacobs und Schumann, 1992, S. 291)

In diesem Kontext wird leider auf keine fachwissenschaftliche Publikation verwiesen. Ich merke an, dass Neuronen zwar auf wiederholte Stimuli adaptieren können, jedoch nicht zwischen bedeutend und unbedeutend unterscheiden können. Zudem waren

⁴⁴ Das Suffix -ase weist auf die enzymatische Funktion des Moleküls hin. Enzyme sind biologische Katalysatoren, die Reaktionen erheblich beschleunigen.

die NW zur Blütezeit der audiolingualen Methode noch nicht soweit fortgeschritten, dass sie eine Empfehlung hätten aussprechen können.

Eubank und Gregg (1995) weisen die Auffassung von Jacobs (1988) sowie Pulvermüller und Schumann (1994) zurück, dass keine neurobiologische Grundlage für ein LAD existiert. Es wird dann erläutert, wie die Verbindung zwischen einem prä- und postsynaptischen Neuron verstärkt wird. Dabei skizzieren Eubank und Gregg, wie Neurotransmitter⁴⁵ der präsynaptischen Membran die postsynaptische Membran depolarisieren und so ein Aktionspotenzial auslösen. Dies entspricht der Grundidee des Hebbischen Lernens, wird aber nicht erwähnt. Eubank und Gregg fragen anschließend, wie die erhöhte Effizienz der Verbindung zustande kommt. An dieser Stelle verweise ich auf die obigen Ausführungen zur LTP, deren neurowissenschaftliche Erforschung 1995 noch nicht weit genug fortgeschritten war. Eubank und Gregg lehnen Pulvermüllers und Schumanns Erklärung ab:

„For the associative type of learning that Pulvermüller and Schumann (1994) discuss, the increase in efficiency seems to require repetitive stimulation. [...] First of all, as Jacobs and Schumann realize, there are other well-known types of learning (e.g., habituation, where repetitive stimulation decreases sensitivity).“ (S. 37)

Hier liegt ein Missverständnis vor: Der Begriff „stimulation“ wird auf unterschiedlichen Beschreibungsebenen verwendet. Zum einen kann ein Neuron mithilfe geeigneten Instrumentariums wiederholt elektrisch stimuliert werden, was zur Ausschüttung von Transmittern führen kann. Auf diesen neuronalen Prozess beziehen sich Pulvermüller und Schumann (1994). Zum anderen können Rezeptoren wie beispielsweise Mechanorezeptoren stimuliert werden, indem sie rezeptorspezifisch gereizt werden – bei diesem Beispiel durch Bewegung. Eubank und Gregg betrachten in ihrem Beispiel Habituation auf ethologischer Ebene: Die wiederholte Reizung eines Rezeptors kann innerhalb eines Reflexbogens zu einer Abschwächung der Reaktion führen wie beispielsweise beim Augenlidreflex. Es wird somit deutlich, dass Pulvermüller und Schumann wie auch Eubank und Gregg recht behalten. Vermischen lassen sich die verschiedenen Beschreibungsebenen allerdings nicht. Geschieht es dennoch, führt dies zu fruchtlosen Diskussionen.

Eubank und Gregg sehen weiteren Forschungsbedarf bei der LTP: „[I]ndeed, it is not clear how or even whether it is related to the particular type of learning that occurs when environmentally induced associations are placed into long-term storage.“ (S. 38) Sie betrachten LTP im Zusammenhang mit kritischen Perioden des Spracherwerbs und stellen fest, dass „cortical modulators like N-methyl-D-aspartase“ (S. 39) in manchen Hirnregionen nur zeitlich limitiert vorhanden sind und in anderen permanent zugegen. Dies ermögliche lebenslange Neuroplastizität in den betroffenen Hirnregionen.

Sicherlich dachten die Autoren an das Molekül N-methyl-D-aspartat und nicht an ein Enzym. Außerdem handelt es sich bei diesem Molekül um ein synthetisches Aminosäureanalogon, das nicht in den Kontext der modulatorischen Systeme des Gehirns eingeordnet werden kann (vgl. Kandel und Siegelbaum, 2000; Saper, 2000; Byrne, 2003;

⁴⁵ Der Begriff „chemical neurotransmitter“ (Eubank und Gregg, 1995, S. 37) ist ein Pleonasmus.

Waxham 2003). Mit anderen Worten: Weder „N-methyl-D-aspartase“ noch N-methyl-D-aspartat kommen im Gehirn vor. Eubank und Gregg fassen zusammen:

„What we have shown in this section is (a) that not all neural processes involved in learning are identical to one another and (b) that not all learning domains can be tied to an undifferentiated neural mechanism.“ (S. 39)

Diese Auffassung entspricht zwar dem aktuellen Stand der neurowissenschaftlichen Forschung, die Herleitung dieser Aussage ist jedoch von Unstimmigkeiten begleitet und fundiert ihre Schlussfolgerung nicht. Für die FD lassen sich keinerlei weiterführende Erkenntnisse ableiten.

Multhaup (1997a) meint, dass Neuronen Information auf „neuroelektrischem“ (S. 79) Weg austauschen. Prinzipiell ist dies korrekt, aber der Begriff ungünstig gewählt. Die Erregungsleitung erfolgt in der Regel elektro-chemisch.⁴⁶ Dass die Myelinisierung die Leitfähigkeit der Axone beschleunigt (Multhaup, 1997a) bzw. überhaupt herstellt ist richtig. Die hier herausgestellten Aspekte fungieren wie bei Multhaup (1995) als gut aufbereitete Hintergrundinformation.

Traoré (2002) geht offenbar mit derselben Intention vor, wenn er sich mit den Fragen befasst, welche Veränderungen Nervenverbindungen während des Lernens erfahren und wie Kommunikation zwischen Synapsen zur Konsolidierung von Gedächtnisinhalten im LZG erfolgt. Diese Fragen ergänzen seine Betrachtung von Wissen und Können auf neuronaler Ebene. Traoré führt den Erwerb beider Gedächtnisformen auf das Wachstum präsynaptischer Endigungen und dendritischer Dornen zurück, „um Langzeiterinnerungen zu stabilisieren“ (S. 21). Er bezieht sich dabei auf verschiedene VertreterInnen der NW. Ferner betont er, „dass synaptische Verbindungen ohne Ausschüttung von Neurotransmittern nicht andauern können“ (S. 22). Vermutlich denkt er an dieser Stelle an LTP im Sinne des Hebbischen Lernens. Traoré berührt die in diesem Kapitel herausgestellten neurowissenschaftlichen Sachverhalte insgesamt recht oberflächlich. Dabei fehlt in meinen Augen vor allem eine gründliche Integration mit Erkenntnissen zu neuronalen Netzen und bereits im Jahr 2002 verfügbaren Erkenntnissen zum Hebbischen Lernen auf zytologischer Ebene. Die Erkenntnis, dass assoziatives Lernen im Tiermodell auch auf neuronaler Ebene nachgewiesen wurde, bleibt unberücksichtigt. Traoré beschäftigt sich auch mit den neuronalen Wegen, auf denen Wissen und Können verarbeitet wird. Dabei unterscheidet er zwei neuronale Substrate für die Verarbeitung von Wissen und Können. Dies ist ein eindeutiger Hinweis auf funktional unterschiedliche Verarbeitungswege von Wissen und Können. Dieser Hinweis führt noch zu keiner Handlungsempfehlung für die FD, wenn auch die Diskussion der *interface hypothesis* auf weitere Erkenntnisse wartet. Dennoch könnten unterschiedliche Orte der Verarbeitung des Wissens und Könnens erklären, weshalb es schwierig ist, anhand von Wissen das Können zu trainieren – wenn auch nicht unmöglich.

Auch Götze (2003) beschäftigt sich vor allem referierend mit der zytologischen Basis von Lernen. Dabei zieht er keine direkten Schlüsse für den FU, sondern sensibilisiert die FD für den Biologismus. Im Weiteren formuliert Götze:

⁴⁶ Eine Ausnahme bilden elektrische Synapsen.

„Mit Hilfe der erwähnten Positronen-Emissions-Tomographie und anderer bildgebender Verfahren wurde deutlich, dass neuronale Prozesse im Wesentlichen aus elektro-chemiko-physikalischen Vorgängen bestehen [...]. Am Anfang des Sprachverstehens wie der Sprachproduktion stehen elektrische Wellen sowie Natrium-, Kalium- und Magnesiumspuren. Botenstoffe (Transmitter) wie Glutamat steuern die synaptischen Prozesse. Am Ende aber steht das Verstehen der Sprache. [...] Sprachverstehen als Teil von Verstehen überhaupt ist wie Gedächtnis und Bewusstsein ein elektrochemischer Prozess: Übertragung von elektrischen Wellen, chemische Umwandlung mit Hilfe von Transmittern, sonst nichts.“ (S. 4-5)

Ich gebe zu bedenken, dass mithilfe der PET indirekt Aktivität von Neuronenverbänden nachgewiesen wird. Die Erkenntnis, dass Informationsübertragung ein elektrochemischer Prozess ist, lässt sich methodisch nicht durch die PET gewinnen. Ich verweise statt dessen auf die pharmakologische Forschung des Nobelpreisträgers Otto Loewi (1873-1961) aus dem Jahr 1921. Auch steuern Botenstoffe nicht nur synaptische Prozesse; sie sind vor allem selbst Teil der Prozesse. Es existieren aber Neuromodulatoren, die die Erregungsweiterleitung beeinflussen. Es wäre zudem treffender, von elektrischen Signalen zu sprechen, die weitergeleitet werden. Außerdem werden „elektrische Wellen“ nicht chemisch umgewandelt: Es sind elektrische Impulse, die die Ausschüttung von Transmittern induzieren. Auch ist es meines Erachtens gewagt, Eigenschaften des Gehirns wie Gedächtnis und Bewusstsein als elektrochemische Prozesse zu betrachten. Sicherlich sind vor allem Neuronen und die von ihnen ausgehenden elektrochemischen Prozesse die materielle Basis für diese Eigenschaften. In meinen Augen muss das emergentistische Prinzip berücksichtigt werden, bei dem Eigenschaften des Ganzen, in diesem Fall Gedächtnis und Bewusstsein, mehr sind als die bloße Summe der Eigenschaften der Teile, aus dem sich die Eigenschaften des Ganzen ergeben. Ob ein reduktionistischer Erklärungsansatz auf die Eigenschaften des Gehirns übertragen werden kann, erscheint mir fraglich. Kritiker dieses Ansatzes sprechen von der „nothing else buttery“ oder „Nichts-anderes-Alserei“ (Popper und Lorenz, 1985, S. 37).

Segermann (2003) diskutiert die „Relevanz einer neuronalen Verknüpfungstheorie“ (S. 347) für die FD. Sie ist der Auffassung, dass sprachliche Funktionen aus „Verknüpfungsprozesse[n] zwischen hierarchisch organisierten funktionalen Ebenen von komplexen Verbänden von Nervenzellen“ (S. 347) resultieren. Obwohl sie auf die Theorie der neuronalen Netze verweist, kann gerade hinsichtlich neuronaler Netze nicht von hierarchisch organisierten Modulen ausgegangen werden, die jeweils verschiedene Funktionen vermitteln. Hier wurde das grundlegende Prinzip neuronaler Netzwerke nicht beachtet: Im Sinne des PDP existiert keine Steuerzentrale. Auch im Kopf gibt es keine übergeordnete Instanz, die verschiedene Netzwerke steuert; auch auf dieser Organisationsebene arbeitet das Gehirn parallel. Es ist zwar richtig, dass sich Wissen und Können „in neuronale Aktivitäten [auflösen]“ (S. 347), da die Neuronen das Substrat für diese Leistung darstellen. Segermann folgert jedoch anhand dieser Aussage, dass neuronale Aktivitäten „vielfältige Verknüpfungen zwischen sprachlichen und nicht sprachlichen funktionalen Zellverbänden zulassen“ (S. 347). Um welche Art von Verknüpfungen und Zellverbände es sich handelt, erläutert sie nicht.

Auch Hescher (2004) beschäftigt sich mit neuronalen Aspekten des Lernens. Mithilfe von farbigen Rechenstäbchen, die Wortarten oder Satzglieder repräsentieren, möchte er „gehirnfreundlich[en]“ (S. 176) FU gestalten. Dabei sollen die SchülerInnen mit der Farbe und Länge eines Stäbchens eine Wortart oder ein Satzglied assoziieren und bei-

spielsweise Sätze legen. Auf diese Weise soll „das Gehirn dazu [gebracht werden], neue Nervennetzwerke anzulegen bzw. bestehende interagieren zu lassen“ (S. 176). Diese Aussage beschreibt den Effekt derart allgemein, dass ein Zusammenhang mit der Rechenstäbchen-Technik nicht ersichtlich ist. Auch folgende Begründung überzeugt nicht:

„Die unterrichtsphasenbezogene Trennung von unbewusstem und bewusstem Lernen in Form ‚erlebter‘ Grammatik einerseits [...] und der rein analytischen, phasenverschobenen Kognitivierung andererseits halte ich grundsätzlich für kontraproduktiv hinsichtlich einer maximalen neuronalen Vernetzung.“ (S. 176-177)

Der Zusammenhang zwischen „unbewusstem und bewusstem Lernen“ und einer „maximalen neuronalen Vernetzung“ ist nicht nachvollziehbar. Erneut ist der Effekt der Unterrichtstechnik auf das Gehirn derart allgemein formuliert, dass er kaum erklärt wird: Es soll eine „größtmögliche Zahl synaptischer Verknüpfungen“ (S. 177) erreicht werden, indem „mehrere cerebrale Bereiche [...] interaktiv [zusammenarbeiten]“ (S. 177).

7.5 Modulation von Gedächtnisleistungen

Woran liegt es, dass bei Lernerfolgsüberprüfungen wie Klassenarbeiten oder mündlichen Prüfungen das sicher geglaubte Wissen und Können plötzlich nicht mehr verfügbar ist? Weshalb bereiten sowohl Lernenden wie Lehrenden manche Unterrichtsinhalte mehr und andere weniger Freude? Warum sollten Lerninhalte möglichst an die Erfahrungswelt der Lernenden anknüpfen?

Fragen wie diese entstammen dem schulischen Alltag und sind Gegenstand zahlreicher Beratungsgespräche. Auch die FE beschäftigt sich mit diesen Fragen. Hierzu seien einige Beispiele gegeben: Krashen stellte 1981 seine Theorie des affektiven Filters vor. In diesem Kontext vertritt Traoré (2002) die Auffassung, dass sich positive Emotionen mit Lerninhalten assoziieren. Dörnyei (1994, 1998) beschäftigt sich mit motivationalen Aspekten im FU. Auch wird diskutiert, inwiefern Musik als ein Element der suggestopädischen Methode dazu beitragen kann, eine entspannte Lernatmosphäre zu schaffen (z.B. Schiffler, 1989; Meier, 1999).

Auch innerhalb der NW und der KP werden die Auswirkungen verschiedener Faktoren auf Gedächtnisleistungen intensiv untersucht. Hierzu zählen insbesondere folgende:

- Aufmerksamkeit (z.B. Reynolds et al., 2003)
- Motivation (z.B. Robbins und Everitt, 2003)
- Emotionen (z.B. Iversen, 2000; Roth, 2003)
- Verarbeitungstiefe (z.B. Kandel, 2000; Anderson, 2001)
- Selbstreferenzeffekt (z.B. Anderson, 2001)
- Interferenz- und Kontexteffekte (z.B. Anderson, 2001)
- Alter (z.B. Rapp und Bachevalier, 2003)
- Schlaf (z.B. Rechtschaffen und Siegel, 2000)

Diese Faktoren werden nachfolgend erläutert. Parallel wird analysiert, inwiefern die FE diese Faktoren berücksichtigt.

Aufmerksamkeit ist eine begrenzte Ressource

Zu leicht täuscht das Gefühl von geschäftiger Produktivität darüber hinweg, dass wir zwar viele Dinge gleichzeitig tun, aber nichts sorgfältig zu Ende bringen. Zudem berauben wir uns dabei selbst wichtiger Glücksmomente: Diese entstehen nämlich gerade dann, wenn wir uns ganz in eine Sache vertiefen und die Welt rings um uns herum vergessen können.

Klaus Manhart, 2004

Die sensorischen Systeme des Körpers verarbeiten parallel eine unvorstellbar hohe Anzahl an Informationseinheiten aus den rezeptiven Feldern der jeweiligen Sinnesmodalitäten. Der Umfang der Information verarbeitenden Ressourcen ist jedoch limitiert. Menschliche Kognition zeichnet sich dadurch aus, dass die Informationsverarbeitung innerhalb der perzeptuellen Modalitäten Engpässe durchläuft. Dies bewirkt, dass immer

nur ein Aspekt zu einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb einer Modalität verarbeitet werden kann (Anderson, 2001; Smith und Jonides, 2003). Aufmerksamkeit vermittelt „die Zuwendung zu bestimmten Sachverhalten und das Ausblenden von anderen Sachverhalten“ (Spitzer, 2003a, S. 141) und wirkt somit selektierend (Kandel und Wurtz, 2003). Beispielsweise wird die visuelle Aufmerksamkeit⁴⁷ meist mit einem Suchscheinwerfer verglichen, dessen Lichtkegel zu einem bestimmten Zeitpunkt nur an einer bestimmten Stelle eine visuelle Szene ausleuchtet (Anderson, 2001; Spitzer, 2003a). Dieser Vergleich verdeutlicht, dass es sich um die Fähigkeit handelt, bestimmte Stimuli bevorzugt zu verarbeiten und somit ihre Wahrnehmung zu ermöglichen. Spitzer (2003a) führt als Beispiel das Autofahren an: „Fahren wir [...] mit dem Auto, so werden wir auf die rote Ampel rechts vorne, den Fußgänger links am Zebrastreifen [...] aufmerksam“ (S. 143). Unwichtiges wird ausgeblendet.

Spitzer (2003a) grenzt außerdem Vigilanz von Aufmerksamkeit ab: Unter Vigilanz versteht er einen „quantitativ angebbaren Zustand des Organismus, der von hellwach bis (im Extremfall) komatös reicht“ (S. 141). Nach dem Gesetz von Yerkes und Dodson ist die Leistung beim Lernen eine Funktion der Erregung und nimmt die Gestalt einer Glockenkurve an: Mit steigender Erregung nähert sich die Funktion zunächst einem Maximum und fällt danach wieder ab (Gerrig und Zimbardo, 2002). Folglich stellt das Maximum das Optimum dar.

Die Primatenforschung steuerte einen wesentlichen Aspekt zur Erforschung der Aufmerksamkeit bei, anhand derer sich Lernen als multifaktoriell bedingt darstellt: Es handelt sich um ein Experiment zur Neuroplastizität bei Affen. Sie wurden trainiert, mit bestimmten Fingern die Frequenz schwingender Plättchen zu unterscheiden. Gelang die Unterscheidung, erhielt der Affe eine Belohnung. Die entsprechenden sensorischen Areale der ausgewählten Finger zeigten später eine Vergrößerung. Das Experiment wurde unter veränderten Versuchsbedingungen wiederholt; diesmal gab es keine Belohnung. Das Ergebnis war eindeutig: Die sensorischen Areale der ausgewählten Finger veränderten sich nicht in ihrer Größe. Spitzer (2003a) interpretiert dieses Ergebnis folgendermaßen:

„Ohne die Hinwendung der selektiven Aufmerksamkeit zu den zu lernenden Reizen geschieht – auch bei massiver ‚Bombardierung‘ des Gehirns mit diesen Reizen – nichts. Der Grund hierfür liegt in mangelnder selektiver Aufmerksamkeit und damit in der geringeren Aktivierung derjenigen Areale, die für das Lernen der entsprechenden Inhalte zuständig gewesen wären.“ (S. 155)

Bloße Erfahrung – in diesem Fall sensorische – bedingt keinen Lernerfolg. Vielmehr wird dieser durch den Grad der Aufmerksamkeit moduliert (Reynolds et al., 2003). Lernerfolg unterliegt somit einem komplexen Bedingungsgefüge. Aufmerksamkeit und Vigilanz stellen zunächst einen wesentlichen Faktor dar, um Lernerfolg zu garantieren. Es stellt sich die Frage, wie Lernende es schaffen können, sowohl stets über das optimale Maß an Vigilanz zu verfügen als auch ihre Aufmerksamkeit auf einen Lerngegenstand zu richten. Hier spielen unter anderem zwei weitere Faktoren eine entscheidende Rolle, die noch zu besprechen sind: Motivation und Emotionen.

⁴⁷ Anderson (2001) unterscheidet zwischen auditiver, visueller und motorischer Aufmerksamkeit.

Welchen Einfluss hat die Erforschung der Aufmerksamkeit auf die FE? Nach Schmidt (1990) findet Lernen nur bei Aufmerksamkeit gegenüber dem Lerngegenstand statt, was sich in seiner *noticing hypothesis* widerspiegelt. Diese Feststellung stimmt mit den Erkenntnissen der NW und KP überein. Ferner meint Robinson (1995), dass geteilte Aufmerksamkeit nicht zwingend zu Leistungseinbußen führt, wenn nur genügend Vigilanz vorhanden ist und die Aufgaben nicht zu schwierig sind. Diese Ansicht muss relativiert werden: Über zwei Dinge gleichzeitig nachzudenken, ist unmöglich. Anderson (2001) spricht in diesem Fall von einem „zentrale[n] Flaschenhals“ (S. 98). Sprechen Aufgaben verschiedene Modalitäten an, kann dennoch eine Aufgabe bearbeitet werden, ohne dass eine andere abgeschlossen sein muss. Trotzdem konnte eine völlig parallele Verarbeitung bisher nicht nachgewiesen werden. Eine zunehmende Tendenz in der Gesellschaft, sich vielen Aufgaben gleichzeitig zuzuwenden, führt dazu, dass sich viele Menschen psychopathologisch nicht mehr auf Inhalte konzentrieren können und lediglich auf der rastlosen Suche nach neuen Eindrücken und Informationen sind (Manhart, 2004).

Motivation bestimmt wesentlich den Lernerfolg

Enthusiasmus ist das schönste Wort der Erde.

Christian Morgenstern, 1871-1914

We must not forget that most nations in the world are multicultural and that the majority of people in the world speak at least one second language, which underscores the importance of the social dimension of L2 motivation.

Zoltán Dörnyei, 1998

Dörnyei (1998) stellt fest, dass der Begriff Motivation in der FE oft benutzt wird – jedoch ohne ein einheitliches Konzept. Er schließt sich der Auffassung Pintrichs und Schuncks (1996) an, Motivation als mentalen Prozess zu betrachten, der sich in einer zielgesteuerten Tätigkeit äußert.⁴⁸ Diese Begriffsbestimmung kann um die Intensität und Ausdauer einer Tätigkeit erweitert werden. Für Dörnyei sind allerdings grundlegende Fragen zur Motivation zu beantworten:

“[...] the main disagreements in motivation research concern *what* mental processes are involved in motivation, *how* these operate and affect learning and achievement, and *by what means* they can be enhanced and sustained at an optimal level.” (Dörnyei, 1998, S. 118)

Dörnyei (1998) rezipiert Schumanns „neurobiological model“ (S. 127) der Motivation (Jacobs und Schumann, 1992; Pulvermüller und Schumann, 1994; Schumann, 1994, 1998) und stellt es als innovativ dar. Wichtig erscheint ihm dabei vor allem Schumanns Betrachtung von Lernen als Reiz bewertenden Prozess. Nach Dörnyei fügt sich der neu-

⁴⁸ Motivationsfaktoren im Zusammenhang mit dem FU besprechen unter anderem Dörnyei (1994, 1998) sowie Williams und Burden (2001). Eine Übersicht über das Phänomen Motivation bietet Heckhausen (2003).

robiologische Ansatz in die bisherigen Erkenntnisse anderer Disziplinen wie der Psychologie ein. Die Beschäftigung Dörnyeis mit Motivation ist für die FD daher bedeutsam, weil sich zwar viele Diskussionen um Wissen und Können ranken, Lehren und Lernen aber auch erheblich von anderen Parametern wie der Motivation abhängt. Dass motivierte Menschen größeren Lernerfolg haben, ist eine alltägliche Erfahrung Lerner und Lehrender. Die von Dörnyei geforderte Aufdeckung der Motivation vermittelnden Prozesse sowie deren Funktionsweise geschieht insbesondere durch die Psychologie und NW.

Einige Teile des Gehirns modulieren die Funktion neuronaler Schaltkreise, die komplexes Verhalten vermitteln (Amaral, 2000). Dazu gehören auch das meso-cortikale und das meso- limbische System. Beide Systeme haben ihren Ursprung in der Area 10 des ventralen Tegmentums, beeinflussen das Lernen (Saper, 2000) und vermitteln Motivation sowie Belohnung (Spitzer, 2003a). Neuronen des meso-cortikalen Systems projizieren auf den frontalen Cortex und setzen dort Dopamin frei, was zu erhöhter kognitiver Leistung führt: Infolge elektrischer Stimulation dopaminerger Kerngebiete zeigten Bao et al. 2003 in Tierversuchen, dass sich der Cortex daraufhin als plastisch erwies und Lernen ermöglichte. Neuronen des meso- limbischen Systems projizieren zum Nucleus accumbens als ein Kern des ventralen Striatums, der wiederum endogene Opioide im frontalen Cortex ausschüttet, woraus ein Glücksgefühl resultiert. Teile des dopaminergen Systems bzw. Dopamin vermitteln somit Belohnung. Tierversuche zeigten, dass durch ein geschädigtes oder medikamentös unterdrücktes Dopamin-Belohnungssystem belohntes Verhalten nicht mehr gelernt wird. Zudem wurde festgestellt, dass die Begegnung mit Neuem zu verstärkter Ausschüttung von Dopamin führt (Spitzer, 2003a).

Spitzer (2003a) betont, dass für „optimales Lernen nicht der Absolutwert der Belohnung von Bedeutung ist, sondern deren Unerwartetheit“ (S. 182): Man stelle sich einen Lernenden mit einer bestimmten Erwartungshaltung für eine auszuführende Handlung vor. Ist das Ergebnis der Handlungsausführung besser als es durch die Erwartungshaltung antizipiert wurde, findet Lernen statt. Waelti et al., so Spitzer, fanden 2001 experimentell heraus, dass diese Beobachtung auf neuronaler Ebene mit der Aktivität dopaminerger Neuronen korreliert. Nachvollziehbar schließt Spitzer daraus, dass „nicht die bloße Paarung eines Stimulus mit Belohnung für das Lernen entscheidend ist“ (S. 182), sondern die Erwartungshaltung gegenüber dem Erfolg bzw. einer Belohnung. Den gleichen Schluss ziehen Ashby et al. (2002) unter anderem anhand von Tierversuchen.

Auch wenn Breiter et al. (1997) mittels der Untersuchung Kokainabhängiger das ventrale Striatum als wesentlichen Bestandteil des Belohnungssystems identifizierten, bedarf es keinesfalls einer Droge, um das Belohnungssystem zu stimulieren (Spitzer, 2003a)⁴⁹. Anhand bildgebender Verfahren konnte in experimentellen Studien gezeigt werden, dass auch weniger gefährliche Faktoren das menschliche Belohnungssystem aktivieren. Dazu zählen nach Spitzers (2003a) Recherche unter anderem:

⁴⁹ Weitere Ausführungen zur Erforschung von Motivation durch die NW finden sich bei Kupfermann et al. (2000), Koob (2003) sowie Robbins und Everitt (2003).

- Musik (s. Blood und Zatorre, 2001)
- ein freundlicher Blickkontakt (s. Kampe et al., 2002)
- eine freundliche Bemerkung (s. Hamann und Mao, 2002)

Andere Studien bestätigen dies (Blood et al., 1999; Hamann, 2001; Erez und Isen, 2002). Vor allem subjektiv angenehm empfundene Musik hemmt negative Emotionen und aktiviert Strukturen, die Vigilanz und Aufmerksamkeit vermitteln. Es wird angenommen, dass Musik zum Wohlbefinden des Menschen beiträgt und die kognitive Leistungsfähigkeit erhöhen könnte (Spitzer, 2003a). Letzterer Aspekt wird durch eine Studie relativiert, nach der Hintergrundmusik vor allem das Leseverstehen beeinträchtigt. Dies macht sich bei introvertierten Versuchspersonen signifikant stärker bemerkbar als bei extrovertierten (Furnham und Strbac, 2002). Die Art der Musik und deren Lautstärke spielt vermutlich auch eine Rolle. Diese Erkenntnis ist für Lehr-Lern-Arrangements wie zum Beispiel suggestopädische Ansätze von Bedeutung, bei denen Hintergrundmusik eingesetzt wird.

