Aus der Klinik für Neurologie

der Universität zu Lübeck

Direktor: Prof. Dr. D. Kömpf

Visuelle Suche bei Hemineglect nach Hirninfarkten

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der Universität zu Lübeck

- Aus der Medizinischen Fakultät -

vorgelegt von

Urban Hansen

aus

Freiburg

Lübeck 2005

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Wolfgang Heide
2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Peter Vieregge

Tag der mündlichen Prüfung: 02.12.2005
zum Druck genehmigt. Lübeck, den 02.12.2005

gez. Prof. Dr. med. Wolfgang Jelkmann
- Dekan der Medizinischen Fakultät -

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ..... **I**

Abkürzungsverzeichnis ..... **III**

1 EINLEITUNG **1**

1.1 Neglect **1**
1.1.1 Einführung 1
1.1.2 Definition des Neglect 1
1.1.3 Symptomatik 2
1.1.4 Lokalisation kritischer Hirnareale 3
1.1.5 Pathophysiologie 4
1.1.6 Diagnostik 6
1.1.7 Ausprägung, Häufigkeit und Verlauf 8
1.1.8 Therapie 9

1.2 Augenbewegungen und Hemineglect **10**
1.2.1 Kortikale Sakkadenkontrolle 10
1.2.2 Augenbewegungsanalyse beim Hemineglect 12
1.2.3 Das Paradigma der Visuellen Suche 13

1.3 Fragestellung **15**

2 MATERIAL UND METHODEN **16**

2.1 Ein- und Ausschlusskriterien und Voruntersuchungen **16**

2.2 Untersuchungskollektiv **16**

2.3 Versuchsaufbau und -ablauf **18**
2.3.1 Stimuli und Präsentation 19
2.3.2 Messtechnik 20

2.4 Datenerfassung **21**
2.4.1 Kalibrierung 22
2.4.2 Sakkaden 22
2.4.3 Fixationen und Refixationen 22

2.5 Manuelle und statistische Auswertung **24**

3 ERGEBNISSE **25**

3.1 Suchverlauf **25**

3.2 Absolute Bearbeitungsdauer **28**

3.3 Relative Bearbeitungsdauer **30**
3.3.1 Einfluss der Objektanzahl (Set-Size) 30
3.3.2 Einfluss der Suchaufgabe 31

3.4 Räumliche Verteilung der Suchaktivität 33
3.4.1 Globale Verteilung (zweidimensional) 33
3.4.2 Horizontale Verteilung (eindimensional) 35

3.5 Sakkadenparameter 36
3.5.1 Relative Sakkadenhäufigkeit 37
3.5.2 Sakkadenamplituden 39

3.6 Suchergebnis 42

3.7 Targetrefixationen 43
3.7.1 Einfluss der Anzahl von Zielreizen 43
3.7.2 Einfluss der Suchaufgabe 44

3.8 Reklickrate 45

4 DISKUSSION 46

4.1 Effizienzanalyse 46
4.1.1 Suchergebnis (Anteil gefundener Zielreize) 47
4.1.2 Bearbeitungsgeschwindigkeit 48

4.2 Grundlegende Explorationsdefizite beim Hemineglect 50
4.2.1 Sensorische und okulomotorische Defizite 50
4.2.2 Aufmerksamkeits-, Repräsentations- und Transformationsdefizite 51

4.3 Suchstrategien 54
4.3.1 Suchstrategien bei Normalprobanden 54
4.3.2 Suchstrategien beim Hemineglect 55

4.4 Assoziierte Defizite 58
4.4.1 Parallele versus serielle Suche 58
4.4.2 Räumliches Arbeitsgedächtnis, Remapping oder Perseverationen 62

5 KRITISCHE ANMERKUNGEN 67

5.1 Schlussfolgerungen und Aussichten 68
5.1.1 Frontaler versus parietaler Neglect 68
5.1.2 Manifester und „remittierter“ Neglect 69

6 ZUSAMMENFASSUNG 71

7 LITERATURVERZEICHNIS 72

8 DANKSAGUNG 85

9 LEBENSLAUF 86

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	-	Varianzanalyse (Analysis of Variance)
FEF	-	Frontales Augenfeld (frontal eye field)
FN	-	Frontale Hirnläsion mit ausgeprägtem Neglect
FR	-	Frontale Hirnläsion mit remittiertem Neglect
IOR	-	Inhibition of Return
NET	-	Neglecttest (standardisiertes Diagnostikmanual)
PEF	-	Parietales Augenfeld (parietal eye field)
PFC	-	Präfrontaler Kortex
PN	-	Parietale Hirnläsion mit ausgeprägtem Neglect
PPC	-	Posteriorer parietaler Kortex
PR	-	Parietale Hirnläsion mit remittiertem Neglect
SWM	-	Räumliches Arbeitgedächtnis (Spatial Working Memory)

1 Einleitung

1.1 Neglect

1.1.1 Einführung

Obwohl frühe Beschreibungen von Phänomenen der Vernachlässigung einer Raum- oder Körperhälfte als Folge von Hirnschädigungen bis ins späte 19. Jahrhundert [134], [144] (aus [201]) zurückreichen, konnte der Nachweis der genauen pathomorphologischen Korrelate derartiger Störungen erst in den letzten Jahrzehnten, dank der Entwicklung moderner bildgebender Verfahren, erbracht werden. Mittlerweile zeugt eine beachtliche Anzahl an Studien von dem großen wissenschaftlichen Interesse dem neuropsychologischen Syndrom auf den Grund zu gehen, dessen vielgestaltige Erscheinungsbilder unter Begriffen wie *Hemineglect* oder *unilateraler Neglect* subsumiert werden. Kognitionswissenschaftler und Kliniker finden im Neglect bis heute einen scheinbar unversieglichen Quell spannender Befunde, die sich mit den gegenwärtig diskutierten pathophysiologischen Modellen noch immer nicht vollständig erklären lassen (Übersichtsarbeiten: [59], [109], [189]). Diesem Überfluss steht aber auch ein Mangel gegenüber, den in erster Linie die betroffenen Patienten zu spüren bekommen. Noch immer fehlen allgemein anerkannte Therapieverfahren zur Behandlung des Neglect [22], [145] – wohlgemerkt einer Störung, die zu den häufigsten kognitiven Dysfunktionen nach rechtshemisphärischen Schlaganfällen zählt [140].

Die vorliegende Arbeit soll zur Weiterentwicklung des Verständnisses über den visuellen Hemineglect beitragen. Dabei wird sich die Analyse des visuellen Suchverhaltens als vortreffliche Methode erweisen, um sehr empfindlich und dabei gleichzeitig umfassend die einzelnen Defizite des Hemineglectsyndroms aufzudecken.

1.1.2 Definition des Neglect

Eine allgemein akzeptierte Definition des Neglect[1] ist, die Unfähigkeit auf Reize zu reagieren, von ihnen zu berichten oder sich ihnen zuzuwenden, wenn diese in dem Halbfeld dargeboten werden,

[1] lat. neglegere – vernachlässigen.

welches der zugrunde liegenden Hirnschädigung gegenüberliegt [21], [83]. Für die Entstehung dieser Störung sind dabei weniger primär sensorische oder motorische Funktionsausfälle ausschlaggebend, als vielmehr verschiedene teilweise gemeinsam, teilweise auch unabhängig voneinander auftretende Defizite höherer kognitiver Funktionen [180]. Die für die Symptomatik kennzeichnenden unilateralen Vernachlässigungsphänomene sind von supramodaler Natur und können sich vor allem auf der visuellen aber auch taktilen oder auditorischen Ebene manifestieren.

1.1.3 Symptomatik

Mit Abstand am besten erforscht und häufig für Untersucher und Angehörige besonders eindrucksvoll ist der *visuelle Hemineglect*. Betroffene Patienten fallen durch ein in der Regel linksseitig vermindertes visuelles Explorationsverhalten auf, welches sich bis hin zum völligen Fehlen spontaner Augen- und Kopfbewegungen in dieser Raumhälfte steigern kann [202]. Das hat beispielsweise zur Folge, dass Personen oder Gegenstände, die sich zur linken Seite des Patienten befinden, nicht ausreichend beachtet oder sogar gänzlich übersehen werden. Dabei kann der Eindruck entstehen, als hätten die Patienten vollkommen das Bewusstsein für die Existenz der linken Raumhälfte verloren oder als werde ihre gesamte Aufmerksamkeit durch das äußere Ende des rechten Raumes wie magnetisiert angezogen [42]. Kurzfristig kann dann der Versuch, ihre Aufmerksamkeit durch auffällige verbale oder optische Hinweisreize auf die nicht beachtete Seite zu lenken, zwar erfolgreich sein, allerdings verschwindet das Bewusstsein der Patienten für die vernachlässigte Raumhälfte oft sehr schnell wieder [71].

In engem Zusammenhang mit den Aufmerksamkeitsdefiziten stehen Störungen der geistigen Repräsentation des Raumes im Zentrum der Symptomatik beim Neglect. Mit Raumrepräsentation gemeint ist hier das von unserem Gehirn ständig in einer Art inneren Landkarte generierte und aktualisierte geistige Abbild unserer Umwelt. Neglectpatienten haben häufig Schwierigkeiten auf einen Teil dieser inneren Landkarte zuzugreifen. Das von Eduardo Bisiach und Claudio Luzzatti beschriebene und fast schon legendäre „Piazza-del-Duomo-Phänomen“ illustriert diesen Sachverhalt sehr anschaulich [19]:

Es handelt sich um den Fall eines Neglectpatienten, der einen ihm sehr gut bekannten Platz in Mailand aus einem bestimmten Blickwinkel beschreiben sollte. Er konnte aber nur eine Hälfte dieser Szene wiedergeben. Im Anschluss daran sollte er diesen Ort noch einmal, jetzt von der gegenüberliegenden Perspektive des Platzes aus, beschreiben. Diesmal berichtete er von den Eigenschaften der noch fehlenden Hälfte und ließ wiederum die andere weg. Das Erinnerungsvermögen des Patienten war offensichtlich vollkommen intakt, und so schlossen die Autoren, dass hier eine Störung der mentalen Repräsentation des Raumes vorliegen musste.

Im Alltag der Neglectpatienten kann sich diese Störung in Orientierungsschwierigkeiten vor allem in unbekannter Umgebung bemerkbar machen. Denn gerade hier ist die Fähigkeit, sich selbst und andere Objekte zueinander im Raum richtig zu positionieren eine wesentliche Voraussetzung für eine adäquate Orientierung in und Interaktion mit der Umwelt. Interessanterweise können diese Repräsentationsstörungen nicht nur den Raum oder einzelne Raumsektoren betreffen [20], sondern auch Teile von Objekten.

1.1.4 Lokalisation kritischer Hirnareale

Brain und Critchley haben bereits Mitte des letzten Jahrhunderts linksseitige Vernachlässigungsphänomene mit rechtsseitigen Läsionen des Parietallappens in Verbindung gebracht [23], [37]. Heute besteht ein weitgehender Konsens[2] darüber, dass bei den meisten Neglectpatienten eine Schädigung im Bereich des posterioren Parietallappens (PPC, Lobulus parietalis inferior) der nicht-sprachdominanten Hemisphäre vorliegt [191]. Insbesondere scheinen Läsionen im Zentrum des PPC, d.h. im temporoparietalen Übergangsbereich um den Gyrus angularis [127], für das Entstehen eines Neglect ausschlaggebend zu sein. Anatomisch und funktionell dient der PPC als Schnittstelle zwischen sensorischen und motorischen Hirnstrukturen. So erhält er unter anderem Projektionen von primär sensorischen Kortexarealen und kommuniziert mit frontalen prämotorischen Hirnstrukturen. Dabei integriert er visuelle, auditive und vestibuläre Informationen, sowie solche über die aktuelle Position der Augen und des Kopfes [3]. Als Teil

[2] Vereinzelt wurde auch der Gyrus temporalis superior als Schlüsselregion des Neglect bezeichnet [102].

eines integrierten neuronalen Netzwerks ist er außerdem wesentlich an der Modulation gerichteter Aufmerksamkeit beteiligt [126]. Seine Hauptaufgaben, nämlich die visuelle Raumwahrnehmung, räumlich-konstruktive Fähigkeiten und die räumlich-topographische Orientierung sind beim Neglect typischerweise beeinträchtigt.

Schädigungen im Bereich des Frontalhirns können ebenfalls einen Neglect hervorrufen und hier insbesondere Läsionen in der prämotorischen Rinde [40], [82]. Die für den Neglect kritischen frontalen Regionen sind in erster Linie für die Orientierung und explorativen Bewegungen im Raum auf der Basis der eingehenden Informationen zuständig. Insgesamt werden frontale wie auch andere Hirnläsionen[3] deutlich seltener mit dem Neglect in Verbindung gebracht als parietale [190]. Sie sind aber aufgrund ihrer starken neuronalen und funktionellen Verbindungen untereinander [43], [123] für das pathophysiologische Verständnis dieser Störung von überragender Bedeutung.

1.1.5 Pathophysiologie

Die Beobachtung des häufig gemeinsamen Auftretens des Neglect mit einem anderen Phänomen, der sog. Extinktion[4], veranlasste Poppelreuter 1917 zu der Mutmaßung, sensorische Beeinträchtigungen bei der Informationsaufnahme oder -weiterleitung könnten für die Entstehung dieser Störungen ursächlich sein [152]. Critchley konnte aber schon in den 1950er Jahren bei der eingehenden Untersuchung einer Reihe von Patienten mit Extinktionsphänomenen sensorische Defizite ausschließen und vermutete bereits damals, dass die Störung wohl mehr auf der Aufmerksamkeitsebene zu suchen sei [37]. Heute ermöglicht die moderne Bildgebung, z.B. die funktionelle Magnetresonanztomographie, Critchleys Mutmaßungen direkt durch das Messen regionaler Hirnströme zu bestätigen. Beispielsweise konnte dargestellt werden, wie ein Stimulus bei einem Patienten mit einem Extinktionsphänomen eine Aktivität im kontralateral gelegenen visuellen Kortex hervorrief, obwohl der Patient den Reiz subjektiv nicht wahrgenommen hat [157].

[3] Nur geringe Bedeutung bei der Ätiologie des Neglect [191] spielen Schädigungen subkortikaler Strukturen [104] wie des Thalamus [198], der Basalganglien und der subkortikalen weißen Substanz [40].

[4] Zur Prüfung des Extinktionsphänomens (lat. exstinguere – auslöschen) werden dem Patienten zeitgleich zwei Reize in beiden Raum- oder Körperhälften präsentiert. Im positiven Fall reagieren sie nur auf den Reiz der „gesunden“ Seite. Bei konsekutiver Darbietung sprechen sie hingegen adäquat auf beide Stimuli an. Wie beim Neglect ist auch dieses Phänomen supramodal feststellbar [116]. Es wird häufig als abgeschwächte Form oder Residualsymptom eines Neglects aufgefasst.

Das bedeutet, die sensorischen Informationen wurden zwar noch bis zu einer bestimmten neuronalen Ebene verarbeitet, gelangten aber nicht in das Bewusstsein des Betroffenen [47]. Da auch Gedächtnisengramme (siehe „Mailänder-Domplatz-Experiment“ [19]) beim Neglect systematisch defizitär wahrgenommen werden, scheint ein Kerndefizit beider Störungen auf der Repräsentationsebene zu liegen.

Rizzolatti versuchte, unter Verweis auf die engen funktionellen Verknüpfungen prämotorischer Hirnstrukturen mit Aufmerksamkeitsprozessen [161], [162], auch die Aufmerksamkeitsdefizite beim Neglect zu erklären. Diese stellten gemäß seiner „prämotorischen Aufmerksamkeitstheorie“ nur einen sekundären die Vernachlässigungssymptomatik nur verschlimmernden Faktor dar [160].

Im Gegensatz dazu wurde die gestörte Verteilung der Aufmerksamkeit von anderen Autoren als eigentliches Kerndefizit postuliert, welches seinerseits eine Beeinträchtigung der Repräsentationen hervorrufe. Als Argument dafür führten Posner et al. Beobachtungen an, wonach die Verlagerung der Aufmerksamkeit von einem Ort zum anderen beim Neglect gestört sein kann [154], [155]. Sie betrachten die visuelle Aufmerksamkeit als eine Art Lichtkegel (spotlight), der immer einen bestimmten Bereich im Raum ausleuchtet. Stimuli, die an einem „beleuchteten Ort“ erscheinen, werden nach ihren Beobachtungen rascher und gründlicher verarbeitet als Stimuli an anderen Orten. Ihre Untersuchungen an Patienten mit parietalen Hirnschäden ergaben, dass diese offenbar Schwierigkeiten hatten, die Aufmerksamkeit von einem ipsiläsional lokalisierten Objekt im visuellen Feld zu lösen (disengangement) und zu einem kontraläsionalen Zielreiz zu verschieben (shift), um sich diesem zuzuwenden (engagement).

Mit dem Fokus auf Aufmerksamkeitsdefizite wurde außerdem versucht zu erklären, warum rechtshemisphärische Schädigungen mit linksseitigem Neglect deutlich häufiger beobachtet werden als umgekehrt [60]. Für Kinsbourne liegt das in der Asymmetrie der Verteilung der Aufmerksamkeit durch die beiden Hemisphären. Seiner bis heute einflussreichen Theorie [112] zufolge beinhalten beide Hirnhälften antagonistische Orientierungsvektoren, welche die Aufmerksamkeit in einer Art Wettstreit auf die jeweils kontralaterale Seite ausrichten. Während die linke Hemisphäre die Aufmerksamkeit allein in den kontralateralen Raum richte, sei die rechte Hirnhälfte für den gesamten Raum zuständig. Folglich könnten linkshemisphärische Läsionen durch die rechte

Hirnhälfte kompensiert werden, während rechtshemisphärische Läsionen zu einem unilateralen Aufmerksamkeitsdefizit (links) führen, weil diese nicht kompensiert werden können [83], [199].

Die wohl begründete Hoffnung, Experimente in absoluter Dunkelheit, d.h. bei völligem Fehlen visueller Stimuli, könnten vielleicht die Frage nach der „Henne und dem Ei“ lösen – Aufmerksamkeits- oder Repräsentationsdefizit – blieb unerfüllt [87], denn auch hier ließen die gewonnenen Ergebnisse eine Argumentation in beide Richtungen zu. Dabei wurde aber eine Debatte neu entfacht, die sich mit der Frage einer möglicherweise fehlerhaften Umwandlung der verschiedenen sensorischen Informationen in das egozentrische Koordinatensystem der Raumwahrnehmung beim Neglect befasst [103]. Diese Hypothese einer Transformationsstörung, nach der ein systematischer Fehler der Informationsverarbeitung beim Neglect zu einer Verschiebung des egozentrischen Referenzrahmens und gleichzeitig Lateralisierung des Verhaltens im Raum nach ipsiläsional führt, geht ursprünglich auf Ventre zurück [192]. Sie wird in den letzten Jahren wieder häufiger diskutiert [55], [100], [106], [188]. Ihr zufolge soll bei Neglectpatienten der innere topologische Raum so verzerrt sein, dass die linke Seite vergrößert, die Rechte hingegen verkleinert erscheint [45].

Repräsentations-, Aufmerksamkeits- und Transformationshypothesen haben sich aus den unterschiedlichen beim Hemineglect beobachtbaren Defiziten entwickelt und können deshalb zwar jeweils einzelne Symptome gut erklären, stoßen bei anderen jedoch schnell an ihre Grenzen. Für das Verständnis der pathophysiologischen Zusammenhänge beim Neglect sind sie zwar hilfreich, können aber letztlich nur eine überbrückende Funktion einnehmen, bis ein abschließendes Konzept vorliegt. Die vorliegende Arbeit wird dazu beitragen, indem sie zeigt, dass hierfür die Funktionen und Interaktionen der zugrundeliegenden Hirnstrukturen viel expliziter berücksichtigt werden müssen, als es in der Vergangenheit der Fall war.

1.1.6 Diagnostik

Nicht selten liefert schon die Beobachtung des charakteristischen Verhaltens der Patienten erste wegweisende Anzeichen für das Vorliegen eines Neglect [170]. Für eine objektivere Einschätzung

des Schweregrades stehen im weiteren einfach durchzuführende Papier- und Bleistifttests zur Verfügung. Meist gilt es dabei einfache Objekte, wie Buchstaben, Sterne oder Linien (Abb. 1), zu entdecken und zu markieren [2], [69]. Anhand der Häufigkeit lateralisierter Auslassungen kann dann das Ausmaß des Ungleichgewichts in der Aufmerksamkeitsverteilung abgeschätzt werden. Defizite, die mehr zu den Repräsentationsstörungen gerechnet werden, können gut über das Zeichnen oder Abzeichnen vorgegebener Figuren ermittelt werden [60]. Eine systematische Verschiebung der Raumparameter schließlich zeigt sich gegebenenfalls im sogenannten Linienhalbierungstest, bei dem auf Linien unterschiedlicher Länge und Orientierung die Mitte markiert werden soll. Neglectpatienten zeichnen hier die Mitte typischerweise zu weit ipsiläsional ein[5].

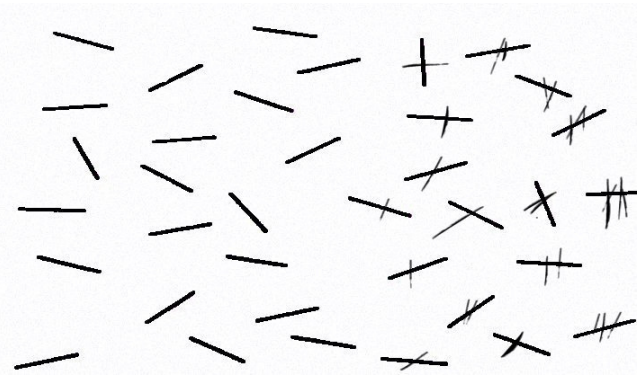

Abb. 1: Durchstreichaufgabe nach Albert [2].

Zu beachten ist, dass sich die Tests hinsichtlich ihrer Sensitivität zum Teil erheblich voneinander unterscheiden[6] [9]. Eine Möglichkeit den Ausprägungsgrad eines Neglects standardisiert zu bestimmen, steht mit dem von Wilson et al. entwickelten Diagnostikmanual „Behavioural Inattention Test" (BIT) [203] zur Verfügung, dessen deutschsprachige Version [56] auch im Rahmen dieser Arbeit zum Einsatz kam. Er umfasst eine Sammlung konventioneller Papier- und Bleistifttests unterschiedlicher Sensitivität sowie validierte alltagsrelevante Aufgaben zur Messung funktioneller Auswirkungen des Neglects auf das tägliche Leben der Patienten [73]. Die Auswertung liefert einen Punktwert (von 0 bis 170 Punkten), der eine Einschätzung des Schweregrades des Neglect ermöglicht.

[5] Dieser Test ist auch für eine differentialdiagnostische Abgrenzung zur Hemianopsie hilfreich, denn bei dieser zeichnen die Patienten die Mitte eher zu weit kontraläsional ein [111]. Neglectpatienten, können bei ausgedehnten Hirnläsionen, auch unter einer Hemianopsie leiden, was ihre visuelle Wahrnehmungsfähigkeit weiter eingeschränkt [63], [172].
[6] Sterne- oder Buchstabenausstreichen gelten als besonders sensitive Tests für das Vorliegen eines Neglect [69].

Konventionelle Tests	*Alltagsorientierte Aufgaben*
Linien durchstreichen	Freies Zeichnen (Uhr)
Buchstaben ausstreichen	Zeitungsartikel vorlesen
Sterne ausstreichen	Abschreiben einer Adresse
Abzeichnen eines Sterns	Bilder (Menü, Waschbecken, Zimmer) beschreiben
Abzeichnen einer Raute	Speisekarte vorlesen
Abzeichnen einer Blume	Digitaluhr lesen
Linien halbieren	Uhr mit Ziffernblatt lesen
	Einstellen der Uhrzeit auf einer Uhr mit Ziffernblatt

Tab. 1: Zusammenstellung der Untertests des Neglecttests „NET“

Der Vorteil dieser Testbatterie liegt neben ihrer einfachen Durchführbarkeit vor allem darin, dass sie unterschiedliche Komponenten des Neglectsyndroms prüft und gewichtet. Das ist wichtig, weil z.B. frontal geschädigte Neglectpatienten häufig kaum oder nur geringe Fehler bei der Linienhalbierung, dafür aber schwere Beeinträchtigungen beim Linienausstreichen zeigen [17]. Allerdings bleiben auch wesentliche Faktoren, die den Schweregrad des Neglect beträchtlich beeinflussen können, unberücksichtigt. Beispielsweise markieren viele Patienten bereits entdeckte Reize vor allem der äußersten ipsiläsionalen Seite mehrfach (siehe Abb. 1). Diese Beobachtung kann insbesondere bei Patienten mit frontalen Läsionen festgestellt werden, hingegen weniger bei Patienten mit parietalen Läsionen [130]. Diese und weitere Beobachtungen deuten darauf hin, dass Neglectpatienten hinsichtlich ihrer visuell-räumlichen Beeinträchtigungen nicht einheitlich betrachtet werden dürfen [70], sondern der Ort der Hirnläsion und die genauen Anforderungen des Stimulusmaterials explizit berücksichtigt werden sollten.

1.1.7 Ausprägung, Häufigkeit und Verlauf

Für die Schwere und den Verlauf eines Neglects sind neben der Ausdehnung und Lokalisation der Hirnschädigung auch weitere Faktoren, wie das Zusammenspiel beider Hemisphären, das Ausmaß der prämorbiden Hirnatrophie und allgemeine Aufmerksamkeitsdefizite von erheblicher Bedeutung [118], [141], [169], [210]. Daneben unterliegt der Ausprägungsgrad des Hemineglect, wie bei anderen neuropsychologischen Störungen auch, immer gewissen Fluktuationen. Deshalb müssen neben individuellen langfristigen auch kurzfristige Faktoren, wie tageszeitliche Schwankungen

oder der Erschöpfungszustand des Patienten bei der klinischen Beurteilung besonders berücksichtigt werden [119].

Zur Frage nach der Häufigkeit des Neglects bei Schlaganfallpatienten finden sich in der Literatur sehr uneinheitliche Aussagen. Die Angaben zur Inzidenz reichen von 8 % bis hin zu 90 % [22], [179], [182]. Der in der Kopenhagener Schlaganfallstudie (1997) ermittelte Wert von etwa 25% scheint den wahren Verhältnissen wohl am ehesten gerecht zu werden [140].

Auch die Angaben über die Rückbildung des visuellen Neglects fallen sehr unterschiedlich aus [57]. Autoren, die den Behavioural Inattention Test in ihren Studien verwendeten, kamen beispielsweise zu dem Ergebnis, dass die Rückbildung des visuellen Neglectsyndroms wahrscheinlich nicht linear verläuft, sondern in den ersten zehn Tagen nach dem Schlaganfall am deutlichsten ausgeprägt ist, um im dritten Monat ein Plateau zu erreichen [29], [181]. Ungefähr 75% der Patienten lassen dabei innerhalb eines halben Jahres eine deutliche Remission erkennen, während der Neglect bei den verbleibenden 25% über Jahre persistieren kann. Hier sollen spontane Rückbildungen insgesamt seltener und Behandlungen weniger erfolgsversprechend sein[7] [84].

Die große Inhomogenität der Angaben zur Häufigkeit und zum Verlauf des Neglect kann nicht allein durch die allgemeine Schwierigkeit, kognitive Funktionen nach Schlaganfällen verlässlich und reproduzierbar zu beurteilen [195], erklärt werden, sondern ist wahrscheinlich auch dadurch bedingt, dass bei den meisten Studien Faktoren, die für eine diagnostische Einschätzung der Patienten wichtig sind, nicht ausreichend berücksichtigt wurden.

1.1.8 Therapie

Da ein Neglect den allgemeinen Rehabilitationsverlauf nach einem Schlaganfall oder einer Hirnblutung dauerhaft negativ beeinflussen kann [43], [108], [183], wurde vielfach versucht, dieser Störung mit Hilfe gezielter therapeutischer Maßnahmen zu begegnen. Die eingesetzten Mittel sind dabei ebenso vielgestaltig und innovativ wie in ihrer Effizienz umstritten: Sei es der pharmako-

[7] Besondere Nachteile für den Rehabilitationsverlauf ergeben sich, wenn den Patienten die Einsicht in ihre unilateralen Funktionseinbußen fehlt, d.h. eine sogenannte Anosognosie vorliegt [96], [184]. Diese soll bei bis zu etwa dreiviertel der Neglectpatienten vorliegen [140].

therapeutische Einsatz von Dopaminagonisten [58], diverse neurokognitive Trainingsverfahren [5], [138] oder die Stimulation durch vestibuläre [167], somatosensorische [58], [67], [101], [194] oder optokinetische Reize [54], [150], der therapeutische Nutzen scheint in den meisten Fällen nur gering zu sein und vor allem bei den zuletzt genannten Interventionen allenfalls kurzfristigen Charakter zu besitzen [44]. Bisherige Metaanalysen zur Wirksamkeit der Neglectbehandlung ziehen jedenfalls eine insgesamt ernüchternde Erfolgsbilanz [22], [45]. Auf den möglichen Nutzen neuerer Entwicklungen in der Behandlung des Neglects im Sinne eines visuellen Explorationstrainings [74], [110] wird im Zuge der abschließenden Diskussion gesondert eingegangen.

1.2 Augenbewegungen und Hemineglect

1.2.1 Kortikale Sakkadenkontrolle

Augenbewegungen sind beim visuellen Hemineglect unter anderem deshalb von so großem Interesse, weil hier genau jene Hirnareale betroffen sind, die auch bei der kortikalen Kontrolle der Augenbewegungen miteinander kommunizieren. Diese Hirnareale sind Teil eines hierarchisch organisierten kortikalen Netzwerks, in welchem sensorische Hirnareale und motorische Steuerstrukturen reziproke Verbindungen unterhalten und jeweils verschiedene Aufgaben bei der Kontrolle der Augenbewegungen einnehmen (Abb. 2). Schlüsselpositionen übernehmen das parietale (PEF) und das frontale Augenfeld (FEF), sowie der präfrontale Kortex (PFC):

Das *parietale Augenfeld*, gelegen im intraparietalen Sulcus des posterioren parietalen Kortex (PPC, Brodmann Areale 39, 40) [4], [143] nimmt bei der visuellen Aufmerksamkeit die Rolle einer *zentralen Schaltstelle der Raumanalyse* ein, indem es die einzelnen visuellen Umweltinformationen integriert. Seine Funktionstüchtigkeit ist essentiell für eine adäquate Programmierung der Augenbewegungen. Es trägt beispielsweise die Verantwortung dafür, dass Bewegungen zu einem Stimulus hin gezielt erfolgen [175], [176]. Außerdem sind Neurone im PEF zuständig für das Repräsentieren von Orten im Raum während Sakkaden. Dadurch wird die Raumkonstanz während Blicksprüngen gewährleistet. Eine weitere zentrale Funktion liegt in der Generierung visuell-getriggerter *reflexiver* Sakkaden [61], [81].

