

3 Grundlagen des Bilder-Paradigmas: Wernicke-Areal, Broca-Areal, ventraler Pfad, Gyrus praecentralis

In der vorliegenden fMRT-Studie (fMRT= funktionelle Magnetresonanztomografie) werden Gehörlose, Hörende und Gebärdensprachdolmetscher bezüglich ihrer Verarbeitung sprach- und bewegungsrelevanter Stimuli untersucht (für detaillierte Darstellung der Methode und des Stimulusmaterials siehe Kapitel 5.3 bis 5.6). Dabei steht die Klärung der Frage im Vordergrund, ob und wenn ja, welche Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten sich in der kortikalen / zerebralen Verarbeitung bezüglich der dargebotenen Stimuli zwischen den Gruppen ergeben. Im folgenden Kapitel sollen die zerebralen Besonderheiten aufgezeigt werden, die durch den Gebrauch einer manuellen Sprache und die auditive Deprivation bei Gehörlosen hervorgerufen werden. Außerdem soll versucht werden, aufzudecken, welche Auswirkungen die Gehörlosigkeit auf die Sprachverarbeitung und die zerebrale Repräsentation von Sprache hat. Im Anschluss daran werden die Hirnareale vorgestellt, die für die Verarbeitung der dargebotenen Stimuli von Interesse sind und welche besonderen Fragestellungen mit diesen Arealen verbunden sind. Bevor allerdings die Areale vorgestellt werden, sollen im folgenden Kapitel zunächst grundlegende Fragen beantwortet werden, deren Klärung entscheidend für das Verständnis eines Vergleiches der neuronalen Prozesse bei der Verarbeitung von Gebärdensprache und Lautsprache ist:

- Wie entwickelt sich die Lautsprache bei Hörenden und welche Hirnareale sind für die zerebrale Repräsentation dieser Sprache verantwortlich?
- Wie entwickelt sich die Gebärdensprache bei Gehörlosen und welche Hirnareale sind für die zerebrale Repräsentation dieser Sprache verantwortlich?
- Welche Besonderheiten ergeben sich durch den Gebrauch einer Gebärdensprache und welche Auswirkungen haben diese auf die zerebrale Repräsentation dieser Sprachform?
- Welche Hirnareale werden zur Verarbeitung besonderer Merkmale der Gebärdensprache genutzt und welche Aufgaben erfüllen sie in Bezug auf die Verarbeitung einer visuell-manuellen Sprache?
- Welche neuronalen Besonderheiten ergeben sich aus einem bilingualen (= Laut- und Gebärdensprache) Spracherwerb und –gebrauch?

- Wie verarbeiten Hörende und Gehörlose dargebotene international verständliche Gesten und wo liegen Unterschiede bei diesen beiden Gruppen in der Verarbeitung der gebärdensähnlichen Kategorie (Darstellung der Kategorien siehe Abschnitt 5.3)?

3.1 Sprache bei Hörenden

Zunächst sollen ein kurzer Abriss über die Sprachentwicklung bei Hörenden sowie ein Überblick zur zerebralen Repräsentation der Lautsprache gegeben werden. Diese Vorstellung ist wichtig, um die Gebärdensprachnutzer mit ihrer jeweiligen Kontrollgruppe bezüglich aller interessierenden Aktivierungen vergleichen zu können.

3.1.1 Sprachentwicklung bei Hörenden

Wenn vergleichende Studien zwischen Laut- und Gebärdensprache bezüglich deren kortikaler Verarbeitungen angestellt werden, sollte zunächst geklärt werden, ob beide Sprachmodalitäten vergleichbar erworben werden. Im Folgenden wird die Sprachentwicklung gesprochener Sprache durch den steten Einfluss von auditiven Ausdrücken vorgestellt.

Zunächst beginnen hörende Kinder etwa ab dem sechsten Monat zu „lallen“. Etwa mit dem Beginn des zehnten Monats setzt dann die Phase der „Vokalisierung“ ein, an deren Anschluss dann Wörter gebildet werden. Die Entwicklung von der Vokalisierung zum Wort wird als „Dekontextualisierungs-Prozess“ beschrieben (Volterra & Erting, 1990). Dieser Prozess wird bei hörenden Kindern im Alter von zwölf Monaten durchlaufen (Worte werden außerhalb eines unmittelbar vorhandenen Kontexts angewandt). Mit 18 Monaten beginnen hörende Kinder zwei Wörter miteinander zu kombinieren und Zwei- bis Dreiwort-Sätze zu bilden. Hier zeigt sich zum ersten Mal ein Unterschied von hörenden zu gehörlosen Kindern. Bei der Kombination von Symbolen bleibt jede der beiden Kindergruppen in ihrer Modalität, was bedeutet, dass Wörter nicht mit Gebärden verbunden werden. Die semantischen Muster beim Kombinieren sind dagegen in beiden Gruppen vergleichbar (vgl. Newport & Meier, 1986).

Der Gesamtverlauf kann grob in drei Phasen gegliedert werden: die *vorsprachliche Phase*, die *Phase der Spracheinführung* und die *Phase des Aufbaus eines sprachlichen Systems*. In der ersten Phase werden zunächst Grundmuster vom Baby eingeübt (Brabbeln) und

lediglich Sprachlaute wahrgenommen bzw. selber produziert. Im nächsten Entwicklungsabschnitt kommt es zu ersten Verknüpfungen von Wort und Bedeutung und die eigene Sprache wird ausgetestet. In der dritten Phase werden Zwei- und Dreiwort-Sätze gebildet. Außerdem wird erlernt, dass Wörter in einem bestimmten Kontext stehen. Somit können Darstellungs- und Zeigefunktionen erlernt werden (vgl. Oerter & Montada, 2002).

3.1.2 Zerebrale Repräsentation von Lautsprache

Der folgende Abschnitt soll die Frage klären, welche Hirnareale als klassische Sprachareale für die Verarbeitung von Lautsprache verantwortlich sind und in welchen Strukturen sprachliche und nicht-sprachliche Elemente verarbeitet werden.

3.1.2.1 Verarbeitung sprachlicher Stimuli

Es ist bisher nachgewiesen worden, dass die linke Hemisphäre eine dominante Rolle bei der Verarbeitung von Sprache spielt (vgl. Nöth, 1992). Rein linkshemisphärische Aufgaben sind die Produktion der Syntax und das Sequenzieren von Silben (vgl. Kolb & Whishaw, 1996).

Nach den Untersuchungen von Poizner, Klima und Bellugi (1990) an gehörlosen und hörenden Läsionspatienten gilt es inzwischen als sehr wahrscheinlich, dass nicht die Modalitäten „Hören“ und „Sprechen“ zur Ausbildung der funktionellen Dominanzen in dem Hemisphären nötig sind, sondern der Erwerb einer Muttersprache. Poizner et al. (1990) postulierten, dass nicht die hörende Umwelt eine prägende Funktion bei der ontogenetischen Ausgestaltung der funktionellen Arbeitsteilung der Hemisphären hat, sondern der Mensch mit grundlegenden und allgemeingültigen neuronalen Organisationsstrukturen für Erwerb und Gebrauch von Sprache ausgestattet ist. Die linke Hirnhälfte besitzt somit eine angeborene Prädisposition für die zentralen Bestandteile von Sprache unabhängig von der Sprachmodalität (vgl. Poizner et al., 1990).

3.1.2.2 Verarbeitung nicht-sprachlicher Stimuli

Die rechte Hemisphäre ist dagegen an der Verarbeitung semantischer Strukturen nur beteiligt und spielt eher eine wesentliche Rolle für Prosodie (Aspekte der Sprachmelodie).

Anhand zahlreicher Studien konnte nachgewiesen werden, dass die rechte Hemisphäre für Verarbeitung nicht-sprachlicher Elemente (z. B. räumliche Aspekte) verantwortlich ist (vgl. Poizner et al., 1990). Die Betrachtung der Verarbeitung nicht-sprachlicher Stimuli bei Hörenden an dieser Stelle dient einem späteren Vergleich mit den Gehörlosen. Die gefundenen Verarbeitungsmuster bei Hörenden stimmen in vielen Aspekten mit denen von gebärdensprachlich kommunizierenden Gehörlosen überein. Somit existiert eine prinzipielle Gleichwertigkeit von Laut- und Gebärdensprachen aus neuropsychologischer Sicht (vgl. List, 1991).

3.2 Sprache bei Gehörlosen

Mittels welcher Strategien erwirbt nun ein gehörloses Kind die Gebärdensprache und welche Parallelen finden sich zum Erwerb der Lautsprache bei Hörenden? Um solche Fragestellungen unter vergleichbaren Bedingungen beantworten zu können, wurden Studien unter anderem an dem Teil der Gehörlosen durchgeführt, deren Eltern ebenfalls gehörlos waren (~10% aller Gehörlosen). Somit konnte gewährleistet werden, dass sich diese Kleinkinder die Gebärdensprache als ihre Muttersprache in einer natürlichen Lernsituation aneignen konnten (vgl. Boyes Bream, 1995). Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf Kinder mit diesen Voraussetzungen.