In vielen schulischen Beratungsgesprächen wird häufig eine zentrale Frage thematisiert: Wie kann man SchülerInnen motivieren? Diese Frage ist in den Augen Spitzers (2003a) falsch gestellt:

„Menschen sind von Natur aus motiviert, sie können gar nicht anders, denn sie haben ein äußerst effektives System hierfür im Gehirn eingebaut. [...] Die Frage lautet nicht: ‚Wie kann ich jemanden motivieren?‘ Es stellt sich vielmehr die Frage, warum viele Menschen so häufig *demotiviert* sind.“ (S. 192-193)

Dörnyei (1998) Frage, wie Motivation aufrecht erhalten werden kann ist somit richtig gestellt und wird im Kern durch die NW beantwortet. So geistreich Spitzers Aussage ist, stellt sich dennoch die Frage, was Lehrende in Bezug auf Unterrichtsinhalte und -methoden berücksichtigen müssen, um die Motivation der Lernenden aufrecht zu erhalten. Seitens der Entwicklungspsychologie wurden ohne die NW sehr viel konkreter diverse Motivationsfaktoren identifiziert, die dazu beitragen, eine motivierte Grundhaltung Lernender in Lehr-Lern-Arrangements aufrecht zu erhalten (Reiserer und Mandl, 2002):

Kompetenzerleben: Eine adäquate Aufgabenwahl mit individuell mittlerem Schwierigkeitsgrad für die Lernenden wird als Grundlage für Kompetenzerleben angesehen. Darauf aufbauend sollte eine Leistungsrückmeldung mittels individueller Bezugsnormorientierung erfolgen. Dies ist ein starkes Argument für Binnendifferenzierung nicht nur im FU. Die Lehrenden müssen Lehr-Lern-Arrangements so planen, dass sie flexibel auf die Bedürfnisse einzelner Lernenden eingehen können.

Autonomieerleben: Den Lernenden sollten Entscheidungsmöglichkeiten und Handlungsspielräume innerhalb eines definierten Bezugsrahmens eingeräumt werden. Auf diese Weise können sie Aufgaben, Lernstrategien und Sozialformen eigenverantwortlich wählen. Dies schließt auch ein, dass das Lerntempo und eine eventuelle Themenvertiefung selbst bestimmt werden können. Gegenteilige Effekte durch Überforderung können durch instruktive Hilfestellung durch die Lehrenden verhindert werden. Handlungsorientierte Lehr-Lern-Arrangements ermöglichen meines Erachtens in besonderem Maße das Autonomieerleben.

Soziale Eingebundenheit: Ein wesentlicher motivationaler Faktor ist die Akzeptanz innerhalb der Lerngruppe. Dieser Einstellung abträgliche gruppendynamische Prozesse müssen aufgelöst werden. Doch wie können Lehrende selbst immer wieder mit gutem Beispiel vorangehen? Lehrende sollten mit gutem Beispiel vorangehen und alle Lernenden ungeachtet ihrer individuellen Leistungen gleichwertig behandeln. Zudem helfen Prinzipien und Methoden der Themenzentrierten Interaktion und der Supervision. Auch zahlreiche Feedback-Methoden tragen dazu bei, Arbeitsprozesse gemeinsam konstruktiv zu evaluieren. Es ist bewiesen, dass Kompetenz- und Autonomieerleben entschieden von einer sozialen Umwelt ohne Angst und Bedrohung abhängen. Eisenberger et al. (2003) stellten übrigens im Rahmen einer neuropsychologischen Studie fest, dass vorsätzliche soziale Ausgrenzung den vorderen cingulären Cortex aktiviert – eben die Region, die auch physische Schmerzen vermittelt.

Doch wie können diese Motivationsfaktoren im FU berücksichtigt werden? Kompetenz, Autonomie und soziale Eingebundenheit erleben Lernende einer Fremdsprache, wenn sie gewahr werden, dass sie in der Fremdsprache kommunizieren und Kontakte knüpfen können. Diese Gefühle stellen sich vor allem im Rahmen von Austauschprogrammen ein. Das Aachener Rhein-Maas-Gymnasium bietet darüber hinausgehend an, ein berufsorientierendes Praktikum in England durchzuführen. Beispiele wie diese ermöglichen es den SchülerInnen, durch intensiven Kontakt zu Land und Leuten völlig in die Fremdsprache einzutauchen.

Was können Lehrende im FU tun, um die genannten Motivationsfaktoren zu berücksichtigen? Klippert (2002) hat ein Methoden-Training vorgestellt, das auf das eigenverantwortliche Arbeiten zielt. Die Beispiele sind abwechslungsreich gestaltet und mit Hilfestellungen versehen, die die Lösung der Aufgaben nicht vorwegnehmen, aber die Problemlösefähigkeit schulen. Auf diese Weise kann die Motivation der Lernenden aufrecht erhalten werden, was zu einer eingehenden Beschäftigung mit dem Lerngegenstand führt. Im FU kann beispielsweise Klipperts Methodenbaustein B22a zur Vervollständigung von Lückentexten mit Übungen zum Hörverstehen kombiniert werden. Je nach Schwierigkeitsgrad des Hörtexts und der Jahrgangsstufe sollten mehr oder weniger Lücken ausgefüllt werden. Im Sinne der Binnendifferenzierung ist es auch möglich, Varianten des Lückentexts anzubieten, bei denen für lernschwächere SchülerInnen weniger und für lernstärkere mehr Lücken vorhanden sind. Diese Vorgehensweise ermöglicht es allen Lernenden, im Sinne der Binnendifferenzierung Erfolg zu erfahren. Auch regelmäßige Phasen der Freiarbeit in der Sekundarstufe I führen dazu, dass Lernende parallel zum konventionellen FU angeleitet lernen, sich unter Berücksichtigung ihres individuellen Wissens und Könnens selbst Ziele zu setzen. Diese können sie dann in ihrem eigenen Lerntempo erreichen und in ihrer Kartei festhalten. Mir bekannte Materialien zur Freiarbeit im FU des Couven-Gymnasiums in Aachen sind wohl dosiert auch auf partnerschaftliches Lernen oder Lernen in Gruppenarbeit ausgelegt, sodass gleichzeitig sozialintegratives Verhalten geschult wird.

Für die Sekundarstufe II schlägt Klippert (2001) eine Unterrichtssequenz für den FU vor, in der die SchülerInnen lernen, sich im Ausland zu bewerben. Neben dem Verfassen und Korrigieren von Bewerbungen finden abwechselnd Simulationsspiele zum Bewerbungsgespräch und Optimierungsphasen statt. Auf diese Weise werden die Schüle-

rInnen gefördert und gefordert, ihre Fremdsprache anwendungsbezogen einzusetzen. Das eigenverantwortliche Arbeiten in verschiedenen Sozialformen wirkt dabei motivierend und sozialintegrativ.

Emotionen beeinflussen kognitive Leistungen

Wenn wir die Neurobiologie der Emotionen und Gefühle verstehen, sind wir wahrscheinlich viel besser in der Lage, Grundsätze und politische Ziele zu formulieren, die menschliches Leid lindern und die Entfaltung menschlicher Möglichkeiten fördern.

Antonio R. Damasio, 2003

Was den Menschen umtreibt, sind nicht Fakten und Daten, sondern Gefühle, Geschichten und vor allem andere Menschen.

Manfred Spitzer, 2003a

Freude, Euphorie, Traurigkeit, Furcht, Angst, Ausgeglichenheit und viele weitere Begriffe beschreiben Emotionen, die unseren Handlungen eine besondere Note verleihen. Ihren Ursprung haben Emotionen in subcortikalen Strukturen, zu denen die Amygdala, der Hypothalamus und das Stammhirn gehören (Iversen et al., 2000; Damasio, 2003). Das emotionale Gedächtnis vermittelt Gefühle wie Vorlieben und Abneigungen gegenüber Objekten, Personen oder Orten. Lernen vollzieht sich dabei unbewusst (Eichenbaum, 2003). Emotionen müssen in Lehr-Lern-Arrangements aller Fächer berücksichtigt werden. Welche Beachtung findet diese Forderung in der FE und welche Konsequenzen müssen für den FU gezogen werden?

Die FE beschäftigt sich intensiv mit Emotionen. Dies sei anhand eines Forschungsfelds exemplarisch erläutert: Gardner und MacIntyre (1993) diskutieren den Einfluss von *language anxiety* auf den Lernerfolg einer Fremdsprache. Sie definieren *language anxiety* als Sprachhemmung in einer Situation, die das Sprechen der Fremdsprache erfordert, in der die Person noch nicht völlig erfahren ist. Vor allem generelle Kommunikationshemmung, soziale Bewertung und Prüfungsangst bilden nach Horwitz et al. (1986) die Ursache für *language anxiety*. Über entsprechend negative Folgen für die Leistungsbewertung berichten Gardner et al. (1997). Sie referieren zudem Experimente, die die Form der sozialen Interaktion zwischen Lehrenden und Lernenden als Schlüsselfaktor für Ängstlichkeit herausstellen (Gardner und MacIntyre, 1993). Im Sinne einer Angstkonditionierung wird die Ursache für *language anxiety* in wiederholt erfahrenen negativen Erfahrungen bezüglich der Fremdsprache gesehen. Gerade zu Beginn des FU sind Lernende besonders gefährdet *language anxiety* zu entwickeln. Diesem Problem kann entgegengetreten werden: Aufenthalte in Sprachregionen der Zielsprache konnten sowohl bei SchülerInnen als auch bei Erwachsenen *language anxiety* signifikant reduzieren. Hier wird deutlich, dass Emotionen den Lernerfolg wesentlich beeinflussen.

Im Folgenden werde ich Emotionen aus Sicht der NW und Psychologie betrachten. Es sei vorangestellt, dass eine allgemein akzeptierte Theorie der Emotionen bis heute

nicht verfügbar ist (LeDoux, 2000; Spitzer, 2003a). Der Begriff Emotion gehört dennoch zum festen Repertoire beider Disziplinen. Trotzdem ist er unscharf geblieben, wie der wechselnde Sprachgebrauch beweist, wenn von Emotionen, Affekten, Gefühlen und Stimmungen die Rede ist (s. Geisler und Hermann-Brennecke, 1997; Hermann-Brennecke, 1998). Mit Zimmer (1988) kann diese Liste um die Begriffe Empfindung, Laune und Temperament erweitert werden. Im Englischen trifft man auf eine ähnliche Vielfalt der Begriffe wie zum Beispiel *emotion*, *mood*, *feeling* oder *affection*. In ihren Bedeutungen mögen sich einige dieser Begriffe mehr oder weniger überschneiden, denn „niemand und nichts grenzt sie verbindlich gegeneinander ab. Auch die Wissenschaftler sind sich völlig uneinig, und ein Teil ihrer Kontroversen war immer ein Streit um Wortbedeutungen.“ (Zimmer, 1988, S. 16) Daher betrachtet Spitzer (2003a) Emotionen zweidimensional: Sie weisen eine Intensität (gering bis hoch) und eine Valenz (negativ bis positiv) auf. Er hat anhand dieser Dichotomie einen gemeinsamen Nenner gefunden, der sich aus verschiedenen Differenzierungen ergibt. Stress als Zustand des Organismus betrachtet Spitzer im Kontext der Emotionen.

Jeder hat schon einmal erfahren, dass Emotionen Leistungen des Gedächtnisses beeinflussen: Womit waren Sie beschäftigt, als Sie am 11. September 2001 von den Terroranschlägen auf das *World Trade Centre* erfuhren? Womit waren Sie am 3. September 2001 um 17 Uhr beschäftigt?

Dieser Selbstversuch führt vor Augen, dass es Ereignisse in unserem Leben gab, die uns emotional stark bewegt haben und die wir niemals vergessen werden.⁵⁰ Nach einer Hypothese von Diamond et al. (2004) begründet sich dies wie folgt: „A stressful experience generates an endogenous form of hippocampal LTP that substitutes a new memory representation for preexisting representations.“ (S. 281) Dadurch erklärt sich für die Autoren auch das Phänomen der retrograden Amnesie.

Die Amygdala vermittelt das emotionale Gedächtnis

Cahill et al. untersuchten 1994, inwiefern die Leistung des deklarativen Gedächtnisses von Emotionen abhängig ist. Sie präsentierten Versuchspersonen zwei Geschichten: In der ersten wurde unter anderem über einen furchtbaren Unfall erzählt, in der zweiten über neutrale Inhalte berichtet. Die Versuchspersonen konnten sich später am besten an den Abschnitt der ersten Geschichte erinnern, in dem es um den Unfall ging. An die zweite Geschichte konnten sie sich am schlechtesten erinnern (Spitzer, 2003a).

In einem weiteren Versuchsansatz wurde vor der Präsentation der Geschichten ein β -adrenerger Antagonist verabreicht, der das sympathische Nervensystem dämpft. Das Ergebnis war eindeutig: Der emotionale Teil der ersten Geschichte wurde nicht besser behalten als andere Teile der Geschichte oder die zweite, neutrale Geschichte. Die Gegenprobe mit einem β -adrenergen Agonisten zeigte eine gesteigerte Fähigkeit, die emotionalen Teile der ersten Geschichte zu memorieren (Eichenbaum, 2003). Mithilfe bild-

⁵⁰ Solche so genannten Gedächtnis-Blitzlichter unterliegen weit weniger dem zeitbedingten Verfall als Wissen, dass in emotional neutralem Kontext erworben wurde. Nebensächlichkeiten können dennoch vergessen und durch Konfabulationen ersetzt werden. Emotional überwältigende Ereignisse können übrigens erstaunlicherweise völlig vergessen werden (Calvin und Ojemann, 1994; Roth, 2001, 2003).

gebender Verfahren wurde ergänzend gezeigt, dass die Amygdala bei emotionalem Input aktiviert wird (Büchel et al., 1998; Eichenbaum, 2003; Kilpatrick und Cahill, 2003) und daher an der „Speicherung emotional betonter Gedächtnisinhalte“ (Trepel, 1999, S. 196) beteiligt ist. Dies gilt nur für aktuell wahrgenommene Stimuli und nicht für solche, die durch Erinnerung wieder aufleben (Bechara et al., 2003; Richardson et al., 2004). Ein analoges Prinzip habe ich für die Verarbeitung neuen Wissens durch den Hippocampus vorgestellt.

Ohne die Amygdala lernt der Mensch nicht mehr, sich vor etwas zu ängstigen. Das Lernen von Fakten ist weiterhin möglich, da dies mithilfe des Hippocampus erfolgt. Fehlt der Hippocampus, lernt der Mensch keine Fakten mehr, jedoch immer noch, Angst vor etwas zu haben. Fehlen beide Strukturen, wird nichts mehr gelernt (Bechara et al., 1995; Eichenbaum, 2003). Tierversuche führten zu ähnlichen Erkenntnissen (McDonald und White, 1993).

Die zitierten Studien zeigen eindeutig, dass Lernen expliziter Gedächtnisinhalte durch emotionale Beteiligung verbessert wird. Eichenbaum (2003) sieht in dieser Selektivität einen überlebenswichtigen Mechanismus, der entscheidet, wie wertvoll eine Information ist, um gespeichert zu werden. In diesem Kontext sei auf Experimente zur Angstkonditionierung hingewiesen, die ebenfalls durch die Amygdala erfolgt – sowohl bei Tieren (Eichenbaum, 2003) als auch bei Menschen (Bechara et al., 1995). Im Rahmen dieser Experimente konnte unter anderem gezeigt werden, dass nach erfolgreicher Angstkonditionierung bereits der situative Kontext genügte, um Angst hervorzurufen. Wie der nachfolgende Abschnitt aufzeigt, darf aus den dargestellten Versuchsergebnissen keinesfalls geschlossen werden, dass Menschen unter Angst erfolgreicher lernen.

Angst unterdrückt – auch die Kreativität

Der Mensch scheut vor einem Gedanken zurück,
der ihn, wenn er ihn dächte,
vor eine Situation stellen würde,
der er sich nicht gewachsen fühlt.

Bernhard Hassenstein, 1987

Angst erleichtert das Ausführen erlernter Handlungsmuster, erschwert hingegen freies Assoziieren (Fiedler, 1988; Fredrickson, 2003). Positive Emotionen zeigen einen gegen- teiligen Effekt und fördern das Explorationsverhalten:

„Wenn gerade keine Angst da ist, werden die Gedanken freier, offener und weiter. Dies lässt sich nicht nur subjektiv erleben, sondern auch im Experiment messen. Eine positive Grundstimmung ist daher gut für das Lernen. Dies konnten wir erst kürzlich direkt zeigen und sogar im Gehirn mittels funktioneller Bildgebung darstellen.“ (Spitzer, 2003a, S. 164)

Psychologen haben ebenfalls einen förderlichen Effekt positiver Emotionen auf das kreative Lösen von Problemen festgestellt (Isen et al., 1987, 1991; Ashby et al., 2002). Für den FU ist besonders interessant, dass dies auch für das Bilden von Wortassoziationen gilt (Isen et al., 1985; Fredrickson, 2003). Stress hingegen beeinträchtigt das Problemlö-

sen, das Bilden von Urteilen und das Treffen von Entscheidungen, weil Alternativen unzureichend wahrgenommen werden und stereotypes Denken kreatives Handeln ablöst (Zimbardo und Gerrig, 2003). Wie lässt sich dieses Phänomen neurowissenschaftlich erklären?

Man stelle sich als visuellen Reiz ein gefährliches Tier vor – beispielsweise eine Giftschlange (s. Arnold, 2002; Bechara et al., 2003). Der Reiz wird durch die Photorezeptoren der Retina in Erregung transformiert. Diese wandert durch den Sehnerv über eine Art Relaisstation, das Corpus geniculatum laterale (CGL), in den visuellen Cortex. Noch bevor die Bildinformation dort weiter verarbeitet wird und in unser Bewusstsein vordringt, sind bereits parallel bestimmte Bildinformationen im CGL extrahiert und an die Amygdala weitergeleitet worden. Die Folge ist eine Abwehr- oder Fluchtreaktion. Eine akute Stressreaktion wie diese steigert die Leistungsfähigkeit eines Organismus, indem beispielsweise Energie bereitgestellt und der Blutdruck erhöht wird (Fredrickson, 2003). Zugleich werden Mechanismen inhibiert, die einer Reaktion auf die akute Notfallsituation abträglich wären. Dazu gehören beispielsweise die Verdauung und das Wachstum. Insgesamt kommt es im Stoffwechsel eines Organismus in Folge einer akuten Stressreaktion zu über 1 400 Veränderungen (Spitzer, 2003a).⁵¹

Unseren Vorfahren sicherte dieser äußerst schnell arbeitende Mechanismus das Überleben – Reflektieren und Kreativität wären dabei fehl am Platz. Welche Bedeutung hat ein solcher Mechanismus für den heutigen Menschen? Hat die Kulturevolution die biologische Evolution überholt? Sicherlich sind wir immer noch zahlreichen Gefahren ausgesetzt, aber nur noch wenige bergen unmittelbar letale Folgen. Dennoch arbeitet dieser Mechanismus zuverlässig in uns und beeinflusst unsere kognitiven Fähigkeiten.

Was in einer akuten Notfallsituation hilfreich ist, zieht auf lange Sicht fatale Folgen nach sich. Chronischer Stress bedeutet Daueralarm für den Organismus. Nach Spitzer (2003a) führt dies zu diversen Erkrankungen wie Myopathien, Ermattung, chronischem Hypertonus und neuronalem Zelltod.

„Wer [der] Unbill des Lebens hilflos ausgesetzt ist, reagiert mit chronischem Stress und den dadurch verursachten gesundheitlichen Schäden. [...] Seelische Störungen gehen oft mit einem realen oder einem vermeintlichen, vom Kranken erlebten Verlust an Kontrolle über seine Lebensumstände einher.“ (Spitzer, 2003a, S. 168)

Chronischer Stress beeinträchtigt die Leistung des prä- und orbitofrontalen Cortex und kann vor allem den Hippocampus irreversibel schädigen (Roth, 2003): Die Lernfähigkeit nimmt dauerhaft ab. Physiologisch lässt sich dies wie folgt erklären. Stresshormone, so genannte Glukokortikoide, rufen vor allem folgende Effekte hervor: eine erhöhte Glucosekonzentration im Blut, aber eine verminderte Glukoseaufnahme im Gehirn sowie eine erhöhte Toxizität des Neurotransmitters Glutamat. Ein Überschuss an Glutamat bewirkt einen übermäßigen Ca^{2+} -Einstrom durch die NMDA-Kanäle. Eine hohe intrazelluläre Konzentration an Ca^{2+} aktiviert calciumabhängige Proteasen und erzeugt freie Radikale. Beide sind für die Zelle toxisch; man spricht von Glutamatexzitotoxizität (Kandel und Siegelbaum, 2000; Waxman und Lynch, 2005). Die Amygdala

⁵¹ Die Begriffe Eu- und Dysstress sollten mit Vorsicht verwendet werden: „Stress ist eine Frage der Bewertung und der Dosis. Seine Einteilung in gut und böse vereinfacht die Dinge zu stark.“ (Spitzer, 2003a, S. 173). Sandmeyer und Sadre-Chirazi-Stark (2004) vertreten eine ähnliche Auffassung.

scheint gegen Stress immun zu sein, da sie von den beschriebenen Folgen verschont bleibt. Roth (2003) sieht darin die Gefahr, dass auf diese Weise die Aktivität der Amygdala über die des Hippocampus und des präfrontalen Cortex gewinnt und sich akute Furcht in chronische Ängstlichkeit verwandelt.

Holtwisch (1994) argumentiert für die suggestopädische Methode, da sich mit ihr eine dem Lernen förderliche, stressfreie Grundstimmung erreichen ließe:

„Im Gegensatz zum Kurzzeitgedächtnis⁵², laufen im Langzeitspeicher⁵³ chemische Reaktionen (Proteinsynthese) ab. Stressoren wirken sich hier deshalb so behaltensmindernd aus, weil sie den Ausstoß der Transmitterflüssigkeit zwischen den Synapsen blockieren. Dadurch wird der Informationsstrom innerhalb des neuronalen Netzes unterbrochen, wodurch sich neues Wissen nicht mehr bzw. nur fragmentarisch zerebral verankern kann.“ (Holtwisch, 1994, S. 229)

Die hier vorgebrachte Begründung ist plausibel und fügt sich in die Betrachtung des Einflusses von Emotionen auf das Lernen ein. Allerdings sind Lehr-Lern-Arrangements auch ohne die in Teilen zweifelhafte suggestopädische Methode (s. Friedrich, 1995) stressfrei zu gestalten. Allerdings macht die Suggestopädie in Bezug auf Emotionen ernst, denn sie fordert angstfreie Lehr-Lern-Arrangements. Hier ist vor allem die Persönlichkeit der Lehrenden ausschlaggebend. Unverständlich ist die Behauptung, dass „suggestopädisch-orientierter Sprachunterricht“ (S. 232) unter anderem deswegen vorteilhaft ist, weil er einen „biologischen Zugriff auf die gedächtnisphysiologische Verarbeitung“ ermögliche (S. 232). Die von Holtwisch verwendeten Formulierungen betrachte ich als Wortgeklingel.

Lernen ist kein Notfall

Erk et al. (2003) konnten nachweisen, dass Wörter am besten memoriert wurden, wenn sie in einem positiven emotionalen Kontext gelernt wurden. Mithilfe bildgebender Verfahren konnten die zugehörigen neuronalen Strukturen ermittelt werden: Emotional positiv gestimmte Versuchspersonen wiesen eine besonders starke Aktivität des Hippocampus auf, der Struktur, die den Erwerb von Wissen vermittelt. Lernen in negativem emotionalen Kontext aktivierte die Amygdala, Lernen in neutralem Kontext den frontalen Cortex. Roth (2003) fasst zusammen:

1. Gedächtnisleistungen werden durch Angst blockiert.
2. Positive Inhalte werden besser erinnert als negative.
3. Emotionen beeinflussen episodisch-autobiographische Inhalte stärker als Fakten.
4. Wenn Emotionen zu stark sind, wirkt sich dies negativ auf die Gedächtnisleistungen aus.

Auch die neurowissenschaftliche Perspektive zeigt, dass Emotionen und Gedächtnisleistungen untrennbar miteinander verbunden sind. Diese Auffassung spiegelt sich

⁵² besser: Arbeitsgedächtnis

⁵³ besser: Langzeitgedächtnis

innerhalb der FE und der didaktisch orientierten Spracherwerbsforschung wieder, die sich vor allem mit dem neuronalen Substrat der Emotionen beschäftigen.

Emotionen stellen für Krashen (1981) einen bedeutenden Faktor im FU dar, was sich in seiner Theorie des affektiven Filters widerspiegelt. Dieser Filter verhält sich binär: Er ist eingeschaltet, wenn Motivation fehlt, Angst zugegen ist und das Selbstvertrauen gering ist. In diesem Fall findet kein Lernen statt. Sind die Werte der drei Parameter invertiert, ist der Filter ausgeschaltet; Lernen kann dann stattfinden. Ich meine, dass dieses Modell suboptimal ist: Es geht vielmehr um eine integrative Betrachtung von mehr oder weniger Motivation, Angst und Selbstvertrauen. Krashens Modell basiert hingegen auf dem Alles-oder-nichts-Prinzip. Eine eher integrative Betrachtung findet sich bei Jacobs und Schumann (1992): „[...] but when one considers how the brain actually works, ‚cognition‘, ‚emotion‘, ‚perception‘, and ‚memory‘ become intertwined, especially with regard to acquisition.“ (S. 293) Kritik ist insofern angebracht, als dass Begriffe wie „cognition“ und „perception“ klar definiert und voneinander getrennt werden müssen. Jacobs und Schumann meinen auch, dass Emotionen die Aufmerksamkeit auf Dinge richten und die Wahrnehmung beeinflussen. Innerhalb der NW wurde dies von Dolan (2002) untersucht und bestätigt.

Schumann (1994) legt besonderen Wert auf die Modulation kognitiver Leistungen durch Emotionen: „from a neural perspective, affect is an integral part of cognition.“ (S. 232) Er versteht unter Kognition eine Abfolge verschiedener Prozesse, an denen die emotionale Bewertung von Stimuli beteiligt ist:

„Cognition might reasonably be conceived as consisting of the perception of stimuli, the emotional appraisal of these stimuli, attention to the stimuli, representation of the stimuli in memory, and the subsequent use of that information in behavior.“ (Schumann, 1994, S. 231-232)

Pulvermüller und Schumann (1994) schreiben der Amygdala beim Spracherwerb eine große Bedeutung zu, weil einzelne Vokabeln im Sinne der klassischen Konditionierung mit emotionalen Inhalten verbunden würden. Schumann (1994) kombiniert Krashens affektiven Filter mit Erkenntnissen der NW: Er sieht in der Amygdala die anatomische Struktur, die die emotionale Bedeutung und motivationale Relevanz von Stimuli bewertet. Schumann schließt:

„So emotional memory is a re-entrant or feedback system in which the record of affective experiences establishes a set of preferences and aversions that govern the individual's emotional response to future experiences.“ (S. 233)

Eubank und Gregg (1995) kritisieren dies. Sie meinen, dass zum einen die meisten Wörter keine positiven emotionalen Assoziationen erlauben und dennoch gelernt werden. Zum anderen ist es für sie kaum vorstellbar, dass andere Aspekte von Sprache wie morphologische oder syntaktische Regelungen emotionale Assoziationen aufweisen. Sie sehen vor allem das Bemühen Pulvermüllers und Schumanns, Krashens affektiven Filter mit einer neurowissenschaftlichen Fundierung zu versehen. Ich schließe mich der Kritik Eubanks und Greggs an und füge hinzu, dass es unzulässig ist, verschiedene Beschreibungsebenen des Verhaltens zu vermischen und als neurowissenschaftliche Erklärung darzustellen. Eben dies geschieht bei Pulvermüller und Schumann, wenn sie das Vokabellernen im Kontext von Emotionen betrachten und den Prozess als klassische Kondi-

tionierung bezeichnen. Es könnte sogar der falsche Eindruck entstehen, dass Vokabellernen in der Amygdala vonstatten geht. Wie bereits dargestellt, ist auch die Amygdala nicht die Struktur, die Motivation vermittelt.

Für den FU zieht Schumann (1994) einige Schlüsse in Bezug auf Emotionen. Besonders aussagekräftig sind die folgenden:

- Die Lerngeschichte spiegelt Vorzüge und Aversionen gegenüber der Zielsprache wider.
- Die Einstellung gegenüber Lehrenden und der Gestaltung von Lehr-Lern-Arrangements ist bedeutsam.
- Die Relevanz der Zielsprache ist für die Lernenden bedeutsam.

Diese Schlüsse können prinzipiell auch ohne die NW gezogen werden. Entscheidend ist aber, dass die NW damit begonnen haben, eine Erklärung für die Beteiligung der Emotionen an Lernprozessen auf materieller Ebene zu liefern. Dadurch können zukünftig entsprechende Phänomene besser verstanden werden und der FD Entscheidungshilfen für ihre Theorien und die unterrichtliche Praxis geben. Meine Meinung teilen Geisler und Hermann-Brennecke (1997), die bedauern, dass bisher keine Monografie erschienen ist, die sich umfassend mit Emotionen im FU beschäftigt. Sie sind überzeugt, dass die affektive Komponente zukünftig stärker in die FD integriert werden muss. Sie stützen sich dabei auf Erkenntnisse der NW (Damasio, 1995). Auch Finkbeiner et al. (2001) kritisieren, dass Emotionen in der FD bisher kaum beachtet wurden und erst seit wenigen Jahren an Bedeutung gewinnen. Sie bemängelt, dass manche VertreterInnen der Spracherwerbsforschung Emotionen aus neurowissenschaftlicher Sicht betrachten und dabei die Unterrichtspraxis vernachlässigen. Zudem seien aufgrund mangelnder Begriffsdefinitionen Studien schwer vergleichbar oder reproduzierbar. Diese Beobachtung spiegelt sich auch bei Spitzer (2003a) wider und ist kein Problem der FD. Ich schlage daher vor, dass die NW und die KP eindeutig rezipierbare Begriffsdefinitionen erarbeiten. Zukünftig kann so vermieden werden, dass zum Beispiel Finkbeiner et al. Motivation unter „emotionalen oder affektiven Zustände[n]“ (S. 71) subsumieren.

