

Diplomarbeit

Das bilinguale Gehirn

eingereicht von

Christina Theoharidou

Geb.Dat.: 22.12.1985

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am

Institut für Physiologie

unter der Anleitung von

Ass.-Prof. Mag. Dr. phil. Dr. scient. med. Peter Marschik

und

Ao.Univ.-Prof. Dr. phil. Christa Einspieler

Ort, Datum (Unterschrift)

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

Unterschrift

Vorwort

Die Idee zu dieser Arbeit entstand nach dem Besuch des Seminars Entwicklungsneuropsychologie bei Herrn Ass.-Prof. Mag. Dr. phil. Dr. scient. med. Peter Marschik und Frau Ao.Univ.-Prof. Dr. phil. Christa Einspieler.

In diesem Seminar lag der Schwerpunkt auf dem Thema Sprache und ich durfte mich mit ein paar meiner KollegInnen mit dem „bilingualen Gehirn“ beschäftigen.

Da ich ein Kind aus zweiter Generation griechischer Gastarbeiter in Deutschland und somit zweisprachig aufgewachsen bin, war dieses Thema besonders interessant für mich.

Wie würden wohl zwei verschiedene Sprachen im Gehirn organisiert sein und welche Besonderheiten würde ein Gehirn mehrsprachiger Menschen aufweisen. Diese Themen faszinierten mich und ich wollte mich gerne näher mit Ihnen befassen.

Herr Ass.-Prof. Peter Marschik und Frau Prof.in Dr. phil. Christa Einspieler gaben mir in Form dieser Diplomarbeit die Möglichkeit dazu und ermöglichten mir auch das praktische Arbeiten mit drei bilingualen Kindern, was mir große Freude bereitete.

Danksagungen

Zuerst möchte ich mich recht herzlich bei meinem Betreuer, Herrn Ass.-Prof. Peter Marschik, für die Bereitstellung dieses Themas und die intensive Unterstützung und Begleitung während der gesamten Arbeit bedanken.

Vielen herzlichen Dank auch an meine Zweitbetreuerin, Frau Prof.in Christa Einspieler, für die Betreuung und Unterstützung zur Verwirklichung dieser Arbeit.

Ein ganz besonderer Dank gilt Frau Mag. Katrin Bartl für die Durchführung des Eye-Trackings, die gute Zusammenarbeit während der Studie und ihre stets schnelle und tatkräftige Unterstützung.

Vielen lieben Dank auch an die Kinder, die an dieser Studie teilgenommen haben.

Des Weiteren möchte ich mich bei Frau MMag. Elisabeth Strutzmann für die notwendigen Informationen und Hinweise in der Entstehungsphase dieser Arbeit bedanken.

Ich möchte diese Gelegenheit auch gerne dazu nutzen all den lieben Menschen zu danken, die mich während meines gesamten Studiums begleitet haben und mir stets zur Seite standen.

Dazu zählen meine Eltern, die mir mein Medizinstudium ermöglicht haben und mich unterstützt haben, wie sie nur konnten. Danke für die Kraft und den Rückhalt, den ihr mir gegeben habt.

Auch meinen Großeltern möchte ich für ihre Unterstützung und ihr Vertrauen in mich danken.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinen StudienkollegInnen und FreundInnen bedanken. Vielen Dank für eure Anregungen und euren Zuspruch!

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	ii
Danksagungen	iii
Zusammenfassung	vi
Abstract	vii
Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	ix
Abkürzungsverzeichnis	10
1 Einleitung	13
1.1 DEFINITION DES BILINGUALISMUS	14
2 Die neuronalen Grundlagen des Bilingualismus	14
2.1 SPRACHREGIONEN IM GEHIRN	14
2.1.1 Die Entdeckung anatomisch lokalisierbarer Gehirnfunktionen	14
2.1.1.1 Erste Theorien über das „bilinguale Gehirn“.....	16
2.1.1.2 Das erste Sprachmodell.....	16
2.1.1.3 Heutige Kenntnisse über die Sprachfunktionen des Gehirns.....	19
2.1.2 Lateralisation und Dominanz	25
2.1.2.1 Anatomische Asymmetrie.....	25
2.1.2.2 Händigkeit.....	25
2.1.2.3 Unterschiedliche Aufgaben der Hemisphären.....	26
2.1.2.4 Lateralisation und Bilingualismus.....	27
2.1.3 „Sprachgene“	28
2.1.4 Bildgebende Verfahren	29
2.1.4.1 Positronenemissionstomographie (PET).....	29
2.1.4.2 Funktionelle Magnetresonanztomographie (f-MRT).....	30
2.1.5 Messung von Hirnströmen	31
2.1.5.1 Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP).....	31
2.1.6 Lokalisation von L1 und L2 im Gehirn	32
2.1.6.1 Zeitpunkt des Zweitspracherwerbs und Sprachniveau.....	32
2.1.7 Kontrollinstanzen	36
2.1.8 Der Wortspeicher von L1 und L2	38
2.1.8.1 Lokalisation des Wortspeichers.....	38
2.1.8.2 Die Selektion des Wortspeichers.....	39
2.1.8.3 Kontrollinstanzen.....	40
3 Empirischer Teil	41
3.1 ZIELE	41
3.2 PROBANDINNEN	41

3.3	METHODE.....	42
3.4	ERGEBNISSE	44
3.4.1.1	Aktiver und passiver Wortschatz	44
3.4.1.1.1	ACDI-3.....	44
3.4.1.1.2	AWST-R.....	46
3.4.1.1.3	Vergleich von ACDI-3 und AWST-R	46
3.4.1.1.4	PPVT	46
3.4.1.2	Grammatikkompetenz	47
3.4.1.2.1	TROG-D.....	47
3.4.1.2.2	SETK 3-5	48
3.4.1.3	Narrative Kompetenz.....	48
3.4.1.3.1	Patholinguistische Diagnostik	48
3.4.1.4	Schriftsprachliche Fähigkeiten.....	49
3.4.1.4.1	K-ABC.....	49
3.4.1.4.2	SLRT-I und II	49
3.4.1.4.3	Eye Tracking.....	50
3.4.1.4.4	SLRT-II	52
3.5	DISKUSSION	53
4	Literaturverzeichnis	58
Anhang	64
Lebenslauf.....	67

Zusammenfassung

Hintergrund: Der Bilingualismus ist in den letzten Jahrzehnten zu einem großen Forschungsgebiet der Neurowissenschaften herangewachsen. Die steigende Zahl an experimentellen Studien zur Ergründung der Funktionsweise des Gehirns bilingualer SprecherInnen belegt dies eindrucksvoll. Das ist entscheidend, da in der heutigen Zeit der Globalisierung der Bilingualismus stetig zunimmt und somit auch die Zahl der PatientInnen, die bilingual sind. Um diese PatientInnen bei neurologischen Erkrankungen, welche die Sprachfunktionen des Gehirns betreffen, bestmöglich behandeln zu können, ist es wichtig die grundlegenden neuronalen Vorgänge des „bilingualen Gehirns“ zu verstehen.

Zielsetzung: Ziel dieser Arbeit ist es, auf Basis der heutigen Kenntnisse über die Sprachfunktionen des Gehirns, den derzeitigen Wissensstand über die mögliche Funktionsweise des Gehirns von bilingualen SprecherInnen darzustellen. Es sollen Aspekte der neuronalen Organisation verschiedener Sprachen im Gehirn, sowie darauf einflussnehmende Faktoren betrachtet werden. Exemplarisch soll die Sprachentwicklung dreier Spanisch-Deutsch sprechender Kinder über einen Zeitraum von 3 Jahren untersucht werden.

Methode: Es handelt sich um eine zweigeteilte Arbeit, die aus einem umfassenden Literaturteil über die Thematik des „bilingualen Gehirns“, sowie einer darauf aufbauenden experimentellen Studie, die der beispielhaften Darstellung der tatsächlichen Auswirkungen des Bilingualismus auf Aspekte der Sprachentwicklung dienen soll, besteht.

Ergebnisse: Bei der Literaturrecherche lies sich ein stetiger Wandel der Hypothesen über die Sprachfunktionen des Gehirns in den letzten drei Jahrhunderten beobachten. Die momentane Erforschung der Funktionsweise des „bilingualen Gehirns“ belegt trotz der zum Teil kontroversen Ergebnisse, dass mono- und bilinguale SprecherInnen die gleichen Areale im linkshemisphärischen Assoziationskortex um die Fissura Silvii nutzen. Faktoren, welche die Organisation von L1 und L2 mit beeinflussen sind u.a. das Sprachniveau und der Zeitpunkt des Spracherwerbs. Bei der Untersuchung der drei ProbandInnen stellten wir eine altersgerechte sprachliche Entwicklung in der L2 fest. Die Perturbation durch L1 führte in dieser Studie zu keinen feststellbaren negativen Folgen für die weitere Sprachentwicklung.

Schlussfolgerung: Abschließend muss man festhalten, dass für die weitere Erforschung des Gehirns bilingualer SprecherInnen sowohl eine standardisierte Messmethode für die Gehirnaktivitäten, als auch eine homogenere Probandenauswahl wünschenswert wäre.

Abstract

Background: During the last few decades bilingualism has evolved into a significant scientific field of neuroscience. The growing number of experimental studies on the functioning of the brain of bilingual speakers shows this trend very well. In times of globalization these studies are becoming crucial, as the number of bilingual people, and therefore the number of bilingual patients, is increasing steadily. In order to treat these patients as best as possible for neurological disorders which affect the speech functions, it will be important to understand the fundamental neuronal processes of the “bilingual brain”.

Objective: The aim of this work is to present, based on the available knowledge about speech functions, the current scientific knowledge about the brain of bilingual speakers. It tries to explore in particular how two different languages are organized in the brain, and which factors influence this organization. For the purpose of this work, the speech development of L2 of three Spanish-German speaking children will be examined. This examination will be the fourth one in a series of examinations that have been conducted since 2007.

Methods: The study will be composed of an extensive literature research on the “bilingual brain” for providing an overview of certain aspects of this topic and an experimental study will be conducted to show the effects of bilingualism on different linguistic aspects.

Results: The literature research has revealed a change in the hypotheses about the speech functions over the past three centuries. Furthermore, the current research about the functioning of the “bilingual brain” shows that in spite of some controversial results, mono- and bilingual speakers use the same areas of the left perisylvian association cortex. Age of Acquisition and proficiency are factors which influence the organization of L1 and L2 in the brain. In the behavioral examination of the three bilingual children, we obtained an age-appropriate speech development of L2 and no negative effects from the perturbation of L1 for further speech development.

Conclusion: It was concluded that a standard method for examining brain functions in these kinds of experimental studies has to be found and that the subject groups selected for these studies have to be formed more homogeneously.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Sprachregionen; adaptiert aus Prometheus - Lernatlas der Anatomie, Kopf und Neuroanatomie von M. Schünke, E. Schulte, U. Schuhmacher, M. Voll und K. Wesker. Georg Thieme Verlag 2006. p. 184. Mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlags.	15
Abbildung 2 - Geschwind-Modell 1; adaptiert aus Prometheus - Lernatlas der Anatomie, Kopf und Neuroanatomie, von M. Schünke, E. Schulte, U. Schuhmacher, M. Voll und K. Wesker. Georg Thieme Verlag 2006. p. 184. Mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlags.	17
Abbildung 3 - Geschwind-Modell 2; adaptiert aus Prometheus - Lernatlas der Anatomie, Kopf und Neuroanatomie, von M. Schünke, E. Schulte, U. Schuhmacher, M. Voll und K. Wesker. Georg Thieme Verlag 2006. p. 184. Mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlags.	18
Abbildung 4 - Gehirnübersicht; adaptiert aus Prometheus - Lernatlas der Anatomie, Kopf und . Mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlags.....	20
Abbildung 5 - Brodmann-Areale, entnommen aus Waldeyer Anatomie des Menschen von J. Fanghänel, F. Pera, F. Anderhuber, R. Nitsch. 17. Aufl. Berlin: Walter de Gruyter; 2003. p. 535.	20
Abbildung 6 - Planum temporale; adaptiert aus Prometheus - Lernatlas der Anatomie, Kopf und Neuroanatomie, von M. Schünke, E. Schulte, U. Schuhmacher, M. Voll und K. Wesker. Georg Thieme Verlag 2006. p. 381. Mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlags.	25
Abbildung 7 - Graphische Darstellung von K2 beim Lesen von Pseudowörtern aus dem SLRT-I.	51
Abbildung 8 - Graphische Darstellung der Augenbewegungen von K3 beim Lesen von Wörtern aus dem SLRT-II.	51
Abbildung 9 – Subtest für Patholinguistische Diagnostik.....	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Darstellung der Ergebnisse des ACDI-3 der Testzeitpunkte <i>T1</i> und <i>T3</i>	45
Tabelle 2 - Darstellung der Ergebnisse des SETK 3-5 der Testzeitpunkte <i>T1-T3</i>	48
Tabelle 3 - Darstellung der Ergebnisse des SLRT-I des Testzeitpunktes <i>T4</i>	50
Tabelle 4 - Darstellung der Ergebnisse des SLRT-II des Testzeitpunktes <i>T4</i>	52
Tabelle 5 – Darstellung der Ergebnisse des TROG-D der Testzeitpunkte <i>T1-T4</i>	64
Tabelle 6 – Darstellung der Ergebnisse des PPVT der Testzeitpunkte <i>T1-T4</i>	64
Tabelle 7 – Darstellung der Ergebnisse des AWST-R der Testzeitpunkte <i>T1-T3</i>	65
Tabelle 8 – Darstellung der Ergebnisse des K-ABC des Testzeitpunktes <i>T4</i>	65

Abkürzungsverzeichnis

A/A	Adjektive/Adverbien
Abb.	Abbildung
ACDI-3	Austrian Communicative Development Inventories Level 3
AoA	Age of Acquisition
AWA	Anzahl der Wörter pro Antwort
AWST-R	Aktiver Wortschatztest für 3- bis 5-jährige Kinder
BA	Brodmannareal
Betr.	Betreuer
BOLD	blood oxygen level dependent
DAWA	Durchschnittliche Anzahl der Wörter pro Antwort
d.h.	das heißt
EEG	Elektroencephalogramm
EKP	Ereigniskorrelierte Potentiale
EML	Ein-Minuten-Leseflüssigkeit
F.	Fehler
F/P	Funktionswörter/Pronomina
f-MRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
FOXP2	Forkhead-Box-Protein P2
FP	Fehlerprozent
FPW	Fehlerprozentwert
g	Gramm
GK	Fehler bei der Groß-/Kleinschreibung
Gram.	Grammatik
HW	häufige Wörter
K1	Kind 1
K2	Kind 2
K3	Kind 3
K-ABC	Kaufman Assessment Battery for Children
Kompl.	Komplexität

korr.	korrekt
L1	Muttersprache
L2	Zweitsprache
min	Minuten
ml	Milliliter
MLU	mean length of utterances
mm	Millimeter
ms	Millisekunden
N	Nomen
N-Fehler	nicht lauttreue Fehler
NO-Fehler	nicht lauttreue und orthographische Fehler
O-Fehler	orthographische Fehler
PET	Positronenemissionstomographie
PPVT	Peabody Picture Vocabulary Test
PR	Prozentrang
Pseudow.	Pseudowörter
Quant.	Quantität
RT	Rechtschreibtest
SETK 3-5	Sprachentwicklungstest für 3- bis 5-Jährige
SLRT-I	Salzburger Lese- und Rechtschreibtest I
SLTR-II	Salzburger Lese- und Rechtschreibtest II
SSS	Story Structure Score
T1	Testzeitpunkt 1
T2	Testzeitpunkt 2
T3	Testzeitpunkt 3
Tab.	Tabelle
TK	Text kurz
TL	Text lang
TROG-D	Test zur Überprüfung des Grammatikverständnisses
U15	Untertest 15

U16	Untertest 16
U2	Untertest 2
U4	Untertest 4
V	Verben
V.	Vater
Vok.	Vokabeln
W	Wörter
WÄP	Wortähnliche Pseudowörter
Wortä. Pseudow.	Wortähnliche Pseudowörter
Wortunä. Pseudow	Wortunähnliche Pseudowörter
WUP	Wortunähnliche Pseudowörter
Z.	Zeit
z.B.	zum Beispiel
Zusammeng.	Zusammengesetzt
ZW	Zusammengesetzte Wörter
ZZZ	keine Messwerte

Sonderzeichen

°	Grad
α	Alpha
γ	Gamma
¹¹ C	Kohlenstoffisotop
¹⁸ F	Fluorisotop
¹⁵ O	Sauerstoffisotop
¹³ N	Stickstoffisotop
H ⁺	Wasserstoffatom

1 Einleitung

Seit verschiedene Kulturen aufeinander treffen, kommunizieren Menschen mehrsprachig. In der heutigen Zeit der Globalisierung nimmt das Phänomen des Multilingualismus jedoch neue Ausmaße an - Mehrsprachigkeit wird für viele Menschen zu einem Alltagsphänomen. Es gibt immer mehr Kinder mit Migrationshintergrund, die zwischen ihrer Muttersprache und der Umgebungssprache differenzieren müssen. Auch ursprünglich monolingual erzogene Kinder sollen in der Schule schon möglichst früh eine Fremdsprache, bevorzugt Englisch lernen, um sich in ihrem zukünftigen Leben weltweit verständigen zu können. Somit wird von den Kindern verlangt, neben der Muttersprache schon in frühen Erwerbsphasen eine weitere Sprache zu erlernen. Trotz der Schwierigkeiten, die diese Aufgabe mit sich bringt, gelingt es den meisten bilingualen Kindern diese zu meistern und ohne ersichtlichen Mehraufwand mehrsprachig zu kommunizieren.

Doch was steckt dahinter? Welche Vorgänge erfolgen im Gehirn und ermöglichen das Verwenden mehrerer Sprachen? Gibt es Unterschiede in der neuronalen Organisation von zwei verschiedenen Sprachen? Welche Vor- und Nachteile bringt der Bilingualismus für die sprachliche Entwicklung von Kindern mit sich?

Diese Diplomarbeit soll Aspekte des derzeitigen Wissensstandes über das Gehirn bilingualer SprecherInnen präsentieren. Darüber hinaus wird die Sprachentwicklung dreier bilingualer Kinder untersucht, die Spanisch als Muttersprache und Deutsch als Zweitsprache erlernten.