Im Bereich des Gyrus präcentralis befindet sich das *frontale Augenfeld* (Brodmann Area 6) [143]. Es ist im Gegensatz zum PEF beteiligt am Auslösen *willkürlich* gesteuerter Sakkaden und damit unentbehrlich für die *systematische* sakkadische Exploration der Umwelt [16], [81], [159]: Die Neurone in diesem Hirngebiet reagieren auf visuelle Reize und senden schon vor der eigentlichen Sakkadeninitiierung Impulse aus. Durch die Beteiligung des FEF an der frühen Diskriminierung von Ziel- und Störobjekten beim Lösen visueller Suchaufgaben [171], [147] kann ein höheres Maß an Kontrolle der Augenbewegungen bei der Sakkadenprogrammierung und der Zielreizselektion erreicht werden.

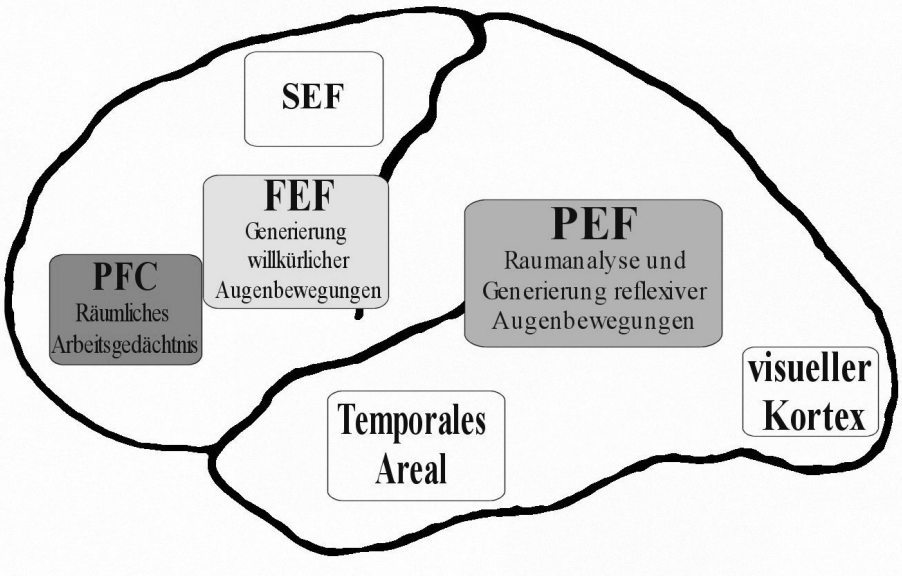

Abb. 2: Lokalisationen und wesentliche Funktionen wichtiger Hirnareale bei der kortikalen Sakkadenkontrolle (in Anlehnung an [81]). Wichtig sind, neben den im Text erwähnten Zentren, der temporale Kortex für die Identifikation von Objekten sowie das supplementäre Augenfeld (SEF) beim Entwickeln und Durchführen motorischer Programme [139].

Nach langjähriger Diskussion über die genauen Abgrenzungen des als *präfrontaler Kortex* bezeichneten Hirnabschnitts, gilt seine Lokalisation im superioren frontalen Sulcus heute als gesichert [36]. Der PFC dient als Kurzzeitspeicher, der speziell für die kurzfristige Bereitstellung mnestischer Informationen bei Aufgaben notwendig ist, die ein gleichzeitiges Behalten und Verarbeiten von Informationen erfordern [187]. Je nach Aufgabenstellung wird diese Funktion durch eines von zwei Subsystemen für die Zwischenspeicherung sprachlicher und visuell-räumlicher Informationen verwirklicht [8]. Der PFC erhält dabei Informationen darüber, wann und wo ein Gegenstand im Raum auftritt und ist somit ein wesentlicher Funktionsträger des *räumlichen*

und nicht-räumlichen Arbeitsgedächtnisses [39], [136]. So ist auch er wesentlich an der Generierung adäquater sakkadischer Reaktionen bei visuellen Selektionsprozessen beteiligt [147]. Der PFC ist besonders wichtig bei anspruchsvollen Aufgaben, die z.B. eine Strategieentwicklung erfordern. Hier sorgt er dann dafür, dass Orte, die bereits angeblickt wurden, nicht unnötigerweise erneut abgesucht werden.

1.2.2 Augenbewegungsanalyse beim Hemineglect

Wichtige Beiträge zum Verständnis über die Funktionsweisen der genannten Hirnregionen konnte die Augenbewegungsanalyse von Patienten liefern, welche mit Hilfe des Double-Step-Paradigmas[8] untersucht wurden. Hierbei ist das gesamte neuronale Netzwerk der Sakkadenkontrolle gefordert, denn es müssen abweichende okulomotorische und retinale Informationen so miteinander verknüpft werden, dass trotz dieser Dissoziation eine angemessene Sakkadengenerierung erfolgt. Heide et al. untersuchten mit dieser Untersuchungsmethode Hirngesunde und Patienten mit unilateralen frontalen (FEF bzw. PFC) und parietalen (PPC) Läsionen [79], [80]. Während die gesunden Probanden die Aufgabe gut meisterten, waren die Patienten mit Läsionen im rechten PPC bei Aufgaben, bei denen diese Dissoziation vorlag, sehr deutlich, bei Aufgaben, bei denen sie nicht vorlag, hingegen kaum beeinträchtigt. Patienten mit rechtsseitigen Läsionen des PFC zeigten bei beiden Aufgaben eine erhöhte Fehlerrate. Die Autoren demonstrierten in dieser Untersuchung eine stärkere Beeinträchtigung zeitlicher Parameter bei der frontalen Hirnschädigung, eine Störung der Raumkonstanz hingegen bei der Läsion des PPC.

Aber nicht nur auf dieser elementaren Ebene visuellen Explorationsverhaltens zeigen sich Unterschiede zwischen parietalen und frontalen Hirnläsionen. Bei komplexeren visuellen Szenen spielen zudem auch die Eigenschaften des Untersuchungsmaterials selbst eine unter Umständen entscheidende Rolle. So scheinen Neglectpatienten mit Läsionen im Bereich des FEF deutlicher beim Explorieren abstrakter Stimulusanordnungen beeinträchtigt zu sein, weniger hingegen bei

[8] Die Aufgabe beim Double-Step-Paradigma besteht darin zwei kurze Zeit hintereinander präsentierte Zielreize zu fixieren. Hierzu ist eine Abfolge von Sakkaden notwendig, ausgehend von einem zentralen Fixationspunkt zum ersten Zielreiz und von hier zum zweiten Zielreiz. Dabei verschwinden die Reize noch während die Sakkade zum ersten Zielreiz ausgeführt wird. Das hat zur Folge, dass extraretinale Informationen herangezogen werden müssen, damit die zweite Sakkade richtig ausgeführt wird.

natürlichen visuellen Szenen. Parietale Neglectpatienten dagegen scheinen größere Schwierigkeiten zu haben den Gesamtkontext einer Szene zu erfassen, sind aber beim systematischen Absuchen serieller Suchaufgaben weniger beeinträchtigt [81].

Hier zeigt sich, dass der Einsatz komplexer Stimulusmaterialien eine Möglichkeit bietet Defizite beim Neglect sehr empfindlich und differenziert zu erfassen. Dazu gehören nicht nur Beeinträchtigungen der Aufmerksamkeitsverteilung oder Raumrepräsentation, sondern auch die Fähigkeit zur Entwicklung von Suchstrategien oder die Auswirkungen unterschiedlich hoher attentionaler Anforderungen. Gerade bei hohen Stimuluszahlen ist eine konstante Raumwahrnehmung und das Behalten der Reizlokalisationen in besonderem Maß erforderlich. Über eine mögliche Beteiligung räumlicher Arbeitsgedächtnisdefizite am Neglect wurde in den letzten Jahren aufgrund von Verhaltensstudien [6] und bildgebenden Untersuchungen [66], [196] vermehrt diskutiert.

1.2.3 Das Paradigma der Visuellen Suche

Eine Möglichkeit visuelle Verarbeitungsprozesse realitätsnah zu untersuchen, bietet das experimentelle Paradigma der Visuellen Suche (*visual search*) [206]. Hier geht es im wesentlichen darum, einen oder mehrere Zielreize (*Targets*) unter einer unterschiedlich großen Anzahl gleichzeitig präsentierter Störreize (*Distraktoren*) zu entdecken. Die Art und Weise, wie jemand sucht, steht dabei im Zentrum des Interesses:

Legt die suchende Person das Ziel der Suche – seinen Vorstellungen und Erwartungen über die Merkmalseigenschaften des Zielobjekts (wie Form, Größe oder mögliche Lokalisation) folgend – selbst fest, spricht man von einer *top-down*-kontrollierten oder zielorientierten Aufmerksamkeitsausrichtung. Ein praktisches Beispiel ist die Suche nach einem bestimmten Produkt unter vielen ähnlichen im Regal eines Supermarktes. Unterscheiden sich die einzelnen Objekte (*Items*) hierbei nur wenig, müssen alle Targets und Distraktoren nacheinander Schritt für Schritt, *„seriell“*, unter aktiver Aufmerksamkeitszuwendung und innerer strategischer Kontrolle abgesucht und verarbeitet

werden. Eine derartige *attentive Verarbeitung* visueller Szenen ist – anhängig von der Gesamtzahl der Objekte (*Set-Size*) – relativ zeitaufwändig und entsprechend wenig effizient.

Nun sind gleichsam Situationen denkbar, die eine möglichst hohe Effizienz der visuellen Verarbeitung erfordern, z.B. während Arbeiten an Überwachungsmonitoren auf Intensivstationen. In solchen Fällen sollte ein Stimulus möglichst schnell die Aufmerksamkeit eines Menschen auf sich ziehen, um etwa Gefahr anzuzeigen. Eine solche Aufmerksamkeitszuwendung erfolgt stimulusgeleitet, was als *bottom-up*-Prozess bezeichnet wird. Sinnvollerweise kommen dabei Reize zum Einsatz, die sich in einem bestimmten Merkmal von der Umgebung so stark abheben, also so „salient“ sind, dass sie dem Suchenden praktisch direkt ins Auge springen. Dieser sogenannte *Pop-Out-Effekt* wird häufig über eine auffällige Farbeigenschaft erreicht, durch die sich der Zielreiz von den umliegenden Störreizen deutlich unterscheidet. Weil in solchen Fällen alle Items im Display simultan oder *„parallel“* registriert werden können, ist die Entdeckungsgeschwindigkeit weitgehend unabhängig von der Anzahl anderer Objekte innerhalb der visuellen Szene. Deshalb ist eine solche *präattentive Verarbeitung* zeitökonomisch sehr effizient. Sie ist gekennzeichnet durch eine schnelle Verarbeitung visueller Szenen in einem automatisierten reizgesteuerten Prozess.

Es handelt sich bei den beiden Suchmodi – parallele und serielle Suche – um Idealtypen oder Domänen der Aufmerksamkeitskontrolle [186], die in der Regel interagieren [129]. In den meisten natürlichen Situationen ergänzen sie sich, sodass sich sowohl die Eigenschaften des optischen Stimulusmaterials, als auch die Erwartungen und Ziele des Beobachters auf das Suchverhalten und die Verarbeitungsgeschwindigkeit auswirken [50].

1.3 Fragestellung

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, die diversen Defizite des visuellen Neglectsyndroms differenziert aufzuschlüsseln und der bisher noch nicht ausreichend verstandenen Pathogenese dieser Störung auf den Grund zu gehen. Die Analyse der Augenbewegungen bei der visuellen Suche stellt einen sinnvollen und bereits weltweit etablierten methodischen Zugang dar, um derartigen Fragenstellungen nachzugehen. Anhand der bei Neglectpatienten gewonnenen Untersuchungsergebnisse sollen hier gezielt folgende Fragen beantworten werden:

1. Wie beeinflusst der Neglect die exploratorische Leistungsfähigkeit in Hinblick auf die Erfassung relevanter Umweltreize und die Bearbeitungsgeschwindigkeit? (Quintessenz 1)
2. Welche Bedeutung haben dabei visuell-räumliche Defizite der okulomotorischen und kognitiven Kontrolle des Suchverhaltens? (Quintessenz 2)
3. Gelingt es den Patienten suffiziente Suchstrategien zu entwickeln und einzusetzen, um eine effektive Organisation ihrer Suche zu gewährleisten? (Quintessenz 3)
4. Welche Rolle spielen räumlich unabhängige Beeinträchtigungen paralleler und serieller Suchprozesse und des räumlichen Arbeitsgedächtnisses? (Quintessenz 4)

Da parietale und frontale Hirnareale unterschiedliche Aufgaben bei der selektiven Aufmerksamkeit und Repräsentation der Umwelt wahrnehmen [35], [52], soll stets auch der Frage nachgegangen werden, worin sich das Suchverhalten beim frontalen und parietalen Neglect unterscheidet. Denn nur so lassen sich differenzierte Rückschlüsse über die zugrundeliegenden Pathomechanismen ziehen und darauf aufbauend zielgerichtete Vorschläge zur Verbesserung von Diagnostik und Therapie machen. In Anbetracht der unklaren Prognose des Hemineglectsyndroms erscheint es ferner sinnvoll zu untersuchen, wie sehr Patienten mit klinisch augenscheinlich zurückgebildetem Neglect noch von Restdefiziten betroffen sind.

2 Material und Methoden

2.1 Ein- und Ausschlusskriterien und Voruntersuchungen

Die grundlegenden Teilnahmebedingungen für die Patienten waren eine durch CT- oder MRT-Aufnahmen dokumentierte einseitige frontal oder parietal lokalisierte Hirnschädigung, sowie ein aktuell manifester oder bereits zurückgebildeter Neglect.

Unmittelbar vor Versuchsbeginn unterzogen sich alle Versuchteilnehmer einer allgemeinen neurologischen Untersuchung, um körperliche oder psychische Funktionseinschränkungen, die aus methodischer oder medizinischer Sicht einer Teilnahme widersprechen, auszuschließen. Im Zuge der ophthalmoneurologischen Befunderhebung wurden die Funktion der Augenmuskeln (Folgebewegungen), das Gesichtsfeld (Fingerperimetrie), der Visus (Landolt-Ringe, gegebenenfalls nach Brillenkorrektur), die Farbsehtüchtigkeit (Ishiara-Tafeln) und der optokinetische Nystagmus (Drehtrommel) überprüft.

2.2 Untersuchungskollektiv

An der Studie nahmen insgesamt 21 Patienten im Alter von 31 bis 78 Jahren (Median 62), sowie 12 Kontrollprobanden im Alter von 28 bis 80 Jahren (Median 55) teil. Die fünf gebildeten Versuchsgruppen unterschieden sich weder in Alter (ANOVA: [$F = 0{,}886$, $p = 0{,}485$], noch Geschlecht [$F = 0{,}256$, $p = 0{,}903$] signifikant voneinander. Alle Teilnehmer entstammen aus dem Patientengut der Neurologischen Klinik des Universitätsklinikums zu Lübeck bzw. sind Mitarbeiter dieser Einrichtung. Die Teilnahme erfolgte stets freiwillig, ohne Vergütung und nach ausführlicher Aufklärung gemäß der Deklaration von Helsinki.

Anhand des Läsionsortes erfolgte die Gruppeneinteilung in Patienten mit frontaler (F) oder parietaler (P) Schädigung und nach dem Schweregrad des Neglects, in ausgeprägte (N) bzw. remittierte Symptomatik (R). Die Zuordnung der Patienten in die Remissionsgruppe erfolgte ab einem Wert von mindestens 150 Punkten im Neglecttest. Die durchgeführte ANOVA für die Neglectausprägung ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den beiden Remissionsgruppen, wohl aber zwischen den Neglectgruppen. Mögliche Auswirkungen

dieser Unterschiede auf die Ergebnisse der visuellen Suche werden im Laufe dieser Arbeit zu diskutieren sein. Eine Übersicht der demographischen und klinischen Daten aller Versuchsteilnehmer liefert die Tabelle 2.

Versuchsgruppe	*VP*	*Alter (Jahre)*	*Geschlecht*	*Ätiologie der Läsion*	*Zeit nach Läsion*	*NET*
Kontroll-Gruppe (KG)	KG-1	40	männlich	--	--	170,0
	KG-2	72	weiblich	--	--	170,0
	KG-3	39	männlich	--	--	170,0
	KG-4	76	männlich	--	--	170,0
	KG-5	30	männlich	--	--	170,0
	KG-6	30	männlich	--	--	170,0
	KG-7	28	weiblich	--	--	170,0
	KG-8	57	männlich	--	--	170,0
	KG-9	80	männlich	--	--	170,0
	KG-10	65	männlich	--	--	170,0
	KG-11	65	weiblich	--	--	170,0
	KG-12	52	weiblich	--	--	170,0
Frontal in Remission (FR)	FR-1	57	männlich	ICM	3 Monate	170,0
	FR-2	62	männlich	ICM *	5,5 Jahre	165,0
	FR-3	62	männlich	ICM	2,5 Monate	162,5
	FR-4	31	weiblich	ICM	17 Tage	165,0
	FR-5	63	weiblich	ICM	10 Monate	170,0
Frontal mit Neglect (FN)	FN-1	76	weiblich	ICM	1 Monat	119,0
	FN-2	49	männlich	ICM	5 Tage	141,5
	FN-3	69	männlich	ICM	7 Tage	145,0
	FN-4	78	weiblich	ICM	18 Tage	128,5
Parietal in Remission (PR)	PR-1	33	weiblich	ICM	13 Tage	159,5
	PR-2	66	männlich	ICM	7 Tage	152,0
	PR-3	72	männlich	ICM	17 Tage	168,5
	PR-4	64	männlich	ICM	19 Monate	170,0
	PR-5	42	männlich	ICM	12 Tage	170,0
	PR-6	62	männlich	ICM	20 Monate	158,5
	PR-7	73	weiblich	ICM	2 Jahre	159,5
	PR-8	59	männlich	ICM	50 Monate	167,0
Parietal mit Neglect (PN)	PN-1	49	weiblich	ICM	1 Monat	125,0
	PN-2	77	weiblich	ICM	3 Tage	73,0
	PN-3	58	männlich	ICM	8 Tage	71,0
	PN-4	71	männlich	ICM	3 Monate	80,0

Tab. 2: Auflistung klinischer und demographischer Daten aller Versuchsteilnehmer. Angegeben sind die im Neglecttest erreichten Punktwerte sowie das Zeitintervall zwischen dem Zeitpunkt der Hirnschädigung und der Untersuchung. VP: Versuchsperson, ICM: Infarkt der Arteria cerebri media, *Sekundär hämorrhagischer Insult.

Für die Darstellung der Hirnläsionen der Patientengruppen wurde das frei zugängliche und kostenlose Computerprogramm MRIcro [166] eingesetzt. Hierzu wurden die mittels kranialem CT oder MRT belegten Hirnläsionen der Patienten manuell in axiale Schnitte eines MRT-Normhirns übertragen. In der folgenden Abbildung sind jeweils die frontalen und parietalen Hirnläsionen der Patienten zusammengefasst.

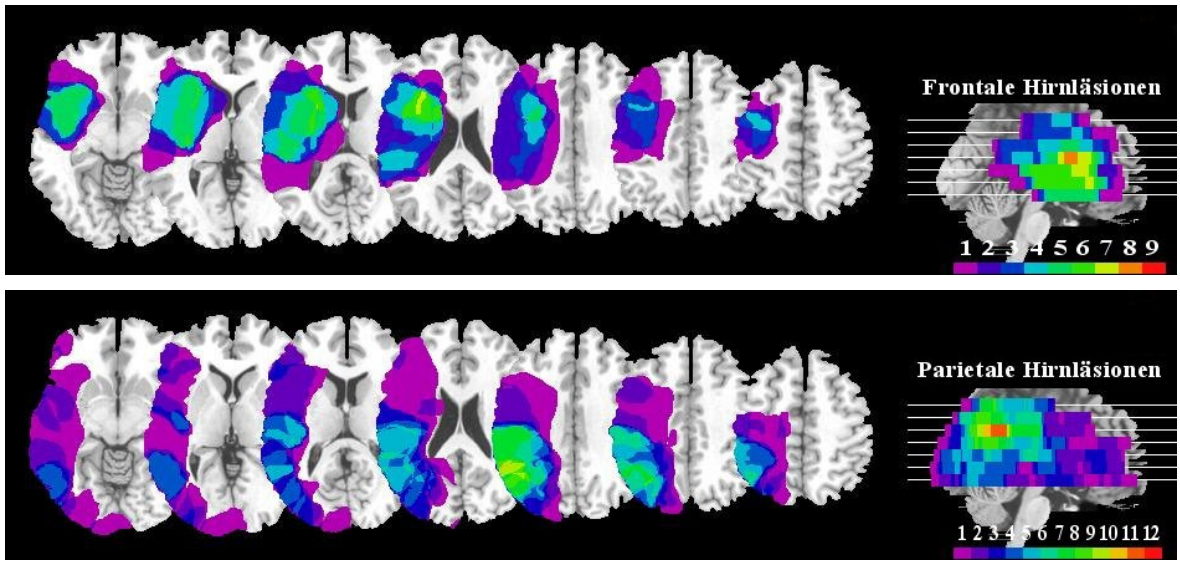

Abb. 3: Frontale und parietale Läsionslokalisationen der Patienten projiziert auf ein Normalhirn. Die Farbkodierung beschreibt, wie viele Patienten an den entsprechenden Hirnregionen jeweils Läsionen aufweisen.

2.3 Versuchsaufbau und -ablauf

Die Versuchsteilnehmer saßen in dem vollkommen abgedunkelten Versuchsraum auf einem Holzstuhl mit Rückenlehne. Rumpf, Kopf und Augen waren in der physiologischen Nullstellung zueinander ausgerichtet. Zur Bequemlichkeit wurde ein Nackenkissen angeboten, welches den Kopf leicht unterstützte, ohne ihn zu fixieren. In gerader Blickrichtung befand sich im Abstand von 60 cm vor den Augen ein Computermonitor, der die Stimuli präsentierte.

Zunächst wurde eine Serie von 12 Suchbildern vorgeführt, um den Probanden den genauen Versuchsablauf zu erklären. Sie wurden instruiert, die Aufgaben zügig und sorgfältig zu lösen. Jedes von ihnen entdeckte Zielobjekt sollte mit der Betätigung der linken Taste einer Computermaus angezeigt werden. Zur Beendigung einer Aufgabe, sollten sie die rechte Maustaste betätigen. Ein Zeitlimit wurde nicht gesetzt.

Nach lokalanästhetischer Betäubung mit Oxybuprocain (Novesine®) konnte die „Search- Coil“ in das rechte Auge eingesetzt werden. Brillenträger behielten ihre Sehhilfen während der gesamten Messung auf. Insbesondere den Patienten war es nicht immer möglich, Kopfbewegungen bei der Messung zu unterdrücken. Um daraus folgende Effekte gering zu halten, wurde jedem Teilnehmer eine zweite modifizierte Spule auf der Stirn platziert, die es erlaubte simultan auch die

Kopfbewegungen mit zu erfassen. Die aufgezeichneten Daten von Kopf und rechtem Auge wurden schließlich miteinander verrechnet, um nahezu verzerrungsfrei festzuhalten, wann die betreffende Versuchsperson, wo auf den Bildschirm geblickt hat.

2.3.1 Stimuli und Präsentation

Ein 17 Zoll Computermonitor (Sony Multiscan 17se II) mit einer Bilderneuerungsrate von 100 Hz und einer Auflösung von 1024 x 768 Pixel präsentierte die von dem visuellen Stimulusgenerator (VSG 2/4, Cambridge Research Systems Ltd., Rochester/UK) erzeugten visuellen Stimuli. Der festgelegte Auge-Bildschirmabstand von 60 cm entsprach einer Bildschirmgröße von 32° Breite und 24° Höhe, einer Item-Größe von einem halben und einem Itemmindestabstand von einem Grad (Sehwinkel). Die Farben waren den CIE[9] Koordinaten (siehe [208]) entsprechend (rot: 0.601, 0.322; grün: 0.218, 0.579; blau: 0.147, 0.07) definiert, wodurch gewährleistet werden konnte, dass sich die Items nicht in Helligkeit oder relativer Farbintensität unterschieden. Die Luminanz der Items lag bei 5 cd/m², die des schwarzen Hintergrunds bei 0.1 cd/m².

Die Suchbilder setzten sich jeweils zusammen aus entweder keinem, einem, vier oder acht zu suchenden Zielreizen, die in einer freien Anordnung von Distraktoren zufällig über dem gesamten, sonst schwarzen Bildschirm verteilt waren. Daraus ergab sich eine visuelle Szene, die der Komplexität und Unstrukturiertheit visueller Alltagssituationen relativ nahe kommen sollte. Die Gesamtzahl (Set-Size) der präsentierten Objekte (Items) variierte zwischen 40, 60 oder 80 je Suchaufgabe. Es handelte sich um einfache geometrische Figuren, die sich in den Dimensionen Farbe (blau, grün, rot) und Form (dreieckig, quadratisch, rund) unterschieden. Vor Erscheinen des Suchbildes wurde zunächst das zu suchende Merkmal (Farbe oder Form) bzw. die Merkmalskombination (Farbe und Form) bekannt gegeben und darauf folgend kurzweilig ein zentrales Fixationskreuz präsentiert, damit die Probanden ihre Suche stets vom gleichen zentralen Ausgangspunkt aus starteten:

[9] Commission Internationale de l'Eclairage, Internationale Beleuchtungskommission

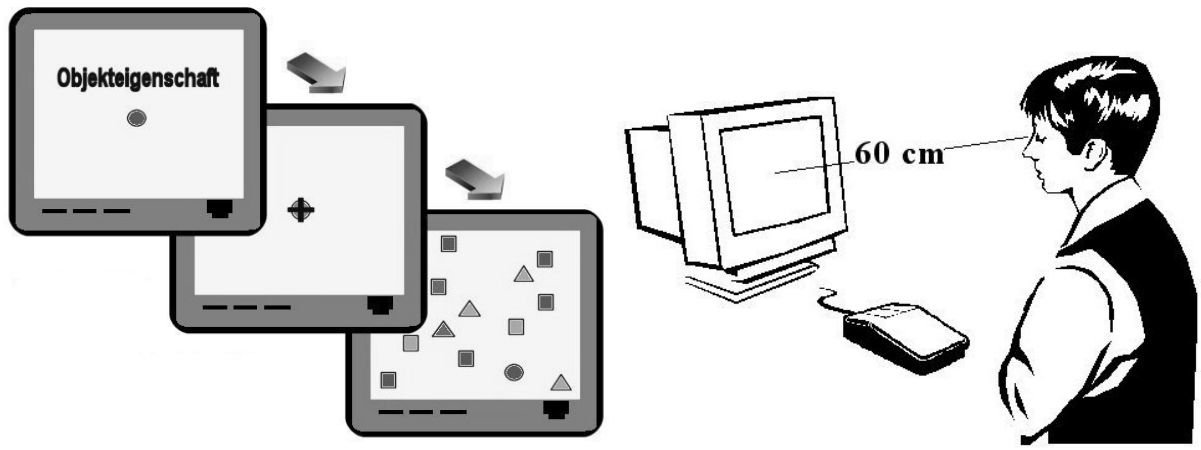

Abb. 4: Bildschirmpräsentation

2.3.2 Messtechnik

Die Messung der Augenpositionen und -bewegungen erfolgte monokulär mit Hilfe eines Search-Coil-Magnetspulen-Systems[10] der Firma CNC Engineering, Seattle, WA, USA.. Um die Augenbewegungen erfassen zu können, wird ein Silikonring, in den ein dünner Kupferdraht eingelassen ist, als Spule verwendet und in ein lokalanästhesiertes Auge eingesetzt. Diese sogenannte Search-Coil saugt sich aufgrund ihrer Beschaffenheit sofort durch Adhäsion an der Sklera fest. Ein kleines Loch in der Mitte gewährleistet ein ungestörtes Sehvermögen.

Als nächstes wird der Patient so positioniert, dass sich das betreffende Auge im Zentrum drei orthogonal zu einander stehender oszillierender Magnetfelder befindet. Diese werden von Helmholtzspulenpaaren erzeugt, die in würfelartiger Weise angeordnet sind. Kommt es nun zu Bewegungen der Coil, wird eine elektrische Spannung induziert, die proportional zur Position der Spule im Magnetfeld ist. Aus den gemessenen Spannungsänderungen lassen sich schließlich Positionsänderungen der Coil ermitteln. Die Search-Coil-Methode erlaubt eine sehr genaue Messung horizontaler, vertikaler und torsionaler Augenbewegungen. Da für diese Studie die torsionale Komponente unerheblich war, wurden ausschließlich sogenannte 2D-Coils (der Firma Skalar Medical, Delft, Niederlande) verwendet.

[10] Diese auf dem Faradayschen Gesetz elektromagnetischer Induktion beruhende Messtechnik wurde 1963 von Robinson eingeführt [165].

Abb. 5: Applizierte Search-Coil

Die Messtechnik birgt gegenüber konkurrierenden Methoden, neben der hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung [34], weitere Vorteile: So gewährleistet sie außerdem ein relativ rauscharmes Signal ohne störende Artefakte, bei gleichzeitig großem linearen Messbereich. Da die Messspule direkt der Hornhaut aufliegt, ist die Messung zudem unempfindlich gegenüber Blinzeln. Ein Nachteil der Methode ist ihre relativ hohe Invasivität. Das hatte zum einen Auswirkungen auf das Untersuchungskollektiv, da etwa Patienten mit bestimmten Augenkrankheiten ausgeschlossen werden mussten, zum anderen bedeutete das Einsetzen der Coil eine zusätzliche Belastung für die ohnehin schon krankheitsbedingt strapazierten Patienten. Das Fremdkörpergefühl im Auge empfanden die Teilnehmer in der Regel weniger belastend als erwartet. Obwohl frühere Befürchtungen ernsthaft negativer Auswirkungen auf die Augenoberfläche, den intraokularen Druck oder die Sehschärfe [207] nach neueren Untersuchungen nicht bestätigt werden konnten [129], [90], wurde sicherheitshalber trotzdem stets darauf geachtet, die Tragezeit der Coil auf maximal 30 Minuten zu begrenzen.

