

1. Einführung

Die höheren kognitiven und emotionalen Funktionen, die lokalisateurisch v.a. dem präfrontalen Kortex (PFC) zugeschrieben werden, nehmen sowohl in der neuropsychologischen Forschung als auch in der Diagnostik und Therapie von zerebral geschädigten Patienten eine Schlüsselrolle ein. Dies deshalb, weil sich durch die moderne Hirnforschung die einstigen Vermutungen zu Fakten verdichtet haben, dass in den Frontallappen, insbesondere im präfrontalen Kortex, die höchsten kognitiven und emotionalen Funktionen ihr physisches Korrelat finden und man mit Recht annehmen darf, dem spezifisch Menschlichen zumindest neuroanatomisch hier am nächsten zu sein.

Funktionsstörungen des präfrontalen Kortex können, im Gegensatz zu denen anderer Kortexareale, die relativ homogene Störungsbilder nach sich ziehen (z.B. visuelle, auditive oder somatosensorische Wahrnehmungsstörungen, räumliche Verarbeitungsstörungen, Lern- und Gedächtnisstörungen oder Sprachstörungen), aussergewöhnlich vielschichtig sein. Neben Beeinträchtigungen der höheren kognitiven Funktionen treten oft auch komplexe Verhaltensveränderungen und Affektdysregulationen auf. Derartige, als Persönlichkeitsveränderungen wahrzunehmende Symptome treten sonst nur noch (auf elementarer Stufe) durch Störungen des limbischen Systems oder der Temporalpole auf, die wiederum ihrerseits aufs Engste mit dem präfrontalen Kortex neuronal verknüpft sind. Obwohl ein abschliessendes theoretisches Modell der präfrontalen Funktionen noch ausstehend ist, gibt es doch einige Modellansätze, die dieser funktionalen Vielschichtigkeit Rechnung tragen. Sie werden in Kapitel 4 vorgestellt.

Man dürfte nun erwarten, dass sich die funktionale Multidimensionalität des präfrontalen Systems auch in den klinischen Untersuchungsmethoden widerspiegelt. Tatsächlich verfügt die Neuropsychologie mittlerweile über eine beachtliche Anzahl von Testverfahren, die es erlauben, einzelne Aspekte aus dem angedeuteten Spektrum der präfrontalen Funktionen zu beschreiben und zu quantifizieren (Lezak, 1995). Insbesondere die höheren Funktionen wie die Konzeptbildung und Konzepterkennung (Abstraktionsvermögen), die Konzeptumstellung (set-shifting), die Interferenzanfälligkeit, die spontane Flexibilität bzw. Ideenproduktion, das Arbeitsgedächtnis sowie Facetten der Handlungsplanung, der Sequenzierung und der (motorischen) Impulskontrolle sind einer formalen Prüfung zugänglich geworden. Das Gemeinsame

all dieser Testverfahren ist, dass sie in der Regel ein objektives, rationales und meistens auch ein bewusstes Denken im Auge haben, das den Gesetzen der Logik gehorcht und das objektiv, also unabhängig vom denkenden oder handelnden Subjekt, als richtig oder falsch bewertet werden kann.

In der Klinik präsentieren sich Fälle zerebraler Schädigungen, die auf der Ebene dieser objektiv-rationalen Denkfunktionen erstaunlich geringe Beeinträchtigungen aufweisen, in der konkreten Gestaltung und Bewältigung ihres Lebens, in ihrem Gefühlsleben und im Sozialverhalten, also im individuellen und subjektiven Bezug, aber deutlich beeinträchtigt oder verändert sind (Angrilli, Palomba, Cantagallo, Maietti, & Stegagno, 1999; Eslinger & Damasio, 1985). Methoden zur Erfassung solcher Beeinträchtigungen gibt es wenige und sie sind oft nicht adäquat (Cripe, 1996). Diesen Mangel in der neuropsychologischen Untersuchung stellen auch Goldberg und Podell fest, die eine Unterteilung der Denk- und Entscheidungsprozesse in verifizierende und in adaptive vorschlagen, wobei sie insbesondere Letztere als eine Funktion des präfrontalen Kortex sehen (Goldberg & Podell, 2000). In der Regel würden die neuropsychologischen Verfahren ein verifizierendes, aber kaum ein adaptives Denken und Entscheiden untersuchen, wodurch die ökologische Testvalidität empfindlich eingeschränkt werde, denn im konkreten Alltag erforderten die meisten Entscheidungssituationen eine adaptive und nicht eine verifizierende Verarbeitung. Eine verifizierende Entscheidungsfindung impliziert, dass die Richtigkeit der Entscheidung intrinsisch in der externen Situation vorgegeben und unabhängig vom entscheidenden Subjekt ist. Ein adaptiver Entscheidungsprozess hingegen richtet sich an (subjektiven) Prioritäten aus und ist nicht auf einen objektiven Sachverhalt, sondern auf das Handlungssubjekt und dessen inneren Zustand zentriert, welches letztlich auch das Mass für die Adäquanz der Entscheidung ist. Die adaptiven, subjektzentrierten und emotionalen Denkprozesse können somit als Komplementärsystem gegenüber den verifizierenden, objektzentrierten und rational-logischen Denkprozessen verstanden werden.