1.1 Definition des Bilingualismus

Der Begriff Bilingualismus ist in der Literatur nicht einheitlich definiert. Einerseits bezeichnet er das Beherrschen zweier Sprachen seit der Kindheit, andererseits auch das Erlernen und Beherrschen der Zweitsprache ab dem Pubertätsalter. Hierbei unterscheidet man zwischen dem *frühen* und *späten Erwerb* der Zweitsprache.(1–3)

Die zuerst erworbene Sprache wird als **L1** (*Muttersprache, mother tongue*) bezeichnet und wird in einem natürlichen, meist familiären Umfeld erlernt. Die Zweitsprache wird als **L2** bezeichnet und kann sowohl eine Sprache sein, die in einem natürlichen Kontext erlernt wurde, sowie eine Fremdsprache, die beispielsweise in der Schule gelernt wurde.(1)

Beim Verwenden zweier Sprachen in einer Gesellschaft spricht man von dem kollektiven Bilingualismus. Dieses Phänomen wird in der Sprachwissenschaft mit dem Begriff *bilingualism/bilingualisme* bezeichnet. Der individuelle Bilingualismus hingegen wird mit dem Begriff *bilinguality/bilinguauté* beschrieben.(1)

2 Die neuronalen Grundlagen des Bilingualismus

Um sich heute die Frage stellen zu können wie ein „bilinguales Gehirn“ funktioniert und welche neuronalen Vorgänge der Zweisprachigkeit zu Grunde liegen, musste in der Vergangenheit Grundlegendes über die Sprachfunktionen des Gehirns erforscht werden. So begann vor mehr als 200 Jahren die Erforschung der neuronalen Korrelate der Sprache.

2.1 Sprachregionen im Gehirn

2.1.1 Die Entdeckung anatomisch lokalisierbarer Gehirnfunktionen

Die Vorstellung eines spezifischen Sprachzentrums im menschlichen Gehirn kam erstmals im 19. Jahrhundert auf, als der französische Chirurg Broca (1861) zusammen mit seinem Kollegen Aubertin bei einem aphasischen Patienten eine Frontallappenschädigung feststellte.(4,5)

Später veröffentlichte Broca acht weitere Fälle deren Sprachstörung er mit der Schädigung des linken Frontallappens in Verbindung brachte. Bei rechtehemisphärischen Schädigungen konnte er keine Verbindung zu Sprachstörungen finden und stellte somit die Hypothese auf, die linke Hemisphäre sei sprachdominant.(4)

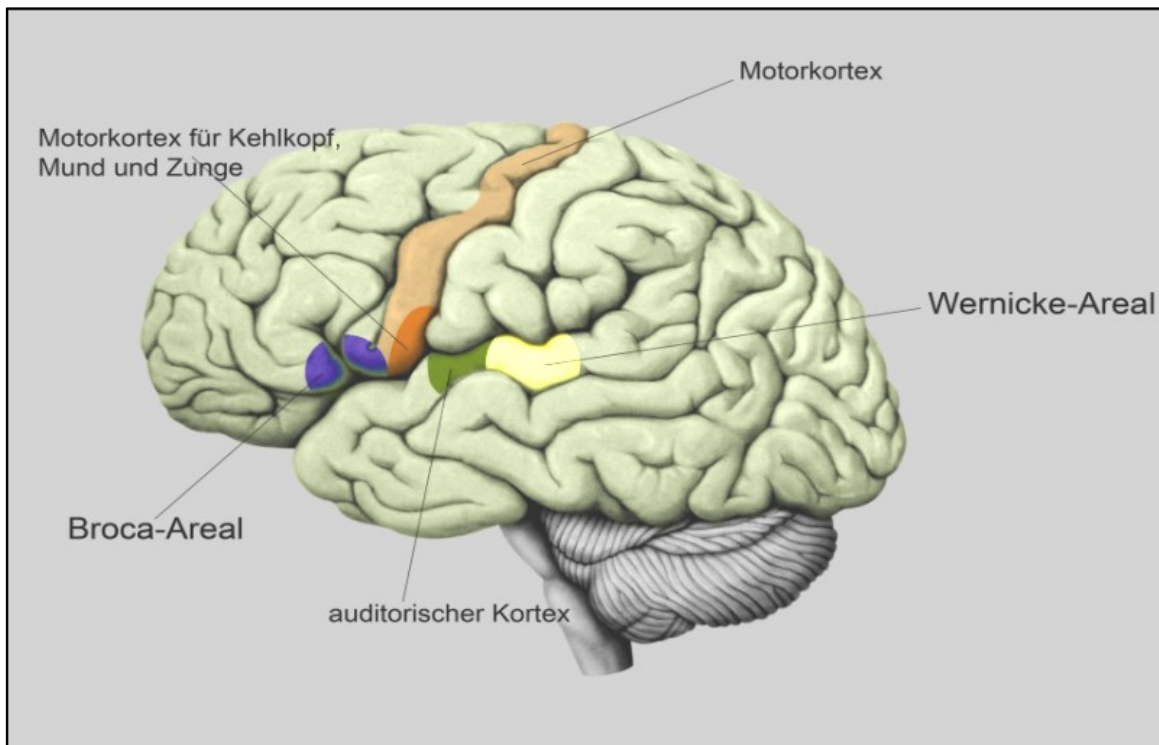


Abbildung 1 – Sprachregionen; adaptiert aus Prometheus - Lernatlas der Anatomie, Kopf und Neuroanatomie von M. Schünke, E. Schulte, U. Schuhmacher, M. Voll und K. Wesker. Georg Thieme Verlag 2006. p. 184. Mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlags.

Broca war der erste, der einer bestimmten Gehirnfunktion eine anatomisch lokalisierbare Struktur im Encephalon zuordnete und somit wurde diese Struktur nach ihm als **Broca-Areal** (Abb. 1) benannt.(5)

Kurze Zeit nach Broca entdeckte der deutsche Neurologe Carl Wernicke (1874) ein weiteres Areal im Gehirn, welches er in Verbindung mit einer Sprachfunktion brachte. Dieses Areal befindet sich im hinteren oberen Temporallappen und wird heute als **Wernicke-Areal** (Abb. 1) bezeichnet. Wernicke stellte bei einer Schädigung dieses Gebiets eine andere Art von Aphasie als bei den PatientInnen mit einer pathologischen Erkrankung des Broca-Areals fest. Demnach ordnete er diesem Teil des Gehirns das Sprachverständnis zu und grenzte es somit vom Broca-Areal, das er mit der Sprachbildung assoziierte, ab.(4)

Heute weiß man, dass diese Art der Unterteilung eine starke Vereinfachung der Sprachfunktion des Gehirns ist. Die Gehirnareale sind an mehr als einer Sprachfunktion beteiligt (siehe Kapitel 2.1.1.3). Zu dem ist eine klare anatomische Lokalisation und Abgrenzung der Gebiete nicht möglich, da sie von Mensch zu Mensch unterschiedlich sind.(4,6)

2.1.1.1 Erste Theorien über das „bilinguale Gehirn“

Die erste Vermutung über die Organisation des Gehirns mehrsprachiger Menschen kam kurze Zeit nach der Entdeckung des Broca-Areals auf. 1867 stellte Scoresby-Jackson die Hypothese auf, dass die Muttersprache im Broca-Areal und die Fremdsprachen unmittelbar vor diesem Areal im Gyrus frontalis inferior verarbeitet werden würden. Er begründete seine Hypothese mit der Beobachtung aphasischer Phänomene in der L2 eines mehrsprachigen Patienten nach einer Hirnläsion im besagten Areal. (7) Man glaubte damals aber, dies mit der Tatsache, dass keine anatomische Größenzunahme dieses „Fremdsprachen“-Areals bei Mehrsprachigen bestehe, widerlegt zu haben.(8)

Noch im gleichen Jahrhundert kam der Neurologe Pitres (1895) bei der Untersuchung bilingualer SprecherInnen mit aphasischen Sprachstörungen, die eine schnellere Erholung in der häufiger verwendeten Sprache zeigten, die nicht zwangsläufig die L1 sein musste, zu der Überlegung, es gebe keinen tatsächlichen Verlust der Sprache, sondern lediglich eine temporäre Afunktionalität durch die vorangegangene neurologische Erkrankung, die eine Inhibition des Sprachareals bewirkte. Die schnellere Erholung in der mehr verwendeten Sprache begründete er mit der Annahme verschiedener Interaktionsmuster der einzelnen Areale für die jeweilige Sprache. (8,9) Viele Neurologen wie Freud, Pick, Pötzl oder Minkowski schlossen sich Pitres an.(8)

2.1.1.2 Das erste Sprachmodell

Der Neurologe Wernicke entdeckte nicht nur das nach ihm benannte Areal im Temporallappen, sondern entwarf auch ein Sprachmodell, das in der Folge von Geschwind an der Boston-University weiterentwickelt wurde.(4,10) Hierbei handelt es sich um das **Wernicke-Geschwind-Modell**. Die Hauptkomponenten dieses Modells sind das Broca-Areal, das Wernicke-Areal, der Fasciculus arcuatus (Fasciculus longitudinalis superior), der ein Axonbündel zwischen diesen zwei

Hirnrindenarealen darstellt und als Verbindungselement dient, sowie der Gyrus angularis. Des Weiteren sind nach diesem Modell sensorische und motorische Hirnareale involviert, die ebenfalls der Sprachfunktion dienen.

Die Funktionsweise des Systems ist anhand von zwei Beispielen zu verstehen:

(1) Nachsprechen eines Wortes (Abb. 2)

Die akustischen Signale der Sprache werden über das Ohr empfangen und durch elektrische Impulse zur Hörrinde (auditorischer Kortex) weitergeleitet. Anschließend werden sie von dem Wernicke-Areal verarbeitet und als „sinnvolle“ Wörter interpretiert. Ist dies geschehen, folgt die wortbasierte Signalweiterleitung über den Fasciculus arcuatus zum Broca-Areal. Dort werden die Wörter kodiert, um den motorischen Hirnrindenarealen, die beim Sprechen für die Kontrolle von Mund, Zunge und Kehlkopf verantwortlich sind, die nötigen Informationen zu vermitteln.(4,10)

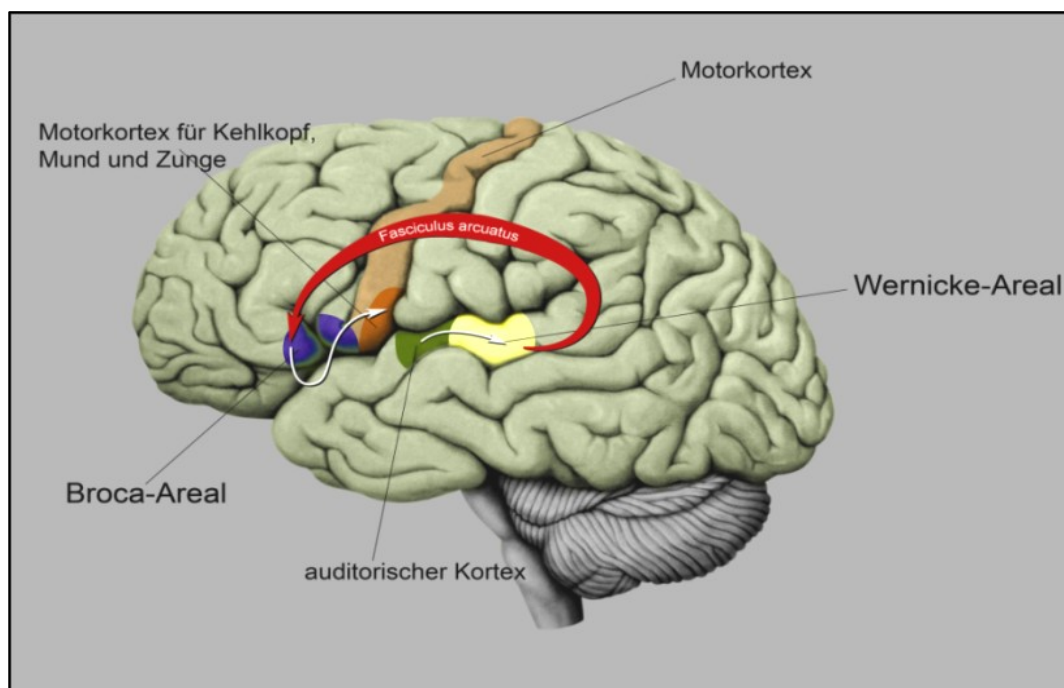


Abbildung 2 - Geschwind-Modell 1; adaptiert aus Prometheus - Lernatlas der Anatomie, Kopf und Neuroanatomie, von M. Schünke, E. Schulte, U. Schuhmacher, M. Voll und K. Wesker. Georg Thieme Verlag 2006. p. 184. Mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlags.

(2) *Vorlesen eines Textes* (Abb. 3)

Hier wird das Gelesene von der primären Sehrinde (Area striata) und von höheren Sehrindenarealen verarbeitet. Es folgt die Weiterleitung der visuellen Signale an den Gyrus angularis an der Schaltstelle zwischen Okzipital-, Parietal- und Temporallappen. Es wird angenommen, dass an dieser Stelle eine Umwandlung erfolgt, damit das Wernicke-Areal die gleichen Aktivitätsmuster entwickeln kann wie bei der Verarbeitung des gesprochenen Wortes. Nach diesen Abläufen entspricht die weitere Prozessierung der des gesprochenen Wortes über den Fasciculus arcuatus, das Broca-Areal und den motorischen Kortex.(4,10)

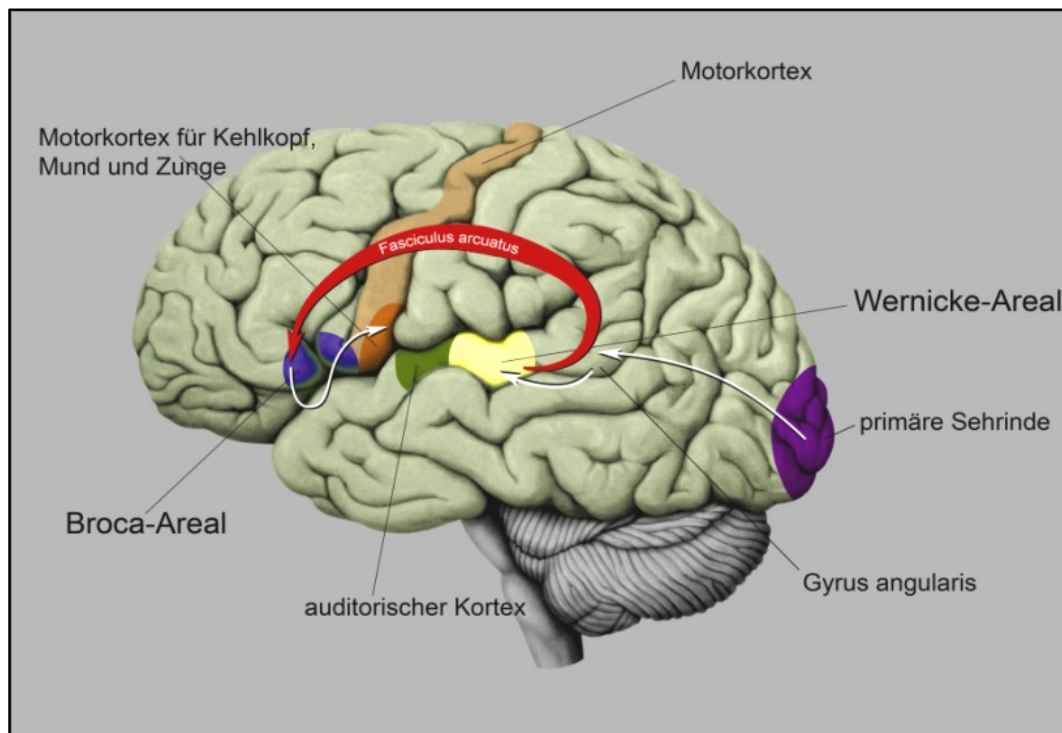


Abbildung 3 - Geschwind-Modell 2; adaptiert aus Prometheus - Lernatlas der Anatomie, Kopf und Neuroanatomie, von M. Schünke, E. Schulte, U. Schuhmacher, M. Voll und K. Wesker. Georg Thieme Verlag 2006. p. 184. Mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlags.

Bei Schädigung des Broca-Areals fehlt nun laut diesem Modell die Weiterleitung an den Motorcortex und somit dem Sprechen die motorische Kontrolle. Das Sprachverständnis wäre aber weiterhin intakt. Bei Beeinträchtigung des Wernicke-Areals würde hingegen die Transformation der Laute wegfallen und das Gehörte nicht verstanden werden. Die Sprachbildung wäre jedoch auf Grund der motorischen Kontrolle der Sprechmuskeln weiterhin möglich.

Nach heutigem Wissen ergeben sich für dieses Modell jedoch substantielle Kritikpunkte:

- Die Transformation der visuellen in pseudoakustische Reize findet in Wirklichkeit nicht statt. Man stellte bei PET-Untersuchungen keine erhöhte Aktivität im Bereich des Gyrus angularis bei visuellen Sprachaufgaben fest. Visuelle und akustische Sprachreize werden getrennt verarbeitet. Es können aber phonologische Analysen der visuellen Sprachreize stattfinden.(4,6)
- Die strikte funktionelle Trennung der Gehirnareale wie sie in diesem Modell erfolgt, vernachlässigt die Tatsache, dass Broca-Aphasiker sowohl Sprach- als auch Verständnisdefizite haben und Wernicke-Aphasiker ebenfalls Störungen in beiden Sprachmodalitäten aufweisen, jedoch in unterschiedlichem Ausmaß.(4,6,10)
- Die Fasern des Fasciculus arcuatus verlaufen in Wirklichkeit bidirektional.(11)
- Der die „Sprachzentren“ umgebende Assoziationskortex spielt ebenfalls eine Rolle für diverse Sprachfunktionen. Studien haben erwiesen, dass das Ausmaß einer Broca- oder Wernicke-Aphasie von der Größe des benachbarten, geschädigten Areals abhängt.(4)
- Subkortikale Strukturen wie Thalamus und Nucleus caudatus sind nach heutiger Sicht auch an Sprachfunktionen beteiligt.(4,6,12)

2.1.1.3 Heutige Kenntnisse über die Sprachfunktionen des Gehirns

Heute geht man davon aus, dass die menschliche Sprache durch das Zusammenwirken vieler verschiedener Gehirnregionen entsteht.