Folgende drei Beispiele zeigen auf, wie in der FD Nutzen aus den Erkenntnissen der NW zu Emotionen gezogen wird. Bei Finkbeiner et al. findet sich eine dreigliedrige Kette von Quellenverweisen, die letztlich bei den NW (Damasio, 1994) endet und dabei sieben Jahre überspannt. Dabei läuft die FD Gefahr, überholte Erkenntnisse zu rezipieren. Finkbeiner et al. fordern, den Zusammenhang von Kognition und Emotionen zu berücksichtigen. Sie sehen dabei ein sich etablierendes „beidhemisphärisches Lernverständnis“ (S. 74), auf das „ein ebenso aufgeklärter Forschungsansatz folgen“ (S. 74) sollte. Was sie unter einem beidhemisphärischen Lernverständnis verstehen, wird nicht näher erläutert und bleibt daher als Implikation für die zukünftige Theorie und Praxis unverständlich.

Traoré (2002) schließt mit Pulvermüller und Schumann (1994), dass sich Lernerfolg einstellt, wenn „die zu erlernenden sprachlichen Elemente mit einem emotional-positiven Zustand“ kombiniert werden. Weshalb dies seiner Meinung nach hauptsächlich erwachsene Fremdsprachenlerner betrifft, ist nicht nachvollziehbar. Traoré entgeht

ein elementarer aber feiner Unterschied: Es ist von Vorteil in einem angstfreien Zustand zu lernen – es geht allerdings nicht um die Verknüpfung des Lerngegenstands mit einem angstfreien Zustand.

Nach Bolitho et al. (2003) können positive Emotionen dazu beitragen, das Sprachenlernen zu unterstützen:

„Positive attitudes, self-esteem, and emotive involvement help to fire neural paths between many areas of the brain, and to achieve the multi-dimensional representation needed for deep processing of language.“ (S. 256)

So eingehend diese Erklärung zunächst erscheinen mag, ist sie dennoch höchst problematisch. Meines Erachtens sollten abstrakte Begriffe wie positive Einstellungen, Selbstvertrauen und emotionale Beteiligung der deskriptiven Ebene menschlichen Verhaltens zugerechnet werden. Wie dieses Verhalten die biologische Informationsverarbeitung beeinflusst ist noch nicht geklärt. Welche „neural paths“ sind eigentlich gemeint? Um welche „areas of the brain“ handelt es sich? Was ist eine „multi-dimensional representation“ – und vor allem: wovon? Was verstehen Bolitho et al. unter „deep processing“? Ist hier die Theorie der Verarbeitungstiefe gemeint? Bolitho et al. verweisen in ihrem Artikel auf Neurowissenschaftler wie Damasio und Damasio (1993). Dennoch gelingt es ihnen nicht, die Gedanken des Autorenpaars in die FD zu integrieren. Das, was man schon immer wusste, soll bei Bolitho et al. mithilfe der NW auf zweifelhafte Weise aufgewertet werden – ein Grundfehler, der der Glaubwürdigkeit der FD schadet.

Eine tiefe Verarbeitung steigert die kognitive Effizienz

In der unterrichtlichen Praxis werden vermehrt Methoden eingesetzt, anhand derer vernetztes bzw. strukturiertes Wissen aufgebaut werden soll. Diesen Methoden ist gemein, dass sie eine eingehende und meist kreative Beschäftigung mit den Lerngegenständen erfordern. Beispielhaft seien das Bilden von Wortgruppen, das Herstellen von Wortergänzungen, Mindmaps, Zusammenfassungen oder das Entdecken von Regelmäßigkeiten erwähnt (Holtwisch, 1993; Bleyhl und Timm, 1998; Brusch und Caspari, 1998; Haudeck, 1998; Quetz, 1998; Bimmel und Rampillon, 2000; MSWWF, 2000; Winter, 2000; Fowle, 2002; Klippert, 2002; Finkbeiner, 2003).

Wie lässt sich dieses methodische Vorgehen aus neurowissenschaftlicher und psychologischer Perspektive begründen? Welche Erkenntnisse können die NW und die KP zu der Frage beisteuern, um die kognitive Effizienz Lernender zu optimieren? Diese Fragestellungen führen zu einer weiteren und zentralen Frage: Wie ist semantisches Wissen im mentalen Lexikon organisiert?

Man stelle sich ein komplexes visuelles Bild vor, zum Beispiel einen Elefanten. Erfahrungsbefugt wird das visuelle Bild mit anderem Wissen über Elefanten assoziiert. Wenn man die Augen schließt und sich einen Elefanten vorstellt, basiert das entstehende Bild auf einer reichhaltigen Repräsentation des Konzepts eines Elefanten. Je mehr Assoziationen mit dem Bild des Elefanten gebildet worden sind, desto besser wird das Bild encodiert und desto besser erinnern wir uns zukünftig an Eigenschaften eines Elefanten. Wir wissen beispielsweise, dass er ein lebendiges Etwas ist. Er ist ein Tier, das

in einer speziellen Umgebung anzutreffen ist, das eine bestimmte Gestalt aufweist sowie gelegentlich trompetet (s. Abb. 7.2). Das Wort Elefant wird mit all diesen Informationsfragmenten assoziiert, wobei jedes einzelne Zugang zu unserem gesamten Wissen über Elefanten öffnen kann (Kandel et al., 2000b).

Unsere kognitive Effizienz hängt davon ab, wie gut Assoziationen die Information organisiert haben, die wir gespeichert haben. Wir erfahren unser eigenes Wissen als lückenlos, geordnet und mit Querverweisen versehen. Dies ist ein Produkt der Integration verschiedener Repräsentationen im Gehirn an verschiedenen anatomischen Orten, von dem jeder sich mit nur einem Aspekt des Konzepts beschäftigt, das einem einfällt. Es existiert keinesfalls ein einziger semantischer Speicher. Immer wenn Wissen über irgendetwas erinnert wird, geschieht dies, indem Fragmente der Erinnerung aus verschiedenen Speicherorten zusammengetragen werden. Individuen, die beispielsweise an assoziativer visueller Agnosie leiden, können Objekte nicht mehr benennen aber dennoch erfolgreich identifizieren (Kandel et al., 2000b). Wie besprochen, haben zudem Studien an Individuen mit verschiedenen Läsionen der Assoziationscortices gezeigt, dass Wissen fragmentiert sein kann.

Das Ausmaß und die Art und Weise des Lernens bedingen folglich, wie gut das Gelernte später erinnert wird. Soll Wissen nachhaltig gespeichert werden und gut abrufbar sein, muss die entsprechende Information gründlich verarbeitet werden. Diese Schlussfolgerung führt zur Theorie der Verarbeitungstiefe, die von den Psychologen Craik und Lockhart 1972 aufgestellt wurde. Nach dieser Theorie können Stimuli auf verschiedenen Ebenen verarbeitet werden: Die Analyse rein physischer oder sensorischer Eigenschaften eines Reizes geschieht auf flachen Ebenen, wohingegen die Analyse der Bedeutung eines Reizes auf tieferen Ebenen erfolgt. Eine tiefe Verarbeitungstiefe bedeutet somit, dass durch den Reiz zu ihm passende Assoziationen hervorgerufen bzw. gebildet werden. Diese Vorgehensweise beim Lernen führt auch zu besseren Leistungen während des Erinnerns (Craik und Tulving, 1975; Baddeley, 1990). Es sei angemerkt, dass eine tiefe Verarbeitungstiefe die Aufmerksamkeit auf den zu lernenden Reiz konzentriert (Anderson, 2001). In der FE verweist Kostrzewa (1994) auf diesen Sachverhalt.

Rohrer (1993) diskutiert zwar nicht den theoretischen Hintergrund der Verarbeitungstiefe, liefert dabei aber um so mehr Beispiele, wie Wissen anhand von Mindmaps strukturiert werden kann. In diesem Kontext fordert er auch, Lernerautonomie zu fördern: „Würde der Lehrer die Assoziogramme für die Lernenden herstellen, würde er dem Lernenden einen wesentlichen Teil seiner Lernarbeit wegnehmen.“ (S. 214) Gleiches gilt übrigens auch für das Ausdenken so genannter Eselsbrücken.

Rivers (1991) sieht einen Bezug zwischen dem PDP und dem Begriff „accessibility“ (S. 258). Sie denkt dabei an die KP und verweist auf Tulving (1972), der sich mit dem semantischen Gedächtnis beschäftigt hat. Rivers schließt, dass die Verfügbarkeit von

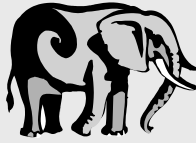
Afrika	Rüssel	Indien
Gedächtnis		Zirkus
Trompete	Porzellanladen	Safari

Abb. 7.2: Jeder dieser Hinweise, vor allem in Kombination mit anderen, kann zum Konzept eines Elefanten führen.

Information für das Abrufen von zentraler Bedeutung ist. Daher müssten im FU Methoden angewendet werden, anhand derer erworbenes „language material“ (S. 258) reaktiviert werden kann. In diesem Kontext versteht sie unter dem ungünstig gewählten Begriff „language material“ das, was auch als Wissen und Können bezeichnet werden kann. Rivers meint, dass die Verfügbarkeit von Sprache im Allgemeinen durch aktiven Gebrauch trainiert werden muss. Sie schlägt daher vor, Lernende anzuleiten, sich neues Vokabular eigenständig zu erarbeiten. Konkretere methodische Vorschläge werden nicht unterbreitet. Es wäre auch möglich gewesen, einen Bezug zum Konnektionismus herzustellen, indem die Struktur des semantischen Gedächtnisses aus der Perspektive der semantischen Karten der NI diskutiert worden wäre.

Deplaziert erscheint mir Rivers Forderung, dass das zu lernende Vokabular die SchülerInnen interessieren soll; es soll ihnen Freude bereiten und ihre persönlichen kommunikativen Bedürfnisse stillen. Bei diesen Forderungen handelt es sich um Trivialitäten, die trotz ihrer Richtigkeit nicht auf das PDP und die Organisation des semantischen Gedächtnisses bezogen werden können. In dieser Hinsicht kommt es zu einem Bruch in Rivers Argumentation. Sie unterstützt auch Lozanov insofern, als dass zum Beispiel Wandgrafiken den Lernprozess fördern könnten. Hier müssen Lehrende meines Erachtens Vorsicht walten lassen: Im Sinne der Verarbeitungstiefe werden Gedächtnisleistungen vor allem dann positiv beeinflusst, wenn möglichst viel Anschauungsmaterial durch die Lernenden selbst erstellt wird. Nur dann kann ein intensives Training der von Rivers als wichtig erachteten Verfügbarkeit erfolgen. Dies ist nicht nur im FU gängige Praxis. So ist es zum Beispiel hilfreich, zu einem Drama eine *character map* zu erstellen, in denen wichtige Charakteristika der Figuren und ihre wechselseitigen Beziehungen anhand einer ebenfalls zu entwerfenden Legende dargestellt werden.

Schönplflug (2003) differenziert unnötigerweise zwischen „Lernen sprachlichen Materials und dessen Speicherung im Gedächtnis“ (S. 52). Hinsichtlich des semantischen Gedächtnisses betrachtet sie die Integration „sprachlicher Informationseinheiten“ (S. 52) im Sinne des assoziativen Lernens und semantischer Karten, wobei sie bei letzteren eine Verbindung zum Konnektionismus sieht. Eine schlüssige Begründung bleibt aus.

Ausgehend von der Frage, wie Lerninhalte im Gedächtnis besser „verankert“ (S. 221) werden können und was die Natur des Gedächtnisses ist, bespricht Kostrzewa (1994) einleitend verschiedene Gedächtnismodelle. Dazu gehört unter anderem die als traditionell bezeichnete Vorstellung eines Speichers, der aus den drei Komponenten Ultrakurzzeit-, Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis besteht. Kostrzewa bespricht unter anderem Andersons (1985) Unterscheidung zwischen Wissen und Können, Baddeleys (1986) Differenzierung zwischen Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis sowie Tulvings (1972) weitere Gliederung innerhalb des Wissens „zwischen einem episodischen und einem semantischen Gedächtnis“ (S. 221). Anhand der vorgestellten Modelle positioniert sich Kostrzewa folgendermaßen: Er sieht „unterschiedliche Modi der Enkodierung“ (S. 222) und führt als Beispiel „bildlich imaginativ vs. semantisch“ (S. 222) an. Zudem sieht er keinen automatischen Informationsfluss vom Ultrakurzzeit- über das Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis: Um Wissen dauerhaft zu speichern, müssten die Verarbeitungstiefe und die Aufmerksamkeit beachtet werden. Ein gutes Gedächtnis ist für ihn das „Ergebnis einer sinnvollen Strukturierung von Informationen“ (S. 222). In sei-

nen weiteren Ausführungen stellt er theoretische und praktische Überlegungen für nachhaltiges Lernen an. Demnach wird die Behaltensleistung gesteigert, wenn zum Beispiel

- Kollokationen anstelle einzelner Wörter gelernt werden
- Vokabeln in Wortfelder organisiert werden
- Vokabeln in eine Geschichte eingearbeitet werden
- die Etymologie eines Wortes erläutert wird.

Ich meine, dass es derzeit nur sehr vage möglich ist, den Erfolg dieser tradierten Lernmethoden seitens der NW zu erklären. Meines Erachtens erklären sich letztlich alle Mnemo-Techniken durch die Theorie der Verarbeitungstiefe. Craik und Lockhart (1972) haben sich übrigens auch der Frage gewidmet, inwiefern Wiederholen den Erwerb neuen Wissens optimiert. Dabei unterscheiden sie zwischen zwei Arten des Wiederholens.

Maintenance rehearsal: Es wird nur das wiederholt, was bereits aufgenommen wurde. Als Beispiel sei solches Vokabellernen genannt, bei dem die Vokabel und ihre erstsprachliche Entsprechung gebetsmühlenartig wiederholt wird.

Elaborative rehearsal: Es wird so wiederholt, dass der Reiz im Sinne einer tiefen Verarbeitungstiefe immer weiter analysiert wird. Als Beispiel sei der Wortschatzerwerb genannt, der auf dem Bilden von Assoziationen basiert. Nur beim *elaborative rehearsal* macht es auch Sinn, mehr Zeit auf einen zu encodierenden Reiz zu verwenden. Dies impliziert, dass endloses Auffrischen fremdsprachlichen Vokabulars anhand von Vokabellisten der Vergangenheit angehören muss⁵⁴. Sicherlich schadet es nicht, aber es existieren effektivere Methoden des Wiederholens. Hierzu gehören beispielsweise das Erstellen von Mindmaps sowie das Malen von Wortikonen, das Erfinden kurzer Geschichten oder das Einstudieren von Dialogen. Beim Arbeiten mit Romanen oder Dramen bietet sich zum Beispiel das Ausdenken eines alternativen und schlüssigen Endes an, wodurch die bisherige Handlung rekapituliert wird. Es stehen somit einige Möglichkeiten zur Verfügung, um sich selbst abzufragen.

Es sei angemerkt, dass es für das Erinnern von Information unerheblich ist, ob man beabsichtigt, zu lernen oder nicht; einzig und allein die Verarbeitungstiefe bestimmt den Umfang des Erinnerns. Die KP operiert in diesem Kontext mit dem Begriffspaar intentionales Lernen und inzidentelles Lernen (Anderson, 2001).

⁵⁴ Mir ist bekannt, dass mancherorts im FU immer noch zweiseitige Vokabelhefte im DIN A6-Format oder kleiner geführt werden, in denen kaum genug Raum zur Verfügung steht, um ein längeres Wort in eine Zeile einzutragen, geschweige denn wichtige Ergänzungen wie Präpositionen hinzuzufügen. Lehrwerke machen glücklicherweise durchweg Gebrauch von dreispaltigen Listen mit Lernhilfen, visuellen Elementen und Beispielsätzen.

Der Selbstreferenzeffekt beeinflusst Gedächtnisleistungen

Tua res agitur.

nach Horaz, 65-8 v. Chr.

Unterrichtsgegenstände sollen an die Erfahrungswelt der Lernenden anknüpfen. Die KP liefert für diese Forderung eine theoretische Basis: Der Selbstreferenzeffekt beschreibt die Erkenntnis, dass Lerngegenstände besser erinnert werden, wenn diese auf die Lernenden oder ihnen nahe stehende Menschen bezogen sind.

Obwohl dieser Effekt als Phänomen durch die KP untersucht wurde, ist noch unklar, welche Mechanismen ihm zugrunde liegen. Die NW können hier nicht aushelfen. Eine Hypothese besagt, dass die Verarbeitungstiefe eine Rolle spielt, weil Lernende über sich und nahe stehende Menschen sehr viel wissen; daher könnten Lerngegenstände tiefer elaboriert werden (Belezza, 1984; Anderson, 2001). Ich meine, dass in diesem Kontext auch untersucht werden sollte, inwiefern sich weitere Faktoren wie beispielsweise Emotionen, Motivation und Aufmerksamkeit in eine Erklärung integrieren lassen.

Aktuelle Lehrwerke wie English G 2000, Level Crossing, Green Line New oder Password to Skyline plus zeigen auf, dass die FE den Selbstreferenzeffekt berücksichtigt, und zwar bei der Auswahl der Lektionstexte und der Gestaltung der Übungen. Dies sei anhand eines Beispiels aus dem Lehrwerk Level Crossing für die Jahrgangsstufe 11 konkretisiert: Das Drama *The Pressure Cooker* thematisiert unter anderem die Sorge von SchülerInnen vor der Nichtversetzung und Berufswünsche, die seitens der Eltern nicht akzeptiert werden. Auch Arbeitslosigkeit und finanzielle Engpässe durch Schul- und spätere Studiengebühren sind Themen des Dramas. In diesem Beispiel ist die Anknüpfung an die Erfahrungswelt der Lernenden besonders gelungen: Das Drama entstammt der Feder von SchülerInnen einer englischen *comprehensive school*. Ein weiteres Beispiel findet sich bei Teepe (2004).

Natürlich existieren auch Unterrichtsgegenstände, bei denen der Selbstreferenzeffekt kaum oder nicht wirkt. Unterschiedlichste wichtige Themen wie *The Norman Conquest*, *The Political System of the USA*, *The Elizabethan Age* oder *relative clauses* beweisen dies. Die in diesem Kapitel besprochenen Faktoren dürfen eben nicht isoliert betrachtet werden, sondern müssen bei der Gestaltung von Lehr-Lern-Arrangements integrativ berücksichtigt werden.

Interferenz- und Kontexteffekte beeinflussen das Gedächtnis

Die KP hat sich intensiv mit den Auswirkungen von Interferenz- und Kontexteffekten auf die Gedächtnisleistung beschäftigt. Daher werden nachfolgend für die FD relevante Erkenntnisse erläutert.

Interferenzeffekte: Wer infolge eines Umzugs die Telefonnummer wechseln muss, empfindet es womöglich zunächst als schwierig, sich die neue Telefonnummer zu merken. Es handelt sich hierbei um ein Phänomen der proaktiven Interferenz: Information, die in der Vergangenheit gelernt wurde, erschwert das Lernen neuer Information. Ist die

neue Telefonnummer irgendwann zuverlässig gespeichert, kann es dazu kommen, dass man sich nicht mehr an die vorherige erinnert. Dies ist ein Beispiel für retroaktive Interferenz: Das Erlernen neuer Informationen erschwert das Erinnern alter Informationen. Das Interferenzproblem beziehen Zimbardo und Gerrig (2003) auf Prüfungssituationen. Sie empfehlen, während der Zeit zwischen der beendeten Prüfungsvorbereitung und dem Termin der Lernerfolgsüberprüfung entweder zu schlafen oder ausschließlich das zu tun oder zu lernen, was sich deutlich vom Prüfungsstoff unterscheidet. Anderson (2001) führt weitere Erkenntnisse zu Interferenzeffekten auf: „Je mehr Fakten mit einem Begriff assoziiert sind, desto länger dauert der Abruf jedes einzelnen Faktums.“ (S. 211) In den beschriebenen Experimenten handelt es sich allerdings um Differenzen von Zehntelsekunden, die für den FU bedeutungslos sind. Wer viel gelernt hat, muss also nicht befürchten, zeitlich ins Nachtreffen zu geraten. Anderson stellt zudem fest, dass das Erinnern von Fakten erleichtert wird, wenn diese beim Lernen kausal miteinander verbunden sind. Außerdem interferiert redundantes Lernmaterial nicht mit einem Gedächtnisinhalt, sondern kann das Erinnern desselben erleichtern. Interferenz tritt nur auf, wenn Inhalte gelernt werden, die „keine innere Beziehung zueinander haben“ (S. 213). Anderson (2001) erklärt diese Ergebnisse anhand der Aktivationsausbreitung innerhalb eines Netzwerkmodells⁵⁵.

Kontexteffekte: Wer hat noch nicht die Erfahrung gemacht, einer Person zu begegnen, die man sicher zu kennen weiß und dennoch nicht in den Kreis der Bekannten einordnen kann? Dieses Phänomen wird in der KP anhand des Prinzips der Enkodierspezifität nach Tulving und Thomson (1973) erklärt: Erinnerungen lassen sich am leichtesten abrufen, wenn der Kontext des Abrufens mit dem des Enkodierens eng verbunden oder kongruent ist (Kandel et al., 2000b; Anderson, 2001; Zimbardo und Gerrig 2003). Dies konnten Godden und Baddeley (1975, 1980) für räumliche Kontexte, sowie Schab (1990) und Herz et. al. (2004) für olfaktorische Kontexte nachweisen. Schabs Erkenntnisse hätten somit Rekowis (2003) Ausführungen zur Bedeutung „unterschiedlicher Lernkanäle[] beim ganzheitlichen Lernen“ (S. 39) argumentativ stützen können. Kontexteffekte treten übrigens insbesondere bei freiem Erinnern und beim Erinnern mithilfe von Hinweisreizen auf; bloßes Wiedererkennen scheinen sie kaum zu beeinflussen (Zimbardo und Gerrig, 2003).

Die Leistung des Gedächtnisses kann mit fortschreitendem Alter erhalten bleiben

Studien am Menschen und an Tiermodellen beweisen, dass das Alter Gedächtnisleistungen beeinflusst. Im statistischen Mittel ist insbesondere die Leistung des expliziten Gedächtnisses eine Funktion des Alters. Allerdings betrifft eine abnehmende Leistungsfähigkeit des expliziten Gedächtnisses nur Einige, denn die Variabilität der Leistungsfähigkeit bei einzelnen ProbandInnen nimmt mit dem Alter zu: Siebzigjährige können die gleiche Leistungsfähigkeit wie Vierzigjährige aufweisen oder auch eine vergleichsweise Reduktion um 50% (Rapp und Bachevalier, 2003).

⁵⁵ Eine Integration der Interferenz- mit der Zerfallstheorie findet sich bei Anderson (2001, S. 213).

Wie ist dieser Befund zu erklären? Mithilfe neuer stereologischer Methoden zur Bestimmung der Neuronendichte konnte ausgeschlossen werden, dass ein scheinbar unvermeidbarer, altersbedingter Neuronenverfall verminderte Leistungen des expliziten Gedächtnisses erklärt. Neuronenverfall muss nicht zwangsläufig eintreten; zudem kann die Leistung des expliziten Gedächtnisses abnehmen, wenn keine signifikante Abnahme der Neuronendichte nachweisbar ist. Weitere Forschung hat ergeben, dass die Ursache vielmehr darin besteht, dass synaptische Verbindungen zwischen dem entorhinalen Cortex und dem Hippocampus aufgelöst werden (Rapp und Bachevalier, 2003).

Auch die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses nimmt entgegen Berndts (2001b) Annahme während des Alterns ab (Byrne, 1998; Rapp und Bachevalier, 2003), was sich auch beim Leseverstehen bemerkbar macht und zukünftig die Entwicklung altersspezifischer Strategien erfordert (Brebion, 2003). Die Ursache für dieses Phänomen ist noch unbekannt. Eine verbreitete Hypothese besagt, dass mit dem Alter generell die Verarbeitungsgeschwindigkeit von Information im Gehirn abnimmt. Diese Hypothese konnte mithilfe eines Modellexperiments unterstützt werden (Byrne, 1998), wenn auch hier weitere Forschung dringend notwendig ist. Insbesondere Bemühungen, das lebensbegleitende Lernen zu optimieren, werden von zukünftiger Forschung profitieren. Es ist offensichtlich, dass noch viel Pionierarbeit zu leisten ist.

Während des Schlafs werden Gedächtnisinhalte konsolidiert

Le Prix Nobel de médecine Otto Loewi affirmait s'être réveillé avec l'idée d'une expérience capable de confirmer sa théorie sur la neurotransmission chimique. Et Mendeleïev aurait trouvé la solution de sa table périodique des éléments chimiques au sortir d'un rêve.

Hervé Morin, 2004

Es mag überraschen, doch Schumann (1994) beschäftigt sich unter anderem mit der Bedeutung des Schlafs für die Erforschung des Fremdsprachenerwerbs. Er beruft sich dabei auf Cartwright und Lamberg (1992). Sie meinen, dass während des REM-Schlafs Erfahrungen aus dem Wachzustand mit vergangenen Erfahrungen verschränkt werden, die ähnliche Emotionen hervorrufen. Auf diese Weise revidiere der Mensch sein Selbstkonzept. Ferner würde vermutet, dass die LTP während des REM-Schlafs stattfindet. Schumann unterscheidet anschließend kanalisiertes Lernen von anhaltendem, tiefen Lernen: Ersteres zeigt wenig individuelle Variation wie beim Laufen lernen und wird durch Stimulusbewertung kaum beeinflusst; letztere Form zeigt individuelle Differenzen und wird erheblich durch den Affekt moduliert. Aus diesen Befunden schließt Schumann, dass die Traumdeutung dazu beitragen könnte, den Fremdsprachenerwerb individuell zu studieren. Er schlägt daher vor, portable Schlaflabors zu nutzen (!).

Aus neurowissenschaftlicher Sicht stellt sich die Bedeutung des Schlafs für den Fremdsprachenerwerb wie folgt dar: Studien am Menschen haben ergeben, dass REM- und SW-Schlaf insbesondere die Konsolidierung impliziter und auch emotionaler Gedächtnisinhalte vermittelt. Nachgewiesen wurde dies für den Fremdsprachenerwerb, intensives Lernen im Allgemeinen, komplexe logische Spiele und motorische Fertigkeit-

ten (Fischer et al, 2002; Walker et al., 2002; Fenn et al., 2003; Hobson und Pace-Schott, 2003; Miyamoto und Hensch, 2003). SW-Schlaf trägt darüber hinaus zur Konsolidierung expliziter Gedächtnisinhalte bei (Hobson und Pace-Schott, 2003). Schlafentzug vermindert folglich intellektuelle Fähigkeiten; dies gilt auch für untypische Abfolgen der NREM- und REM-Zyklen (Mazzoni et al., 1999). Rechtschaffen und Siegel (2000) stellen fest, dass psychoanalytische Interpretationen von Träumen bisher nicht durch die NW ermöglicht wurden. Als gesichert gilt bisher, dass Trauminhalte kaum durch gegebene Stimuli während des Schlafs beeinflusst werden; auch Erfahrungen, die dem Schlaf unmittelbar vorausgehen, beeinflussen unsere Träume unwesentlich. Im Allgemeinen sind Emotionen eines Menschen in Träumen positiv mit Erfahrungen im Wachzustand korreliert. Insgesamt erscheint mir Schumanns Vorschlag vor allem aus praktischer Sicht nicht sinnvoll.

Mednick et al. (2003) fanden heraus, dass ein kurzer Erholungsschlaf von 60 bis 90 Minuten den gleichen Lerneffekt auf eine perzeptuelle Aufgabe⁵⁶ hervorruft wie ein achtstündiger nächtlicher Schlaf. Ob dieser Befund auf das schulische Lernen im Rahmen einer Ganztagsbetreuung transferiert werden kann, muss weiter erforscht werden.

Die wichtigsten Erkenntnisse der NW zum Schlaf sind fachunspezifisch: Sie dienen einer lernförderlichen Lebensführung, wobei Schlaf ein entscheidender Faktor zur Unterstützung des Lernens ist. Doch ist es nicht eine Trivialität, dass man am besten ausgeruht in eine Prüfung geht?

⁵⁶ Es handelte sich um eine Aufgabe zur Textur-Unterscheidung.

7.6 Ergebnisse

Die Struktur des Gedächtnisses

Die Einteilung des Gedächtnisses in ein Ultrakurzzeit-, Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis ist überholt. Das Gedächtnis setzt sich aus verschiedenen Gedächtnissystemen zusammen und geht aus diversen Verarbeitungsaktivitäten des Gehirns hervor. Diese Gedächtnissysteme unterscheiden sich in der Art und Weise, wie Information repräsentiert und organisiert ist, sowie in ihrer Flexibilität. Hierzu zählen das explizite, implizite und emotionale Gedächtnis. Diese Gedächtnisformen vermitteln Wissen, Können und Emotionen.