Ziel dieser Dissertation ist es, aus Sicht der Neuropsychologie und mittels experimental-psychologischen Methoden einen Beitrag zur Beschreibung dieses Komplementärsystems zu leisten. Es soll versucht werden, Situationen zu generieren, die sich einer objektiv-rationalen Verarbeitung weitgehend entziehen und so gezwungenermassen durch die subjektiv-adaptiven Funktionen verarbeitet werden müssen. Hierfür gilt es Experimente zu entwickeln, in denen eine Entscheidung gefordert wird bzw. ein Problem gelöst werden muss, wobei:

- die dargebotenen Informationen mehrdeutig, unvollständig oder unklar sind

- eine Verarbeitung auf der Ebene des objektiv-rationalen Denkens nicht möglich ist und somit kein Beitrag zur Entscheidungsfindung oder zur Lösung durch dieses Denken resultieren kann
- nur der Anschein erweckt wird, als sei eine objektiv-rationale Verarbeitung gefordert bzw. möglich, es in Wirklichkeit aber eine objektiv 'richtige' Lösung nicht gibt

Mehdeutigkeit (Ambiguität), Unentschiedenheit (Ambivalenz) und Ausweglosigkeit (Aporie) sollen also die Kernmerkmale der experimentellen Situationen sein, welche die anvisierten Funktionsaspekte aktivieren und einer Beobachtung zugänglich machen sollen. Dabei stehen zwei Fragekomplexe im Vordergrund:

1. Welches sind die Unterschiede in der Verarbeitung von Ambiguität, Ambivalenz und Aporie zwischen zerebral gesunden und zerebral geschädigten Menschen?

Welchen Einfluss haben zerebrale Schädigungen auf die subjektiv-adaptiven Denkprozesse?

2. Welche Rolle spielt der Ort der Läsion (Lateralität) bei der Verarbeitung von Ambiguität, Ambivalenz und Aporie?

Lassen sich bei den subjektiv-adaptiven Denkfunktionen hemisphärenspezifische Charakteristika nachweisen?

Der zweite Fragekomplex drängt sich auf Grund bisheriger Forschungsergebnisse auf, die darauf hinweisen, dass sich insbesondere bei Präferenzentscheiden (dieser Entscheidungstypus wird in einem Teil der vorgeschlagenen Experimente primär gefordert, wenn eine objektiv-rationale Verarbeitung nicht möglich ist) die linke und die rechte Hemisphäre tendenziell unterscheiden (Brugger & Regard, 1995; Goldberg & Podell, 2000; Gysi, 1996; Regard, 1991; Regard, Cajóri, & Landis, 1987; Regard & Landis, 1988; Röhrenbach, 1995).