Eine wichtige Rolle spielt dabei der multimodale Assoziationskortex um die Fissura Sylvii beider Hemisphären, wobei die linke Hemisphäre die sprachdominante ist. Dieser Assoziationskortex reicht von der Pars triangularis (Brodmannareal¹(BA) 45) und opercularis (BA 44) des inferioren Gyrus frontalis über den angularen (BA 39) und supramarginalen (BA 40) Gyrus zum superioren Gyrus temporalis (BA 22) (siehe Abb. 4).(12–14)

¹ Zytoarchitektonische Einteilung der Hirnrinde. 1908 von Brodmann erstmals durchgeführt. Seither mit funktionellen Unterschieden der Rindenareale assoziiert.(11)

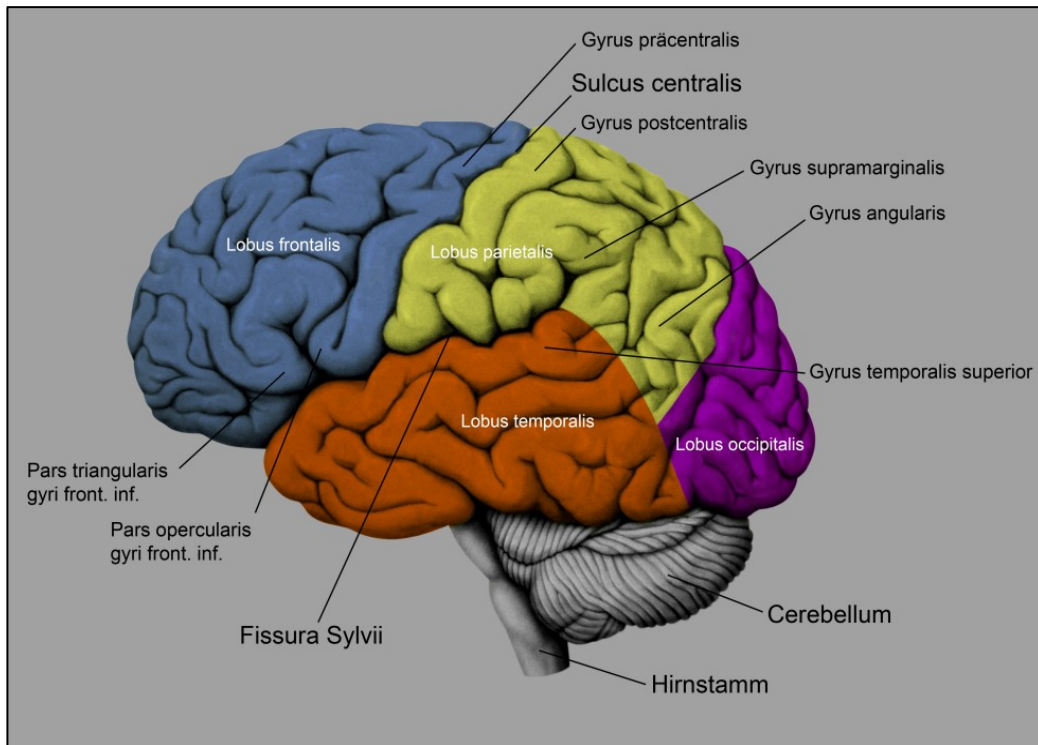


Abbildung 4 - Gehirnübersicht; adaptiert aus Prometheus - Lernatlas der Anatomie, Kopf und Neuroanatomie, von M. Schünke, E. Schulte, U. Schuhmacher, M. Voll und K. Wesker. Georg Thieme Verlag 2006. p. 184. Mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlags.

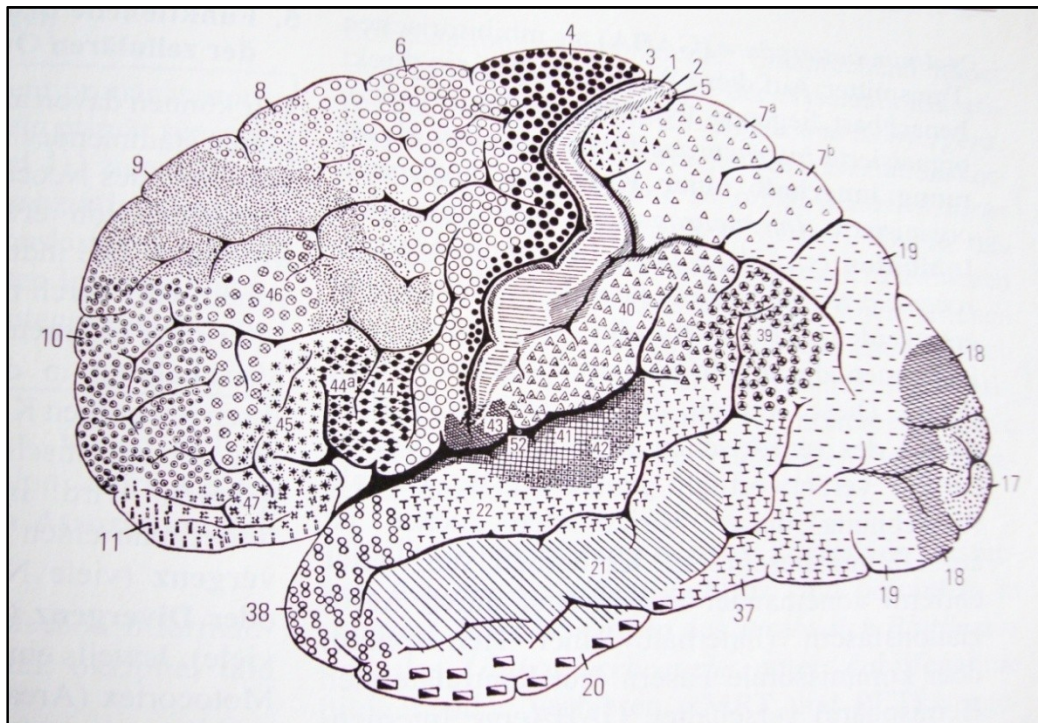


Abbildung 5 - Brodmann-Areale, entnommen aus Waldeyer Anatomie des Menschen von J. Fanghänel, F. Pera, F. Anderhuber, R. Nitsch. 17. Aufl. Berlin: Walter de Gruyter; 2003. p. 535

Hierbei entspricht das oben erwähnte Broca-Areal dem BA-Areal 44 und das Wernicke-Areal breitet sich über die BA-Areale 39 und 40, sowie dem dorsalen Teil der Area 22 aus. Der größte Teil der perisylvischen Region ist reziprok miteinander verschaltet, insbesondere das Broca- und Wernicke-Areal sind über den Fasciculus arcuatus verbunden.(11,12,15) Weitere sprachrelevante Faserverbindungen befinden sich zwischen dem anterioren Gyrus temporalis superior und dem BA 45 (Capsula extrema) und zwischen dem anterioren Gyrus temporalis superior und der Pars opercularis (Fasciculus uncinatus).(14)

Durch Studien mit elektrischer Reizung stellte man fest, dass die Grenzen der Sprachareale nicht eindeutig zu definieren sind. So variieren sie zwischen den Geschlechtern, das weibliche Geschlecht weist beispielsweise deutlich kleinere Sprachareale auf, und von Mensch zu Mensch gibt es individuelle Unterschiede.(4,6)

Dem **Broca-Areal** wird nach heutigem Wissensstand nicht nur der Redefluss zugeordnet- Broca-Aphasiker weisen eine stockende Sprache auf - sondern auch die Grammatik und Syntax. Beispielsweise kann das Sprachverständnis von syntaktisch komplexen Sätzen bei Läsionen dieses Areals beeinträchtigt sein.(4,6,10) Ein Beispiel hierfür wäre:

“Der Schrank, den Julia besitzt, ist antik.“

“Der Schmuck, den Julia besitzt, ist hübsch.“

Ein Broca-Aphasiker mit Beeinträchtigung des Sprachverständnisses könnte den ersten Satz verstehen, da bezüglich der semantischen Zuordnung des Adjektives eine größere Wahrscheinlichkeit besteht, dass sich das Adjektiv „antik“ auf das erste Substantiv „der Schrank“ bezieht. Im zweiten Satz ist das korrekte Verständnis der Bedeutung der Phrase nur durch Erkennen und Verstehen der Satzform und der Grammatik möglich, da sich das Adjektiv „hübsch“, bezüglich der Semantik, sowohl auf „Julia“ als auch auf „Schmuck“ beziehen kann.

Broca-Läsionen können aber nicht klar mit einem bestimmten Sprachstörungsbild verbunden werden. Sie können sich auch bei gleicher Größe der Läsion in ihrer Schwere wesentlich unterscheiden.(6)

Das **Wernicke-Areal** (superiorer Temporallappen) dient im Wesentlichen dem Sprachverständnis. Wernicke-Aphasiker reden flüssig, können sich meist gut und

schnell artikulieren. Sie machen sich jedoch bemerkbar durch Paraphasien², Paragrammatismus³, Neologismen⁴ und eine semantisch auffällige Sprachproduktion.(4,6,10,11) Das Wernicke-Areal soll nach heutigen Studien an Kategorisierung und Speicherung von Lauten und Wörtern (4,6,10), sowie an der Wortbenennung und dem Gebrauch von Zahlen beteiligt sein.(6)

Kommt es nun zur Schädigungen des Hirngewebes in diesen typischen Spracharealen, kann dies chronische Sprachstörungen zur Folge haben.(2) Es erschließt sich aus diesen Beobachtungen die Notwendigkeit dieser Areale für den Sprachgebrauch.

In unmittelbarer Nähe zu den typischen Spracharealen befinden sich zwei weitere Gebiete des Sprachsystems, der primär motorische Kortex und der supplementär motorische Kortex.

Der **primär motorische Kortex**, insbesondere der Funktionsteil für Kehlkopf, Mund und Zunge, sendet über die Pyramidenbahn Informationen zu den motorischen Hirnnervenkernen in der Medulla oblongata, welche die gezielte feinmotorische Steuerung der Sprechmuskulatur ermöglichen.(10,18)

Der **supplementär motorische Kortex** stellt eine Art „Koordinationszentrum“ für komplexe Bewegungsmuster dar.(10,18) Er scheint für das Sprachsystem unverzichtbar, denn bei Verlust dieses Gebietes kommt es zu einer globalen Aphasie. Diese Aphasie hält jedoch nur über eine kurze Dauer an; es kommt nach ein paar Wochen zur vollständigen Rückbildung der Sprachfunktionen.(6,10) Das heißt, die Aufgaben dieses Gebietes können von anderen Teilen des Sprachsystems übernommen werden.

Außerhalb des perisylvischen Assoziationskortex gibt es auch andere Gehirnareale, die an der Sprachbildung beteiligt sind. So sind je nach Verwendungszweck der Sprache bestimmte Gehirnareale notwendig, um den Sprachprozess zu ermöglichen.

Subarealen des **Temporallappen** werden, wie dem dort lokalisierten Wernicke-Areal, die Kategorisierung von Substantiven zugeordnet. Genauer betrachtet wird

² Sprachstörung bei der das Gedachte nicht korrekt wiedergegeben werden kann. Es werden z.B. falsche Wörter verwendet.(16)

³ Es liegt eine Störung des Satzbaus vor. Diese kann z.B. in Form von Verdoppelung von Satzteilen auftreten.(17)

⁴ Bildung eines neuen, nicht im normalen Wortschatz vorhandenen Wortes.(17)

dem posterioren Teil des Temporallappens insbesondere die Abspeicherung der Substantive zugeschrieben (6,15), und dem anterioren und inferioren Teil hingegen die Repräsentation der Wortsemantik.(12)

Der **linke inferiore Frontallappen** wird dem präfrontalen Kortex zugeordnet. Dieser übernimmt nicht nur exekutive Funktionen im Sprachprozess wie die Sprachinitiierung, er verknüpft auch Informationen aus dem limbischen System und den verschiedenen Assoziationsfeldern.(15,18) Außerdem findet dort wahrscheinlich die Verarbeitung und Abspeicherung der Verben statt. Auch grammatikalische Funktionen im Sinne einer exekutiven Funktion, welche das Anwenden der Grammatik ermöglicht, werden dort vermutet.(6)

Der **Gyrus cinguli**, ein weiterer Teil des präfrontalen Kortex, dient dem Sprachsystem, wie auch vielen anderen kognitiven Tätigkeiten des Gehirns, indem er die Aufmerksamkeit der Person erhöht und diese somit befähigt komplexere Aufgaben zu lösen.(4,6,12,15)

Das **Cerebellum** zeigte in einigen Aktivitätsstudien, die Sprache und kognitive Fähigkeiten überprüften, erhöhte Aktivitätsmuster. Ihm wird nicht nur die Kontrolle über das motorischen Sprechverhalten zugeordnet (6), sondern auch eine Beteiligung an Syntax und Semantik der Sprache.(10)

Die **Insula**, ein verdecktes Areal der Großhirnrinde, das Artikulationsvorgänge plant und koordiniert (15), spielt eine wichtige Rolle bei automatisierten Sprachvorgängen. Das heißt bei einer bekannten Wortwiederholungsaufgabe ist das aktivierte Areal der Insula umso größer, je besser die Aufgabe beherrscht wird. Das Umgekehrte gilt dann für die restlichen Gehirnareale, die bei größerem Denkaufwand umfangreicher aktiviert werden müssen.(6)

Weitere Gehirnareale, die sich am Sprachprozess beteiligen, sind die **subkortikalen Strukturen** (Nucleus caudatus, Putamen und Teile des Thalamus). Es wird davon ausgegangen, dass sie zur Aktivierung kortikal gelegener Sprachprozesssysteme dienen, also indirekt am Sprachprozess beteiligt sind.(12)

Bei einem Ausfall des ventrolateralen Thalamus beispielsweise, bei welchem das Pulvinar der linken Hemisphäre mitbetroffen sein kann, können aphasische Sprachstörungen auftreten. Außerdem kann eine Läsion in diesem Areal zu einer

erhöhten verbalen Reaktionszeit und zur Verschlechterung der Merkfähigkeit führen.(6)

Man kann also festhalten, dass deutlich mehr Gehirnareale am Sprachprozess beteiligt sind, als anfangs vermutet wurde. Auch die eindeutige Zuordnung einer Sprachfunktion pro Sprachareal ist nach heutigen Kenntnissen zu sehr vereinfacht. Ein gutes Beispiel hierfür ist das Broca-Areal, dem zu Beginn nur der Redefluss zugeordnet wurde. Nun wird diesem Gehirnareal eine sehr viel komplexere Arbeitsweise und Beteiligung am Sprachprozess zugeschrieben. Nach heutigem Wissensstand entsteht Sprache durch das Zusammenwirken vieler verschiedener Gehirnareale und stellt somit einen komplexen Funktionsprozess im Gehirn dar, dessen genaueren Ablauf zukünftige Studien zeigen werden.

2.1.2 Lateralisation und Dominanz

2.1.2.1 Anatomische Asymmetrie

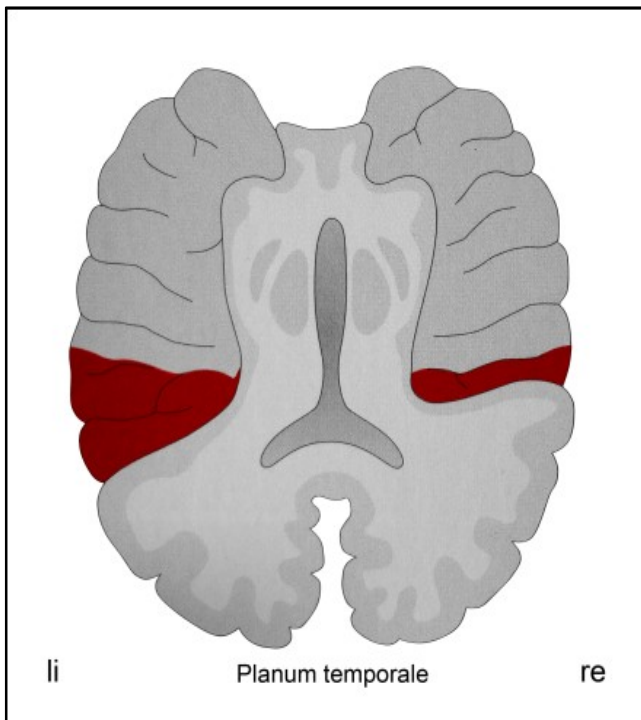


Abbildung 6 - Planum temporale; adaptiert aus Prometheus - Lernatlas der Anatomie, Kopf und Neuroanatomie, von M. Schünke, E. Schulte, U. Schuhmacher, M. Voll und K. Wesker. Georg Thieme Verlag 2006. p. 381. Mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlags.

Der linke Sulcus lateralis, der bei den meisten Menschen länger und flacher ist als der der rechten Hemisphäre, ist eine der anatomischen Asymmetrien der beiden Gehirnhälften die Wissenschaftler bereits im 19. Jahrhundert feststellten.(4)

1968 bemerkten Geschwind und Levitsky bei Gehirnmessungen einen weiteren Unterschied der Hemisphären: das linke Planum temporale ist in 65 % der Fälle größer als das rechte (Abb.6).

Nach dieser Entdeckung kam die Hypothese auf, der Grund dafür sei die Sprachdominanz der linken

Hemisphäre. Dies bestätigte sich jedoch nicht. Stattdessen zeigte sich die interessante Gegebenheit der schon vorhandenen anatomischen Asymmetrie beim Fötus.(4,12) Bereits in der 27. Schwangerschaftswoche ist diese Asymmetrie des Gehirns zu erkennen.(18,19)

2.1.2.2 Händigkeit

Ein sehr offensichtliches Zeichen der funktionellen Asymmetrie des Menschen ist die Händigkeit. Über 90% der Menschen sind Rechtshänder.(4,12) Aus diesem Grund untersuchte man, ob ein etwaiger Zusammenhang zwischen Händigkeit und links- bzw. rechtshemisphärischer Sprachdominanz bestehe. Hierzu wurde das sogenannte Wada-Verfahren, oder auch Wada-Test genannt, entwickelt.

Das Konzept dafür entwarf der gleichnamige Wissenschaftler am Neurological Institute von Montreal. Der Grundgedanke beim Wada-Verfahren ist eine Hemisphäre auszuschalten, um die Funktionen der anderen zu untersuchen.

Dabei wird dem Patienten ein rasch wirksames Barbiturat (z.B. Natriumamytal) in die Arteria carotis interna injiziert. Diese Substanz betäubt die ipsilaterale Hemisphäre für ca. zehn Minuten und bewirkt somit die Lähmung der kompletten kontralateralen Körperseite. Ist nun die Gehirnhemisphäre die sprachdominante, so ist der Patient außer Stande zu sprechen.(4,10)

Die praktische Anwendung dieser Testmethode führte zu folgenden Ergebnissen: 93% der Menschen haben **ihre sprachdominante Hemisphäre auf der linken Seite**, das sind 96% der Rechtshänder und 70% der Linkshänder. Die rechte-hemisphärische Dominanz ist v.a. bei Menschen, die beidhändig tätig sind festzustellen, die bilaterale Sprachdominanz hingegen nur bei Linkshändern.(4)

2.1.2.3 Unterschiedliche Aufgaben der Hemisphären

Die unterschiedlichen Arbeitsweisen der Gehirnhemisphären wurden in der Vergangenheit anhand von neuropsychologischen Tests und Untersuchungen an zahlreichen PatientInnen mit einseitigen Hirnläsionen oder Split-Brain-PatientInnen, deren Corpus callosum zur Behandlung einer Epilepsie durchtrennt wurde, erforscht.(4,6,10,15,20) Dabei konnte man keine klare Aufgabenteilung feststellen, jedoch „Vorlieben“ der einzelnen Hemisphären herausarbeiten.

Im Allgemeinen kann man der linken Hemisphäre eine analytische Arbeitsweise, die auf Logik beruht, zuordnen. In Bezug auf die sprachlichen Fähigkeiten nennt man dies *sequenzielle Sprachverarbeitung*.