Die FE und die Spracherwerbsforschung beschäftigen sich hauptsächlich im Rahmen der *interface hypothesis* mit einem uni- oder bidirektionalen Transfer zwischen dem Wissen und Können. Auf neuronaler und funktionaler Ebene ist aber noch nicht hinreichend geklärt, wie die zugehörigen Gedächtnissysteme interagieren. Es gilt als erwiesen, dass Können durch das Tun hervorgerufen wird. Dennoch scheint es möglich zu sein, den Erwerbsprozess durch Wissen zu beeinflussen. Der Grad der Beeinflussung ist aber als gering einzustufen, weswegen viele VertreterInnen der FD grammatiklastigen FU ablehnen. Für den FU ist die Diskussion der *interface hypothesis* von zentraler Bedeutung, weil die Annahme des Transfers vom Wissen zum Können dazu führen kann, Lehr-Lern-Arrangements so zu gestalten, dass Fremdsprachen überwiegend anhand von Regeln vermittelt werden. Die theoretische Fundierung der *interface hypothesis* anhand von PDP-Modellen überzeugt nicht. Die *noticing hypothesis* kann nicht im Kontext der verschiedenen Gedächtnissysteme überprüft werden. Überzeugender sind allerdings Referate zu verschiedenen Gedächtnissystemen und -formen. Dabei werden Hintergrundinformationen vermittelt, aber kein Bezug zum FU hergestellt.

Explizites Gedächtnis

Wissen ist in den Assoziationsfeldern des Cortex gespeichert. Der Hippocampus dient als Zwischenstation, um Information dorthin zu übertragen. Die Informationsverarbeitung des expliziten Gedächtnisses lässt sich in das Encodieren, das Konsolidieren und das Erinnern gliedern. Heute wird im Kontext des expliziten Gedächtnisses das Modell des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley diskutiert. Das Arbeitsgedächtnis kann nur wenig Information über kurze Zeit erhalten. Es setzt sich modellhaft aus drei Komponenten zusammen. Dazu zählen die zentrale Exekutive, die phonologische Schleife und der visuell-räumliche Skizzenblock. Neuerdings wird der episodische Speicher als weitere Subkomponente kontrovers diskutiert.

Aus der Erforschung des Arbeitsgedächtnisses erwachsen Implikationen für die FD, die teilweise in Publikationsorganen der FD vorgestellt werden (z.B. Atkins und Baddeley, 1998; Dittmann und Schmidt, 1998):

1. Beim Vokabellernen ist die Integration in Bekanntes eine Erleichterung. Hierzu gehört auch die Erstsprache. Sie kann nicht unterdrückt werden.

2. Die Effektivität des Vokabellernens steigt aufgrund der Beteiligung der phonologischen Schleife, wenn Wörter laut wiederholt werden.
3. Auch der Grammatikerwerb könnte von der Leistung der phonologischen Schleife abhängen.
4. Lernprogramme können sprachlich retardierten Kindern helfen, ihre Defizite auszugleichen.

Die ersten beiden Punkte liefern eine theoretische Basis für SchülerInnen aktivierende Methoden. Beschäftigen sich VertreterInnen der FE mit Baddeleys Modell, gelingt meist die theoretische Integration. Hinsichtlich der Schlüsse für den FU gelangt die FE meist zu keinen weiterführenden Erkenntnissen: Die vorgeschlagenen Ansätze zur Verbesserung des fremdsprachlichen Leseverstehens (s. Schmidt, 2000) und zur Integration von Sprechpausen in den FU (s. Holtwisch, 1994) müssen noch detailliert untersucht werden. Generelle Vorhersagen über die Leistungsentwicklung im FU anhand der individuellen Untersuchung des Leistungsvermögens der phonologischen Schleife könnten möglich werden (s. Robinson, 1995; Atkins und Baddeley, 1998; Gathercole und Pickering, 2000). Heute sollte dieser Gedanke als Hypothese formuliert und noch nicht im FU berücksichtigt werden (s. Dittmann und Schmidt, 1998).

Implizites Gedächtnis

Nichtassoziatives und assoziatives Lernen sind am Aufbau des impliziten Gedächtnisses beteiligt. Beide Lernformen sind Elemente des Spracherwerbs. Das Gros der sprachlichen Information ist implizit gespeichert, was auch in der FE bekannt ist. Somit erklärt sich, weshalb das Beherrschen einer Sprache und metasprachliches Wissen samt zugehörigen Fachtermini nicht miteinander gekoppelt sind. Der Konnektionismus hilft zu erklären, weshalb man Sprachen nicht automatisch beherrscht, wenn man ihre Regeln beherrscht. Viele Grammatikfehler Lernender dürfen nicht leichtfertig als Unverstand oder Minderbegabung angesehen werden, sondern stellen eine erwerbsbedingte Approximation an einen optimalen Zustand dar.

Lernen auf zytologischer Ebene

Lernen vollzieht sich auf zytologischer Ebene, indem biophysikalische Eigenschaften von Neuronen modifiziert werden und sich die Stärken synaptischer Verbindungen zwischen Neuronen ändern. Dies kann kaum am Menschen untersucht werden. Daher weicht man auf Modellorganismen aus. Dabei scheint bei Wirbeltieren zwischen dem Phänomen der Langzeitpotenzierung und dem Lernen eine Verbindung zu existieren. Die FE und Spracherwerbsforschung beschäftigen sich mit der zytologischen Ebene des Lernens (s. Jacobs, 1988; Jacobs und Schumann, 1992; Pulvermüller und Schumann, 1994; Eubank und Gregg, 1995; Multhaup, 1997a; Traoré, 2002; Götze, 2003; Segermann, 2003). Verweise auf entsprechende neurowissenschaftliche Publikationen sind meist treffend gewählt und entsprechen vorwiegend dem seinerzeit aktuellen Stand der NW. Zusammenfassend lassen sich zwei Muster identifizieren:

Der Streit um Chomskys LAD: Zwei Arbeitsgruppen (s. Pulvermüller und Schumann, 1994; Eubank und Gregg, 1995) ringen um die Legitimation des LAD. Hierbei werden verschiedene Beschreibungsebenen menschlichen Verhaltens miteinander vermischt, was zu keinem Ergebnis führt. Eine wesentliche Schlussfolgerung wird anhand sachlich falscher neurowissenschaftlicher Darstellungen hergeleitet, die auch korrigiert keinen Begründungszusammenhang herstellen würden. Für die FD ergeben sich keine weiterführenden Erkenntnisse.

Das Referat: Ein deutschsprachiger Autor (s. Multhaup, 1995, 1997a) referiert Lernen auf neuronaler Ebene gut strukturiert und umfassend. Die Rezeption neurowissenschaftlicher Erkenntnisse ist bis auf akzidentelle begriffliche Unstimmigkeiten im Vergleich zu anderen Publikationen sehr gut gelungen. Die Darstellung ist allerdings als Hintergrundinformation vor allem hinsichtlich des Konnektionismus zu verstehen, da aus ihr keine Implikationen für die unterrichtliche Praxis erwachsen. Andere Publikationen dienen ebenfalls der Information und weisen keine Bezüge zum FU auf. Dabei zeigt sich ein teils zu stark reduziertes und teils falsches Verständnis neurowissenschaftlicher Konzepte. Dies spiegelt sich auch in der Verwendung unüblicher Begriffe wider (s. Götze, 2003; Segermann, 2003). Die Rezeption der Erkenntnisse der NW erfolgt oft dann falsch, wenn keine entsprechende Quellenarbeit erkennbar ist. Dies kann nicht nachvollziehbare Schlussfolgerungen verursachen.

Modulationsfaktoren von Gedächtnisleistungen

Die NW und die Psychologie beschäftigen sich mit zahlreichen Modulationsfaktoren von Gedächtnisleistungen, die nur integrativ betrachtet werden können. Einige Faktoren sind eher der Forschung der KP und der Entwicklungspsychologie zuzurechen, andere wiederum werden auch durch die NW untersucht. Die FE hat vor allem die Faktoren Aufmerksamkeit, Motivation, Emotionen und Verarbeitungstiefe als Modulatoren von Gedächtnisleistungen identifiziert. Diese und weitere werden nachfolgend zusammenfassend erläutert:

Aufmerksamkeit: Aufmerksamkeit ist eine begrenzte Ressource. Es kann immer nur ein Aspekt zu einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb einer Sinnesmodalität verarbeitet werden. Lernerfolg wird durch den Grad der Aufmerksamkeit gegenüber dem Lerngegenstand moduliert. Dieser Faktor wird im Rahmen der *noticing hypothesis* sachlich richtig in die FE integriert (s. Schmidt, 1990). Dennoch werden die Forschungsergebnisse der NW und der KP nicht ausführlich erläutert. Wie anhand eines Missverständnisses aufgezeigt wurde, muss sich die FD zukünftig vermehrt mit den Fragen beschäftigen, inwiefern limitierte Aufmerksamkeit auf verschiedene Aufgaben verteilt werden kann (s. Robinson, 1995). Der Einfluss der Vigilanz auf Lernprozesse wird entweder nicht berücksichtigt oder falsch eingeschätzt.

Motivation: Der Mensch besitzt ein effizientes Motivationssystem. Dies spricht vor allem an, wenn er Neuem begegnet. Auch Belohnungen wirken motivierend, wobei nicht die Qualität der Belohnung, sondern ihre Unerwartetheit entscheidend ist. Auch die Persönlichkeit anderer kann motivierend wirken, wenn diese sich affirmativ und freundlich verhalten. Die Entwicklungspsychologie hat für die Aufrechterhaltung von

Motivation die Faktoren Kompetenzerleben, Autonomieerleben, soziale Eingebundenheit, die Persönlichkeit der Lehrenden und die Relevanz des Unterrichtsgegenstands für die Lernenden identifiziert. Die FE beschäftigt sich mit Motivation vor allem auf der Verhaltensebene. Sie fordert Erkenntnisse anderer Disziplinen ein, um zu einem einheitlichen Konzept zu gelangen, das durch den Begriff Motivation etikettiert wird (s. Dörnyei, 1998). Besonderes Interesse besteht an den Mechanismen, die der Motivation zugrunde liegen. Deren Aufdeckung soll der FE helfen, diesen Faktor im FU hinsichtlich der Lernenden positiv zu beeinflussen. Es wurde seitens der FE bereits ein in vielen Aspekten schlüssiges Modell vorgeschlagen, in dem Motivation vor allem aus neurowissenschaftlicher Perspektive betrachtet wird (s. Dörnyei, 1998).

Emotionen: Angst und Stress erleichtern das Ausführen einfacher, erlernter Handlungsmuster, hemmen aber Gedächtnisleistungen wie das freie Assoziieren. Dies ist auch in der FE und der Spracherwerbsforschung bekannt. Die FE und Spracherwerbsforschung interessieren sich für die neurowissenschaftliche Basis der Emotionen, um Lernbedingungen zu optimieren und das Phänomen der *language anxiety* zu erklären (s. Gardner und MacIntyre, 1993; Gardner et al., 1997). Diskussionen gestalten sich bislang schwierig, weil auf begrifflicher und konzeptueller Ebene keine Einigkeit herrscht. Dies ist der FE nur bedingt vorzuhalten, da die NW und Psychologie noch keine allgemein anerkannte rezipierbare Theorie der Emotionen geliefert hat. Es ist dennoch möglich, vorläufig Begriffe so zu definieren, dass mit ihnen sicher operiert werden kann. Für die Gestaltung optimaler Lernbedingungen hält die Erforschung der Emotionen zahlreiche Ergebnisse bereit, anhand derer die Vorteile positiver Emotionen und die Schädlichkeit negativer Emotionen vor allem hinsichtlich kreativer Arbeitsaufträge aufgezeigt worden sind. Insbesondere das Phänomen *language anxiety* kann erheblich von den NW und der KP profitieren.

Verarbeitungstiefe: Neue Gedächtnisinhalte werden besonders gut behalten und erinnert, wenn mit ihnen vielfältige Assoziationen mit bereits Bekanntem gebildet werden. Die Theorie der Verarbeitungstiefe wird in der FE kaum explizit erwähnt. Auf entsprechende Publikationen der KP und der NW wird in Einzelfällen rekuriert (z.B. Rohrer, 1993; Kostrzewa, 1994). Dennoch folgt der überwiegende Teil der AutorInnen seit Beginn der 1990er Jahre dieser Theorie. Weitere Erkenntnisse der KP, die mit der Theorie der Verarbeitungstiefe verwandt sind, werden nicht berücksichtigt. Vor allem die Unterscheidung zwischen *maintenance rehearsal* und *elaborative rehearsal* sind für den FU von Bedeutung, weil nur das *elaborative rehearsal* den Lernerfolg steigert.

Selbstreferenzeffekt: Lerngegenstände werden besser erinnert, wenn diese auf die Lernenden oder ihnen nahe stehende Personen bezogen sind. Obwohl dieser Effekt für den FU bedeutsam ist, wird er in Publikationen der FE nicht explizit erwähnt. Er ist aber auch seitens der KP bisher nicht eindeutig erklärt worden. Dennoch wird in allen neueren Unterrichtsmaterialien darauf geachtet, an die Erfahrungswelt der Lernenden anzuknüpfen, sofern der Unterrichtsgegenstand dies zulässt.

Interferenz- und Kontexteffekte: Diese Effekte wirken auf das Lernen und erklären einige Probleme im Zusammenhang mit Gedächtnisleistungen. Sie werden seitens der FE nicht berücksichtigt, könnten der FD aber helfen, Lernbedingungen im FU zu optimieren.

Alter: Die Leistung des expliziten Gedächtnisses kann mit dem Alter abnehmen, sie muss es aber nicht. Dies gilt auch für die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses. In einem Einzelfall wird fälschlicherweise angenommen, dass Gedächtnisleistungen nicht durch das Altern beeinträchtigt werden (s. Berndt, 2001).

Die Bedeutung des Schlafs: Schlaf ist für die Konsolidierung von Wissen notwendig. In einer Publikation der FE wird nicht nachvollziehbar vorgeschlagen, *language anxiety* anhand von Trauminhalten zu diagnostizieren (s. Schumann, 1994).

III Welche Bedeutung haben die Neurowissenschaften für die Fremdsprachendidaktik?

8 Diskussion

Die Vorgänge im Gehirn liegen ebenso
in der Reichweite der Wissenschaft
wie der Ursprung des Universums.

Antonio Damasio, 2004

The theory of learning is pre-scientific – in the sense that it lacks as yet either predictive or explanatory power. We do not understand sufficiently well, how children and adults learn to dare to offer an educational or training guarantee. The science of education is in its Linnean phase, drawing up lists of examples of successful learning, clarifying and sorting effective teaching practices; but it still awaits its Darwin with a powerful explanatory theory of learning.

OECD, 2002

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit besteht darin, die Bedeutung der NW für die FE zu bestimmen. Hierzu wurde zunächst die Rezeption der NW in den vergangenen 15 Jahren analysiert. Zunächst diskutiere ich die Ergebnisse der Analyse in Bezug auf die Fragen 1 und 2, die ich in der Einleitung aufgeworfen habe. Dabei orientiere ich mich an Themenfeldern und typischen Rezeptionsmustern, wobei ich auf ausgewählte AutorInnen verweise. Anschließend wende ich mich der Frage zu, welche Bedeutung die NW zukünftig für die FD haben könnten. Ich beziehe mich dabei auf die Fragen 3 bis 10 der Einleitung, die ich integrativ beantworte.

8.1 Diskussion des Ist-Zustands

Zur Integration der Neurowissenschaften in die Fachdidaktik Englisch

Lokalisation von Sprache vermittelnden Regionen des Gehirns: Wenige Autoren widmen sich der Frage, welche Regionen des Gehirns Sprache vermitteln. Dies geschieht insbesondere bei Monografien in Form umfassender Referate, wobei Erkenntnisse aus dem weiten Feld der NW in die FE transportiert werden (s. Multhaup, 1995, 1997a, 1997b; Meier, 1999). Diese Erkenntnisse fungieren nur als Hintergrundinformationen und reichen nicht aus, um Lehr-Lern-Arrangements zu legitimieren.

Chomskys Annahme eines Spracherwerbsmoduls: Diese Annahme ist überholt, gleich ob man den Begriff Spracherwerbsmodul metaphorisch oder wörtlich versteht. Sprache entsteht als synergetische Leistung vieler Regionen des Gehirns. Diese Auffassung spiegelt sich in der FE wider. Ebenfalls wird betont, dass auch die rechte Hemisphäre in die Sprachverarbeitung involviert ist (s. Multhaup, 1995, 1997b; Götze, 1999). Die Theorie und Praxis der FD kann von diesen Erkenntnissen nicht profitieren.

Legitimation von Handlungsempfehlungen für die Praxis: Vielen AutorInnen der FE gelingt es nicht, ihre Standpunkte mithilfe der NW überzeugend zu untermauern:

1. Bei manchen Publikationen sticht die Überinterpretation eines Modells zur Verarbeitung von Stimuli durch die Hemisphären hervor (s. Goldberg und Costa, 1981), anhand dessen multimodales Lernen im FU schwerlich legitimierbar ist (s. Danesi und Mollica, 1988; Danesi, 1994; Robertson, 2000). Brechmann und Scheich (2004) haben gezeigt, dass offenbar die Art der Aufgabe die Gehirnregion ihrer Verarbeitung bestimmt. Offenbar kann die Verarbeitung von Stimuli nicht eindeutig einer Hemisphäre zugeordnet werden.
2. Aus der nahezu unüberschaubaren Anzahl neurowissenschaftlicher Publikationen werden manche ungeeignet ausgewählt (z.B. Zencius et al., 1998) und/oder ihre Aussagekraft in Bezug auf die FD überbewertet (z.B. di Virgilio und Clarke, 1997). Eine Integration mit der FD überzeugt in diesen Fällen nicht (s. Schiffler, 2000, 2002). Meines Erachtens besteht ein Problem darin, dass viele Handlungsempfehlungen, die sich in der Praxis bewährt haben und aus lernpsychologischer Perspektive legitimierbar sind, unter ihrer zusätzlichen ungeschickten neurowissenschaftlichen Begründung leiden.
3. Manchmal werden Schlussfolgerungen aus einer einzigen Studie gezogen, wovon ich dringend abrate. So kann anhand der Aktivierungsstudie von Kim et al. (1997) nicht der Frühbeginn des Fremdsprachenlernens legitimiert werden (s. Götze, 1999). Die Repräsentation von Sprache im Gehirn wird erst seit wenigen Jahren mittels hochauflösender bildgebender Verfahren intensiv erforscht. Seit ebenso kurzer Zeit beschäftigen sich die NW mit der Identifikation von Faktoren, die die Repräsentation beeinflussen. Entsprechend umsichtig müssen die Ergebnisse hinsichtlich des Erwerbsalters und des Grads der Sprachbeherrschung der ProbandInnen interpretiert werden (z.B. Kim et al., 1997; Perani et al., 1998; Chee et al., 1999, 2003; Hahne und Friederici, 2001; Wartenburger et al., 2003; Wattendorf et al., 2003; Briellmann et al., 2004).
4. Mitunter fällt auf, dass AutorInnen neurowissenschaftliche Termini verwenden (s. Holtwisch, 1994; Rekowski, 2003; Schiffler, 2002, 2003a), die wenig erklären. Dadurch entsteht der Eindruck, dass Handlungsempfehlungen durch das Ansehen der NW aufgewertet werden sollen, was auch von anderen AutorInnen moniert wird (s. Dietrich, 1990; Schäfer, 2003). So können eine überdurchschnittlich hohe Flexibilität des Gehirns oder eine besondere neuropsychologische Hirnorganisation nicht erklären, dass es manchen Menschen gelungen ist, im Erwachsenenalter eine Fremdsprache sehr gut zu beherrschen (s. Ioup et al., 1994; Bongaerts et al., 1997).
5. Das Förderkonzept *enriched environment* wird von Bruer (1997) zu Recht kritisiert. Die Begründung dieses Förderkonzepts basiert meist auf dem unzulässigen Transfer von Tierversuchen mit Ratten auf den Menschen (s. Diamond et al., 1972, 1987; OECD, 2002). Dabei wird eine artgerechte Haltung der Ratten als Kontrollansatz als eine mit Stimuli angereicherte Umgebung überinterpretiert, weil die Ratten des Versuchsansatzes in einer vergleichsweise reizkargen Umgebung gehalten wurden (s. Jacobs, 1988). Abgesehen von solch falschen Interpretationen warne ich davor, dieses Förderkonzept unkritisch anzuwenden: Es macht keinen Sinn, Kinder mit möglichst vielen und vielfältigen Stimuli zu

überhäufen, die über die kognitiven Verarbeitungskapazitäten des gegenwärtigen Entwicklungsstands ihres Gehirns hinausgehen (s. Elman, 1994). Im Gegensatz hierzu ist eine altersgerechte frühe Förderung überaus wichtig.

6. Im Vergleich zu vielen anderen AutorInnen der FD gehen manche erheblich umsichtiger zu Werke. Dabei fällt auf, dass der Ertrag für die FD in Bezug auf spezielle Fragestellungen wie zum Beispiel das multimodale Lernen noch sehr gering ist (s. Müller, 2003). Müllers Vorgehensweise sagt mir zu, weil er interdisziplinär arbeitet, eine umfassende Quellenarbeit vornimmt und zurückhaltend Schlüsse für die FD zieht. Eine ähnliche Vorgehensweise findet sich bei Singleton und Ryan (2004).

Spracherwerb in Abhängigkeit von Genen und der Umwelt: In einem Einzelfall wird der genetische Faktor des Spracherwerbs als unwesentlich betrachtet (Jacobs, 1988). Diese Position habe ich kritisiert, weil die Entwicklung des Menschen von genetischen, epigenetischen und Umwelt bedingten Faktoren beeinflusst wird, die synergetisch wirken. Allerdings versteht man heute noch nicht, wie diese Faktoren auf die Bildung und Funktion eines Organs wie dem Gehirn wirken und sich spezielle Regionen entwickeln, die Sprache vermitteln. Die Erforschung des FOXP2-Gens und weiterer Gene könnte zukünftig dazu beitragen, vor allem Beeinträchtigungen des Spracherwerbs besser zu verstehen. Für die FD lassen sich heute noch keine weiterführenden Schlüsse ziehen.

Konnektionismus: Hinsichtlich der Frage, wie das Gehirn Sprache verarbeitet, hat sich in der FE offenbar ein Paradigmenwechsel vom Symbolismus zum Konnektionismus vollzogen. Biologische und künstliche neuronale Netze werden an einigen Stellen in Publikationen der FE integriert. Es hat aber den Anschein, als ob seit der Jahrtausendwende die Konjunktur dieses Themenfelds in der FE stark rückläufig ist. Vermutlich wurde bemerkt, dass ohne weitere Forschung Diskussionen nicht vorangebracht werden können:

1. Das Themenfeld der biologischen neuronalen Netze wird lediglich gestreift, wenn eine kritische Phase des Spracherwerbs diskutiert wird. Dabei berufen sich die meisten AutorInnen (s. Patkowski, 1990; Ioup et al., 1994; Wode, 1994; Bongaerts et al., 1997; Guion et al., 2000) auf klassische Literatur von Lenneberg (1967, 1972) und lassen weitere, vor allem neuere Publikationen der NW außer Acht, die wichtige Impulse liefern. Für die FD schließen die meisten AutorInnen, dass der Fremdspracherwerb in früher Kindheit einsetzen sollte (s. Johnstone, 2002). Hierbei ist zu beachten, dass ein Frühbeginn des Fremdsprachenlernens nur dann auf lange Sicht Vorteile bringt, wenn die Lernbedingungen stimmen. In diesem Kontext liefern Singleton und Ryan (2004) eine sehr gut gelungene Darstellung, wobei Singleton als Vertreter der FD mit Ryan als Vertreterin der NL kooperiert. Dieser interdisziplinäre Ansatz zur Erforschung des Altersfaktors ist beispielhaft und hebt sich in seiner Herangehensweise an eine spezielle Fragestellung der FD von den meisten Studien ab.
2. Die FE interessiert sich auch für konnektionistische Modellversuche der NI, anhand derer bestimmte grammatische Phänomene simulierbar sind. Die Studie

von Rumelhart und McClelland (1986a) dient vielen AutorInnen als Paradebeispiel, um die theoretische und praktische Bedeutung konnektionistischer Modelle für die FD zu diskutieren. Neben guten Referaten (z.B. Ellis, 1999) wird deutlich, dass die Grenzen zwischen der FD und anderen Disziplinen überschritten werden, um den Spracherwerb zu erforschen (s. Gasser, 1990; Plunkett, 1998). Die Integration der Ergebnisse beider Autoren mit der FD erfolgt allerdings verhalten und wenig konkret. Dies ist durch die geringe Aussagekraft der Versuchsergebnisse begründet.

3. Für die Praxis wird das Erklärungspotenzial des Konnektionismus gelegentlich überschätzt: Ein Brückenschlag zum Konstruktivismus überzeugt nicht (s. Wendt, 2000, 2002). Ebenso wenig gelingt die Stützung der *noticing hypothesis* (s. Schmidt, 1990), des multimodalen Lernens (s. Rivers, 1991) und des *code-mixing* (s. Celik, 2003). Ferner wird ungeschickt versucht, *substitution drills* zu verwerfen (s. Rivers, 1991).
4. In der FE und der Spracherwerbsforschung ist man sich noch nicht über die Aussagekraft und Plausibilität konnektionistischer Modelle einig (z.B. Hatch, 1990; Sokolik, 1990; Jacobs und Schumann, 1992; Major, 1996; Plunkett, 1998). Ein typisches Beispiel liefert Carroll (1995), deren heftige Kritik an der Modellbildung einerseits viele Aspekte aufzeigt, die zu Optimierungen der Modelle und der Versuchsdurchführungen beitragen könnten. Ich denke dabei vor allem an verfügbare biologisch plausiblere Lernalgorithmen. Andererseits ist es eine inhärente Eigenschaft jeden Modells, dass das Original nicht akribisch nachgebildet wird, da sich sonst die Modellbildung erübrigen würde.

Verschiedene Gedächtnisformen: Die FE hat damit begonnen, aus der KP bekannte Konzepte zusätzlich aus neurowissenschaftlicher Perspektive zu betrachten. Prinzipiell besteht die Schwierigkeit darin, einen Bogen zwischen der neuronalen Ebene und der des Verhaltens zu spannen, weil seitens der NW und KP zur Verbindung dieser beiden Beschreibungsebenen bisher wenige Erkenntnisse vorliegen. Erkenntnisse der NW und KP zur Erforschung der Struktur des Gedächtnisses werden seitens der FE genutzt, um die Diskussion der *interface hypothesis* weiter zu entwickeln (s. Hecht und Hadden, 1992; Robinson, 1995; Multhaup, 1997a, 1997b; Götze, 1999; Traoré, 2002; Hulstijn, 2002; Segermann, 2003). Dies geschieht in einigen Fällen unzulänglich, weil unvereinbare Aspekte aufeinander bezogen werden (s. Robinson, 1995) oder Ausführungen nicht nachvollziehbar sind (s. Segermann, 2003). Hulstijn (2002) hat richtig erkannt, dass wir vor allem auf funktionaler Ebene noch sehr wenig über die Interaktion der Gedächtnissysteme wissen und sich die FD gedulden muss, bis weiterführende Erkenntnisse verfügbar sind. Die NW und KP haben anhand verschiedener Ansätze viele Erkenntnisse gewonnen, wie das Lernen und das Gedächtnis funktionieren. Hinsichtlich der Interaktion von Gedächtnissystemen untereinander und mit Faktoren, die Gedächtnisleistungen beeinflussen, besteht aber noch erheblicher Forschungsbedarf.

Baddeleys Modell des Arbeitsgedächtnisses ist für die FD wichtig: Ein weiteres Themenfeld der KP und NW ist die Erforschung des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeleys klassischem Modell auf verschiedenen Beschreibungsebenen. Im Vergleich zu den

bisher ausgeführten Themen liefert dieser Aspekt einen größeren Ertrag für die FD. Meines Erachtens liegt dies daran, dass sich viele der unten genannten AutorInnen auf diesen Bereich der KP und NW spezialisiert haben und nicht wie manch andere anhand bescheidener Erkenntnisse versuchen, den Spracherwerb oder die Verarbeitung von Sprache als großes Ganzes zu erklären. Sicherlich muss auch Baddeleys Modell mit den erläuterten Prinzipien der Modellbildung in Einklang gebracht werden, denn es wird in Details kritisiert. Dennoch hat es sich bewährt, weil es viele kognitive Phänomene erklärt. Die FE hat die Bedeutung des Modells erkannt und rezipiert es in der Regel richtig (s. Multhaup, 1997a; Pilzecker, 1998; Götze, 1999). Manche AutorInnen leiten daraus Empfehlungen für die Praxis ab und beziehen sich dabei auf die Bereiche Wortschatz (s. Holtwisch, 1994; Atkins und Baddeley, 1998; Dittmann und Schmidt, 1998), Grammatik (s. Atkins und Baddeley, 1998; Dittmann und Schmidt, 1998), Aussprache (s. Holtwisch, 1994; Winter, 2000), Leseverstehen (s. Schmidt, 2000) und Vorhersagen über die schulische Leistungsentwicklung (s. Atkins und Baddeley, 1998; Gathercole und Pickering, 2000). Empfehlungen zu Leistungsvoraussagen stehen allerdings noch auf tönernen Füßen (s. Dittmann und Schmidt, 1998) und müssen durch weitere Forschung legitimiert werden.

