

Die Abbildung des mehrsprachigen Sprachsystems im Gehirn: Zum Einfluss verschiedener Variablen

Daniela ZAPPATORE

Universität Basel, Anatomisches Institut, Pestalozzistrasse 20, CH-4056 Basel;
daniela.zappatore@unibas.ch

One of the main questions in multilingualism research concerns the shared or separate representation of languages in the mind and in the brain. Behavioral data, and data from aphasia studies as well as from functional imaging studies support both hypotheses. Here, I concentrate on the functional imaging studies with healthy bi- or multilinguals in an attempt to define the variables and their influence on the representation of two or more languages in the brain. Up to date five factors can be distinguished. The modality (language production vs. language perception) and the level of language processing tested (single words, sentence, text) play an important role in this respect, so do age of acquisition and proficiency, which were the specific focus of investigation in some of the studies. Age of acquisition appears to be the more determinant factor in language production, while proficiency may have a more critical effect in language perception. In addition, some studies reveal differences in the activation patterns between languages and between groups of subjects reflecting the employment of different processing strategies.

Eine der Hauptfragestellungen in der Mehrsprachigkeitsforschung konzentriert sich auf die Repräsentation mehrerer Sprachen eines Sprechers, sowohl auf mentaler als auch auf cerebraler Ebene. Verhaltensdaten (Code switching, Interferenzen, Dolmetschertätigkeiten, etc.) weisen auf eine gemeinsame oder partiell geteilte Repräsentation sowie auch auf eine differenzierte Darstellung der Sprachen hin. Was aber weiss man über die Organisation zweier und mehrerer Sprachen im Gehirn? Daten hierzu kommen aus der Aphasieforschung und heute, dank den neuen bildgebenden Verfahren, auch aus Studien mit gesunden Probanden.

Läsionsstudien lassen anhand der Restitutionsverläufe Schlüsse auf die cerebrale Organisation der Sprachen zu: sind die Sprachen gleichermassen gestört und werden sie gleichzeitig wiedererlangt (*paralleler* Restitutionsverlauf), deutet dies auf eine gemeinsame Repräsentation der Sprachen auf makroanatomischer Ebene (auf der Ebene der Hirnstrukturen und -areale) hin. Auf mikroanatomischer Ebene (auf der Ebene der neuronalen Netzwerke) können die Sprachen dennoch differenziert organisiert sein. Sind die Sprachen unterschiedlich gestört und verläuft auch die Restitution verschieden (*differentieller* Restitutionsverlauf), gilt dies als Hinweis darauf, dass die Sprachen auch makroanatomisch differenziert organisiert sind. Die meisten Fälle von Aphasie bei Mehrsprachigen verläuft parallel, es gibt aber

auch solche Fälle, bei denen die erste (zweite, dritte, etc.) Sprache stärker gestört ist (Paradis, 2001). Bis anhin haben diese empirischen Daten noch keine schlüssigen Antworten bzgl. den Faktoren, die zum parallelen oder zum differentiellen Restitutionsverlauf führen, zugelassen. Weder die zuerst gelernte, noch die meist gebrauchte oder gar die affektiv am stärksten konnotierte Sprache wird zuerst oder am besten wiedererlangt (Fabbro 2001: 202). Auf Grund seiner Jahrzehnten langen Forschungsarbeit über Aphasie bei Mehrsprachigen konnte Paradis dennoch die so genannte *Subsystems Hypothesis* aufstellen: jede Sprache eines Sprechers bildet ein eigenes Subsystem innerhalb eines grösseren Sprachsystems (Paradis 2000: 56). Diese Hypothese ist mit allen Restitutionsverläufen vereinbar und kann darüber hinaus sowohl den gleichzeitigen als auch den selektiven Zugang zu einer oder mehreren Sprachen, sowie Code switching, Übersetzen und weitere Phänomene erklären. Die Subsystems Hypothesis liegt daher auch dem zweisprachigen Sprachproduktionsmodell (de Bot 1992) zu Grunde.

Im letzten Jahrzehnt wurden neu auch bildgebende Verfahren wie PET (Positronenemissionstomographie) und fMRI (funktionelle Magnetresonanztomographie) genutzt, um die Repräsentation von Sprache(n) im Gehirn zu untersuchen. Diese neuen, nicht-invasiven Techniken haben zunehmend das Interesse der Forschungsgemeinschaft und der Öffentlichkeit geweckt, da sie es erlauben, kognitive Prozesse – so auch Sprache – bei ihrer Verarbeitung im **gesunden** Gehirn abzubilden und die dabei involvierten Hirnareale zu lokalisieren. Anders als bei Läsionsstudien, lassen sich mit diesen Techniken in experimentellen Designs systematisch Variablen untersuchen, die sich auf die Repräsentation von Sprache und Sprachen im Gehirn auswirken.

Zusammenfassend lässt sich zu den bildgebenden Studien mit einsprachigen Experimenten sagen, dass sie die Resultate aus der Aphasieforschung grundsätzlich bestätigen: Sprache wird bei Rechtshändern tatsächlich in den von Broca und Wernicke beschriebenen kortikalen Arealen in der linken Hirnhälfte verarbeitet. Auch bestätigt hat sich die erste grobe Beschreibung der Funktionen dieser beiden Areale: das Broca-Areal ist für Sprachproduktion und für die Verarbeitung von Syntax und Phonologie zuständig, während das Wernicke-Areal bei Sprachverständnis involviert ist und als Teil des lexikalisch-semantischen Wissenssystems gilt. Die Repräsentation von Sprache im Gehirn beschränkt sich jedoch nicht alleine auf diese beiden

Areale, sondern umfasst neben weiteren perisylvischen¹ Areale auch präfrontale, temporale, parietale und subkortikale Strukturen.