2.4 Datenerfassung

Die Augenbewegungsdaten und die dazugehörigen Informationen über die präsentierten Stimuli und Tastenbetätigungen der Patienten wurden getrennt von zwei Personalcomputern erfasst und gespeichert. Die Kommunikation zwischen den PCs ermöglichte dabei eine präzise und zeitsynchrone Zusammenführung aller korrespondierenden Datensätze für die spätere Auswertung.

Mit einer Frequenz von 500 Hz wurden die aktuellen Augenpositionen vom CNC-System über eine Analog-Digital-Wandlerkarte (PCI 6170, National Instruments, München, Deutschland) an den „Eyetracking-PC“ übermittelt und in einem binären Format gespeichert. Bezogen auf den Stimulusbildschirm war die räumliche Auflösung dabei immer besser als 0,4; in der Regel 0,15 Winkelgrad. Die Anpassung kleiner nicht-linearer Verzerrungen erfolgte unter Verwendung eines neuralen Netzwerkalgorithmus [151].

2.4.1 Kalibrierung

Um eine möglichst exakte Umwandlung der Raumkoordinaten in Winkelgrad zu gewährleisten, erfolgte zu Beginn der Messung eine Kalibrierung mit jeweils vier bzw. neun zu fixierenden Punkten auf dem Bildschirm. Eine zweite Kalibrierung am Ende des Versuchs diente dazu, ein eventuelles Verrutschen der Search-Coil während der Untersuchung für die spätere Bearbeitung und Auswertung der Messwerte berücksichtigen zu können.

2.4.2 Sakkaden

Die computerberechnete Erkennung der Blicksprünge beruhte auf den Empfehlungen von Horii, Kotani et al., wie sie auf der European Conference on Eye Movements 1999 vorgestellt wurden. Dabei wird bei der Sakkadenerkennung ein auf empirischen Daten beruhendes Geschwindigkeits-kriterium zugrunde gelegt, durch welches die Anfangs- und Endpositionen der Sakkaden automatisiert erkannt werden können. Eine positive Geschwindigkeitsänderung signalisiert den Beginn einer Sakkade, eine negative Geschwindigkeitsänderung ihr Ende.

2.4.3 Fixationen und Refixationen

Eine methodische Schwierigkeit bei der Analyse der Augenbewegungen ergibt sich aus der bisher unzureichend beantworteten Frage, wann das Intervall zwischen zwei Sakkaden als Fixation im Sinne einer bewussten Objektwahrnehmung gewertet werden kann. Während der visuellen Suche

kommt es häufig vor, dass eine Fixation nicht direkt auf einem Objekt liegt, sondern nur in dessen näherer Umgebung. Die Frage lautet dann: Ist dieses Objekt bewusst angeblickt und verarbeitet worden oder nicht, bzw. lässt sich diese Fixation sicher genau diesem Objekt zuordnen? Die Antwort orientiert sich zum einen an der Fixationsdauer[11], zum anderen aber auch an der räumlichen Ausdehnung des Aufmerksamkeitsfokus während dieser Fixation. In mehreren in dieser Arbeit zitierten Studien wurde die Größe des Fokus statisch festgelegt, z.B. auf ein Winkelgrad. Allerdings weiß man heute, dass die Größe des Aufmerksamkeitsfokus von mehreren Faktoren, wie Stimulusdichte [128] und -kontrast [131] abhängt. Daneben dürfte ein Gradient innerhalb des Aufmerksamkeitsfokus eine zusätzliche Rolle spielen, d.h. sein Charakter ist wahrscheinlich weniger statisch als vielmehr dynamisch. Aus diesem Grund wurde die virtuelle Fokusgröße in dieser Studie in Abhängigkeit von der Fixationsdauer festgelegt. Je länger also fixiert wird, desto größer ist auch der angenommene Raum, dem während dieser Fixation selektiv Aufmerksamkeit geschenkt wird. Schließlich wurde folgende Festlegung getroffen: Eine Fixationsdauer von unter 200 ms entspricht einer Fokusgröße von einem Winkelgrad. Der Radius erhöht sich auf zwei Winkelgrad, falls die Fixationsdauer über 200 ms liegt. Anzumerken ist weiter, dass in der vorliegenden Studie grundsätzlich von stets einem einzigen verarbeiteten Item pro Fixation ausgegangen wird. Diese Festlegung war aus methodischen Gründen notwendig, wenngleich während einer Fixation häufig mehrere benachbarte Items parallel verarbeitet werden [121].

Den Refixationen wurden die gleichen Basisbedingungen, wie den Fixationen zugrunde gelegt – mit zwei Zusätzen: Der zeitliche Abstand zweier Fixationen desselben Objekts musste größer sein als eine Sekunde und der räumliche Abstand größer als fünf Winkelgrad. Diese Zusatzbedingungen waren unabdingbar, weil sonst die Vielzahl von kleinen Korrektursakkaden stark verzerrte Ergebnisse bei der Auswertung ergeben hätte.

[11] Mindestfixaktionszeiten liegen bei ca. 100 ms, durchschnittliche Fixaktionsdauern bei ca. 250 ms beim Lesen und 300 ms beim Betrachten von Bildern [26], [27].

2.5 Manuelle und statistische Auswertung

Die exakte Zuordnung der Fixationen bzw. Tastenbetätigungen zu den jeweiligen Objekten (als Ausdruck dafür, dass ein Zielobjekt gefunden worden ist) erfolgte manuell und interaktiv an einem Laborcomputer. Dabei wurden die einzelnen Suchpfade sukzessiv auf die korrespondierenden Suchbilder vom Computermonitor projiziert. So konnten sowohl die individuellen Suchverläufe, als auch eventuelle Veränderungen der Suchmuster während der Untersuchung eines Probanden genau studiert werden. Gleichzeitig war es möglich diejenigen Bilder mit den dazugehörigen Augenbewegungsdaten aus der Wertung zu nehmen, bei denen eine korrekte Auswertung aus messtechnischen Gründen nicht sinnvoll erschien. Alle anderen in dieser Arbeit aufgeführten Ergebnisse basieren direkt auf den während der Aufzeichnung der Augenbewegungen ermittelten Rohdaten. Sie wurden statistisch mit Unterstützung des Statistikpakets SPSS Version 12.0.1 der Firma SPSS Inc. ausgewertet.

3 Ergebnisse

Im Folgenden wird zunächst versucht dem Leser möglichst anschaulich *qualitative* Aspekte des normalen und pathologisch veränderten visuellen Suchverhaltens näher zu bringen. Dafür werden exemplarisch typische Suchpfade – zuerst von Normalpersonen, später von Neglectpatienten – vorgestellt und miteinander verglichen. Da die Beschreibung einzelner Suchpfade zwangsläufig nicht frei von subjektiven Interpretationen sein kann, schließt sich im Anschluss daran eine tiefergehende Datenanalyse an, welche das visuelle Suchverhalten beim Neglect auch *quantitativ* und damit objektiver charakterisiert.

3.1 Suchverlauf

Die Auswahl charakteristischer **Suchmuster von Normalpersonen** (Abb. 6a-d) zeigt neben einfachen kreisförmigen Suchpfaden auch schlangenlinienartige von oben nach unten oder von links nach rechts verlaufende Formen, zudem Suchpfade, die eine stehende oder liegende „Acht“ beschreiben. Kennzeichnend für Formsuchaufgaben (Abb. 6a,b), weniger deutlich bei Konjunktionssuchaufgaben zu sehen, sind also strukturierte Suchmuster, die an geometrische Grundformen erinnern. Die wesentliche Gemeinsamkeit dieses Explorationsverhaltens besteht darin, dass weite Teile der visuellen Szene systematisch exploriert und so bereits angeblickte Bereiche oder Objekte nur selten mehrmals besucht werden.

Im Gegensatz dazu sind charakteristische Suchstrategien bei Farbsuchen (Abb. 6d) kaum oder gar nicht nachweisbar. Die Blickfolge orientiert sich hier weitgehend an der Anordnung der jeweils relevanten Stimuli. Die Anzahl der ausgeführten Blicksprünge je Suchbild ist in der Regel außerdem wesentlich geringer (13 Sakkaden) als bei der Formsuche (34 Sakkaden).

Eine Kombination der Charakteristika von Form- und Farbsuchen lässt sich bei der Konjunktionssuche (Abb. 6c) feststellen. Die grobe Blickführung (große Sakkaden) entspricht hier in der Regel der Verteilung der Stimuli mit der zu suchenden Farbe; die genaue Identifizierung der Form geschieht im Anschluss daran durch eine Reihe kleinerer Sakkaden in der Nähe der

potentiellen Targets. Die Anzahl der benötigten Sakkaden liegt mit 27 Blicksprüngen pro Suchbild zwischen der bei Form- und Konjunktionssuchen.

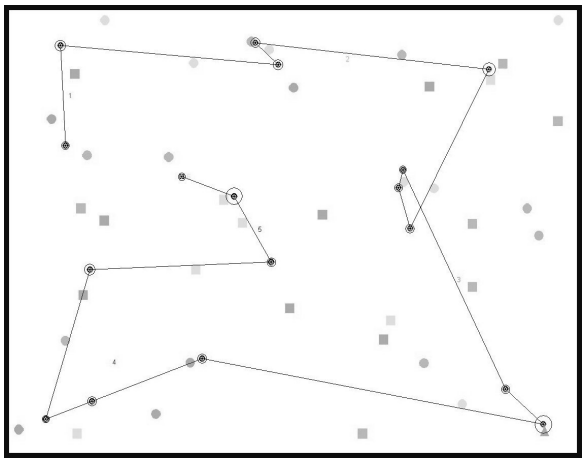

Abb. 6a: Kreisförmiger Suchpfad

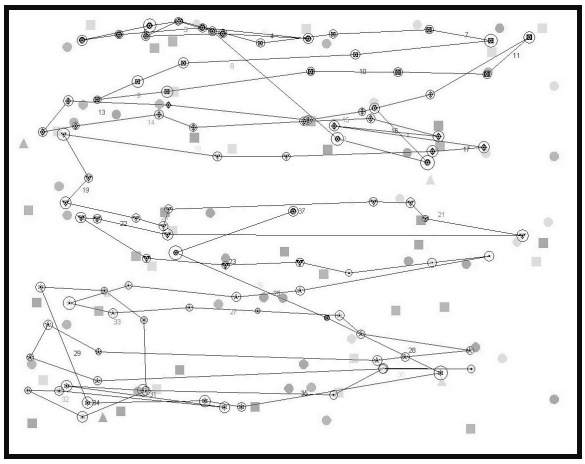

Abb. 6b: Schlangenlinienförmiger Suchpfad

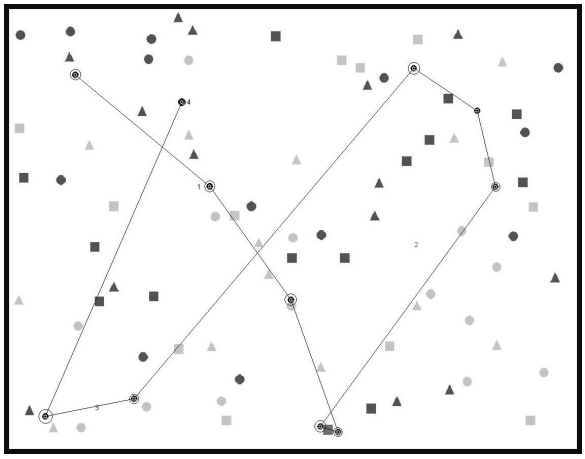

Abb. 6c: Liegende Acht

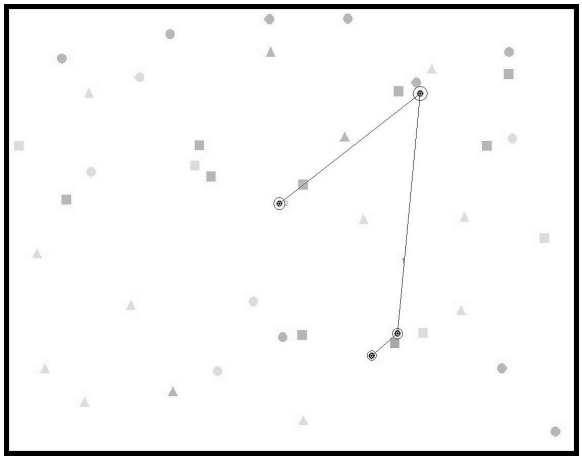

Abb. 6d: Reizgesteuerter Suchpfad

Die Abb. 6a-d geben Beispiele charakteristischer Suchpfade von Probanden aus der Kontrollgruppe (KG) wieder. Während bei den ersten drei Suchpfaden [Form- (6a, b) bzw. Konjunktionssuche (6c)] eine Systematik des Suchverlaufs erkennbar ist, zeigt der Suchpfad der Farbsuche (6d) einen vor allem stark an der Stimuluskonstellation orientierten Verlauf.

Eine erwähnenswerte Auffälligkeit ergibt sich bei der computergestützten sukzessiven Betrachtung des Suchpfades, welche hier leider nicht darstellbar ist: Der Ausgangspunkt der Exploration liegt bei Form- und Konjunktionssuchen fast immer in der linken oberen Ecke des Bildschirms. Des Weiteren bleiben die individuell bevorzugten Suchmuster während der Bearbeitung der Bilder auffallend konstant. Ändert sich einmal die Suchstrategie, wird sie wieder über eine Serie von Suchbildern beibehalten.

Betrachtet der Leser im Vergleich die Suchpfade der **Patienten mit manifestem Neglect** (Abb. 7a-d), so wird ihm eine Ableitung systematischer Suchstrategien ungleich schwerer fallen als bei den Normalprobanden. Welche Merkmale weist das Suchverhalten hier auf?

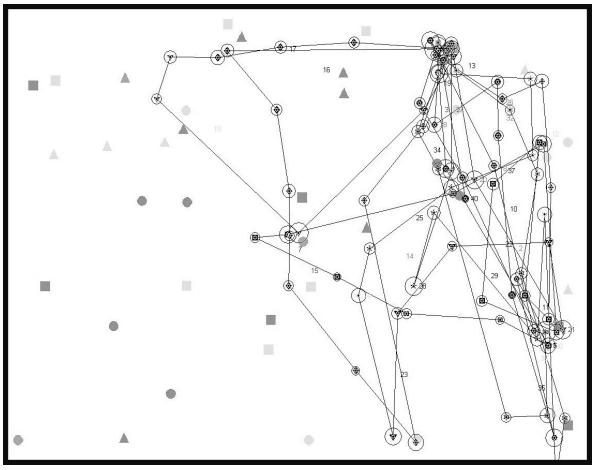

Abb. 7a: Deutlich lateralisierter Suchpfad

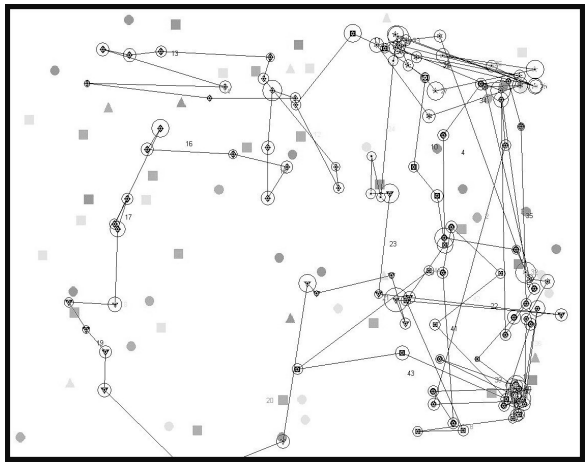

Abb. 7b: Leichte Lateralisierung

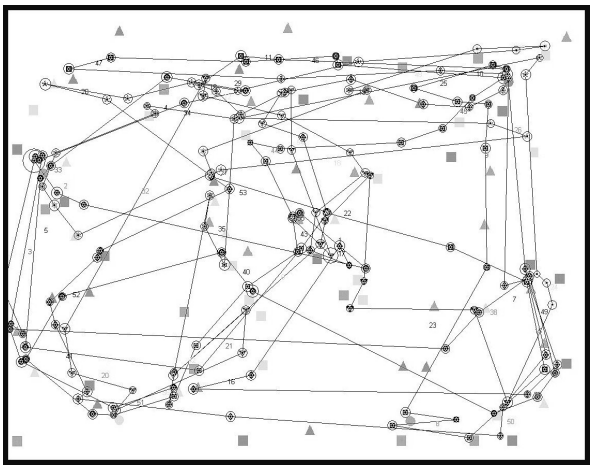

Abb. 7c: Reizgesteuerter Suchpfad

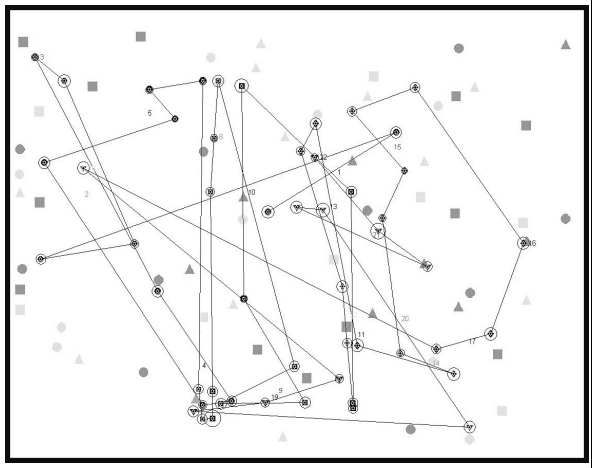

Abb. 7d: Unstrukturierte Suche

Die Abb. 7a-d geben exemplarisch Suchpfade von Patienten mit ausgeprägtem Neglect wieder. Hier ist die Suchaktivität (7a, b) bei Patienten mit parietalem Neglect deutlich nach rechts lateralisiert. Daneben fallen die häufigen Refixationen auf. In Abb. 7c und 7d (FN-Patient) ist eine Lateralisierungstendenz kaum, wohl aber die Refixationstendenz vorhanden.

In allen Abbildungen fällt auf, dass von den Neglectpatienten deutlich mehr Fixationen und Sakkaden gemacht werden als von den Kontrollprobanden; die Intensität der Suche also insgesamt höher ist. Tatsächlich bestätigt die Statistik, dass sie wie die Kontrollprobanden bei Farbsuchen die wenigsten, bei Formsuchen hingegen die meisten Sakkaden machen. Ferner zeigt sie, dass Neglectpatienten mit frontaler Schädigung (FN) bei allen drei Aufgabentypen deutlich mehr Blicksprünge durchführen als bei parietaler Schädigung (PN). Der Medianwert der Anzahl

ausgeführter Sakkaden je Suchbild liegt bei Farbsuchaufgaben bei 30 (FN) bzw. 22 (PN), bei Formsuchen bei 74,5 (FN) bzw. 40,5 (PN) und bei Konjunktionssuchen bei 61 (FN) bzw. 39 (PN).

Ein sofort ins Auge springendes Charakteristikum der Abbildungen 7a und 7b ist die Lateralisierung der Exploration, deren genaue Quantifizierung aber an einer späteren Stelle in dieser Arbeit erfolgen wird. Jetzt sei aber schon vorweggenommen, dass sie bei den Neglectpatienten mit parietaler Hirnschädigung deutlicher ausgeprägt ist als bei den frontal Geschädigten. Gerade die PN-Patienten haben die starke Tendenz dazu, zunächst die ipsiläsionale Hälfte des Bildschirms abzusuchen, um sich erst später, wenn überhaupt, der anderen Hälfte zuzuwenden. Dabei lassen die Suchpfade dieser Patientengruppe bei Formsuchen trotz der Lateralisierungsneigung noch eine gewisse Strukturierung im Sinne eines systematischen Absuchens erkennen. Bei Farbsuchaufgaben wird eine Führung des Suchpfades durch die Verteilung der Zielreize überdeutlich. Hier springt der Blick der Patienten immer wieder zwischen den einzelnen Targets hin und her, d.h. sie werden ständig refixiert.

Die Suchaktivität der FN-Patienten wirkt zwar insgesamt homogener verteilt als bei den PN-Patienten, allerdings ist eine systematische Vorgehensweise, gerade bei Formsuchaufgaben meist kaum oder gar nicht nachvollziehbar. Die Patienten springen mit ihren Blicken scheinbar ziellos hin und her. Die Verteilung der Stimuli scheint in dem Sinne eine größere Bedeutung zu bekommen, als dass Areale mit relativ hoher Itemdichte verstärkt angeblickt werden. Bei Farbsuchaufgaben ist das Suchmuster, wie bei den PN-Patienten deutlich an der Stimuluskonfiguration ausgerichtet. Ihr Explorationsverhalten erscheint dann insgesamt geordneter und zielgerichteter.

3.2 Absolute Bearbeitungsdauer

Die absolute Bearbeitungsdauer einer Suchaufgabe sei definiert als die Zeitspanne vom Erscheinen eines Suchbildes bis zur Beendigung der Suchaufgabe – durch Betätigung der rechten Maustaste. Sie soll einen ersten allgemeinen Eindruck über die Bearbeitungsgeschwindigkeiten der einzelnen Versuchsgruppen vermitteln.

Wie in Abbildung 8 ersichtlich, benötigen die Normalpersonen mit ca. 7 Sekunden pro Bild die geringste Zeit zum Lösen der Suchaufgaben. Ihre Suchzeiten erweisen sich auch in der Post-Hoc-Analyse als signifikant kürzer gegenüber allen anderen Versuchsgruppen. Der Zeitbedarf der Patienten hingegen ist im Mittel wesentlich größer, wobei hier deutliche Unterschiede festzustellen sind: Patienten mit ausgeprägtem Neglect und frontaler Hirnschädigung (FN) suchen ausgesprochen lange. Sie benötigen mit über 22 Sekunden pro Aufgabe nicht nur signifikant länger als alle anderen Patientengruppen, sondern sogar mehr als die dreifache Zeit im Vergleich zur Kontrollgruppe. Der Vergleich der beiden Remissionsgruppen zeigt ebenfalls einen höheren Zeitbedarf bei frontaler gegenüber parietaler Hirnschädigung.

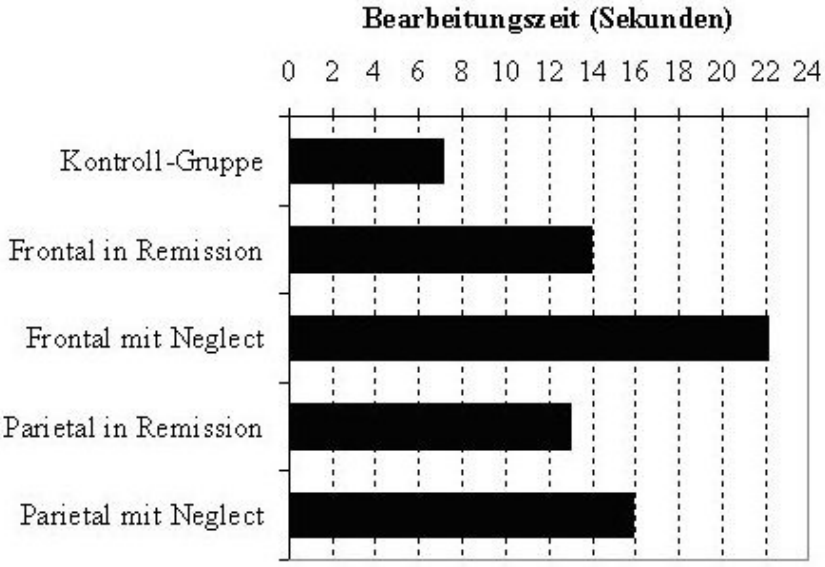

Abb. 8: Absolute Bearbeitungsdauer (Median) je Suchbild in Sekunden.

Die 5x3x3x4 ANOVA ergibt signifikante Unterschiede für alle einfließenden Faktoren: „Gruppe“ [$F(4,869) = 71{,}008$; $p < 0{,}001$], „Suchaufgabe“ [$F(2,869) = 43{,}761$; $p < 0{,}001$], „Anzahl von Objekten“ [$F(2,869) = 15{,}816$; $p < 0{,}001$], sowie „Anzahl von Zielobjekten“ [$F(3,869) = 15{,}179$; $p < 0{,}001$]. Des weiteren liefert sie sowohl signifikante Interaktionen zwischen den Faktoren „Gruppe“ und „Suchaufgabe“ [$F(8,869) = 2{,}402$; $p = 0.015$], als auch zwischen den Faktoren „Gruppe“ und „Anzahl von Objekten“ [$F(8,869) = 4{,}907$; $p < 0{,}001$]. Die ANOVA mit Messwiederholung der Faktoren „Suchaufgabe“ und „Anzahl von Objekten“ innerhalb der Gruppen, sowie der Gruppenzugehörigkeit liefert signifikante Haupteffekte der „Suchaufgabe“ und der

„Anzahl von Objekten“ und außerdem Interaktionen der „Suchaufgabe“, der „Anzahl von Objekten“ und der „Gruppe“ [F (16,96) = 1,816; p = 0,04]. Zusammenfassend können die Faktoren „Objektanzahl“ und „Suchaufgabe“ als besonders bedeutsam für die Dauer der Bearbeitung eines Suchbildes bezeichnet werden.

3.3 Relative Bearbeitungsdauer

Die univariate Varianzanalyse der absoluten Bearbeitungsdauer ermittelte die Faktoren Set-Size und Aufgabentyp als relevante Einflussgrößen auf die Suchzeiten. Um den Stellenwert dieser Faktoren genauer bewerten zu können, wird für die folgende Auswertung zunächst individuell für jeden Versuchsteilnehmer sogenannte Standardsuchzeiten für Farbsuchen und für Suchaufgaben mit der geringsten Objektanzahl (40 Objekte) ermittelt, da diese Aufgabenkonstellation theoretisch mit den kürzesten Suchzeiten einhergehen sollte. Ihnen wird jeweils der Wert „eins“ zugeteilt. Zu den ermittelten Bearbeitungszeiten werden dann die Suchzeiten bei erschwerten Suchbedingungen, also Form- und Konjunktionssuchen bzw. steigender Objektanzahl ins Verhältnis gesetzt. Daraus ergeben sich schließlich die relativen Bearbeitungszeiten bei verschiedener Set-Size (Abb. 9) bzw. unterschiedlichen Suchaufgabentypen (Abb. 10).

Dieses Vorgehen hat neben der Möglichkeit eines besseren Vergleichs der Suchzeiten bei unterschiedlichen Aufgabenstellungen und Schwierigkeitsgraden einen weiteren Vorteil: Da es nicht möglich ist, alle individuellen Unterschiede wie Alter, exaktes Ausmaß der Läsionen oder bestimmte Persönlichkeitsfaktoren, welche potentiell Auswirkungen auf die Suchzeiten gehabt haben könnten, zu erfassen oder gar vernünftig zu gewichten, konnten so Effekte, die sich aus derartigen „Störgrößen“ statistisch ergeben hätten, ein Stück abgemildert werden.

3.3.1 Einfluss der Objektanzahl (Set-Size)

Die Abb. 9 zeigt eine Zunahme der Suchdauer bei steigender Objektanzahl für alle Versuchsgruppen. Beispielsweise resultierte eine Erhöhung der Objektzahl von 40 auf 60 bei Kontroll-

personen in einer Verlängerung der Suchzeit um den Faktor 1,18. Eine weitere Erhöhung auf 80 Items bewirkte einen zeitlichen Mehrbedarf um das 1,2fache.

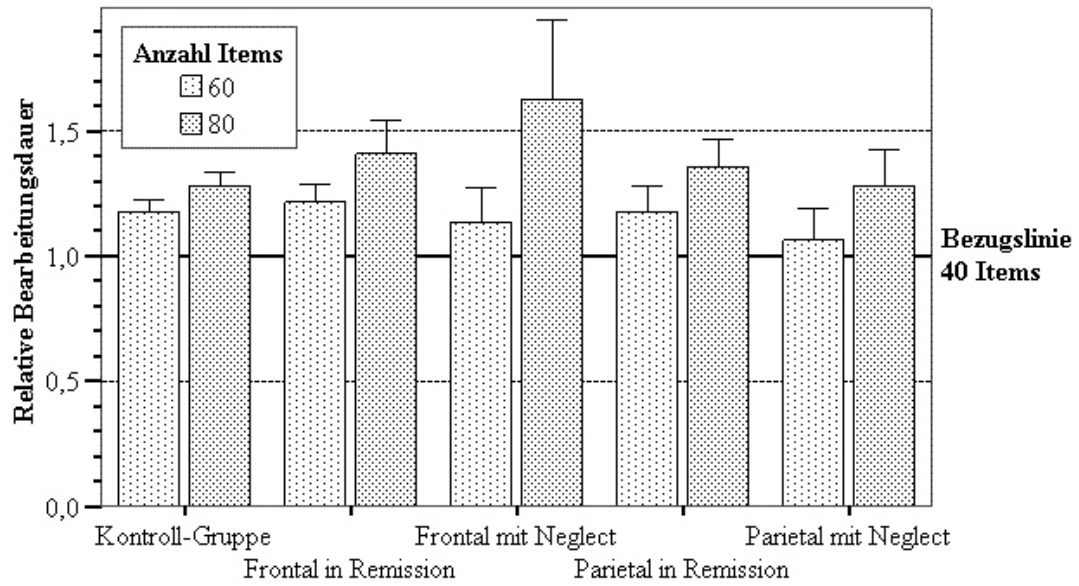

Abb. 9: Relative Bearbeitungsdauer bei steigender „Set-Size“. Als Referenzgröße zur Beurteilung der Auswirkung einer steigenden Set-Size auf die Suchzeiten dient die gruppenspezifische Suchdauer bei einer Itemzahl von 40. Die Balken zeigen die Mittelwerte für 60 und 80 Objekte an, die Fehlerbalken geben den Standardfehler wieder.

Zu beachten ist hier insbesondere die vergleichsweise geringe Zunahme der Suchzeiten auch bei den beiden Parietalgruppen bei größer werdender Set-Size. Den zeitlich größten Zuwachs zeigen die beiden Frontalgruppen bei den 80 Item-Displays. Bei der FN-Gruppe steigt die Bearbeitungszeit sogar erheblich, nämlich um den Faktor 1,62.