Unsere Arbeit beginnt in Kapitel 2 mit anatomischen Betrachtungen der Frontallappen und insbesondere deren Verbindungen mit anderen Hirnstrukturen. Dabei werden wir sehen, dass es speziell beim präfrontalen Kortex keinen Sinn macht, diesen in seiner Funktion isoliert zu denken. Es zu tun wäre ähnlich absurd, als stellte man sich die Funktion einer Telefonzentrale ohne Telefone vor. Das 3. Kapitel präsentiert ein Kaleidoskop von Funktionen und möglichen Fehlfunktionen des präfrontalen Kortex. Dabei wird offensichtlich, dass unser Testinstrumentarium das Funktionsspektrum des präfrontalen Kortex nur verzerrt wiedergibt. Während die unter der Überschrift "Denken" aufgeführten Funktionen auf Testebene relativ gut repräsentiert sind, finden sich für die Funktionen unter "Handeln und Fühlen" (ausser den zur Funktion sich bloss *indirekt* verhaltenden Selbst- und Fremdeinschätzungsfragebögen) keine die

Funktion *direkt* messenden Verfahren. Kapitel 4 stellt eine Auswahl von theoretischen Modellen vor, die versuchen, das Kaleidoskop von Funktionen zu systematisieren und zu integrieren. So gewappnet wagen wir im 5. Kapitel den methodischen Paradigmenwechsel mit Aufgaben, die ein adaptives Entscheidungsverhalten erfordern. Mit welchen Mitteln das geschehen soll, erfahren wir in Kapitel 6, wo die neu entwickelten Experimente vorgestellt werden. Gleich im Anschluss, bei der Präsentation der Untersuchungsergebnisse im 7. Kapitel, werden wir erfahren, ob unsere Überlegungen nur Hirngespinnste waren oder, ob sich das Hirn im eigenen Gespinnst verfangen hat. Im 8. Kapitel schliesslich versuchen wir unsere Ergebnisse mit anderen Befunden und Theorien aus den Neurowissenschaften in Beziehung zu setzen und in ein vorläufiges Bild einzufügen.

2. Anatomie der Frontallappen

Die Frontallappen des Menschen umfassen knapp die Hälfte der gesamten Kortexoberfläche (Damasio, 1991). Allein der präfrontale Kortex (PFC), der anteriore Teil der Frontallappen, bedeckt annähernd einen Drittel (29%) der Kortexoberfläche (Fuster, 1997) und stellt, wie wir später sehen werden, den funktionell komplexesten Teil des menschlichen Gehirns dar. Der präfrontale Kortex ist der phylogenetisch jüngste Teil unseres Gehirns. Gleichzeitig ist es ontogenetisch diejenige Region des Neokortex, die am längsten bis zur Ausreifung braucht, nämlich bis in die späte Adoleszenz. Obwohl als Letzte ausgereift, ist sie paradoxerweise als Erste dem Altersabbau unterworfen (Fuster, 1999).

Um die funktionelle Vielseitigkeit dieser Kortexregion und deren strategische Bedeutung innerhalb des Gehirns verstehen zu können, wollen wir uns zunächst mit der Anatomie der Frontallappen und deren neuronalen Verbindungen beschäftigen. Dies soll aus verschiedenen, sich ergänzenden Blickwinkeln geschehen.

2.1. Morphologie

Die Frontallappen werden posterior durch den Sulcus centralis (Rolandsche-Fissur, Zentralfurche) und lateral durch den Sulcus lateralis (Sylvische-Fissur) begrenzt (Abbildung 2.1). Die mediale Oberfläche reicht bis zum Corpus callosum (Abbildung 2.2).