Studien zur Zwei-/Mehrsprachigkeit

Die Beobachtung, dass Kinder im Vergleich zu Erwachsenen schneller und leichter eine Zweit- oder Drittsprache erwerben, führte zur Hypothese, dass das Zeitfenster bis zur Pubertät eine kritische Periode für das Sprachenlernen darstellt (Lenneberg 1967). Es ist jedoch umstritten, ob es eine solche kritische Periode gibt. Zudem gilt sie nicht in gleichem Masse für alle Sprachkomponenten. Die Hypothese hat sich weitgehend für die phonologische und die morphologische Komponente bestätigt, nicht aber für die Pragmatik oder das Lexikon, wofür es keine Offset-Zeit, nachdem keine weiteren Wörter mehr gelernt werden können, zu geben scheint. Hierin enthalten ist – auf das Gehirn bezogen – folgende Hypothese:

Grammatische und lexikalische Aspekte unterliegen unterschiedlichen Gehirnstrukturen, die wiederum unterschiedlich sensibel auf den Zeitpunkt des (Zweit-)Spracherwerbs reagieren.

Auf diese und weitere Hypothesen wird versucht, mit funktioneller Bildgebung Antworten zu finden. Dieser Forschungszweig ist jedoch noch sehr jung und die erste Studie datiert nur aus dem Jahre 1994.

Überlagernde oder differenzierte Repräsentation?

Die Grundfragestellung bis zum heutigen Tag lautete: Sind die Sprachen eines Sprechers in überlagernden oder in unterschiedlichen Hirnarealen repräsentiert? Bei einem überlagernden Aktivierungsmuster sind die aktivierten Areale der L1 und der L2 im Vergleich an demselben Ort lokalisiert, bei einer differenzierte Repräsentation aktivieren L1 und L2 entweder unterschiedliche Hirnareale oder innerhalb eines Areals unterschiedliche Subregionen. Bei der ersten Annäherung an dieses Forschungsgebiet erscheinen die Resultate zuerst einmal widersprüchlich: Einige Studien zeigen für die unterschiedlichen Sprachen eines Sprechers ein überlagerndes Aktivierungsmuster; andere Untersuchungen, hingegen, weisen auf das Gegenteil hin: die Sprachen sind in unterschiedlichen Gebieten lokalisiert.

1 Das Broca und das Wernicke Areal sind in der linken Hirnhälfte an den beiden Enden der Sylvischen Fissur lokalisiert. Diese beiden Areale sowie alle andere Areale um die Sylvische Fissur herum werden *perisylvische* Areale genannt.

Die Aufgabenstellungen reichen von Wortrepetition bis zum Verstehen von Kurzgeschichten. Für die hiesigen Ausführungen sind die Studien grob in zwei Gruppen unterteilt worden: solche die Sprachproduktion und solche die Sprachperzeption untersucht haben. Im weiteren sind sie innerhalb dieser zwei Gruppen in weitere Untergruppen unterteilt, in Abhängigkeit der Ebene der Sprachverarbeitung (Einzelwort, Satz, Text), aus der das Stimulusmaterial entnommen wurde. Diese vordergründig arbiträre Einteilung hat – wie in der Folge gezeigt wird – interessante Implikationen für die Interpretation der Resultate.

Sprachproduktion

Einzelwörter Die erste Untersuchung zur Repräsentation zweier Sprachen in Zweisprachigen (Klein et al. 1994, 1995) untersuchte das Verarbeiten von Einzelwörtern in drei lexikalischen Aufgabenstellungen: das Nennen eines Synonyms, eines Übersetzungsäquivalents und eines Reimworts. Die Probandengruppe bestand aus kompetenten Zweisprachigen (Englisch und Französisch), die die L2 nach dem Alter von 5 Jahren gelernt hatten. Die Resultate zeigten grundsätzlich identische Aktivierungsmuster, mit Ausnahme einer stärkeren Aktivierung in einer subkortikalen Struktur, dem linken Putamen. Diese Aktivierung, so die Autoren, sei auf die erhöhten Anforderungen während der Produktion der später gelernten L2 zurückzuführen. Eine zweite Studie (Klein et al. 1999) untersuchte Chinesen, die erst in ihrer Jugend Englisch gelernt hatten (späte Zweisprachige), anhand einer Verbproduktionsaufgabe. Wiederum zeigte sich ein überlagerndes Aktivierungsmuster für L1 und L2, wobei keine Unterschiede in der Aktivierung subkortikaler Strukturen gefunden wurden.

Chee und Mitarbeiter (1999a) verglichen zwei Gruppen von Chinesisch-Englisch Zweisprachigen, die entweder vor dem Alter von 6 Jahren beiden Sprachen exponiert waren oder die zweite Sprache nach dem Alter von 12 Jahren gelernt hatten. Die Aufgabe bestand im Vervollständigen von Wörtern, die für das Englische im lateinischen Alphabet, für das Chinesische in Ideogrammen präsentiert wurden. Es wurden überlagernde Aktivierungsmuster gefunden, unabhängig von Zeitpunkt des Erwerbs und der Inputmodalität.

Price et al. (1999) und Hernandez et al. (2000, 2001) untersuchten die Repräsentation von Sprachen in Zweisprachigen anhand einer Übersetzungs- und einer Bildbenennungsaufgabe. Alle drei Studien fanden, dass die

Sprachen der Zweisprachigen (obschon die L2 zu unterschiedlichen Zeitpunkten erworben worden war) in überlagernde Areale repräsentiert sind. Zusätzlich zeigten Price et al. (1999), dass Übersetzen Areale aktivierte, die spezifisch mit Semantik und Artikulation assoziiert werden, während der selektive Zugang zu einer Sprache in der Bildbenennungsaufgabe Areale involvierte, die für das Verarbeiten von Wörtern auf phonologischer Ebene zuständig sind.