3.2.1 Sprachentwicklung bei Gehörlosen

Auch gehörlose Babys beginnen etwa ab dem sechsten Monat zu „lallen“. Mit dem zehnten Lebensmonat setzt bei ihnen dann das „manuelle Brabbeln“ ein. Obwohl die Bewegungen dieses Brabbelns oft als erste Gebärden verstanden wurden, wiesen Volterra & Erting (1990) durch zahlreiche Untersuchungen an hörenden und gehörlosen Kindern nach, dass es sich beim manuellen Brabbeln zunächst nur um Gesten handelt und nicht um Gebärden. Dies versteht sich analog zu hörenden Kindern und deren Phase von „Vokalisierung“. Bei Gehörlosen bezeichnet der „Dekontextualisierungs-Prozess“ die Entwicklung von einer Geste zur Gebärde. Dieser Prozess wird, wie bei Hörenden, im Alter von zwölf Monaten durchlaufen (Gebärden werden außerhalb eines unmittelbar vorhandenen Kontextes angewandt). Mit 18 Monaten beginnen Gehörlose, zwei Gebärden miteinander zu kombinieren. Wie schon in Abschnitt 3.1.1 beschrieben, findet keine Kombination von

Wörtern mit Gebärden statt. Die semantischen Muster beim Kombinieren sind dagegen in beiden Gruppen vergleichbar (vgl. Newport & Meier, 1986). Zusammenfassend stellten die bisherigen Studien fest, dass Gebärdensprachen in gleicher Art und Weise und in gleichen linguistischen Phasen wie Lautsprachen erworben werden. Sowohl hörende als auch gehörlose Kinder durchlaufen die frühen Entwicklungsstufen des Spracherwerbes gleichermaßen (vgl. Lillo-Martin & Klima, 1990).

3.2.1.1 Unterschiede zwischen frühem und spätem Spracherwerb bei Gehörlosen

Für die eben berichteten Ergebnisse wurden gehörlose Kinder untersucht, die von Geburt an Kontakt zur Gebärdensprache hatten, da ihre Eltern ebenfalls gehörlos waren. Wie aber stellen sich Lernstrategien im Spracherwerb dar, wenn die Gebärdensprache nicht primärsprachlich, sondern später erworben wird (bei 90% aller Gehörlosen der Fall)? Es konnte nachgewiesen werden, dass Gebärdensprachen weniger gut beherrscht werden, je später sie gelernt werden (vgl. Newport, 1988). Für die Interpretation der Untersuchungsergebnisse von großer Bedeutung ist neben dem Wissen, dass die Gebärdensprache schlechter beherrscht wird, der Umstand, *wie* Spätlernende die Gebärdensprache erwerben. Supalla & Newport (1980) fanden heraus, dass Gehörlose, die Gebärdensprache bei Eintritt in das Schulalter erlernten, diese eher „ganzheitlich“ erlernen und von Gebärdenvarianten auf inkonsequente Weise Gebrauch machen. Das bedeutet, dass diese Gruppe der Gehörlosen nicht die grammatikalisch-semantischen Feinheiten und den Aufbau der Sprache in der Abfolge der eben beschriebenen Schritte erlernt, sondern sich eher ganze Wörter in einem bestimmten Kontext aneignet, ohne diese Wörter anhand verschiedener Situationen und Silbe für Silbe zu erwerben (vgl. Supalla & Newport, 1980). Die Gruppe der Spätlernenden zeichnet sich durch explizite (bewusste) Sprachaneignung aus, wogegen Kleinkinder Sprache implizit (unbewusst) erlernen. Diese ganzheitliche Strategie der Spätlernenden steht in starkem Kontrast zu den Spracherwerbsstrategien der primärsprachlichen Gebärdenden, die im vorherigen Abschnitt beschrieben wurden. Zusammengefasst erwirbt der spätlernende Gehörlose die Gebärdensprache nicht nur in einem weniger komplexen Umfang, sondern auch auf andere Art und Weise, als der primärsprachliche Gehörlose (vgl. Newport, 1988). Wie in Kapitel 3.2.2.1 gezeigt wird, ist diese Tatsache von immenser Bedeutung, da herausgefunden wurde, dass es Unterschiede zwischen Früh- und Spätlernenden Gehörlosen bezüglich der Lateralisierung ihrer Hirnaktivierungen gibt (vgl. Leybaert & D’Hondt, 2003).

3.2.1.2 Die Auswirkungen unterschiedlicher Bezugspersonen, von denen die Gebärdensprache gelernt wird

Neben den unterschiedlichen Lernstrategien von Sprache gibt es bei Gehörlosen einen weiteren Faktor, der Einfluss auf die Aktivierungsmuster in den klassischen Spracharealen haben könnte: die unterschiedlichen Bezugspersonen, von denen spätlernende Gehörlose die Gebärdensprache erwerben. Die meisten Gehörlosen lernen die Gebärdensprache zwischen dem vierten und siebten Lebensjahr. Hier imitieren sie häufig eine „unvollständige“ Gebärdensprache anderer Kinder oder eine Art Zeichensystem hörender Erzieherinnen. Man kann also davon ausgehen, dass die Beherrschung der Muttersprache schon bei den Personen verschieden ist, von denen die Gebärdensprache gelernt wird. Außerdem ist unklar, ob die gehörlosen Kinder bis zum Eintritt in die Schule eher von hörenden oder gehörlosen Personen Sprache „abgeschaut“ haben. Somit unterscheiden sich auch die grammatikalisch-semantischen Grundlagen der erworbenen Gebärdensprache, wenn von einer hörenden Person (deutsche Lautsprache) oder von einer gehörlosen Bezugsperson (Deutsche Gebärdensprache = DGS) gelernt wurde. Die unterschiedlichen Lernstrategien zwischen spät- und frühlernenden Gehörlosen sowie die unmögliche Vereinheitlichung der Bezugspersonen, von denen die Muttersprache bzw. die Lautsprache gelernt wurde, erschweren die Erstellung einer einheitlichen, standardisierten Untersuchungsgruppe. Der unspezifische und unterschiedliche Gebärdenspracherwerb führt vermutlich zu verschiedenen sprachlichen Mustern und somit zu unterschiedlichen Voraussetzungen für die Verarbeitung von Gebärden- und Gestenbildern oder Wörtern.

3.2.2 Zerebrale Repräsentation von Gebärdensprache

An dieser Stelle kann kurz zusammengefasst werden, dass zumindest die Spracherwerbs-Strategie zwischen Laut- und Gebärdensprache vergleichbar ist, wenn die Gebärdensprache von Geburt an gelernt wurde.

Der folgende Abschnitt soll die Frage klären, welche Hirnareale als klassische Sprachareale für die Verarbeitung von Gebärdensprache identifiziert wurden und wo Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede zur Lautsprache liegen.

3.2.2.1 Verarbeitung sprachlicher Stimuli

Anhand von Läsionsstudien an links- und rechtshemisphärisch geschädigten Gehörlosen konnte nachgewiesen werden, dass die Verarbeitung von sprachlichen Elementen (Grammatik, Semantik etc.) der Gebärdensprache vorrangig linkshemisphärisch stattfindet (vgl. Poizner et al., 1990). Die linke Hirnhälfte besitzt somit eine angeborene Prädisposition für die zentralen Bestandteile von Sprache, unabhängig von der Sprachmodalität (vgl. Poizner et al., 1990). Auch Untersuchungen von List (1991) an gehörlosen Patienten mit Hirnläsionen zeigten vergleichbare sprachliche Defizite zu Hörenden mit analogen Verletzungen. So zeigten Gehörlose mit einer linkshemisphärischen Läsion, die schon lange die Gebärdensprache als Muttersprache ausführten, eine Gebärdenspracheaphasie, wogegen Patienten mit Schäden der rechten Hemisphäre keine Sprachdefizite aufwiesen (vgl. List, 1991).

Somit ist nachgewiesen, dass weder der Gebrauch einer manuellen Sprache noch die auditive Deprivation im kritischen Spracherwerbsfenster zu Veränderungen der sprachlichen Lateralisierungsmuster führen und sich bei Gehörlosen hinsichtlich der zerebralen Sprachstrukturierung vergleichbare Lateralisierungsmuster wie bei hörenden / sprechenden Menschen entwickeln (vgl. Homan, Criswell, Wada & Ross, 1982; Damasio, Bellugi, Damasio, Poizner & v. Gilder, 1986; Diller 1990; Bellugi & Klima, 1991).

Es sei allerdings kritisch angemerkt, dass aufgrund einer Untersuchung von Leybaert & D'Hondt (2003) inzwischen herausgefunden wurde, dass es auch zu Lateralisierungsmustern in der Verarbeitung kommen kann, die im Kontrast zu den bisherigen, klassischen Verarbeitungsmustern stehen. Die Forschergruppe stellte Vergleiche zwischen Gehörlosen, die Gebärdensprache sehr früh und als erste Muttersprache, sowie Gehörlosen, die Gebärdensprache relativ spät und unvollständig erlernt hatten, an. Die Ergebnisse zeigten, dass die „frühlernenden“ Gehörlosen eine vergleichbare, klassische Spezialisierung der linken Hemisphäre für die Verarbeitung der Muttersprache aufwiesen wie Hörende. Gehörlose, die dagegen die Gebärdensprache nicht prä-linguistisch (sondern ca. erst zwischen dem fünften und siebten Lebensjahr) erlernt hatten, wiesen eine weniger starke, linkshemisphärische Lateralisierung für die Verarbeitung der erlernten Sprache auf. Vermutlich erfahren die gehörlosen Kinder in den ersten fünf Lebensjahren keine strukturiert dargebotene Sprache und Grammatik von Seiten der Eltern, sondern eher eine Art unvollständiges Zeichensystem. Die Autoren schlussfolgerten, dass die Abwesenheit von adäquatem, strukturiertem Sprachinput

während eines kritischen Zeitfensters ein Risiko für den Verlust der Initialneigung der linkshemisphärischen Spezialisierung sein könnte. Die Gehörlosen, welche die Gebärdensprache spät erlernt hatten, wiesen also eine weniger ausgeprägte linksseitige Dominanz auf, sondern eher bilaterale Aktivierungen (vgl. Leybaert & D'Hondt, 2003). Diese Ergebnisse machen deutlich, dass eine homogene Gruppe von Gehörlosen bezüglich ihres Alters beim Erwerb der Gebärdensprache, ihrer Lernvorbilder und dem Zeitpunkt des Beginns der Gehörlosigkeit von Nöten ist, um interindividuell vergleichbare Ergebnisse zu erzielen.