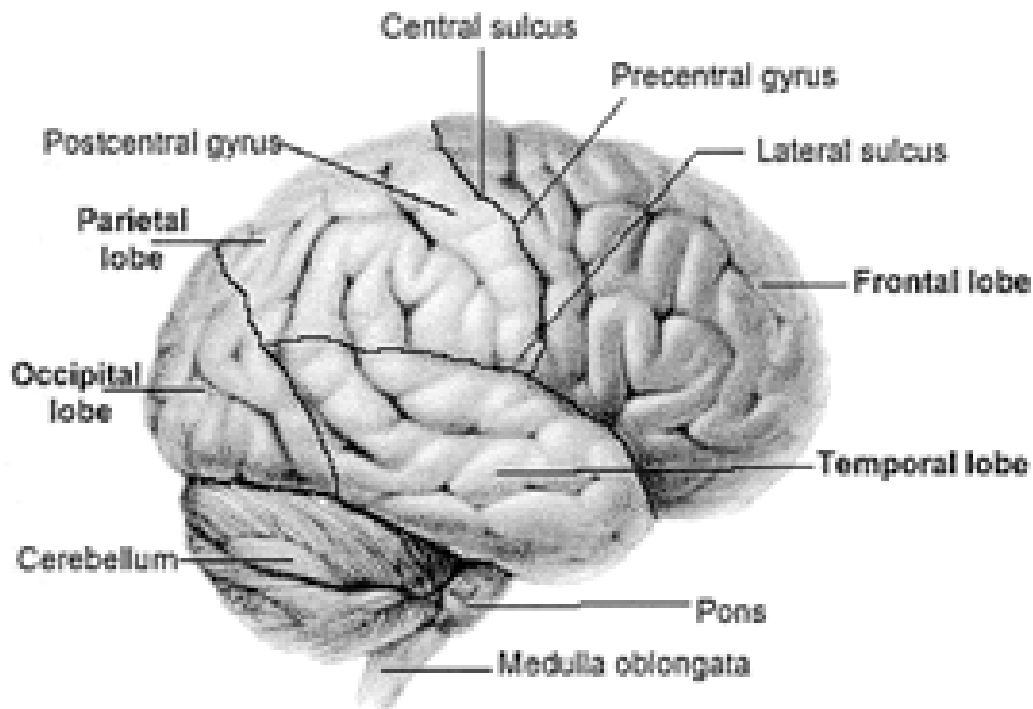


Abbildung 2.1: Lateralansicht der Kortexoberfläche und ihre Unterteilung in Lappen (www.le.ac.uk/~va/ anatomy/case3/brains4.gif).

Der Kortex gliedert sich makroskopisch in Furchen (Sulci) und Windungen (Gyri). Die laterale Konvexität der Frontallappen wird vom Scheitel her seitlich abfallend in den Gyrus frontalis superior, den Gyrus frontalis medius und den Gyrus frontalis inferior unterteilt. Medial grenzt der Sulcus cinguli den Gyrus cinguli vom medialen Anteil des Gyrus frontalis superior ab. Die Gyri orbitales bilden zusammen mit dem Gyrus rectus und dem Bulbus olfactorius die ventrale oder basale Oberfläche der Frontallappen. Das kaudale Ende der Frontallappen bildet der direkt vor dem Sulcus centralis liegende Gyrus precentralis (Abbildung 2.3 und Abbildung 2.4).

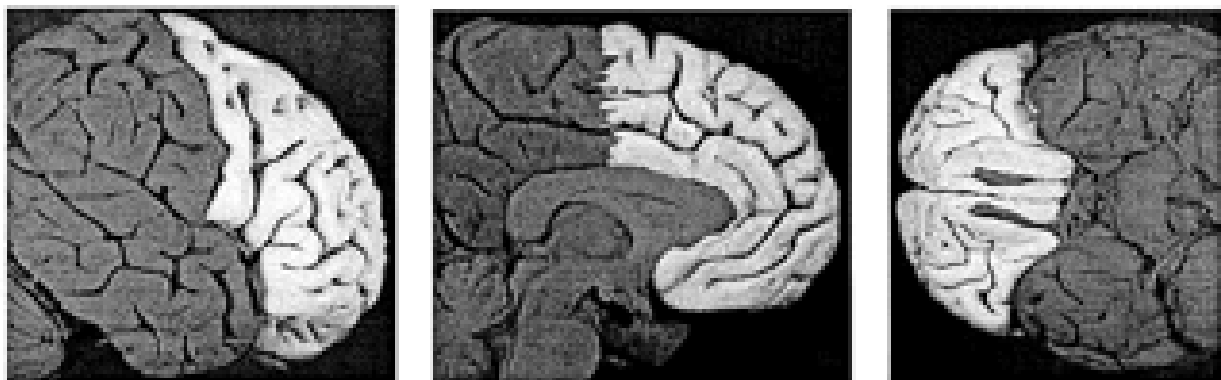


Abbildung 2.2: Die Frontallappen von lateral, medial und ventral (<http://www.sci.uidaho.edu/med532/frontal.htm>).