3.3.2 Einfluss der Suchaufgabe

Im Folgenden wird das Verhältnis der Suchzeiten bei unterschiedlichen Aufgabenstellungen dargestellt. In Abbildung 10 wird deutlich, dass der Zeitaufwand der Vorhersage entsprechend geringer ist, wenn nach einer bestimmten Farbe gesucht werden muss, als wenn sich ein Target in seiner Form oder in einer Kombination von Farbe und Form von den Distraktoren unterscheidet.

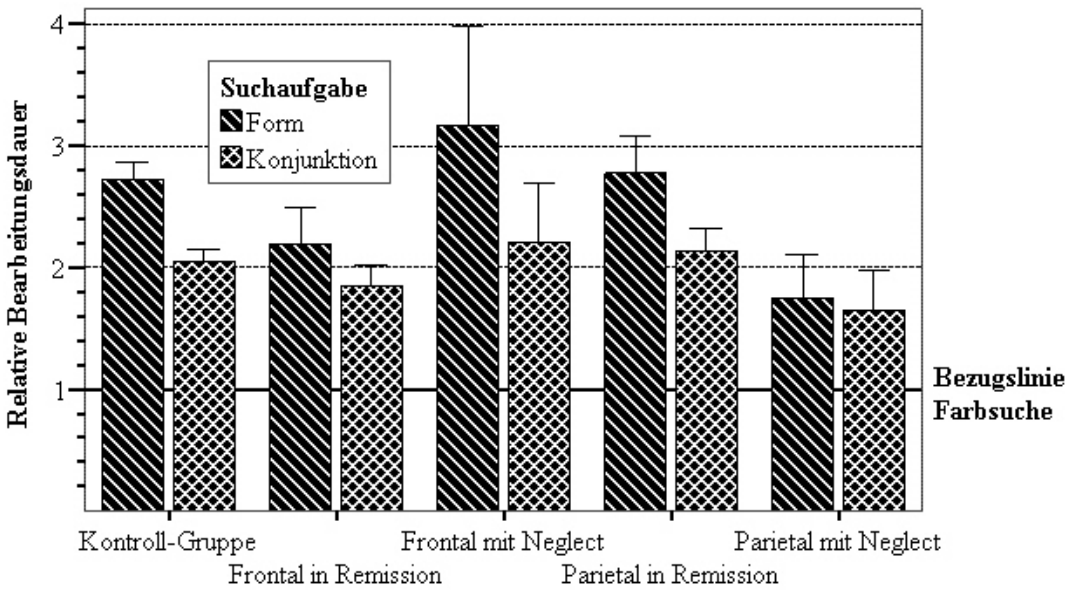

Abb. 10: Relative Bearbeitungsdauer bei Merkmals– und Konjunktionssuchen. Die Referenzgrößen sind in diesem Fall die gruppenspezifischen mittleren Suchzeiten bei Farbsuchaufgaben. Die Balken zeigen das Verhältnis der Suchzeiten (Mittelwerte) bei Form- und Konjunktionssuchen an, die Fehlerbalken geben den Standardfehler wieder.

Gesunde benötigen im Mittel für Konjunktionssuchen ungefähr doppelt so viel und für Formsuchen ca. 2,7 mal soviel Zeit als für eine Farbsuche. Wenngleich sich die Verhältnisse bei den Patientengruppen unterschiedlich stark herauskristallisieren, gilt auch hier, dass Formsuchen den längsten Zeitaufwand erfordern.

Besonderes Augenmerk verdienen die relativ geringen Unterschiede (PN-Gruppe) und die außerordentlich großen Unterschiede (FN-Gruppe) der Suchzeiten zwischen Form- und Konjunktionssuche und auch gegenüber der Farbsuche. Obgleich die ANOVA der Faktoren „Gruppe“ und „Suchaufgabe“ keine signifikanten Unterschiede ergibt [$F = 1{,}491$; $p = 0{,}157$], bleibt doch festzuhalten, dass parietal geschädigte Neglectpatienten keine so eindeutige Abhängigkeit ihrer Bearbeitungsgeschwindigkeit vom Aufgabentyp erkennen lassen wie Gesunde. Frontalhirngeschädigte Neglectpatienten hingegen weisen eine besonders starke Abhängigkeit ihrer Suchzeiten von der Aufgabenstellung auf. Patienten mit remittiertem Neglect erscheinen hier nur schwerlich einzuordnen.

3.4 Räumliche Verteilung der Suchaktivität

Visuelle Suchbilder werden weder strikt gleichmäßig und starr, noch gänzlich visuell-reflektorisch abgesucht. In den Suchpfaden Gesunder (Abb. 6a-d) wird deutlich, welchen maßgeblichen Einfluss die Interaktion zwischen individuellen Strategien und Aufgabentyp darauf hat, wann und wo ein Objekt fixiert wird. Aber auch selbst bei schwer beeinträchtigten Neglectpatienten (Abb. 7a-d) ist der Einfluss dieser Parameter noch erkennbar. Die Präsentation einzelner ausgewählter Suchpfade mag zu Anschauungszwecken dienlich sein, sie sagt jedoch nichts darüber aus, wie die Suchaktivität und damit die räumliche Aufmerksamkeit insgesamt verteilt ist. Es schließt sich deshalb eine Darstellung an, die nicht nur einzelne, sondern alle von den jeweiligen Versuchsgruppen bearbeiteten Bilder berücksichtigt. Als Größe dient hier die relative Häufigkeit von Fixationen entsprechend ihrer Position auf dem Stimulusbildschirm.

3.4.1 Globale Verteilung (zweidimensional)

Bei den verwendeten Suchaufgaben waren alle Stimuli zufällig über dem Bildschirm verteilt. Bei einer ausreichend hohen Anzahl bearbeiteter Suchbilder sollte deshalb die Wahrscheinlichkeit, dass an einem bestimmten Bildschirmbereich ein Target oder Distraktor präsentiert wird, ebenfalls überall gleich sein. Wenn die Fixationen vorrangig auf bzw. in unmittelbarer Nähe zu den dargebotenen Stimuli zu liegen kommen, sollten folglich auch die Fixationen gleichmäßig verteilt sein.

Die Abbildungen 11a bis e geben jeweils die prozentuale Verteilung aller ausgeführten Fixationen einer Versuchsgruppe über dem Stimulusbildschirm wieder. Dabei wird schnell ersichtlich, die obige Vorhersage nur bedingt zutrifft. In allen Grafiken kann man eine ungleichförmige Verteilung von Fixationen erkennen. Selbst bei den Hirngesunden finden sich noch bestimmte Bereiche, die häufiger angeblickt werden als andere. So zeigt sich eine kleine punktförmige Präferenz der Suchaktivität im linken oben Quadranten bei der Kontroll- und der PR-Gruppe (Abb. 11a, c). Ansonsten stellt sich das Verteilungsmuster bei beiden Gruppen aber schon weitgehend homogenen dar.

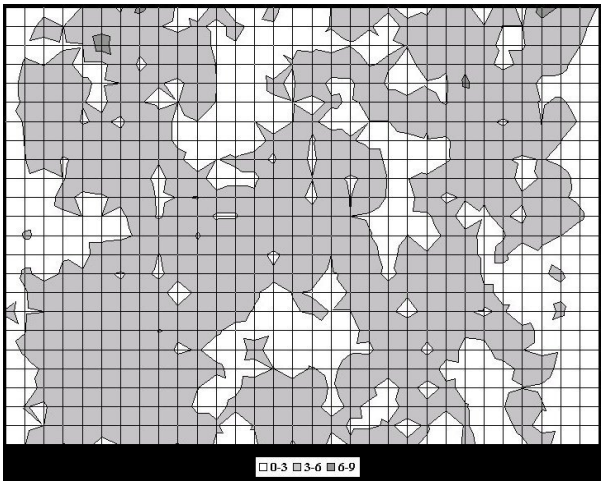

Abb. 11a: Kontrollgruppe

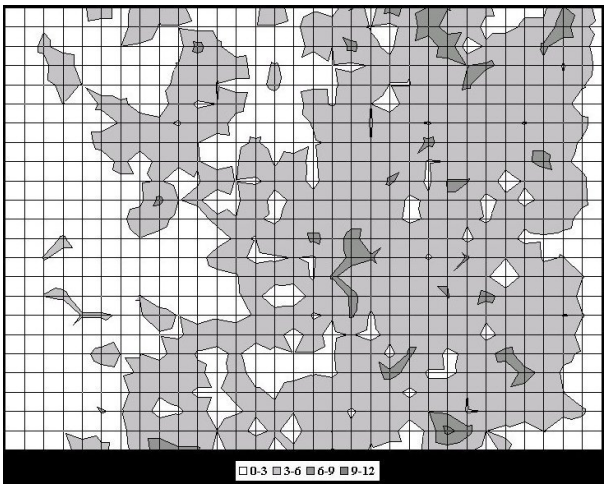

Abb. 11b: FR-Gruppe

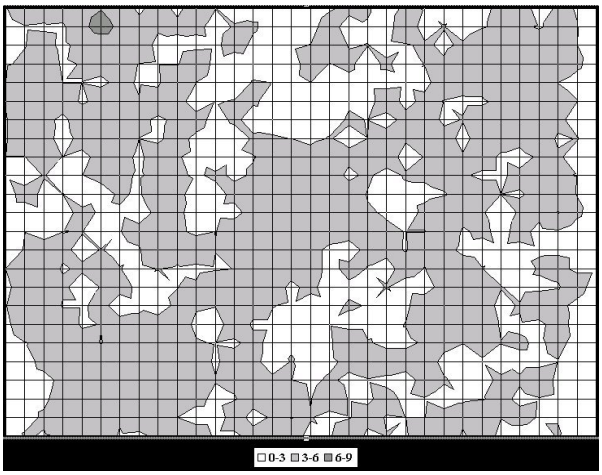

Abb. 11c: PR-Gruppe

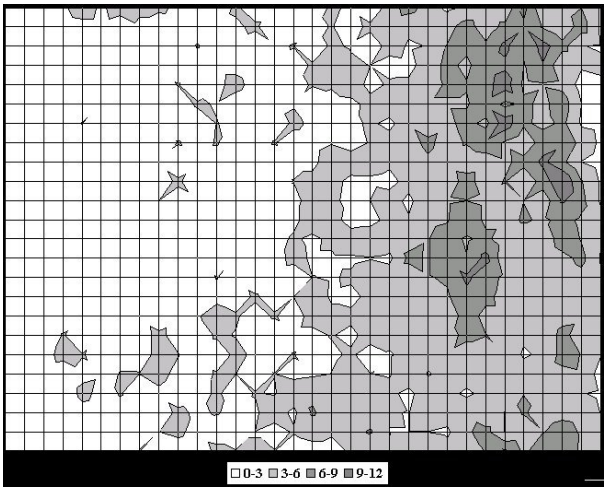

Abb. 11d: FN-Gruppe

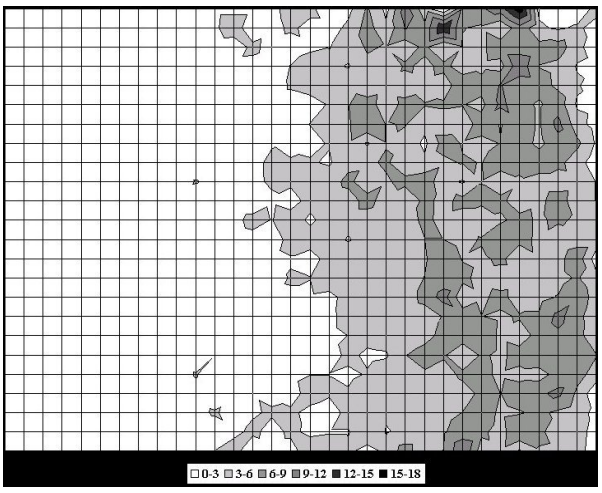

Abb. 11e: PN-Gruppe

Die Abb. 11a bis e zeigen die prozentuale Verteilung der Suchaktivität (Fixationen) über das visuelle Suchfeld. Hellere Areale stehen für eine geringere, dunklere für eine höhere Suchaktivität.

Eine leichte Dysbalance der Fixationsdichte deutet sich bei der FR-Gruppe an (Abb. 11b). Hier finden sich fleckförmige Aktivitätsspitzen vorrangig in der ipsiläsionalen Bildschirmhälfte, daneben eine insgesamt leicht reduzierte Aktivität in der kontralateralen Hälfte.

Zweifellsfrei ungleich verteilt sind die Fixationen bei beiden Gruppen mit ausgeprägtem Neglect. Hier spiegelt sich eine deutliche Verschiebung der räumlichen Aufmerksamkeit zugunsten der rechten Bildschirmhälfte wider. Auch wenn der höchste Ausschlag der Fixationsdichte bei beiden Gruppen im rechten oberen Quadranten lokalisiert ist, wird hier vor allem ein weniger vertikales als vielmehr horizontales Ungleichgewicht offenbar.

3.4.2 Horizontale Verteilung (eindimensional)

Um das Ausmaß der inhomogenen Verteilung der Fixationen in der Horizontalen quantitativ beurteilen zu können, wird im Folgenden die vertikale Achse ausgeblendet und die relative Häufigkeit der Fixationen eindimensional entlang der horizontalen Achse bestimmt (Abb. 12). Der Stimulusbildschirm wird hierfür in vier gleichgroße senkrechte Säulen unterteilt und die Summen der Fixationen innerhalb dieser Säulen werden zueinander ins Verhältnis gesetzt.

Wie auch schon in der zweidimensionalen Darstellung deutlich wurde, liegen die Kontroll- und PR-Gruppe hier eng bei einander. Beide kommen nah an die theoretisch denkbare Gleichverteilung von je 25 Prozent der Fixationen je Säule heran. Sie unterscheiden sich trotz den etwas häufigeren Fixationen in äußeren linken Teil und dafür geringeren Fixationsdichte im rechten äußeren Bereich kaum voneinander. Bei den übrigen Gruppen dreht sich dieses leichte Links-Rechts-Gefälle in ein deutliches Rechts-Links-Gefälle um. So kommt beispielsweise annähernd die Hälfte aller Fixationen der Patienten mit deutlichem parietalen Neglect im äußeren rechten Bereich des Bildschirms zu liegen. Das linke Halbfeld wird dabei kaum angeblickt.

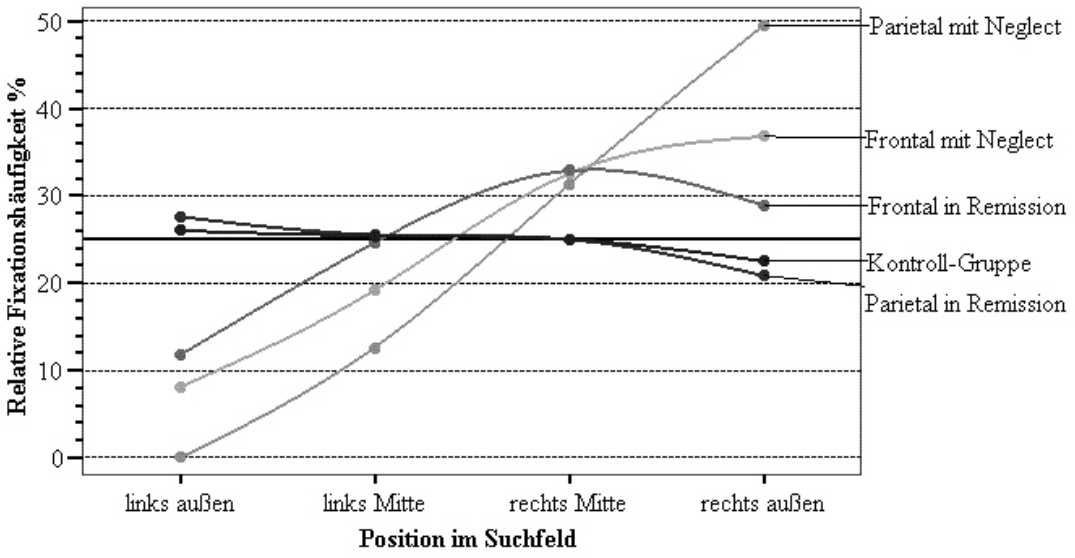

Abb. 12: Prozentuale Verteilung der Fixationen auf dem Stimulusdisplay in der horizontalen Ebene.

Ganz so extrem ist dieser Rechts-Bias bei den Patienten mit frontalen Hirnläsionen nicht ausgeprägt. So führten die Mitglieder der FN-Gruppe ihren Blick in ca. 8 %, die der FR-Gruppe schon in ungefähr 12 % der Fälle in das äußere linke Viertel des Bildschirms. Beachtenswert ist hier aber auch das Maximum der Fixationen der FR-Gruppe, welches nicht im rechten Außenfeld, sondern im rechten Mittelfeld zu liegen kommt.

3.5 Sakkadenparameter

Um die Bedeutung möglicher okulomotorischer Funktionsstörungen beim Neglect zu untersuchen, werden im Folgenden die Sakkadenparameter noch einmal genauer unter die Lupe genommen. Typische Zeichen okulomotorischer Beeinträchtigungen sind Störungen der Sakkadeninitiierung oder -ausführung, welche sich anhand von Veränderungen richtungsspezifischer Sakkaden-häufigkeiten oder -amplituden feststellen lassen.

3.5.1 Relative Sakkadenhäufigkeit

Zur Beurteilung der Häufigkeit der sakkadischen Augenbewegungen wird im Folgenden zunächst die Richtung der Sakkaden berücksichtigt. Als Ausgangspunkt dient eine Fixation. Die Richtung der Sakkade, welcher dieser Fixation vorausgeht, definiert die Einteilung der Sakkaden in rechts- und linksgerichtete Sakkaden. Dabei wird von einem in 360 Winkelgrade eingeteilten geometrischen Kreis ausgegangen. Sakkaden, deren Richtung sich im Winkelfenster von 45° bis 135° befinden, werden als von links kommend, Sakkaden zwischen 225° bis 315° als von rechtskommend definiert (vgl. Abb. 13).

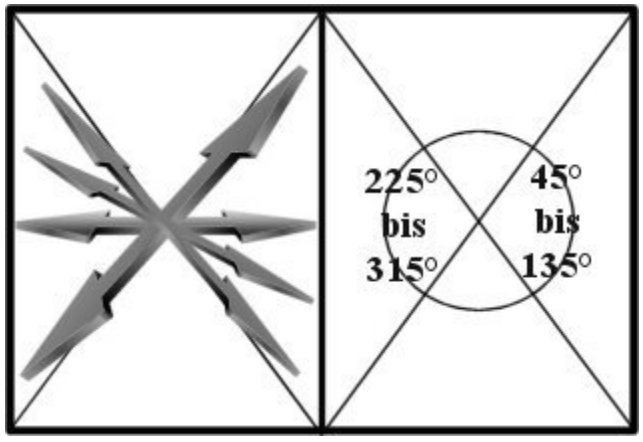

Abb. 13: Darstellung der für die folgenden Auswertungen verwendeten Einteilungskriterien der Sakkaden nach Richtung und Lokalisation.

Da sich die relative Häufigkeit links- und rechtsgerichteter Sakkaden stets zu 100% addiert, sind im Folgenden nur die Ergebnisse der linksgerichteten Sakkaden wiedergegeben. Dabei zeigt sich eine Häufigkeitsverteilung um nahezu 50% bei fast allen Gruppen (Abb. 14a). Vier Gruppen machten bei der Bearbeitung der Suchbilder annähernd genauso viele Sakkaden nach links wie nach rechts. Die Ausnahme bildet die FR-Gruppe. Ihre Mitglieder scheinen mehr Sakkaden nach links als nach rechts ausgeführt zu haben. Der statistische Gruppenvergleich liefert aber keine signifikanten Unterschiede [$F(4,33) = 0{,}061$; $p = 0{,}993$] und Abb. 14b klärt die Abweichung weiter auf. Sie kommt allein durch eine Versuchsperson zustande.

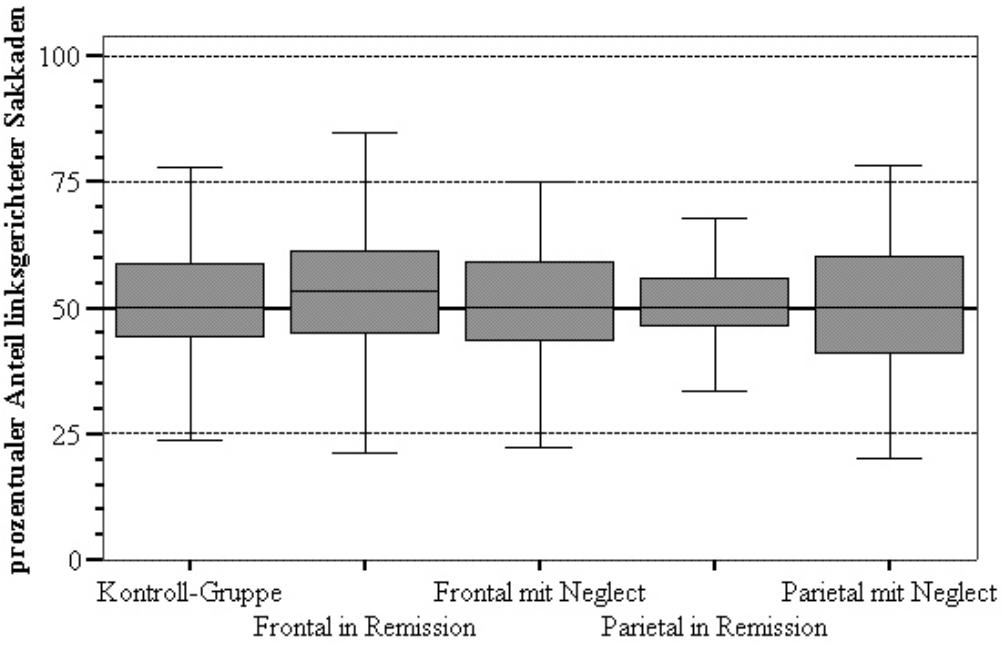

Abb. 14a: Prozentuale Verteilung der richtungsspezifischen Sakkaden (Mittelwert und Standardabweichung).

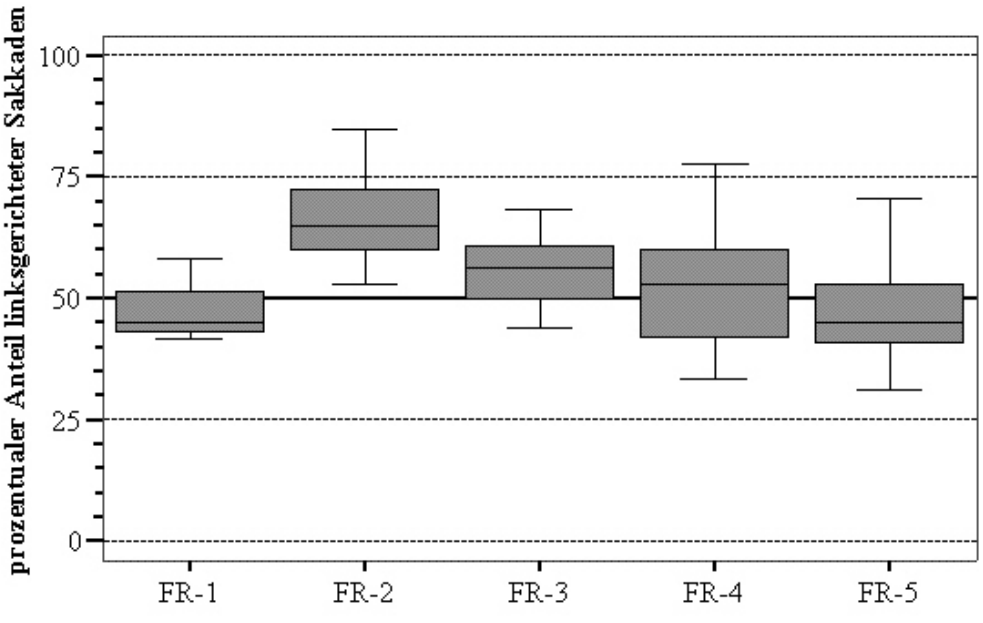

Abb. 14b: Prozentuale Verteilung der Sakkaden innerhalb der FR-Gruppe (Mittelwert und Standardabweichung).

3.5.2 Sakkadenamplituden

Wie bei der Analyse der Häufigkeit richtungsspezifischer Sakkaden wird für die Differenzierung der Sakkadenamplituden primär eine Einteilung in links- und rechtsgerichtet vorgenommen (Abb. 13). Im Mittelpunkt des Interesses stehen nun aber die Amplituden der Sakkaden (Abb. 15).

Wieder zeigen sich zwischen den Versuchsgruppen deutliche Unterschiede. Insgesamt machen die Kontrollprobanden die größten Sakkaden; sie liegen im Bereich um 4,5 Winkelgrad. PN-Patienten hingegen führten die kleinsten Blicksprünge aus, im Bereich um 3,1 Winkelgrad. Daneben scheint es, als ob Sakkaden nach rechts – außer bei der FN-Gruppe – etwas größer ausfallen als Sakkaden nach links. Wie auch bei der relativen Häufigkeitsverteilung der Sakkaden halten die Unterschiede der richtungsspezifischen Sakkadenamplituden innerhalb der Gruppen jedoch keiner Signifikanzprüfung stand. Die ANOVA mit den Faktoren „Gruppe“ und „Sakkadenrichtung“ ergibt jedenfalls keine signifikanten Interaktionen [F(4,66) = 0,098; p = 0,983].

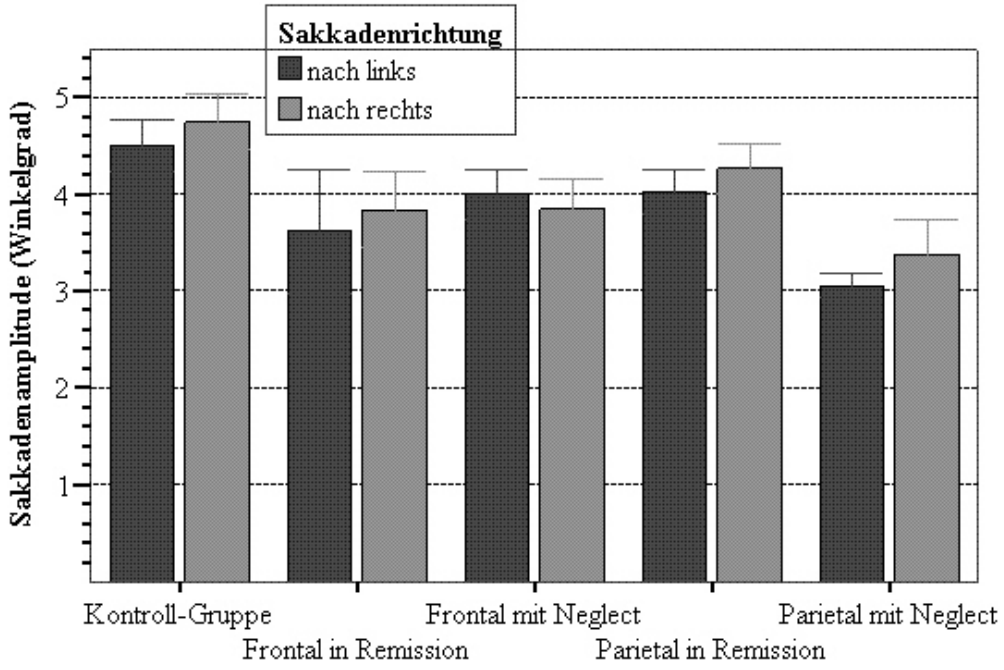

Abb. 15: Richtungsspezifische Sakkadenamplituden (Mittelwert und Standardfehler) in Winkelgrad.

Für eine weitere Analyse der Sakkadenamplituden (Abb.16) wurde zusätzlich eine Unterteilung der Sakkaden entsprechend ihrer Lokalisation vorgenommen. Dabei wurde nicht die Fixation am Anfang der Sakkade, sondern die am Ende der Sakkade als Referenzpunkt genommen. Denn hier ist in erster Linie wichtig, wohin ein Blicksprung erfolgt und weniger woher. Außerdem wird hier nach der Suchaufgabe differenziert, da sie sich offensichtlich entscheidend auf die Größe der jeweiligen Blicksprünge auswirkt. Die ANOVA mit den Faktoren „Gruppe“, „Sakkadenrichtung“, „Sakkadenlokalisation“ und „Suchaufgabe“ ergibt keine signifikanten Unterschiede [F (24,761) = 1,321; p = 0,141]. Bis auf die PN-Gruppe ergeben auch die gruppenspezifischen Varianztests (Test bei unabhängigen Stichproben) keine signifikanten Unterschiede. Die PN-Gruppe hingegen zeigt im Levene-Test eine Gleichheit der Varianzen mit [F = 6,469; p = 0,044].