Text Kim et al. (1997) verglichen eine Gruppe von frühen Zweisprachigen mit einer Gruppe später Zweisprachige. In ihrer Analyse konzentrierten sich die Autoren auf die klassischen Sprachzentren im Gehirn: das Broca- und das Wernicke-Areal. Es fanden sich für die beiden Gruppen Unterschiede im Aktivierungsmuster im Broca-Areal: Die Frühzweisprachigen zeigten die Aktivierung derselben Regionen für beide Sprachen, während die späten Zweisprachigen im diesem Areal unterschiedliche kortikale Subregionen aktivierten. Das Wernicke-Areal, hingegen, wies keinen Unterschied auf: In beiden Gruppen aktivierten beide Sprachen überlagernde Areale.

Ähnlich wie in der Studie von Kim et al. (1997) verglichen Wattendorf et al. (2001) Frühmehrsprachige, die innerhalb der ersten drei Jahre zwei Sprachen erworben hatten, und späte Mehrsprachige, die erst nach dem 9. Lebensjahr eine Zweitsprache gelernt hatten. Alle Probanden hatten nach dem 10. Lebensjahr mindestens eine weitere Sprache gelernt und wurden in drei Sprachen getestet. Die Analyse fokussierte ausschliesslich auf das Broca-Areal, welches die Brodmannareale² (BA) 44 und 45 umfasst. Frühmehrsprachige aktivieren im BA 44 für die beiden Erstsprachen eine überlagernde und, im Vergleich zur L1 der späten Mehrsprachigen, grössere Subregion. Die L1 und die L2 der späten Mehrsprachigen dagegen weisen in diesem Gebiet ein differenziertes Aktivierungsmuster auf, wobei die L2 benachbarte Subregionen aktiviert. Unterschiede zwischen den beiden Gruppen zeigten sich auch in Bezug auf die L3. Die L3 der Frühmehrsprachigen aktivierte weniger neuronales Substrat in BA 44 im Vergleich zu den ersten beiden Sprachen. Anders bei den späten Mehrsprachigen: die Drittsprache aktivierte – so wie die Zweitsprache – eine zusätzliche Subregion im BA 44. Im BA 45 zeigten die frühen und die späten Sprachen der Frühmehrsprachigen keinen Unterschied. Im Gegensatz dazu, zeigten die

2 Am Anfang des 20. Jahrhunderts erstellte K. Brodmann ein Karte des Gehirns, auf der der Kortex basierend auf der Anordnung der verschiedenen Zelltypen (so genannte Zytoarchitektur) in Arealen eingeteilt ist.

Sprachen der späten Mehrsprachigen in diesem Areal eine höhere Variabilität des Aktivierungsmusters.

Sprachperzeption

Einzelwörter Illes et al. (1999) untersuchten das semantische Verarbeitungssystem in Spanisch-Englisch Zweisprachigen, die ihre L2 nach dem Alter von 10 Jahren gelernt hatten. Die Aufgabenstellung bestand zum einen in einer semantischen (abstrakt/konkret) und einer nicht-semantischen (Gross-/Kleinbuchstaben) Entscheidungsaufgabe. Die Resultate zeigten ein gemeinsames semantisches Verarbeitungssystem für beide Sprachen.

Chee et al. (2001) untersuchten zwei Gruppen von Englisch-Chinesisch Zweisprachigen, die entweder vor dem Alter von 5 Jahren beide Sprachen erworben oder Englisch erst nach dem Alter von 12 Jahren gelernt hatten. Die Probanden wurden gebeten, entweder semantische Urteile abzugeben oder die Grösse der Buchstaben zu beurteilen. Beide Gruppen waren in Englisch weniger kompetent als in Chinesisch. Die Gruppe der frühen Zweisprachigen wies überlagernde Aktivierungen für beide Sprachen auf. Auch die späten Zweisprachigen zeigten grundsätzlich ähnliche Aktivierungsmuster wie die Frühen, wobei sich auch zusätzlich aktivierte Areale für die schlechter beherrschte L2 fanden.

Rodriguez-Fornells et al. (2002) verglichen eine Gruppe von Probanden, die zweisprachig mit Spanisch und Katalanisch aufgewachsen waren, mit einer Gruppe von Probanden, die in ihrer Kindheit nur eine Sprache, Spanisch, erworben hatten. Die Aufgabe bestand darin, Einzelwörter zu lesen und nur auf die spanischen Wörter zu reagieren. Die katalanischen Wörter und die Pseudowörter galt es zu ignorieren. Die Resultate zeigten überlagernde Aktivierungsmuster, mit einem partiellen Unterschied: Die zweisprachigen Probanden hatten eine verstärkte Aktivierung in jenen perisylvischen Arealen, die für die phonologische Verarbeitung von Wörtern zuständig sind.

Sätze Chee et al. (1999b) erforschten das Verständnis geschriebener Sätze in zwei orthographisch, phonologisch und syntaktisch unterschiedlichen Sprachen (Englisch und Chinesisch). Die Probanden waren kompetente Zweisprachige, die beiden Sprachen vor dem Alter von 6 Jahren exponiert waren. Trotz den Unterschieden zwischen den beiden Sprachen wurde keine differenzierte Repräsentation bei der Verarbeitung geschriebener Sätze gefunden.

Neville et al. (1997) verglichen vier Gruppen von Versuchspersonen: 1) Taube, die als L1 American Sign Language (ASL) erworben und Englisch erst spät und ohne auditiven Input gelernt hatten; 2) hörende frühe Zweisprachige; 3) hörende, kompetente späte Zweisprachige, die ASL nach dem Alter von 17 Jahren gelernt hatten; 4) Hörende ohne Kenntnisse in ASL. Bei der Verarbeitung von Sätzen in Gebärdensprache zeigten sowohl die tauben als auch die hörenden früh zweisprachigen Probanden grundsätzlich identische Aktivierungsmuster in der linken Hirnhälfte wie auch Aktivierungen in beiden Hemisphären. Dem gegenüber aktivierte die dritte Gruppe primär linksseitige Areale und zeigte nur eine sehr schwache Aktivität in der rechten Hirnhälfte.