Atkins und Baddeley (1998), die von Hause aus nicht der FD angehören, publizieren in einem Publikationsorgan der FD. Wie bei Dittmann und Schmidt (1998) wird deutlich, dass die Muttersprache beim Fremdspracherwerb eine Hilfe und kein Hindernis ist (s. Figge, 2000). Es ist auch anzunehmen, dass die muttersprachliche Kompetenz die fremdsprachliche beeinflusst (s. Atkins und Baddeley, 1998). Zudem stützt die Studie von Dittmann und Schmidt Forderungen, im FU Techniken anzuwenden, die möglichst vielen SchülerInnen zu hohem Sprachumsatz verhelfen (s. Butzkamm, 2004). Bei Studien wie denen von Dittmann und Schmidt (1998), Gathercole und Pickering (2000) oder Schmidt (2000) fällt deutlich auf, dass in Bezug auf bestimmte Themenfelder die Grenzen zwischen der FD, KP und NW fließend sind.

Lernen auf neuronaler Ebene: Die FE beschäftigt sich auch mit zytologischen Aspekten des Lernens. Manche Autoren (s. Jacobs, 1988; Jacobs und Schumann, 1992; Pulvermüller und Schumann, 1994; Eubank und Gregg, 1995) diskutieren die Existenz eines Spracherwerbsmoduls. Dabei wird anhand der Verwendung des Begriffs Stimulation deutlich, dass manche Autoren aneinander vorbei reden und es nicht bemerken (s. Jacobs und Schumann, 1992; Eubank und Gregg, 1995). Von Ausnahmen abgesehen (s. Multhaup, 1997a) fällt zudem auf, dass neurowissenschaftliche Termini falsch oder unpassend verwendet werden (s. Eubank und Gregg, 1995; Götze, 2003) oder Konzepte nicht richtig aufgenommen werden (s. Segermann, 2003). Den AutorInnen gelingt es nicht, Implikationen für die FD aufzuzeigen, was heute in Ermangelung weiterer Erkenntnisse auch noch nicht möglich ist.

Modulation von Gedächtnisleistungen: Die FE beschäftigt sich mit verschiedenen Faktoren, die Gedächtnisleistungen modulieren. Hierzu gehören Aufmerksamkeit in Bezug auf die *noticing hypothesis* (s. Schmidt, 1990), Motivation (s. Dörnyei, 1998), Emotionen hinsichtlich des Phänomens *language anxiety* (s. Gardner und MacIntyre, 1993) und allgemeiner Betrachtungen (Finkbeiner, 2001; Traoré, 2002; Bolitho et al., 2003) sowie die Verarbeitungstiefe (s. Rohrer, 1993; Rivers, 1991; Schönpflug, 2003).

Wenn ungünstigerweise Motivation und Emotionen synonym behandelt werden, muss bedacht werden, dass die FE vor der Schwierigkeit steht, die seitens der NW und Psychologie uneinheitlich definierten Begriffe und Konzepte übernehmen zu müssen.

Zusammenfassend stelle ich fest, dass die FE diverse Erkenntnisse der NW sowohl in Diskussionen fremdsprachendidaktischer Theorien als auch in Handlungsempfehlungen für die unterrichtliche Praxis integriert. Dabei dominieren theoretische Diskussionen, und der Ertrag für die Praxis ist noch gering. Die meisten der vorgestellten Arbeitsgruppen, die sich aus VertreterInnen verschiedener Disziplinen zusammensetzen, erzielen in meinen Augen überzeugendere Ergebnisse als einzelne AutorInnen der FD, die mehrheitlich wenige Publikationen anderer Disziplinen rezipieren. Erstere konzentrieren sich zudem auf einen kleinen Ausschnitt der Phänomene Sprache und Gedächtnis, letztere schneiden gleich mehrere, teils sehr verschiedene Themen an, die oft oberflächlich behandelt werden. Zukünftig ist eine umfassendere Quellenarbeit unter Berücksichtigung neuerer Publikationen notwendig. Ferner müssen aus diesen Publikationen umsichtiger Schlüsse für die FD gezogen werden, damit nicht der Anschein erweckt wird, dass sich die FE Erkenntnisse der NW maßschneidert. Auch die Verwendung der Fachterminologie der NW ist optimierungsbedürftig. Wenn auch nicht genau quantifizierbar, lässt sich leicht abschätzen, dass insbesondere neurowissenschaftliche Aspekte der Sprache und des Gedächtnisses nur ein marginales Thema der FE sind, denen zukünftig mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden sollte. Das, was ich beanstande, werde ich als Symptome wichtiger Pionierarbeit, bei der Erkenntnisse zweier sehr verschiedener Disziplinen zusammengeführt werden sollen.

Was übersieht die Fachdidaktik Englisch?

Einige Erkenntnisse der NW bleiben unbeachtet, die Entscheidungshilfen für fremdsprachendidaktische Theorien und die unterrichtliche Praxis darstellen, wenn sie richtig kombiniert und umsichtig mit Erkenntnissen der FD integriert werden. Dies sei im Folgenden konkretisiert.

Das Ende ‚der‘ kritischen Periode des Spracherwerbs: Da Erkenntnisse der NW zu sensiblen und kritischen Perioden des Spracherwerbs seitens der FE unzureichend rezipiert werden, ist in der Regel von ‚der‘ kritischen Periode des Spracherwerbs die Rede (z.B. Westphal, 1989; Patkowski, 1990; Wode, 1994; Bongaerts et al., 1997; Guion et al., 2000). Hierbei handelt es sich um eine zu starke Vereinfachung der biologischen Realität, wodurch die Sicht auf Lösungen von Fragen zum Spracherwerb verstellt wird. Tatsächlich muss der Spracherwerb als komplexes Zusammenspiel hierarchisch organisierter Entwicklungsstufen verschiedener Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen betrachtet werden. Diesen Entwicklungsstufen liegen sensible und kritische Perioden zugrunde, wobei angenommen wird, dass kompensatorische Leistungen des Gehirns in begrenztem Umfang verpasste kritische Perioden ausgleichen können. Zudem können verpasste sensible Phasen durch hohe Aufmerksamkeit, Motivation und Zeitinvestition nachgeholt werden (s. Knudsen, 2004). Wie die Hierarchie der Entwicklungsstufen genau strukturiert ist und wie sie funktioniert, können die NW heute noch nicht beantworten. Wie es auch Singleton und Ryan (2004) andeuten, schlussfolgere ich aus den Er-

gebnissen meiner Analyse, dass die Vorstellung einer kritischen Periode des Spracherwerbs aufgegeben werden muss, da sie in Anbetracht neuerer Erkenntnisse zur Entwicklung des menschlichen Gehirns überholt ist; sie ist ein Hemmschuh für eine zeitgemäße Betrachtung des Spracherwerbs seitens der FD und Spracherwerbsforschung.

Frühbeginn des FU: Zum Frühbeginn des FU liegen seitens der NW hilfreiche Erkenntnisse vor, die von der FE nicht beachtet werden. Singleton und Ryan (2004) vertreten unter Berücksichtigung von Erkenntnissen der FD, Linguistik, NW und Psychologie folgende Auffassung: „[...] *given the right learning conditions*, learners exposed to early L2 instruction may have some advantage in the very long run over those whose exposure begins later.“ (S. 227) Ich bin mit den Autoren einer Meinung, dass viele Faktoren den Spracherwerb beeinflussen und dass die Kommunikationsfähigkeit in einer Fremdsprache prinzipiell in jedem Alter hergestellt werden kann. Im Gegensatz zu Singleton und Ryan empfehle ich aber ausdrücklich den Frühbeginn des FU für Kinder mit einer typischen Sprachentwicklung bereits in der Grundschule. Dabei berücksichtige ich die Ausführungen von Knudsen (2004) zu sensiblen und kritischen Perioden sowie Studien zu grammatischen Leistungen in Bezug auf das Erwerbsalter (s. Emmorey et al., 1995; Barinaga, 1996; Hahne und Friederici, 2001; Newport, 2002), die Indizien für den Vorteil des früh einsetzenden FU liefern. Weitere Forschung ist jedoch notwendig, um die Repräsentation von Sprache im Gehirn in Bezug auf die Parameter Erwerbsalter und Grad der Sprachbeherrschung besser zu verstehen.

Ich bin der Meinung, dass ein institutionalisierter Frühbeginn einer Fremdsprache in der Grundschule die SchülerInnen nur dann optimal fördert und fordert, wenn vier wesentliche Bedingungen erfüllt sind (s. Stern, 1976; Singleton und Ryan, 2004):

1. Die Schülerinnen und Schüler benötigen sehr gute sprachliche Vorbilder. Die personellen Ressourcen der Grundschulen müssen diesbezüglich gesichert sein.
2. Die Schülerinnen und Schüler benötigen altersbezogene Lernmaterialien und Lehr-Lern-Arrangements. Es müssen Unterrichtsmethoden eingesetzt werden, die die Entwicklung des metasprachlichen Bewusstseins der Frühbeginner berücksichtigen. Dieses ist nach Grimm und Weinert (2002) ab dem 8. Lebensjahr⁵⁷ soweit entwickelt, dass erste Schritte darin unternommen werden können, über Sprache zu reflektieren und Sprachregularitäten zu erklären. Vorher ist mit einer impliziten Repräsentation des Sprachwissens, begleitet von natürlichen „Fehler[n] auf der Verhaltensebene [und] spontanen Selbstkorrekturen“ (S. 535), zu rechnen. Unter zusätzlicher Berücksichtigung von Erkenntnissen zur Informationsverarbeitung des Gehirns nach dem konnektionistischen Paradigma (z.B. Spitzer, 2003) muss sich der frühe FU überwiegend an guten sprachlichen Beispielen orientieren und wenig an sprachlichen Regeln. Es sollten daher kommunikationsorientierte Lehr-Lern-Arrangements eingesetzt werden, in denen mög-

⁵⁷ Hierbei handelt es sich wie bei vielen Altersangaben um einen Durchschnittswert. Der ‚statistische Lerner‘ existiert jedoch nicht. Real ist von heterogenen Entwicklungs- und Leistungsfortschritten auszugehen, denen in jeder Schulform mit einer binnendifferenzierenden Unterrichtsgestaltung begegnet werden muss.

lichst viele Schülerinnen und Schüler regelmäßig Sprachkontakt erhalten – beispielsweise mehrmals wöchentlich eine Unterrichtseinheit.

3. Zwischen der Primar- und Sekundarstufe benötigen die Schülerinnen und Schüler anstatt einer Schnittstelle eine Gelenkstelle. Denn zu Beginn der Sekundarstufe I bringen sie hinsichtlich ihrer L2 bereits Können und Wissen mit. Während der Aus- und Weiterbildung der Lehrerinnen und Lehrer bietet sich die Gelegenheit, auf die veränderte Situation einzugehen. Ebenso müssen die Lehrwerke für den FU das bereits vorhandene Können und Wissen berücksichtigen.
4. Individuelle Lernschwierigkeiten im sprachlichen Bereich müssen rechtzeitig diagnostiziert, therapiert und beim Frühbeginn des FU umsichtig berücksichtigt werden.

Berichte über Menschen, denen es auch im Erwachsenenalter gelungen ist, eine Fremdsprache perfekt zu erwerben, könnten als Gegenargument gewertet werden, einen früh einsetzenden FU zu fordern. Ich habe für dieses Phänomen eine Erklärung geliefert, indem ich Spracherwerb als Hierarchiegefüge verschiedener Fähigkeiten und Fertigkeiten betrachte, wobei sich darin eingebettete sensible Perioden dadurch auszeichnen, dass zeitlebens unter hohem Aufwand neuronale Netze umstrukturiert werden können. Dieser Aufwand manifestiert sich bei sehr erfolgreichen älteren Lernenden einer Fremdsprache in einer sehr hohen Kontaktzeit. Zudem sind sie hoch motiviert, die Fremdsprache zu erwerben und haben ihr viel Aufmerksamkeit gewidmet. Hierbei handelt es sich um einen synergetischen Effekt mehrerer Faktoren, der in meinen Augen die sehr guten Leistungen erklärt. Zu welchen Anteilen die Begabung und das Geschlecht eine Rolle spielen, kann nach derzeitigem Kenntnisstand nicht eindeutig festgestellt werden. In meinen Augen handelt es sich um die heute schlüssigste Erklärung des Phänomens, dass es manchen Menschen gelingt, im Erwachsenenalter eine Fremdsprache in allen Anforderungsbereichen mit sehr guten Leistungen zu erwerben. Umgekehrt erklärt sich, weshalb Menschen in jungen Jahren eine Fremdsprache leichter erwerben können, wenn sie gefördert und gefordert werden.

Konnektionistische Modellversuche: Wie Elman (1994) mit seinen Modellversuchen überzeugend unterstreicht, wählt das Kind entsprechend seines Entwicklungsstands diejenigen Stimuli, die es verarbeiten kann. Die Erforschung hierarchisch organisierter Entwicklungsstufen, die ich im Kontext der sensiblen und kritischen Perioden diskutiert habe, weist ebenfalls in die Richtung, dass das Gehirn Stimuli in Abhängigkeit von seinem Reifestadium verarbeitet. Elman behält Recht, wenn er die Unvollkommenheit eines heranwachsenden Kindes in Bezug auf kognitive Leistungen als notwendig für eine typische Entwicklung betrachtet. Auch die Entwicklung des metasprachlichen Bewusstseins muss im Kontext der Reifung des Gehirns betrachtet werden. Konnektionistische Modelle, die bestimmte Aspekte des Spracherwerbs simulieren, müssen daher als Methode der Erkenntnisgewinnung ihren berechtigten Platz finden. Allerdings wäre es gewagt, allein anhand solcher Modelle Phänomene des Spracherwerbs erklären zu wollen. Ich betrachte die Ergebnisse von Modellversuchen als einzelne Mosaiksteine zur Erklärung sprachlicher Phänomene – ebenso wie Ergebnisse, die anhand anderer Methoden am Menschen gewonnen werden. Meines Erachtens wird zukünftig eine integrative

Bewertung aller Ergebnisse dazu beitragen, ein schärferes Bild des Spracherwerbs entstehen zu lassen. Gerade in Bezug auf die Modellbildung unterliegt der Transfer der gewonnenen Erkenntnisse auf die Realität einem Werturteil. Unterschiedliche Meinungen sind daher vorprogrammiert. Als Abhilfe habe ich drei Prinzipien der Modellbildung erläutert, die es erleichtern, Ergebnisse aus Modellversuchen hinsichtlich ihrer Aussagekraft zu bewerten: die Prinzipien der Entsprechung, der Einfachheit und Adäquatheit sowie der Exaktheit und Produktivität.

Struktur und Funktion des Gehirns: Die Struktur und Funktion des Gehirns bedingen, dass es aus den einfließenden Informationen Regelmäßiges extrahiert. Würde eine Lehrerin/ein Lehrer in jeder Unterrichtseinheit Regeln der Fremdsprache vermitteln, wäre es falsch zu glauben, dass die SchülerInnen ihre Sprachkompetenz zu verbessern lernten. Die SchülerInnen würden lediglich aus den einfließenden Informationen die Regelmäßigkeit extrahieren, dass die Lehrerin/der Lehrer immerzu sprachliche Regeln präsentiert. Wir müssen daher die Vorstellung aufgeben, dass das Gehirn automatisch das lernt, was gelehrt wird. Niemand kann sich dem Lernen verschließen, aber entscheidend ist, was gelernt wird. Soll eine Fremdsprache gelernt werden, müssen zum Beispiel anhand von halbkommunikativen Strukturübungen (s. Butzkamm, 2002) oder weiteren Techniken mit hohem Sprachumsatz (s. Butzkamm, 2004) viele gut gewählte Sprachbeispiele als Muster geliefert werden. Auf diese Weise entsteht sukzessive die Einsicht der Lernenden in das Funktionieren der Fremdsprache. Danach ist es den SchülerInnen möglich, selbst eine Regel als Merksatz zu formulieren.

8.2 Diskussion des Soll-Zustands

Der beschleunigte Fortschritt betrifft selten das Grundlagenwissen.
Fortschritt heißt meist Verfeinerung ins Kleine, Ausweitung ins Große,
Verknüpfung von bisher Unverknüpftem.

Hartmut von Hentig, 1999

New findings and technical breakthroughs are often accomplished only
by bridging the gap between completely different disciplines,
and this has been true for many years.

Hideaki Koizumi, 2001

Zukünftig müssen verschiedene Disziplinen Sprache und den Spracherwerb kooperativ erforschen

Die Analyse hat einerseits gezeigt, dass die Bereitschaft der FE vorhanden ist, sich mit den NW zu beschäftigen. Andererseits ist offensichtlich, dass eine ausschließliche Rezipientenhaltung der FE problematisch ist. In wenigen Fällen wurde deutlich, dass die Integration neurowissenschaftlicher Erkenntnisse in die FE bereits gut gelingt, wenn entweder eine Autorin/ein Autor mit beiden Disziplinen vertraut ist (s. Müller, 2003) oder sich AutorInnen unterschiedlicher Disziplinen auf dieselbe Fragestellung konzen-

trieren (s. Singleton und Ryan, 2004). Es sind allerdings zu wenige gute Beispiele vorhanden, um von einer Trendwende in Richtung interdisziplinären geschweige denn transdisziplinären Arbeitens zu sprechen – zumal neurowissenschaftliche Erkenntnisse nur in wenige Publikationen der FE einfließen. Wie die Ergebnisse der Analyse beweisen, nähern sich aber auch die NW Themenfeldern, in denen die FD und Spracherwerbsforschung schon seit langem arbeiten. Ich verweise auf den Frühbeginn des FU oder die Struktur, Funktion und Interaktion verschiedener Gedächtnissysteme. Zudem beschäftigen sich die NW mit der Diagnose untypischer Sprachentwicklung und Interventionsstrategien, was die FD nur peripher betrifft, aber für die Pädagogik im Allgemeinen wichtig ist.

Dieser Befund entspricht dem heutigen Trend, dass Forschungsschwerpunkte verschiedener Disziplinen wie der FD, Spracherwerbsforschung, den NW und der KP mehr oder weniger konvergieren. Dabei liefern die NW häufig eine Erklärung auf materieller Ebene für längst bekannte Phänomene, was von großer Bedeutung ist. Eine große Schwierigkeit besteht vor allem darin, Verhalten mit neuronalen Prozessen in Beziehung zu setzen. Ich erinnere an Perani et al. (1998), die sich fragen, ob die neuronalen Aktivierungsmuster leistungsstarker Bilingualer die Ursache oder die Wirkung der sehr guten Leistungen sind. Wenn auch heute Fragen wie diese noch nicht eindeutig beantwortet werden können, wird die weitere Forschung zu einem besseren Verständnis vieler solcher Phänomene führen. Hierzu werden verbesserte Methoden erheblich beitragen. Ich meine, dass eine gegenseitige Abschottung der FD, Spracherwerbsforschung, NW und KP zukünftig die wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung einschränken würde. Kognitive Fähigkeiten wie die Sprache stellen sich überaus komplex dar, sodass sie nicht durch eine der heute etablierten Disziplinen allein erklärt werden kann.

Die Analyse beweist, dass die FE einige Diskussionen derzeit nicht weiterentwickeln kann, weil notwendige Erkenntnisse fehlen. Heute ist unter anderem noch wenig darüber bekannt, wie Gene, epigenetische Faktoren und die Umwelt beim Spracherwerb zusammenwirken. Auch wissen wir wenig über sensible und kritische Perioden, sowie kompensatorische Prozesse in Bezug auf verpasste kritische Perioden – nicht nur beim Spracherwerb. Wir fragen uns, ob künstliche neuronale Netze geeignete Modelle zur Simulation sprachlicher Phänomene sind oder wie verschiedene Gedächtnissysteme interagieren. Erste Ergebnisse der NW müssen mit Vorsicht betrachtet und durch weitere Forschung überprüft werden. Erst dann kann die Theorie und Praxis der FD in größerem Umfang profitieren. Aus den Ergebnissen der Analyse schließe ich, dass die FE bisher vor allem auf verwertbare Erkenntnisse der NW oder KP wartet. Die FD könnte jedoch anhand einer Kooperation mit den NW und der KP eigene Fragestellungen in interdisziplinäre Forschungsvorhaben integrieren und gewonnene Erkenntnisse für die Theorie und Praxis nutzen. Auf diese Weise könnte die FD die Beantwortung mancher Fragen beschleunigen.

Meines Erachtens ist das Thema Frühbeginn des FU für einen forschungsmethodischen Modellversuch besonders geeignet: Für die FD wird durch die Forschung der NW deutlich, dass wir heute richtig handeln, wenn wir unser Augenmerk auf die Frühförderung richten. Dennoch muss die FD genauer wissen, welche Teilaspekte von Sprache in ihrer Entwicklung wann und wie gefördert werden müssen, damit langfristig ein hoher

Grad der Sprachbeherrschung der Lernenden erreicht wird. Die FD muss auch mehr darüber erfahren, inwiefern neben dem Erwerbsalter weitere Faktoren wie der Beherrschungsgrad der Muttersprache synergetisch wirken. Umgekehrt könnten die NW und KP von einer Kooperation mit der FD profitieren. Wie ich dargestellt habe, muss die Bestimmung des Grads der Sprachbeherrschung im Rahmen von Aktivierungsstudien der NW standardisiert und deutlich erweitert werden. Ich schlage vor, dass die FD mit einer Testbatterie aushilft und so eine bisher kaum gegebene Vergleichbarkeit von Ergebnissen zukünftiger Studien ermöglicht. Zudem könnte eine abgewandelte Testbatterie eingesetzt werden, um durch Langzeitstudien im FU festzustellen, inwiefern der erreichte Grad der Sprachbeherrschung bei früher oder später einsetzendem FU mit Parametern wie dem Alter, der Kontaktzeit, dem Grad der Beherrschung der Muttersprache oder Kombinationen mehrerer Parameter korreliert. Parallel muss im Rahmen einer Langzeitstudie eine mögliche Veränderung der Repräsentation von Sprache im Gehirn in Abhängigkeit der genannten Parameter untersucht werden.

Blickt man über die Grenzen der FD hinaus, liefern die NW heute auch Indizien zur Lösung von Fragestellungen, die für die Bildungsforschung im Allgemeinen von Bedeutung sind. Die Analyse zeigt, dass viele Fragestellungen fachunspezifisch sind. Man denke an Emotionen und die Motivation beim Lernen und Lehren. Auch sei die Erforschung sensibler und kritischer Perioden erwähnt, die zum Beispiel weit reichende bildungspolitische Konsequenzen hat: Soll man sich für eine Frühförderung aussprechen, lieber in lebensbegleitendes Lernen investieren oder beide Ansätze gleichermaßen fördern? Nach heutigem Wissensstand spreche ich mich in Bezug auf die Entwicklung der unterschiedlichen kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen für eine Unterstützung beider Ansätze aus, wobei ich zur Akzentuierung der frühen Förderung rate. Es besteht aber nicht nur hinsichtlich dieser Fragestellung dringend weiterer Forschungsbedarf. Eine Kooperation der Pädagogik, Didaktik, NW und KP ist dabei keine Zauberformel, sondern ein zukunftsweisender und erfolgversprechender Weg.

Einige Grundregeln für die Kooperation bisher entfernter Disziplinen

Aus den Ergebnissen der Analyse leite ich ab, dass eine Kooperation zwischen bisher einander kaum vertrauten Disziplinen wie der FD, Spracherwerbsforschung, den NW und der KP auf eine sichere Basis gestellt werden muss. Dies ist möglich, wenn folgende Grundregeln beachtet werden:

1. Die KP darf den NW nicht länger vorwerfen, längst bekannte Phänomene wie Motivation oder Emotionen noch einmal ohne weiteren Erkenntnisgewinn auf materieller Ebene aufzurollen. Umgekehrt dürfen die NW nicht den Anschein erwecken, die KP ersetzen zu können (s. Kerstan und von Thadden, 2004). Sicherlich hat jede Disziplin ein Partikularinteresse, zum Beispiel unter Verweis auf die unbefriedigenden PISA-Ergebnisse Forschungsmittel einzuwerben und zur Verbesserung der heutigen Situation beizutragen. Die Zukunft liegt allerdings in der Kooperation paritätischer Disziplinen. Stellt man einen Zeitungsartikel unter die Überschrift „Medizin für die Pädagogik“ (s. Spitzer, 2003b), un-

terstellt man der Pädagogik, sie sei krank und könne mithilfe der NW gesunden. Sicherlich ist ein Titel wie dieser ein Blickfang, doch trägt er wenig zu kooperativem Problemlösen bei. Je deutlicher Erscheinungen wie diese ins Blickfeld treten, desto wichtiger ist die Etablierung einer neuen Kultur der interdisziplinären Bildungsforschung unter Beteiligung der Pädagogik und Didaktik.

2. Die FD, Spracherwerbsforschung, NW und KP müssen einander ihre jeweilige Fachterminologie näher bringen. Auch müssen die damit verbundenen Konzepte transparent sein. Dies ist weniger kompliziert als zunächst vermutet werden könnte. Manche Begriffe und Konzepte der FD und Spracherwerbsforschung gehören ähnlichen oder denselben Themenfeldern an, mit denen sich auch die NW und KP beschäftigen. Was zum Beispiel in der FD unter dem Begriff *interface hypothesis* diskutiert wird, bezieht sich in den NW und der KP auf die Interaktion des expliziten und impliziten Gedächtnisses.
3. Soll es zukünftig zu einer paritätischen Kooperation der Pädagogik, Didaktik, NW und KP und womöglich weiterer Disziplinen kommen, müssen diese sich ihre verschiedenen Methoden der Erkenntnisgewinnung vorstellen und in Bezug auf eine Fragestellung die jeweils geeigneten auswählen.
4. Einige AutorInnen der NW und KP verstehen sich bei der Interpretation ihrer Forschungsergebnisse darauf, häufig Konjunktive zu verwenden und auf weitere Forschung zu verweisen. Diese notwendige Umsicht ist jedoch für die Pädagogik und Didaktik problematisch, weil sie im Interesse der Verwertung wissen muss, ob ein Sachverhalt als gesichert, wahrscheinlich oder unwahrscheinlich einzustufen ist (s. OECD, 2002). Die Analyse beweist, dass diesbezüglich eine Lösung gefunden werden muss. Um diese Sortierarbeit möglichst treffgenau vorzunehmen, benötigen wir kooperierende ExpertInnen, die sich in den betroffenen Disziplinen auskennen. Selbstverständlich wird es zukünftig zu Umverteilungen innerhalb dieser Kategorien und vielen Neueinträgen kommen.

Wir benötigen Schnittstellen zwischen der interdisziplinären Bildungsforschung und unterrichtlichen Praxis

Vester (2002) hat 1973 damit begonnen, allgemein verständlich darzulegen, wie unser Gehirn funktioniert. Dabei hat er Bezüge zur schulischen Praxis hergestellt. Zwischenzeitlich verfügen die NW über eine Vielzahl neuer Erkenntnisse, die Spitzer (2003a) gelungen aufbereitet und mit Bildungsfragen in Zusammenhang bringt.

Da interdisziplinäre Bildungsforschung, wie ich sie modellhaft für die FD, NW und KP skizziert habe, heute noch einer Vision gleichkommt, und auch zukünftig viele Forschende und Lehrende eine Rezipientenhaltung einnehmen werden, benötigen wir heute und zukünftig Schnittstellen zwischen der Forschung und Praxis in Form von VermittlerInnen. Es liegt auf der Hand, dass die heutigen Erkenntnisse der NW und KP zu umfangreich sind, als dass man allen Lehrenden zumuten könnte, sich in Eigenregie in diese Disziplinen einzuarbeiten, geeignete Publikationen auszuwählen und mit pädagogischem und didaktischem Wissen zu integrieren. Die Analyse beweist, dass dieses Vor-

haben selbst denjenigen VertreterInnen der FE Schwierigkeiten bereitet, die vor allem forschend tätig sind und innerhalb der Hochschulen leichter Kontakte knüpfen könnten.

Deswegen müssen VermittlerInnen dazu beitragen, den Gedanken- und Ergebnisaustausch zwischen der interdisziplinären Bildungsforschung und der unterrichtlichen Praxis herzustellen. Ihre Aufgabe sollte unter anderem darin bestehen, Publikationen der NW und KP hinsichtlich ihrer Verwertbarkeit für die Pädagogik und Didaktik zu selektieren. Anschließend muss eine Aufbereitung der Ergebnisse in eine allgemein verständliche Form erfolgen, sodass sich die Lehrenden wie auch die Lernenden kontinuierlich fortbilden können. Auch die Aus- und Weiterbildung der LehrerInnen sollte zukünftig die interdisziplinäre Bildungsforschung berücksichtigen. Ein alleiniger Transfer von den NW und der KP zur Pädagogik und Didaktik ist in meinen Augen nicht sinnvoll. Es müssen auch umgekehrt Erkenntnisse aus der unterrichtlichen Praxis an die NW und KP herangetragen werden, da nicht selten Ergebnisse aus der Labor- und Feldarbeit voneinander abweichen: Letztlich müssen sich Lehr-Lern-Arrangements in der unterrichtlichen Praxis bewähren.