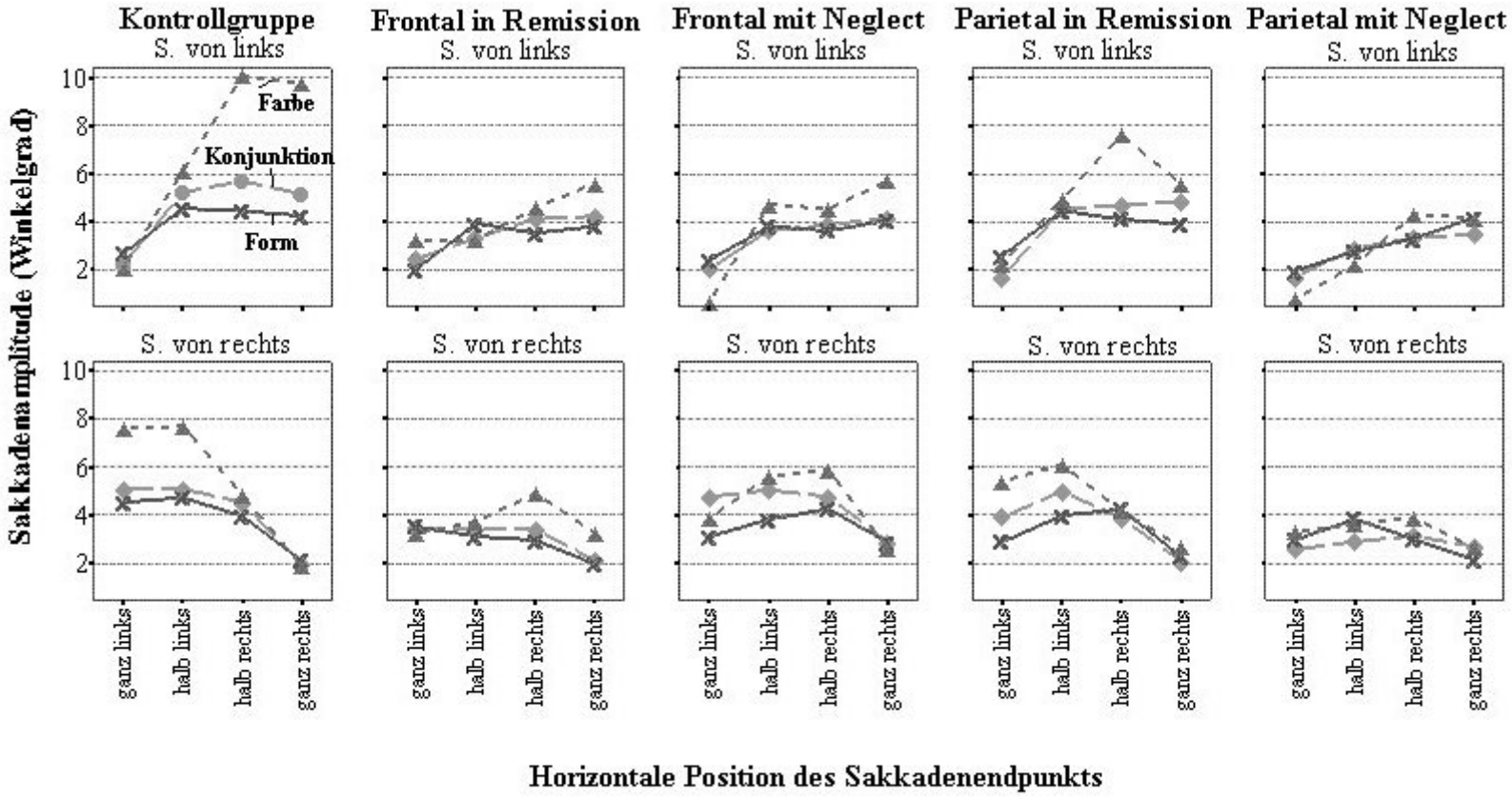

Abb. 16: Richtungs-, lokalisations- und aufgabenspezifische Sakkadenamplituden (Median). In der oberen Reihe sind die Amplituden der von links kommenden, in der unteren Reihe die der von rechts kommenden Sakkaden dargestellt. Alle Graphen haben gemeinsam, dass Sakkaden, die von links kommen umso größer ausfallen, je weiter rechts sich ihr Sakkadenendpunkt befindet. Für von rechts kommende Sakkaden gilt das Gegenteil. Innerhalb der Graphen wird eine weitere Unterscheidung entsprechend der Suchaufgabe vorgenommen. Dabei fallen große Unterschiede bei der Kontrollgruppe auf. Farbsuchen sind durch große, Formsuchen durch kleine Blicksprünge gekennzeichnet.

3.6 Suchergebnis

Bei der freien visuellen Suche liefert der Anteil der gefundenen an den jeweils präsentierten Targets den vielleicht wichtigsten Parameter, um den Erfolg oder Effizienz einer Suche beurteilen zu können. Wie Tabelle 3 veranschaulicht, gelingt es allein der Kontroll-Gruppe bei allen drei Aufgabentypen auch alle Zielreize zu finden. Die beiden frontalen Patientengruppen zeigen ihre schwächste Leistung bei der Formsuche, wobei die Patienten mit remittiertem Neglect bei Farb- und Konjunktionssuchen keine Targets übersehen. PR-Patienten haben bei Farbsuchen die größten Schwierigkeiten, was sich in einer Auffindungsrate von nur 0,75 der Targets bemerkbar macht. Die Explorationen der Neglectpatienten mit parietaler Hirnschädigung schließlich weisen den geringsten Erfolg auf, denn sie entdecken bei allen Suchaufgaben nur jedes zweite Target.

	Farbe	Form	Konjunktion
	Median	Median	Median
Kontroll-Gruppe	1,00	1,00	1,00
Frontal in Remission	1,00	,88	1,00
Frontal mit Neglect	,88	,81	1,00
Parietal in Remission	,75	,88	1,00
Parietal mit Neglect	,50	,50	,50

Tab. 3: Anteil gefundener Targets an der Gesamtzahl je Suchbild.

In der ANOVA mit den Faktoren „Gruppe“, „Aufgabentyp“, „Anzahl der Targets“ und „Anzahl der Items“ lassen sich signifikante Interaktionen feststellen. Diese bestehen zwischen der „Gruppe“ und dem „Aufgabentyp“ [$F(8,598) = 2,629$; $p = 0,008$] sowie der „Gruppe“ mit der „Anzahl der Targets“ [$F(8,598) = 3,011$; $p = 0,003$]. Die „Gruppe“ interagiert zwar mit der „Anzahl der Items“, jedoch nicht signifikant [$F(8,598) = 0,923$; $p = 0,497$].

Die anschließenden Post-Hoc-Tests mit Scheffé-Korrektur zeigen weiter, dass sich die PN-Gruppe mit ihrem Ergebnis von allen anderen Gruppen unterscheidet, wohingegen beide Remissionsgruppen und die Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede untereinander aufweisen ($p = 0,424$). Die FN-Gruppe unterscheidet sich signifikant von allen anderen Gruppen außer der PR-Gruppe ($p = 0,557$). Hinsichtlich der Targetanzahl bilden die Vier- und Acht-Target-

Bedingung eine homogene Untergruppe (p = 0,779) und unterscheiden sich beide von der Ein-Target-Bedingung. Homogene Untergruppen bei der Suchaufgabe bilden die einfachen Merkmalssuchaufgaben (Farbe und Form, p = 0,211) und der Form- und Konjunktionssuche (p = 0,363).

3.7 Targetrefixationen

3.7.1 Einfluss der Anzahl von Zielreizen

Die Häufigkeit von Targetrefixationen wird im Folgenden in Abhängigkeit von der Anzahl der Zielobjekte dargestellt (Abb. 17). Wird den Probanden nur ein Zielobjekt präsentiert, blicken sie dieses nach der ersten Fixation im Mittel weniger als einmal (Kontrollgruppe) bis hin zu zweimal (PN-Gruppe) erneut an. Die Häufigkeit der Refixationen erscheint also insgesamt bei den Patientengruppen und nur einem zu suchenden Target gering erhöht. Sind indessen mehrere Targets in einem Suchbild versteckt, so nimmt bei allen Patientengruppen die Anzahl der Refixationen deutlich mehr zu als bei den Kontrollprobanden. In der Acht-Target-Bedingung stellen sich die Unterschiede besonders eindrucksvoll dar: Normalpersonen machen kaum mehr als zwei, Patienten mit manifestem Neglect und parietaler Hirnläsion hingegen bereits fast sieben Target-Refixationen pro Suchbild. Der größte Effekt ist aber bei den frontal geschädigten Neglectpatienten mit beinahe 15 Refixationen auszumachen, wobei jedoch die große Varianz (Fehlerbalken) mit zu berücksichtigen ist.

Diese scheinbar beträchtlichen Unterschiede relativieren sich außerdem beim direkten Paarvergleich der einzelnen Versuchgruppen (Mann-Whitney-U-Test). Die FN-Gruppe unterscheidet sich zwar noch, sowohl in der Vier- als auch Acht-Target-Bedingung von der Kontrollgruppe ($p < 0.05$), die PR-Gruppe unterscheidet sich von der Kontrollgruppe aber nur noch in der Vier-Target-Bedingung ($p < 0.05$). Alle anderen Gruppen unterscheiden sich aber nicht signifikant voneinander.

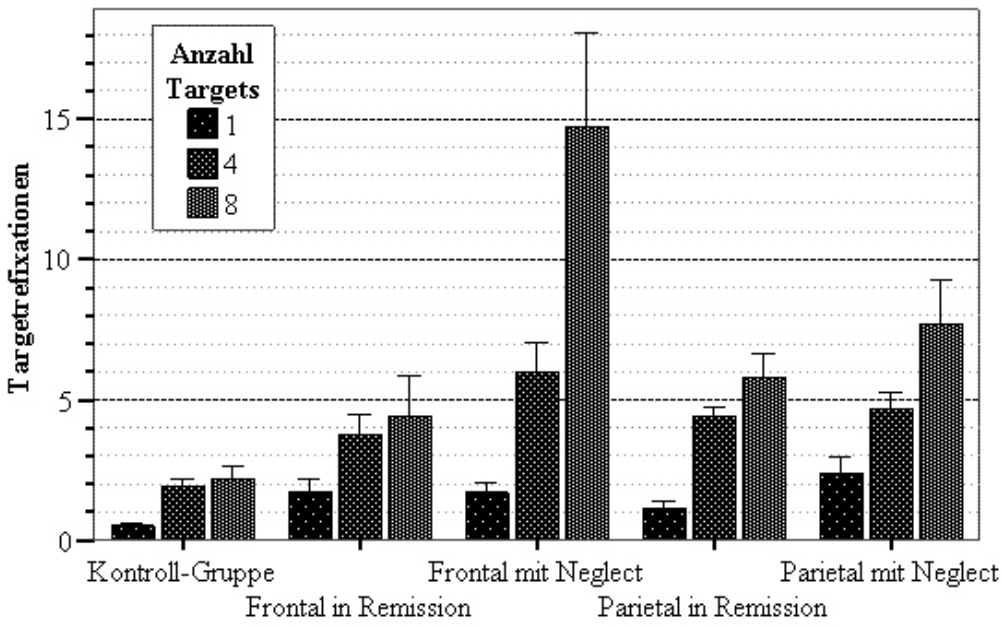

Abb. 17: Häufigkeit der Refixationen von Targets in Abhängigkeit von der Targetanzahl (Mittelwert und Standardfehler).

3.7.2 Einfluss der Suchaufgabe

Da Merkmalseigenschaften selbst Einfluss auf das Suchverhalten ausüben, ist es weiter interessant zu untersuchen, welche Auswirkungen die einzelnen Suchaufgabentypen auf die Refixationshäufigkeit von Zielobjekten haben (Abb. 18). Der Suchaufgabentyp scheint bei den beiden Remissionsgruppen und der Kontrollgruppe einen vergleichsweise geringen Einfluss auf die Refixationshäufigkeit auszuüben. Die von der Suchaufgabe abhängigen Unterschiede bewegen sich zwar auf unterschiedlich hohem Niveau, fallen aber innerhalb der Gruppen doch nur gering aus. Bei den beiden Neglectgruppen finden sich zwei Auffälligkeiten: Im Gegensatz zur FN-Gruppe, die mit Abstand die meisten Refixationen bei der Formsuche machen, zeigt sich dieser Effekt bei der PN-Gruppe bei der Farbsuche. Dass jedoch auch hier die Höhe des Standardfehlers mit zu berücksichtigen ist, kommt auch in der statistischen Auswertung zum Tragen.

Der individuelle Paarvergleich ergibt wieder keine signifikanten Unterschiede zwischen den Patientengruppen, jedoch zwischen der Kontrollgruppe und den Patientengruppen: Bei Farbsuchen

unterscheiden sich die Gesunden von der FN-Gruppe ($p < 0.05$), PR-Gruppe ($p < 0.01$) und PN-Gruppe ($p < 0.05$), bei Formsuchen von allen Patientengruppen [FR ($p < 0.05$), FN ($p < 0.05$), PR ($p < 0.05$), PN ($p < 0.05$)] und schließlich bei der Konjunktionssuche von den beiden Parietalgruppen [PR ($p < 0.05$), PN ($p < 0.05$)].

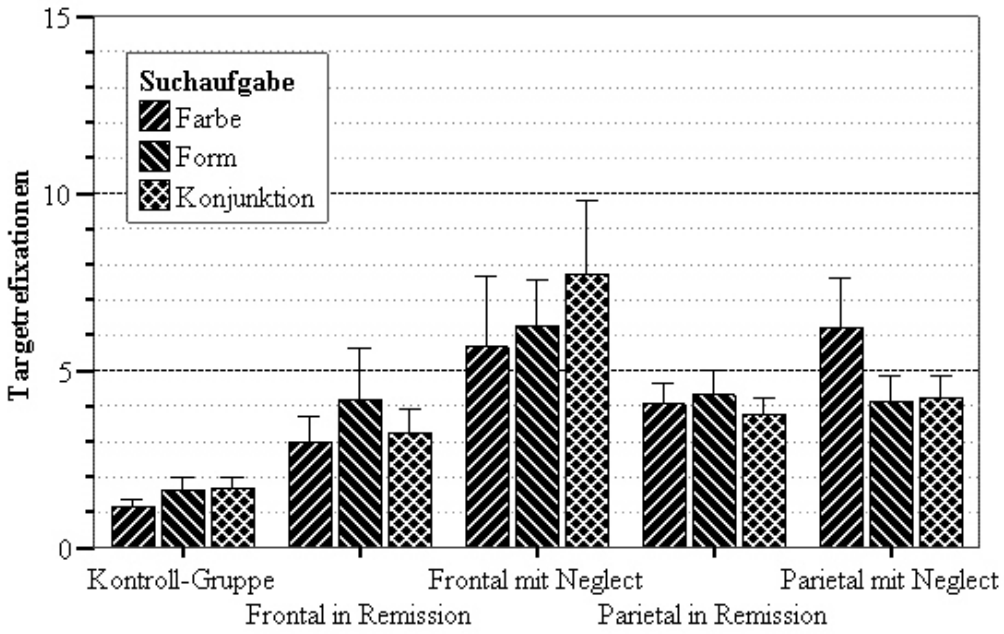

Abb. 18: Häufigkeit der Targetrefixationen bei unterschiedlichen Suchaufgabentypen (Mittelwert und Standardfehler).

3.8 Reklickrate

Die Schnittmenge der refixierten mit den erneut angeklickten Targets wird im Folgenden für die Ermittlung der Targetreklickrate durch die Anzahl der überhaupt erkannten Targets geteilt. Der Anteil der wiederholt fixiert und entdeckten Targets („Reklicks“) an der Gesamtzahl der erkannten Targets wird als Reklickrate bezeichnet. In der Auswertung zeigt sich, dass nur die Neglectpatienten mit frontaler Schädigung dieselben Objekte mehrfach als neue Targets identifizieren (Reklickraten: Farbsuche 0, Formsuche 0,22, Konjunktionssuche 0,25). Sie unterscheiden sich hier signifikant von allen anderen Gruppen (p stets < 0,001), die alle eine Reklickrate von exakt 0,00 (Median) aufweisen.

4 Diskussion

Das primäre Ziel der vorliegenden Studie bestand darin, die unterschiedlichen Defizite, die zum klinischen Erscheinungsbild des visuellen Neglectsyndroms beitragen, im Rahmen eines einzigen Versuchsansatzes umfassend zu identifizieren und zu charakterisieren. Hierzu war ein multifaktorielles Studiendesign erforderlich, welches nicht nur die Läsionslokalisation, sondern auch unterschiedliche Anforderungen visueller Szenen explizit berücksichtigt, denn auch diese können das Suchverhalten von Neglectpatienten erheblich beeinflussen [105]. Dementsprechend wurde das Explorationsverhalten von Patienten mit parietalen und frontalen Hirnschäden beim Lösen visueller Suchaufgaben untersucht und dabei die Aufgabenstellung (Farb-, Form- und Konjunktionssuche) und der Schwierigkeitsgrad (1, 2, 4 oder 8 Zielreize unter 40, 60 oder 80 Objekten finden) der Suchbilder variiert. Da außerdem noch immer nicht ausreichend untersucht ist, ob die Rückbildung des Neglects alle Symptome gleichermaßen betrifft [124] und unter welchen Umständen persistierende Restdefizite erneut zu Tage treten können, wurden neben Patienten mit akuter Neglectsymptomatik auch solche untersucht, bei denen sich der Neglect klinisch schon weitgehend zurückgebildet hat. Die im Folgenden diskutierten Untersuchungsergebnisse stellen eine Ergänzung und Erweiterung der Analyse von Sprenger et al. dar [177].

4.1 Effizienzanalyse

Bevor qualitative Aspekte des visuellen Suchverhaltens diskutiert werden, erfolgt an dieser Stelle zunächst eine Gegenüberstellung der fünf untersuchten Gruppen hinsichtlich ihres visuell-exploratorischen Leistungsvermögens. Nicht nur in der Physik hängt die Leistung von der Arbeit und der dafür benötigten Zeit ab. Auch hier sollen diese zwei Größen herangezogen werden, um die Leistungsfähigkeit der Versuchsteilnehmer zu beurteilen. Es werden das Suchergebnis, d.h. der Anteil der gefundenen an den präsentierten Targets bewertet, sowie die Bearbeitungsdauer als Parameter für die Geschwindigkeit der Suche.

4.1.1 Suchergebnis (Anteil gefundener Zielreize)

Die Antwort auf die Frage, wie viele der präsentierten Zielobjekte in den Suchbildern von den Versuchsteilnehmern gefunden wurden, fiele zwar individuell sehr unterschiedlich aus. Grundsätzlich können jedoch die Ergebnisse, die sich aus den erreichten Punktwerten im Neglecttest NET (Tab. 2) ergeben haben, auch bei der visuellen Suche bestätigt werden (Tab. 3):

Während die Normalpersonen (KG) in der Regel die richtige Targetanzahl angaben, waren die Patienten mit klinisch remittierter Symptomatik doch noch in gewissem Umfang beeinträchtigt. Die frontal geschädigten Patienten (FR) zeigten, wie auch die parietal Geschädigten (PR), eine leichte Schwäche bei der Formsuche, letztere außerdem bei der Farbsuche. Insgesamt sind die Resultate beider Remissionsgruppen aber doch noch so gut, dass sie sich, wie beim NET, nicht signifikant von der Kontrollgruppe unterscheiden. Damit bescheinigen ihnen beide Tests übereinstimmend eine fortgeschrittene Rückbildung der klinischen Neglectsymptomatik.

Nun zu den Resultaten der beiden Neglectgruppen: Patienten mit frontaler Hirnschädigung (FN) fanden, gemäß ihrer vergleichsweise geringen Beeinträchtigung im NET, relativ viele Targets, bei der Farbsuche entdeckten sie sogar mehr als die PR-Gruppe. Für Konjunktionssuchaufgaben waren überhaupt keine Defizite feststellbar. Ganz anders stellt sich die Situation der Neglectpatienten mit parietaler Hinschädigung (PN) dar. Sie entdeckten bei allen Aufgabentypen auffallend wenige Targets, nämlich nur jedes zweite. Damit bestätigen sich auch hier die Ergebnisse des NET, bei dem die frontal geschädigten Neglectpatienten ebenfalls bessere Ergebnisse aufwiesen als die Patienten mit parietalem Neglect.

Eine mit diesen Ergebnissen vergleichbare Situation findet sich in einer Studie von Zihl und Hebel, bei der ebenfalls Patienten mit frontalen und parietalen Hirnschäden bei der visuellen Suche untersucht wurden. Hier machten die Patienten mit parietalen Hirnschäden häufig zu geringe oder zu hohe Angaben über die Anzahl der zu suchenden Punkte eines Stimulusdisplays, während die Patienten mit frontalen Hirnschäden trotz ihrer Beeinträchtigung wie Hirngesunde meist die richtige Punktzahl angeben konnten [209].

Als mögliche Erklärung für diese Befunde könnte nun angeführt werden, dass der Neglect der Patienten mit frontalen Hirnschäden in beiden Studien eben einfach geringer ausgeprägt war, als bei den Patienten mit parietalen Hirnschäden. Das wäre eine durchaus plausible Erklärung, wenn man den Schweregrad des Neglect allein vom erzielten Suchergebnis abhängig machte. Im Folgenden wird jedoch dargestellt, dass zumindest ein weiterer Faktor für die Beurteilung der visuellen Explorationsfähigkeit beim Neglect bedeutsam ist.

4.1.2 Bearbeitungsgeschwindigkeit

Ein zweiter Faktor, der für die Beurteilung der explorativen Leistungsfähigkeit relevant ist, ist die Zeit, die zum Lösen einer Suchaufgabe benötigt wird. Die absoluten Bearbeitungszeiten werden in der Abbildung 8 dargestellt. Dabei bleiben die Art und Komplexität der Aufgabenstellung zunächst unberücksichtigt.

Es überrascht nicht, dass die Kontrollprobanden die Aufgaben im Mittel deutlich schneller lösten als die Patientengruppen. Betrachtet man die Bearbeitungszeiten der Patienten mit frontalen und parietalen Schädigungen, ergibt sich – anders als im ersten Teil der Effizienzanalyse – ein Widerspruch beim Vergleich mit der Studie von Zihl und Hebel [209]: Zwar suchten auch bei ihnen beide Patientengruppen länger als die Kontrollgruppe, allerdings waren ihre frontal Geschädigten in allen Versuchsbedingungen schneller als die parietal geschädigten Patienten. Genau umgekehrt verhält es sich bei den hier vorliegenden Ergebnissen. Beide Patientengruppen mit frontaler Schädigung benötigten wesentlich mehr Zeit als ihre parietalen Vergleichsgruppen. Die Unterschiede fallen bei remittiertem Neglect zwar noch moderat aus, werden allerdings bei ausgeprägtem Neglect doch sehr deutlich: FN-Patienten benötigten im Mittel über 22, PN-Patienten hingegen nur knapp 16 Sekunden je Suchbild. Gewiss spielen für die geringere Beeinträchtigung der Remissionsgruppen auch Faktoren eine Rolle, die nicht unbedingt von der Neglectsymptomatik abhängen, wie z.B. eine Minderung der Daueraufmerksamkeit. Diese ist zwar häufig mit dem Neglect assoziiert und stellt möglicherweise sogar eine weitere Teilkomponente dar [164]; sie ist aber bei frischen Hirnschädigungen grundsätzlich nicht ungewöhnlich. In jedem Fall könnte die

Rückbildung eines Neglects zeitlich parallel mit einer Besserung anderer Funktionen und deshalb mit einer schnelleren Verarbeitung visueller Szenen einhergehen.

Wie erklärt sie nun aber der Widerspruch der Ergebnisse mit denen von Zihl und Hebel? Vermutlich muss der schon bei einfachen Papier- und Bleistifttests [98] auffällige Einfluss hoher Distraktorenzahlen auf die Geschwindigkeit und Effizienz bei Patienten mit frontalen Hirnschäden berücksichtigt werden. Deshalb wurden die relativen Bearbeitungszeiten bei unterschiedlicher Set-Size ermittelt. „Relativ“ deshalb, weil hier die Bearbeitungszeiten der Suchbilder mit 60 und 80 Items ins Verhältnis zu den Bildern gleicher Aufgabenstellung mit nur 40 Items gesetzt wurden. In der Abbildung 9 wird deutlich, dass die parietal geschädigten Gruppen genauso wie die Kontrollgruppe auf Erhöhungen der Objektanzahl mit einer vergleichsweise leichten Zunahme ihrer Bearbeitungsdauer reagierten. Übereinstimmend mit Untersuchungen von Husain und Kennard [88] zeigten indessen die Patienten mit frontaler Hirnschädigung eine überproportionale Zunahme der Suchzeiten, insbesondere bei sehr hoher Objektdichte (80 Items). Auch dieser Effekt ist wieder bei den Patienten mit ausgeprägtem Neglect sehr deutlich, bei schon zurückgebildetem Neglect noch angedeutet zu verzeichnen.

Quintessenz 1: Visuell-exploratorische Leistungseinbußen

Patienten mit frontalem Neglect finden bei der Visuellen Suche zwar deutlich mehr der präsentierten Zielreize als Patienten mit parietalem Neglect, benötigen dafür – gerade bei höherer Stimulusdichte – aber auch wesentlich mehr Zeit. Abhängig vom Ort der Hirnschädigung, kann sich der Neglect demnach entweder stärker in einer *reduzierten Entdeckungsrate* relevanter Umgebungsreize oder in einem *höheren Zeitbedarf* bei der Bearbeitung visueller Szenen manifestieren. Diese charakteristischen Beeinträchtigungen der exploratorischen Leistungsfähigkeit sind selbst bei klinisch schon weitgehend zurückgebildetem Neglect noch in einem verminderten Ausmaß nachweisbar. Das unterstreicht nicht nur die Sensitivität der hier angewandten Methode zur Erfassung eines Neglects, sondern wirft gleichsam die Frage nach der möglichen Bedeutung derartiger Restdefizite für den Alltag „rehabilitierter“ Patienten auf.

4.2 Grundlegende Explorationsdefizite beim Hemineglect

4.2.1 Sensorische und okulomotorische Defizite

Sensorische Defizite stellen zwar weder eine hinreichende noch notwendige Bedingung für das Auftreten eines Neglect dar [201]. Allerdings können etwa Gesichtsfelddefekte, die allein schon von sich aus zu Veränderungen des visuellen Explorationsverhaltens führen [11], [91], eine Exazerbation des Neglect hervorrufen [1], [28], [53], [72]. Während in der vorliegenden Studie ein schweres sensorisches Defizit ein Ausschlusskriterium für die Teilnahme darstellte, konnten und durften okulomotorische Störungen nicht explizit ausgeschlossen werden, liegen doch zahlreiche Anhaltspunkte vor, dass es sich hier um einen echten Bestandteil des Neglectsyndroms handelt. So wird eine Beeinträchtigung auf der Ebene der Sakkadenplanung heute kaum mehr angezweifelt. Als Beleg dafür wurde beispielsweise angeführt, dass die Latenz kontraläsionaler Sakkaden im Vergleich zu ipsiläsionalen Sakkaden bei Neglectpatienten verlängert sein soll [11], [12], [13].

Über mögliche Störungen auf der Ausführungsebene wird hingegen noch diskutiert. In mehreren Studien wird eine (unilaterale) Hypometrie der Sakkadenamplituden beschrieben. Daneben soll der Neglect dazu führen, dass mehr Sakkaden im ipsiläsionalen als im kontraläsionalen Halbfeld ausgeführt werden [30], [63], [81], [91], [93]. Zur Überprüfung okulomotorisch bedingter Einflüsse auf das visuelle Suchverhalten wurde hier nun aus den Augenbewegungsdaten zum einen das Verhältnis der Sakkadenhäufigkeit (links- versus rechtsgerichtet), zum anderen die Größe der Sakkadenamplituden ermittelt. Bei den Sakkadenamplituden wurde zusätzlich eine Differenzierung nach ihrer Position im linken oder rechten Halbfeld vorgenommen.

Dabei zeigte sich in keiner Versuchsgruppe ein Ungleichgewicht in der Häufigkeitsverteilung der Sakkaden, d.h. es wurden gleich viele Sakkaden nach links wie nach rechts ausgeführt. Es konnten auch keine signifikanten *unilateralen* Unterschiede zwischen den Patienten und den Vergleichspersonen festgestellt werden, wenngleich die Sakkadenamplituden bei den Patientengruppen insgesamt kleiner als bei der Kontrollgruppe waren.

Damit stehen diese Ergebnisse zwar teilweise in Wiederspruch zu den oben genannten Studien. Sie sind aber kongruent mit Beobachtungen von Niemeier und Karnath [132]. Ihre Neglectpatienten

sollten in absoluter Dunkelheit entweder nach einem Laserpunkt oder nach einem nicht existenten Buchstaben suchen. Die dabei gemessenen Sakkadenamplituden waren im Vergleich zu Kontrollprobanden ebenfalls in alle Richtungen hypometrisch und nicht nur unilateral. In einer Studie von Walker und Findlay wurden sogar nicht einmal richtungsabhängig merkliche Veränderung der Sakkadenamplituden festgestellt [197]. Auch Behrmann et al. unterstützen diese Beobachtungen und ergänzen, dass sowohl die Dauer als auch die Geschwindigkeit, Targets zu erreichen beim Neglect normal und damit die kontraläsionale Sakkadenausführung vermutlich prinzipiell intakt ist [12]. Wenngleich eine Störung der sakkadischen Kontrolle also tatsächlich eine modifizierende Rolle zu spielen scheint, ist die defizitäre visuelle Exploration der linken Seite beim Neglect wahrscheinlich nur sekundär auf okulomotorische Defizite zurückzuführen.

4.2.2 Aufmerksamkeits-, Repräsentations- und Transformationsdefizite

Eingangs wurde dargelegt, wie kontrovers noch immer diskutiert wird, ob der Neglect letztlich auf einem Aufmerksamkeits-, Repräsentations- oder Transformationsdefizit beruht. Auch die vorliegenden Ergebnisse lassen sich aus unterschiedlichen Blickwinkeln erklären:

Bei der freien visuellen Suche kann man davon ausgehen, dass eine Fixation dem jeweils aktuellen Aufmerksamkeitsfokus entspricht [114], [128], [173], [197], obwohl es prinzipiell auch möglich ist, die Aufmerksamkeit bei fixierter Augenposition, sprich „verdeckt“ zu verschieben [142]. Die ungleiche Verteilung der Fixationen (Abb. 11a-e) während der Bearbeitung aller Suchbilder kann in diesem Sinne als Manifestation einer gestörten Aufmerksamkeitsverteilung interpretiert werden. Diese Ungleichverteilung betrifft offensichtlich vorrangig die horizontale Ebene und spiegelt die allgemeine Lateralisierung des Explorationsverhaltens zugunsten der rechten kontraläsionalen Bildhälfte beim Neglect wieder [15], [85]. Der relativ konstante Abfall der Fixationshäufigkeit bei den frontalen und parietalen Neglectpatienten vom rechten in den linken Halbraum (Abb. 12) bestätigt außerdem, dass sich die pathologische Aufmerksamkeitsausrichtung beim Neglect nicht, wie ursprünglich angenommen, an einer scharfen Grenze orientiert, sondern vielmehr einem kontinuierlichen Gradienten folgt, der sich entlang einer Achse von der kontraläsionalen zur

ipsiläsionalen Raumhälfte erstreckt [113]. Die Lateralisierung erscheint so gesehen als eine von außen sichtbare Manifestation eines systematischen Aufmerksamkeitsdefizits, welches konsekutiv zu einer gestörten Repräsentation kontraläsional gelegener Reize führt.