3.2.2.2 Verarbeitung nicht-sprachlicher Stimuli

Besonders in der Gebärdensprache existieren neben sprachlichen Merkmalen der Sprache zahlreiche nicht-sprachliche Elemente. Für die Gehörlosen bedeutet nicht-sprachlich z. B. die Analyse von Fremd- und Eigenbewegung, die Stellung der Hände im Raum oder die Wahrnehmung von Emotionen. Im Gegensatz zur Lautsprache steht die Analyse räumlicher Merkmale und körpereigener Bewegungen im Raum im Vordergrund. Poizner et al. (1990) untersuchten links- und rechtshemisphärisch geschädigte Gehörlose bezüglich der relativen Dominanz der rechten Hemisphäre bei der Verarbeitung unterschiedlicher sprachfreier Aufgaben zur eben genannten räumlichen Analyse. Die Betroffenen mussten sprachfreie Aufgaben bewältigen, wie z. B. Nachzeichnen, Linienausrichtung angeben, Blockmuster rekonstruieren und Gesichter erkennen. Die rechtshemisphärisch Geschädigten zeigten stärkere Defizite und Ausfälle bei den Aufgaben als die Gehörlosen mit linksseitigen Verletzungen. Schäden in der rechten Hemisphäre äußerten sich in räumlicher Desorientierung, fehlenden Perspektiven im Raum und der falschen Differenzierung von Kontrasten. Das Verständnis für Gebärdensprache blieb dagegen nahezu intakt. Die Betroffenen zeigten lediglich Schwierigkeiten, Gebärden räumlich zu produzieren. Die Autoren schlussfolgerten, dass die rechte Hemisphäre bei Gehörlosen im Gegensatz zur linken auf die Verarbeitung räumlich-visueller Merkmale (sprachfrei) spezialisiert ist und somit eine klare Funktionstrennung zwischen den Hemisphären bei Gehörlosen vorliegt (vgl. Poizner et al., 1990). Wie bereits in Kapitel 3.1.2.2 beschrieben, stimmen die Verarbeitungsmuster in vielen Aspekten mit denen von lautsprachlich kommunizierenden Hörenden überein, und es kann eine prinzipielle Gleichwertigkeit von Laut- und Gebärdensprachen aus neuropsychologischer Sicht angenommen werden (vgl. List, 1991).

3.3 Besondere Anforderungen durch die Gebärdensprache und Auswirkungen auf die zerebrale Repräsentation dieser Sprachform

In den Abschnitten 3.1.2 und 3.2.2 wurde kurz skizziert, dass Merkmale, wie Emotionen, Gesichtsausdrücke und räumliche Bezüge bei beiden Sprachmodalitäten vorrangig in der rechten Hemisphäre verarbeitet werden, wogegen sprachliche Anteile sowohl in der Gebärden- als auch in der Lautsprache linkshemisphärisch verarbeitet werden. Folgendes klassisches Netzwerk ist für die Verarbeitung beider Sprachformen verantwortlich: das *Broca-Areal* innerhalb des inferioren präfrontalen Kortex, das *Wernicke-Areal* im posterioren zweiten Drittel des superioren Temporallappens, der anteriore Teil des superioren Temporallappens und der mittlere präfrontale Kortex (vgl. Bavelier, Corina & Neville, 1998a). Die Abbildung 3.1 verdeutlicht das Netzwerk der klassischen Sprachareale, die an der Sprachverarbeitung beteiligt sind.

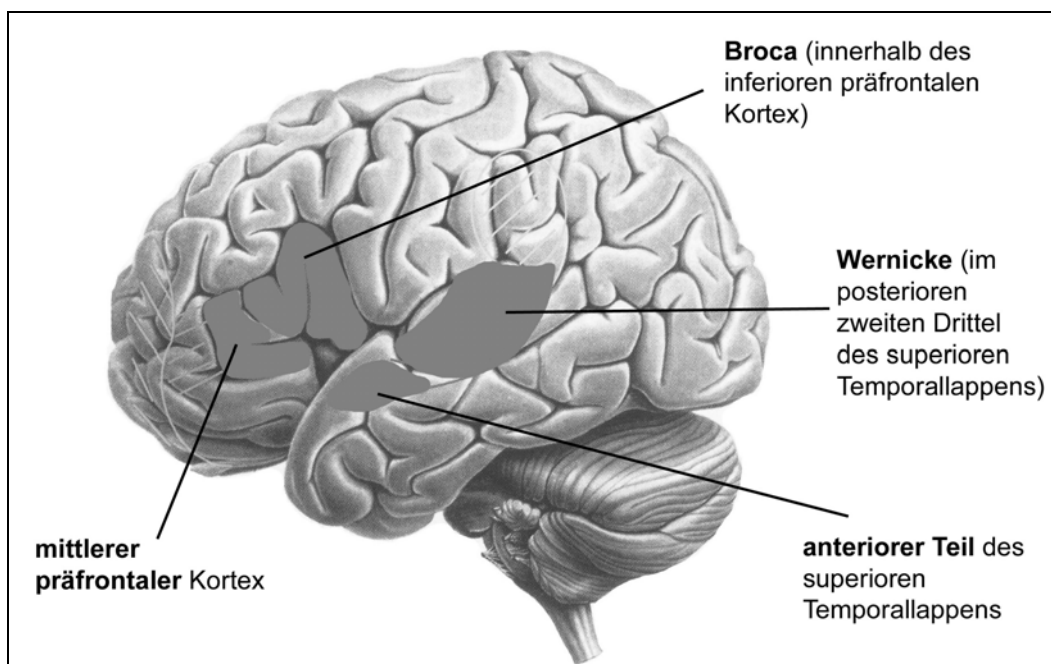


Abbildung 3.1: Grafische Darstellung der klassischen Sprachareale, die in ihrer Funktion unabhängig von der Sprachmodalität agieren (Quelle: modifiziert nach Karnath & Thier, 2003; S. 375)

Kassubek, Hickok und Erhard (2004) bestätigten die Beteiligung klassischer Sprachareale bei der Verarbeitung von Gebärden- und Lautsprache. Ihre hörenden und gehörlosen Probanden sahen die gleichen statischen Bilder von Alltagsgegenständen und sollten jedes Objekt in ihrer jeweiligen Muttersprache benennen. Bei beiden Gruppen zeigten sich die erwarteten Aktivierungen im posterioren Broca-Areal, im prämotorischen Kortex und in

den anterioren Teilen des superioren Temporallappens. Die Gehörlosen wiesen allerdings zusätzliche Aktivierungen im inferioren frontalen Gyrus, im superioren parietalen Kortex und zusätzliche Aktivierungen im okzipital-temporalen Kortex auf (vgl. Kassubek et al., 2004).

Diese nachgewiesenen Aktivierungen in zusätzlichen Arealen lassen vermuten, dass es bei Gehörlosen aufgrund der auditiven Deprivation und / oder wegen des Gebrauches einer visuell-räumlichen Sprache bei der Verarbeitung von Gebärdensprache zu von den Hörenden abweichenden Aktivierungsmustern (nicht in den klassischen Spracharealen *Wernicke* und *Broca*) kommt. Bei genauerer Betrachtung der visuell-manuellen Sprache der Gehörlosen fallen zahlreiche Besonderheiten bezüglich der Wahrnehmung und Verarbeitung von Gebärdensprache im Kontrast zur Lautsprache auf.

Der Gebrauch einer Sprache, die über Bewegungsabfolgen der Hände und Arme realisiert wird, benötigt ein Netzwerk von Hirnarealen, die für die Planung, Ausführung und Steuerung von Bewegungen verantwortlich sind. An solchen Prozessen sind unter anderem der prämotorische Kortex (= PMA), die supplementär motorischen Areale (= SMA) und der Gyrus praecentralis (= primärmotorischer Kortex) beteiligt. Auf die letztgenannte Struktur wird in Abschnitt 3.3.4 eingegangen. Die anderen beiden Areale werden aus Gründen des breiten Funktionsspektrums und ihrer weitreichenden Verknüpfungen zu weiteren Arealen nicht näher beleuchtet, da sie den Rahmen der vorliegenden Untersuchungen überschreiten. Da Gebärdensprache in einem weitaus stärkeren Umfang bestimmte Bewegungsabfolgen im Raum produziert, als es bei der Lautsprache nötig wäre, und die richtige Analyse der Bewegungen zum Verständnis notwendig ist, gewinnen auch Areale an Bedeutung, die für die Analyse von Eigenbewegungen (eigene Gebärden) und Fremdbewegungen (Gebärden des Gesprächspartners) zuständig sind. In diesem Falle spielt der Parietalkortex (dorsaler Pfad) eine wichtige Rolle, auf dessen Funktionen in Bezug auf die Verarbeitung von Gebärdensprache in Abschnitt 3.3.6 näher eingegangen wird.

Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass die auditive Deprivation Einfluss auf die Verarbeitung von Sprache hat. Kongenital Gehörlose nehmen von Geburt an keine akustischen Signale wahr. Folglich erhält der primäre auditive Kortex keinen akustischen Input. Wie bereits mehrfach nachgewiesen wurde, kommt es infolgedessen zu kortikalen Reorganisationsprozessen. Das bedeutet, dass das deprivierte Areal dann für die Verarbeitung von Reizen einer anderen Sinnesmodalität genutzt wird. Das Areal mit seinen

wichtigsten Funktionen für die Verarbeitung von Gebärdensprache wird zunächst kurz in Abschnitt 3.3.1 behandelt.

Außerdem ist von Interesse, ob nicht-sprachliche Merkmale, die in der Gebärdensprache eine zentrale Stellung einnehmen (z. B. Emotionen) zu unterschiedlichen Verarbeitungsmustern der Gebärdensprache gegenüber der Lautsprache führen. So spielen verschiedene Gesichtsausdrücke einer Person sowie die unterschiedlichen Gesichtsmerkmale zahlreicher Personen eine wichtige Rolle in der gebärdensprachlichen Kommunikation, da z. B. eine stimmliche Wiedererkennung von Personen nicht möglich ist. Ein Gesichtsausdruck stellt für Hörende eine rein emotionale Komponente dar. In der Gebärdensprache kann ein Gesichtsausdruck in Kombination mit einem Verb den gesamten Verlauf des Gespräches bestimmen. Der Gesichtsausdruck liefert dem Gehörlosen zusätzliche semantische Informationen, auf die er auch achten muss. Zudem ist die genaue, visuelle Analyse von Objekten für auditiv Deprivierte wichtig, da ihnen vordergründig die visuelle Sinnesmodalität zur Realisierung von Sprache zur Verfügung steht. Sowohl Objektwahrnehmung als auch alle Aspekte der Gesichterwahrnehmung und Emotionen werden vorrangig im ventralen Pfad verarbeitet, dessen Beitrag zur Verarbeitung von Gebärdensprache in Abschnitt 3.3.5 vorgestellt wird.

Die klassischen Sprachareale, Wernicke und Broca, werden auch betrachtet, da diese maßgeblich an der Sprachverarbeitung beteiligt sind (vgl. Abschnitt 3.3.2 und 3.3.3).

Aufgrund der beschriebenen Differenzen zwischen den beiden Sprachmodalitäten Gebärdensprache und Lautsprache wurden im Rahmen dieser Untersuchungen spezielle Fragestellungen formuliert und diese eben beschriebenen, sechs Hirnareale definiert, um zur Klärung der Unterschiede in der zerebralen Verarbeitung zwischen Laut- und Gebärdensprache beizutragen. Im Folgenden werden diese Areale vorgestellt, da diese in Bezug auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede der kortikalen Verarbeitung von sprach- und bewegungsbezogenen Stimuli (genauere Angaben zu den dargebotenen Stimuli sind in Abschnitt 5.3 zu finden) zwischen den Gruppen von Interesse sind. Außerdem werden ihre speziellen Funktionen bezüglich der besonderen Merkmale von Gebärdensprache dargestellt und bisherige Forschungsergebnisse diesbezüglich aufgezeigt. Aufgrund des besonderen Interesses an den Hirnstrukturen *primärer auditiver Kortex (A1)* und *dorsaler Pfad*, werden diese beiden in gesonderten Kapiteln behandelt (vgl. Kapitel 8 bis 11 sowie Kapitel 12 bis 15). Vermutlich nehmen diese beiden Areale eine Sonderstellung bei der Betrachtung der Verarbeitung von Gebärdensprache ein, da diese Sprachmodalität vor allem durch die auditive Deprivation und die Analyse von Bewegungen im Raum geprägt

ist. Aus diesem Grunde werden die zwei Areale mit einer jeweiligen Abhandlung der theoretischen Grundlagen, Hypothesen, Darstellung und Diskussion der Ergebnisse in dieser Arbeit separat geführt. Der Vollständigkeit halber werden sie aber schon hier bei der Darstellung aller relevanten Areale für die Gebärdensprachverarbeitung im theoretischen Abriss mit aufgeführt.

Eine Übersicht der anatomischen Lage aller relevanten Areale liefern die Abbildungen 3.2 bis 3.7. Im Anschluss daran wird jedes Areal kurz vorgestellt, seine Funktionen in Bezug auf die gebärdensprachliche Verarbeitung vorgestellt und erläutert, warum es von Bedeutung ist.

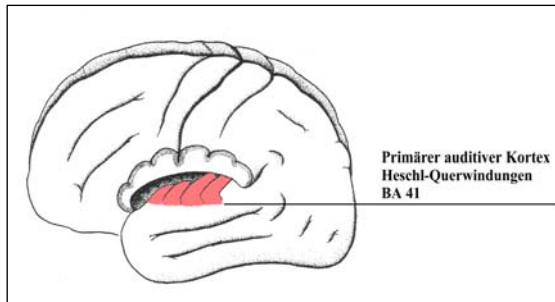


Abbildung 3.2: Lage des primären auditiven Kortex (BA 41); Maßgeblich beteiligt an: Bewusstmachung von akustischen Impulsen aus dem Innenohr (Quelle: modifiziert nach Trepel, 1999)

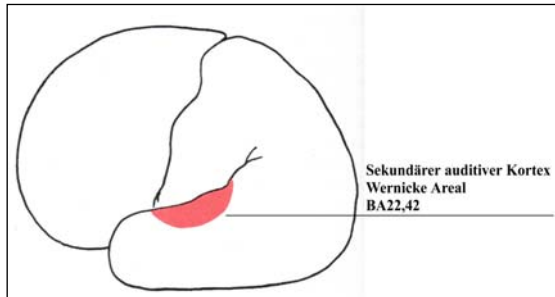


Abbildung 3.3: Lage des sekundären auditiven Kortex (BA 22, 42); Maßgeblich beteiligt an: Interpretativer und integrativer Verarbeitung von akustischen Impulsen (Quelle: modifiziert nach Trepel, 1999)

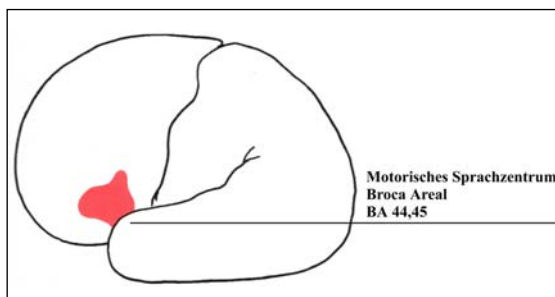


Abbildung 3.4: Lage des Broca-Areals (BA 44, 45); Maßgeblich beteiligt an: Formung von Satzbau und Wortlaut, sowie Initiierung der Muskeln, die zum Sprechen benötigt werden (Quelle: modifiziert nach Trepel, 1999)

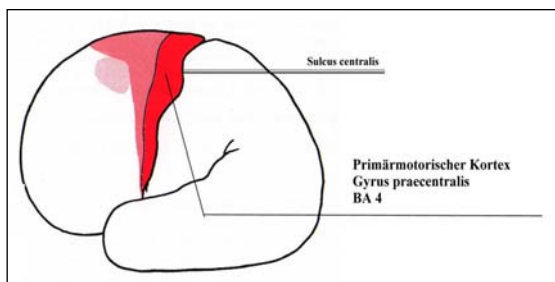


Abbildung 3.5: Lage des primärmotorischen Kortex (BA 4); Maßgeblich beteiligt an: Planung und Realisierung von Willkürbewegungen (Quelle: modifiziert nach Trepel, 1999)

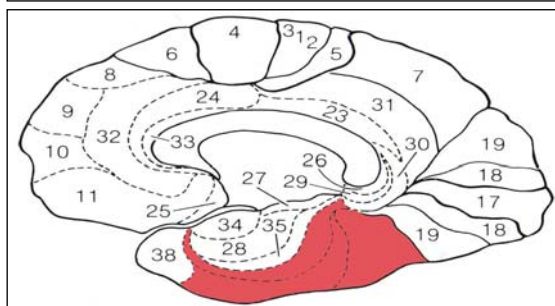


Abbildung 3.6: Lage der Areale des ventralen Pfades (BA 20, 36, 37); Maßgeblich beteiligt an: Objekterkennung („WAS“-Pfad) (Quelle: modifiziert nach Trepel, 1999)

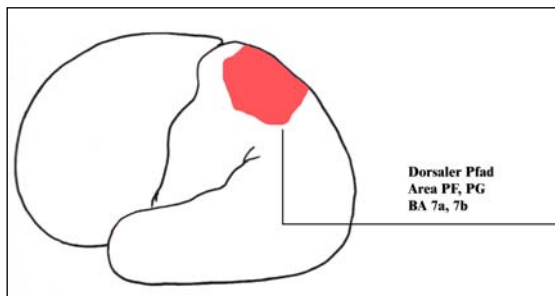


Abbildung 3.7: Lage der Areale des dorsalen Pfades (BA 7a, 7b); Maßgeblich beteiligt an: Lokalisation von Objekten im Raum („WO“-Pfad) (Quelle: modifiziert nach Trepel, 1999)