Aus transdisziplinärem Arbeiten könnte ein neues Forschungsfeld evolvieren: eine Wissenschaft vom Lernen und Lehren

Die OECD stellte 2002 die Publikation „Understanding the brain: Towards a new learning science“ vor. Darin wird diskutiert, inwiefern interdisziplinäres und transdisziplinäres Arbeiten der Etablierung einer neuen Kultur der Bildungsforschung Rechnung tragen könnten. Die OECD und Koizumi (2001) verstehen interdisziplinäres Arbeiten als Überschneidung zweier Disziplinen und multidisziplinäres Arbeiten als Überschneidung von mindestens drei Disziplinen. Folgt man dieser Definition, handelt es sich bei der vorgeschlagenen Kooperation zwischen der FD, Spracherwerbsforschung, den NW und der KP um einen multidisziplinären Ansatz. Dabei wird der wissenschaftliche Fortschritt in Bezug auf eine Fragestellung durch den Fortschritt jeder einzelnen Disziplin bestimmt (Koizumi, 2001).

Meines Erachtens sollte sich die Bildungsforschung langfristig aber transdisziplinär ausrichten, was hinsichtlich spezieller Fragestellungen zu einer dichten Vernetzung der beteiligten Disziplinen und ihrer Fusion führte. Auf diese Weise könnten so genannte „lebensweltliche“ Fragestellungen besser gelöst werden, die überwiegend nicht wissenschaftsimmanent sind (Bergmann, 2003, S. 65). Transdisziplinarität geht einher mit Flexibilität: Spezielle Fragen der Bildungsforschung, wie die nach dem Sinn des Frühbeginns des FU, erfordern jeweils spezielle Methoden der Erkenntnisgewinnung, die Beteiligung jeweils anderer Disziplinen und eine maßgeschneiderte Koordination der Ressourcen und Prozesse. Langfristig könnte sich aus diesem Ansatz ein neues Forschungsfeld entwickeln, eine neue Wissenschaft vom Lernen und Lehren, die übrigens nichts mit der Neurodidaktik (s. Friedrich, 1995) gemein hat. Transdisziplinäre Bildungsforschung ist heute noch eine Vision. Zukunftskonferenzen und -werkstätten sind eine geeignete Organisationsform, um Möglichkeiten der weiteren Entwicklung der Bildungsforschung auszuloten und zu realisieren (s. OECD, 2002). Dabei erscheint mir ein Zeitfenster von zunächst 10 Jahren als angemessen.

Wir müssen neue Wege in der Bildungsforschung beschreiten und optimierte Rahmenbedingungen in der Praxis schaffen

Wie ich für die FD exemplarisch aufgezeigt habe, können die NW die Bildungsforschung in ihrem Erkenntnisgewinn unterstützen. Deswegen rufe ich dazu auf, die Integration der NW mit Umsicht vorzunehmen, damit dieser wichtige und zukunftsweisende Ansatz nicht im Keim erstickt. Ich sehe die Gefahr darin, dass die NW innerhalb der Bildungsforschung und -politik das auslösen, was man neudeutsch als ‚Hype‘ bezeichnet. Bemühungen, die NW sinnvoll in die Bildungsforschung zu integrieren, würden durch eine euphorische Begeisterung konterkariert, die bald der Enttäuschung weiche. Die NW sind kein Allheilmittel für eine suboptimale Bildungslandschaft. PISA-Spitzenreiter wie die skandinavischen Länder verdanken ihre sehr guten Ergebnisse mit Sicherheit nicht den NW.

Damit stelle ich keinesfalls mein Plädoyer für eine notwendige transdisziplinäre Ausrichtung der Bildungsforschung in Frage. Die besten Forschungsansätze bewirken aber wenig, wenn die Umsetzung der heute und zukünftig verfügbaren Erkenntnisse scheitert und die Rahmenbedingungen für guten Unterricht an Schulen nicht stimmen. Ich denke zwar an die häufig apostrophierten Unterrichtsausfälle, zu großen Lerngruppen oder Sprachprobleme. Vielmehr müssen jedoch grundlegende Strukturprobleme gelöst werden: Zukünftig benötigen wir zum Beispiel besser rhythmisierte Lerneinheiten jenseits des 45-Minuten-Takts, die Abschaffung des kurzzeitigen und intensiven Lernens für eine Lernerfolgsüberprüfung mit anschließendem Vergessen, eine stärkere Akzentuierung des Könnens und eine deutlichere Vernetzung des Wissens über die Grenzen einzelner Fächer hinweg. Auch das Elternhaus hat einen prägenden Einfluss auf die Entwicklung unserer Schülerinnen und Schüler. Eine enge Kooperation mit den Eltern betrachte ich daher als unerlässlich.

Wir müssen dreifach investieren: in neue Wege im Bereich der Bildungsforschung, in eine neue Kultur des Lernens und Lehrens sowie in Schnittstellen zwischen der Bildungsforschung und täglichen Praxis an unseren Schulen. Nur so können wir mittel- bis langfristig das allgemeine Qualifizierungsniveau unserer Schülerinnen und Schüler anheben. Kurzfristig können wir uns lediglich entscheiden, diesen Weg zu beschreiten.

Abkürzungsverzeichnis

AP	Aktionspotenzial
CPU	<i>central processing unit</i>
EEG	Elektroenzephalogramm
ERP	<i>event-related potential</i>
FD	Fremdsprachendidaktik
FE	Fachdidaktik Englisch
fMRT	funktionale Magnetresonanztomografie
FU	Fremdsprachenunterricht
Hz	Hertz
KP	Kognitionspsychologie
LAD	<i>language acquisition device</i>
LTP	<i>long-term potentiation</i>
MEG	Magnetenzephalografie
MRT	Magnetresonanztomografie
μV	Mikrovolt
mV	Millivolt
NG	Neurogenetik
NI	Neuroinformatik
NL	Neurolinguistik
NMDAR	N-Methyl-D-aspartat-Rezeptor
NREM	<i>non rapid eye movement</i>
NW	Neurowissenschaften
PDP	<i>parallel distributed processing</i>
PET	Positronenemissionstomografie
PNS	peripheres Nervensystem
PPM	Prinzipien- und Parametermodell
REM	<i>rapid eye movement</i>
SES	Sprachentwicklungsstörung
SEV	Sprachentwicklungsverzögerung
UG	Universalgrammatik
ZNS	zentrales Nervensystem

Glossar

ACT*-Theorie: *Adaptive Character of Thought*. Theorie, die modellhaft die Interaktion zwischen dem deklarativen und prozeduralen Gedächtnis sowie dem Arbeitsgedächtnis beschreibt. * = neue Version der Theorie

Aktivationshöhe: Wert, der bestimmt, mit welcher Geschwindigkeit und Wahrscheinlichkeit ein Zugriff auf eine bestimmte Gedächtnisspur erfolgt.

Allel: Eine von mehreren Zustandsformen eines Gens, die sich einander entsprechen und im Erscheinungsbild des Organismus unterschiedlich auswirken.

Aminosäure: Kleinste Konstruktions-einheit eines ↑Proteins.

Aminosäuresequenz: Abfolge von ↑Aminosäuren, den Bausteinen der ↑Proteine.

Amygdala: Mandelkern. Struktur der grauen Substanz der Temporallappen, die unter anderem Emotionen vermittelt.

Analogie: Ähnlichkeit einer Struktur zwischen entfernt verwandten Spezies als Folge ↑konvergenter Evolution. ↑Homologie

Anthropomorphismus: Übertragung menschlicher Eigenschaften auf Nichtmenschliches.

Aphasie: Syndrom, das durch die Einschränkung oder den Verlust der Sprachverarbeitung charakterisiert ist.

Arbeitsgedächtnis: Neue Betrachtung des Kurzzeitgedächtnisses als Prozess, in dem wenig Information für kurze Zeit aufrecht erhalten wird,

um kognitive Prozesse zu ermöglichen.

Aufmerksamkeit: Zuweisung kognitiver Ressourcen zu Prozessen.

autosomal-dominant: Erbgang, bei der ein ↑Allel bereits zur Ausprägung gelangt, wenn dieses nur auf einem beider Chromosomen vorhanden ist.

Basalganglion: Struktur beider Großhirnhemisphären, die an der motorischen Regulation beteiligt ist.

Behaviorismus: Theoretisches System, nachdem die Aufgabe der Psychologie in der Analyse von Beziehungen zwischen Stimuli und Reaktionen besteht. ↑Blackbox

Blackbox: Teil eines kybernetischen Systems, auf dessen Struktur und Funktion geschlossen werden kann, indem die Reaktion auf einen Reiz analysiert wird. ↑Behaviorismus

Bottom-up-Prozess: Prozess der Aufnahme und Organisation von Information, bei dem angenommen wird, dass er durch die aufgenommene Information geleitet wird. ↑Top-down-Prozess

Broca-Aphasie: Störung der Sprachverarbeitung infolge einer Läsion des ↑Broca-Areals. ↑Aphasie, ↑Wernicke-Aphasie

Broca-Areal: Region des posterioren Teils des linken frontalen ↑Cortex, die an der Sprachverarbeitung beteiligt ist. ↑Wernicke-Areal

cingulär: Die Region des Gyrus cinguli betreffend, die sich oberhalb des Corpus callosum an der Medialseite der Hemisphären befindet.

Cochlea-Implantat: Implantat, das die Sinneszellen in der Schnecke des

Innenohrs reizt und so das Hörvermögen verbessert.

Cortex: Großhirnrinde, die den Hauptbestandteil der Großhirnhemisphären ausmacht. Der Cortex wird in vier Lobi unterteilt.

DNS: Desoxyribonukleinsäure. Erbsubstanz von Organismen mit Zellkern, die sich in selbigem befindet.

Dual-task-Methode: Experimentelle Methode, bei der ProbandInnen zwei Aufgaben gleichzeitig erfüllen müssen. Auf diese Weise kann der Einfluss eines Prozesses auf einen anderen untersucht werden.

dysarthrisch: Form der Beeinträchtigung der Kommunikationsfähigkeit, die durch Koordinationsstörungen, Schwäche oder Lähmung der Sprechmuskulatur hervorgerufen wird.

Emergenz: Neu auftauchende Qualität bei unbelebten Stoffen und dem Leben, wobei mit jeder Hierarchiestufe der Ordnung neue Eigenschaften auftreten, die auf einfacheren Ordnungsebenen noch nicht vorhanden waren.

Empirist: Vertreter einer erkenntnistheoretischen Richtung, nach der in Reinform Erkenntnis allein aus der Sinneserfahrung abgeleitet wird. ↑Rationalist

Genexpression: Prozess, bei dem genetische Information der Synthese von ↑Proteinen und anderen Substanzen dient.

Gliazelle: Ein Zelltyp des Nervensystems, der die Neuronen auf vielfältige Weise unterstützt.

Habituation: Verminderung der Reaktionsintensität, wenn der auslösende Reiz mehrmals präsentiert wird.

Hawthorne-Effekt: Die Tatsache, dass überhaupt ein Experiment durchgeführt wird, hat einen Effekt auf die abhängigen Variablen, nicht deren Manipulation durch die ExperimentatorInnen. Die ProbandInnen wissen, dass sie beobachtet werden und verhalten sich daher anders.

Hebbsche Lernregel: Die Verbindung zwischen zwei Synapsen verstärkt sich, wenn diese zur gleichen Zeit aktiv werden.

Hippocampus: Struktur in beiden Temporallappen der Großhirnhemisphären, die an Lernvorgängen beteiligt ist.

histologisch: Den Aufbau eines Gewebes betreffend.

Homologie: Ähnlichkeit bestimmter Merkmale mehrerer Spezies infolge gemeinsamer Abstammung. ↑Analogie

Inhibition: Synaptisches Ereignis, bei dem die Wahrscheinlichkeit für die Auslösung eines Aktionspotenzials in der postsynaptischen Zelle herabgesetzt wird.

Inselcortex: Teil des ↑Cortex. ↑Insula

Insula: Der Lobus insularis befindet sich in der Sylvischen Furche des Telencephalons.

Invertebrat: Wirbelloses Tier. ↑Vertebrat

Iteration: Bei Algorithmen die Wiederholung einer Sequenz von Instruktionen.

KI-Forschung: Erforschung künstlicher Intelligenz.

klassische Konditionierung: Ein Organismus bildet infolge synchroner Darbietung eine Assoziation zwischen einem neutralen Reiz und einem biologisch bedeutsamen Reiz, der immer eine Reaktion auslöst.

Als Ergebnis löst auch der vormalig neutrale Reiz allein die Reaktion aus.

Knockout-Technik: Es werden gezielt diejenigen Gene ausgeschaltet, die für ↑Proteine codieren, die vermutlich an der ↑Langzeitpotenzierung beteiligt sind.

konvergente Evolution: Ausbildung ähnlicher Merkmale verschiedener Spezies infolge ähnlicher Einnischung und ähnlicher Selektionsdrücke.

kritische Periode: Entwicklungsphase, in der Erfahrung die weitere typische Entwicklung determiniert. ↑sensible Periode

Lamarckist: Vertreter der überholten Idee Jean Baptiste de Lamarcks (1744-1829), nachdem durch Anpassung an die Umwelt erworbene Merkmale vererbt werden.

Langzeitpotenzierung: Andauernde Erhöhung der Synapsenstärke, die als ein Gedächtnismechanismus der Wirbeltiere angesehen wird.

Läsionsstudien: Studien, bei denen das Verhalten von Individuen in Abhängigkeit von Läsionen an verschiedenen Stellen des Gehirns analysiert wird. Bei Tierversuchen werden gezielt Läsionen hervorgerufen.

Leib-Seele-Problem: Problem in Bezug auf die Abhängigkeit zwischen Körper und Geist. *Interaktionisten* meinen, dass der Körper und der Geist zwei Formen des Seienden sind und aufeinander wirken können. *Epiphänomenalisten* denken, dass der Geist ein Produkt körperlicher Prozesse ist und nicht auf diese rückwirken kann, wobei dies umgekehrt möglich ist. *Parallelisten* meinen, dass der Körper und der Geist

nicht aufeinander wirken. *Monisten* hingegen lehnen den Dualismus von Körper und Geist ab und gehen nur von einem einzigen Seinsprinzip aus.

limbisches System: Neuronen dieses Systems bilden Schaltkreise, die das Lernen, Gedächtnis und Emotionen vermitteln.

metasprachliches Bewusstsein: Wissen über Sprache und ihre Eigenschaften sowie die Fähigkeit, über Sprache strukturell nachzudenken.

Modalität: Physikalische Eigenschaft eines Reizes. An Rezeptoren lösen nur Reize einer bestimmten Modalität eine sensorische Antwort aus (z.B. Wärme an Thermorezeptoren).

Motoneuron: Funktioneller Neurontyp. Motoneuronen übertragen Information vom ZNS auf Muskelzellen.

Neocortex: Phylogenetisch jüngster und höchst organisierter Anteil der Großhirnrinde (↑Cortex), der viele intellektuelle Leistungen vermittelt.

Neuigkeitseffekt: Die ProbandInnen sind zu Beginn des Tests enthusiastisch, weil die Testsituation nicht der gewohnten Situation entspricht. Daher vollbringen sie Leistungen, die mit zunehmender Gewöhnung an die Testsituation abnehmen.

noticing hypothesis: Hypothese der FD, nach der nur das gelernt wird, dem man seine Aufmerksamkeit schenkt.

Nozizeptor: Typ von Rezeptor, der die Wahrnehmung von Schmerz vermittelt.

Nucleus caudatus: C-förmiger Teil des Striatums und somit Teil der ↑Basalganglien.

Ontogenese: Biologische Entwicklung eines Individuums von der Eizelle zum geschlechtsreifen Zustand.

operante Konditionierung: Es wird eine Assoziation zwischen einem Reiz und einer Reaktion nach dem Prinzip Versuch und Irrtum gebildet.

orofaciale Dyspraxie: Erhebliche Einschränkung der Kontrolle komplexer Gesichts- und Mundbewegungen.

parasympathisches Nervensystem: Teil des vegetativen Nervensystems der ↑Vertebraten mit der Funktion, auf Schonung der Ressourcen des Organismus und auf körperliche Erholung hinzuwirken. ↑sympathisches Nervensystem

philosophischer Interaktionismus: ↑Leib-Seele-Problem

phonemische Paraphasie: Verwechseln von Silben und Buchstaben.

Phrenologie: Überholte Lehre, nach der die Schädelform der Charakterisierung eines Menschen dient.

Pixel: (*picture element*) Kleinste Einheit eines digitalen Bilds.

Planum temporale: Region des Temporallappens des Telencephalons, die zur Sprachverarbeitung beiträgt.

poverty of the stimulus: Hypothese, nach der eine bestimmte geistige Fähigkeit genetisch determiniert ist, weil die Umwelt keinen entsprechenden Reiz anbietet, den der Organismus aufnehmen könnte.

Protein: Substanz, die sich aus der Verkettung von ↑Aminosäuren ergibt.

Pseudowort: Ein Wort, das wie eines klingt, aber nicht Bestandteil der einer untersuchten Sprache ist (z.B. Hürtel oder Boder).

Pygmalion-Effekt: Die Erwartungshaltung der ExperimentatorInnen beeinflusst die Leistung der ProbandInnen.

Rationalist: Vertreter einer erkenntnistheoretischen Richtung, nach der in Reinform Erkenntnis nicht den Sinnen, sondern Kategorien und Grundsätzen des Verstands entspringt, nach denen Sinnesinformation geordnet und interpretiert wird. ↑Empirist

Reafferenz: Kompensationsprinzip, bei dem eine Efferenz als Kopie gespeichert wird und zugleich über einen Effektor eine Wirkung erzielt. Diese Wirkung wird als Afferenz zurückgemeldet und mit der Efferenzkopie verglichen. Die ermittelte Information über die Abweichung kann zu ihrer Ausregelung durch nachfolgende Efferenzen genutzt werden.

REM-Schlaf: (*rapid eye movement*) Eine Schlafphase des Menschen, die durch schnelle Augenbewegungen gekennzeichnet ist.

retrograde Amnesie: Die Gedächtnisinhalte, die zeitlich vor einer Schädigung bestimmter neuronaler Strukturen liegen, sind nicht mehr verfügbar.

Second-messenger-System: Kaskadenhafte Abfolge molekularer Aktivierungen mit erheblichem Verstärkungseffekt.

Sensibilisierung: Verstärkte Reaktion auf einen Reiz, nachdem ein besonders starker Reiz dargeboten wurde.

sensible Periode: Entwicklungsphase, in der die erfahrungsbedingte Adaptation an die Umwelt weitaus besser gelingt als zu anderen Zeiten. ↑kritische Periode

SW-Schlaf: (*slow wave sleep*) Eine Schlafphase des Menschen.

Striatum: Struktur beider Großhirnhemisphären. Zentrale Schaltstelle motorischer Impulse.

subvokalisierte Sprache: Sprache wird nicht artikuliert, sondern nur in Gedanken gesprochen.

sympathisches Nervensystem: Teil des vegetativen Nervensystems der ↑Vertebraten mit der Funktion, den Energieverbrauch zu steigern und den Organismus aktionsbereit zu machen. ↑parasympathisches Nervensystem

Symbol: Abstrakte Informationseinheit.

Symbolgrammatik: Kombinatorisches System, nach dem ein begrenztes Inventar von ↑Symbolen durch Regeln verarbeitet wird.

Symbolismus: Hier ist nicht eine Kunstrichtung gemeint, sondern ein Paradigma der Informationsverarbeitung, nach dem ↑Symbole durch ↑Regeln modifiziert werden.

symbolistisch: Den ↑Symbolismus betreffend.

Syndaktylie: Phänomen miteinander verwachsener Finger.

teacher talk: Sprechweise, die durch Vereinfachungen gekennzeichnet ist. So wird lauter, langsamer und überbetont gesprochen. Es werden zudem einfache Wörter und einfache grammatische Strukturen gewählt. Auch werden zentrale Aussagen des Satzes an den Satzanfang gestellt.

thalamocortikal: Die Verschaltung des Thalamus, der Hauptstruktur des Zwischenhirns, mit dem Cortex betreffend.

Theorie der Verarbeitungstiefe: Stimuli werden auf verschiedenen Ebenen verarbeitet. Die Analyse rein physischer oder sensorischer Eigenschaften eines Reizes geschieht auf niedrigen Ebenen. Die Analyse der Bedeutung eines Reizes erfolgt hin-

gegen auf tieferen Ebenen. Eine hohe Verarbeitungstiefe bedeutet somit, dass durch den Reiz zu ihm passende Assoziationen gebildet werden. Auf diese Weise wird Wissen nachhaltig gespeichert und ist leicht abrufbar.

Titer: Gehalt an wirksamer Reagens in einer Lösung.

Top-down-Prozess: Prozess, bei dem angenommen wird, dass die Auswahl, Organisation und Interpretation neuer Information durch bereits existierende kognitive Strukturen geleitet wird. ↑Bottom-up-Prozess

Trajektorium: Weg, den ein sich bewegendes Objekt im Raum beschreibt.

Transkription: Erster Schritt bei der Synthese eines ↑Proteins. Dabei wird eine Kopie eines Abschnitts der ↑DNS im Zellkern erstellt. In einem zweiten Schritt wird diese Kopie außerhalb des Zellkerns durch die Translation zur Synthese des Proteins verwendet. ↑Transkriptionsfaktor, ↑Transkriptionslevel

Transkriptionsfaktor: ↑Protein, das an einer bestimmten Stelle der ↑DNS bindet und die ↑Transkription reguliert.

Transkriptionslevel: Intensität, mit der die ↑Transkription stattfindet.

Universalgrammatik: Theorie, die die grammatische Kompetenz Erwachsener beschreibt. Der Mensch verfügt über angeborene, universelle Prinzipien, denen alle Sprachen folgen. Zudem verfügt er über zu erlernende, sprachspezifische Parameter.

Vertebrat: Wirbeltier. ↑Invertebrat

Vigilanz: Zustand des Organismus, der auf einer Skala von hellwach bis komatös angegeben wird.

Voxel: (*volume element*) In Anlehnung an ↑Pixel kleinste Einheit eines dreidimensionalen digitalen Bilds.

Wachstumsfaktor: Substanz, die das Wachstum von Zellen induziert.

Wernicke-Aphasie: Störung der Sprachverarbeitung infolge einer Läsion des ↑Wernicke-Areals.
↑Aphasie, ↑Broca-Aphasie

Wernicke-Areal: Region des linken Scheitellappens, die an der Sprachverarbeitung beteiligt ist. ↑Broca-Areal

Wernicke-Geschwind-Modell: Modell der Sprachverarbeitung, das sich zu starr auf einige wenige Strukturen des Gehirns bezieht und heute überholt ist.

zytoarchitektonische Methode: Methode zur Aufklärung der Zellarchitektur eines Gewebes.

Bibliographie

- Albright A, Hayes B (2003) Rules vs. analogy in English past tenses: a computational/experimental study. *Cognition* 90:119-61.
- Alptekin C, Atakan S (1990) Field dependence-independence and hemisphericity as variables in L2 achievement. *Sec Lang Res* 6:135-49.
- Amaral DG (2000) The anatomical organization of the central nervous system. In: *Principles of neural science* (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 317-36. New York: McGraw-Hill.
- Anderson JR (1985) *Cognitive psychology and its implications*. New York: Freeman.
- Anderson JR (2001) *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Arnold M (2002) *Aspekte einer modernen Neurodidaktik*. München: Ernst Vögel.
- Ashby FG, Valentin VV, Turken U (2002) The effects of positive affect and arousal on working memory and executive attention. In: *Emotional cognition: from brain to behaviour* (Morre S, Oaksford M, Hg.), S. 245-87. Amsterdam: John Benjamins.
- Atkins PW, Baddeley AD (1998) Working memory and distributed vocabulary learning. *Appl Psycholing* 19:537-52.
- Atkinson RC, Shiffrin RM (1968) Human memory: A proposed system and its control processes. In: *The psychology of learning and motivation: Advances in research and behaviour* (Spence KW, Spence JT, Hg.). S. 89-195. New York: Academic Pr.
- Baddeley AD (1986) *Working memory*. Oxford: Clarendon.
- Baddeley AD (1990) *Human memory: theory and practice*. Boston: Allyn and Bacon.
- Baddeley AD (1996) Exploring the central executive. *Quart J Exp Psy* 49:5-28.
- Baddeley AD (2000) The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends Cogn Sci* 4:417-23.
- Baddeley AD, Gathercole SE, Papagno C (1998) The phonological loop as a language learning device. *Psychol Rev* 105:158-73.
- Baddeley AD, Hitch GJ (1974) Working memory. In: *The psychology of learning and motivation* (Bower G, Hg.), Bd. 8, S. 47-90. New York: Academic Pr.
- Baddeley AD, Papagno C, Vallar G (1988) When long-term learning depends on short-term storage. *J Mem Lang* 27: 586-96.
- Baddeley AD, Wilson BA (2002) Prose recall and amnesia: implications for the structure of working memory. *Neuropsychologia* 40:1737-43.
- Bao S, Chan VT, Zhang LI, Merzenich MM (2003) Suppression of cortical representation through backward conditioning. *PNAS* 100:1405-8.
- Barinaga M (1996) Giving language skills a boost. *Science* 271:27-8.
- Bear MF, Malenka RC (1994) Synaptic plasticity: LTP and LTD. *Curr Opin Neurobiol* 4:389-99.
- Bechara A, Damasio H, Damasio AR (2003) Role of the amygdala in decision-making. *Ann N Y Acad Sci* 985:356-69.
- Bechara A, Tranel D, Hanna D, Adolphs R, Rockland C, Damasio AR (1995) Double dissociation of conditioning and declarative knowledge relative of amygdala and hippocampus in humans. *Science* 269:1115-18.

- Beck R (2004) Fremdsprachenlernen in der Grundschule – Erfahrungen aus Brandenburg. *NM* 57:33-36.
- Belezza FS (1984) The self as a mnemonic device: the role of internal cues. *J Personality Soc Psy* 47:506-16.
- Belliveau JW, Cohen MS, Weisskoff RM, Buchbinder BR, Rosen BR (1991a) Functional studies of the human brain using high-speed magnetic resonance imaging. *J Neuroimaging* 1:36-41.
- Belliveau JW, Kennedy DN Jr, McKinstry RC, Buchbinder BR, Weisskoff RM, Cohen MS, Vevea JM, Brady TJ, Rosen BR (1991b) Functional mapping of the human visual cortex by magnetic resonance imaging. *Science* 254:716-9.
- Bellugi U, Poizner H, Klima ES (1989) Language, modality and the brain. *Trends Neurosci* 12:380-8.
- Berch DB, Krikorian R, Huha EM (1998) The Corsi block-tapping task: methodological and theoretical considerations. *Brain Cogn* 38:317-38.
- Bergmann (2003) Indikatoren für eine diskursive Evaluation transdisziplinärer Forschung. *J Technikfolgenabschätzung* 1:65-75.
- Berndt A (2001) Fremdsprachengeragogik: Ontogenetische Grundlagen des Sprachenlernens im Alter. *NM* 54:77-84.
- Berwanger D (2002) Untersuchung der zeitlichen Diskriminationsfähigkeit bei Kindern mit einer Sprachentwicklungsstörung und/oder Lese-Rechtschreibstörung. München: Dr. Hut.
- Bialystok E (1997) The structure of age: in search of barriers to second language acquisition. *Sec Lang Res* 13:116-37.
- Bimmel P, Rampillon U (2000) Lernerautonomie und Lernstrategien. Berlin: Langenscheidt.
- Bird H, Ralph MAL, Seidenberg MS, McClelland JL, Patterson K (2003) Deficits in phonology and past-tense morphology: What's the connection? *J Mem Lang* 48:502-26.
- Bleyhl W (2004) Das Menschenbild als Basis für eine Didaktik des Fremdsprachenunterrichts. *ZFF* 15:204-35.
- Bleyhl W, Timm JP (1998) Wortschatz und Grammatik. In: Englisch lernen und lehren (Timm JP, Hg.), S. 259-71. Berlin: Cornelsen.
- Bliss TVP, Lomo T (1973) Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *J Physiol* 232:331-56.
- Blood AJ, Zatorre RJ (2001) Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *PNAS* 98:11818-23.
- Blood AJ, Zatorre RJ, Bermudez P, Evans AC (1999) Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nat Neurosci* 2:382-7.
- Bolitho R, Carter R, Hughes R, Ivanič R, Masuhara H, Tomlinson B (2003) Ten questions about language awareness. *ELT J* 57:251-9.
 - Bongaerts T, van Summeren C, Planken B, Schils E (1997) Age and ultimate attainment in the pronunciation of a foreign language. *Stud Sec Lang Acquis* 19:447-65.