Andererseits ist das Argument nicht weniger schlüssig, wonach die Patienten nur in einer Hälfte des Bildschirms suchen, weil sie nur diese kortikal repräsentieren; gerade, wenn man davon ausgeht, dass die Verlagerung des Blickes zu einem Stimulus dessen geistige Repräsentation zur Vorraussetzung hat. So gesehen kann der Lateralisierungsgradient also ebenso als Beleg für ein systematisches Repräsentationsdefizit aufgefasst werden. In diesem Sinne könnten die Repräsentationen ipsiläsional gelegener Reize die der kontraläsionalen Reize dominieren. Deshalb werden sie nicht nur vorrangig, sondern auch immer wieder angeblickt. Die Beobachtung, dass einige der Neglectpatienten Targets auf der linken Bildhälfte zwar anblickten, aber nicht die Maustaste betätigten, spricht im übrigen ebenfalls für eine Repräsentationsstörung, denn möglicherweise führten die wenigen Fixationen im linken Halbraum nicht zu bewussten Wahrnehmung der dort angeblickten Objekte [164], [193].

Folgt man dieser Interpretation, muss man sich auch der Frage stellen, an was sich denn das Koordinatensystem, in dem diese Repräsentationen angeordnet sind, orientiert. Die Ergebnisse sind hier nämlich nicht eindeutig interpretierbar. Der Kurvenverlauf der PN- und FN-Gruppe spricht für eine allozentrische Festlegung des Referenzrahmens beim Neglect, denn hier verläuft der Abfall kontinuierlich vom einem Ende der visuellen Szene zum anderen. Wie aber erklärt sich der Kurvenverlauf der FR-Gruppe, bei dem das Häufigkeitsmaximum der Fixationen nicht am äußeren Rand des Stimulusdisplays, sondern etwa 15° nach rechts von der Mitte versetzt zu liegen kommt? Entspricht er nicht vielmehr den Beobachtungen früherer Neglectstudien, die darin einen Beleg für eine Verschiebung des egozentrischen Referenzrahmens sehen [15], [99][12]? Hier stellen der eigene Körper [54], genauer gesagt die Position von Körperstamm, Kopf und/oder Augen das entscheidende Kriterium für die Orientierung des internen Koordinatensystems dar.

[12] Interessant ist in diesem Zusammenhang eine Untersuchung an Affen. In dieser konnte gezeigt werden, dass die prozentuale Verteilung der Neurone, die für die Repräsentation der einzelnen Bereiche im Raum zuständig sind, im ventralen intraparietalen Areal des Parietallappens, nicht für den gesamten Gesichtsfeldbereich gleich hoch, sondern bei ungefähr 15 Winkelgrad von der Mitte versetzt maximal ist [156].

Vermutlich liegt Behrmann richtig mit ihrer Annahme, dass solche unterschiedlichen Fixationsmaxima durch beide Faktoren, verschobene egozentrische Mittsagittale und an der Umgebung orientierten Referenzrahmen, zustande kommen und, dass das Zusammenwirken dieser Referenzrahmen von der jeweiligen Situation (Suchaufgabe und -strategie oder auch Neglectausprägung) abhängt [14]. Die Repräsentation des Raumes ist demnach nicht nur von retinalen bzw. okulozentrischen Koordinaten [18] abhängig, sondern wird auch noch zusätzlich von egozentrischen [107] oder auch objektbasierten [46] Referenzrahmen mit beeinflusst. Auf welche Ursachen man die Lateralisierung des Suchverhaltens letzten Endes zurückführen mag, sie liefert eine plausible Erklärung für die insgesamt verminderte Anzahl gefundener Targets, denn sie ist mit einer von links nach rechts zunehmenden Entdeckungshäufigkeit von Targets verbunden [85].

Quintessenz 2: Grundlegende okulomotorische und kognitive Explorationsdefizite

Die Exploration visueller Szenen ist beim Neglect durch eine vorrangig die horizontale Ebene betreffende *Lateralisierung der Suchaktivität* zu Gunsten der ipsiläsionalen Seite gekennzeichnet. Diese Lateralisierungstendenz ist beim parietalen Neglect noch stärker als beim frontalen Neglect ausgeprägt und wird durch charakteristische kognitive Störungen der Aufmerksamkeit, Raumrepräsentation und Transformation sensorischer Informationen verursacht. Da das Maximum der Suchaktivität offensichtlich veränderlich ist, kann von einem variablen Zusammenwirken der einzelnen Defizite ausgegangen werden. Ein unilaterales Defizit bei der Sakkadenausführung kommt als Ursache für die Lateralisierung nicht in Frage, denn weder die Größe der Amplituden noch die Anzahl der nach links und rechts ausgeführten Blicksprünge unterscheiden sich signifikant voneinander.

4.3 Suchstrategien

Die Fähigkeit, visuelle Suchaufgaben effizient lösen zu können, ist beim frontalen und beim parietalen Neglect in unterschiedlicher Weise beeinträchtigt (Fazit 1). Dabei kann die reduzierte Anzahl der gefundenen Zielreize vornehmlich durch eine Lateralisierung der Suchaktivität erklärt werden (Fazit 2). Zur Erklärung der längeren Suchzeiten bedarf es nun der genaueren Analyse der Suchmuster der Patienten. Im Folgenden wird zunächst kurz das typische Suchverhalten der Normalprobanden charakterisiert, um so eine Grundlage für die eingehende Betrachtung der Suchpfade der Neglectpatienten im Anschluss zu bieten.

4.3.1 Suchstrategien bei Normalprobanden

Wie bereits in einer früheren Studie mit den gleichen Untersuchungsmethoden demonstriert wurde, ist der Suchverlauf sehr stark von der jeweiligen Aufgabenstellung abhängig [178]. Gesunden gelingt es meist problemlos sich flexibel an die aktuelle Suchsituation anzupassen. Sie überlassen die Führung der Suche bei Farbsuchen (Abb. 6d) vorrangig der Verteilung der Targets im Suchbild. Eine aktive Führung oder strategische Kontrolle des Suchpfades ist hier kaum notwendig. Die Diskriminierbarkeit der Zielreize von den Distraktoren reicht offenbar aus, dass nur wenige große Blicksprünge genügen, um die Zielreize zu finden und deren korrekte Anzahl anzugeben [125] .

Im Gegensatz zu diesen reizgesteuerten Suchpfaden lassen sich bei Formsuchen deutliche Belege für das Vorhandensein einer systematischen Vorgehensweise feststellen. Die Suche beginnt typischerweise im linken oberen Quadranten der Suchbilder, was vermutlich auf einem Gewöhnungseffekt beruht, der mit der hiesigen Leserichtung zu tun hat. Schließlich ist auch der weitere Verlauf der Suche häufig schlangenlinienförmig, wie es beim Lesen üblich ist (Abb. 6b). Es finden sich aber auch andere geometrische Figuren, wie stehende oder liegenden „Achten“ (Abb. 6c) oder einfach Kreise (Abb. 6a) [178]. Anders als bei den Farbsuchen, werden bei Formsuchen relativ viele Fixationen und Sakkaden gemacht, denn nur so ist eine Diskriminierung der nur ein Winkelgrad im Durchmesser großen Targets möglich. Diese wesentlich längeren Suchpfade werden anscheinend stark von einer mehr oder weniger bewussten Suchstrategie kontrolliert. Mit

Hilfe einer endogenen Kontrolle des Suchverlaufs können auch diese komplexen visuellen Szenen effizient verarbeitet werden. An Konjunktionssuchaufgaben lässt sich demonstrieren, wie exogene und endogene Kontrollmechanismen flexibel miteinander kombiniert werden, um eine optimale Sucheffizienz zu gewährleisten. Hier ermöglicht die Farbeigenschaft eine grobe Hinführung zu möglichen Targets mit großen Sakkaden. Die Identifizierung der Form im Anschluss ist dann mit vielen kleineren Sakkaden und zahlreichen Fixationen verbunden.

4.3.2 Suchstrategien beim Hemineglect

Von dem hohen Maß an Flexibilität des Explorationsverhaltens ist bei den Suchpfaden der Patienten mit ausgeprägtem Hemineglect kaum etwas zu sehen (Abb. 7a-e): Im Gegensatz zu den Kontrollprobanden starten sie ihre Suche meist nicht am linken, sondern am rechten Bildschirmrand. Diese, z.B. auch bei der Exploration während der Linienhalbierung [92] beobachtbare, unmittelbare Orientierung nach ipsiläsional, zeigen nicht nur die frontal geschädigten Patienten. Bei diesen überrascht ein motorischer Bias in der Sakkadengenerierung nicht, bedenkt man die eingangs erläuterten Funktionen dieses Hirnareals. Aber auch bei den parietalen Neglectpatienten fällt diese initiale Orientierungsreaktion auf.

Eine Untersuchung von Ro et al. [163] spricht für die Vermutung, wonach hier die stärkere Repräsentation der ipsiläsionalen Raumhälfte dazu geführt haben könnte, dass die Aufmerksamkeit und der Blick unwillkürlich in diesen Bereich verlagert werden. Die Autoren untersuchten Patienten mit Läsionen im inferioren Parietallappen und präfrontalen Kortex (einschließlich FEF) mit einem double-step-ähnlichen Paradigma (s.o.), bei dem das Zeitintervall zwischen dem Erscheinen des ersten und des zweiten Reizes variiert wurde. Die Patienten sollten dabei die zeitliche Reihenfolge der präsentierten Stimuli manuell oder über einen Blicksprung anzeigen. Während die parietal Geschädigten die erste Aufgabe gut lösen konnten, waren sie in der zweiten deutlich beeinträchtigt. Hier tendierten sie dazu ihren Blick auch dann nach kontraläsional zu richten, wenn das ipsiläsionale Target zuerst erschienen war. Damit konnten die Autoren zeigen, dass auch parietale Läsionen einen motorischen Bias in der Auswahl der Sakkaden hervorrufen

können. Da die Frontalhirngeschädigten bei dieser Untersuchung beide Aufgaben adäquat meisterten, kann vermutet werden, dass die Mechanismen, die diesem Bias zugrunde liegen, bei frontalem und parietalem Neglect in der Tat unterschiedlich sind.

Auch das auf die initiale ipsiläsionale Orientierungsreaktion folgende, Explorationsverhalten zeigt bereits aus früheren Studien bekannte Charakteristika. Die Patienten explorieren praktisch ausschließlich nur die rechte Bildschirmseite, diese aber sehr intensiv, wenn auch ohne bzw. kaum nachvollziehbare Suchstrategien [10], [31], [91]. Ebenfalls bestätigt werden kann die Beobachtung, dass das Suchverhalten auch noch bei Patienten mit klinisch kaum mehr sichtbarem Neglect noch pathologisch verändert ist [133], wenngleich einem Teil der Patienten eine willkürliche Aufmerksamkeitszuwendung in den kontraläsionalen Raum schon wieder möglich ist [15], [30], [38], [94].

Trotz dieser prinzipiellen Ähnlichkeiten der Suchpfade der parietalen und frontalen Neglectpatienten finden sich aber auch deutliche Unterschiede. Bei den Patienten mit parietalen Läsionen ist nicht nur die Lateralisierung in der Regel wesentlich stärker ausgeprägt als bei den FN-Patienten. Auch innerhalb der abgesuchten Bereiche ist der Zusammenhang zwischen lokaler Stimulusanordnung und Suchaktivität oft nicht mehr nachzuvollziehen. Die zeitlich-räumliche Organisation der Suche scheint zusammengebrochen und durch eine ziellose, unsystematische und starre Abfolge von Sakkaden und Fixationen ersetzt worden zu sein. Zihl und Hebel haben das ebenfalls vielfach beobachtet und bezeichnen die Störung der visuell-räumlichen Führung anhand der Stimuluskonfiguration deshalb als das Hauptmerkmal der Suchpfade beim Patienten mit posterior-parietalen Hirnschäden [209].

Im Gegensatz dazu zeigen die Suchpfade der FN-Patienten einen vielfach sehr deutlich am Suchbild ausgerichteten Verlauf. Zu diesem betont reiz-getriggerten Suchverhalten passt, dass sie bei der Suche nach Objekten einer bestimmten Farbe meist nur mäßig, bei seriellen Suchaufgaben hingegen in besonderem Maße beeinträchtigt sind. Vor allem Areale mit hoher Itemdichte werden besonders intensiv abgesucht („center-of-gravidity-effect“) [77]. Bei diesen Aufgaben scheint eine Strategie entweder vollkommen zu fehlen oder nicht umgesetzt werden zu können. Während diese für Frontalhirngeschädigte typische Unfähigkeit sich adäquat sukzessive Ziele zu setzen in der Vergangenheit als „Programmierdefizit“ bezeichnet wurde, sprechen Zihl und Hebel von einer

gestörten Planung des Suchpfades. Überlegenswert ist ebenfalls, ob es diesen Patienten vielleicht nicht möglich ist, afferente Impulse aus dem Parietallappen, die etwa von Pop-Out-Targets hervorgerufen werden zu unterdrücken und sie deshalb einer grundsätzlich vorhandenen endogenen Suchstrategie nicht folgen können [68].

Alles in allem spiegeln die Suchpfade der Neglectpatienten eindrucksvoll spezifische Störungen innerhalb des bei der visuell-räumlichen Exploration aktiven fronto-parietalen Netzwerks wider. Beim parietalen Neglect kommt es wahrscheinlich zu einer fehlerhaften Kodierung bzw. Repräsentation von Rauminformationen, welche frontale bzw. präfrontale Areale benötigen, um der jeweiligen Situation angepasste sakkadische Reaktionen zu generieren. Beim frontalen Neglect werden diese Informationen vielleicht sogar regelrecht übermittelt. Trotzdem können sie nicht adäquat genutzt und mit endogenen Suchimpulsen in Einklang gebracht werden und wieder können die richtigen sakkadischen Reaktionen nicht generieren werden.

Quintessenz 3: Defizitäre Suchstrategien

Die pathologischen Suchmuster frontal und parietal geschädigter Neglectpatienten illustrieren deren Unfähigkeit adäquat auf die jeweiligen Anforderungen visueller Szenen zu reagieren. Beim parietalen Neglect scheint die innere strategische Kontrolle des Suchverlaufs zwar teilweise intakt zu sein, denn sie zeigen bei Formsuchaufgaben meist relativ strukturierte, geometrische Suchmuster. Allerdings spiegeln ihre Suchpfade die aktuelle Stimuluskonfiguration meist kaum wider, was auf eine *Verwertungsstörung visueller Informationen* hinweist. Dazu passt, dass sie sich bei Farbsuchen zwar an den präsentierten Zielreizen orientieren, sich aber kaum wieder von ihnen lösen können. Beim frontalen Neglect verhält es sich umgekehrt: Hier steht der *Verlust der strategischen Suchpfadkontrolle* im Vordergrund, weshalb die Führung des Suchpfades maßgeblich von der Stimulusanordnung (Pop-Out-Effekt, Center-Of-Gravidity-Effekt) dominiert wird. Fehlen „äußere Anker“ wie bei der Formsuche, erscheinen die Suchpfade unstrukturiert und ineffizient, die Patienten „verirren sich“ im Bild und fixieren wiederholt bereits gefundene Objekte. Dagegen ist aufgrund des Pop-Out-Effektes der Farbe das Suchmuster bei Farbsuchen relativ zielgerichtet.

4.4 Assoziierte Defizite

Warum Neglectpatienten bei der Visuellen Suche weniger Zielreize finden als Hirngesunde kann zufriedenstellend durch die Lateralisierung des Explorationsverhaltens erklärt werden. Dieses räumliche Defizit allein begründet jedoch nicht die insbesondere bei frontaler Hirnschädigung deutlich erhöhten Bearbeitungszeiten. Man könnte ja auch annehmen, dass Neglectpatienten gerade weniger Zeit benötigen, um eine Szene zu erfassen, weil sie ja nur einen Teilbereich explorieren. Die Suchmuster zeigen aber, dass die Exploration in diesem untersuchten Bereich sehr intensiv durchgeführt wird, was sich in einer Vielzahl zeitraubender Sakkaden, Fixationen und Refixationen niederschlägt. Im Folgenden wird es darum gehen aufzuschlüsseln, welche räumlich unabhängigen Mechanismen beim Neglect eine zeitlich ökonomische Suche verhindern. Da der Zeitbedarf von den attentiven Anforderungen des Stimulusmaterials abhängt, stellt sich zunächst die Frage, in wie weit präattentive und attentive Verarbeitungsprinzipien beeinträchtigt sind. Daneben muss angesichts der zahlreichen Refixationen über mögliche Störungen des räumlichen Arbeitsgedächtnisses und einen weiteren Mechanismus, der Refixationen verhindert, diskutiert werden, der „Inhibition of Return".

4.4.1 Parallele versus serielle Suche

Die Frage, ob ein Neglect gleichermaßen parallele wie serielle Suchprozesse beeinträchtigt, war bereits Gegenstand grundlegender Untersuchungen zur visuellen Suche von Riddoch und Humphreys in den 1980er Jahren [158]. Sie legten betroffenen Patienten einfache Merkmalssuchaufgaben vor (rote unter grünen Kreisen finden), stellten eine weitgehende Unabhängigkeit der Reaktionszeiten von der Anzahl der präsentierten Distraktoren fest und werteten dies als Ausdruck einer grundsätzlich intakten präattentiven Verarbeitung beim Neglect[13]. Bemerkenswerterweise war die Suchleistung der untersuchten Patienten – im Gegensatz zu diesen wenig pathologischen Befunden bei parallelen Suchaufgaben – deutlich gemindert, wenn ihnen typisch serielle Such-

[13] Die räumliche Ungebundenheit präattentiver Suchprozesse zeigte sich hier vor allem darin, dass die parallele Verarbeitung auch dann noch möglich war, wenn die Zielreize im kontraläsionalen Halbfeld dargeboten wurden.

aufgaben gestellt wurden. Sollten sie umgekehrte Buchstaben „T“ unter aufrechten Distraktoren entdecken, war die stärkere Affektion attentiver Verarbeitungsprozesse deutlich sichtbar.

Wenige Jahre später gelangten Eglin et al. zu der Feststellung, dass die Beeinträchtigung der visuellen Suchprozesse wohl doch nicht erst auf der attentiven, sondern schon auf der präattentiven Ebene beginnt [51], denn ihre Patienten benötigten nicht nur bei Konjunktionssuchaufgaben, sondern auch bei Merkmalssuchaufgaben signifikant länger, um kontraläsionale Targets zu entdecken als Gesunde.

Hierzu widersprüchlich erscheinen wiederum die Ergebnisse einer jüngeren Studie aus Boston, bei der die präattentive Suche bei drei kortikal geschädigten Neglectpatienten wiederum nicht beeinflusst war [53]. Allerdings zeigte sich hier ein vierter Patient mit einer subkortikalen Läsion bei den Merkmalssuchen sehr wohl beeinträchtigt. Während der Pop-Out-Effekt den anderen Dreien die Suche deutlich erleichterte, konnte er nicht von ihm profitieren. Er suchte die Stimulusanordnung in beiden Halbfeldern seriell ab, was sich unter anderem in einer relativ hohen Bearbeitungsdauer und einem deutlichen Set-Size-Effekt niederschlug. Gemeinsam war allen vier Patienten eine merkliche Beeinträchtigung bei Aufgaben, die eine serielle Verarbeitung erforderten. Diese und die Ergebnisse einer verwandten Arbeit einer italienischen Forschergruppe [1] legen übereinstimmend eine Störung der seriellen Verarbeitung visueller Szenen beim Neglect nahe. Unter welchen Bedingungen die parallele Verarbeitung beeinträchtigt ist, bleibt weiterhin unklar.

Eine Ursache für in diesem Zusammenhang divergierende Studienergebnisse liegt gewiss in den unterschiedlichen attentiven Anforderungen der eingesetzten Stimulusmaterialien. Als Maß für die erforderliche Aufmerksamkeitsrekrutierung kann der Set-Size-Effekt dienen, also die Abhängigkeit der Suchzeiten von der Stimulusdichte bei unterschiedlichen Aufgabentypen. Dieser wurde aber bisher nur in wenigen Studien ermittelt, was zwangsläufig zur Folge hat, dass manche Autoren Beeinträchtigungen bei der parallelen Suche finden, andere aber nicht (vgl. hierzu [25], [49]).

Als methodischer Zugang, um die Abhängigkeit der Bearbeitungszeiten von unterschiedlichen Verarbeitungsprozessen zu erfassen, wurde in der vorliegenden Studie die Ermittlung so genannter relativer Bearbeitungszeiten bei unterschiedlichen Suchaufgaben gewählt (Abb. 10). Formsuch-

aufgaben gingen bei allen Versuchsgruppen mit den längsten, Farbsuchaufgaben mit den kürzesten Suchzeiten einher. Die Merkmalsdimension Form wies in der hier verwendeten Stimulusdarbietung gegenüber der Eigenschaft Farbe eine deutlich geringere Salienz auf. Folglich standen präattentive Informationen bei der Formsuche praktisch nicht zur Verfügung. Die Items mussten deshalb sukzessive mit relativ hohem Zeitaufwand abgesucht werden. Waren die beiden Merkmals-dimensionen Farbe *und* Form gleichzeitig zu berücksichtigen, ergaben sich Suchzeiten, die sich zwischen denen bei reiner Farb- oder Formsuche bewegten, womit sich die relativ hohe Effizienz von Konjunktionssuchen bestätigt. Wie bereits in der Besprechung der Suchpfade angesprochen und in grundlegenden Studien belegt wurde, werden hier primär nur Gruppen von Reizen seriell abgesucht [185]. Zunächst erfolgt eine grobe Führung des Suchpfades durch das präattentiv verarbeitete Merkmal „Farbe“. Hierdurch kann die Anzahl seriell zu verarbeitender Items reduziert und die Suche auf diese Weise effizienter gemacht werden. Erst in einem zweiten Schritt wird dann entschieden, ob es sich auch um die jeweils geforderte Form handelt. Die vorliegenden Ergebnisse stehen folglich prinzipiell in Einklang mit den Vorhersagen etablierter Modelle zur Visuellen Suche, wie dem „guided search model“ oder der „feature integration theory“.

Es ergaben sich jedoch auch Auffälligkeiten, die einer näheren Betrachtung bedürfen. Im Folgenden soll das Augenmerk in ersten Linie auf die Unterschiede zwischen den beiden Neglect-gruppen gerichtet werden. Patienten mit frontalem Neglect zeigen auffallend große, Patienten mit parietaler Schädigung hingegen nur geringe Unterschiede der relativen Bearbeitungszeiten. Wie aufgrund der deutlichen Beeinträchtigung der Suchmuster der frontalen Neglectpatienten bei der Formsuche zu erwarten war, benötigten sie bei diesen Aufgaben besonders viel Zeit. Ähnlich verhielt es sich auch in der bereits zum Beginn dieser Diskussion zitierten Studie von Husain und Kennard [88]. Auch hier war eine leichtere Diskriminierbarkeit von Targets und Disktraktoren (Farb- und Konjunktionssuchaufgaben) mit einer schnelleren und insgesamt effizienteren Suche verbunden. Beide Studien belegen somit die besonders deutliche Beeinträchtigung serieller Suchprozesse bei frontal geschädigten Patienten und die Bedeutung äußerer „Anker“ für diese Patientengruppe.

Im direkten Kontrast dazu stehen die parietal geschädigten Neglectpatienten, denn ihre Suchzeiten unterschieden sich bei Farb-, Form- und Konjunktionssuchaufgaben nur minimal voneinander. Dass die Unterschiede hier am geringsten ausgeprägt sind, das Vorhandensein oder Fehlen von Pop-Out-Targets also wesentlich geringere Auswirkungen hatte, deckt sich mit den beobachteten an der aktuellen Aufgabenstellung wenig angepassten Suchpfaden. Externe „Anker“ führen bei diesen Patienten zu kaum verkürzten Suchzeiten. Auch das entspricht den Ergebnissen von Husain und Kennard. Eine stärkere Diskriminierbarkeit von Ziel- und Störreizen bewirkte bei einem frontoparietal geschädigten Patienten ebenfalls keine Verbesserung der Sucheffizienz.

Zu einer Beeinträchtigung bereits präattentiver Suchprozesse beim parietalen Neglect passt im übrigen auch die anatomische Lage des PPC und seine funktionelle Bedeutung bei der Raumrepräsentation, Aufmerksamkeitskontrolle [3] und Targetselektion [146]. Die Repräsentation eines Stimulus ist nämlich die Voraussetzung dafür, dass eine Sakkade zu diesem Reiz erfolgt. Für das Ausmaß der neuronalen Antwort ist dabei hauptsächlich die Salienz des Reizes verantwortlich [33]. Ist die Salienz ausreichend groß, zeigt sich das darin, dass entsprechend große Sakkaden ausgeführt werden, welche die Targets von Peripherie des Gesichtsfelds in sein Zentrum befördern. Eine Schädigung des PPC könnte dementsprechend mit einer reduzierten Aktivierung der zuständigen parietalen Neurone einhergehen, was wiederum eine geringere motorische Antwort zur Konsequenz hätte. Eine Störung des Pop-Out-Effekts würde sich dann darin äußern, dass bei Farbsuchaufgaben die großen Blicksprünge zu salienten Reizen ausbleiben. Die Sakkadenamplituden würden sich dann bei parallelen und seriellen Suchen nur wenig unterscheiden. Die geringen Unterschiede der Sakkadenamplituden bei der PN-Gruppe (Abb.15) könnten in diesem Sinne interpretiert werden, wenngleich dieses Charakteristikum nicht spezifisch für diese Versuchsgruppe ist. Allerdings wäre so auch die vergleichsweise geringere Zeitersparnis bei der präattentiven Farbsuche erklärt. Die visuellen Stimuli könnten nicht ausschließlich parallel verarbeitet werden, weshalb die Suche zusätzlich attentive Verarbeitungsprozesse und somit auch mehr Zeit erfordern würde.

Andererseits könnten die relativ kleinen Sakkaden, sowie die zahlreichen Refixationen und damit zusammenhängend auch die relativ lange Verarbeitungszeit bei Farbsuchen auch mit einer hohen

Salienz der Targets erklärt werden. Diese könnte auf neuronaler Ebene bedeuten, dass die Zellen im Bereich dieser Regionen gerade besonders stark feuern. Um permanente Refixationen zu verhindern, müsste die Salienz eines einmal eindeckten Targets sinken. Der Hypothese, wonach diese Salienzabnahme beim parietalen Neglect aufgrund permanenten „Überschreibens“ aktueller Repräsentation eventuell beeinträchtigt ist, wird an späterer Stelle in dieser Arbeit nachgegangen.

Bedenkt man, dass die Repräsentation visueller Reize im PPC nicht nur von deren Salienz, sondern auch von deren Relevanz für das Verhalten abhängt, können ferner die pathophysiologischen Mechanismen bei frontalem Neglect erklärt werden: Die Verarbeitungskapazität innerhalb des visuellen Systems ist begrenzt [24] und die eintreffenden visuellen Reize stehen ständig untereinander in Konkurrenz um die Repräsentation in den involvierten neuronalen Strukturen [48]. Die Relevanz eines Stimulus kann dann als Top-Down-Signal – bei gleicher Salienz mehrerer Objekte – ausschlaggebend dafür sein, welches Objekt repräsentiert wird. Als Ursprung dieses Signals kommt in erste Linie der präfrontale Kortex, also der Hauptträger der räumlichen Arbeitsgedächtnisfunktion in Betracht. Er behält stets die Lokalisationen der relevanten Objekte im Bewusstsein und schickt Impulse zu Nervenzellen im PPC, die selektiv auf die einzelnen Merkmale dieser Objekte reagieren.

4.4.2 Räumliches Arbeitsgedächtnis, Remapping oder Perseverationen

Nicht nur die messbare Aktivität frontoparietaler Hirnstrukturen beim Lösen von Aufgaben, die ein Aufrechterhalten von visuellen Rauminformationen [78], [97], [135] erfordern, sondern auch das unmittelbar beobachtbare Verhalten von Neglectpatienten, liefert Indizien dafür, dass bestimmte Gedächtnisfunktionen beim Neglect eine Rolle spielen können: So untersuchten Wojciulik et al. [205] einen Patienten, der nach einem Infarkt im Bereich des rechten inferioren frontalen Kortex und der Basalganglien einen visuellen Neglect zeigte, mit einem modifizierten Durchstreichtest und unter wechselnden Versuchsbedingungen. In der ersten Bedingung waren die von ihm gesetzten Markierungen deutlich sichtbar. Hier markierte er nur selten Stimuli mehrmals. Im zweiten Teil des Versuches waren seine Markierungen nicht mehr sichtbar. Diesmal strich er die Stimuli,

vorwiegend auf der rechten Seite, häufig mehrfach an, was eine Störung des Arbeitsgedächtnisses nahe legt. In einem weiteren Versuch wurden die semantisch bedeutungslosen „O´s“ des ersten Versuchs durch Stimuli mit jeweils einzigartigen semantischen Inhalten (Zeichnungen von Gebrauchsgegenständen und Tieren) ersetzt. Diesmal standen dem Patienten also nicht nur die alleinigen Ortinformationen, sondern auch die Information über die Identität der Targets zur Verfügung, wenn er entscheiden musste, ob er ein Target bereits vorher entdeckt hatte. Da er nun trotz fehlender Markierungen keine Objekte mehrfach durchstrich, diagnostizierten die Autoren eine Störung der räumlichen, nicht aber der nicht-räumlichen Komponente des Arbeitsgedächtnisses. Im Rahmen einer weiteren Studie präsentierte die Forschergruppe einem anderen Neglectpatienten – nun mit rechts-parietalem Infarkt – serielle Suchaufgaben auf einem Computerbildschirm [89], wobei er ebenfalls keine Markierungen setzen konnte. Auch dieser Patient zeigte multiple Refixationen rechtsseitiger Stimuli und behandelte bereits gefundene Targets, als habe er sie neu entdeckt. Dabei korrelierte seine Reklickrate mit der Targetanzahl, d.h. mit der Arbeitsgedächtnislast.

Dass es sowohl bei frontal, als auch bei parietal geschädigten Patienten zu einem Verlust der Informationen, welche Orte bereits abgesucht wurden, kommen kann, zeigen auch die vorliegenden Ergebnisse. Die Bearbeitung der Suchbilder verlangte auch hier von den Probanden sich zu merken, welche Orte bereits abgesucht wurden[14]. Die Kontrollprobanden hatten damit offenbar kaum Schwierigkeiten, denn ihre Targetrefixationsrate nahm selbst bei steigender Targetanzahl nur unwesentlich zu. Einen zwar moderaten, jedoch schon signifikanten Anstieg der Refixationshäufigkeit fand sich bei beiden Remissionsgruppen, was ein weiteres Mal belegt, dass auch bei einer scheinbaren Rückbildung der Symptomatik doch noch immer mit Restdefiziten des funktionellen Gedächtnisses gerechnet werden muss [62]. Gleichzeitig bestätigen sich Beobachtungen von Samuelsson et al., die sie bei einer Nachuntersuchung von Neglectpatienten mit anfänglich hoher Refixationshäufigkeit gemacht haben [168]. Auch hier ging eine Remission vom Neglect mit einer deutlichen Verringerung der Refixationsrate einher.