Text Perani et al. (1996) untersuchten Textverständnis in späten Zweisprachigen, welche die Zweitsprache erst nach dem Alter von 7 Jahren erlernt hatten. Verglichen wurde die Aktivierung beim Hören einer Geschichte in der Erst- und der schlechter beherrschten Zweitsprache, sowie in einer unbekanntem dritten Sprache. Die Resultate zeigten ein Netzwerk von Arealen, das signifikant mehr aktiv war für die Erstsprache. Die Zweitsprache dagegen aktivierte weniger Sprachareale, v.a. zeigte in dieser Gruppe das Broca-Areal keine Aktivierung. Überraschenderweise zeigte die unbekanntem dritte Sprache das gleiche Aktivierungsmuster wie die Zweitsprache. Die Hauptunterschiede zwischen Erst- und Zweitsprache kamen in Arealen zum Vorschein, die für die Verarbeitung auf Satzebene zuständig sind, so dass die Forscher dies als Hinweis für eine (zumindest teilweise) differenzierte Repräsentation der Sprachen annehmen.

In einer Folgestudie (Perani et al. 1998) bestand die Aufgabe wiederum in Geschichten anhören. In einem ersten Schritt wurden sehr kompetente Frühzweisprachige mit sehr kompetenten Spätzweisprachigen, die die Zweitsprache nach 10 Jahren gelernt hatten, verglichen. Obwohl die zweite Sprache zu unterschiedlichen Zeitpunkten erworben worden war, aktivierten beide Gruppen für beide getesteten Sprachen stark überlagernde Hirnareale. In einem zweiten Schritt wurden zwei Gruppen Spätzweisprachiger verglichen: die Gruppe der sehr kompetenten Spätzweisprachigen der zweiten Studie mit der Gruppe der in ihrer Zweitsprache nur mittelmässig kompetenten Sprechern aus der ersten Studie. In diesem zweiten Vergleich fanden die Forscher eine unterschiedliche Repräsentationen der Sprachen.

Dehaene et al. (1997) befasste sich mit der interindividuellen Repräsentation der L2 bei Textverständnis. Über alle Probanden, die die Zweitsprache nach dem Alter von 7 Jahren gelernt hatten, zeigte die Erstsprache ein konsistentes

Aktivierungsmuster in der linken Hirnhälfte, während die L2 Aktivierungen in beiden Hemisphären aufwies, die jedoch stark von Proband zu Proband variierten. Im Einzelnen kann die Zweitsprache in der linken, in beiden oder nur in der rechten Hirnhälfte repräsentiert sein.

Tabelle 1 fasst die Resultate der Studien in Bezug auf überlagernde oder differenzierte Repräsentation der Sprachen zusammen.

Tabelle 1: Überlagernde oder differenzierte Repräsentation

Sprachproduktion	Einzelwörter	Klein et al. 1994, 1995	Überlagernd
		Klein et al. 1999	Überlagernd
		Chee et al. 1999a	Überlagernd
		Price et al. 1999	überlagernd, aber auch teilweise differenzierte Repräsentation
		Hernandez et al. 2000	überlagernd
		Hernandez et al. 2001	überlagernd
	Text	Kim et al. 1997	überlagernd im Wernicke-Areal, sowohl überlagernde als auch differenzierte Repräsentation im Broca-Areal
		Wattendorf et al. 2001	überlagernde und differenzierte Repräsentation im Broca-Areal
Sprachverständnis	Einzelwörter	Illes et al. 1999	überlagernd
		Chee et al. 1999	überlagernd, zusätzliche Areale für die späte gelernte L2
		Rodriguez-Fornells et al. 2002	überlagernd, aber auch teilweise differenzierte Repräsentation
	Sätze	Chee et al. 1999b	überlagernd
		Neville et al. 1997	überlagernd, mit partiellen Unterschieden
	Text	Perani et al. 1996	überlagernd, aber auch teilweise differenzierte Repräsentation
		Dehaene et al. 1997	überlagernd, aber auch

			teilweise differenzierte Repräsentation
		Perani et al. 1998	überlagernd

Aus Tabelle 1 lassen sich folgende vier Generalisierungen ableiten:

- a) Einzelwörtern zeigen überlagernde Aktivierungsmuster, unabhängig von der spezifischen Aufgabenstellung.
- b) Textproduktion führt zu einer zumindest partiell differenzierten Repräsentation der Sprachen.
- c) Satzverständnisaufgaben weisen überlagernde Aktivierungen auf.
- d) Textverständnis zeigt eine Tendenz in Richtung überlagernde Aktivierungsmuster: Zwei der drei Studien weisen jedoch auch partielle Unterschiede auf.

Auch lässt sich aus der Übersicht folgern, dass die Frage nach der überlagernden oder differenzierten Darstellung der Sprachen im Gehirn nicht generell beantwortet werden kann. Die Aktivierungsmuster sind zum einen davon abhängig, ob Sprachproduktion oder -perzeption getestet wird; zum anderen sind sie durch die unterschiedlichen Ebenen der Sprachverarbeitung, d.h. Wort-, Satz- oder Textebene, bedingt. Welche Areale aktiviert werden, hängt zudem auch von der konkreten Aufgabenstellung ab: Übersetzen aktiviert andere (zusätzliche) Areale als z. B. Bildbenennung, Reimen, semantische Entscheidungen treffen, etc.