- Bornkessel ID, Fiebach CJ, Friederici AD (2004) On the cost of syntactic ambiguity in human language comprehension: an individual differences approach. *Cogn Brain Res* 21:11-21.
- Braine MDS (1994) Is nativism sufficient? *J Child Lang* 21:9-31.
- Brebion G (2003) Working memory, language comprehension, and aging: four experiments to understand the deficit. *Exp Aging Res* 29:269-301.
- Brechmann A, Scheich H (2004) Hemispheric shifts of sound representation in auditory cortex with conceptual listening. *Cereb Cortex* doi:10.1093/cercor/bhh159.
- Breiter HC, Gollub RL, Weisskoff RM, Kennedy DN, Makris N, Berke JD, Goodman JM, Kantor HL, Gastfriend DR, Riorden JP, Mathew RT, Rosen BR, Hyman SE (1997) Acute effects of cocaine on human brain activity and emotion. *Neuron* 19:591-611.
- Briellmann RS, Saling MM, Connell AB, Waites AB, Abbott DF, Jackson GD (2004) A high-field functional MRI study of quadri-lingual subjects. *Brain Lang* 89:531-542.
- Bruer JT (1997) Education and the brain: a bridge too far. *Educational Researcher* 26:4-16.
- Brusch W, Caspari D (1998) Verfahren der Textbegegnung: Literarische und andere Texte. In: *Englisch lernen und lehren* (Timm JP, Hg.), S. 168-77. Berlin: Cornelsen.
- Büchel C, Morris J, Dolan RJ, Friston KJ (1998) Brain systems mediating aversive conditioning: an event-related fMRI study. *Neuron* 20:947-57.
- Buchner A, Brandt M (2003) The principle of multiple memory systems. In: *Principles of learning and memory* (Kluwe RH, Lüer G, Rösler F, Hg.), S. 93-111. Basel: Birkhäuser.
- Butzkamm W (2002) *Psycholinguistik des Fremdsprachenunterrichts*. Tübingen: Francke.
- Butzkamm W (2003) We only learn language once. The role of the mother tongue in FL classrooms: death of a dogma. *Lang Learn J* 28:29-39.
- Butzkamm W (2004) *Lust zum Lehren, Lust zum Lernen*. Tübingen: Francke.
 - Butzkamm W, Butzkamm J (1999) *Wie Kinder sprechen lernen*. Tübingen: Francke.
 - Butzkamm W, Butzkamm J (2004) *Wie Kinder sprechen lernen*. Tübingen: Francke.
- Byrne JH (2003) Learning and memory: basic mechanisms. In: *Fundamental neuroscience* (Squire LR, Bloom FE, McConnell SK, Roberts JL, Spitzer NC, Zigmond MJ, Hg.), S. 1275-98. Amsterdam: Academic Pr.
- Byrne MD (1998) Taking a computational approach to aging: the SPAN theory of working memory. *Psychol Aging* 13:309-22.
- Cahill L, Prins B, Weber M, McGaugh JL (1994) Beta-adrenergic activation and memory for emotional events. *Nature* 371:702-4.
- Callan DE, Tajima K, Callan AM, Kubo R, Masaki S, Akahane-Yamada R (2003) Learning-induced neural plasticity associated with improved identification performance after training of a difficult second-language phonetic contrast. *Neuroimage* 19:113-24.
- Callan R (2003) *Neuronale Netze*. München: Pearson Studium.
- Calvin WH (2002) *Die Sprache des Gehirns*. München: dtv.

- Calvin WH, Ojemann GA (1994) *Conversations with Neil's brain*. Reading, MA: Perseus Books.
- Caplan DN, Gould JL (2003) Language and communication. In: *Fundamental neuroscience* (Squire LR, Bloom FE, McConnell SK, Roberts JL, Spitzer NC, Zigmond MJ, Hg.), S. 1329-52. Amsterdam: Academic Pr.
- Carroll SE (1995) The hidden dangers of computer modelling: remarks on Sokolik and Smith's connectionist learning model of French gender. *Sec Lang Res* 11:193-205.
- Cartwright R, Lamberg L (1992) *Crisis dreaming*. New York: HarperCollins.
- Celik M (2003) Teaching vocabulary through code-mixing. *ELT J* 57:361-9.
- Chee MW, Soon CS, Lee HL (2003) Common and segregated neuronal networks for different languages revealed using functional magnetic resonance adaptation. *J Cogn Neurosci* 15:85-97.
- Chee MW, Tan EW, Thiel T (1999) Mandarin and English single word processing studied with functional magnetic resonance imaging. *J Neurosci* 19:3050-6.
- Cherry SR, Phelps ME (2002) Imaging brain function with positron emission tomography. In: *Brain mapping* (Toga AW, Mazziotta JC, Hg.), S. 485-511. Amsterdam: Academic Pr.
- Chialvo DR, Bak P (1999) Learning from mistakes. *Neuroscience* 90:1137-48.
- Chomsky N (1970) *Sprache und Geist*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Chomsky N (1973) *Strukturen der Syntax*. The Hague: Mouton.
- Chomsky N (1986) *Knowledge of language: its nature, origin, and use*. New York: Praeger.
- Chomsky N (1988) *Language and problems of knowledge*. Cambridge, MA: MIT Pr.
- Chomsky N (2003) *On nature and language*. Cambridge: Cambridge Univ. Pr.
- Cohen NJ, Squire LR (1980) Preserved learning and retention of pattern analyzing skill in amnesics: dissociation of knowing how and knowing that. *Science* 210: 207-10.
- Collins M, Coney J (1998) Interhemispheric communication is via direct connections. *Brain Lang* 64:28-52.
- Compte A, Constantinidis C, Tegner J, Raghavachari S, Chafee MV, Goldman-Rakic, Wang XJ (2003) Temporally irregular mnemonic persistent activity in prefrontal neurons of monkey during a delayed response task. *J Neurophysiol* 90:3441-54.
- Comrie B (1981) *Language universals and linguistic typology*. Oxford: Blackwell.
- Comrie B, Matthews S, Polinsky M (1996) *The atlas of languages*. New York: Facts On File.
- Coull JT, Frith CD, Frackowiak RS, Grasby PM (1996) A fronto-parietal network for rapid visual information processing: a PET study of sustained attention and working memory. *Neuropsychologia* 34:1085-95.
- Craik FIM (2002) Levels of processing: past, present, and future? *Memory* 10:305-18.
- Craik FIM, Lockhart RS (1972) Levels of processing: a framework for memory research. *J Verbal Learn Verbal Behav* 11:671-84.
- Craik FIM, Tulving E (1975) Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *J Exp Psy: General* 104:268-94.
- Curtiss S (1977) *Genie*. New York: Academic Pr.

- Curtiss S, de Bode S, Mathern GW (2001) Spoken language outcomes after hemispherectomy: factoring in etiology. *Brain Lang* 79:379-96.
- Damasio AR (2003) *Der Spinoza-Effekt*. München: List.
- Damasio AR [1994, 1995] (1997) *Descartes Irrtum*. München: List.
- Damasio AR, Damasio H (1993) Brain and Language. In: *Mind and brain – readings from Scientific American* (Fischback GD, Hg.), S. 54 – 65. New York: Freeman.
- Daneman M, Carpenter PA (1980) Individual differences in working memory and reading. *J Verbal Learn Verbal Behav* 19:450-66.
- Daneman M, Green I (1986) Individual differences in comprehending and producing words in context. *J Mem Lang* 25:1-18.
- Danesi M (1994) The neuroscientific perspective in second language acquisition research: a critical synopsis. *IRAL* 32:201-28.
 - Danesi M, Mollica A (1988) From right to left: a „bimodal“ perspective of language teaching. *Can Mod Lang Rev* 45:76-89.
- Darwin C [1859] (2003) The origin of species. http://www.darwin-literature.com/the_origin_of_species/index.html
- Darwin C [1871] (2003) The descent of man. http://www.darwin-literature.com/the_descent_of_man/index.html
- de Sa VR, Ballard DH (1998) Category learning through multimodality sensing. *Neural Comp* 10:1097-117.
- Devlin AM, Cross JH, Harkness W, Chong WK, Herding B, Vargha-Khadem F, Neville BG (2003) Clinical outcomes of hemispherectomy for epilepsy in childhood and adolescence. *Brain* 126:556-66.
- di Virgilio G, Clarke S (1997) Direct interhemispheric visual input to human speech areas. *Hum Brain Mapping* 5:347-54.
- Diamond DM, Park CR, Woodson JC (2004) Stress generates emotional memories and retrograde amnesia by inducing an endogenous form of hippocampal LTP. *Hippocampus* 14:281-91.
- Diamond MC, Greer ER, York A, Lewis D, Barton T, Lin J (1987) Rat cortical morphology following crowded-enriched living conditions. *Exp Neurology* 96:241-7.
- Diamond MC, Rosenzweig MR, Bennett EL, Lindner B, Lyon L (1972) Effects of environmental enrichment and impoverishment on rat cerebral cortex. *J Neurobiol* 3:47-64.
- Dietrich I (1990) Die Botschaft vom sanften, leichten, erfolgreichen Lernen. *ZFF* 1:99-115.
 - Dittmann J, Schmidt C (1998) Verbales Arbeitsgedächtnis, Lernen und Fremdsprachenerwerb. Ein Forschungsüberblick. *Deutsche Sprache* 26:304-336.
- Dodson CJ (1972) *Language teaching and the bilingual method*. London: Pitman.
- Dolan RJ (2002) Emotion, cognition, and behavior. *Science* 298:1191-1194.
- Dörnyei Z (1994) Motivation and motivating in the foreign language classroom. *Mod Lang J* 78:515-23.
 - Dörnyei Z (1998) Motivation in second and foreign language learning. *Lang Teach* 31:117-35.

- Doupe AJ, Kuhl PK (1999) Birdsong and human speech: common themes and mechanisms. *Annu Rev Neurosci* 22:567-631.
- Dronkers NF, Pinker S, Damasio A (2000) Language and the aphasias. In: *Principles of neural science* (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 1169-87. New York: McGraw-Hill.
- Dronkers NF, Wilkins DP, van Valin RD, Redfern BB, Jaeger JJ (2004) Lesion analysis of the brain areas involved in language comprehension. *Cognition* 92:145-77.
- Dunbar R (1996) *Grooming, gossip, and the evolution of language*. Cambridge, MA: Harvard Univ. Pr.
- Ebbinghaus H [1885] (1992) *Über das Gedächtnis*. Darmstadt: Wiss. Buchges.
- Ebbinghaus H [1885] (1992) *Über das Gedächtnis*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Eichenbaum HB (2003) Learning and Memory: Brain systems. In: *Fundamental neuroscience* (Squire LR, Bloom FE, McConnell SK, Roberts JL, Spitzer NC, Zigmond MJ, Hg.), S. 1299-1352. Amsterdam: Academic Pr.
- Eisenberger NI, Lieberman MD, Williams KD (2003) Does rejection hurt? An fMRI study of social exclusion. *Science* 302:290-2.
- Ellis NC, Sinclair SG (1996) Working memory in the acquisition of vocabulary and syntax: putting language in good order. *Q J Exp Psych* 49:234-50.
 - Ellis R (1990) *Instructed second language acquisition: learning in the classroom*. Oxford: Blackwell.
 - Ellis R (1999) *The study of second language acquisition*. Oxford: OUP.
- Elman JL (1994) Implicit learning in neural networks: the importance of starting small. In: *Attention and performance XV: conscious and nonconscious information processing* (Moscovitch M, Umiltà C, Hg.), S. 861-88. Cambridge, MA: MIT Pr.
- Emmorey K, Bellugi U, Friederici A, Horn P (1995) Effects of age of acquisition on grammatical sensitivity: evidence from on-line and off-line tasks. *Appl Psycholing* 16:1-23.
- Erez A, Isen AM (2002) The influence of positive affect on the components of expectancy motivation. *J Appl Psychol* 87:1055-67.
- Erk S, Kiefer M, Grothe J, Wunderlich AP, Spitzer M, Walter H (2003) Emotional context modulates subsequent memory effect. *Neuroimage* 18:439-47.
- Eschenhagen D, Kattmann U, Rodi D (1998) *Fachdidaktik Biologie*. Köln: Aulis.
- Estor H (2002) Kontextuell integriertes Grammatiklernen im Englischunterricht der Sekundarstufe II. *Praxis* 49:243-49.
- Eubank L, Gregg KR (1995) "Et in amygdala ego"? UG, (S)LA, and neurobiology. *Stud Sec Lang Acquis* 17:35-57.
- Fabbro F (2001) The bilingual brain: cerebral representation of languages. *Brain Lang* 79:211-22.
- Faust M, Weisper S (2000) Understanding metaphoric sentences in the two cerebral hemispheres. *Brain Cogn* 43:186-91.
- Fenn KM, Nusbaum HC, Margoliash D (2003) Consolidation during sleep of perceptual learning of spoken language. *Nature* 425:614-6.

- Feuerstein TJ, Lehmann J, Sauermann W, van Velthoven V, Jackisch R (1992) The autoinhibitory feedback control of acetylcholine release in human neocortex tissue. *Brain Res* 572:64-71.
- Fiedler K (1988) Emotional mood, cognitive style, and behavior regulation. In: *Affect, cognition and social behavior* (Fiedler K, Forgas JP, Hg.), S. 100-19. Toronto: Hogrefe.
- Fields RD (2004) Die unbekannte Seite des Gehirns. *SdW* 9:46-56.
- Figge UL (2000) Mutterspracherwerb als ontogenetisches Hindernis für den Fremdspracherwerb. In: *Sprachlehrforschung im Wandel* (Helbig K, Kleppin K, Königs FG, Hg.), S. 511-20. Tübingen: Stauffenburg.
- Finkbeiner C (2003) Lernstrategien und Lerntechniken im Fremdsprachenunterricht. In: *Englischunterricht* (Bach G, Timm JP, Hg.), S. 225-252. Tübingen: Francke.
- Finkbeiner C, Vollmer HJ, Henrici G, Grotjahn R, Schmid-Schönbein G, Zydatiś W (2001) Lernen und Lehren von Fremdsprachen: Kognition, Affektion, Interaktion. Ein Forschungsüberblick. *ZFF* 12:65-76.
- Fischer S, Hallschmidt M, Elsner AL, Born J (2002) Sleep forms memory for finger skills. *PNAS* 99:11987-91.
- Fisher SE, Lai CSL, Monaco AP (2003) Deciphering the genetic basis of speech and language disorders. *Annu Rev Neurosci* 26:57-80.
- Fisher SE, Vargha-Khadem F, Watkins KE, Monaco AP, Pembrey ME (1998) Localisation of a gene implicated in a severe speech and language disorder. *Nat Genet* 18: 168-70.
- Flege JE, Munro MJ, MacKay IRA (1995) Factors affecting strength of perceived foreign accent in a second language. *J Acoust Soc Am* 97:3125-34.
- Fowle C (2002) Vocabulary notebooks: implementation and outcomes. *ELT J* 56:380-8.
- Fredrickson BL (2003) Die Macht der guten Gefühle. *G&G* 6:38-42.
- Friederici AD, Steinhauer K, Pfeifer E (2002) Brain signatures of artificial language processing: evidence challenging the critical period hypothesis. *PNAS* 99:529-34.
- Friedrich G (1995) Die Praktikabilität der Neurodidaktik. Frankfurt a.M.: Peter Lang.
- Friedrich G (2003) Im Land der märchenhaften Zahlen. *Die Zeit* 40.
- Friedrich G, Preiß G (2002) Lehren mit Köpfchen. *G&G* 4:64-70.
- Funahashi S, Inoue M, Kubota K (1997) Delay-period activity in the primate prefrontal cortex encoding multiple spatial positions and their order of presentation. *Behav Brain Res* 84:203-23.
- Furnham A, Strbac L (2002) Music is as distracting as noise: the differential distraction of background music and noise on the cognitive test performance of introverts and extraverts. *Ergonomics* 45:203-17.
- Gardner H (1981) How the split brain gets a joke. *Psychol Today* Feb:74-8.
- Gardner RC, MacIntyre PD (1993) A student's contributions to second-language learning. Part II: Affective variables. *Lang Teach* 26:1-11.
 - Gardner RC, Tremblay P, Masgoret AM (1997) Towards a full model of second language learning: an empirical investigation. *Mod Lang J* 81:344-62.
 - Gasser M (1990) Connectionism and universals of second language acquisition. *Stud Sec Lang Acquis* 12:179-99.

- Gathercole SE, Pickering SJ (2000) Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at 7 years of age. *Br J Educ Psychol* 70:177-94.
- Gathercole SE, Pickering SJ, Ambridge B, Wearing H (2004) The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Dev Psychol* 40:177-90.
- Geisler W, Hermann-Brennecke G (1997) Fremdsprachenlernen zwischen Affekt und Kognition – Bestandsaufnahme und Perspektivierung. *ZFF* 8:79-93.
- Gerrig RJ, Zimbardo PG (2002) *Psychology and Life*. Boston: Allyn and Bacon.
- Geschwind N, Levitsky W (1968) Human brain: left-right asymmetries in temporal speech region. *Science* 161:186-7.
- Gevins A (2002) Electrophysiological imaging of brain function. In: *Brain mapping* (Toga AW, Mazziotta JC, Hg.), S. 175-88. Amsterdam: Academic Pr.
- Giraud AL, Price CJ, Graham JM, Frackowiak RS (2001) Functional plasticity of language-related brain areas after cochlear implantation. *Brain* 124:1307-16.
- Godden DR, Baddeley AD (1975) Context-dependent memory in two natural environments: on land and underwater. *Br J Psychology* 66:325-31.
- Godden DR, Baddeley AD (1980) When does context influence recognition memory? *Br J Psychology* 71:99-104.
- Godfrey-Smith P (2002) On genetic information and genetic coding. In: *In the scope of logic, methodology, and the philosophy of science* (Gärdenfors P, Wolenski J, Kania-Placek K, Hg.), S. 387-400. Dordrecht: Kluwer.
- Goethe JW [1821] (1962) *Wilhelm Meisters Wanderjahre*. München: dtv.
- Goldberg E, Costa LD (1981) Hemisphere differences in the acquisition and use of descriptive systems. *Brain Lang* 14:144-73.
- Golestani N, Zatorre RJ (2004) Learning new sounds of speech: reallocation of neural substrates. *Neuroimage* 21:494-506.
- Götze L (1999) Der Zweitspracherwerb aus der Sicht der Hirnforschung. *DaF* 36:10-16.
 - Götze L (2003) Sprachverstehen aus neurowissenschaftlicher und kognitionspsychologischer Perspektive. *Brücke* 2:18-24.
- Greenberg JH (Hg.) (1973) *Universals of language*. Cambridge, MA: MIT Pr.
- Greenberg JH, Osgood CE, Jenkins JJ (1973) Memorandum concerning language universals. In: *Universals of language* (Greenberg JH, Hg.), S. xv-xxvii. Cambridge, MA: MIT Pr.
- Grimm H, Weinert S (2002) Sprachentwicklung. In: *Entwicklungspsychologie* (Oerter R, Montada L, Hg.), S. 517-50. Weinheim: Beltz.
- Grotjahn R (1998) Ausspracheunterricht: Ausgewählte Befunde aus der Grundlagenforschung und didaktisch-methodische Implikationen. *ZFF* 9:35-83.
 - Guion SG, Flege JE, Liu SH, Yeni-Komshian GH (2000) Age of learning effects on the duration of sentences produced in a second language. *Appl Psycholing* 21:205-28.
- Habib M (2003) Rewiring the dyslexic brain. *Trends Cogn Sci* 7:330-33.

- Hahne A, Friederici AD (2001) Processing a second language: late learners' comprehension mechanisms as revealed by event-related brain potentials. *Bilingualism: Lang Cogn* 4:123-41.
- Hamann S (2001) Cognitive and neural mechanisms of emotional memory. *Trends Cogn Sci* 5:394-400.
- Hamann S, Mao H (2002) Positive and negative emotional verbal stimuli elicit activity in the left amygdala. *Neuroreport* 13:15-19.
- Hashimoto I, Suzuki A, Kimura T, Iguchi Y, Tanosaki M, Takino R, Haruta Y, Taira M (2004) Is there training-dependent reorganization of digit representations in area 3b of string players? *Clin Neurophysiol* 115:435-47.
- Hassenstein B (1987) *Verhaltensbiologie des Kindes*. München: Piper.
- Hatch E, Shirai Y, Fantuzzi C (1990) The need for an integrated theory: connecting modules. *TESOL Quart* 24:697-716.
- Haudeck H (1998) Lernstrategien und Lerntechniken für Schüler. In: *Englisch lernen und lehren* (Timm JP, Hg.), S. 342-51. Berlin: Cornelsen.
- Hecht K, Hadden B (1992) Deklaratives und prozedurales Grammatikwissen bei Schülern des Gymnasiums mit Englisch als Zielsprache. *ZFF* 3:31-57.
- Heckhausen H (2003) *Motivation und Handeln*. Berlin: Springer.
- Hein T (2003) Ein großes Broca-Zentrum? Sie sind ein Sprachgenie! *FAZ* 26.
- Hensch TK (2004) Critical period regulation. *Annu Rev Neurosci* 27:549-79.
- Hermann-Brennecke G (1998) Die affektive Seite des Fremdsprachenlernens. In: *Englisch lernen und lehren* (Timm JP, Hg.), S. 53-59. Berlin: Cornelsen.
- Herz RS, Eliassen J, Beland S, Souza T (2004) Neuroimaging evidence for the emotional potency of odor-evoked memory. *Neuropsychologia* 42:371-8.
- Hescher A (2004) Gehirnfreundlich Fremdsprachen lernen. *PRAXIS FU* 3:176-83.
- Hobson JA, Pace-Schott EF (2003) The cognitive neuroscience of sleep: neuronal systems, consciousness and learning. *Nat Rev Neurosci* 3:679-93.
- Hofmann HA (2003) Functional genomics of neural and behavioral plasticity. *J Neurobiology* 54:272-82.
- Holden C (2004) The origin of speech. *Science* 303:1316-9.
- Holtwisch H (1993) Kreative Wortschatzarbeit in der Sekundarstufe I. *NM* 45:175-9.
- Holtwisch H (1994) Behalten suggestopädisch-unterrichtete Schulkinder ihren Lernstoff besser? *NM* 47:228-35.
- Hopfield JJ (1982) Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *PNAS* 79:2554-8.
- Horwitz EK, Horwitz MB, Cope J (1986) Foreign language classroom anxiety. *Mod Lang J* 70:125-32.
- Huber W, Poeck K, Springer L (1991) *Sprachstörungen*. Stuttgart: Trias.
- Huber W, Poeck K, Weniger D, Willmes K (1983) *Aachener Aphasie Test*. Göttingen: Hogrefe.
- Hulstijn J (2002) Towards a unified account of the representation, processing and acquisition of second language knowledge. *Sec Lang Res* 18:193-222.
- Hyams N (1986) *Language acquisition and the theory of parameters*. Dordrecht: Reidel.

- Ioup G, Boustagui E, El Tigi M, Moselle M (1994) Reexamining the critical period hypothesis. *Stud Sec Lang Acquis* 16:73-98.
- Isen AM, Daubmann KA, Nowicki GP (1987) Positive affect facilitates creative problem solving. *J Pers Soc Psychol* 52:1122-31.
- Isen AM, Johnson MM, Mertz E, Robinson GF (1985) The influence of positive affect on the unusualness of word associations. *J Pers Soc Psychol* 48:1413-26.
- Isen AM, Rosenzweig AS, Young MJ (1991) The influence of positive affect on clinical problem solving. *Med Decis Making* 11:221-7.
- Iversen S, Kupfermann I, Kandel ER (2000) Emotional states and feelings. In: *Principles of neural science* (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 982-97. New York: McGraw-Hill.
- Jackson GM, Swainson R, Mullin A, Cunnington R, Jackson SR (2004) ERP correlates of a receptive language-switching task. *Q J Exp Psychol A* 57:223-40.
- Jacobs B (1988) Neurobiological differentiation of primary and secondary language acquisition. *Stud Sec Lang Acquis* 10:303-37.
- Jacobs B, Schumann J (1992) Language acquisition and the neurosciences: towards a more integrative perspective. *Appl Ling* 13:282-301.
- Jasiukaitis P, Nouriani B, Hugdahl K, Spiegel D (1997) Relateralizing hypnosis: or, have we been barking up the wrong hemisphere? *Int J Clin Exp Hypn* 45:158-77.
- Jessel T, Kandel E (1998) Introduction: one decade of neuron, six decades of neuroscience. *Neuron* 20:367-9.
- Jessell TM (1996) Das Nervensystem. In: *Neurowissenschaften* (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 73-91. Heidelberg: Spektrum.
- Joanisse MF, Seidenberg MS (1999) Impairments in verb morphology after brain injury: a connectionist model. *PNAS* 96:7592-7.
- Johnson JS, Newport EL (1989) Critical period effects in second language learning: the influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. *Cognit Psychol* 21:60-99.
- Johnstone R (2002) Addressing the age factor: some implications for languages policy. Strasbourg: Council of Europe.
- Justus T (2004) The cerebellum and English grammatical morphology: evidence from production, comprehension, and grammaticality judgments. *J Cogn Neurosci* 16:1115-30.
- Kampe KK, Frith CD, Dolan RJ, Frith U (2002) Reward value of attractiveness and gaze. *Nature* 416:598-602.
- Kandel ER (1996a) Sprache. In: *Neurowissenschaften* (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S.647-65. Heidelberg: Spektrum.
- Kandel ER (1996b) Synaptische Integration. In: *Neurowissenschaften* (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 225-48. Heidelberg: Spektrum.
- Kandel ER (2000a) Cellular mechanisms of learning and the biological basis of individuality. In: *Principles of neural science* (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 1247-79. New York: McGraw-Hill.
- Kandel ER (2000b) The brain and behavior. In: *Principles of neural science* (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 5-18. New York: McGraw-Hill.

- Kandel ER (2000c) Nerve cells and behavior. In: Principles of neural science (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 19-35. New York: McGraw-Hill.
- Kandel ER, Jessell TM, Sanes JR (2000c) Sensory experience and the fine-tuning of synaptic connections. In: Principles of neural science (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 1113-30. New York: McGraw-Hill.
- Kandel ER, Kupfermann I (1996) Von den Nervenzellen zur Kognition. In: Neurowissenschaften (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 327-52. Heidelberg: Spektrum.
- Kandel ER, Kupfermann I, Iversen S (2000b) Learning and memory. In: Principles of neural science (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 1227-46. New York: McGraw-Hill.
- Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM (Hg.) (2000a) Principles of neural science. New York: McGraw-Hill.
- Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM (1996) Vorwort zur Originalausgabe. In: Neurowissenschaften (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), vii-viii. Heidelberg: Spektrum.
- Kandel ER, Siegelbaum SA (2000) Synaptic Integration. In: Principles of neural science (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 207-28. New York: McGraw-Hill.
- Kandel ER, Wurtz RH (2000) Constructing the visual image. In: Principles of neural science (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 492-506. New York: McGraw-Hill.
- Keenan EL (1987) Universal grammar. London: Croom Helm.
- Kerstan T, von Thadden E (2004) Wer macht die Schule klug? Die Zeit 28.
- Kilgard MP, Merzenich MM (1998) Cortical map reorganization enabled by Nucleus basalis activity. Science 279:1714-8.
- Kilpatrick L, Cahill L (2003) Amygdala modulation of parahippocampal and frontal regions during emotionally influenced memory storage. Neuroimage 20:2091-9.
- Kim KHS, Relkin NR, Lee KM, Hirsch J (1997) Distinct cortical areas associated with native and second languages. Nature 388: 171-4.
- Klann-Delius G (1999) Spracherwerb. Stuttgart: Metzler.
- Klippel F (2000) Englisch in der Grundschule. Berlin: Cornelsen.
- Klippert H (2001) Eigenverantwortliches Arbeiten und Lernen. Weinheim: Beltz.
- Klippert H (2002) Methoden-Training. Weinheim: Beltz.
- Knudsen EI (2003) Early experience and critical periods. In: Fundamental neuroscience (Squire LR, Bloom FE, McConnell SK, Roberts JL, Spitzer NC, Zigmond MJ, Hg.), S. 555-73. Amsterdam: Academic Pr.
- Knudsen EI (2004) Sensitive periods in the development of the brain and behavior. J Cogn Neurosci 16:1412-25.
- Kohonen T (1982) Self-organized formation of topologically correct feature maps. Biol Cybern 43:59-69.
- Kohonen T (1995) Self-organizing maps. Berlin: Springer.
- Kohonen T, Hari R (1999) Where the abstract feature maps of the brain come from. Trends Neurosci 22:135-9.
- Koizumi H (2001) Trans-disciplinarity. Neuroendocrin Letters 22:219-21.

- Koob GF (2003) Drug reward and addiction. In: *Fundamental neuroscience* (Squire LR, Bloom FE, McConnell SK, Roberts JL, Spitzer NC, Zigmond MJ, Hg.), S. 1127-43. Amsterdam: Academic Pr.
- Kosik KS (2003) Beyond phrenology, at last. *Net Rev Neurosci* 4:234-9.
- Kossut M, Siucinska E (1998) Learning-induced expansion of cortical maps – what happens to adjacent cortical representations? *Neuroreport* 9:4025-8.
- Kostrzewa F (1994) *Sprache und Gedächtnis*. NM 47:221-8.
 - Krashen SD (1981) *Second language acquisition and second language learning*. Oxford: Pergamon.
- Krashen SD, Terrell TD (1983) *The natural approach*. Oxford: Pergamon.
- Kuhl PK, Tsao FM, Liu HM (2003) Foreign-language experience in infancy: effects of short-term exposure and social interaction on phonetic learning. *PNAS* 100:9096-101.
- Kupfermann I, Kandel ER, Iversen S (2000) Motivational and addictive states. In: *Principles of neural science* (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 998-1013. New York: McGraw-Hill.
- Lai CSL, Fisher SE, Hurst JA, Vargha-Khadem F, Monaco AP (2001) A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder. *Nature* 413:519-23.
- Lai CSL, Gerrelli D, Monaco AP, Fisher SE, Copp AJ (2003) FOXP2 expression during brain development coincides with adult sites of pathology in a severe speech and language disorder. *Brain* 126:2455-62.
- Lawrence S, Giles L, Fong S (2000) Natural language grammatical inference with recurrent neural networks. *IEEE Trans Knowledge Data Engeneering* 12:126-40.
- LeDoux JE (2000) Emotion circuits in the brain. *Annu Rev Neurosci* 23:155-84.
- Legutke M, Lortz W (2002) *Englisch ab Klasse 1*. Berlin: Cornelsen.
- Lenneberg EH [1967] (1972) *Biologische Grundlagen der Sprache*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Levelt WJM (1995) *Speaking*. Cambridge, MA: MIT Pr.
- Liégeois F, Baldeweg T, Connelly A, Gadian DG, Mishkin M, Vargha-Khadem F (2003) Language fMRI abnormalities associated with FOXP2 gene mutation. *Nat Neurosci* 6:1230-7.
- Lightbown PM, Spada N (2004) *How languages are learned*. Oxford: OUP.
- Logan JS, Lively SE, Pisoni DB (1991) Training Japanese listeners to identify English /r/ and /l/: a first report. *J Acoust Soc Am* 89:874-86.
- Lupyan G, McClelland JL (2003) Did, made, had, said: capturing quasi-regularity in exceptions. <http://www.cnbc.cmu.edu/~jlm/papers/> (03.01.2005).
- Lyons F, Hanley JR, Kay J (2002) Anomia for common names and geographical names with preserved retrieval of names of people: a semantic memory disorder. *Cortex* 38:23-35.
- Major RC (1996) Chunking and phonological memory. *Stud Sec Lang Acquis* 18:351-4.
- Manhart K (2004) Die Grenzen der Gleichzeitigkeit. *G&G* 2:48-52.
- Maquet P, Ruby P (2004) Insight and the sleep committee. *Nature* 427:304-5.