Die Arbeitsweise der rechten Hemisphäre bezeichnet man als *analog-gestaltliche Informationsverarbeitung*. Sie basiert auf Analogien und dem räumlichen Erfassen. Im Fall des Sprachfunktion ordnet man ihr pragmatische Fähigkeiten zu.(20)

Der rechten Hemisphäre wird beispielsweise die Prosodie, also das Erkennen und Verwenden von Satzmelodie und Betonung, zugeschrieben. Die linke Hemisphäre soll hingegen für Sprechen, Rechnen, Lesen und Schreiben verantwortlich sein.(15,20) Sie übernehme auch syntaktische Funktionen z. B. beim Gebrauch von Relativpronomina oder Bindungswörtern. Inhaltswörter wie <Boot>, <Blume> oder <blau> können hingegen nicht eindeutig einer Hemisphäre zugeordnet werden.(20)

Die **rechte Hemisphäre** ist trotz dessen, dass sie selten die sprachdominante ist, an der Sprachproduktion beteiligt. Betrachtet man beispielsweise den Vorgang

des Lesens, so kann sie dabei Wörter erkennen und diese semantisch zuordnen. Das Verbalisieren von Wörtern ist ihr jedoch nicht möglich.(4,6,12,15,20)

Sie ist des Weiteren dazu fähig die entsprechende Intonation in unterschiedlichen sozialen Situationen zu finden. Auch das Klassifizieren von Sprache, indem sie erkennt, ob ihr eine Aufforderung oder eine Frage entgegengebracht wurde, lässt sie am Sprachvorgang teilnehmen.(4,6,12,15,20)

Das Verstehen von Humor wird ihr ebenfalls zugesprochen. Es wurde beispielsweise bei einer Split-Brain-Patientin bemerkt, dass sie belustigende Bilder erkennen und über diese lachen, diese jedoch nicht benennen konnte.(4)

Im Falle einer linkshemisphärischen Schädigung bei Kindern, ist die rechte Hemisphäre sogar in manchen Fällen dazu fähig die Sprachfunktion, auf Grund der noch vorliegenden Plastizität, zu übernehmen.(10,15)

Trotz dieser faszinierenden Fähigkeit des Gehirns, scheint die linksseitige Sprachdominanz nach heutigem Wissenstand beim Menschen festgelegt zu sein.

2.1.2.4 Lateralisation und Bilingualismus

Nach dem häufigen beobachteten Phänomen der ungleichen Erholung von einem Sprachverlust in L1 und L2 erwarteten Albert und Obler (1978) bei bilingualen SprecherInnen eine ausgeglichene Verteilung der Sprachen auf die beiden Hemisphären.(8,21) Dies würde bedeuten bilinguale SprecherInnen hätten eine größere Anzahl von AphasikerInnen bei rechtshemisphärischen Läsionen. Karanth und Rangamani (1988) konnten dies mit einer Studie über Aphasie bei Bi- und Monolingualen widerlegen, da sie keine höhere Inzidenz von Aphasie bei bilingualen SprecherInnen mit rechtsseitigen Läsionen im Vergleich zu monolingualen feststellen konnten.(8,22)

Man weiß aber heute, dass die rechte Hemisphäre beim Erlernen einer zweiten Sprache einen deutlichen Beitrag leistet, um sprachliche Defizite durch nonverbale Fähigkeiten auszugleichen.(8,23)

2.1.3 „Sprachgene“

Die Frage nach einem genetischen Ursprung der Sprache löste in der Vergangenheit schon die kontroversesten Diskussionen zwischen WissenschaftlerInnen aus. Es gibt sehr viele verschiedene Theorien dazu.

Die meisten gehen davon aus, dass die Sprache auf Basis des hochentwickelten menschlichen Gehirns, das über eine enorme Lernfähigkeit verfügt, entstanden ist.(4,15)

Der Sprachwissenschaftler Chomsky (1959) und seine Anhänger gehen noch einen Schritt weiter und sprechen von einer angeborenen Universalgrammatik, welche das Erlernen einer Sprache ermöglicht.(12,15,24)

Es gibt aber auch die Theorie von Liebermann (2006), die auf der evolutionären Weiterentwicklung des Stimmapparats beruht. Diese besagt, nicht die neuronalen Gegebenheiten führten zur Sprachentwicklung, sondern die Verlagerung von Zunge und Kehlkopf.(6,25)

Tatsächlich konnte aber in den neunziger Jahren ein Gen namens *FOXP2* entdeckt werden, das indirekt an der Sprache beteiligt ist. Es kodiert einen Transkriptionsfaktor, der wiederum „Sprachgene“ aktivieren soll.(4,26,27)

Dieses Gen bzw. dessen mutierte Version wurde bei einer britischen Familie entdeckt, die durch das Auftreten einer Dyspraxie bei über 50% der Familienmitglieder auffiel. Des Weiteren zeigten die betroffenen Familienmitglieder einen durchschnittlich niedrigeren IQ und morphosyntaktische Defizite. Außerdem wiesen sie einen deutlich kleineren Nucleus caudatus und eine kleineres Broca-Areal auf.(4,26)

Nach dieser Entdeckung und der Feststellung, dass sich das humane *FOXP2-Gen* durch nur zwei Aminosäuren von dem des Schimpansen unterschied, wurde nun die Hypothese erstellt, dass eine Mutation im *FOXP2-Gen*, die menschliche Sprache überhaupt erst ermöglichte.(4)

2.1.4 Bildgebende Verfahren

Zur Erfassung der Gehirnaktivitäten bei sprachlichen Aufgaben wurden für die heutigen Sprachstudien eine Reihe von Verfahren entwickelt, die in den folgenden Abschnitten im Detail dargestellt werden. Um diese Verfahren besser verstehen zu können, ist es wichtig zu wissen, dass eine erhöhte Aktivität des Gehirns zu einer vermehrten Durchblutung aktivierter Hirnareale führt. Das Gehirn verbraucht in Ruhe ca. 50 ml Sauerstoff pro Minute, von welchen 8 ml pro 100 g Gewebe nur für die Großhirnrinde benötigt werden. Bei neuronaler Aktivität erhöht sich der Sauerstoffverbrauch und es werden vermehrt saure Metaboliten produziert, die wiederum die Durchblutung steigern und somit eine ausreichende Energiezufuhr sichern.(20)

2.1.4.1 Positronenemissionstomographie (PET)

Bei der PET wird einem Probanden eine schwach radioaktive Substanz in die Blutbahn injiziert, um im späteren Versuchsablauf anhand der freigesetzten Positronen⁵ die Hirnaktivität bestimmen zu können.

Fluor (¹⁸F), Sauerstoff (¹⁵O), Stickstoff (¹³N) oder Kohlenstoff (¹¹C) sind Radioisotope, die für dieses Verfahren verwendet werden. Sie besitzen eine kurze Halbwertszeit (z.B. ¹⁵O 2 min, ¹⁸F 110 min) und sind deswegen für den Menschen nicht schädlich. Sie können aus diesem Grunde nur vor Ort mittels eines Zyklotrons⁶ hergestellt werden.(10)

Diese Radioisotope werden bei der PET an Stoffe wie Wasser, Sauerstoff, Aminosäuren oder Glucose gekoppelt; auf diese Weise wird beispielsweise ¹⁸F an Glucose gehängt und es entsteht Fluordeoxyglucose.(10,20,29)

Die radioaktiv markierten biologischen Sonden werden nun einem Probanden injiziert und gelangen über die Blutbahn ins Gehirn. Da aktivierte Hirnareale eine gesteigerte Durchblutung aufweisen, gelangen die Marker auch bevorzugt in diese Regionen.(10,20) Außerdem geht man davon aus, dass aktivierte Areale mehr Glucose benötigen und somit auch mehr Positronen abgeben.(30)

⁵ Positronen sind positiv geladene Elementarteilchen mit der Masse eines Elektrons.(10)

⁶ Ein Zyklotron ist ein Teilchenbeschleuniger, der für die Strahlentherapie mit Protonen und die Isotopenherstellung benötigt wird. Die Isotopenherstellung erfolgt durch den Beschuss stabiler Kerne mit Korpuskeln wie z.B. α -Teilchen oder Deuteronen.(28)

Die Messung der Hirnaktivität ist nun möglich, da die Positronen in aktivierten Hirnarealen akkumulieren. Kurz nach ihrer Entstehung stoßen sie mit einem Elektron zusammen und folglich zerfallen beide Teilchen unter Abgabe von γ -Strahlen. Diese γ -Strahlen werden dann mit speziellen Photodetektoren, die am Kopf der Person befestigt werden, gemessen. Sie können jedoch nur erfasst werden, wenn sie zeitgleich auf einer 180° -Ebene ankommen (Koinzidenzschaltung).(20,28)

Die räumliche Auflösung der PET liegt bei 3-6 mm.(28)

2.1.4.2 Funktionelle Magnetresonanztomographie (f-MRT)

Die f-MRT ist ein modernes Verfahren der Hirnforschung zur Darstellung von Aktivitätsmustern im Gehirn. Sie leitet sich von der Magnetresonanztomographie, auch Kernspintomographie genannt, ab. Diese beruht darauf, dass sich Wasserstoffatome (H^+) in einem starken Magnetfeld in Richtung der Feldlinien ausrichten. Dieses Phänomen nutzt man aus, um Dichte und Relaxationszeiten der Protonen im menschlichen Körper zu bestimmen, indem man eine Hochfrequenz erst einstrahlt und später wieder abschaltet, um dann die Energieabgabe der Protonen zu messen.(6,20,28)

Die f-MRT dient vor allem der Erfassung von Veränderungen der Durchblutung im Gehirn. Die Durchblutungsveränderungen entstehen durch die Freisetzung von Kaliumionen durch die aktivierten Nervenzellen. Die Kaliumionen gelangen über die Gliazellen in die Blutgefäße und steigern die Durchblutung, indem sie die Blutgefäße erweitern. Auf diese Weise gelangt nun auch mehr Sauerstoff in diese Gehirnregionen und ein verstärktes Signal im f-MRT-Bild wird sichtbar, da Sauerstoff die magnetischen Eigenschaften des Blutes verändert.(30)

Der Sauerstoff bewirkt, dass die Protonen mehr Zeit benötigen bis sie sich in Ihren Ausgangszustand begeben und somit ein stärkeres Signal erzeugen. Diesen Effekt nennt man **BOLD-Antwort**. BOLD steht für *blood oxygen level dependent*.(20)

Die räumliche Auflösung der f-MRT beträgt 1-2 mm. Damit ist sie sehr genau und diesbezüglich der PET vorzuziehen. Einen weiteren Vorteil bietet die f-MRT, da sie keine radioaktiven Substanzen benötigt, die injiziert werden müssen, sondern auf Signalen beruht, die von der Person selbst abgegeben werden. Die zeitliche

Auflösung hingegen ist bei beiden Methoden gleich niedrig.(6,10) Das heißt, die Aktivierungsmuster der Sprachfunktionen werden in Sekunden angezeigt, obwohl die Sprachfunktionen selbst in Millisekunden ablaufen.(8)

Ebenfalls beachten muss man bei beiden Methoden die Grundaktivität des Gehirns. Um diese nun nicht mit aktivierten Arealen zu vermischen, benutzt man die Substraktionsmethodik, bei der man die zuvor gemessene Grundaktivität von dem Testergebnis abzieht und somit die tatsächliche Aktivitätssteigerung im Gehirn bestimmen kann. Problematisch wird dies jedoch bei komplexen Sprachprozessen, die nicht genau zu differenzieren sind.(8)

2.1.5 Messung von Hirnströmen

2.1.5.1 Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP)

Die Ereigniskorrelierten Potentiale leiten sich vom Elektroencephalogramm (EEG) ab und sind im Grunde kleinamplitudige Potenziale dessen, die erst durch eine Aufsummierung mehrerer EEG-Ableitungen sichtbar gemacht werden. Ihr Ursprung liegt in der gleichzeitigen Aktivierung von Pyramidenzellen und den zugehörigen Dendriten im Gehirn.(6,20)

Beim Einsatz der Ereigniskorrelierten Potentiale in der Praxis wird eine Versuchsperson einem bestimmten Stimulus ausgesetzt. Dieser kann akustisch, visuell oder somatosensorisch sein und anschließend wird die Veränderung der Potenziale betrachtet und analysiert.(6,20) Im Falle der Sprachfunktion kann der Stimulus beispielsweise die visuelle Präsentation eines Wortes sein; der Verarbeitungsprozess würde in der Folge mittels Ereigniskorrelierter Potentiale betrachtet werden.

2.1.6 Lokalisation von L1 und L2 im Gehirn

Was geschieht nun in unserem Gehirn, wenn wir eine neue Sprache erlernen? Wird die Zweitsprache der Muttersprache untergeordnet? Sind die zwei Sprachen möglicherweise miteinander verbunden oder liegen sie völlig getrennt voneinander vor?

Die ersten Ideen über die Lokalisation der einzelnen Sprachen im Gehirn kamen bei der Beobachtung bilingualer Aphasiker auf. Der Verlust nur einer Sprache bei Gehirnläsionen lässt natürlich leicht zu dem Schluss kommen, die Sprachen seien getrennt voneinander im Gehirn lokalisiert. Auf der anderen Seite könnte man bei Patienten mit einer pathologischen, gemischten Sprachweise annehmen, L1 und L2 seien in den gleichen Gehirnregionen verankert, da sie gleichermaßen betroffen sind.

Mit den bereits beschriebenen bildgebenden Verfahren wurden zahlreiche Studien in diesem Bereich durchgeführt (siehe Kapitel 2.1.6.1). Sie lieferten bisher jedoch kontroverse Ergebnisse.(31)

2.1.6.1 Zeitpunkt des Zweitspracherwerbs und Sprachniveau

Perani et al. führten 1996 eine PET-Studie durch, bei der es um die Verarbeitung von Kurzgeschichten in L1 (Italienisch) und L2 (Englisch) ging. Da bei dieser Sprachverarbeitungsaufgabe L1 den linken Temporal- und den Temporoparietallappen stärker aktivierte als L2, nahmen die AutorInnen an, L1 und L2 müssten im Gehirn getrennt organisiert sein.(8,32,33) Einige andere WissenschaftlerInnen schlossen sich der Meinung an, die Muttersprache sei im linken Temporallappen vertreten und die L2 würde getrennt verarbeitet.(31,34–37)

Die f-MRT- Studie von Kim et al. (1997) führte zu ähnlichen Ergebnissen, wobei in diesem Fall noch zwischen frühem und spätem Erwerb (Age of Aquisition, AoA) der L2 unterschieden wurde. So zeigten Testpersonen mit spätem Erwerb der L2 bei der Verarbeitung von Phrasen in L1 und L2 eine unterschiedliche Aktivierung des Broca-Areals, aber eine ähnliche Aktivierung des Wernicke-Areals. Testpersonen mit frühem Zweitspracherwerb wiesen in L1 und L2 in beiden Spracharealen ähnliche Aktivierungsmuster auf.(8,31,36,38) Auch Dehaene et al. (1997) machten bezüglich des Zeitpunkts des Spracherwerbes einen Unterschied in den Aktivitätsmustern fest. Sie untersuchten mit der f-MRT acht Französisch

(L1) und Englisch (L2) sprechende Personen in einer Hörtextaufgabe und beobachteten die gleichen aktivierten Areale im linken Temporallappen für L1, aber sehr variierende Areale für L2 beim Späterwerb dieser.(8,31,37)

Nach den oben genannten Studien bestimmt der Zeitpunkt des Spracherwerbs die Organisation von L1 und L2 im Gehirn. Doch wird dabei das Sprachniveau der ProbandInnen nicht mit einbezogen. Der Einfluss der beiden Faktoren wurde schließlich 1998 von Perani et al. in einer Hörtextaufgabe mit PET-Untersuchung betrachtet.(33)

Bei dieser Studie gab es drei Gruppen, die miteinander verglichen wurden. Die erste bestand aus Italienisch (L1) und Englisch (L2) sprechenden ProbandInnen mit hohem Sprachniveau (*high proficiency*) und spätem Zweitspracherwerb (Gruppe 1), die zweite entsprach der Gruppe Italienisch (L1) und Englisch (L2) sprechender ProbandInnen aus der PET-Studie von 1996 mit niedrigem Sprachniveau (*low proficiency*) und spätem Spracherwerb (Gruppe 2), die dritte bestand aus Spanisch (L1) und Katalanisch (L2) sprechenden ProbandInnen mit frühem Zweitspracherwerb und hohem Sprachniveau (Gruppe 3).(33)

Im Vergleich zeigten sich ähnliche Aktivierungsmuster für L1 und L2 bei den Gruppen mit hohem Sprachniveau, sowohl bei frühem als auch bei spätem Zweitspracherwerb, und verschiedene Aktivierungsmuster für L1 und L2 bei der Gruppe mit niedrigem Sprachniveau.(33)

Die Aktivierungsmuster für die Gruppe 1 in L1 sind folgende: linker Temporallappen, Sulcus temporalis superior links, mittlerer Gyrus temporalis links und hippocampale Strukturen links.(33)

Die Aktivierungsmuster der Gruppe 1 in L2 sind: linker Temporallappen, mittlerer und posteriorer Gyrus temporalis, hippocampale Strukturen bds.(33)

Die zweite Gruppe zeigte für L1 die gleichen Aktivierungsmuster, jedoch keine Aktivität des linken Temporallappens, des linken mittleren, anterioren oder posterioren Gyrus temporalis.(33)

Die Aktivierungsmuster der Gruppe 3 sind für L1 und L2 fast identisch: bds. der Temporallappen, hippocampale Strukturen und der Gyrus lingualis, links der Sulcus temporalis superior, der inferiorer Parietallappen, sowie die Gyrus lingualis und Cuneus Region und der Vermis cerebellaris. Ein Unterschied bestand in ein

paar wenigen Regionen, die jeweils nur von einer der beiden Sprachen aktiviert wurden. Diese Regionen waren alle in der rechten Hemisphäre. Für L1 der mittlere Gyrus temporalis und für L2 hippocampale Strukturen und der superiore Lobus parietalis.(33)

Perani et al. kamen nach dieser Studie zu dem Schluss, dass die Aktivierungsmuster für L1 und L2 im Gehirn nicht von dem Zeitpunkt des Spracherwerbs abhängig seien, sondern von dem Sprachniveau.(8,31,33,36) Das heißt somit, je besser eine Zweitsprache beherrscht wird, desto eher entspricht sie dem Aktivitätsmuster der Muttersprache.

Chee et al. (1999) unterstützten diese Annahme mit einer weiteren f-MRT-Studie. Sie stellten bei ihren Englisch und Chinesisch sprechenden ProbandInnen, mit hohem Sprachniveau und frühem Erwerb von L2, in einer Satz-Verständnisaufgabe keinen Unterschied zwischen den zwei Sprachen in der Gehirnaktivierung fest.(8,39) In beiden Sprachen wurden folgende aktivierte Areale beobachtet: der inferiore und mittlere präfrontale Kortex, der linke Temporallappen, der linke Gyrus angularis, der supplementär motorische Kortex, sowie auf beiden Gehirnhemisphären der superiore Parietallappen und Teile des Occipitallappens.(8,39)

Demnach kann man also festhalten, dass das erworbene **Sprachniveau** einen wesentlichen Einfluss auf die Organisation der L2 im Gehirn hat.