Wie lassen sich diese Folgerungen aus linguistischer Sicht interpretieren? Untersuchungen mit Einzelwörter testen lexikalische oder lexikalisch-semantische Aspekte der Sprache. Diese sprachliche Komponente scheint keine oder kaum Unterschiede zwischen den verschiedenen Sprachen eines Sprechers aufzuweisen. (Falls es dennoch Unterschiede gäbe, so kommen diese zumindest auf der makroanatomischen Ebene, auf der wir uns mit PET und fMRI bewegen, nicht zum Vorschein.) Dies könnte als Hinweis gewertet werden, dass Zwei- oder Mehrsprachige über EIN Lexikon und nicht über mehrere Lexika verfügen.

Unterschiede zeigten sich v.a. bei Textaufgaben, die zusätzlich zum Lexikon Verarbeitung auf syntaktischer, textgrammatischer und pragmatischer Ebene erfordern. Eine differenzierte Repräsentation wurde hierbei speziell im Broca-Areal gefunden. Die Unterschiede sind folglich zumindest bis zu einem gewissen Grad auf der syntaktisch-strukturellen Ebene anzusiedeln.

Der Zeitpunkt des Erwerbs

Zwei Textproduktionsstudien (Kim et al. 1997; Wattendorf et al. 2001) untersuchten spezifisch den Einfluss des Zeitpunkts des Erwerbs auf die cerebrale Repräsentation von Sprachen. Kim et al. (1997) fanden für das Wernicke-Areal überlagernde Aktivierungen unabhängig vom Zeitpunkt des Erwerbs. Hingegen scheint das Broca-Areal sensibel auf den Zeitpunkt des Erwerbs der Sprachen zu reagieren.

Die Studie von Wattendorf et al. (2001) bestätigte diesen letzten Punkt. Aus den unterschiedlichen Aktivierungsmustern im Broca-Areal schliessen die Forscher, dass Frühzweisprachige ein neuronales Netzwerk ausbilden, welches es erlaubt, später gelernte Sprachen zu integrieren. Wird die Zweitsprache jedoch erst nach dem 9. Lebensjahr gelernt, wird in diesem Areal für jede zusätzliche Sprache eine benachbarte Subregion aktiviert, d.h. es muss für jede Sprache ein neues Netzwerk aufgebaut werden.

Der Zeitpunkt des Erwerbs wurde auch bei Sprachperzeption als eine wichtige Variable festgelegt. Neville et al. (1997) zeigte, dass Taube und Frühzweisprachige bei Gebärdensprache die rechte Hirnhälfte ko-aktivieren, während dies bei Spätzweisprachigen nur schwach der Fall ist. Bei der Perzeption von Gebärdensprache ist somit die Ko-Aktivierung der rechten Hirnhälfte nicht nur vom sensorischen Input abhängig, sondern auch vom Zeitpunkt des Erwerbs. Auch bei Textverständnis (Perani et al. 1996) fanden sich Unterschiede zwischen Erst- und Zweitsprache. Diese waren in Arealen (v.a. im Broca-Areal) lokalisiert, die – so die Autoren – für die Verarbeitung auf Satzebene zuständig sind. Dies stimmt mit den Resultaten aus den oben genannten Sprachproduktionsstudien überein: Die Repräsentation von Sprachen im Broca-Areal, d.h. im Areal für syntaktische und phonologische Verarbeitung, scheint vom Zeitpunkt des Erwerbs abhängig zu sein. Im Gegensatz dazu spielt diese Variable für das Wernicke-Areal, das in der lexikalisch-semantischen Verarbeitung involviert ist, scheinbar keine Rolle. Diese Resultate aus der Bildgebung unterstützen die oben genannte Hypothese zur kritischen Periode, namentlich dass grammatische und lexikalische Aspekte in unterschiedlichen Gehirnstrukturen verarbeitet werden, die verschieden auf die Variable Zeitpunkt des Erwerbs reagieren.

Kompetenz

Perani und Mitarbeiter (1998) untersuchten die Auswirkung von Kompetenz bei Sprachperzeption. Anhand eines doppelten Vergleichs (kompetente Früh-

vs. kompetente Spätzweisprachige und kompetente Spätzweisprachige vs. mittelmässig kompetente Spätzweisprachige) folgern die Autoren, dass nicht der Zeitpunkt des Erwerbs sondern die erreichte Kompetenz die kritischere Variable für die Repräsentation der Sprachen im Gehirn ist. Diese Aussage lässt sich bis anhin jedoch nur auf die Sprachperzeption beziehen.

Zusammenfassend lassen sich soweit vier Variablen festhalten, die sich auf das Aktivierungsmuster der Sprachen im Gehirn auswirken:

- die Modalität (Sprachproduktion vs. –perzeption)
- die Ebene der Sprachverarbeitung: Einzelwort, Satz oder Text
- der Zeitpunkt des Erwerbs und
- die Kompetenz der Sprecher in den einzelnen Sprachen

Bei den letzten beiden Punkten zeichnet sich die Tendenz ab, dass der Zeitpunkt des Erwerbs die kritischere Variable für die Sprachproduktion und wohl auch für die phonologischen und syntaktischen Verarbeitung ist. Für die Verarbeitung auf lexikalisch-semanticischer Ebene spielt es keine Rolle, wann die Sprachen gelernt wurden. Auch spielt der Zeitpunkt des Erwerbs für die Sprachperzeption eine weniger determinierende Rolle. Wichtiger erscheint hier das Kompetenzniveau: Bei hoher Kompetenz zeigen die beiden Sprachen, unabhängig ob früh oder spät gelernt, das gleiche Aktivierungsmuster.