- Marcus GF, Fisher SE (2003) FOXP2 in focus: what can genes tell us about speech and language? *Trends Cogn Sci* 7:257-62.
- Martin SJ, Morris RGM (2002) New life in an old idea: the synaptic plasticity and memory hypothesis revisited. *Hippocampus* 12:609-36.
- Martín-Loeches M, Schweinberger SR, Sommer W (1997) The phonological loop model of working memory: an ERP study of irrelevant speech and phonological similarity effects. *Mem Cogn* 25:471-83.
- Mayberry RI, Lock E (2003) Age constraints on first versus second language acquisition: evidence for linguistic plasticity and epigenesis. *Brain Lang* 87:369-84.
- Mazoyer B (2004) Dem Hirn beim Denken zuschauen. *SdW Spezial Bewusstsein*: 54-61.
- Mazziotta JC (2002) Time and space. In: *Brain mapping* (Toga AW, Mazziotta JC, Hg.), S. 33-46. Amsterdam: Academic Pr.
- Mazziotta JC, Toga AW (2002) Speculations about the future. In: *Brain mapping* (Toga AW, Mazziotta JC, Hg.), S. 829-56. Amsterdam: Academic Pr.
- Mazzoni G, Gori S, Formicola G, Gneri C, Massetani R, Murri L, Salzarulo P (1999) Word recall correlates with sleep cycles in elderly subjects. *J Sleep Res* 8:185-8.
- Mazzoni P, Andersen RA, Jordan MI (1991) A more biologically plausible learning rule for neural networks. *PNAS* 88:4433-7.
- McClelland JL, Fiez JA, McCandliss BD (2002) Teaching the /r/-/l/ discrimination to Japanese adults: behavioral and neural aspects. *Physiol Behav* 77:657-62.
- McClelland JL, Patterson K (2002) Rules or connections in past-tense inflections: what does the evidence rule out? *Trends Cogn Sci* 6:465-72.
- McDonald RJ, White NM (1993) A triple dissociation of memory systems: Hippocampus, Amygdala, and Dorsal striatum. *Behav Neurosci* 107:3-22.
- McGuire PK, Robertson D, Thacker A, David AS, Kitson N, Frackowiak RSJ, Frith CD (1997) Neural correlates of thinking in sign language. *Neuroreport* 8:695-8.
- Meaburn E, Dale PS, Craig IW, Plomin R (2002) Language-impaired children: no sign of the FOXP2 mutation. *Neuroreport* 13:1075-7.
- Meara P, Rodgers C, Jacobs G (2000) Vocabulary and neural networks in the computational assessment of texts written by second-language learners. *System* 28:345-54.
- Mechsner F (2004) Besser Lernen. *Geo* 10:160-90.
- Mednick S, Nakayama K, Stickgold R (2003) Sleep-dependent learning: a nap is as good as a night. *Nat Neurosci* 6:697-8.
- Meier J (1999) Mehr Freude und Erfolg beim Englischlernen mit innovativen Lern- und Mentaltechniken. München: IBS.
- Merzenich MM, Jenkins WM, Johnston P, Schreiner C, Miller SL, Tallal P (1996) Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. *Science* 271:77-81.
- Mintun MA, Vlassenko AG, Rundle MM, Raichle ME (2004) Increased lactate/pyruvate ratio augments blood flow in physiologically activated human brain. *PNAS* 101:659-64.
- Miyamoto H, Hensch TK (2003) Reciprocal interaction of sleep and synaptic plasticity. *Mol Intervent* 3:404-17.

- Mogilner A, Grossman JA, Ribary U, Joliot M, Volkman J, Rapaport D, Beasley RW, Llinas RR (1993) Somatosensory cortical plasticity in adult human revealed by magnetoencephalography. *PNAS* 90:3593-7.
- Morin H (2004) Pourquoi „la nuit porte conseil“. *Le Monde* 6:2.
- Moser A, Nösselt HJ (1966) Geschichte des Violinspiels. Das Violinspiel bis 1800 (Italien). Tutzing: Schneider.
- Moss HE, Tyler LK (2000) A progressive category-specific semantic deficit for non-living things. *Neuropsychologia* 38:60-82.
- MSWWF (Hg.) (2000) Schriftenreihe Schule in NRW, Nr. 3417: Sekundarstufe I Gymnasium, Richtlinien und Lehrpläne, Englisch. Frechen: Ritterbach.
- Müller HM (2003) Neurobiologische Aspekte des Fremdsprachenlernens. *FLuL* 32:167-77.
 - Multhaup U (1995) Psycholinguistik und fremdsprachliches Lernen. Ismaning: Hueber.
 - Multhaup U (1997a) Prozedurales Wissen und Fremdsprachenunterricht. *NM* 50:74-83.
 - Multhaup U (1997b) Mental networks, procedural knowledge and foreign language teaching. *Lang Awareness* 6:75-92.
- Musso M, Moro A, Glauche V, Rijntjes M, Reichenbach J, Büchel C, Weiller C (2003) Broca's area and the language instinct. *Nat Neurosci* 6:774-81.
- Newport EL (2002) Critical periods in language development. In: *Encyclopedia of cognitive science* (Nadel L, Hg.), S. 737-40. London: Macmillan.
- Ney JW, Pearson BA (1990) Connectionism as a model of language learning: parallels in foreign language teaching. *Mod Lang J* 74:474-82.
- Nikolov M (2000) The Critical Period Hypothesis reconsidered: Successful adult learners of Hungarian and English. *IRAL* 38:109-24.
- Norman DA (1988) Reflections on cognition and parallel distributed processing. In: *Parallel distributed processing. Psychological and biological models* (Rumelhart DE, McClelland JL, PDP Research Group, Hg.), S. 531-46. Cambridge, MA: MIT Pr.
- O'Brien EK, Zhang X, Nishimura C, Tomblin JB, Murray JC (2003) Association of specific language impairment (SLI) to the region of 7q31. *Am J Hum Genet* 72:1536-43.
- OECD (2002) *Understanding the brain: Towards a new learning science*. Paris: OECD Publications.
- Oerter R (2002) Hochleistungen in Musik und Sport. In: *Entwicklungspsychologie* (Oerter R, Montada L, Hg.), S. 787-99. Weinheim: Beltz.
- Oerter R, Montada L (Hg.) (2002) *Entwicklungspsychologie*. Weinheim: Beltz.
- Packard MG, Knowlton BJ (2002) Learning and memory functions of the Basal Ganglia. *Annu Rev Neurosci* 25:563-93.
- Pallier C, Dehaene S, Poline JB, LeBihan D, Argenti AM, Dupoux E, Mehler J (2003) Brain imaging of language plasticity in adopted adults: Can a second language replace the first? *Cereb Cortex* 13:155-61.
- Papagno C, Valentine T, Baddeley AD (1991) Phonological short-term memory and foreign-language vocabulary learning. *J Mem Lang* 30:331-47.

- Parkin AJ (1998) The central executive does not exist. *J Int Neuropsychol Soc* 4:518-22.
- Pascual-Leone A, Nguyet D, Cohen LG, Brasil-Neto JP, Cammarota A, Hallett M (1995) Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *J Neurophysiol* 74:1037-45.
- Patkowski MS (1990) Age and accent in a second language: a reply to James Emil Flege. *Appl Ling* 11:73-89.
- Paulus J (2003) Lernrezepte aus dem Hirnlabor. *Die Zeit* 38.
- Perani D, Dehaene S, Grassi F, Cohen L, Cappa SF, Dupoux E, Fazio F, Mehler J (1996) Brain processing of native and foreign languages. *Neuroreport* 7:2439-44.
- Perani D, Paulesu E, Galles NS, Dupoux E, Dehaene S, Bettinardi V, Cappa SF, Fazio F, Mehler J (1998) The bilingual brain. *Brain* 121:1841-52.
- Petit J (2002) Eine Didaktik der frühen Immersion. In: *Didascalies: Analyses et réflexions en linguistique, textologie et didactique* (Métrich R, Petit J, Hg.), S. 175-89. Richardménil: ANCA.
- Philips (2003) Basic principles of MR imaging. Code-Nr. 4522 982 68501.
- Pilzecker B (1998) Sprachen als Fach und als Medium im Sachfachunterricht: unter besonderer Berücksichtigung der Sprache Englisch an einer deutschen Begegnungsschule in Südafrika. Frankfurt a.M.: Peter Lang.
- Pinker S (1995) *The language instinct*. New York: HarperPerennial.
- Pinker S (1997) *How the mind works*. New York: Norton & Co.
- Pinker S (2000) *Words and rules*. New York: Perennial.
- Pinker S (2001) Talk of genetics and vice versa. *Nature* 413:465-6.
- Pinker S, Prince A (1988) On language and connectionism: analysis of a parallel distributed processing model of language acquisition. *Cognition* 23:73-193.
- Pinker S, Ullman MT (2002) The past and future of the past tense. *Trends Cogn Sci* 6:456-63.
- Pintrich PR, Schunck DH (1996) *Motivation in education: theory, research, and applications*. Englewood Cliffs, NJ: Merrill.
- Plunkett K (1998) Development in a connectionist framework: rethinking the nature-nurture debate. In: *Papers in first language acquisition* (Bleses D, Wagner J, Hg.), S. 1-22. Odense: Odense Univ.
- Plunkett K, Juola P (1999) A connectionist model of English past tense and plural morphology. *Cogn Sci* 23:463-90.
- Plunkett K, Marchman VA (1991) U-shaped learning and frequency effects in a multi-layered perceptron: implications for child language acquisition. *Cognition* 38:43-102.
- Plunkett K, Marchman VA (1996) Learning from a connectionist model of the acquisition of the English past tense. *Cognition* 61:299-308.
- Poeck K, Hacke W (1998) *Neurologie*. Berlin: Springer
- Poeppel D, Hickock G (2004) Towards a new functional anatomy of language. *Cognition* 92:1-12.
- Popper KR, Lorenz K (1984) *Die Zukunft ist offen*. München: Piper.

- Posner MI, Petersen SE, Fox PT, Raichle ME (1988) Localization of cognitive operations in the human brain. *Science* 240:1627-31.
- Posner MI, Raichle ME (1994) *Images of mind*. New York: Sci Am Lib.
- Prabhakaran V, Narayanan K, Zhao Z, Gabrieli JD (2000) Integration of diverse information in working memory within the frontal lobe. *Nat Neurosci* 3:85-90.
- Preiß G (1996a) Neurodidaktische Grundlagen für das Projekt „Didaktische Träger für Zahlen“. In: *Neurodidaktik* (Preiß G, Hg.), S. 81-96. Pfaffenweiler: Centaurus.
- Preiß G (1996b) Das Projekt „Didaktische Träger für Zahlen“. In: *Neurodidaktik* (Preiß G, Hg.), S. 97-128. Pfaffenweiler: Centaurus.
- Pulvermüller F, Schumann JH (1994) Neurobiological mechanisms of language acquisition. *Lang Learn* 44:681-734.
- Quetz J (1998) Der Systematische Aufbau eines „mental Lexikons“. In: *Englisch lernen und lehren* (Timm JP, Hg.), S. 272-90. Berlin: Cornelsen.
- Quintana J, Fuster JM (1993) Spatial and temporal factors in the role of prefrontal and parietal cortex in visuomotor integration. *Cereb Cortex* 3:122-32.
- Radford A (1990) *Syntactic theory and the acquisition of English syntax*. Oxford: Basil Blackwell.
- Ramscar M (2002) The role of meaning in inflection: why the past tense does not require a rule. *Cognit Psychol* 45:45-94.
- Rapp PR, Bachevalier J (2003) Cognitive development and aging. In: *Fundamental neuroscience* (Squire LR, Bloom FE, McConnell SK, Roberts JL, Spitzer NC, Zigmond MJ, Hg.), S. 1167-200. Amsterdam: Academic Pr.
- Rechtschaffen A, Siegel J (2000) Sleep and dreaming. In: *Principles of neural science* (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 936-47. New York: McGraw-Hill.
- Regier T, Gahl S (2003) Learning the unlearnable: the role of missing evidence. *Cognition* 93:147-55.
- Reiserer M, Mandl H (2002) Individuelle Bedingungen lebensbegleitenden Lernens. In: *Entwicklungspsychologie* (Oerter R, Montada L, Hg.), S. 923-39. Weinheim: Beltz.
- Rekowski P (2003) „Yes, I can smell it!“. *Praxis* 50:39-44.
- Renault B, Garnero L (2004) Botschaften aus der Hirnrinde. *SdW Spezial Bewusstsein* 44-51.
- Reynolds JH, Gottlieb JP, Kastner S (2003) Attention. In: *Fundamental neuroscience* (Squire LR, Bloom FE, McConnell SK, Roberts JL, Spitzer NC, Zigmond MJ, Hg.), S. 1249-75. Amsterdam: Academic Pr.
- Richardson MP, Strange BA, Dolan RJ (2004) Encoding of emotional memories depends on amygdala and hippocampus and their interaction. *Nat Neurosci* 7:278-85.
- Ritter H, Kohonen T (1989) Self-organizing semantic maps. *Biol Cybern* 61:241-51.
- Rivers WM (1991) Mental representations and language in action. *Can Mod Lang Rev* 47:249-65.
- Robbins TW, Everitt BJ (2003) Motivation and reward. In: *Fundamental neuroscience* (Squire LR, Bloom FE, McConnell SK, Roberts JL, Spitzer NC, Zigmond MJ, Hg.), S. 1110-26. Amsterdam: Academic Pr.
- Robertson J (2000) Increasing access to modern foreign languages to pupils with special educational needs: a neuropsychological perspective. *Support Learn* 15:62-6.

- Robinson P (1995) Attention, memory, and the ‘noticing’ hypothesis. *Lang Learn* 45:283-331.
- Rohrer J (1993) Vernetztes Denken im Fremdsprachenunterricht. *NM* 46:212-7.
- Roth (2003) The principle of emotional learning. In: *Principles of learning and memory* (Kluwe RH, Lüer G, Rösler F, Hg.), S. 71-91. Basel: Birkhäuser.
- Roth G (2001) *Fühlen, Denken, Handeln*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Rück H (2004) *Fremdsprachen in der Grundschule*. Landau: Knecht.
- Rumelhart DE, McClelland JL (1988b) Future directions. In: *Parallel distributed processing. Psychological and biological models* (Rumelhart DE, McClelland JL, PDP Research Group, Hg.), S. 547-52. Cambridge, MA: MIT Pr.
- Rumelhart DE, McClelland JL [1986a] (1988a) On learning the past tenses of English verbs. In: *Parallel distributed processing. Psychological and biological models* (Rumelhart DE, McClelland JL, PDP Research Group, Hg.), S. 216-71. Cambridge, MA: MIT Pr.
- Rumelhart DE, McClelland JL, PDP Research Group [1986a] (1988a) Parallel distributed processing. *Explorations in the microstructure of cognition*. Cambridge, MA: MIT Pr.
- Rumelhart DE, McClelland JL, PDP Research Group [1986b] (1988b) Parallel distributed processing. *Psychological and biological models*. Cambridge, MA: MIT Pr.
- Sabourin L, Stowe L (2004) Memory effects in syntactic ERP tasks. *Brain Cogn* 55:392-5.
- Saeki E, Saito S (2004) Effect of articulatory suppression on task-switching performance: implications for models of working memory. *Memory* 12:257-71.
- Sandmeyer P, Sadre-Chirazi-Stark M (2004) Ötzis Erbe. *G&G* 2:38-42.
- Saper CB, Iversen S, Frackowiak R (2000). Integration of sensory and motor function: the association areas of the cerebral cortex and the cognitive capabilities of the brain. In: *Principles of neural science* (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 348-80. New York: McGraw-Hill.
- Sauer H (2004) Neue Entwicklungen im Frühbeginn des Fremdsprachenunterrichts im Spiegel fachdidaktischer Veröffentlichungen (2000-2004). In: *Innovative Fremdsprachendidaktik* (Deringer L, Hg.), S.81-110. Frankfurt a.M.: Peter Lang.
- Savage-Rumbaugh S, Lewin R (1995) *Kanzi, der sprechende Schimpanse*. München: Droemer Knauer.
- Schab FR (1990) Odors and the remembrance of things past. *J Exp Psychol: Learn Mem Cogn* 16:648-55.
- Schäfer W (2003) 80 Vokabeln in einer Stunde? *Praxis* 50:420-3.
- Scheich H (2004) *Das Manifest*. *G&G* 6:30-7.
- Schiffler L (1989) *Suggestopädie und Superlearning – empirisch geprüft*. Frankfurt a.M.: Diesterweg.
- Schiffler L (2000) Neuere physiologische Untersuchungen des Gehirns und das Fremdsprachenlernen. *NM* 53:220-3.
- Schiffler L (2002) *Fremdsprachen effektiver lehren und lernen*. Donauwörth: Auer.
- Schiffler L (2003a) *Interhemisphärisches Lehren und Lernen im Fremdsprachenunterricht*. *Praxis* 50:82-9.

- Schiffler L (2003b) Über die „Zauberei“ didaktischer Forschung. *Praxis* 50:423-4.
- Schlaepfer TE, Harris GJ, Tien AY, Peng L, Lee S, Pearlson GD (1995) Structural differences in the cerebral cortex of healthy female and male subjects: a magnetic resonance imaging study. *Psychiatry Res* 61:129-35.
- Schmidt C (2000) Arbeitsgedächtnis und fremdsprachliches Leseverstehen. *ZFF* 11:83-101.
- Schmidt RW (1990) The role of consciousness in second language learning. *Appl Ling* 11:129-58.
- Schmidt-Schönbein (2001) *Didaktik: Grundschulenglisch*. Berlin: Cornelsen.
- Schnabel U (2002) Auf der Suche nach dem Kapiertrieb. *Die Zeit* 48.
- Schönpflug U (2003) Lerntheorie und Lernpsychologie. In: *Handbuch Fremdsprachenunterricht* (Bausch KR, Christ H, Krumm HJ, Hg.), S. 49-54.
- Schumann JH (1994) Where is cognition? *Stud Sec Lang Acquis* 14:231-42.
- Schumann JH (1998) *The neurobiology of affect in language*. Malden, MA: Blackwell.
- Segalowitz SJ (2000) Predicting child language impairment from too many variables: overinterpreting stepwise discriminant function analysis. *Brain Lang* 71:337-43.
- Segermann K (2003) Wortschatz und Grammatik im Dienst der Kommunikation. *Praxis* 50:340-50.
- Seidenberg MS (1997) Language acquisition and use: learning and applying probabilistic constraints. *Science* 275:1599-603.
- Shaw J (1998) *New fundamentals of language acquisition: towards a model didactics*. Aachen: Shaker.
- Singleton D (1989) *Language acquisition*. Clevedon: Multilingual Matters.
- Singleton D (2000) Age and second language acquisition. *Annu Rev App Ling* 21:77-89.
- Singleton D, Ryan L (2004) *Language acquisition: the age factor*. Clevedon: Multilingual Matters.
- Skinner BF (1971) *Erziehung als Verhaltensformung*. München-Neubiberg: Keimer.
- Slavoff GR, Johnson JS (1995) The effects of age on the rate of learning a second language. *Stud Sec Lang Acquis* 17:1-16.
- Smith EE, Jonides J (2003) Executive control and thought. In: *Fundamental neuroscience* (Squire LR, Bloom FE, McConnell SK, Roberts JL, Spitzer NC, Zigmond MJ, Hg.), S. 1377-94. Amsterdam: Academic Pr.
- Sokolik ME (1990) Learning without rules: PDP and a resolution of the adult language learning paradox. *TESOL Quart* 24:685-96.
- Sokolik ME, Smith ME (1992) Assignment of gender to French nouns in primary and secondary language: a connectionist model. *Sec Lang Res* 8:39-58.
- Spitzer M (2000) *Geist im Netz*. Heidelberg: Spektrum.
- Spitzer M (2003a) *Lernen*. Heidelberg: Spektrum.
- Spitzer M (2003b) *Medizin für die Pädagogik*. *Die Zeit* 39.
- Stern HH (1976) Optimal age: myth or reality? *Can Mod Lang Rev* 32:283-94.
- Stollorz V (2004) Sind Erinnerungen ansteckend? *FAZ* 2.

- Sun R, Peterson T, Sessions C (2001) Beyond simple rule extraction: acquiring planning knowledge from neural networks. <http://www.cecs.missouri.edu/~rsun/sun.wirn01.pdf>.
- Susswein AJ, Katzoff A, Miller N, Hurwitz I (2004) Nitric oxide and memory. *Neuroscientist* 153-62.
- Szaflarski JP, Binder JR, Possing ET, McKiernan KA, Ward BD, Hammeke TA (2002) Language lateralization in left-handed and ambidextrous people: fMRI data. *Neurology* 59:238-4.
- Taatgen NA (2001) Extending the past-tense debate: a model of the German plural. In: *Proceedings of the twenty-third annual conference of the cognitive science society* (Moore JD, Stenning K, Hg.), S. 1018-23. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Tallal P (1999) Children with language impairment can be accurately identified using temporal processing measures: a response to Zhang and Tomblin. *Brain Lang* 69:222-9.
- Tallal P (2004) Improving language and literacy is a matter of time. *Net Rev Neurosci* 5:721-8.
- Tallal P, Miller SL, Bedi G, Byma G, Wang X, Nagarajan SS, Schreiner C, Jenkins WM, Merzenich MM (1996) Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science* 271:27-8.
- Tallal P, Stark R, Mellitis E (1985) Identification of language-impaired children on the basis of rapid perception and production skills. *Brain Lang* 25:351-7.
- Teepe H (2004) Do violent video games increase aggression? *EBU* 4:6-11.
- Teramitsu I, Kudo LC, London SE, Geschwind DH, White SA (2004) Parallel FOXP1 and FOXP2 expression in songbird and human brain predicts functional interaction. *J Neurosci* 24:3152-63.
- Thiel MM (Hg.) (2004) *Aphasie*. Berlin: Springer.
- Toga AW, Mazziotta JC (2002) Introduction to cartography of the brain. In: *Brain mapping* (Toga AW, Mazziotta JC, Hg.), S. 3-31. Amsterdam: Academic Pr.
- Traoré S (2002) Gedächtnis, Gehirnsysteme und Wissenserwerb. *DaF* 39:19-22.
- Trepel M (1999) *Neuroanatomie*. München: Urban & Fischer.
- Tulving E (1972) Episodic and semantic memory. In: *Organization of memory* (Tulving E, Donaldson W, Hg.), S. 381-403. New York: Academic.
- Tulving E, Thomson DM (1973) Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychol Rev* 80:352-337.
- Ullman MT (2001) The neural basis of lexicon and grammar in first and second language: the declarative/procedural model. *Bilingualism: Lang Cogn* 4:105-22.
- Ullman MT, Corkin S, Coppola M, Hickok G, Growdon JH, Koroshetz WJ, Pinker S (1997) A neural dissociation within language: evidence that the mental dictionary is part of declarative memory, and that grammatical rules are processed by the procedural system. *J Cogn Neurosci* 9:266-76.
- van Lancker-Sidtis (2004) When only the right hemisphere is left: studies in language and communication. *Brain Lang* 91:199-211.
- Vester F (2002) *Denken, Lernen, Vergessen*. München: dtv.

- Visel A, Thaller C, Eichele G (2004) GenePaint.org: an atlas of gene expression patterns in the mouse embryo. *Nucleic Acids Res* 32:D552-6.
- von Hentig H (1999) *Ach, die Werte!* München: Hanser.
- Waelti P, Dickinson A, Schultz W (2001) Dopamine responses comply with basic assumption of formal learning theory. *Nature* 412:43-8.
- Walker MP, Liston C, Hobson JA, Stickgold R (2002) Cognitive flexibility across the sleep-wake cycle: REM-sleep enhancement of anagram problem solving. *Cogn Brain Res* 14:317-24.
- Wartenburger I, Heekeren HR, Abutelabi J, Cappa SF, Villringer A, Perani D (2003) Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron* 37 :159-70.
- Wattendorf E, Westermann B, Zappatore D, Franceschini R, Lüdi G, Radü EW, Nitsch C (2001) Different languages activate different subfields in Broca area. *Neuroimage* 6:624.
- Waxham MN (2003) Neurotransmitter receptors. In: *Fundamental neuroscience* (Squire LR, Bloom FE, McConnell SK, Roberts JL, Spitzer NC, Zigmond MJ, Hg.), S. 225-58. Amsterdam: Academic Pr.
- Waxman EA, Lynch DR (2005) N-methyl-D-aspartate receptor subtypes: multiple roles in excitotoxicity and neurological disease. *Neuroscientist* 11:37-49.
- Weber-Fox C, Neville HJ (2001) Sensitive periods differentiate processing of open- and closed-class words: an ERP study of bilinguals. *J Speech Lang Hear Res* 44:1338-53.
- Weekes BS, Chan A, Kwok JSW, Tan LH, Jin Z (2004) AoA effects on Chinese language processing: an fMRI study. *Brain Lang* 91:33-4.
- Wehner R, Gehring W (1995) *Zoologie*. Stuttgart: Thieme.
- Wendt M (2000) Kognitionstheorie und Fremdsprachendidaktik zwischen Informationsverarbeitung und Wirklichkeitskonstruktion. In: *Konstruktion statt Instruktion* (Wendt M, Hg.), S. 15-39.
 - Wendt M (2002) Kontext und Konstruktion: Fremdsprachendidaktische Theoriebildung und ihre Implikationen für die Fremdsprachenforschung. *ZFF* 13:1-62.
- Westbrook GL (2000) Seizures and epilepsy. In: *Principles of neural science* (Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Hg.), S. 910-35. New York: McGraw-Hill.
- Westphal GF (1989) The critical age, individual differences, and grammar rules in adult language acquisition. *Can Mod Lang Rev* 46:83-102.
- Wilde O (2000) *The importance of being earnest and other plays*. London: Penguin.
- Williams M, Burden RL (2001) *Psychology for language teachers*. Cambridge: Cambridge Univ. Pr.
 - Winter W (2000) Sperrmüllaktion: Sammlung überholter Methoden im Englischunterricht der Sekundarstufe I (und darüber hinaus). *Praxis* 47:80-90.
 - Wode H (1994) Nature, nurture, and age in language acquisition. *Stud Sec Lang Acquis* 16:325-45.
- Zencius AH, Wesolowski MD, Rodriguez IM (1998) Improving orientation in head injured adults by repeated practice, multi-sensory input and peer participation. *Brain Injury* 12:53-61.

Zhang X, Tomblin JB (1998) Can children with language impairment be accurately identified using temporal processing measures? A simulation study. *Brain Lang* 65:395-403.

Zimbardo RJ, Gerrig PG (2003) *Psychologie*. Berlin: Springer.

Zimmer DE (1988) *Die Vernunft der Gefühle*. München: Piper.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Harald Teepe
Geburtsdatum: 29.07.1974
Geburtsort: Linnich
Staatsangehörigkeit: deutsch

Bildungsweg

1981-1985	Katholische Grundschule der Stadt Linnich
1985-1994	Gymnasium Haus Overbach in Barmen
07.06.1994	Abitur
1994-2000	Studium der Fächer Englisch und Biologie für das Lehramt für die Sekundarstufen II und I an der RWTH Aachen
01.12.1997	Zwischenprüfung in den Fächern Englisch und Biologie
23.06.2000	1. Staatsexamen in Englisch und Biologie für die Sekundarstufen II und I an der RWTH Aachen
2001-2003	Studienreferendar für die Fächer Englisch und Biologie für die Sekundarstufen II und I am Studienseminar Aachen II Ausbildungsschule: Städtisches Couven-Gymnasium Aachen
27.11.2002	2. Staatsexamen in Englisch und Biologie für die Sekundarstufen II und I
03/2003-06/2005	Promotion im Fach Anglistische Sprachwissenschaft an der RWTH Aachen (gefördert durch ein Graduiertenstipendium der RWTH Aachen)
seit 2003	Lehraufträge zur Unterrichtspraxis Englisch für Lehramtsstudierende