3.3.1 Primärer auditiver Kortex (= Gyri temporales transversi)

Der primäre auditive Kortex (A1) umfasst das Brodmann-Areal (BA) 41 und ist für die integrations- und interpretationsfreie Bewusstwerdung von akustischen Impulsen aus dem Innenohr verantwortlich (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2003). Für hörende Menschen ist dieses Areal bedeutend, um zunächst einmal alle Laute unterschiedlicher Frequenzen wahrzunehmen. Da Gehörlose im Gegensatz dazu keinen auditiven Input erfahren, ist dieses Hirnareal für uns von Interesse. Untersuchungen zu Aktivierungsmustern in A1 sollen klären, ob dieses Areal Aktivierungen aufweist, obwohl es keine adäquate Stimulation erfährt, und welche Erklärungen es für eventuell auftretende Aktivierungen eines deprivierten Areals gibt. Finney, Fine und Dobkins (2001) gelang mehrfach der Beweis, dass Gehörlose Aktivierungen im deprivierten Areal A1 zeigen, wenn ihnen visuelle Stimuli dargeboten werden. Diese kortikale Reorganisation zeigt, dass der primäre auditive Kortex eine außergewöhnliche Rolle für die Gehörlosen einnimmt, da bei Hörenden solche Plastizitätsprozesse bezüglich des A1 nicht in Gang gesetzt werden. In einer Untersuchung von MacSweeney et al. (2002a) wurden Hörenden, Gebärdensprachdolmetschern und Gehörlosen englische Sätze audio-visuell dargeboten (es wurde per Video eine sprechende Person gezeigt und das Gesagte über Kopfhörer eingespielt) bzw. von den Gebärdenden die Ausführung von Gebärdensprachsätzen verlangt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Aktivierungen in A1 von der Modalität der Sprache abhängig sind. Die klassischen Sprachareale, Broca und Wernicke, sind dagegen modalitätsunabhängige Strukturen. In der eben beschriebenen Studie erzeugte die audio-visuelle Sprache bei Hörenden stärkere Aktivierungen in A1 als die Gebärdensprache bei den Gehörlosen. Die Autoren vermuteten eine Spezialisierung der linken superioren temporalen auditiven Regionen für die Verarbeitung gesprochener Sprache auch bei hörenden Gebärdensprachnutzern. Nach Meinung der Autoren sind diese Areale für das Hören von Sprache zuständig. Durch die Abwesenheit von auditivem Input rekrutieren Gehörlose aber diese Regionen für die Verarbeitung visueller Stimuli. Die dennoch, wengleich geringen und trotz auditiver Deprivation vorhandenen Aktivierungen in A1 bei Gehörlosen erklären die Autoren damit, dass diese Areale für die Verarbeitung von Gebärdensprache genutzt werden (für die visuellen statt auditiven Informationen). In der geringeren A1-Aktivierung bei Gehörlosen zeigt sich die Modalitätsabhängigkeit der auditiven Areale (vgl. MacSweeney et al., 2002a).

Wie bereits beschrieben, wird der primäre auditive Kortex aufgrund seines besonderen Status in den Kapiteln 8 bis 11 gesondert behandelt. Dort sind alle bisherigen Forschungsergebnisse in Bezug auf A1 bei Gehörlosen ausführlicher dargestellt.

3.3.2 Sekundärer auditiver Kortex (= Gyrus temporalis superior)

Die gegenwärtige Literatur bezeichnet den sekundären auditiven Kortex unterschiedlich: A2 oder auch *Wernicke-Areal* (befindet sich im A2). Im Folgenden wird der sekundäre auditive Kortex als Synonym für das Wernicke-Areal verwendet. Dieses sensorische Sprachzentrum erhält überwiegend Afferenzen aus dem primären auditiven Kortex. Die akustischen Impulse werden hier interpretativ und integrativ verarbeitet. Das bedeutet, dass Geräusche als Wörter oder Melodien erkannt werden. Dieser Prozess setzt allerdings voraus, dass diese Klänge durch Erinnern zugeordnet werden können. Die dominante Hemisphäre ist dabei für das Verständnis von Sprache zuständig, wogegen die nicht-dominante Hemisphäre eher bei der Wahrnehmung von Musik eine Rolle spielt (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2003).

Das Wernicke-Areal spielt für das Sprachverständnis eine entscheidende Rolle und gilt als klassisches Areal bei der Verarbeitung der eigenen Primärsprache bei Hörenden sowie Gehörlosen.

Neville et al. (1997) und Neville et al. (1998), sowie D'Hondt und Leybaert (2003) und Bavelier et al. (1998b) wiesen in zahlreichen Studien an gehörlosen und hörenden Kindern und Erwachsenen nach, dass die klassischen Sprachareale (u. a. Wernicke- und Broca-Areal) in der linken dominanten Hemisphäre auf die Verarbeitung von Sprache spezialisiert sind. Dabei ist es nicht von Bedeutung, ob grammatikalische und semantische Kenntnisse gebärdend oder sprechend entwickelt wurden (vgl. Neville et al., 1997, 1998; Bavelier et al. 1998b; D'Hondt & Leybaert, 2003).

3.3.3 Broca-Areal (= motorisches Sprachareal)

Das Broca-Areal, welches von Brodmann mit den Nummern 44 und 45 beziffert wurde, gilt gegenüber dem sensorischen Sprachzentrum (Wernicke-Areal) als motorisches Sprachzentrum. Hier werden zunächst der Wortlaut und Satzbau von Sprache gebildet. Im Anschluss daran werden über verschiedene Schaltkreise, deren Erläuterung an dieser Stelle zu weit führen würde, diejenigen Muskeln initiiert, die für das Aussprechen von Worten

und die Mimik zuständig sind. Im Broca-Areal steht im Gegensatz zum Wernicke-Sprachzentrum nicht das Sprachverständnis, sondern die Realisierung der Vokalisierung im Vordergrund. Das Broca-Zentrum ist linksdominant lokalisiert und kann somit bei verletzungsbedingtem Ausfall in den meisten Fällen nicht kompensiert werden (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2003). Obwohl Gehörlose nicht hörbar vokalisieren, sprechen sie beim Gebärden simultan lautlos mit. Folglich werden auch bei dieser Gruppe vom Broca-Areal aus (über den primären motorischen Kortex) die Gesichtsmuskeln koordiniert, die beim Sprechen beteiligt sind. Zum anderen ist das Broca-Areal für den mimischen Ausdruck verantwortlich, der in der Gebärdensprache eine zentrale und bedeutungstragende Rolle einnimmt.

Es wurde in zahlreichen Studien nachgewiesen, dass das Broca-Areal wesentlich an den modalitätsunabhängigen Aspekten der Sprachbeteiligung beteiligt ist (vgl. Ronnberg, Soderfeldt & Risberg, 2000; Klann, Kastrau, Keminy & Huber, 2002; Neville et al., 1998; Soderfeldt et al., 1997; MacSweeney et al., 2001).

3.3.4 Gyrus praecentralis (= Motokortex)

Das Brodmann-Areal 4 ist neben anderen Strukturen an der Programmierung von Willkürbewegungen beteiligt, wobei wie gesagt bei der Initiierung von Bewegungen noch weitere Strukturen involviert sind (z. B. Kleinhirn, Basalganglien). Der Motokortex ist durch eine somatotope Gliederung gekennzeichnet. Das bedeutet, dass die Neuronen, die bestimmte Körperteile ansteuern, systematisch gegliedert auf dem Motokortex abgebildet sind. Körperteile, für deren willkürliche Bewegung zahlreiche und fein differenzierte Muskeln notwendig sind, nehmen ein entsprechend großes Gebiet im Gyrus praecentralis ein (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2003).

Im Gegensatz zur oral-auditiven Lautsprache wird die Gebärdensprache vorrangig in der manuellen Modalität realisiert. Jedes Wort wird durch komplexe Bewegungsabläufe der Hände, Arme, Finger, des Oberkörpers und des Mundes zum Ausdruck gebracht. Folglich haben Bewegungen im Zusammenhang mit Semantik einen hohen Stellenwert in der Gebärdensprache und für die Gehörlosen. Interessante Fragen sind in diesem Kontext, ob Gehörlose z. B. ein gelesenes Wort oder das Bild eines Alltagsobjektes automatisch in die entsprechende Gebärde dekodieren, oder ob visualisierte Gebärden zunächst internal von ihnen nachgeahmt werden müssen, bevor sie deren Bedeutung entschlüsseln können.

Stellen sich also Gehörlose beim Sehen von Bildern oder Worten die Bewegungen der entsprechenden Gebärde vor und führt das zu Aktivierungen im Gyrus praecentralis?

Dass der Motokortex in der von manuellen Handzeichen bestimmten Gebärdensprache auch bei der Wahrnehmung anderer Gebärdender eine wichtige Rolle einnimmt, zeigt unter anderem die Studie von Johnson-Frey et al. (2003). Sie fanden heraus, dass der Gyrus praecentralis auch dann aktiviert wird, wenn eine Person Abbildungen von Bewegungen einer anderen Person sieht. Die 18 Versuchspersonen, die mithilfe von fMRT getestet wurden, sahen statische Bilder von Werkzeugen und unbekanntem Objekten, die von einer rechten bzw. linken Hand gegriffen oder berührt wurden. Es wurde im Ergebnis von den betrachteten Arealen der Gyrus praecentralis bilateral am häufigsten aktiviert (vgl. Johnson-Frey et al., 2003).