[14] Die grundlegende Voraussetzung dafür war allein sich Farbe und Form der zu suchenden Targets zu merken. Diese Funktion ist beim Neglectpatienten nicht gestört, wie kürzlich belegt werden konnte [148].

Bei den Patienten mit ausgeprägter Neglectsymptomatik (FN- und PN-Gruppe) kam es zu einem wesentlichen Anstieg der Refixationsraten bei steigender Arbeitsgedächtnislast. Gerade die frontal geschädigten Neglectpatienten zeigten besonders viele Refixationen. Im Gegensatz zu den Schlussfolgerungen von Pisella et al, die gerade die Bedeutung parietaler Läsionen für die Assoziation von Neglect und SWM-Defizit in den Vordergrund stellen [148], sprechen die vorliegenden Ergebnisse hingegen eher für eine Assoziation von Neglect und SWM-Defizit beim frontalen Neglect.

Bestätigt werden kann sicherlich ihre Einschätzung und auch die von Husain et al., dass ein SWM-Defizit einen Neglect exazerbieren bzw. zusätzlich verstärken kann [89]. Wenn Patienten nicht in der Lage sind, sich zu erinnern, welche Orte sie auf der „gesunden Seite“ bereits abgesucht haben, fällt es ihnen zwangsläufig noch schwerer sich entgegen den Aufmerksamkeitsbias der anderen Seite zuzuwenden. Aus dieser Situation heraus adäquate Suchstrategien zu entwickeln erscheint dabei in der Tat unmöglich (vgl. [137]). Hinzu kommt, dass die unstrukturierte Anordnung und Verwendung abstrakter Stimuli wahrscheinlich gerade frontal geschädigten Patienten noch mehr zu schaffen macht als parietalen Patienten [81], [200]. Vergleicht man die Refixationshäufigkeiten bei verschiedenen Aufgabentypen, wird dies deutlich. Bei der Konjunktionssuche zeigte die FN-Gruppe bei weitem die meisten Refixationen. Die vergleichsweise geringe Refixationsrate bei Farbsuchaufgaben spricht dabei wieder für die Vermutung, dass die Suche beim frontalen Neglect durch starke exogene Reize unter Umständen erleichtert wird.

Im Gegensatz dazu machte die PN-Gruppe bei Farbsuchen deutlich mehr Targetrefixationen als bei der Suche nach der Form oder der Konjunktion von beidem. Möglicherweise ist die Ursache hier eine andere als beim frontalen Neglect. Wie sind diese Unterschiede in Einklang zu bringen mit den geringen Unterschieden der Suchzeiten bei den einzelnen Suchaufgabentypen? Es wurde die Vermutung angestellt, dass Pop-Out-Target vielleicht bei den PN-Patienten keine so starke neuronale Antwort hervorrufen. Hier zeigt sich aber, dass genau das Gegenteil der Fall ist. Der Pop-Out-Effekt hat ganz offensichtlich doch eine starke Auswirkung auf diese Patienten, allerdings werden sie mehr von ihm behindert, als dass sie von ihm profitieren können.

Eine Erklärung könnte in der Beeinträchtigung sogenannter Remapping-Mechanismen beim Neglect liegen, zu dem Pisella et al. – vor allem aufbauend auf den erwähnten Untersuchungen von

Heide et al. [79] – erst kürzlich ein Modell entwickelten[15] [149]. Eine Störung dieses Remappings könnte demnach dazu führen, dass der Schutz vor dem vollständigen Überschreiben defekt ist und die relevanten Informationen verloren gehen, obwohl ihnen adäquat Aufmerksamkeit geschenkt worden ist und sie in diesem Moment auch repräsentiert und bewusst wahrgenommen wurden. Aufgrund des Repräsentationsgradienten kommt es immer wieder zu einer Verschiebung des Aufmerksamkeitsfokus auf die bereits explorierten Stimuli und zu einem Neuentdecken derselben.

Nach dem Modell von Pisella et al. ist insbesondere beim parietalen Neglect neben einer hohen Refixationshäufigkeit mit einer erhöhten Reklickrate zu rechnen. Die hier vorliegenden Ergebnisse können diese Vorhersage aber nicht bestätigen, denn nur die Patienten mit frontaler Schädigung erkannten Zielobjekte zu Unrecht als neu. Die Reklickrate dieser Patientengruppe lag bei 20 % bei der Formsuche und sogar 25 % bei der Konjunktionssuche.

Anzumerken ist aber, dass der genaue Zusammenhang von Remapping-Mechanismen und räumlichem Arbeitsgedächtnis bisher noch unzureichend erforscht ist. Pisella und Mattingley [149] gehen von einer Trennbarkeit von Remapping-Mechanismen und SWM aus und verweisen in diesem Zusammenhang darauf, dass erstere in Bruchteilen von Sekunden operiert [32], während das SWM eher im Bereich von Sekunden bis Minuten [7] arbeitet.

Die selektiv bei den FN-Patienten erhöhten Reklickraten müssen nicht zwangläufig für das Vorliegen eines SWM-Defizits beim frontalen Neglect sprechen. Sie könnten auch auf einer allgemeinen motorischen Perseverationsneigung beruhen, welche schließlich bei frontalen Hirnschäden generell nicht ungewöhnlich ist und bei ungefähr 30% der Neglectpatienten mit rechtshemisphärischen Läsionen zu beobachten sein soll [130]. Außerdem gibt es Hinweise darauf, dass der Mechanismus, welcher normalerweise Perseverationen verhindert, nämlich die „Inhibition of Return“ (IOR), bei Neglectpatienten gestört sein soll [10]. Dieser erstmals 1984 von Posner et al. [153] beschriebene Gedächtnismechanismus betrifft die letzten 4-6 angeblickten Items [41], [174] und bewirkt eine Verlängerung der Reaktionszeiten, die der Sakkade zu einem gerade angeblickten

[15] Bei der visuellen Suche werden ständig Karten auf den verschiedenen Ebenen der visuellen Verarbeitung erstellt. Während die Karte des primären visuellen Kortex, welches jeweils das aktuelle Bild der Retina abbildet, mit jeder neuen Fixation überschrieben wird, sorgen sogenannte Remapping-Mechanismen dafür, dass die Informationen aufeinanderfolgender Karten im parietalen Kortex nicht verloren gehen, sondern miteinander integriert werden. Die Kodierung und Repräsentation der Salienz eines Objekts auf dieser Karte ist entscheidend dafür, dass es bewusst wahrgenommen wird und ein stabiles Bild der Umwelt aufrecht erhalten werden kann.

Objekt vorausgehen [86]. In der Folge sinkt die Wahrscheinlichkeit für eine Refixation. Da der IOR bei der visuellen Suche gerade dann eine wichtige Kontrollfunktion zukommt, wenn Items nicht markiert werden können und Objekte seriell abgesucht werden müssen [62], könnten die hohen Refixations- und Reklickraten bei der Formsuche in der Tat für einen zusätzlichen Einfluss von Perseverationen sprechen. Dagegen spricht die Abhängigkeit der Refixationsrate von der Targetanzahl, denn diese wäre bei reinen Perseverationen zumindest nicht in diesem Ausmaß zu erwarten. Außerdem bestehen keine Hinweise auf eine Entkopplung manueller und okulomotorischer Perseverationen, welche den verhältnismäßig großen Unterschied zwischen der Refixationshäufigkeit und Reklickrate erklären könnte. Husain et al. schließlich führten das in ihrer Studie festgestellte relativ große Zeitintervall zwischen Refixation und Reklick als Argument gegen Perseverationen als Erklärungsmöglichkeit an.

Quintessenz 4: Assoziierte Defizite

Beim parietalen Neglect sind vorrangig *parallele Suchprozesse* („Pop-Out-Suche“) beeinträchtigt. Deshalb unterscheiden sich die Suchzeiten und Sakkadenamplituden bei Farbsuchaufgaben auch kaum von denen bei Form- oder Konjunktionssuchen. Daneben weist auch die relativ hohe Refixationsrate von Pop-Out-Targets auf eine *Störung in der präattentiven Verarbeitung* visueller Szenen hin. Eine fehlerhafte Integration aufeinanderfolgender Raumrepräsentationen könnte hierfür verantwortlich sein. Der frontale Neglect geht im Gegensatz dazu in erster Linie mit einer *Beeinträchtigung serieller Suchprozesse* einher, weshalb die Suchzeiten bei Formsuchen auch außerordentlich lang ausfallen. Die im Vergleich dazu kurzen Bearbeitungszeiten bei Farbsuchen sowie die gerade hier relativ geringen Targetrefixations- und Reklickraten stellen ein weiteres Indiz dafür dar, dass diese Patienten eher vom Vorhandensein salienter Reize profitieren können. Fehlen diese Reize oder ist die attentionale Last besonders hoch (viele Zielreize), kann eine bei diesen Patienten vorhandene *Funktionsstörung des räumlichen Arbeitsgedächtnisses* zu einer zusätzlichen Verschärfung der Neglectsymptomatik führen.

5 Kritische Anmerkungen

Ein denkbarer Kritikpunkt an der vorliegenden Studie betrifft die geringe Stichprobengröße und der damit eingeschränkten Generalisierbarkeit der Ergebnisse. Die überwiegende Mehrzahl der zitierten Studien hat aber mit dem gleichen Problem zu kämpfen. Fallen doch die Untersuchungskollektive bei Neglectstudien regelmäßig sehr klein aus. Meist liegen die Fallzahlen im unteren einstelligen Bereich. Oft handelt es sich sogar nur um Einzelfallbeschreibungen. Ein generelles Problem ergibt sich aus dem engen Zeitfenster, das für die Erforschung des Neglects offen steht. So ist die Symptomatik in der Akutphase eines Schlaganfalls häufig schnell rückläufig. Gleichzeitig bleiben andere Parameter, wie die Konzentrationsfähigkeit, das Auffassungsvermögen und die allgemeine Belastbarkeit meist noch deutlich länger auf sehr niedrigem Niveau. Eine wissenschaftliche Untersuchung ist hier oft wenig sinnvoll und auch den Patienten kaum zuzumuten. Verschiedene Untersuchungen ergaben außerdem, daß zerebrale Aktivierungen durch zu frühes Training auch eine Vergrößerung des Hirnschadens zur Folge haben können [115], [204].

Ein zweiter ebenso die Generalisierbarkeit der Ergebnisse abzielender Kritikpunkt betrifft das eingesetzte Untersuchungsmaterial. Obwohl explizit eine Reihe für das Explorationsverhalten wichtiger Faktoren (Pop-Out-Effekt, Set-Size, SWM-Last) berücksichtigt wurde, mussten doch Einschränkungen in Kauf genommen werden, z.B. bei der Größe der visuellen Szene: Sie erstreckte sich nur auf die Ausdehnung eines Computerbildschirms, wenngleich die Exploration unter natürlichen Bedingungen das gesamte Gesichtsfeld und, mit der Möglichkeit den Kopf frei zu bewegen, einen noch größeren Raum einnimmt. Dieser Unterschied ist nicht nur grundsätzlich relevant, sondern spielt sehr wahrscheinlich beim Neglect eine noch wichtigere Rolle, denn die Ausdehnung des Explorationsraumes kann sich ebenfalls direkt auf den Ausprägungsgrad eines Neglect auswirken [52].

5.1 Schlussfolgerungen und Aussichten

5.1.1 Frontaler versus parietaler Neglect

So verschieden die visuell-explorativen Leistungseinbußen bei frontalem und parietalem Neglect sind, so verschieden sind auch die einzelnen Defizite, aus der diese Leistungseinbußen resultieren. Die in der vorliegenden Arbeit erhobenen Befunde unterstützen den Vorschlag für einer Einteilung des Neglect in zwei grundsätzliche Formen [117], [120]:

- Der sensorisch-perzeptive Neglect tritt bei einer Schädigung des parietalen Kortex auf und ist in erster Linie durch eine Störung der Raumrepräsentation gekennzeichnet. Diese führt dazu, dass besonders auffällige oder relevante Umweltreize nur unzureichend bewusst wahrgenommen werden und die exogen reizgesteuerte Führung der visuellen Exploration gestört ist. Gleichzeitig gewinnen endogene Kontrollmechanismen an Bedeutung. Das Explorationsverhalten wirkt zwar relativ strukturiert, ist den aktuellen Anforderungen jedoch wenig angepasst. Eine Störung im Aufrechterhalten oder Erneuern der Repräsentationen führt außerdem dazu, dass sich die Patienten schwer von einmal fixierten salienten Zielreizen lösen können, d.h. sie diese immer wieder erneut fixieren.

- Der sensorisch-perzeptiven steht eine motorisch-explorative Form des Neglect gegenüber, welche mit frontalen Hirnschäden assoziiert ist. Weil hier weniger die exogene, als vielmehr die endogene Kontrolle der Exploration beeinträchtigt ist, bereitet den betroffenen Patienten vor allem die systematische Exploration der visuellen Umwelt Probleme. Starke exogene Stimuli könnten möglicherweise sogar positive Auswirkungen auf das Explorationsverhalten haben, da die Patienten aufgrund einer Störung des räumlichen Arbeitsgedächtnisses Schwierigkeiten haben, sich die Lokalisation bereits explorierter Objekte zu merken. Zusätzliche Beeinträchtigungen durch motorische Perseverationen können hier ebenfalls eine Rolle spielen.

Eine echte Dichotomie[16] im Sinne eines Entweder-Oder-Konzepts liegt zwar nicht vor, denn das würde bedeuten, dass sich die beiden Manifestationsformen des Neglect gegenseitig ausschließen,

[16] (dicha und tome griech., Schnitt in zwei Teile)

was sie aber nicht tun. Frontale wie parietale Hirnläsionen führen sowohl zu sensorisch-perzeptiven als auch zu motorisch-explorativen Beeinträchtigungen der visuellen Exploration. Eine strenge Zuordnung der Neglectpatienten zu einem der beiden Kategorien ist daher nicht möglich (vgl. auch [75]). In der praktischen Anwendung könnte diese Klassifikation des Neglect aber nützlich sein, z.B. wenn des darum geht, eine grobe Einschätzung vorzunehmen, welche Leistungseinbussen bei dem einen oder anderen Patienten zu erwarten sind. Hierfür könnten die beiden Formen als Extreme einer Skala betrachtet werden, auf der die individuelle Neglectsymptomatik eines Patienten eingeordnet werden kann (vgl. Abb.18).

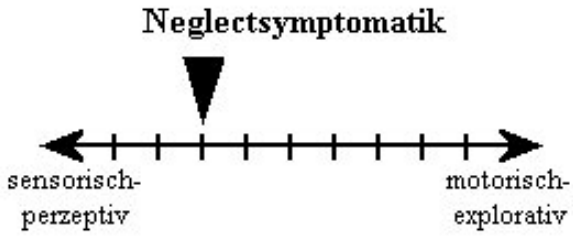

Abb. 18: Skala der Neglectsymptomatik

In welche Richtung der ein oder andere Patient tendiert, hängt von der Läsionslokalisation ab. Die Kenntnis der Neglectformen und der Faktoren, welche die Symptomatik verstärken, könnte bei der Diagnostik und Therapie des Neglect nützlich sein, um gezielter und differenzierter nach bestimmten Defiziten und zu erwartenden Ressourcen zu fahnden. Perzeptionale und prä-motorische Komponenten sollten dabei getrennt voneinander erfasst werden.

5.1.2 Manifester und „remittierter“ Neglect

Die Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass sich mit der Analyse von Augenbewegungen auch dann noch Residualsymptome erfassen lassen, wenn diese von anerkannt sensitiven Tests wie dem Behavioural Inattention Test nicht mehr entdeckt werden [133]. Das liegt daran, dass bei den üblichen Papier- und Bleistifttests deutliche Markierungen auf dem Untersuchungsbogen gemacht werden können. Das mag für den behandelnden Therapeuten zwar bequem sein, hat aber den Nachteil, dass die Markierungen für den Patienten eine künstliche Gedächtnisstütze darstellen und

so die Stärke eines Neglect geringer erscheinen lassen, als er unter natürlichen Bedingungen tatsächlich ist [122]. So werden Patienten möglicherweise unvorbereitet in den Alltag entlassen, wo sich unentdeckte Restdefizite unter Umständen negativ bemerkbar machen können [95]. Beispielsweise könnte ein latenter Neglect in Situationen, die eine erhöhte Aufmerksamkeit erfordern (Straßenverkehr, verschiedene Tätigkeiten im Haushalt) wieder in Erscheinung treten und zu Gefahren für die Patienten und ihre Umwelt führen. Aus diesem Grund betonten bereits in der Vergangenheit verschiedene Autoren die Wichtigkeit einer sorgfältigen Untersuchung auf persistierende Restdefizite [76], [124]. Dabei könnte das im Rahmen dieser Arbeit verwendete Stimulusmaterial durchaus als Test- und Übungsmaterial für ein interaktives Explorationstraining verwendet werden. Würden simultan dazu die Augenbewegungen aufgezeichnet, wäre es zudem möglich, den Patienten nicht nur unmittelbar Rückmeldungen über ihr pathologisches Such-verhalten zu liefern, sondern auch Fortschritte der Therapie qualitativ und quantitativ zu messen. Untersuchungen für industrielle Zwecke konnten beispielsweise zeigen, wie die Darstellung des Suchpfades und der schrittweisen Suchsequenz als Feedback-Methode die Suchperformance bei Gesunden verbessern kann [65]. Möglicherweise sind auch bei Neglectpatienten gewisse Trainingseffekte zu erzielen [64]. Erste Versuche [74] in diese Richtung wecken zumindest Hoffnungen, dass Betroffene von solchen Methoden profitieren könnten.

6 Zusammenfassung

Das visuelle Neglectsyndrom ist eine Hirnleistungsstörung, die meist nach akuten Schädigungen der parietalen oder frontalen rechten Großhirnhälfte auftritt und zu einer Vernachlässigung oder fehlerhaften Verarbeitung von Reizen führt, welche sich in der kontraläsionalen Gesichtsfeldhälfte befinden. Das Ziel dieser Studie bestand darin, die am Neglect beteiligten kognitiven und okulomotorischen Defizite mit Hilfe eines komplexen visuellen Suchparadigmas aufzuschlüsseln. An der Untersuchung nahmen insgesamt 21 Patienten mit parietalen oder frontalen Hirnläsionen sowie ausgeprägtem oder remittiertem visuellen Neglect und darüber hinaus 12 Hirngesunde teil. Ihre Aufgabe war es, vorgegebene Stimuli (Dreiecke, Punkte, Quadrate) auf einem Computerbildschirm zu finden und dies jeweils durch Tastenbetätigung anzuzeigen. Durch Variation der Suchaufgaben (Farb-, Form- und Konjunktionssuche) sowie der Anzahl von Ziel- und Störreizen konnten die Auswirkungen unterschiedlicher attentionaler Anforderungen auf das Explorationsverhalten untersucht werden. Die simultan registrierten Augenbewegungen der Probanden bilden die Grundlage für eine eingehende Charakterisierung des visuellen Suchverhaltens beim Hemineglect: Die parietal geschädigten Neglectpatienten zeigen eine generell geringe Entdeckungsrate präsentierter Zielreize, eine deutliche Lateralisierung ihrer Suchaktivität sowie eine Störung der stimulusgeleiteten Suchpfadkontrolle. Die bei Farbsuchaufgaben relativ langen Bearbeitungszeiten und zahlreichen Refixationen von Zielreizen weisen zudem auf eine Beeinträchtigung präattentiver Suchprozesse hin. Bei den frontal geschädigten Patienten ist die Lateralisierungstendenz schwächer ausgeprägt. Ihre chaotischen Suchmuster und auffallend langen Suchzeiten bei Formsuchaufgaben können als Manifestationen einer deutlichen Beeinträchtigung serieller Verarbeitungsprozesse und einer defizitären strategischen Suchpfadkontrolle interpretiert werden. Hinzu kommt eine Störung des räumlichen Arbeitsgedächtnisses, wodurch den Betroffenen eine effiziente Suche zusätzlich erschwert wird. Besonders bei hohen attentionalen Anforderungen refixieren sie nicht nur immer wieder bereits explorierte Zielreize, sondern entdecken diese auch fälschlicherweise mehrfach. Da die meisten der genannten Befunde auch bei den Patienten mit klinisch weitgehend remittierter Neglectsymptomatik noch feststellbar sind, muss von einer erheblichen Relevanz persistierender Restdefizite für den Alltag und die Rehabilitation von Neglectpatienten ausgegangen werden.

7 Literaturverzeichnis

1. Aglioti,S., Smania,N., Barbieri,C., and Corbetta,M., Influence of stimulus salience and attentional demands on visual search patterns in hemispatial neglect, Brain Cogn., 34 (1997) 388-403.

2. Albert,M.L., A simple test of visual neglect, Neurology, 23 (1973) 658-664.

3. Andersen,R.A., Encoding of intention and spatial location in the posterior parietal cortex, Cereb. Cortex, 5 (1995) 457-469.

4. Andersen,R.A., Brotchie,P.R., and Mazzoni,P., Evidence for the lateral intraparietal area as the parietal eye field, Curr. Opin. Neurobiol., 2 (1992) 840-846.

5. Antonucci,G., Guariglia,C., Judica,A., Magnotti,L., Paolucci,S., Pizzamiglio,L., and Zoccolotti,P., Effectiveness of neglect rehabilitation in a randomized group study, J. Clin. Exp. Neuropsychol., 17 (1995) 383-389.

6. Awh,E., Jonides,J., and Reuter-Lorenz,P.A., Rehearsal in spatial working memory, J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform., 24 (1998) 780-790.

7. Baddeley,A.D., Working Memory, Oxford University Press, Oxford, 1986.

8. Baddeley,A.D., Working memory, Science, 255 (1992) 556-559.

9. Bailey,M.J., Riddoch,M.J., and Crome,P., Evaluation of a test battery for hemineglect in elderly stroke patients for use by therapists in clinical practice, NeuroRehabilitation, 14 (2000) 139-150.

10. Bartolomeo,P., Sieroff,E., Decaix,C., and Chokron,S., Modulating the attentional bias in unilateral neglect: the effects of the strategic set, Exp. Brain Res., 137 (2001) 432-444.

11. Barton,J.J., Behrmann,M., and Black,S., Ocular search during line bisection. The effects of hemi-neglect and hemianopia, Brain, 121 (1998) 1117-1131.

12. Behrmann,M., Ghiselli-Crippa,T., and Dimatteo,I., Impaired initiation but not execution of contralesional saccades in hemispatial neglect, Behav. Neurol., 13 (2001) 39-60.

13. Behrmann,M., Ghiselli-Crippa,T., Sweeney,J.A., Di,M., I, and Kass,R., Mechanisms underlying spatial representation revealed through studies of hemispatial neglect, J. Cogn. Neurosci., 14 (2002) 272-290.

14. Behrmann,M. and Tipper,S.P., Attention accesses multiple reference frames: evidence from visual neglect, J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform., 25 (1999) 83-101.

15. Behrmann,M., Watt,S., Black,S.E., and Barton,J.J., Impaired visual search in patients with unilateral neglect: an oculographic analysis, Neuropsychologia, 35 (1997) 1445-1458.

16. Bichot,N.P. and Schall,J.D., Saccade target selection in macaque during feature and conjunction visual search, Vis. Neurosci., 16 (1999) 81-89.

17. Binder,J., Marshall,R., Lazar,R., Benjamin,J., and Mohr,J.P., Distinct syndromes of hemineglect, Arch. Neurol., 49 (1992) 1187-1194.

18. Bisiach,E., Mental representation in unilateral neglect and related disorders: the twentieth Bartlett Memorial Lecture, Q. J. Exp. Psychol. A, 46 (1993) 435-461.

19. Bisiach,E. and Luzzatti,C., Unilateral neglect of representational space, Cortex, 14 (1978) 129-133.

20. Bisiach,E., Perani,D., Vallar,G., and Berti,A., Unilateral neglect: personal and extra-personal, Neuropsychologia, 24 (1986) 759-767.

21. Bisiach,E. and Vallar,G., Hemineglect in humans. In: Boller,F., Grafman,J. (Hrsg.), Handbook of Neuropsychology, Vol. 1, Elsevier, Amsterdam, 1988, pp. 195-222.

22. Bowen,A., Lincoln,N.B., and Dewey,M., Cognitive rehabilitation for spatial neglect following stroke, Cochrane. Database Syst. Rev., (2002).

23. Brain,W.R., Visual disorientation with special reference to lesions of the right cerebral hemisphere, Brain, 64 (1941) 244-272.

24. Broadbent,D.E., Selective and control processes, Cognition, 10 (1981) 53-58.

25. Bundesen,C., A theory of visual attention, Psychol. Rev., 97 (1990) 523-547.

26. Carpenter,R.H.S., Eye movements and the mechanisms of accomodation and the pupil. In: Greger,R., Windhorst,U. (Hrsg.), Comprehensive human physiology, Springer Verlag, Heidelberg, 1996, pp. 829-837.

27. Carroll,P.J., Young,J.R., and Guertin,M.S., Visual analysis of cartoons: a view from the far side. In: Rayner, Keith (Hrsg.), Eye movements and visual cognition - scene perception and reading, Springer-Verlag, New York, 1992, pp. 444-461.

28. Cassidy,T.P., Bruce,D.W., Lewis,S., and Gray,C.S., The association of visual field deficits and visuo-spatial neglect in acute right-hemisphere stroke patients, Age Ageing, 28 (1999) 257-260.

29. Cassidy,T.P., Lewis,S., and Gray,C.S., Recovery from visuospatial neglect in stroke patients, J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 64 (1998) 555-557.

30. Chedru,F., Space representation in unilateral spatial neglect, J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 39 (1976) 1057-1061.

31. Chedru,F., Leblanc,M., and Lhermitte,F., Visual searching in normal and brain-damaged subjects (contribution to the study of unilateral inattention), Cortex, 9 (1973) 94-111.

32. Colby,C.L., Duhamel,J.R., and Goldberg,M.E., Oculocentric spatial representation in parietal cortex, Cereb. Cortex, 5 (1995) 470-481.

33. Colby,C.L. and Goldberg,M.E., Space and attention in parietal cortex, Annu. Rev. Neurosci., 22 (1999) 319-349.

34. Collewijn,H., van der Mark,F., and Jansen,T.C., Precise recording of human eye movements, Vision Res., 15 (1975) 447-450.

35. Corbetta,M., Miezin,F.M., Shulman,G.L., and Petersen,S.E., A PET study of visuospatial attention, J. Neurosci., 13 (1993) 1202-1226.

36. Courtney,S.M., Petit,L., Maisog,J.M., Ungerleider,L.G., and Haxby,J.V., An area specialized for spatial working memory in human frontal cortex, Science, 279 (1998) 1347-1351.

37. Critchley,M., The Parietal Lobes, Hafner, New York, 1953.

38. D'Erme,P., Robertson,I., Bartolomeo,P., Daniele,A., and Gainotti,G., Early rightwards orienting of attention on simple reaction time performance in patients with left-sided neglect, Neuropsychologia, 30 (1992) 989-1000.

39. D'Esposito,M., Aguirre,G.K., Zarahn,E., Ballard,D., Shin,R.K., and Lease,J., Functional MRI studies of spatial and nonspatial working memory, Brain Res. Cogn. Brain Res., 7 (1998) 1-13.

40. Damasio,A.R., Damasio,H., and Chui,H.C., Neglect following damage to frontal lobe or basal ganglia, Neuropsychologia, 18 (1980) 123-132.

41. Danziger,S., Kingstone,A., and Snyder,J.J., Inhibition of return to successively stimulated locations in a sequential visual search paradigm, J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform., 24 (1998) 1467-1475.

42. De Renzi,E., Gentilini,M., Faglioni,P., and Barbieri,C., Attentional shift towards the rightmost stimuli in patients with left visual neglect, Cortex, 25 (1989) 231-237.

43. Denes,G., Semenza,C., Stoppa,E., and Lis,A., Unilateral spatial neglect and recovery from hemiplegia: a follow-up study, Brain, 105 (1982) 543-552.

44. Diamond,P.T., Rehabilitative management of post-stroke visuospatial inattention, Disabil. Rehabil., 23 (2001) 407-412.

45. Driver,J. and Mattingley,J.B., Parietal neglect and visual awareness, Nat. Neurosci., 1 (1998) 17-22.

46. Driver,J. and Pouget,A., Object-centered visual neglect, or relative egocentric neglect?, J. Cogn. Neurosci., 12 (2000) 542-545.

47. Driver,J. and Vuilleumier,P., Perceptual awareness and its loss in unilateral neglect and extinction, Cognition, 79 (2001) 39-88.

48. Duncan,J., Humphreys,G., and Ward,R., Competitive brain activity in visual attention, Curr. Opin. Neurobiol., 7 (1997) 255-261.

49. Duncan,J. and Humphreys,G.W., Visual search and stimulus similarity, Psychol. Rev., 96 (1989) 433-458.

50. Egeth,H.E. and Yantis,S., Visual attention: control, representation, and time course, Annu. Rev. Psychol., 48 (1997) 269-297.

51. Eglin,M., Robertson,L.C., and Knight,R.T., Visual search performance in the neglect syndrome, J. Cogn. Neurosci., 1 (1989) 372-385.

52. Eglin,M., Robertson,L.C., and Knight,R.T., Cortical substrates supporting visual search in humans, Cereb. Cortex, 1 (1991) 262-272.

53. Esterman,M., McGlinchey-Berroth,R., and Milberg,W., Preattentive and attentive visual search in individuals with hemispatial neglect, Neuropsychology, 14 (2000) 599-611.

54. Farah,M.J., Brunn,J.L., Wong,A.B., Wallace,M.A., and Carpenter,P.A., Frames of reference for allocating attention to space: evidence from the neglect syndrome, Neuropsychologia, 28 (1990) 335-347.

55. Farne,A., Ponti,F., and Ladavas,E., In search of biased egocentric reference frames in neglect, Neuropsychologia, 36 (1998) 611-623.

56. Fels,M. and Gleissner,E. Neglect-Test (NET), Hogrefe-Verlag, Göttingen,1996.

57. Ferro,J.M., Mariano,G., and Madureira,S., Recovery from aphasia and neglect, Cerebrovasc. Dis., 9 Suppl. 5 (1999) 6-22.