Lateral Gyri

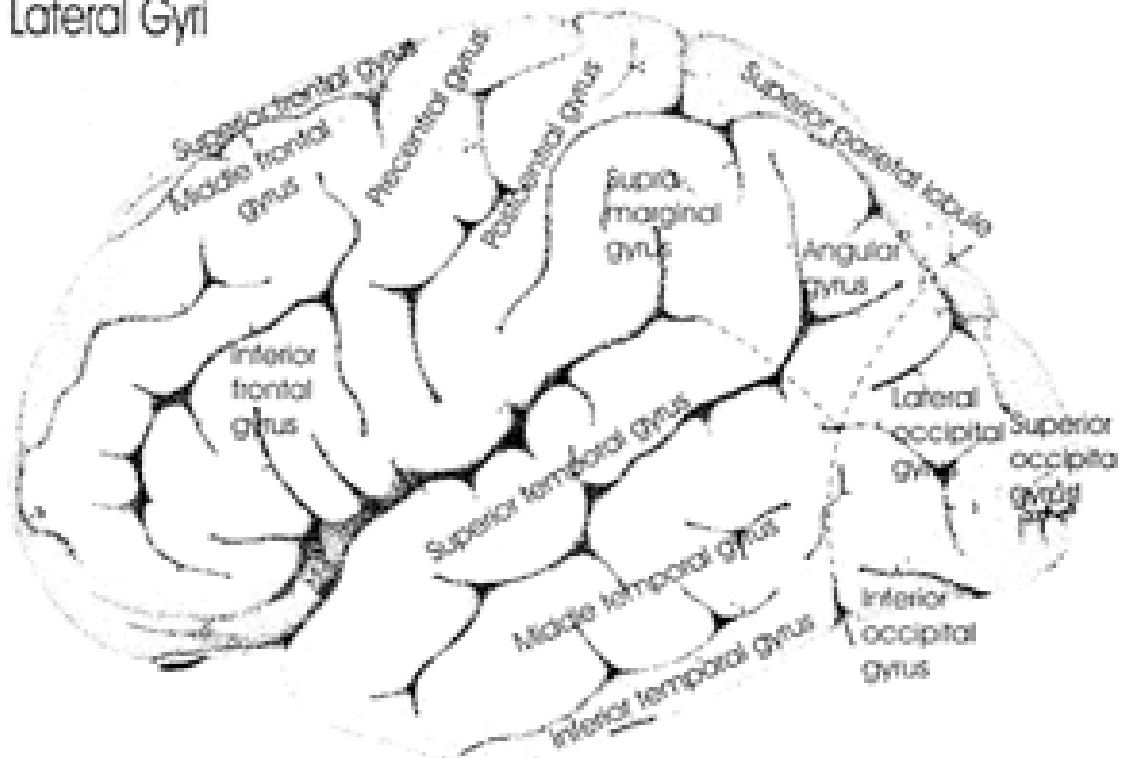


Abbildung 2.3: Die Gyri des zerebralen Kortex von lateral (http://defiant.ssc.uwo.ca/Jody_web/fMRI4Dummies/anatomical_brains.htm).