3.3.5 Ventraler Pfad (= Teil des Gyrus fusiformis)

Der Gyrus fusiformis umfasst die Brodmann-Areale 18, 19, 20, 36 und 37. Der Teil des Gyrus fusiformis, der den sekundären visuellen Kortex nicht mit einschließt, wird als ventraler Pfad (BA 20, 36, 37) bezeichnet. Über die ventrale Bahn wird die bewusste visuelle Wahrnehmung von Objekten vermittelt. Hier werden folglich Objekte identifiziert (z. B. Spinne, Haus, Auto) und deren Farbe und Form wahrgenommen (vgl. Milner & Goodale, 1993). Da beim Gebrauch von Gebärdensprachen die Wahrnehmung visueller Reize im Vordergrund steht und fortlaufend Formen, Objekte und deren Merkmale perzipiert werden müssen, um für das Verständnis notwendige Informationen zu filtern, ist diese Hirnstruktur ebenfalls bei der Verarbeitung gebärdensprachlicher Signale von Bedeutung.

Nakamura et al. (2004) wiesen durch ihre Studie indirekt die Bedeutung des ventralen Pfades bzw. des Gyrus fusiformis für die Gebärdensprache nach. Sie untersuchten mithilfe von MEG (= Magnetoenzephalografie) zwanzig Hörende, die keinen Kontakt zur Gebärdensprache hatten. Den Probanden wurden bedeutungsvolle (z. B. „Peace-Handzeichen“) und bedeutungslose Handzeichen sowie Bilder von Gesichtern dargeboten. Die Erkennung der Handzeichen aktivierte neben dem dorsalen Pfad (vgl. Abschnitt 3.3.6) und dem Okzipitallappen vor allem den ventralen Pfad. Hier wurde der überwiegende Teil der Aktivierungen in der rechten Hemisphäre gefunden, was die Autoren veranlasste, zu vermuten, dass die Erkennung von bekannten Handzeichen in ähnlicher Weise wie soziale Zeichen (z. B. Gesichtsausdrücke) verarbeitet wird. Die Bilder der Gesichter wurden

ebenfalls in ventralen Regionen verarbeitet (inklusive Gyrus fusiformis, temporalem Kortex und STS (= Sulcus temporalis superior)). Aktivierungen im ventralen Pfad in der linken Hemisphäre zeigen eher die semantische Repräsentation von dargebotenen Gesichtern und Handzeichen und deren sinnvolle Bedeutung in einem semantischen Kontext für den Wahrnehmenden (so zeigt z. B. ein Gesichtsausdruck mit aufgeblähten Backen für den Gehörlosen eine zusätzliche semantische Bedeutung an). Der ventrale Pfad spielt also nicht nur eine bedeutende Rolle als Objekt-Erkennungs-System, sondern auch bei der Wiedererkennung von Handzeichen, Gesichtern, sozialen Signalen, Gesichtsausdrücken und emotionaler Signalerkennung bei anderen Personen (vgl. Nakamura et al., 2004). Diese eben benannten Funktionen sind unabdingbar in der Interaktion zwischen zwei gebärdenden Personen. So müssen die Handformen der Gebärden erkannt und in einen semantischen Kontext überführt, sowie der Gesichtsausdruck richtig identifiziert werden, was die enorme Bedeutung des ventralen Pfades speziell für diese manuelle Sprachmodalität beweist.

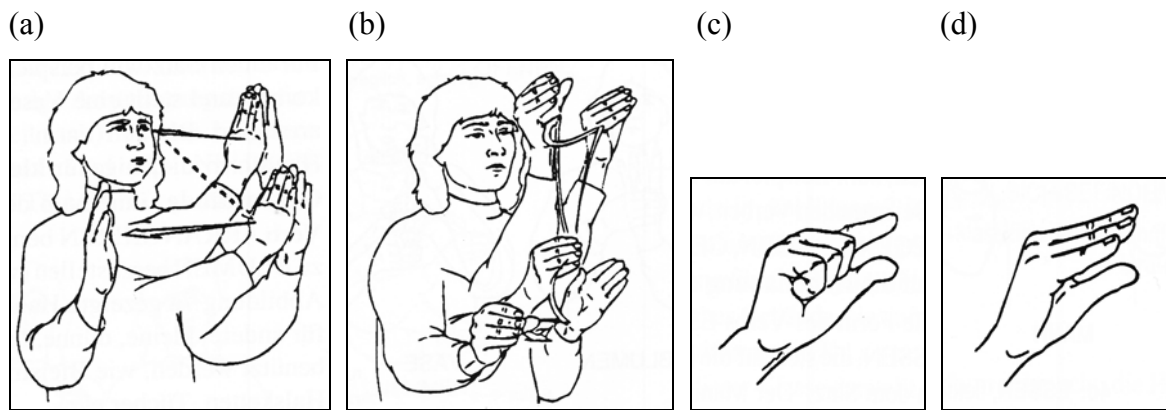
3.3.6 Dorsaler Pfad (= Teil des Parietallappens)

Der interessierende Teil des Parietallappens umfasst die Brodmann-Areale 7a und 7b und wird in der vorliegenden Arbeit als dorsaler Pfad bezeichnet. Hier werden sowohl Eigen- als auch Fremdbewegungen wahrgenommen. Außerdem spielt die dorsale Bahn eine Rolle bei der Kontrolle und Steuerung von Bewegungen im Raum, sowie bei der Erkennung von Winkeln und Handstellungen. Den Arealen 7a und 7b wird eine große Bedeutung bei der Raumorientierung und Bewegungsregulation beigemessen (vgl. Kolb & Whishaw, 1996). Detaillierte Informationen zum dorsalen Pfad sind in Kapitel 12 zu finden. Neben der in Kapitel 3.3.5 beschriebenen Wichtigkeit für die Nutzung von Gebärdensprache, Formen von Objekten wahrzunehmen und richtig zuzuordnen, spielt die Wahrnehmung von Fremd- und Eigenbewegungen eine wahrscheinlich noch größere Rolle in der Gebärdensprachnutzung. Die Gebärdensprache ist zusätzlich zu ihrer visuellen Modalität hauptsächlich durch ihre manuellen Komponenten charakterisiert. Wie schon in Abschnitt 3.3.4 beschrieben, wird Gebärdensprache hauptsächlich mit Bewegungen der Arme, Hände und Finger durchgeführt. Neben der motorischen Realisierung bei der Ausführung von Gebärdensprache, bei der der Gyrus praecentralis eine vordergründige Rolle spielt, ist eine korrekte Wahrnehmung der Bewegungsparameter des Gegenüber vonnöten, um dessen Gebärden zu verstehen. Stellungen der Hände im Raum, deren Wahrnehmung eine der

Funktionen des dorsalen Pfades ist, spielen eine wichtige Rolle in der Gebärdensprache. Rammel (1981) und Boyes Bream (1995) strukturierten die Gebärdensprache unter anderem dadurch, dass jede einzelne Gebärde durch folgende vier simultan auftretende Parameter identifiziert werden kann: *Handform*, *Ausführungsstelle*, *Handstellung* und *Tempo* (vgl. Rammel, 1981; Boyes Bream, 1995).

Die Stellung der Hände zueinander, sowie Handform und Positionierung der Hände im Raum, sind Strukturparameter jeder Gebärde und Merkmale, an deren Wahrnehmung die dorsale Bahn des Parietallappen maßgeblich beteiligt ist. Es ist zu erwarten, dass der dorsale Pfad für Wahrnehmung der manuellen Komponenten in der Gebärdensprache verantwortlich ist und folglich ebenfalls eine zentrale Rolle einnimmt, da Bewegungen in der Gebärdensprachausübung vordergründig sind.

Emmorey et al. (2002) untersuchten die Bedeutung des Parietallappens bei der Ausführung von Gebärdensprache, wenn räumliche Beziehungen explizit im Vordergrund standen. Damit Gehörlose räumliche Relationen zwischen zwei Objekten im Raum beschreiben können (z. B. „ein dickes Buch *in* ein Regal stellen“ oder „die Katze sitzt *unter* dem Tisch“), nutzen sie so genannte *Klassifikationsgebärden*. Um eine Klassifikationsgebärde anwenden zu können, müssen die zahlreichen Details der räumlichen Relation zwischen den Objekten analysiert werden, um dann die Hände in einer analogen Position im Gebärdenraum platzieren zu können. Dabei werden Eigenschaften der Objekte durch klassifizierende Handformen dargestellt (z. B. kleine, eckige Objekte oder Objekte mit breiter Oberfläche). Der räumliche Bezug zwischen den Objekten wird dagegen mit den eben genannten Klassifikationsgebärden (= KG) dargestellt (z. B. ein Buch *hineinstellen*; etwas *auf* den Tisch stellen) (vgl. Boyes Bream, 1995). Die Abbildung 3.8 zeigt beispielhaft klassifizierende Handformen und Klassifikationsgebärden.