Verarbeitungsstrategien

In den bisherigen Ausführungen habe ich nur wenige Hinweise auf die getesteten Sprachen gegeben. Die Studien von Chee et al., Kim et al., von Wattendorf et al., genauso wie ein allgemeiner Vergleich der Studien lässt darauf schliessen, dass die typologische Distanz zwischen Sprachen keinen Einfluss auf deren Repräsentation im Gehirn hat. Dennoch lässt sich nicht pauschal sagen, dass das Gehirn überhaupt nicht zwischen Sprachen unterscheidet. Das Gehirn scheint zwar nicht nach Sprachfamilien oder nach typologischer Distanz zu differenzieren, es reagiert aber durchaus auf bestimmte Aspekte, die einer Sprache eigen sind. Die Studie von Paulesu et al. (2000) untersuchte keine Zweisprachige, sondern "Einsprachige" in ihrer Erstsprache und verglich die Hirnstrukturen, die beim Lesen von Englisch im Gegensatz zum Lesen in Italienisch aktiviert werden. Neben einem gemeinsamen cerebralen System für das Lesen fanden die Forscher auch Unterschiede zwischen den beiden Sprachen: Das Englische scheint zusätzliche Areale für Objektnennung als auch für semantische Prozesse zu

involvieren. Paulesu und Mitarbeiter erklären, dass das Lesen in einer inkonsistenten und komplexen Orthographie wie der Englischen den Zugriff auf das orthographische Lexikon für die Wahl der korrekten Aussprache bedingt. D.h. die Wortform wird als Ganzes behandelt und oft ist es notwendig, die Bedeutung des Wortes abzurufen, um die korrekte Aussprache (z. B. Akzent) zu wählen. Lesen auf Italienisch hingegen zeigte eine verstärkte Aktivierung in Arealen, die für die phonologische Verarbeitung bekannt sind. Diese Aktivierung wird als Hinweis darauf gedeutet, dass der Leser in einer Sprache wie Italienisch vom konsistenten Mapping zwischen Orthographie und Phonologie Gebrauch macht. Die Differenzen sind also auf die unterschiedlichen Orthographiesysteme zurückzuführen, die verschiedene Verarbeitungsstrategien wirksam werden lassen.

Dass sich Unterschiede in den Verarbeitungsstrategien mit bildgebenden Verfahren zeigen lassen, bestätigt auch die Studie von Rodriguez-Fornells et al. (2002). In dieser Studie wurden spanische und katalanische Wörter sowie Pseudowörter einer Gruppe von einsprachig aufgewachsenen Probanden und einer zweiten Gruppe Spanisch-Katalanisch Frühzweisprachiger präsentiert, wobei die Probanden aufgefordert waren, nur auf die spanischen Wörter zu reagieren. Die zweisprachigen Probanden zeigten eine verstärkte Aktivierung in jenen perisylvischen Arealen, die für die phonologische Verarbeitung von Wörtern zuständig sind. Frühzweisprachige rufen, so die Autoren, nicht die Bedeutung der Nicht-Zielwörter ab, sondern wählen einen indirekten phonologischen Zugang zum Lexikon der Zielsprache. Die Gruppen der einsprachig oder zweisprachig aufgewachsenen Probanden bedienen sich also bei der Ausführung dieser Aufgaben unterschiedlicher Verarbeitungsstrategien. Hieraus lässt sich die Hypothese folgern, dass – anders als in der Studie von Paulesu et al. (2000) – die Unterschiede in den Verarbeitungsprozessen auch durch externe Faktoren wie dem Aufwachsen mit einer oder zwei Sprachen in früher Kindheit bedingt sein können.

Eine hypothetische Variable: Lernstrategien

Verarbeitungsstrategien scheinen für das Gehirn eine herausragende Rolle zu spielen. Auch in der Spracherwerbsforschung sind Verarbeitungsstrategien bekannt, namentlich die Lernstrategien. Dies sind spezifische Verarbeitungsmechanismen, die den Spracherwerb unterstützen. Im Lichte der oben beschriebenen Studien erscheint es naheliegend, gerade auf dem Gebiet der Lernstrategien einen Versuch des Brückenschlags zwischen Spracherwerbsforschung und Neurowissenschaften zu wagen. Die Erforschung von

Lernstrategien ist natürlich nicht nur für die neurowissenschaftliche Forschung von Interesse. Vielmehr erfreut sie sich auch in der Spracherwerbsforschung dank den Bemühungen, sie im Fremdsprachenunterricht zu integrieren, neuer Aufmerksamkeit. Dabei besteht die Grundidee darin, den Schülern Werkzeuge mitzugeben, mit denen sie sich der Aufgabe, eine neue Sprache zu lernen, (zumindest bis zu einem gewissen Grad) eigenständig nähern können.

Doch Lernstrategien sind nicht nur in der Ausarbeitung neuer Unterrichtsformen wichtig; sie sind es auch – wie aus sprachbiographischen Untersuchungen hervorgeht – für den einzelnen Lerner selbst. Die Darstellung der gewählten Strategien zur Unterstützung des Spracherwerbsprozesses bildet ein wichtiger Bestandteil der sprachbiographischen Erzählungen. In den freien narrativen Interviews zum Thema „Sprachen und Spracherwerb im Verlauf des Lebens“ erzählen alle Informanten von sich aus, welche Vorgehensweisen sich für sie als besonders förderlich herausgestellt oder welche sie als ungeeignet empfunden haben. Die Analyse dieser Erzählungen führte zur Identifikation weiterer elf Strategien (Franceschini et al. 2002), die in der fast 15-jährigen Forschung von O'Malley und Chamot³ nicht erfasst worden waren. Während die in O'Malleys Forschung beachteten Lernstrategien Aktivitäten erfassen, mit denen sich der Lerner während der Schulstunde ganz bewusst einem sprachlichen oder einem Lernproblem nähert, weisen unsere zusätzlichen Strategien auf Aktivitäten ausserhalb des Schulzimmers, bei denen der Lernprozess unterschwellig und unfokussiert mitläuft. Diese zweite Gruppe von Strategien haben wir Erwerbsstrategien (learner acquisition strategies, kurz LAS) genannt.