Diese Aussage unterstützten auch Chee et al. (2001) und beobachteten außerdem die Rekrutierung von zusätzlichen Gehirnarealen (linker präfrontaler Kortex, Areale im Parietallappen, rechter präfrontaler Kortex) bei geringerem Sprachniveau.(31,40) Nach Wartenburger et al. (2003) soll das Sprachniveau insbesondere die Gehirnregionen für semantische Entscheidungen beeinflussen.(31,41)

Der Meinung, ein niedrigeres Sprachniveau habe eine stärkere Aktivierung von Gehirnarealen zur Folge, schlossen sich noch viele weitere AutorInnen an.(31,42–44) Andere AutorInnen wie Videsott et al. (2010) betonten die Aktivierung der rechten Hemisphäre bei mangelnden Sprachkenntnissen.(45) Der rechte präfrontale Kortex soll ihnen zufolge der kognitiven Kontrolle dienen und somit die Wortabfrage unterstützen.

Der **Zeitpunkt des Spracherwerbs** habe nach Perani et al. (1998) keinen Einfluss auf die Organisation einer Zweitsprache.(33) Trotzdem halten viele WissenschaftlerInnen an der Idee von Penfield und Roberts (1959) fest, dass es einen optimalen oder auch kritischen Zeitpunkt für den Zweitspracherwerb gebe.(46) Schließlich lernen doch Kinder Sprachen schneller und einfacher als Erwachsene.(33,47)

Wartenburger et al. (2003) stellten fest, dass der Zeitpunkt des Zweitspracherwerbs Einfluss auf die Regionen der grammatikalischen Entscheidungsfindung nehme.(41) Dem stimmten Isel et al. (2009) zu und fügten die Beeinflussung des Wortspeichers hinzu. Sie führten mit ihren bilingualen ProbandInnen eine semantische Wortwiederholungsaufgabe mit f-MRT-Überwachung durch und zeigten eine Verbindung von L1 und L2 auf der konzeptionellen Ebene, aber auch wie der Späterwerb einer Sprache trotz hohem Sprachniveau zu schlechteren Ergebnissen führe als bei frühem Erwerb. Die ProbandInnen waren in ihren Antworten langsamer und hatten eine höhere Fehlerquote.(48)

Nach den vorliegenden Studien kann man festhalten, dass sowohl das Sprachniveau als auch der Zeitpunkt des Spracherwerbs die Organisation von L1 und L2 beeinflussen. Nach Abutalebi (2005) sollen jedoch auch weitere Faktoren wie die passive Exposition bilingualer SprecherInnen mit der L2 bzw. auch der aktive Gebrauch der L2 die kortikale Organisation beeinflussen.(31,49) Diese und andere Faktoren, wie z.B. der Einfluss des Verwandtschaftsgrades zweier Sprachen auf die kortikale Organisation, werden in Zukunft noch genauer untersucht werden müssen.

2.1.7 Kontrollinstanzen

Bilingualen Kindern gelingt es in ihrem Alltag von einer Sprache zur anderen zu wechseln. So sprechen sie z. B. in der Schule Deutsch, zu Hause Türkisch und ihrer Freizeit beides je nach Gesprächspartner. Doch wie gelingt dieser schnelle Wechsel?

Derzeit gibt es eine kontroverse Diskussion über ein exekutives Kontrollsystem, das durch die Inhibition einer der beiden Sprachen, das problemlose Verwenden der anderen ermöglicht.

Green (1998) entwickelte dazu das *Inhibited Control*-Modell und erklärte damit, dass das Switchen in die dominantere Sprache aus der schwächeren heraus schwieriger sei, weil die dominante stärker unterdrückt werden müsse, um die schwächere überhaupt zu verwenden.(50–52)

Meuter und Allport (1999) stimmten diesem Modell zu und unterstrichen es mit ihren Studienergebnissen, die einen höheren Aufwand für das Switchen in die dominantere Sprache zeigten.(52,53) Auch Jackson et al. (2001) unterstützten diese Annahme mit einer EKP-Studie und vermuteten eine Beteiligung des frontalen Kortex im Kontrollsystem.(52,54)

Die Lokalisation der Kontrollinstanzen im Gehirn wurde von Hernandez et al. (2000) nach einer bilingualen Benennungsaufgabe im Vergleich zu monolingualem Benennen mit der Beteiligung des präfrontalen Kortex beschrieben.(51,55) Price et al. (1999) bemerkten die Aktivität des anterioren Gyrus cinguli und der subkortikalen Strukturen (bilateral Putamen und das Caput des Nucleus caudatus) beim Übersetzen und die Beteiligung des Gyrus supramarginalis beim Switchen.(8,34) Crinion et al. (2006) ordneten dem Kopf des linken Nucleus caudatus nach einer f-MRT-Studie ebenfalls Kontrollfunktionen zu.(56) In einer f-MRT-Studie bezüglich des Sprachverständnisses von Abutalebi et al. (2007) kam man zu dem Ergebnis, dass der anteriore Gyrus cinguli und der linke Nucleus caudatus Kontrollfunktionen innehaben.(51)

Für ein inhibitorisches Kontrollsystem sprechen die Symptome von Aphasikern mit einer Läsion präfrontaler Strukturen oder der Basalganglien. Beispielsweise beschrieben Fabbro et al. (2000) ein pathologisches Switchen nach einer Läsion

des frontalen Kortex und des anterioren Gyrus cinguli (der rechten und linken Hemisphäre).(8)

Gegenargumente kommen von van Heuven et al. (2008). Die AutorInnen argumentieren, gäbe es ein inhibitorisches Kontrollsystem, das die dominantere Sprache unterdrücke, wäre in ihrer Studie, in der Deutsch-Englische Bilinguale mit interlingualen Homographen untersucht wurden, kein Konflikt bei der Verarbeitung dieser aufgekommen.(31,57)

Costa und Santesteban (2004) sprechen sich nur zum Teil gegen ein solches System aus. Sie behaupten Bilinguale mit hohem Sprachniveau verfügen über einen spezifischen Selektionsmechanismus, der zwischen den Sprachen wähle und belegte dies bei Katalanisch-Spanisch sprechenden ProbandInnen, die keinen unterschiedlichen Sprachaufwand beim Switchen von L1 zu L2 zeigten.(52,58) Gegen diese Unterteilung spricht jedoch eine EKP-Studie von Christoffels et al. (2007). In dieser konnte gezeigt werden, dass Bilinguale mit niedrigem Sprachniveau ebenfalls keine Asymmetrie im Sprachaufwand für L1 und L2 haben und fügten als Begründung das tägliche Switchen der ProbandInnen an, das die Sprachkontrolle trainiere.(52)

Das heißt, ein mögliches Kontrollsystem der beiden Sprachen könnte durch verschiedene Faktoren wie das erwähnte tägliche Switchen beeinflusst werden und sich somit mehr oder weniger in Form von Symmetrie bzw. Asymmetrie im Sprachaufwand bemerkbar machen. Zu beachten wäre hier sicher auch der Effekt des Zeitpunkts des Spracherwerbs.

Aktuellere Studien von Wang et al. (2007) oder Abutalebi et al. (2007) zeigten im Gegensatz zu früheren Studien einen größeren Sprachaufwand beim Switchen von L1 zu L2, also in umgekehrter Richtung. Das heißt, die Kontrollfunktionen würden zur Unterstützung von L2 dienen und nicht zur Unterdrückung von L1.(51,59)

Außerdem behaupten Abutalebi et al. (2007) mit ihrer Studie festmachen zu können, welche Sprache die dominante sei. L2 war nämlich bei ihren ProbandInnen, die Sprache mit der geringeren Exposition.(51)

Abschließend kann man zusammenfassen, dass beim Switchen der Sprachen die Kontrollinstanzen zum Einsatz kommen. Ob sie nun inhibitorisch oder

unterstützend wirken werden zukünftige Studien zeigen. Auch der Einfluss anderer Faktoren wie z.B. der der Sprachexposition wird genauer untersucht werden müssen.

2.1.8 Der Wortspeicher von L1 und L2

In den vorherigen Abschnitten wurden die Ergebnisse aus verschiedenen Sprachbereichen wie beispielsweise dem Sprachverständnis, der Grammatik oder der Sprachproduktion zusammengetragen. In diesem Teil soll insbesondere auf den Wortspeicher bilingualer SprecherInnen eingegangen werden. Dabei sind die wesentlichen Fragen, wo sich dieser befindet, wie der Zugang zu diesem erfolgt und wie er kontrolliert wird.

2.1.8.1 Lokalisation des Wortspeichers

Die erste Studie zur Lokalisation des Wortspeichers von L1 und L2 führten Klein et al. (1995) durch. Sie verwendeten eine Wortproduktionsaufgabe mit PET-Untersuchung bei Englisch-Französisch sprechenden ProbandInnen. Dabei wurde eine stärkere Aktivierung des linken Putamens bei der schwächeren Sprache festgestellt.(60) 1999 folgte eine weitere Studie der AutorInnen, bei welcher Chinesisch und Englisch sprechende Bilinguale bei einer Verbproduktionsaufgabe mit der PET untersucht wurden. Es war kein Unterschied zwischen L1 und L2 in ihrer Lokalisation festzustellen (Aktivierung des linken inferioren frontalen Kortex, des dorsolateralen frontalen, des temporalen und parietalen Kortex, sowie des rechten Cerebellums).(8,61)

Chee et al. (1999b) stellten bei einer f-MRT-Studie auch ähnliche Aktivierungsmuster für L1 und L2 fest, unabhängig vom Zeitpunkt des Spracherwerbs. Sie verwendeten eine Sprachaufgabe bei Chinesisch-Englisch sprechenden ProbandInnen, bei welcher der Wortstamm vervollständigt werden sollte. Die aktivierten Areale waren hauptsächlich der linke präfrontale Kortex und bilateral occipitale und parietale Regionen.(8,62,63)

Unterschiede in der Lokalisation wurden von Kim et al. (1997) im Broca-Areal bei Späterwerb von L2 beschrieben (siehe Kapitel 2.1.6.1).(38) Im Hinblick auf den **Zeitpunkt des Spracherwerbs** machten auch Isel et al. (2009) einen Unterschied in den Aktivierungsmustern von L1 und L2 fest. Sie untersuchten Französisch-Deutsch sprechende ProbandInnen mittels einer Wortwiederholungsaufgabe mit

Beachtung des Sprachniveaus (siehe Kapitel 2.1.6.1). Bei frühem Erwerb wurde der linke superiore Temporallappen, bilateral der superiore frontale Gyrus und die rechte posteriore Insula aktiviert. Bei spätem Erwerb hingegen der mittlere Teil der linken Insula und der rechte Gyrus frontalis. Diese Unterschiede werden der neuronalen Reifung zugeschrieben.(48)

Hinsichtlich des **Sprachniveaus** stellten de Bleser et al. (2003) in einer Benennungsaufgabe mit PET-Untersuchung bei Niederländisch und Französisch sprechenden Bilingualen unterschiedliche Aktivierungsmuster fest. Der Gebrauch der schwächeren Sprache aktiviere zusätzliche Areale (BA 20, BA 44, BA 47), um Wörter aus dem Wortspeicher abrufen zu können. Dabei bestehe eine Problematik in der Selektion der L2, d.h. die L2 für die Sprachproduktion zu aktivieren (siehe Kapitel 2.1.8.2).(63)

Inwiefern die erwähnten Faktoren tatsächlich den Wortspeicher beeinflussen, wird nach den vorliegenden Studien nicht ersichtlich. Bezüglich des Sprachverständnisses konnten Perani et al. (1998) demonstrieren, dass das Sprachniveau einen wichtigen Einflussfaktor darstellt und der Zeitpunkt des Spracherwerbs eher unwesentlich für die Aktivierungsmuster ist.(33) Für den Wortspeicher gibt es momentan leider noch nicht genügend aussagekräftige Studien, die eine differenzierte Betrachtungsweise ermöglichen.

2.1.8.2 Die Selektion des Wortspeichers

Über den Zugang zum Wortspeicher wird momentan kontrovers diskutiert. Es geht darum, welche Aktivierungsvorgänge bei einer Wortproduktion stattfinden. D.h. (1) werden für die Produktion eines Wortes die Begriffe aus beiden Sprachen in einem bilingualen Gehirn aktiviert; und (2) in wie weit werden diese phonologisch analysiert?

Es gibt einen allgemeinen Konsens darüber, dass der Wortspeicher beider Sprachen auf der semantischen Ebene miteinander verbunden ist und gleichzeitig aktiviert wird.(48,52,64–66)

Über die phonologische Zerlegung der Begriffe gibt es gegensätzliche Meinungen. Hermans et al. (1998) konnten keinen Einfluss einer phonologischen Zerlegung auf die Sprachproduktion nachweisen.(52,67) Costa et al. (2000) hingegen wiesen bei Spanisch-Katalanisch sprechenden ProbandInnen mit hohem Sprachniveau

nach, dass Kognate⁷ einen Erleichterungseffekt bewirken und zu schnelleren Antworten führen.(52,65)

Im Weiteren geht es darum wie der Wortspeicher der Zielsprache abgerufen wird. Nach Costa et al. (1999) muss festgestellt werden, ob eine sprachspezifische oder eine sprachunspezifische Selektion stattfindet.(66) Das heißt, es kommt entweder nur der Wortspeicher der benötigten Sprache in Betracht oder die Wortspeicher der beiden Sprachen konkurrieren um die Selektion und der Wortspeicher der unerwünschten Sprache wird inhibiert. Costa et al. (1999) behaupten selbst, die Selektion des Wortspeichers erfolge sprachspezifisch; nur Wörter aus der Zielsprache kommen für die Wortauswahl in Frage.(66)

Für einen sprachunspezifischen Zugang spricht hingegen das *Inhibitory-Control-Modell* von Green (50) (siehe Kapitel 2.1.7), bei welchem aus allen aktivierten Begriffen der beiden Sprache, nur die Begriffe der Zielsprache gewählt werden würden, weil die der anderen Sprache durch die Kontrollinstanzen gehemmt seien.

2.1.8.3 Kontrollinstanzen

Aktuellere Studien über die Kontrollinstanzen sprechen vielmehr für eine unterstützende Funktion (siehe Kapitel 2.1.7), als für eine Inhibition der unerwünschten Sprache.

Interessante Ergebnisse bezüglich des Wortspeichers lieferten Crinion et al. (2006), die sie in einer f-MRT-Studie mit Deutsch-Englisch und Japanisch-Englisch sprechenden Bilingualen über semantisches Priming ermittelten. Der linke Nucleus caudatus sei für die Sprachkontrolle verantwortlich. Er aktiviere die benötigte Sprache und übernehme die Kontrolle über Wortspeicher und Semantik.(56)

Diese Ergebnisse unterstützen natürlich die Hypothese von Costa et al. (1999), der Zugang zum Wortspeicher sei sprachspezifisch.(66)

⁷ Kognate sind Wörter verschiedener Sprachen mit sehr ähnlicher Phonologie.

3 Empirischer Teil

3.1 Ziele

Der Einfluss des Erlernens zweier Sprachen auf die linguistischen Fähigkeiten von Kindern wurde in einer empirischen Studie am Institut für Physiologie der Medizinischen Universität Graz untersucht.

Die Untersuchung der Kinder beschrieb im Wesentlichen drei Ziele. Das erste bestand darin herauszufinden, welchen Effekt das Alter auf den Erwerb einer L2 hat. Dazu war die Betrachtung der linguistischen Ebenen Grammatik, Wortschatz und Morphologie erforderlich.

Der zweite Aspekt beschäftigte sich mit der Stabilität des Sprachsystems; es sollte untersucht werden, welche linguistischen Ebenen stärker auf Perturbationen reagieren. Der Begriff Perturbation bedeutet in diesem Zusammenhang die "Störung" des L2 Sprachsystems durch die Exposition mit der Muttersprache über einen längeren Zeitraum. Dabei soll der unmittelbare Effekt nach der Exposition mit der Muttersprache auf die linguistischen Ebenen, sowie der Effekt auf die L2 zu einem späteren Zeitpunkt ermittelt werden.

Das dritte Ziel umfasst die Bestimmung von Prädiktoren und deren Aussage für die spätere schriftsprachliche Entwicklung von bilingualen Kindern.

3.2 ProbandInnen

Untersucht wurden unter Zustimmung der Eltern drei Geschwister (2Jungen und 1 Mädchen), die einen Altersabstand von 2 Jahren aufweisen. Zu Beginn der Studie (2007) war das älteste Kind (*K1*, Junge) 7 Jahre alt, das mittlere (*K2*, Mädchen) 5 und das jüngste (*K3*, Junge) 3 Jahre alt.

Die Kinder wurden in einem südamerikanischen Land geboren und erlernten dort Spanisch als L1. Als sie im Alter von 3, 5 und 7 Jahren aus Südamerika nach Österreich kamen, haben sie Österreichisches-Deutsch, das auch die Muttersprache des Vaters ist, als Zweitsprache erlernt.

Spanisch, das auch die L1 der Mutter ist, wird weiterhin als Familiensprache und auch zum Teil als Umgebungssprache (z.B. mit Freunden) gesprochen.

Im Verlauf ihrer bilingualen Sprachentwicklung kehrten die Kinder im Alter von 4, 6 und 8 Jahren für einen Monat in ihr Heimatland nach Südamerika, wo nur Spanisch gesprochen wurde, zurück. Nach diesem Aufenthalt besuchten die beiden jüngeren Kinder in Österreich den Kindergarten, das Älteste die Volksschule.

Momentan sind die Kinder 8, 10 und 12 Jahre alt. Der Jüngste besucht noch die Volksschule, die beiden Älteren das Gymnasium.

3.3 Methode

Es erfolgten vier Testungen der Kinder zu folgenden Zeitpunkten: *T1* wurde während des ersten Aufenthaltsjahres in Österreich durchgeführt, im Alter von 3, 5 und 7 Jahren, *T2* unmittelbar nach dem Aufenthalt in Südamerika mit 4, 6 und 8 Jahren, *T3* sechs Monate nach der Rückkehr aus Südamerika und *T4* erfolgte im Alter von 7, 9 und 11 Jahren nach längerem Aufenthalt in Österreich.

Zu den ersten drei Testzeitpunkten wurde der Peabody Picture Vocabulary Test (PPVT Form A, (68)), bestehend aus Itemsets mit jeweils 12 Items, durchgeführt. Eine Fehleranzahl von mehr als acht innerhalb eines Testblocks stellt ein Abbruchkriterium für den jeweiligen Testblock dar.(68) Des Weiteren wurden die Sprachfähigkeiten der Kinder bei diesen drei Terminen mit einem Grammatikverständnistest (TROG-D, (69)), dessen Abbruchkriterium fünf fehlerhafte Blöcke ist, einer Testung des aktiven Wortschatzes für 3- bis 5-Jährige (AWST-R, (70)), sowie Teilaspekte eines Sprachentwicklungstests für 3- bis 5-Jährige (SETK 3-5, (71)) untersucht. Beim SETK 3-5 wurden die Untertests 2 und 4 verwendet. Mithilfe des Untertests 2 wird der Gebrauch von Präpositionen und anhand des Untertests 4 die Bildung von Pluralformen überprüft.