**Abbildung 3.8:**

(a) KG + Verb: etwas Breites / Flaches + nebeneinander stellen; (b) KG + Verb: etwas Kleines / Eckiges + hineinstellen; (c) klassifizierende Handform für die Klasse der kleinen, eckigen Objekte; (d) klassifizierende Handform für die Klasse der kleinen, eckigen Gegenstände mit breiter Oberfläche (Quelle: Boyes Bream, S. 82, 83, 1995)

Emmorey et al. (2002) untersuchten mittels PET (= Positronen-Emissions-Tomografie) Gehörlose, deren Muttersprache die Amerikanische Gebärdensprache war (ASL = American Sign Language), und zeigten ihnen Bilder, auf denen der räumliche Bezug zwischen zwei Objekten zu sehen war (z. B. die Tasse steht *auf* dem Tisch). Aufgabe war es, dazu die entsprechenden Klassifikationsgebärden zu produzieren, die den räumlichen Sachverhalt darstellen. Als Kontrollaufgabe sollten die Objekte lediglich benannt werden. Die Produktion von Klassifikationsgebärden aktivierte den linken und rechten Parietallappen. Nach Vermutung der Autoren kommt dem rechten Parietalkortex dabei eher der Ausdruck der räumlichen Beziehungen in der Gebärdensprache zu, da der Gebärdenraum aktiv durch Bewegungen genutzt wird, um die räumlichen Bezüge darzustellen. Die rechte Hemisphäre des Parietallappens könnte also eine entscheidende Rolle bei der Produktion von räumlichen Beschreibungen in einer manuellen Sprache spielen und wäre folglich für die bewegungsrelevanten Komponenten verantwortlich. Außerdem ist der rechte superiore (obere) Parietallappen bei der Produktion von Klassifikationsgebärden nach Ansicht der Autoren aktiv, da dieser eine Rolle bei der sensomotorischen Integration von Bewegungen durch aktives Vorstellen spielt, und dies in der Folge zu einer internalen Repräsentation von Bewegungen des eigenen Körpers führt. Die linke Hemisphäre des parietalen Kortex ist dagegen vermutlich aktiv, da die Handformen der Klassifikationsgebärden zusätzlich auch Informationen über den Objekttyp verschlüsseln, z. B. „breite Oberfläche“ oder „kleiner quadratischer Gegenstand“ (vgl. Emmorey et al., 2002). MacSweeney et al. (2002) fanden vergleichbare Ergebnisse bei hörenden und gehörlosen Gebärdenden, denen sie topografische (z. B. die

Katze *sitzt auf* dem Stuhl) und nicht-topografische Sätze (z. B. Susi hat einen Bruder) in einer fMRT-Untersuchung darboten. Sowohl Emmorey et al. (2002) als auch MacSweeney et al. (2002) fanden zudem heraus, dass die audiovisuelle Darbietung räumlicher und nicht-räumlicher Bezüge bei Hörenden nicht zu parietalen Aktivierungen führte und die räumliche Beschreibung alltäglicher Gegenstände in der Lautsprache mittels Präpositionen nicht die Areale involvierte, die bei Gebärdensprachnutzern bei räumlichen Bezügen beansprucht wurden. Bei reiner Darbietung räumlicher Bezüge zeigten sich also keine Aktivierungen im parietalen Kortex der Hörenden, wogegen die Produktion von Präpositionen zu Aktivierungen in der linken Hemisphäre dieser Struktur führte (vg. Abschnitt 3.4). Das würde für die vorliegende Studie bedeuten, dass Stimuli, in denen räumliche Bezüge zwischen Objekten im Raum dargestellt sind, bei den Gehörlosen und Gebärdensprachdolmetschern parietale Strukturen aktivieren müssten, wogegen diese Aktivierungen bei den Hörenden ausbleiben müssten. Wie schon erwähnt wird, aufgrund seiner besonderen Stellung, der dorsale Pfad mit seinen für die Gebärdensprachverarbeitung relevanten Funktionen und den Ergebnissen der vorliegenden Studie separat in den Kapiteln 12 bis 15 behandelt und diskutiert.

3.4 Neuronale Besonderheiten durch bilingualen Spracherwerb und -gebrauch

Da in den vorliegenden Untersuchungen die Gebärdensprachdolmetscher eine eigene Versuchsgruppe bildeten, soll an dieser Stelle auf deren Sonderstellung bezüglich der Sprache aufmerksam gemacht werden. Gebärdensprachdolmetscher lassen sich durch einen bilingualen Spracherwerb und -gebrauch kennzeichnen. Das bedeutet, dass sie sowohl die Lautsprache als auch die Gebärdensprache beherrschen. Alle im Folgenden als Bilinguale bezeichneten Personen beherrschen die (deutsche oder englische) Lautsprache sowie die (deutsche oder englische) Gebärdensprache.

In einer Untersuchung von Neville et al. (1998) mussten bilinguale Hörende dargebotene englische und gebärdete Sätze wahrnehmen, während der regionale, zerebrale Blutfluss mittels fMRT gemessen wurde. Die Ergebnisse wiesen eine hohe Beteiligung beider Hemisphären in den klassischen Spracharealen bei der Verarbeitung der Gebärdensprachsätze bei dieser Gruppe sowie auch bei den getesteten Gehörlosen auf. Folglich lassen sich diese Aktivierungen beider Hemisphären nicht auf die auditive Deprivation zurückführen, sondern auf den Gebrauch einer räumlich-visuellen Sprache.

Das Lesen englischer Sätze führte dagegen bei den gebärdenden Hörenden zu den klassischen Aktivierungen in der linken Hemisphäre. Der Bilingualismus und die damit verbundenen spezifischen Verarbeitungsanforderungen der Gebärdensprache verändern folglich teilweise die Organisation der Sprachsysteme im Gehirn (vgl. Neville et al., 1998). Neben Unterschieden in der Lateralisierung der Aktivierungen fanden Emmorey et al. (2005) und Damasio et al. (2001) bilaterale Aktivierungen im Parietalkortex, die durch den Bilingualismus hervorgerufen werden. Sie boten Bilingualen Zeichnungen dar, auf denen Objekte im räumlichen Kontext zu sehen waren, und forderten die Versuchspersonen auf, die entsprechende Klassifikationsgebärde und Präposition zu produzieren. Beide Aufgaben resultierten in einer bilateralen Aktivierung des parietalen Kortex. Im Gegensatz dazu kam es bei Hörenden ohne Gebärdensprachkenntnisse zu ausschließlich linksseitigen Aktivierungen im Parietalkortex, als diese Gruppe Präpositionen lautsprachlich produzieren musste. (vgl. Emmorey et al., 2005; Damasio et al., 2001). Die parietalen Aktivierungen in der rechten Hemisphäre bei Gehörlosen und Bilingualen werden demnach durch den lebenslangen Gebrauch einer räumlichen Sprache generiert. Der Gebrauch der Gebärdensprache erhöht bei Bilingualen kognitive räumliche Fähigkeiten, da die Analyse räumlicher Gegebenheiten einen wichtigeren Stellenwert einnimmt (vgl. Emmorey et al., 2005). Interessanterweise konnten Grosjean, Peng, Münte und Rodriguez-Fornells (2003) bei Bilingualen (hier: die untersuchten Gebärdensprachdolmetscher) auch Aktivierungen in der rechten Hemisphäre im parietalen Kortex bei der Produktion und dem Lesen von Lautsprache nachweisen. Es lässt sich vermuten, dass diese Hörenden die stete Verschlüsselung räumlicher Beziehungen der Gebärdensprache auch bei der Produktion der zweiten Sprache nicht „abschalten“ können, und sich diese erste Sprache auf die Sprachprozesse der zweiten auswirkt (vgl. Grosjean et al., 2003).

Aufgrund einer Studie von Newman, Bavelier, Corina, Jezzard und Neville (2002) soll an dieser Stelle auf ein Problem bezüglich der Aktivierungsmuster der Gebärdensprachdolmetscher-Gruppe hingewiesen werden. Newman et al. (2002) untersuchten 16 Hörende, die die Gebärdensprache von Geburt an gelernt hatten (native signer), und 11 Hörende, welche die Gebärdensprache erst nach der Pubertät erworben hatten. Es wurden geschriebene englische Sätze sowie gebärdete Sätze per Video dargeboten. Newman et al. (2002) interessierten sich vor allem für die Aktivierungen im Gyrus angularis. Der Gyrus angularis der linken Hemisphäre besitzt eine Disposition für die Verarbeitung linguistischer Prozesse, sowohl bei der Verarbeitung gesprochener als auch gebärdeter Sprache. Die rechte Hemisphäre des Gyrus angularis scheint dagegen auf

die Verarbeitung menschlicher Bewegungen und räumlicher Informationen, die der Semantik dienen, spezialisiert zu sein. Nach Durchführung der Tests zeigten sich bei den Gebärdensprach-Muttersprachlern (= native signer) Aktivierungen in der linken und rechten Hemisphäre des Gyrus angularis. Die Personen, die ihre Gebärdensprachkenntnisse erst nach der Pubertät erwarben, wiesen dagegen nur Aktivierungen in der linken Hemisphäre auf. Die Autoren postulierten aufgrund der Ergebnisse eine kritische Phase für die Verarbeitung der Gebärdensprache in rechtshemisphärischen Strukturen. Ihrer Meinung nach nutzen die *native signer* den rechten Gyrus angularis für die räumlich-linguistische Verarbeitung von Gebärdensprache, was den spätlernenden Hörenden, deren Muttersprache die Lautsprache ist, verwehrt bleibt (vgl. Newman et al., 2002). Diese Ergebnisse beziehen sich auf Hörende, welche die Gebärdensprache neben der Lautsprache erlernt hatten, und auf den Gyrus angularis, der zwar afferent mit dem Wernicke-Zentrum verbunden ist, aber nicht Teil dieses Sprachareales ist. Folglich stehen die Ergebnisse dieser Studie nicht im Widerspruch zu den Studien, die bei spätlernenden Gehörlosen vorrangig bilaterale Aktivierungen im Wernicke-Areal fanden.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass es Unterschiede in den Aktivierungsmustern zwischen Gebärdenden, die die Gebärdensprache sehr früh, und solchen, die sie erst spät erlernt haben, gibt. Da die Gruppe der Gebärdensprachdolmetscher bezüglich des Zeitpunktes des Gebärdenspracherwerbes nicht homogen ist, sind vermutlich auch Unterschiede in den Aktivierungen zu erwarten. Allerdings konnten die Dolmetscher innerhalb der Gruppe aufgrund der geringen Gruppenstärke und den damit verbundenen methodischen Problemen nicht nach diesem Kriterium getrennt werden. Folglich müssen inkonsistente Ergebnisse unter diesem eben beschriebenen Gesichtspunkt betrachtet werden.