Medial Gyri

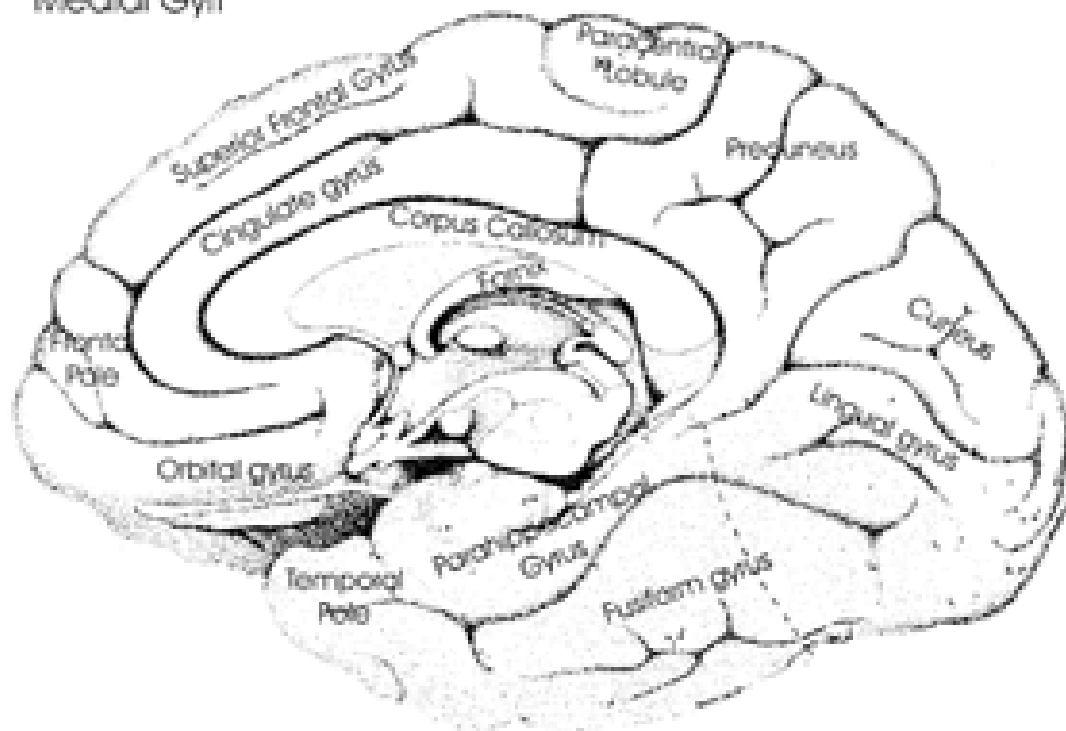


Abbildung 2.4: Die Gyri des zerebralen Kortex von medial (http://defiant.ssc.uwo.ca/Jody_web/fMRI4Dummies/anatomical_brains.htm).

2.2. Zytoarchitektonik und funktionelle Einheiten

Basierend auf dem Zellaufbau hat Brodmann den Kortex in zytoarchitektonische Felder, die sogenannten *Brodmann-Areale (BA)* unterteilt (Brodmann, 1909), (Abbildung 2.5). Die zytoarchitektonische Aufteilung der Frontallappen steht in direktem Zusammenhang mit der funktionellen Aufteilung. Es können folgende Funktionseinheiten unterschieden werden: motorisch (BA 4), prämotorisch (BA 6, 44, 8), präfrontal-dorsolateral (BA 9, 10, 45-47), präfrontal-orbital (BA 11, 12) und limbisch (24, 25, 32) (Damasio, 1991; Kaufer & Lewis, 1999). Das frontale Augenfeld und das Broca-Areal sind Teile des motorischen Assoziationskortex (Abbildung 2.6).

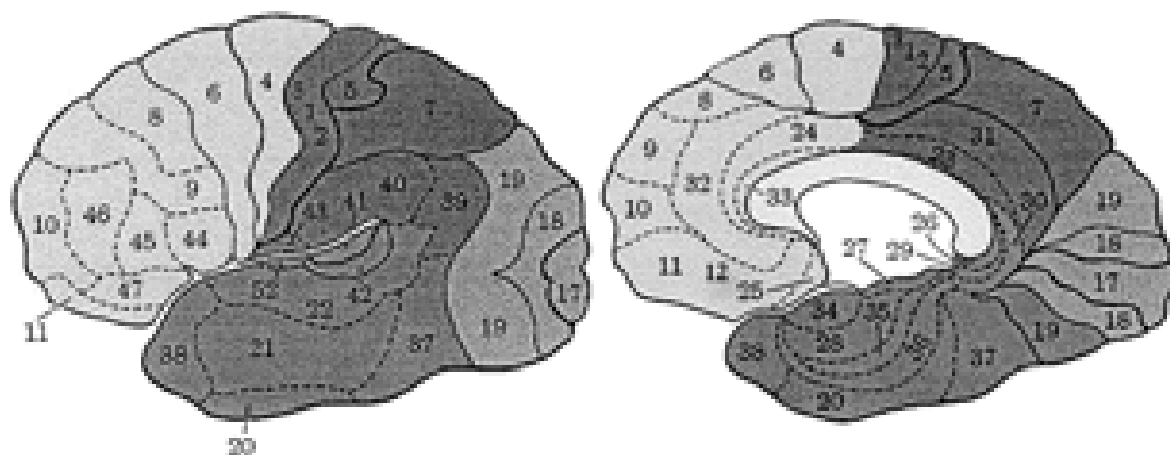


Abbildung 2.5: Gliederung der Kortexoberfläche in Brodmann-Areale von lateral (links) und medial (rechts); (<http://www.umich.edu/~cogneuro/jpg/Brodmann.html>).