Bei den Testungen *T1* und *T3* wurden auch die Austrian Communicative Development Inventories Level 3 (ACDI-3, (72)) erhoben. Diese erfassen den Wortschatz, die Grammatik und die kommunikativen Fähigkeiten und wurden von dem Vater der Kinder sowie einem Betreuer (LehrerIn, KindergartenpädagogIn) ermittelt.

Zuzüglich zu den genannten Testmaterialien wurde auch die Spontansprache der Kinder mittels einfacher Fragen innerhalb einer Konversation erhoben.

Das Design für die vierte Testung (*T4*) beinhaltete entsprechend dem Alter der Kinder eine andere Kombination aus Testmaterialien. Von den Testungen *T1-T3* blieb der PPVT und der TROG-D erhalten. Hinzu kam eine Subskala der Kaufman Assessment Battery for Children Test (73) für die Erhebung des passiven Wortschatzes, sowie der Salzburger Lese- und Rechtschreibtest I und II (SLRT-I und II, (74,75)) für die Testung der schriftsprachlichen Fähigkeiten. Bei dem SLRT-I wurden zwei Parallelversionen durchgeführt. In Form A wurde das laute Vorlesen von Begriffen beurteilt, beim Lesen von Form B wurden die Augenbewegungen mit einem Eye Tracking Gerät (SensoMotoric Instruments: iVIEW X Hi-Speed) erfasst. Dabei sollten die TeilnehmerInnen die Wörter, die Pseudowörter und den Text leise lesen.

Die Funktion des Eye Tracking Geräts beruht auf der Erfassung von verschiedenen Augenbewegungen. Beim Lesen sind insbesondere die Anzahl und Dauer der Fixationen, die Anzahl, Dauer und Länge der Sakkaden wie auch die Anzahl, Dauer und Länge der Regressionen interessant. Das Auge fixiert einzelne Wortbestandteile für durchschnittlich ca. 250 ms und im Gehirn wird währenddessen das Gelesene verarbeitet. Noch nicht verarbeitete Wortbestandteile werden durch die Sakkaden in die Fovea gerückt, um auf diese Weise verarbeitet werden zu können. Liegt beispielsweise eine Textverständnisproblematik vor, kann das Auge mittels der sogenannten Regressionen, zu einem bereits gelesenen oder übersprungenen Wort zurückkehren.(76)

Die Testdurchführung im Neurophysiologischen Labor des Instituts für Physiologie der Medizinischen Universität Graz wurde bei gediminten Lichtverhältnissen durchgeführt. Der Kopf und das Kinn der Kinder wurden fixiert, um Störbewegungen auszuschalten. Vor dem eigentlichen Test wurde eine Kalibrierung des Gerätes mit 13 Fixationspunkten durchgeführt.

Beim SLRT-II wurde die Leseflüssigkeit der ProbandInnen gemessen und ein Rechtschreibtest durchgeführt.

Für die Ermittlung der narrativen Fähigkeiten der Kinder wurde ein Subtest der Patholinguistischen Diagnostik für Sprachentwicklungsstörungen durchgeführt, bei der die Kinder anhand von zusammenhängenden Bildern eine Geschichte erzählen sollten. Diese patholinguistische Diagnostik umfasst Types, Tokens, den

MLU-Wert (Mean length of utterances) und den Story Structure Score (SSS, (77,78)). Letzterer wird mittels Makrostrukturelementen der Erzählungen gemessen. Für jedes Makrostrukturelement gibt es einen Punkt. Die Makrostrukturelemente umfassen den formalen Beginn, die Orientierung zu Aktanten und Setting, explizite Nennung des Ziels/Problems/Themas und den formalen Schluss.(77) Es können maximal 5 Punkte erreicht werden.

3.4 Ergebnisse

3.4.1.1 Aktiver und passiver Wortschatz

3.4.1.1.1 ACIDI-3

Die Testresultate von *T1* und *T3* im Vergleich zeigen in der Beurteilung des Vaters eine Erhöhung der Quantität des Wortschatzes aller drei Kinder (siehe Tab. 1). Bei der Betrachtung der einzelnen Wortgruppen (Nomen (N), Verben (V), Funktionswörter/Pronomina (F/P), Adjektive/Adverbien (A/A)) sieht man bei *K1* eine Zunahme im Bereich der F/P und im Bereich der A/A. *K2* und *K3* verbessern sich hingegen in allen Bereichen; die größte Zunahme ist bei den Verben zu sehen, es folgen die Bereiche F/P, A/A und N.

Bei der Betrachtung der angegebenen Werte eines Betreuers zeigt sich im Gegensatz zu der des Vaters eine größere Zunahme der Quantität des Wortschatzes bei *K1* und *K3*. Die Quantität des Wortschatzes bei *K2* nimmt hier weniger zu. *K1* steigert sich im Bereich der N und der A/A, *K2* und *K3* in allen Bereichen. Bei *K2* sieht man von der minimalsten Zunahme bei den A/A über die N zu den F/P und den V die größte Zunahme. Der Wortschatz von *K3* nimmt am deutlichsten im Bereich F/P zu, es folgen die Bereiche der V, der N und der A/A.

In der Entwicklung der Komplexität des Wortschatzes zeigen sich in den Fragebögen des Vaters und des Betreuers ähnliche Angaben. *K1* macht in diesem Bereich keine Fortschritte, *K2* und *K3* verbessern sich beide von *T1* zu *T3*.

ACDI-3 (T1,T3)					
Kind	Quant. T1 V.	N T1 V.	V T1 V.	F/P T1 V.	A/A T1 V.
K1	4	3	0	0	1
K2	13	6	1	1	5
K3	24	13	1	3	7
Kind	Quant. T1 Betr.	N T1 Betr.	V T1 Betr.	F/P T1 Betr.	A/A T1 Betr.
K1	4	3	0	0	1
K2	16	7	2	0	7
K3	20	10	2	1	7
Kind	Quant. T3 V.	N T3 V.	V T3 V.	F/P T3 Betr.	A/A T3 Betr.
K1	8	3	0	1	4
K2	26	9	4	3	10
K3	46	19	4	9	14
Kind	Quant. T3 Betr.	N T3 Betr.	V T3 Betr.	F/P T3 Betr.	A/A T3 Betr.
K1	9	6	0	0	3
K2	29	13	5	1	10
K3	44	21	7	4	12
Kind	Kompl. T1 V.	Kompl. T1 Betr.	Kompl. T3 V.	Kompl. T3 Betr.	
K1	0	0	0	0	
K2	16	14	21	21	
K3	22	22	25	24	

Tabelle 1 - Darstellung der Ergebnisse des ACDI-3 der Testzeitpunkte T1 und T3. Quant.=Quantität, V.=Vater, Betr.=Betreuer, N=Nomen, V=Verben, F/P=Funktionswörter/Pronomina, A/A=Adjektive/Adverbien, Kompl.=Komplexität.

3.4.1.1.2 AWST-R

Im Vergleich zeigen die Werte der Testungen *T1-T3* eine Zunahme des Wortschatzes (insgesamt liegen 75 Wörter vor, die erfasst werden können) aller drei Kinder von *T1* zu *T3* (*K1*: von 5/75 zu 9/75, *K2*: von 17/75 zu 21/75, *K3*: von 28/75 zu 44/75). Von *T1* zu *T2* sieht man jedoch nur eine Zunahme des Wortschatzes des *K3* (von 28/75 zu 32/75), *K1* und *K2* zeigen eine Abnahme des aktiven Wortschatzes (*K1*: von 5/75 zu 4/75, *K2*: von 17/75 zu 16/75).

3.4.1.1.3 Vergleich von ACDI-3 und AWST-R

Vergleicht man beide Tests des aktiven Wortschatzes zeigen sich ähnliche Werte für *T1* und *T3* (ACDI-3: siehe Tabelle 1, AWST-R: siehe 3.4.1.1.2) und es bestätigt sich die Zunahme des Wortschatzes aller drei Kinder in diesem Testzeitraum.

3.4.1.1.4 PPVT

Der passive Wortschatz der Kinder nimmt von *T1* bis *T4* insgesamt zu (*K1*: bei *T1* 23 korrekte Items, kein korrekter Block, bei *T4* 85 korrekte Items, 5 korrekte Blöcke; *K2*: bei *T1* 39 korrekte Items, kein korrekter Block, bei *T4* 160 korrekte Items, 5 korrekte Blöcke; *K3*: bei *T1* 39 korrekte Items, 1 korrekter Block bei *T4* 177 korrekte Items, 8 korrekte Blöcke).

Die Zunahme des Wortschatzes ist jedoch nicht kontinuierlich. Von *T1* zu *T2* zeigt sich eine deutliche Verringerung der Ergebniswerte bei *K1* (*T1*: 23 korrekte Items, kein korrekter Block; *T2*: 13 korrekte Items, kein korrekter Block) und *K2* (*T1*: 39 korrekte Items, kein korrekter Block; *T2*: 36 korrekte Items, kein korrekter Block). *K3* zeigt eine minimale Steigerung von *T1* zu *T2* (*T1*: 39 korrekte Items, 1 korrekter Block; *T2*: 41 korrekte Items, 1 korrekter Block) um 2 korrekte Items.

3.4.1.2 Grammatikkompetenz

3.4.1.2.1 TROG-D

Die Anzahl der grammatikalisch korrekten Blöcke des *K1* bleibt von *T1* zu *T2* bei 2, die Anzahl der korrekten Items verringert sich von 18 auf 17. Zum Zeitpunkt *T3* sind es 6 korrekte Blöcke und 36 korrekte Items. Bei der vierten Testung erlangt *K1* 14 korrekte Blöcke und 62 korrekte Items.

K2 hat zum Testzeitpunkt *T1* und *T2* 6 grammatikalisch korrekte Blöcke und 33 korrekte Items. Zum Zeitpunkt *T2* sind es 10 gramm. korrekte Blöcke und 55 korrekte Items. Bei *T4* hat *K2* 19 grammatikalisch korrekte Blöcke und 78 korrekte Items.

Die Anzahl der grammatikalisch korrekten Blöcke von *K3* erhöhen sich von *T1* zu *T2* von 7 auf 8 und die korrekten Items von 39 auf 41. Zum dritten Testzeitpunkt sind es 13 korrekte Blöcke und 60 korrekte Items. Bei der vierten Testung erhöht sich die Anzahl der korrekten Blöcke auf 17 und die der Items auf 78.

Der Vokabel-Subtest dieses Testverfahrens zeigt bei *K1* zum *T1* einen korrekten Block und 31 korrekte Items. Zum *T2* gibt es keinen korrekten Block, aber 32 korrekte Items. Bei der dritten Testung sind es ein korrekter Block und 40 korrekte Items.

K2 bildet zum *T1* 3 korrekte Blöcke und 47 korrekte Items, zum *T2* sind es weiterhin 3 korrekte Blöcke, aber bereits 49 korrekte Items. Bei *T3* erreicht das Kind 6 korrekte Blöcke und 53 korrekte Items.

K3 erzielt beim Testzeitpunkt *T1* 6 korrekte Blöcke und 53 korrekte Items. Im Verlauf zeigt sich zum Testzeitpunkt *T2* eine Erhöhung auf 7 korrekte Blöcke und 54 korrekte Items.

3.4.1.2.2 SETK 3-5

Bei diesem Testverfahren kann man wie die Werte in Tabelle 2 zeigen eine Erhöhung sowohl der AWA-Summe als auch der DAWA-Summe im Verlauf der drei Testungen beobachten. Die Summen des U4 ändern sich über den Zeitraum der drei Testungen jedoch nur minimal.

SET-K-3-5			
Testung T1	U2 AWA-Summe	U2 DAWA-Summe	U4 Summe
K1	ZZZZ	ZZZZ	ZZZZ
K2	15	1,4	2
K3	48	4,4	18
Testung T2	U2 AWA-Summe	U2 DAWA-Summe	U4 Summe
K1	17	1,5	0
K2	20	1,8	2
K3	51	4,6	19
Testung T3	U2 AWA-Summe	U2 DAWA-Summe	U4 Summe
K1	33	3	0
K2	34	3,1	2
K3	61	5,5	19

Tabelle 2 - Darstellung der Ergebnisse des SETK 3-5 der Testzeitpunkte T1-T3. U2=Untertest 2 (Präpositionen), U4=Untertest 4 (Plural), AWA=Anzahl der Wörter pro Antwort, DAWA=durchschnittliche Anzahl der Wörter pro Antwort, ZZZZ=nicht anwendbar.

Vergleicht man die DAWA-Summe des U2 zum T1 mit den Funktionswörter/Pronomina beim ACDI-3 zum T1 (ACDI-3, F/P, T1, Vater, K1:0; K2:1; K3:3) kann man ähnliche Werte beobachten. Zum Zeitpunkt T3 variieren die Werte jedoch wieder.

3.4.1.3 Narrative Kompetenz

3.4.1.3.1 Patholinguistische Diagnostik

Zum Testzeitpunkt T4 bildet K1 41, K2 35 und K3 61 Types. Die Anzahl der Tokens des K1 liegt bei 74, des K2 bei 61 und die des K3 bei 126. Der MLU-Wert von K1 ergab 9,25, der des K2 8,71 und der des K3 15,75. Die Transkription der Erzählungen der einzelnen Kinder ist im Anhang dieser Arbeit zu finden.

Beim Story Structure Score erlangt K1 2, K2 und K3 3 von 5 Punkten. Keiner der drei ProbandInnen verwendet einen formalen Beginn oder Schluss.

3.4.1.4 Schriftsprachliche Fähigkeiten

3.4.1.4.1 K-ABC

Zum Testzeitpunkt *T4* bildet *K1* bei der Durchführung des Untertest U15 (Lesen/Buchstabieren) 34 korrekte Items und bei dem Untertest U16 (Lesen/Verstehen) 16 korrekte Items. *K2* erzielt 37 korrekte Items im U15 und 19 korrekte Items im U16. Bei *K3* wurden 38 korrekte Items im U15 und 21 korrekte Items im U16 gezählt.

3.4.1.4.2 SLRT-I und II

Beim SLRT-I zum *T4* beobachteten wir bei *K1* 2 Fehler bei den häufigen Wörtern und einen Fehler bei den zusammengesetzten Wörtern. *K2* und *K3* machten bei diesen Aufgaben keine Fehler.

Beim kurzen Text machten *K1* und *K2* gleich viele Fehler (siehe Tabelle 3), *K3* machte keinen Fehler. Beim Lesen der wortunähnlichen Pseudowörter machte *K2* die meisten Fehler, gefolgt von *K1* und nach diesem *K3*. Die Testung der Wortähnlichen Pseudowörter zeigte hingegen die meisten Fehler bei *K1* und keine Fehler bei *K3*.

Die Zeitmessung ergab bei den häufigen Worten eine Zunahme der Schnelligkeit von *K1* bis *K3* (siehe Tabelle 3). Bei den zusammengesetzten Worten beobachteten wir bei *K1* und *K2* die gleiche Zeitdauer.

Bei der Testung der wortunähnlichen Pseudowörter wurde bei *K2* die längste Zeitdauer gemessen, gefolgt von *K1* und *K3*. Bei den wortähnlichen Pseudowörtern konnten wir einen Unterschied von 2 Sekunden zwischen *K1* und *K2* feststellen, jedoch einen Unterschied von 18 Sekunden zwischen *K2* und *K3*.

Bei dem SLRT-II zum *T4* hat *K1* beim Ein-Minuten-Leseflüssigkeitstest (EML) von Wörtern insgesamt 50 Wörter vorgelesen, davon wurden 47 korrekt gelesen. *K2* hat insgesamt 83 Wörter vorgelesen, wovon 81 korrekt waren. *K3* hat bei dieser Testung 113 Wörter vorgelesen, davon waren 110 korrekt gelesen. Alle drei Kinder haben bei dieser Testung kein Wort ausgelassen.

Beim EML von Pseudowörtern gelingt es *K1* insgesamt 38 Pseudowörter vorzulesen, davon waren 36 korrekt und es wurde keines ausgelassen. *K2* hat insgesamt 41 Wörter vorgelesen, 38 Pseudowörter davon korrekt gelesen und

keines ausgelassen. *K3* hat insgesamt 60 Pseudowörter vorgelesen, 58 korrekt und keines ausgelassen.

SLRT-I (T4)				
Kind	HW F.	HW Z.	ZW (3.-4. Kl.) F.	ZW (3.-4. Kl.) Z.
<i>K1</i>	2	17	1	22
<i>K2</i>	0	15	0	22
<i>K3</i>	0	12	0	11
Kind	TK (1.-2. Kl.) F.	TK (1.-2. Kl.) Z.	TL (3.-4. Kl.) F.	TL (3.-4. Kl.) Z.
<i>K1</i>	1	19	ZZZZ	ZZZZ
<i>K2</i>	1	17	ZZZZ	ZZZZ
<i>K3</i>	0	12	ZZZZ	ZZZZ
Kind	WUP F.	WUP Z.	WÄP F.	WÄP Z.
<i>K1</i>	1	40	2	42
<i>K2</i>	2	49	1	40
<i>K3</i>	0	22	0	22
<i>K1</i>	<i>K2</i>			
Prozentrang	Fehler	Prozentrang	Fehler	
HW	>90	OK	90-81	OK
ZW			15	OK
TK	90-81	OK		
TL				
WUP	90-81	OK	18	OK
WÄP	80-71	OK	40-31	OK
<i>K3</i>	NICHT NORMIERT FÜR DIESES ALTER			Anmerkung: Zeit in Sekunden

Tabelle 3 - Darstellung der Ergebnisse des SLRT-I des Testzeitpunktes T4. W=Wörter, Zusammeng.=Zusammengesetzt, Wortunä. Pseudow.=Wortunähnliche Pseudowörter, Wortä. Pseudow.=Wortähnliche Pseudowörter, HW=häufige Wörter, ZW=zusammengesetzte Wörter, TK=Text kurz, TL=Text lang, WUP=Wortunähnliche Pseudowörter, WÄP=Wortähnliche Pseudowörter, ZZZZ=nicht anwendbar, F.=Fehler, Z.=Zeit.

3.4.1.4.3 Eye Tracking

In den Abbildungen 6 und 7 sind die Augenbewegungen von *K2* beim Lesen von Pseudowörtern und von *K3* beim Lesen von Wörtern graphisch dargestellt. Die Kreise in den Graphiken stellen die Fixationen der ProbandInnen dar. Je größer ein Kreis ist, desto länger dauerte die Fixation. Die Linien zwischen den Fixationen bilden die Sakkaden und Regressionen ab, d.h. d.h. die Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen der Augen. *K2* benötigt beim Lesen der Pseudowörter

deutlich längere Fixationen und kleinere Sakkaden als *K3* beim Lesen der Wörter.
Auch die Fixationshäufigkeit unterscheidet sich.



Abbildung 7 - Graphische Darstellung der Augenbewegungen von *K2* beim Lesen von Pseudowörtern aus dem SLRT-I.