3.5 Worin besteht der Unterschied zwischen *Gebärden* und *Gesten*?

Da eine der sechs dargebotenen Kategorien allgemeingültige und verständliche *Gesten* waren, soll auf diese spezielle Kategorie im Folgenden genauer eingegangen werden, welche Unterschiede zur Kategorie *Gebärden* bestehen, und welche Areale für die Verarbeitung von Gesten verantwortlich sind.

Die ersten Philosophen bzw. Naturwissenschaftler, die eine Systematik für die Sprache als Zeichensystem aufstellten und nach deren Ansicht Dinge und Zeichen / Gebärden / Gesten

willkürlich verbindbar sind, waren Descartes (1598-1650) und Abbé de l'Épée (1712-1789) (vgl. Nöth, 1992). Somit strukturierten diese beiden Philosophen die Sprache im Ansatz.

Zahlreiche Literaturangaben machen divergente Angaben darüber, ob Gesten respektive Gebärden getrennt von der Sprache zu betrachten sind, oder ob Sprache gestenartig ist. Zudem wird häufig diskutiert, inwiefern der Gesichtsausdruck in die Definition von Gebärden und Gesten mit einbezogen werden muss, oder ob Gesten und Gebärden nur durch die Aktivität der oberen Extremitäten gekennzeichnet sind (vgl. Armstrong, Stokoe & Wilcox, 1995).

Nach Nöth (1992) versteht man heute unter Gebärden konventionelle Handzeichen als Bedeutungsträger (Übermittlung von Informationen), die analog zu Worten in der Lautsprache gelten. Gebärden müssen erlernt werden und werden nur innerhalb derer Personenkreise verstanden, die ebenfalls Gebärdenkenntnisse erworben haben. Gebärden lassen sich in einzelne Komponenten zerlegen und sind Träger grammatikalischer Bedeutungen. Sie werden vorrangig mit den Händen, in Verbindung mit Mimik, Mundbild und im Kontext mit der Körperhaltung gebildet, und dienen der nonverbalen Kommunikation (vgl. Nöth, 1992).

Gesten dagegen sind internationale, nicht aus Komponenten bestehende, symbolische Strukturen: jede Geste präsentiert eine einzelne Bedeutung und dient ebenfalls der nonverbalen Kommunikation. Gesten müssen zwar ebenfalls erlernt werden, werden aber im Gegensatz zu Gebärden von Hörenden und Gehörlosen sowie zwischen verschiedenen Kulturkreisen verstanden. Ausnahmen bilden kulturspezifische Gesten (z. B. das Kopfschütteln als Zustimmung bei der indischen Kultur). Gesten können in deiktische (hinweisend, zeigend), ikonische (bildhaft, anschaulich) und lexikalisierte (z. B. Daumen und Zeigefinger reiben, um „Geld“ anzudeuten) Gesten unterteilt werden, wobei hier bezüglich dieser Untersuchung die letztgenannte Form interessiert (vgl. Armstrong et al., 1995).

Anhand der Merkmale von Gesten und Gebärden ist erkennbar, dass zwar beide Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede aufweisen. Für die hier vorliegende Untersuchung von Interesse ist die Frage, ob es vergleichbare neuronale Muster bei der Verarbeitung von Gebärden durch Gehörlose und Gesten durch Hörende gibt. Diese Vermutung liegt nahe, da beide Kategorien durch die gleiche Modalität übertragen werden (visuell-manuell) und so im Kontrast zu dem gehörten Wort stehen. Außerdem ist von Interesse, welche Unterschiede Gehörlose in der Verarbeitung von den ihnen

verständlichen Gesten und Gebärden zeigen, und wie Hörende die ihnen fremden Gebärden im Gegensatz zu den ihnen bekannten Gesten verarbeiten.

3.5.1 Einordnung des Begriffes „Gesten“

Kontrovers zu den Ansichten von McNeill (1992) und Burling (1993), die Gesten und Sprache aufgrund der fehlenden hierarchischen Struktur der Gesten als nicht miteinander vergleichbar erachteten, postulierte Greenfield (1991) das Gegenteil. Seinen Beobachtungen an Schimpansen und Kindern bezüglich ihres Umganges mit Werkzeug zufolge, unterstützte er folgende Behauptung: es gibt eine deutliche Beziehung zwischen der hierarchisch-organisierten Struktur der Sprache und der Objektkombinierung mit den Händen. Nach seiner und der Meinung anderer Autoren sind Schaltkreise im linken Frontallappen sowie das Broca-Areal die kortikale Grundlage für die hierarchische Organisation von Gesten und manueller Objektkombination. Als Ursprung für die vergleichbare ontogenetische Entwicklung von Sprache und den Umgang mit Objekten wird das Broca-Areal vermutet. Da das Wesen von Gesten intermodal (motorisch, perzeptual, kinästhetisch) ist, wird sicher nicht ein einzelnes Areal für die Verarbeitung dieser Kategorie beansprucht. Nach Deane (1991) ist aber der inferiore Parietallappen, welcher außerdem diese verschiedenen Modalitäten integriert, verantwortlich für die grammatikalische Kompetenz von Sprache.

3.5.2 Welche neuronalen Korrelate hängen mit der Verarbeitung von Gesten zusammen?

Eine Untersuchung mit Gesten führten Hermsdörfer et al. (2001) durch. Im Vordergrund des Interesses standen die kortikalen Beziehungen und zerebralen Mechanismen, die der Nachahmung von bedeutungslosen Handbewegungen (gestenähnlich) unterliegen. Hermsdörfer et al. (2001) boten sieben Rechtshändern statische, gepaarte Gestenbilder mit verschiedenen bedeutungslosen Hand- und Fingerhaltungen dar. Die Probanden sollten entscheiden, ob es sich um identische oder verschiedene Bilder handelte. Als Kontrollbedingung sollte angegeben werden, ob die Person auf den gepaarten Bildern die Gleiche war. Die Versuchspersonen mussten folglich die Hand- und Fingerstellungen auf den Bildern diskriminieren. Die Ergebnisse bewiesen die linkshemisphärische Dominanz für die Verarbeitung der Handgesten und die Involvierung des parietalen Kortex, der

visuellen Assoziationskortex und des dorsalen Pfades. Dieses Netzwerk verschiedener Areale reflektiert nach Ansicht der Autoren das Netzwerk, welches für die reale Ausführung solcher Gesten beansprucht wird. Bei der Diskriminierung der Fingergesten zeigten sich vergleichbare Aktivierungen zu den Handgesten. Allerdings wiesen die Ergebnisse zusätzliche bilaterale Aktivierungen auf, die vermutlich aus einer präziseren räumlichen Analyse resultierten. Zusammengefasst ist bei der Wahrnehmung bedeutungsloser Gesten ein linksdominantes Netzwerk aktiv, das auch eine entscheidende Rolle bei der Ausführung solcher Gesten spielt (vgl. Hermsdörfer et al., 2001). Die linkshemisphärischen Aktivierungen bei Gestenverarbeitung lassen sich vermutlich damit erklären, dass auch bei dieser Aufgabe Informationen über den Objekttyp entschlüsselt werden müssen (Handhaltung). Die Informationen zu Objekttypen und –klassen wurden auch schon in der Untersuchung von Emmorey et al. (2002) der linken Hemisphäre zugeschrieben (vgl. Abschnitt 3.3.6).

Aufgrund des eben aufgeführten intermodalen Wesens von Gesten interessiert die Klärung der Fragen, in welchen Arealen Gehörlose und Hörende Gesten verarbeiten, und ob sich diese beiden Gruppen hinsichtlich der Verarbeitung von Gesten unterscheiden.

Im folgenden Abschnitt werden die Hypothesen formuliert, die sich bezüglich verschiedener Hirnareale aus den bis hierher beschriebenen Besonderheiten der Gebärdensprache für Gebärdensprachnutzer ergeben. Dadurch entstehen Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu den hörenden Kontrollgruppen. Die Hypothesen bezüglich der hier untersuchten vier Gruppen (Gehörlose, Gebärdensprachdolmetscher, Kontrollgruppe 1, Kontrollgruppe 2) zu den Arealen Broca, Wernicke, ventraler Pfad und Gyrus praecentralis sind im folgenden Kapitel 4 nachzulesen.