Areal 4 repräsentiert den primärmotorischen Kortex. Daran anliegend ist der prämotorische Kortex, Area 6, dessen medialer Anteil supplementärmotorischer Kortex genannt wird. Area 8 enthält das frontale Augenfeld, welches in die Kontrolle der Okulomotorik involviert ist. Neben den Areas 6 und 8 gehören auch Area 44, welches zusammen mit Area 45 das motorische Sprachzentrum (Broca-Areal) bildet, zum motorischen Assoziationskortex.

Der präfrontale Kortex, zu dem die bisher genannten Areas nicht gezählt werden, nimmt die grösste Fläche auf den Frontallappen ein. Er setzt sich aus den Brodmannareas 8-12 und 44-47 zusammen (Goldberg, 2001) (Area 13 wird beim Menschen unter Area 47 subsumiert (Pandya & Yeterian, 1998)). Der präfrontale Kortex wird üblicherweise in drei Einheiten unterteilt: der dorsolateral-präfrontale Kortex (BA 9, 10, 45-47), der orbitofrontale Kortex (BA

11, 12) und die paralimbische Region bzw. der medio-frontale Kortex (BA 24, 25, 32) (Kaufer & Lewis, 1999).

Eine weitere Möglichkeit, den präfrontalen Kortex in seiner räumlichen Ausdehnung zu definieren und abzugrenzen, ist durch seine subkortikalen Verbindungen mit dem Thalamus gegeben. Nach Fuster stellt das Projektionsgebiet des Nucleus medialis thalami ein sehr sensibles Kriterium für die topographische Ausdehnung des präfrontalen Kortex dar (Fuster, 1997). Der Thalamuskern lässt sich in drei Bereiche unterteilen, von denen jeder zu einer spezifischen Region des präfrontalen Kortex projiziert. Dies sind der dorsolaterale Kortex, der orbitofrontale Kortex und das frontale Augenfeld (Kolb & Whishaw, 1985).

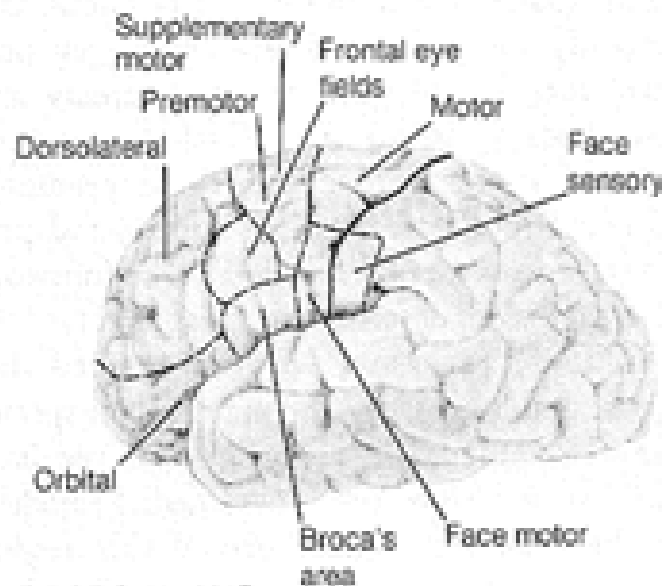


Abbildung 2.6: Unterteilung des frontalen Kortex in funktionelle Felder (Kolb & Whishaw, 1985).

Schliesslich kann der präfrontale Kortex biochemisch als das Kortexgebiet definiert werden, das Projektionen des mesokortikalen Dopaminsystems erhält (Goldberg, 2001).

Welche Methode auch immer gewählt wird, die anatomischen Grenzen sind fließend und teilweise umstritten. Für unsere weiteren Betrachtungen stellen die bisherigen Ausführungen jedoch eine ausreichend solide Basis dar.

2.3. Verbindungen des frontalen Kortex

Der präfrontale Kortex ist der neuronal am intensivsten verbundene Teil des Gehirns (Goldberg, 2001). Er unterhält direkte Verbindungen zu jeder einzelnen Funktionseinheit des Gehirns (Nauta, 1972). Es bestehen Verbindungen zum posterioren Assoziationskortex, zum