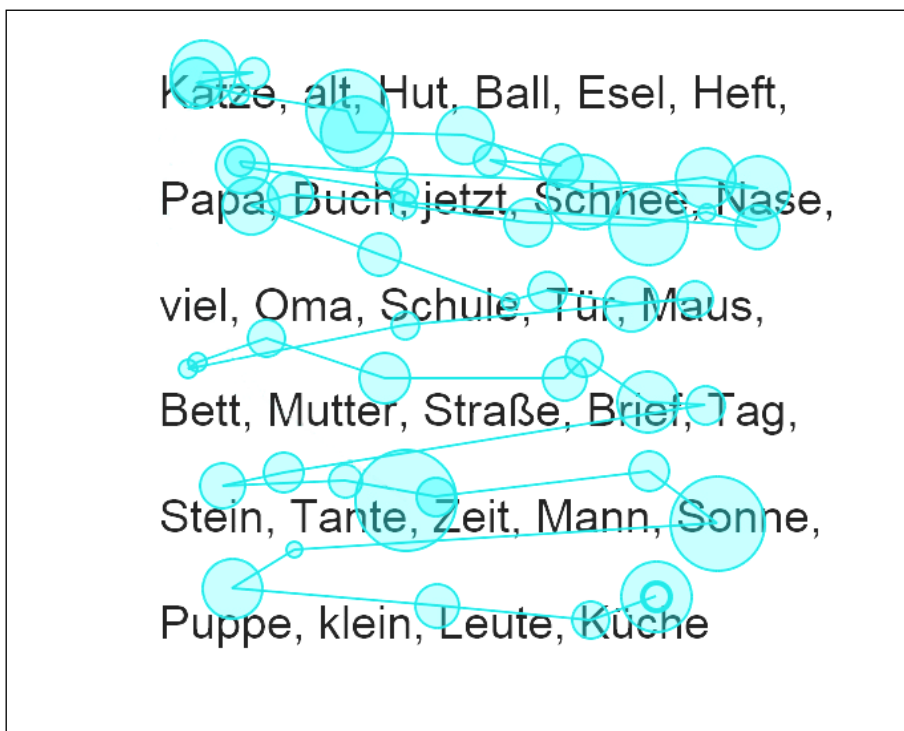


Abbildung 8 - Graphische Darstellung der Augenbewegungen von *K3* beim Lesen von Wörtern aus dem SLRT-II.

3.4.1.4.4 SLRT-II

Bei der Durchführung des Rechtschreibtests des SLRT-II wurden bei K1 12 falsche Wörter beobachtet, bei K2 8 und K3 1 falsches Wort. Die Verteilung der Fehler kann in Tabelle 4 betrachtet werden.

SLRT-II (T4)			
Kind	EML - Wörter (Items gesamt)	EML - Wörter (Fehler)	EML - Wörter (Auslassungen)
K1	50	3	0
K2	83	2	0
K3	113	3	0
Kind	EML - Wörter (FPW)	EML - Wörter (Items richtig)	EML - Wörter (PR Anzahl richtig)
K1	6	47	84-87
K2	2.4	81	60-63
K3	2.7	110	>95
Kind	EML-Pseudow. (Items gesamt)	EML - Pseudow. (Fehler)	EML - Pseudow. (Auslassungen)
K1	38	2	0
K2	41	3	0
K3	60	2	0
Kind	EML - Pseudow. (FP)	EML - Pseudow. (Items richtig)	EML - Pseudow. (PR Anzahl richtig)
K1	5.3	36	88
K2	7.3	38	37-38
K3	3.3	58	80
Wörter - Mittelwert für FPW:		Pseudow. - Mittelwert für FPW:	
2. Schulstufe: 7.3		2. Schulstufe: 9.1	
4. Schulstufe: 3.8		4. Schulstufe: 7.0	
5. Schulstufe: 2.9		5. Schulstufe: 5.6	
Kind	RT - Wörter falsch	RT- NO-Fehler	RT - N-Fehler
K1	12	10	0
K2	8	8	1
K3	1	0	0
Kind	RT- GK-Fehler	PR - Wörter falsch	PR - NO-Fehler
K1	2	50-31	50-31
K2	0	50-31	30-21
K3	1	NICHT NORMIERT FÜR DIESES ALTER	
Kritischer Wert N-Fehler:		Kritischer Wert GK-Fehler:	
2. Schulstufe: 2		2. Schulstufe: 7	
4. Schulstufe: 1		4. Schulstufe: 3	

Tabelle 4 - Darstellung der Ergebnisse des SLRT-II des Testzeitpunktes T4. EML=Ein-Minuten-Leseflüssigkeit, Pseudow.=Pseudowörter, PR=Prozentrang, FP=Fehlerprozent, FPW=Fehlerprozentwert, RT=Rechtschreibtest, N-Fehler=nicht lauttreue Fehler, GK=Fehler bei der Groß-/Kleinschreibung, O-Fehler=orthographische Fehler, NO-Fehler=nicht lauttreue und orthographische Fehler.

3.5 Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es einerseits Aspekte der neuronalen Organisation von L1 und L2 durch eine Auswahl an breit gefächerten Studien zur Thematik des Bilingualismus genauer zu betrachten. Andererseits wurden die tatsächlichen Effekte des Bilingualismus auf Aspekte der Sprachentwicklung mittels diversen Testverfahren an drei bilingualen Kindern untersucht.

Die Untersuchung der individuellen Sprachentwicklung der drei bilingualen Kinder in ihrer L2 zeigte für die Entwicklung des Wortschatzes über den gesamten Testzeitraum eine deutliche Erweiterung des aktiven wie auch des passiven Wortschatzes. Im Bereich des aktiven Wortschatzes verdoppelt sich bei allen drei Kindern der Wortschatz von *T1* zu *T3*, sowohl beim ACIDI-3 als auch beim AWST-R. Allerdings erhöht sich dieser abhängig von dem Alter der Kinder in unterschiedlichen Wortgruppen (siehe Tabelle 1). Auch der passive Wortschatz entwickelte sich im Testverlauf bei allen drei Kindern weiter.

Betrachtet man nun einen Teilaspekt unserer Studie, nämlich die Stabilität des Sprachsystems der Kinder nach dem Aufenthalt in Südamerika, so kann man bei dem AWST-R zum Zeitpunkt *T2* eine Verminderung des aktiven Wortschatzes bei *K1* und *K2* bemerken. *K3* steigert sich in diesem Testverfahren von *T1* zu *T2* nur minimal. Der passive Wortschatz verringert sich bei *K1* und *K2* im PPVT von *T1* zu *T2* ebenfalls, *K3* zeigt auch hier keine wesentliche Verbesserung. Nur sechs Monate nach dem Aufenthalt in Südamerika verbessern sich jedoch alle drei Kinder, sowohl im Bereich des aktiven als auch im Bereich des passiven Wortschatzes.

Das heißt zu diesem Zeitpunkt liegt ein deutlicher Entwicklungsschub auf der Ebene des Wortschatzes der L2 vor. Eine denkbare Erklärung dieser wesentlichen Erweiterung des Wortschatzes zum Zeitpunkt *T3*, könnte eine Stabilisierung des Sprachsystems durch die Exposition mit der L1 sein.

Die grammatikalischen Fähigkeiten der Kinder zeigen keine Weiterentwicklung bei *K1* und *K2* von dem Zeitpunkt *T1* zu *T2*. *K3* bleibt auch hier stabil und verbessert sich nur minimal. Eine deutliche Weiterentwicklung sieht man jedoch wieder bei allen drei Kindern zum Zeitpunkt *T3*.

Man kann also festhalten, dass bei allen drei Kindern ein deutlicher Sprachentwicklungsschub im Bereich der Grammatik und des Wortschatzes zum Zeitpunkt *T3* festzustellen ist und dass bei Betrachtung der linguistischen Ebenen, die Grammatik eine größere Stabilität zeigt als der Wortschatz. Außerdem ist festzustellen, dass das Sprachsystem von *K3*, dem ältesten Kind, unmittelbar nach dem Aufenthalt am stabilsten auf die Perturbation reagiert hat.

Für die Stabilität der Grammatik erweisen sich hier möglicherweise die ausgeprägten Kontrollinstanzen wie sie Rivera Mindt et al. (2008) als einen positiven Aspekt der Sprachentwicklung von bilingualer Kinder beschreiben, als Vorteil.(79)

Prädiktoren für die schriftsprachliche Entwicklung konnten wir nicht feststellen, obwohl interessanterweise *K2* im SLRT-I und II zum Zeitpunkt *T4* bezüglich der benötigten Zeit und des Fehlerprozentranges (siehe Tabelle 3 und 4) schlechtere Ergebnisse erzielte als *K1*. Auch beim K-ABC erzielte *K2* für die entsprechende Altersgruppe einen niedrigeren Prozentrang als *K1* für die jeweilige Altersgruppe.

Erwähnen muss man an dieser Stelle jedoch auch die beschränkte Anwendbarkeit dieser Fehlerprozenträge; nur die Sprachkompetenz monolingualer Kinder kann damit analysiert werden. Das heißt, um eine objektivere Betrachtungsweise des gesamten Sprachsystems bilingualer Kinder zu ermöglichen, müsste man auch die Fähigkeiten in der L1 mit einbeziehen.

Dazu wäre es wünschenswert allgemein standardisierte Testverfahren zu entwickeln, die die Sprachfähigkeiten bilingualer Kinder in L1 und L2 testen. Laut De Houwer (2009) erreichen bilinguale und monolinguale Kinder zwar zu vergleichbaren Zeitpunkten die Meilensteine der Sprachentwicklung und erwerben ihre zwei Sprachen auf eine sehr ähnliche Art und Weise wie monolinguale Kinder.(80) Trotzdem sollte die Sprachentwicklung bilingualer Kinder separat betrachtet werden und nicht an Standards für monolinguale Kinder gemessen werden.

Dafür spricht auch die unterschiedliche Verteilung der Sprachfähigkeiten in den beiden Sprachen während der Sprachentwicklung wie sie Kohnert (2010) beschreibt.(81) D.h., es müssen nicht zwangsläufig zum gleichen Zeitpunkt dieselben Fähigkeiten in beiden Sprachen erworben werden. Bilinguale Kinder können in ihrer Entwicklung zu einem bestimmten Zeitpunkt auf gewissen

linguistischen Ebenen in einer Sprache besser abschneiden als in anderen. Laut Rivera Mindt et al. dauert es bei bilingualen Sprechern im zeitlichen Verlauf länger bis sie beide Sprachen auf einem vergleichbar hohen Niveau beherrscht werden.(79)

Die bilinguale Sprachentwicklung sollte folglich nicht im Vergleich zum Monolingualismus betrachtet und als bessere oder schlechtere Form des Spracherwerbs bezeichnet werden wie es im Volksmund oftmals geschieht. Sie stellt in unserer heutigen Gesellschaft ein stetig zunehmendes Phänomen dar, das durch das Zusammentreffen unterschiedlicher Kulturen meist auf natürliche Weise entsteht, indem beispielsweise beide Elternteile in ihrer jeweiligen Muttersprache mit ihrem Kind kommunizieren. Das ist keine Entscheidung für eine kognitiv besonders fördernde oder benachteiligende Entwicklung, auch wenn ersteres natürlich ein erstrebenswertes Ziel der Eltern darstellen kann.

Momentan gibt es keine evidenzbasierten Studien, die die Hypothese von Sprachentwicklungsstörungen auf Grund von Bilingualismus unterstützen würden. Laut Kohnert (2010) wird angenommen, dass die Zahlen für Sprachstörungen für monolinguale und bilinguale Kinder in etwa übereinstimmen.(81)

Nach de Houwer (2009) gibt es allerdings einen Unterschied zwischen einer harmonischen und einer nicht-harmonischen bilingualen Entwicklung.(80) Dabei handelt es sich um das Zusammenspiel zahlreicher unterschiedlicher Faktoren wie zum Beispiel der inner- und außerfamiliären Erwartungshaltung, der Identitätsfindung der Kinder, Lernschwierigkeiten, die zur persönlichen bilingualen Entwicklung des Kindes beitragen.

Die bilinguale Entwicklung eines jeden Kindes ist natürlich individuell verschieden. Angefangen bei den zwei verschiedenen Sprachen und dem Zeitpunkt des Spracherwerbs, über die Möglichkeit diese zu verwenden, sei es mit dem familiären Umfeld, den Freunden oder in der Schule, bis hin zu den kognitiven Fähigkeiten, die jedes Kind mit sich bringt.

Das führt verständlicherweise zu einer gewissen Problematik, möchte man bilinguale Kinder in einer homogenen Gruppe untersuchen. Das zeigte sich in dieser Diplomarbeit deutlich bei der Literaturrecherche über das Gehirn bilingualer SprecherInnen. Insgesamt ist es schwierig vergleichbare Studien zu finden, da die

Auswahlkriterien der bilingualen SprecherInnen innerhalb einer Studie, aber auch im Vergleich der einzelnen Studien variieren.

Hinzu kommt die angewandte Untersuchungsmethode. Es können unterschiedliche Sprachfertigkeiten getestet werden. Betrachtet man das Sprachverständnis genauer, so wurde von Perani et al. (1998) unabhängig vom Zeitpunkt des Spracherwerbs, aber abhängig von einem hohen Sprachniveau, die gleiche neuronale Organisation für L1 und L2 entdeckt.(33)

Befasst man sich mit dem Wortspeicher, kann eine solche Aussage momentan noch nicht getroffen werden.

Die Analysierung der Funktion der Kontrollinstanzen deutet wiederum auf eine weitere Schwierigkeit bei der Auswertung dieser experimentellen Studien hin. Sind die Kontrollinstanzen unterstützend tätig oder inhibieren sie die nicht erforderliche Sprache? Die Aktivierung dieser Hirnareale alleine sagt noch nichts über die korrekte Interpretation ihrer Funktion aus.

Dies betrifft jedoch nicht nur die Kontrollinstanzen, sondern auch die Messung der Aktivität aller anderen Gehirnareale. Karmiloff-Smith (2010) beschreibt sehr plausibel die Schwierigkeit einem Gehirnareal eine bestimmte Tätigkeit zuzuordnen.(82) Sie spricht von der zukünftigen Notwendigkeit die neuronalen Verbindungen zwischen den einzelnen Gehirnarealen für Entwicklungsstudien näher untersuchen zu müssen. Auch Johnson (2001) beschreibt sehr überzeugend, dass neue kognitive Funktionen durch neu aufkommende Verbindungen im Gehirn entstehen.(83)

Außer der Interpretation der erzeugten Gehirnaktivitätsbilder durch die einzelnen Messverfahren, bringen diese selbst jeweils ihre Vor- und Nachteile mit sich. So stellt die Verwendung der f-MRT bei Kindern auf Grund der Untersuchungsbedingungen und in der Folge das Beurteilen der Bilder wegen der Bewegungsartefakte ein erhebliches Problem dar.

Das heißt, es wäre von großem Nutzen über ein Verfahren zu verfügen, bei dem die Kinder unter möglichst realistischen Bedingungen untersucht werden können und die Aufnahmen sowohl in ihrer zeitlichen als auch in ihren räumlichen Auflösung von hoher Qualität sind. Auch die Kombination einzelner Testverfahren

für eine realistischere Interpretation der Aufnahmen könnte in Zukunft in Betracht gezogen werden.

Abschließend muss man festhalten, dass für die weitere Erforschung des Gehirns bilingualer SprecherInnen sowohl eine standardisierte Messmethode für die Messung der Gehirnaktivitäten, als auch eine homogenere Probandenauswahl wünschenswert wäre.

4 Literaturverzeichnis

1. Schneider S. Frühkindliche Mehrsprachigkeit aus sprachwissenschaftlicher Sicht. Allen J (Ed.), *Vielerlei Zungen: Mehrsprachigkeit + Spracherwerb + Pädagogik + Psychologie + Literatur + Medien*. Klagenfurt: Drava; 2003. p. 11–41.
2. Glück H. *Bilingualismus*. Metzler Lexikon Sprache. 4th ed. Stuttgart-Weimar: J.B. Metzler Verlag; 2010. p. 105.
3. De Houwer A. *Introducing Bilingual First Language Acquisition*. Bilingual First Language Acquisition. Bristol Buffalo Toronto: MM Textbooks; 2009. p. 2–15.
4. Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. *Sprache*. Engel A (Ed.), *Neurowissenschaften: Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie*. 3rd ed. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag; 2008. p. 696–724.
5. Broca P. Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation d'aphémie (perte de la parole). *Bull Soc Anat*. 1861;6:330–57.
6. Kolb B, Wishaw IQ. *Sprache*. Pritzel M (Ed.), *Neuropsychologie*. 2. ed. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag GmbH; 1996. p. 326–51.
7. Scoresby-Jackson R. Case of aphasia with right hemiplegia. *Edinb Med J*. 1867;12:696–706.
8. Fabbro F. The Bilingual Brain: Cerebral Representation of Languages. *Brain and Lang*. 2001;79:211–22.
9. Pitres A. Aphasia in polyglots. M. Paradis (Ed.), *Readings on aphasia in bilinguals and polyglots*. Montréal: Didier; 1895. p. 26–49.
10. Thompson RF. *Kognitive Neurowissenschaften*. Thompson RF (Ed.), *Das Gehirn*. 3. ed. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademische Verlag Gustav Fischer; 2001. p. 417–82.
11. Fanghänel J, Pera F, Anderhuber F, Nitsch R. Funktionelle Systeme des ZNS. Fanghänel J, Pera F, Anderhuber F, Nitsch R (Eds.), *Waldeyer Anatomie des Menschen*. 17. ed. Berlin: Walter de Gruyter; 2003. p. 456–550.
12. Squire LR. *Language and Communication*. Squire L, Berg D, Bloom F, Du Lac S, Ghosh A, Spitzer N (Eds.), *Fundamental neuroscience*. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press; 2008. p. 1179–97.
13. Rösler F. *Sprache. Psychophysiologie der Kognition: Eine Einführung in die Kognitive Neurowissenschaft*. 1st ed. Spektrum Akademischer Verlag; 2011. p. 345–86.