Die Unterscheidung basiert auf der gängigen 'learning-acquisition distinction' und verweist darauf, dass das sprachliche Wissen unterschiedlich angeeignet wird: Im Falle der Lernstrategien wird es explizit und bei den Erwerbsstrategien implizit gelernt. Dies wirft die Frage nach der Repräsentation von sprachlichem Wissen im Gehirn in Abhängigkeit von der Art des Erwerbs auf. Paradis (1994) postuliert, basierend auf Aphasiestudien, dass wenn Sprachen explizit gelernt werden, diese im expliziten (deklarativen) Gedächtnis- und Wissenssystem abgespeichert werden. Wird jedoch eine Sprache erworben,

3 Ich beziehe mich hier exemplarisch auf die Forschung von Lernstrategien durch O'Malley, Chamot und Mitarbeiter, weil deren Sammlung von Lernstrategien die kompletteste und v.a. über unterschiedliche Sprachen und Kulturen validierte ist (vgl. Chamot et al. 1988, 1994; O'Malley et al. 1985, 1990).

d.h. implizit gelernt, so wird sie im impliziten (prozeduralen) Gedächtnis- und Wissenssystem gespeichert⁴.

Sprachen werden jedoch selten entweder nur gelernt oder nur erworben. Sie beinhalten Teile beider Sprachaneignungsformen. Die Analyse der Sprachbiographien erlaubt es, die Präferenzen eines Lerners für Lern- oder Erwerbsstrategien, d.h. für die eine oder andere Art sich eine Zweit- oder Drittsprache anzueignen, herauszukristallisieren. Anhand dieser aus den Sprachbiographien gewonnener Präferenzprofile möchten wir einen ersten Brückenschlag zwischen psycho- und neurolinguistischer Spracherwerbsforschung wagen. Zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Artikels ist dieses Projekt noch "in progress", daher können hier noch keine Resultate vorgestellt werden.

Zusammenfassung und weiterführende Fragen

Zusammenfassend lässt sich aus diesem noch kein Jahrzehnt alten Forschungsgebiet Folgendes festhalten. Die Repräsentation mehrerer Sprachen im Gehirn wird mindestens durch vier Variablen beeinflusst:

- die Modalität (Sprachproduktion vs. -perzeption)
- die Ebene der Sprachverarbeitung: Einzelwort, Satz oder Text
- der Zeitpunkt des Erwerbs
- das Kompetenzniveau

Im weiteren reflektieren die Aktivierungsmuster auch Verarbeitungsstrategien.

All diese Variablen sollten bei weiteren Forschungsvorhaben mit in Betracht gezogen und kontrolliert werden. Sie erfordern jedoch auch weitere Untersuchungen, denn noch ist ihr genauer Einfluss und ihr Zusammenspiel nicht geklärt.

Eine weitere, noch hypothetische Variable sind die Lern- und Erwerbsstrategien und ihre Auswirkung auf die Repräsentation des dadurch angeeigneten sprachlichen Wissens. Obschon der jetzige Stand der Forschung nahe legt (siehe Paradis 1994; Ullman 2001; Lebrun 2002), dass die unterschiedlichen Formen, sich Sprache anzueignen, sich im Gehirn niederschlagen, so wissen wir noch wenig darüber, ob die Repräsentation des sprachlichen Wissens über Jahre hinweg gleich bleibt oder ob und wie sie sich z. B. in Zusammenhang mit der Kompetenz verändert.

4 Siehe diesbezüglich auch die Reviews von Ullman 2001 und Lebrun 2002 .

Auch weitere Variablen sind in diesem Zusammenhang denkbar: z.B. spielen Motivation oder Emotion beim Spracherwerb eine wichtige Rolle und beide haben ihre neurobiologische Korrelate. Wie diese im cerebralen Sprachsystem zusammen spielen, ist noch unerforscht. Bildet sich das neuronale Netzwerk je nach Motivation oder Stärke der Emotion, mit denen eine Sprache assoziiert wird, anders aus? Sicherlich lassen sich hier weitere Fragen und mögliche Variablen aufzählen.

Das Gebiet ist noch jung und vieles unerforscht. All die oben genannten Variablen können für experimentelle Zwecke auseinandergenommen und individuell getestet werden. Doch greifen sie ineinander und formen ähnlich den neuronalen Netzwerken ein Netzwerk von aufeinander wirkenden Faktoren. Bis anhin hatten sich die unterschiedlichen Disziplinen einzeln den verschiedenen Faktoren angenommen und untersucht. Wenn es um die Erforschung von Spracherwerb, Mehrsprachigkeit und Gehirn geht, so kommen sämtliche Faktoren zusammen. Dies bedingt also auch ein Zusammenkommen von Leuten aus verschiedenen Gebieten, die ihrerseits ein Netzwerk bilden. Nur durch interdisziplinäre Arbeit können wir dem Geheimnis von Sprache(n) und Gehirn näher kommen.

BIBLIOGRAPHIE

- Chamot, A.U., Küpper, L. & Impink-Hernandez, M. V. (1988). *A Study of Learning Strategies in Foreign Language Instruction: the Third Year and Final Report*. McLean, VA: Interstate Research Associates.
- Chamot, A.U. & O'Malley, J. M. (1994). Language Learner and Learning Strategies. In *Implicit and Explicit Learning of Languages*. In N. C. Ellis (Hrsg.) (pp. 371-392). London-San Diego, etc.: Academic Press.
- Chee, M. W., Tan, E. W. L. & Thiel, T. (1999a). Mandarin and English single word processing studied with functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, 19 (8), 3050-3056.
- Chee, M. W. L., Caplan, D., Soon, C. S., Siriam, N., Tan, E. W. L., Thiel, T. & Weekes, B. (1999b). Processing of visually presented sentences in Mandarin and English studied with fMRI. *Neuron*, 23, 127-137.
- Chee, M. W. L., Hon, N., Lee, H. L. & Soon, C. S. (2001). Relative language proficiency modulates BOLD signal change when bilinguals perform semantic judgements. *NeuroImage*, 13, 1155-1163.
- De Bot, K. (1992). A Bilingual Processing Model: Levelt's 'Speaking' Model Adapted. *Applied Linguistics*, 13, 1-24.
- Dehaene, S., Dupoux, E., Mehler, J., Cohen, L., Paulesu, E., Perani, D., van de Moortele, P. F., Lehericy, S. & Le Bihan, D. (1997). Anatomical variability in the cortical representation of first and second language. *NeuroReport*, 8(17), 3809-3815.
- Fabbro, F. (2002). The Neurolinguistics of L2 Users. In V. Cook (Hrsg.), *Portraits of the L2 User*. (pp. 199-218). Clevedon: Multilingual Matters.

- Franceschini, R., Zappatore, D., Lüdi, G., Radü, E.-W., Wattendorf, E. & Nitsch, C. (2002). "Learner Acquisition Strategies (LAS) in the Course of Life: A Language Biographic Approach". In Interactive CD-Rom *L3-Conference, Second International Conference on Third Language Acquisition and Trilingualism*, Fryske Akademy, Ljouwert/Leeuwarden (NL).
- Hernandez, A. E., Martinez, A. & Kohnert, K. (2000). In search of the language switch: an fMRI study of picture naming in Spanish-English bilinguals. *Brain and Language*, 73, 421-431.
- Hernandez, A. E., Dapretto, M., Mazziotta, J. & Bookheimer, S. (2001). Language switching and language representation in Spanish-English bilinguals: an fMRI study. *NeuroImage*, 14, 510-520.
- Illes, J., Francis, W. S., Desmond, J. E., Gabrieli, J. D. E., Glover, G. H., Poldrack, R., Lee, C. J. & Wagner, A. D. (1999). Convergent cortical representation of semantic processing in bilinguals. *Brain and Language*, 70, 347-363.
- Kim, K. H. S., Relkin, N. R., Lee, K.-M. & Hirsch, J. (1997). Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature*, 388, 171-174.
- Klein, D., Milner, B., Zatorre, R. J., Meyer, E. & Evans, A. C. (1994). The neural substrates underlying word generation: A bilingual functional-imaging study. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92, 2899-2903.
- Klein, D., Zatorre, R. J., Milner, B., Meyer, E. & Evans, A. C. (1995). The neural substrates of bilingual language processing: evidence from positron emission tomography. In M. Paradis (Hrsg.), *Aspects of Bilingual Aphasia*. (pp. 23-36). Oxford: Pergamon.
- Klein, D., Milner, B., Zatorre, R. J., Zhao, V. & Nikelski, J. (1999). Cerebral organization in bilinguals: a PET study of Chinese-English verb generation. *Neuroreport*, 10(13), 2841-2846.
- Lebrun, Y. (2002). Implicit competence and explicit knowledge. In F. Fabbro (Hrsg.), *Advances in the Neurolinguistics of Bilingualism*. (pp. 299-313). Udine: Forum.
- Lenneberg, E. H. (1967). *Biological Foundations of Language*. New York: Wiley.
- Neville, H. J., Coffey, S. A., Lawson, D. S., Fischer, A., Emmorey, K. & Bellugi, U. (1997). Neural systems mediating American Sign Language: Effects of sensory experience and age of acquisition. *Brain and Language*, 57, 285-308.
- O'Malley, M., Chamot, A.U., Strewner-Manzanares, G., Küpper, L. & Russo, R. P. (1985). Learning strategies used by beginning and intermediate ESL students. *Language Learning*, 35, 21-46.
- O'Malley, M. & Chamot, A.U. (1990). *Learning Strategies in Second Language Acquisition*. New York: CUP.
- Paradis, M. (1994). Neurolinguistic aspects of implicit and explicit memory: implications for bilingualism and SLA. In N. C. Ellis (Hrsg.), *Implicit and Explicit Learning of Languages*. (pp. 393-419). London: Academic Press.
- (2000). Generalizable outcomes of bilingual aphasia research. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 52, 54-64.
- (2001). Bilingual and polyglot aphasia. In R. S. Berndt (Hrsg.), *Handbook of Neuropsychology*. (pp. 69-91). (Zweitausgabe). Oxford: Elsevier Science.
- Paulesu, E., McCrory, E., Fazio, F., Menoncello, L., Brunswick, N., Cappa, S. F., Cotelli, M., Cossu, G., Corte, F., Lorusso, M., Pesenti, S., Gallagher, A., Perani, D., Price, C., Frith, C. D. & Frith, U. (2000). A cultural effect on brain function. *Nature Neuroscience*, 3(1), 91-96.
- Perani, D., Dehaene, S., Grassi, F., Cohen, L., Cappa, S. F., Dupoux, E., Fazio, F. & Mehler, J. (1996). Brain processing of native and foreign languages. *NeuroReport*, 7, 2439-2444.
- Perani, D., Paulesu, E., Galles, N. S., Dupoux, E., Dehaene, S., Bettinardi, V., Cappa, S. F., Fazio, F. & Mehler, J. (1998). The bilingual brain: proficiency and age of acquisition of the second language. *Brain*, 121, 1841-1852.

- Price, C. J., Green, D. W. & von Studnitz, R. (1999). A functional imaging study of translation and language switching. *Brain*, 122, 2221-2235.
- Rodriguez-Fornells, A., Rotte, M., Heinze, H.-J., Nösselt, T. & Münte, Th. F. (2002). Brain potential and functional MRI evidence for how to handle two languages with one brain. *Nature*, 415, 1026-1029.
- Ullman, M. T. (2001). The neural basis of lexicon and grammar in the first and second language: the declarative/procedural model. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4 (1), 105-122.
- Wattendorf, E., Westermann, B., Zappatore, D., Franceschini, R., Lüdi, G., Radü, E.-W. & Nitsch, C. (2001). Different languages activate different subfields in Broca's area. *NeuroImage*, 13(6), 624.