14. Friederici AD. The brain basis of language processing: from structure to function. *Physiol Rev.* 2011;91:1357–92.
15. Kandel ER, Schwartz JH, Jessel TM. Language and the Aphasias. Kandel ER, Schwartz JH, Jessel TM (Eds.), *Principles of neural science*. 4. ed. McGraw-Hill Companies; 2000. p. 1169–87.
16. Glück H. Paraphasie. *Metzler Lexikon Sprache*. 4th ed. Stuttgart-Weimar: J.B. Metzler Verlag; 2010. p. 492.
17. Pschyrembel W, Dornblüht O. Pschyrembel Klinisches Wörterbuch [Internet]. 2010 [cited 2011 Jan 3]. Available from: <http://han.meduni-graz.at/han/Pschrembel/www.wdg.pschyrembel.de/Xaver/start.xav?col=Pschyrembel>
18. Papoušek M. Psycholinguistische, neurobiologische und entwicklungspsychobiologische Grundlagen der vorsprachlichen Kommunikation. Papoušek M (Ed.), *Vom ersten Schrei zum ersten Wort: Anfänge der Sprachentwicklung in der vorsprachlichen Kommunikation*. 1. ed. Bern; Göttingen; Toronto; Seattle: Verlag Hans Huber; 1994. p. 20–40.
19. Witelson SF, Pallie W. Left hemispheric specialization for language in the newborn: Neuroanatomical evidence of asymmetrie. *Brain.* 1973;96(3):641–6.
20. Schmidt RF, Lang F. Integrative Leistungen des Nervensystems. Schmidt RF, Lang F (Eds.), *Physiologie des Menschen*. 30. ed. Heidelberg: Springer; 2007. p. 144–268.
21. Albert ML, Obler LK. *The bilingual brain*. Academic Press New York. 1978;
22. Karanth P, Rangamani G. Crossed aphasia in multilinguals. *Brain and Lang.* 1988;
23. Chantraine Y, Joannette Y, Cardebat D. Impairments of discourse-level representations and processes. Stemmer B, Whitaker HS (Eds.), *Handbook of neurolinguistics*. San Diego: Academic Press; 1998. p. 262–75.
24. Chomsky N. Review of verbal behaviour, by Skinner BF. *Lang.* 1959;35:26–58.
25. Liebermann P. *Toward an Evolutionary Biology of Language*. Cambridge: Harvard University Press; 2006.
26. Lai C, Fisher S, Hurst J, Varga-Khadem F, Monaco A. A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder. *Nature.* 2001;413:519–23.
27. Fisher S, Varga-Khadem F, Watkins K, Monaco A, Pembrey M. Localisation of a gene implicated in a severe speech and language disorder. *Nat Genet.* 1998;18(3):168–70.

28. Reiser M, Kuhn F-P, Debus J. Radiologische Methoden. Bob A, Bob K (Eds.) Radiologie. 2. ed. Stuttgart: Thieme; 2006. p. 558–61.
29. Reiser M, Kuhn FP, Debus J. Nuklearmedizinische Diagnostik. Bob A, Bob K (Eds.), Radiologie. 2nd ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2006. p. 144–7.
30. Kolb B, Whishaw IQ. Die zelluläre Organisation des Nervensystems. Pritzel M (Ed.), Neuropsychologie. 2nd ed. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag GmbH; 1996. p. 55–70.
31. Van Heuven WJB, Dijkstra T. Language comprehension in the bilingual brain: fMRI and ERP support for psycholinguistic models. *Brain Res Rev.* 2010;64(1):104–22.
32. Perani D, Dehaene S, Grassi F, Cohen L, Cappa S, Dupoux E. Brain processing of native and foreign languages. *Neuroreport.* 1996;7:2439–44.
33. Perani D, Paulesi E, Galles NS, Dupoux E, Dehaene S, Bettinardi V, et al. The bilingual brain. Proficiency and age of acquisition of the second language. *Brain.* 1998;121:1841–52.
34. Price C, Green D, von Studnitz R. A functional imaging study of translation and language switching. *Brain.* 1999;122(12):2221–35.
35. Bavelier D, Corina D, Jezzard P, Clark V, Karni A, Lalwani A, et al. Hemispheric specialization for English and ASL: left invariance-right variability. *Neuroreport.* 1998;9(7):1537–42.
36. Dehaene S. Fitting two languages into one brain -- Dehaene 122 (12): 2207 -- *Brain* [Internet]. 1999 [cited 2010 Sep 6]. Available from: <http://han.meduni-graz.at/han/pubmed/brain.oxfordjournals.org/cgi/reprint/122/12/2207>
37. Dehaene S, Dupoux E, Mehler J, Cohen L, Paulesu E, Perani D, et al. Anatomical variability in the cortical representation of first and second language. *Neuroreport.* 1997;8:3809–15.
38. Kim KH, Relkin NR, Lee KM, Hirsch J. Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature.* 1997;388:171–4.
39. Chee MWL, Caplan D, Soon CS, et al. Processing of visually presented sentences in Mandarin and English studied with fMRI. *Neuron.* 1999a;23:127–37.
40. Chee MWL, Hon N, Lee HL, Soon CS. Relative language proficiency modulates BOLD signal change when bilinguals perform semantic judgments. *NeuroImage.* 2001;13:1155–63.
41. Wartenburger I, Heekeren HR, Abutalebi J, Cappa SF, Vilringer A, Perani D. Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron.* 2003;37(1):159–70.

42. Hernandez AE, Meshyan G. Executive function is necessary to enhance lexical processing in a less proficient L2: evidence from fMRI during picture naming. *Biling Lang Cogn*. 2006;9:177–88.
43. Rüschemeyer S-A, Zysset S, Friederici AD. Native and non-native reading of sentences: an fMRI experiment. *NeuroImage*. 2006;31(1):354–65.
44. Xue G, Jin Q, Chen C. Mapping of verbal working memory in nonfluent Chinese-English bilinguals with functional MRI. *NeuroImage*. 2004b;22:1–10.
45. Videsott G, Herrnberger B, Hoenig K, Schilly E, Grothe J, Wiater W, et al. Speaking in multiple languages: Neural correlates of language proficiency in multilingual word production. *Brain Lang*. 2010;113(3):103–12.
46. Penfield W, Roberts L. *Speech and brain mechanisms*. New York: Atheneum. 1959;
47. Weber-Fox, CM, Neville HJ. Maturation constraints on functional specializations for language processing: ERP and behavioral evidence in bilingual speakers. *J Cogn Neurosci*. 1996;8(3):231–56.
48. Isel F, Baumgaertner A, Thrän J, Meisel JM, Büchel C. Neural circuitry of the bilingual mental lexicon: Effect of age of second language acquisition. *Brain Cogn*. 2010;72(2):169–80.
49. Abutalebi J, Cappa SF, Perani D. What can functional neuroimaging tell us about the bilingual brain? Kroll, J.F., De Groot, A.M.B. (Eds.), *Handbook of Bilingualism: Psycholinguistic Approaches*. USA: Oxford University Press; 2005. p. 497–516.
50. Green DW. Mental control of the bilingual lexico-semantic system. *Biling Lang Cogn*. 1998;1:67–81.
51. Abutalebi J, Brambati SM, Annoni JM, Moro A, Cappa SF, Perani D. The neural cost of the auditory perception of language switches: an event-related functional magnetic resonance imaging study in bilinguals. *J Neurosci*. 2007;27(50):13762–9.
52. Christoffels I, Firk C, Schiller N. Bilingual language control: An event-related brain potential study. *Brain Res*. 2007;1147:192–208.
53. Meuter R, Allport A. Bilingual language switching in picture naming: asymmetrical costs of language selection. *J Mem Lang*. 1999;40:25–40.
54. Jackson GM, Swainson R, Cunnington R, Jackson SR. ERP correlates of executive control during repeated language switching. *Biling Lang Cogn*. 2001;4:169–78.
55. Hernandez AE, Martinez A, Kohnert K. In search of the language switch: an fMRI study of picture naming in Spanish-English bilinguals. *Brain Lang*. 2000;73:421–31.

56. Crinion J. Language Control in the Bilingual Brain. *Science*. 2006;312(5779):1537–40.
57. Van Heuven WJB, Schriefers H, Dijkstra T, Hagoort P. Language conflict in the bilingual brain. *Cereb Cortex*. 2008;18:2706–16.
58. Costa A, Santesteban M. Lexical access in bilingual speech production: evidence from language switching in highly proficient bilinguals and L2 learners. *J Mem Lang*. 2004;50:491–511.
59. Wang Y, Xue G, Chen C, Xue F, Dong Q. Neural bases of asymmetric language switching in second-language learners: an ER-fMRI study. *NeuroImage*. 2007;35:862–70.
60. Klein D, Zatorre RJ, Milner B, Meyer E, Evans AC. The neural substrates of bilingual language processing: Evidence from positron emission tomography. M. Paradis (Ed.), *Aspects of bilingual aphasia*. Oxford, UK: Pergamon Press; 1995. p. 23–36.
61. Klein D, Milner B, Zatorre RJ, Zhao V, Nikelski J. Cerebral organization in bilinguals: A PET study of Chinese-English verb generation. *Neuroreport*. 1999;10:2841–6.
62. Chee MW, Tan EW, Thiel T. Mandarin and English single word processing studied with functional magnetic resonance imaging. *J Neurosci*. 1999b;19:3050–6.
63. De Bleser R, Dupont P, Postler J, et al. The organisation of the bilingual lexicon: a PET study. *J Neurolinguist*. 2003;16:439–56.
64. Poulisse N, Bongarts T. First language use in second language production. *Applied Linguistics*. 1994;15:36–57.
65. Costa A, Caramazza A, Sebastián-Gallés. The cognate facilitation effect: implications for models of lexical access. *J Exp Psychol Learn*. 2000;26:1283–96.
66. Costa A, Miozzo M, Caramazza A. Lexical selection in bilinguals: do words in the bilingual's two lexicons compete for selection? *J Mem Lang*. 1999;41:365–97.
67. Hermans D, Bongaerts T, De Bot K, Schreuder R. Producing words in a foreign language: can speakers prevent interference from their first language? *Biling Lang Cogn*. 1998;1:213–29.
68. Dunn LM, Dunn LM. *Peabody Picture Vocabulary Test - Third Edition*. Circle Pines, MN: American Guidance Service; 1997.
69. Fox AV. *TROG-D Test zur Überprüfung des Grammatikverständnisses*. Idstein: Schultz-Kirchner; 2006.

70. Kiese-Himmel C. AWST-R- Aktiver Wortschatztest für 3- bis 5-jährige Kinder. Göttingen: Beitz Test GmbH; 2005.
71. Grimm H. SETK 3-5: Sprachentwicklungstest für drei- bis fünf-jährige Kinder. Göttingen: Hogrefe; 2001.
72. Marschik PB, Holzinger D, Einspieler C. ACIDI-3, Kinder entdecken Wörter, entdecken Sprache. Elternfragebogen für dreijährige Kinder. Austrian Communicative Development Inventories, Level 3. Medizinische Universität Graz; Institut für Sinnes- und Sprachneurologie, KH Barmherzige Brüder Linz; 2007.
73. Melchers P, Preuß U. Kaufman Assessment Battery for Children, dt. Version (K-ABC), Testbatterie zu Erfassung kognitiver Fertigkeiten. 8th ed. Frankfurt/M.: Pearson Assessment; 2009.
74. Landerl K, Wimmer H, Moser E. Salzburger Lese- und Rechtschreibtest: Verfahren zur Differentialdiagnose von Störungen der Teilkomponenten des Lesens und Schreibens für die 1. bis 4. Schulstufe (SLRT). Bern: Huber; 2006.
75. Moll K, Landerl K. SLRT-II : Lese- und Rechtschreibtest; Weiterentwicklung des Salzburger Lese- und Rechtschreibtests (SLRT). Bern: Huber; 2010.
76. Rayner K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychol Bull.* 1998;124:372–422.
77. Tager-Flusberg H. Once upon a rabbit: stories narrated by autistic children. *British Journal of Developmental Psychology.* 1995;13:45–59.
78. Siegmüller J, Ringmann S, Strutzmann S, Beier J, Marschik PB, (im Druck). Ein Marker für Sprachentwicklungsstörungen im späten Vorschulalter: die Textproduktion. *Sprache, Stimme, Gehör.*
79. Rivera Mindt M, Arentoft A, Kubo Germano K, D'Aquila E, Scheiner D, Pizzirusso M, et al. Neuropsychological, Cognitive, and Theoretical Considerations for Evaluation of Bilingual Individuals. *Neuropsychol Rev.* 2008;18(3):255–68.
80. De Houwer A. Harmonious bilingual development. *Bilingual First Language Acquisition.* Bristol Buffalo Toronto: MM Textbooks; 2009. p. 305–31.
81. Kohnert K. Bilingual Children with Primary Language Impairment: Issues, Evidence and Implications for Clinical Actions. *J Commun Disord.* 2010;43(6):456–73.
82. Karmiloff-Smith A. Neuroimaging of the Developing Brain: Taking “Developing” Seriously. *Human Brain Mapping.* 2010;31:934–41.
83. Johnson MH. Functional Brain Development in Humans. *Neuroscience.* 2001;2:475–83.

Anhang

TROG-D (T1,T2,T3,T4)				
Kind	Gram korr. Blocks T1	Gram korr. Items T1	Vok korr. Blocks T1	Vok korr. Items T1
K1	2	18	1	31
K2	6	33	3	47
K3	7	39	6	53
Kind	Gram korr. Blocks T2	Gram korr. Items T2	Vok korr. Blocks T2	Vok korr. Items T2
K1	2	17	0	32
K2	6	33	3	49
K3	8	41	7	54
Kind	Gram korr. Blocks T3	Gram korr. Items T3	Vok korr. Blocks T3	Vok korr. Items T3
K1	6	36	1	40
K2	10	55	6	53
K3	13	60	ZZZZ	ZZZZ
Kind	Gram korr. Blocks T4	Gram korr. Items T4	Vok korr. Blocks T4	Vok korr. Items T4
K1	14	62	ZZZZ	ZZZZ
K2	19	78	ZZZZ	ZZZZ
K3	17	78	ZZZZ	ZZZZ
Kind	Prozentrang T4	T-Wert T4		
K1	37	47		
K2	80	58		
K3	NICHT NORMIERT FÜR DIESES ALTER			
	unterdurchschnittlicher T-Wert: unter 40			
	durchschnittlicher T-Wert: 40-60			
	überdurchschnittlicher T-Wert: über 60			

Tabelle 5 – Darstellung der Ergebnisse des TROG-D der Testzeitpunkte T1-T4. Gram=Grammatik, korr.=korrekt, Vak=Vokabeln.

PPVT (T1,T2,T3,T4)				
Kind	korrekte Blocks A	korrekte Items A	korrekte Blocks B	korrekte Items B
K1	0	23	0	13
K2	0	39	0	36
K3	1	39	1	41
Kind	korrekte Blocks C	korrekte Items C	korrekte Blocks D	korrekte Items D
K1	0	39	5	85
K2	2	73	5	160
K3	2	120	8	177

Tabelle 6 – Darstellung der Ergebnisse des PPVT der Testzeitpunkte T1-T4.

AWST-R (T1,T2,T3)			
Kind	Quantität gesamt T1	Quantität gesamt T2	Quantität gesamt T3
K1	5	4	9
K2	17	16	21
K3	28	32	44

Tabelle 7 – Darstellung der Ergebnisse des AWST-R der Testzeitpunkte T1-T3.

K-ABC (T4)		
Kind	U15 (Lesen/Buchstabieren) (Anzahl richtiger Items)	U16 (Lesen/Verstehen) (Anzahl richtiger Items)
K1	34	16
K2	37	19
K3	38	21
Kind	Prozentränge für U15 (nach Alter)	Standardwerte für U16 (nach Alter)
K1	97.6	115
K2	92.1	101
K3	100	105

Tabelle 8 – Darstellung der Ergebnisse des K-ABC des Testzeitpunktes T4. U15=Untertest 15, U16=Untertest 16.

Patholinguistische Diagnostik

K1:

Die Katze die Ka- die Katze schmeißt diese Tasse dort dort diesen Dingsda dort um. [mhm]
Und dann kommt da der Kind.
Er macht die Tür auf.
Und dort da die Katze ist hinter der Tür und das Häferl is so kaputt. [mhm]
Da kommt die Mama und sch- und schimpft mit ihm.
Und aber aber er weiß nicht, wer das war.
Und dann zum letzten Bild.
Und dann sehen sie da die Katze geht weg und der Kind hat den Besen in der Hand.

K2:

Da ist die Katze auf dem / Tisch oder nicht? [mhm]
Auf'm Tisch und schmeißt so einen Topf runter. [mhm]
Dann versteckt sich es hinter der Tür.
Dann kommt der Junge hinein und sieht es an. [mhm]
Und / dann kommt die Mutter und schimpft mit ihn.
Und er sagt: Ich war das nicht. [mhm]
Dann geht / kommt die Katze hinter der Tür raus und geht hinaus.

K3:

Also, hier is eine Katze und die spaziert gerade auf einem Möbel herum.
Und da sieht sie'n so'n eine Schüssel und die [mhm] werft sie runter.
Also / dann / also wenn sie auf dem Boden landet, zerbricht sie. [mhm]
Da öffnet dann der Junge die Tür.
Und die Katze versteckt sich xxx dahinter. [mhm]
Als er hereinkommt /
ja, dann kommt da noch dahinter seine Mutter dahinter.
Und sie / sie sieht die Vase ka- also am Boden zerbrochen
und denkt, es war der kl- der kleine Junge,
weil er gerade davor steht. [mhm]
Und die Katze versteckt sich noch immer hinter der Tür.
Aber hier dann / hat der kleine Junge ein(en) Besen in der Hand,
damit er das alles aufräumt,
aber da sieht die Mutter,
dass es die Katze also dahinter also sich davon schleicht.

Abbildung 9 – Subtest für Patholinguistische Diagnostik des Testzeitpunktes T4.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Theoharidou
Vorname	Christina
Geburtsdatum	22.12.1985
Geburtsort	Heilbronn
Staatsangehörigkeit	Griechisch
Vater	Ioanis Theoharidis
Mutter	Stella Theoharidou
Geschwister	Konstantinos Theoharidis

Ausbildung

Oktober 2011	Zweite Diplomprüfung
März – Juli 2010	Auslandssemester an der Med. Universität Kreta
Juli 2007	Erste Diplomprüfung
seit Oktober 2006	Studium der Humanmedizin an der Med. Universität Graz
01.09.2005-28.02.2006	Freiwilliges Soziales Jahr im Klinikum Heilbronn (Unfallchirurgie)
2005	Abitur
1996-2005	Mönchsee-Gymnasium Heilbronn
1992-1999	Griechische Schule Kirchheim a.N./HN
1992-1996	Grundschule Talheim

Vertiefte Ausbildung-Spezielle Studienmodule

Anatomie der Extremitäten

Anatomie der Eingeweide

Cased based learning

Parasitologie

Chirurgische Operationslehre

Medizinische Praktika

Juli 2010	4-wöchige Famulatur Allgemeine Pädiatrie (mit Spezialgebieten Nephrologie und Endokrinologie) , Olgahospital Stuttgart
Juli 2010	Summerschool Pediatrics in Groningen
Februar2010	2-wöchige Famulatur auf der Kardiologie im Klinikum Heilbronn
August 2009	2-wöchige Famulatur auf der Gynäkologie im Marienhospital Stuttgart
Juli 2009	2-wöchige Famulatur auf der Gastroenterologie im Marienhospital Stuttgart
Juli 2008	4-wöchige Famulatur auf der Kinderklinik in Heilbronn
Februar 2008	2-wöchige Famulatur auf der Allgemein Chirurgie in Heilbronn
August 2005	4-wöchiges Pflegepraktikum auf der Unfallchirurgie in Heilbronn

Sprachkenntnisse

Deutsch (L2)

Griechisch (L1)

Englisch (Klasse 5-11)

Französisch (Klasse 7-13)

Latein (Latinum im Rahmen des Studiums - Grundkenntnisse)

Weitere Kenntnisse

Fundierte PC- und EDV-Kenntnisse

Interessen und Hobbies

Kunst, Musik, Sport