58. Fimm,B., Zahn,R., Mull,M., Kemeny,S., Buchwald,F., Block,F., and Schwarz,M., Asymmetries of visual attention after circumscribed subcortical vascular lesions, J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 71 (2001) 652-657.

59. Fink,G.R. and Heide,W., Räumlicher Neglect, Nervenarzt, 75 (2004) 389-410.

60. Gainotti,G., Messerli,P., and Tissot,R., Qualitative analysis of unilateral spatial neglect in relation to laterality of cerebral lesions, J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 35 (1972) 545-550.

61. Gaymard,B., Ploner,C.J., Rivaud,S., Vermersch,A.I., and Pierrot-Deseilligny,C., Cortical control of saccades, Exp. Brain Res., 123 (1998) 159-163.

62. Gilchrist,I.D. and Harvey,M., Refixation frequency and memory mechanisms in visual search, Curr. Biol., 10 (2000) 1209-1212.

63. Girotti,F., Casazza,M., Musicco,M., and Avanzini,G., Oculomotor disorders in cortical lesions in man: the role of unilateral neglect, Neuropsychologia, 21 (1983) 543-553.

64. Gramopadhye,A., Bhagwat,S., Kimbler,D., and Greenstein,J., The use of advanced technology for visual inspection training, Appl. Ergon., 29 (1998) 361-375.

65. Gramopadhye,A.K., Drury,C.G., and Sharit,J., Feedback strategies for visual search in airframe structural inspection, Int. J. Ind. Ergon., 19 (1997) 333-344.

66. Grujic,Z., Mapstone,M., Gitelman,D.R., Johnson,N., Weintraub,S., Hays,A., Kwasnica,C., Harvey,R., and Mesulam,M.M., Dopamine agonists reorient visual exploration away from the neglected hemispace, Neurology, 51 (1998) 1395-1398.

67. Guariglia,C., Lippolis,G., and Pizzamiglio,L., Somatosensory stimulation improves imagery disorders in neglect, Cortex, 34 (1998) 233-241.

68. Guitton,D., Buchtel,H.A., and Douglas,R.M., Frontal lobe lesions in man cause difficulties in suppressing reflexive glances and in generating goal-directed saccades, Exp. Brain Res., 58 (1985) 455-472.

69. Halligan,P., Wilson,B., and Cockburn,J., A short screening test for visual neglect in stroke patients, Int. Disabil. Stud., 12 (1990) 95-99.

70. Halligan,P.W. and Marshall,J.C., Left visuo-spatial neglect: a meaningless entity?, Cortex, 28 (1992) 525-535.

71. Halligan,P.W. and Marshall,J.C., Neglect of awareness, Conscious. Cogn., 7 (1998) 356-380.

72. Halligan,P.W., Marshall,J.C., and Wade,D.T., Do visual field deficits exacerbate visuo-spatial neglect?, J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 53 (1990) 487-491.

73. Hartman-Maeir,A. and Katz,N., Validity of the Behavioral Inattention Test (BIT): relationships with functional tasks, Am. J. Occup. Ther., 49 (1995) 507-516.

74. Harvey,M., Hood,B., North,A., and Robertson,I.H., The effects of visuomotor feedback training on the recovery of hemispatial neglect symptoms: assessment of a 2-week and follow-up intervention, Neuropsychologia, 41 (2003) 886-893.

75. Harvey,M., Kramer-McCaffery,T., Dow,L., Murphy,P.J., and Gilchrist,I.D., Categorisation of 'perceptual' and 'premotor' neglect patients across different tasks: is there strong evidence for a dichotomy?, Neuropsychologia, 40 (2002) 1387-1395.

76. Harvey,M. and Milner,A.D., Residual perceptual distortion in 'recovered' hemispatial neglect, Neuropsychologia, 37 (1999) 745-750.

77. He,P. and Kowler,E., The role of location probability in the programming of saccades: Implications for "center-od gravity" tendencies, Vision Res., 29 (1989) 1165-1181.

78. Heide,W., Binkofski,F., Seitz,R.J., Posse,S., Nitschke,M.F., Freund,H.J., and Kömpf,D., Activation of frontoparietal cortices during memorized triple-step sequences of saccadic eye movements: an fMRI study, Eur. J. Neurosci., 13 (2001) 1177-1189.

79. Heide,W., Blankenburg,M., Zimmermann,E., and Kömpf,D., Cortical control of double-step saccades: implications for spatial orientation, Ann. Neurol., 38 (1995) 739-748.

80. Heide,W. and Kömpf,D., Specific parietal lobe contribution to spatial constancy across saccades. In: Thier,P., Karnath,H.O. (Hrsg.), Parietal lobe contributions to orientation in 3D space, Springer, Heidelberg, 1997, pp. 149-172.

81. Heide,W. and Kömpf,D., Combined deficits of saccades and visuo-spatial orientation after cortical lesions, Exp. Brain Res., 123 (1998) 164-171.

82. Heilman,K.M. and Valenstein,E., Frontal lobe neglect in man, Neurology, 22 (1972) 660-664.

83. Heilman,K.M., Watson,R.T., and Valenstein,E., Neglect and related disorders. In: Heilman,K.M., Valenstein,E. (Hrsg.), Clinical Neuropsychology, Oxford University Press, New York, 1993, pp. 279-336.

84. Hier,D.B., Mondlock,J., and Caplan,L.R., Recovery of behavioral abnormalities after right hemisphere stroke, Neurology, 33 (1983) 345-350.

85. Hildebrandt,H., Giesselmann,H., and Sachsenheimer,W., Visual search and visual target detection in patients with infarctions of the left or right posterior or the right middle brain artery, J. Clin. Exp. Neuropsychol., 21 (1999) 94-107.

86. Hooge,I.T. and Frens,M.A., Inhibition of saccade return (ISR): spatio-temporal properties of saccade programming, Vision Res., 40 (2000) 3415-3426.

87. Hornak,J., Ocular exploration in the dark by patients with visual neglect, Neuropsychologia, 30 (1992) 547-552.

88. Husain,M. and Kennard,C., Distractor-dependent frontal neglect, Neuropsychologia, 35 (1997) 829-841.

89. Husain,M., Mannan,S., Hodgson,T., Wojciulik,E., Driver,J., and Kennard,C., Impaired spatial working memory across saccades contributes to abnormal search in parietal neglect, Brain, 124 (2001) 941-952.

90. Irving,E.L., Zacher,J.E., Allison,R.A., and Murchison,G.C., Effects of Scleral Search Coil Wear on Visual Function, Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 44 (2003) 1933-1938.

91. Ishiai,S., Furukawa,T., and Tsukagoshi,H., Eye-fixation patterns in homonymous hemianopia and unilateral spatial neglect, Neuropsychologia, 25 (1987) 675-679.

92. Ishiai,S., Seki,K., Koyama,Y., and Gono,S., Ineffective leftward search in line bisection and mechanisms of left unilateral spatial neglect, J. Neurol., 243 (1996) 381-387.

93. Ishiai,S., Sugishita,M., Mitani,K., and Ishizawa,M., Leftward search in left unilateral spatial neglect, J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 55 (1992) 40-44.

94. Jalas,M.J., Lindell,A.B., Brunila,T., Tenovuo,O., and Hamalainen,H., Initial rightward orienting bias in clinical tasks: normal subjects and right hemispheric stroke patients with and without neglect, J. Clin. Exp. Neuropsychol., 24 (2002) 479-490.

95. Jehkonen,M., Ahonen,J.P., Dastidar,P., Koivisto,A.M., Laippala,P., Vilkki,J., and Molnar,G., Visual neglect as a predictor of functional outcome one year after stroke, Acta Neurol. Scand., 101 (2000) 195-201.

96. Jehkonen,M., Ahonen,J.P., Dastidar,P., Laippala,P., and Vilkki,J., Unawareness of deficits after right hemisphere stroke: double- dissociations of anosognosias, Acta Neurol. Scand., 102 (2000) 378-384.

97. Jonides,J., Smith,E.E., Koeppe,R.A., Awh,E., Minoshima,S., and Mintun,M.A., Spatial working memory in humans as revealed by PET, Nature, 363 (1993) 623-625.

98. Kaplan,R.F., Verfaellie,M., Meadows,M.E., Caplan,L.R., Pessin,M.S., and DeWitt,L.D., Changing attentional demands in left hemispatial neglect, Arch. Neurol., 48 (1991) 1263-1266.

99. Karnath,H.O., Spatial limitation of eye movements during ocular exploration of simple line drawings in neglect syndrome, Cortex, 30 (1994) 319-330.

100. Karnath,H.O., Subjective body orientation in neglect and the interactive contribution of neck muscle proprioception and vestibular stimulation, Brain, 117 (1994) 1001-1012.

101. Karnath,H.O., Christ,K., and Hartje,W., Decrease of contralateral neglect by neck muscle vibration and spatial orientation of trunk midline, Brain, 116 (1993) 383-396.

102. Karnath,H.O., Ferber,S., and Himmelbach,M., Spatial awareness is a function of the temporal not the posterior parietal lobe, Nature, 411 (2001) 950-953.

103. Karnath,H.O. and Fetter,M., Ocular space exploration in the dark and its relation to subjective and objective body orientation in neglect patients with parietal lesions, Neuropsychologia, 33 (1995) 371-377.

104. Karnath,H.O., Himmelbach,M., and Rorden,C., The subcortical anatomy of human spatial neglect: putamen, caudate nucleus and pulvinar, Brain, 125 (2002) 350-360.

105. Karnath,H.O. and Niemeier,M., Task-dependent differences in the exploratory behaviour of patients with spatial neglect, Neuropsychologia, 40 (2002) 1577-1585.

106. Karnath,H.O., Niemeier,M., and Dichgans,J., Space exploration in neglect, Brain, 121 (1998) 2357-2367.

107. Karnath,H.O., Schenkel,P., and Fischer,B., Trunk orientation as the determining factor of the 'contralateral' deficit in the neglect syndrome and as the physical anchor of the internal representation of body orientation in space, Brain, 114 (1991) 1997-2014.

108. Katz,N., Hartman-Maeir,A., Ring,H., and Soroker,N., Functional disability and rehabilitation outcome in right hemisphere damaged patients with and without unilateral spatial neglect, Arch. Phys. Med. Rehabil., 80 (1999) 379-384.

109. Kerkhoff,G., Spatial hemineglect in humans, Prog. Neurobiol., 63 (2001) 1-27.

110. Kerkhoff,G., Modulation and rehabilitation of spatial neglect by sensory stimulation, Prog. Brain Res., 142 (2003) 257-271.

111. Kerkhoff,G. und Schindler,I., Hemianopsie versus Hemineglect - Hinweise zur Differentialdiagnose, Fortschr. Neurol. Psychiatr., 65 (1997) 278-289.

112. Kinsbourne,M., Hemi-neglect and hemisphere rivalry, Adv. Neurol., 18 (1977) 41-49.

113. Kinsbourne,M., Orientational bias model of unilateral neglect: evidence from attentional gradients within hemispace. In: Robertson,I.H., Marshall,J. (Hrsg.), Unilateral Neglect: Clinical and Experimental Studies, Erlbaum LEA publishers, Hove, 1993, pp. 63-66.

114. Kowler,E., Anderson,E., Dosher,B., and Blaser,E., The role of attention in the programming of saccades, Vision Res., 35 (1995) 1897-1916.

115. Kozlowski,D.A., James,D.C., and Schallert,T., Use-dependent exaggeration of neuronal injury after unilateral sensorimotor cortex lesions, J. Neurosci., 16 (1996) 4776-4786.

116. Ladavas,E., di Pellegrino,G., Farne,A., and Zeloni,G., Neuropsychological evidence of an integrated visuotactile representation of peripersonal space in humans, J. Cogn. Neurosci., 10 (1998) 581-589.

117. Ladavas,E., Umilta,C., Ziani,P., Brogi,A., and Minarini,M., The role of right side objects in left side neglect: a dissociation between perceptual and directional motor neglect, Neuropsychologia, 31 (1993) 761-773.

118. Levine,D.N., Warach,J.D., Benowitz,L., and Calvanio,R., Left spatial neglect: effects of lesion size and premorbid brain atrophy on severity and recovery following right cerebral infarction, Neurology, 36 (1986) 362-366.

119. Levy,D., Blizzard,R.A., Halligan,P.W., and Stone,S.P., Fluctuations in visual neglect after stroke?, Eur. Neurol., 35 (1995) 341-343.

120. Liu,G.T., Bolton,A.K., Price,B.H., and Weintraub,S., Dissociated perceptual-sensory and exploratory-motor neglect, J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 55 (1992) 701-706.

121. Liversedge,S.P. and Findlay,J.M., Saccadic eye movements and cognition, Trends Cogn. Sci., 4 (2000) 6-14.

122. Mark,V.W., Kooistra,C.A., and Heilman,K.M., Hemispatial neglect affected by non-neglected stimuli, Neurology, 38 (1988) 1207-1211.

123. Matelli,M., Camarda,R., Glickstein,M., and Rizzolatti,G., Afferent and efferent projections of the inferior area 6 in the macaque monkey, J. Comp. Neurol., 251 (1986) 281-298.

124. Mattingley,J.B., Bradshaw,J.L., Bradshaw,J.A., and Nettleton,N.C., Residual rightward attentional bias after apparent recovery from right hemisphere damage: implications for a multicomponent model of neglect, J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 57 (1994) 597-604.

125. Melcher,D. and Kowler,E., Visual scene memory and the guidance of saccadic eye movements, Vision Res., 41 (2001) 3597-3611.

126. Mesulam,M.M., A cortical network for directed attention and unilateral neglect, Ann. Neurol., 10 (1981) 309-325.

127. Mort,D.J., Malhotra,P., and Mannan,S.K., The anatomy of visual neglect, Brain, 126 (2003) 1986-1997.

128. Motter,B.C. and Belky,E.J., The zone of focal attention during active visual search, Vision Res., 38 (1998) 1007-1022.

129. Murphy,P.J., Duncan,A.L., Glennie,A.J., and Knox,P.C., The effect of scleral search coil lens wear on the eye, Br. J. Ophthalmol., 85 (2001) 332-335.

130. Na,D.L., Adair,J.C., Kang,Y., Chung,C.S., Lee,K.H., and Heilman,K.M., Motor perseverative behavior on a line cancellation task, Neurology, 52 (1999) 1569-1576.

131. Nasanen,R., Ojanpaa,H., and Kojo,I., Effect of stimulus contrast on performance and eye movements in visual search, Vision Res., 41 (2001) 1817-1824.

132. Niemeier,M. and Karnath,H.O., Exploratory saccades show no direction-specific deficit in neglect, Neurology, 54 (2000) 515-518.

133. Olk,B., Harvey,M., and Gilchrist,I.D., First saccades reveal biases in recovered neglect, Neurocase, 8 (2002) 306-313.

134. Oppenheim,H., Über eine durch eine klinisch bisher nicht verwertete Untersuchungsmethode ermittelte Form der Sensibilitätsstörung bei einsseitigen Erkrankungen des Großhirns, Neurol. Centralbl., 23 (1885) 529-533.

135. Owen,A.M., Doyon,J., Petrides,M., and Evans,A.C., Planning and spatial working memory: a positron emission tomography study in humans, Eur. J. Neurosci., 8 (1996) 353-364.

136. Owen,A.M., Herrod,N.J., Menon,D.K., Clark,J.C., Downey,S.P., Carpenter,T.A., Minhas,P.S., Turkheimer,F.E., Williams,E.J., Robbins,T.W., Sahakian,B.J., Petrides,M., and Pickard,J.D., Redefining the functional organization of working memory processes within human lateral prefrontal cortex, Eur. J. Neurosci., 11 (1999) 567-574.

137. Owen,A.M., Morris,R.G., Sahakian,B.J., Polkey,C.E., and Robbins,T.W., Double dissociations of memory and executive functions in working memory tasks following frontal lobe excisions, temporal lobe excisions or amygdalo-hippocampectomy in man, Brain, 119 (1996) 1597-1615.

138. Paolucci,S., Antonucci,G., Guariglia,C., Magnotti,L., Pizzamiglio,L., and Zoccolotti,P., Facilitatory effect of neglect rehabilitation on the recovery of left hemiplegic stroke patients: a cross-over study, J. Neurol., 243 (1996) 308-314.

139. Pashler,H., Shifting visual attention and selecting motor responses: distinct attentional mechanisms, J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform., 17 (1991) 1023-1040.

140. Pedersen,P.M., Jorgensen,H.S., Nakayama,H., Raaschou,H.O., and Olsen,T.S., Hemineglect in acute stroke--incidence and prognostic implications. The Copenhagen Stroke Study, Am. J. Phys. Med. Rehabil., 76 (1997) 122-127.

141. Perani,D., Vallar,G., Paulesu,E., Alberoni,M., and Fazio,F., Left and right hemisphere contribution to recovery from neglect after right hemisphere damage - a [18F]FDG pet study of two cases, Neuropsychologia, 31 (1993) 115-125.

142. Perry,R.J. and Zeki,S., The neurology of saccades and covert shifts in spatial attention: an event-related fMRI study, Brain, 123 (2000) 2273-2288.

143. Petit,L., Clark,V.P., Ingeholm,J., and Haxby,J.V., Dissociation of saccade-related and pursuit-related activation in human frontal eye fields as revealed by fMRI, J. Neurophysiol., 77 (1997) 3386-3390.

144. Pick,A., Beiträge zur Pathologie und patholgischen Anatomie des Centralnervensystems, Karger, Berlin, 1898.

145. Pierce,S.R. and Buxbaum,L.J., Treatments of unilateral neglect: a review, Arch. Phys. Med. Rehabil., 83 (2002) 256-268.

146. Pierrot-Deseilligny,C., Rivaud,S., Gaymard,B., and Agid,Y., Cortical control of memory-guided saccades in man, Exp. Brain Res., 83 (1991) 607-617.

147. Pierrot-Deseilligny,C., Rivaud,S., Gaymard,B., Muri,R., and Vermersch,A.I., Cortical control of saccades, Ann. Neurol., 37 (1995) 557-567.

148. Pisella,L., Berberovic,N., and Mattingley,J.B., Impaired working memory for location but not for colour or shape in visual neglect: a comparison of parietal and non-parietal lesions, Cortex, 40 (2004) 379-390.

149. Pisella,L. and Mattingley,J.B., The contribution of spatial remapping impairments to unilateral visual neglect, Neurosci. Biobehav. Rev., 28 (2004) 181-200.

150. Pizzamiglio,L., Frasca,R., Guariglia,C., Incoccia,C., and Antonucci,G., Effect of optokinetic stimulation in patients with visual neglect, Cortex, 26 (1990) 535-540.

151. Pomplun,M., Velichkovsky,B.M., and Ritter,H., An artificial neural network for high precision eye movement tracking. In: Nebel,B., Dreschler-Fischer,L. (Hrsg.), Lecture notes in artificial intelligence, Springer, Berlin, 1994, pp. 63-69.

152. Poppelreuter,W., Die Störungen der niederen und höheren Sehleistungen durch Verletzungen des Okzipitallappens. In: Die psychischen Schädigungen durch Kopfschuß im Kriege 1914/1916 mit besonderer Berücksichtigung der pathologischen, pädagogischen, gewerblichen und sozialen Beziehungen, Bd. 1, Voss, Leipzig, 1917.

153. Posner,M.I. and Cohen,Y., Components of attention. In: Bouma,H., Bouwhuis,D.G. (Hrsg.), Attention and Performance X, Erlbaum, London, 1984, pp. 55-66.

154. Posner,M.I. and Driver,J., The neurobiology of selective attention, Curr. Opin. Neurobiol., 2 (1992) 165-169.

155. Posner,M.I., Walker,J.A., Friedrich,F.J., and Rafal,R.D., Effects of parietal injury on covert orienting of attention, J. Neurosci., 4 (1984) 1863-1874.

156. Pouget,A. and Driver,J., Relating unilateral neglect to the neural coding of space, Curr. Opin. Neurobiol., 10 (2000) 242-249.

157. Rees,G., Wojciulik,E., Clarke,K., Husain,M., Frith,C., and Driver,J., Unconscious activation of visual cortex in the damaged right hemisphere of a parietal patient with extinction, Brain, 123 (2000) 1624-1633.

158. Riddoch,J.R. and Humphreys,G.W., Perceptual and action systems in unilateral visual neglect. In: Jeannerod,M. (Hrsg.), Neurophysiological and Neuropsychological Aspects of Spatial Neglect, Elsevier Science, New York, 1987, pp. 151-181.

159. Rivaud,S., Muri,R.M., Gaymard,B., Vermersch,A.I., and Pierrot-Deseilligny,C., Eye movement disorders after frontal eye field lesions in humans, Exp. Brain Res., 102 (1994) 110-120.

160. Rizzolatti,G. and Berti,A., Neglect as a neural representation deficit, Rev. Neurol. (Paris), 146 (1990) 626-634.

161. Rizzolatti,G. and Berti,A., Neuronal mechanisms of spatial neglect. In: Robertson,I.H., Marshall,J. (Hrsg.), Unilateral neglect: Clinical and Experimental studies, Erlbaum LEA publishers, Hove, 1993, pp. 87-105.

162. Rizzolatti,G., Riggio,L., Dascola,I., and Umilta,C., Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians: evidence in favor of a premotor theory of attention, Neuropsychologia, 25 (1987) 31-40.

163. Ro,T., Rorden,C., Driver,J., and Rafal,R., Ipsilesional Biases in Saccades but not Perception after Lesions of the Human Inferior Parietal Lobule, J. Cogn. Neurosci., 13 (2001) 920-929.

164. Robertson,I.H., Mattingley,J.B., Rorden,C., and Driver,J., Phasic alerting of neglect patients overcomes their spatial deficit in visual awareness, Nature, 395 (1998) 169-172.

165. Robinson,D.A., A method of measuring eye movement using a scleral search coil in a magnetic field, IEEE Trans. Biomed. Eng., 10 (1963) 137-145.

166. Rorden,C. and Brett,M., Stereotaxic display of brain lesions, Behav. Neurol., 12 (2000) 191-200.

167. Rubens,A.B., Caloric stimulation and unilateral visual neglect, Neurology, 35 (1985) 1019-1024.

168. Samuelsson,H., Hjelmquist,E.K., Jensen,C., and Blomstrand,C., Search pattern in a verbally reported visual scanning test in patients showing spatial neglect, J. Int. Neuropsychol. Soc., 8 (2002) 382-394.

169. Samuelsson,H., Hjelmquist,E.K., Jensen,C., Ekholm,S., and Blomstrand,C., Nonlateralized attentional deficits: an important component behind persisting visuospatial neglect?, J. Clin. Exp. Neuropsychol., 20 (1998) 73-88.

170. Säring,W., von Cramon,D., Haller,C., Henkes,I., Prosiegel,M., and Rocek,B., Diagnostik und Therapie halbseitiger Neglectphänomene. In: Beschäftigungstherapie und Rehabilitation, Heft 4, 1986, pp. 203-207.

171. Schall,J.D. and Hanes,D.P., Neural basis of saccade target selection in frontal eye field during visual search, Nature, 366 (1993) 467-469.

172. Schenkenberg,T., Bradford,D.C., and Ajax,E.T., Line bisection and unilateral visual neglect in patients with neurologic impairment, Neurology, 30 (1980) 509-517.

173. Smania,N., Martini,M.C., Gambina,G., Tomelleri,G., Palamara,A., Natale,E., and Marzi,C.A., The spatial distribution of visual attention in hemineglect and extinction patients, Brain, 121 (1998) 1759-1770.

174. Snyder,J.J. and Kingstone,A., Inhibition of return and visual search: how many separate loci are inhibited?, Percept. Psychophys., 62 (2000) 452-458.

175. Snyder,L.H., Batista,A.P., and Andersen,R.A., Coding of intention in the posterior parietal cortex, Nature, 386 (1997) 167-170.

176. Snyder,L.H., Batista,A.P., and Andersen,R.A., Intention-related activity in the posterior parietal cortex: a review, Vision Res., 40 (2000) 1433-1441.

177. Sprenger,A., Kömpf,D., and Heide,W., Visual search in patients with left visual hemineglect, Prog. Brain Res., 140 (2002) 395-416.

178. Sprenger,A., Kömpf,D., Moschner,C., and Heide,W., Saccadic scan paths during visual search. In: Sharpe,J.A. (Hrsg.), Neuro-ophthalmology at the Beginning of the New Millennium, Medimond, Englewood, USA, 2001, pp. 191-206.

179. Stone,S.P., Halligan,P.W., and Greenwood,R.J., The incidence of neglect phenomena and related disorders in patients with an acute right or left hemisphere stroke, Age Ageing, 22 (1993) 46-52.

180. Stone,S.P., Halligan,P.W., Marshall,J.C., and Greenwood,R.J., Unilateral neglect: a common but heterogeneous syndrome, Neurology, 50 (1998) 1902-1905.

181. Stone,S.P., Patel,P., Greenwood,R.J., and Halligan,P.W., Measuring visual neglect in acute stroke and predicting its recovery: the visual neglect recovery index, J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 55 (1992) 431-436.

182. Stone,S.P., Wilson,B., Wroot,A., Halligan,P.W., Lange,L.S., Marshall,J.C., and Greenwood,R.J., The assessment of visuo-spatial neglect after acute stroke, J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 54 (1991) 345-350.

183. Sunderland,A., Wade,D.T., and Langton,H.R., The natural history of visual neglect after stroke. Indications from two methods of assessment, Int. Disabil. Stud., 9 (1987) 55-59.

184. Tham,K., Borell,L., and Gustavsson,A., The discovery of disability: a phenomenological study of unilateral neglect, Am. J. Occup. Ther., 54 (2000) 398-406.

185. Treisman,A., Perceptual grouping and attention in visual search for features and for objects, J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform., 8 (1982) 194-214.

186. Treisman,A.M. and Gelade,G., A feature-integration theory of attention, Cognit. Psychol., 12 (1980) 97-136.

187. Ungerleider,L.G., Courtney,S.M., and Haxby,J.V., A neural system for human visual working memory, Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A, 95 (1998) 883-890.

188. Vallar,G., Spatial frames of reference and somatosensory processing: a neuropsychological perspective, Philos. Trans. R. Soc. Lond B Biol. Sci., 352 (1997) 1401-1409.

189. Vallar,G., Spatial hemineglect in humans, Trends Cogn. Sci., 2 (1998).

190. Vallar,G., Extrapersonal visual unilateral spatial neglect and its neuroanatomy, Neuroimage, 14 (2001) 52-58.

191. Vallar,G. and Perani,D., The anatomy of unilateral neglect after right-hemisphere stroke lesions. A clinical/CT-scan correlation study in man, Neuropsychologia, 24 (1986) 609-622.

192. Ventre,J., Flandrin,J.M., and Jeannerod,M., In search for the egocentric reference. A neurophysiological hypothesis, Neuropsychologia, 22 (1984) 797-806.

193. Vuilleumier,P., Schwartz,S., Husain,M., Clarke,K., and Driver,J., Implicit processing and learning of visual stimuli in parietal extinction and neglect, Cortex, 37 (2001) 741-744.

194. Vuilleumier,P., Valenza,N., Mayer,E., Perrig,S., and Landis,T., To see better to the left when looking more to the right: effects of gaze direction and frames of spatial coordinates in unilateral neglect, J. Int. Neuropsychol. Soc., 5 (1999) 75-82.

195. Wade,D.T., Wood,V.A., and Hewer,R.L., Recovery of cognitive function soon after stroke: a study of visual neglect, attention span and verbal recall, J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 51 (1988) 10-13.

196. Wade,N.J., Porterfield and Wells on the motions of our eyes, Perception, 29 (2000) 221-239.

197. Walker,R. and Findlay,J.M., Saccadic eye movement programming in unilateral neglect, Neuropsychologia, 34 (1996) 493-508.

198. Watson,R.T. and Heilman,K.M., Thalamic neglect, Neurology, 29 (1979) 690-694.

199. Weintraub,S. and Mesulam,M.M., Right cerebral dominance in spatial attention. Further evidence based on ipsilateral neglect, Arch. Neurol., 44 (1987) 621-625.

200. Weintraub,S. and Mesulam,M.M., Visual hemispatial inattention: stimulus parameters and exploratory strategies, J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 51 (1988) 1481-1488.

201. Werth,R., Neglect nach Hirnschädigung. Unilaterale Verminderung der Aufmerksamkeit und Raumrepräsentation, Springer-Verlag, Berlin, 1988.

202. Werth,R., von Cramon,D., and Zihl,J., Neglect: Phänomene halbseitiger Vernachlässigung nach Hirnschädigung, Fortschr. Neurol. Psychiatr., 54 (1986) 21-32.

203. Wilson,B., Cockburn,J., and Halligan,P.W., Behavioural Inattention Test, Thames Valley Test Company, Bury St. Edmunds, England, 1987.

204. Witte,O.W., Lesion-induced plasticity as a potential mechanism for recovery and rehabilitative training, Curr. Opin. Neurol., 11 (1998) 655-662.

205. Wojciulik,E., Husain,M., Clarke,K., and Driver,J., Spatial working memory deficit in unilateral neglect, Neuropsychologia, 39 (2001) 390-396.

206. Wolfe,J.M., Visual search in continuous, naturalistic stimuli, Vision Res., 34 (1994) 1187-1195.

207. Zacher,J.E., Irving,E.L., Allison,R.A., and et al., The effect of scleral coil wear on visual function and acuity, Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 39 (1998) 767.

208. Zelinsky,G.J., Using eye saccades to assess the selectivity of search movements, Vision Res., 36 (1996) 2177-2187.

209. Zihl,J. and Hebel,N., Patterns of oculomotor scanning in patients with unilateral posterior parietal or frontal lobe damage, Neuropsychologia, 35 (1997) 893-906.

210. Zoccolotti,P., Antonucci,G., Judica,A., Montenero,P., Pizzamiglio,L., and Razzano,C., Incidence and evolution of the hemineglect disorder in chronic patients with unilateral right brain damage, Int. J. Neurosci., 47 (1989) 209-216.

8 Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Wolfgang Heide für die Vergabe eines meiner Meinung nach ausgesprochen interessanten Themas und für die Möglichkeit, die Arbeit weitgehend frei gestalten zu können. Herrn Dipl. Psych. Andreas Sprenger danke ich ausdrücklich für seine stets sehr kompetente fachliche Beratung und kollegiale Unterstützung. Herrn Björn Machner danke ich für die Einführung in das MRIro-Progamm und Frau Judith Schwanke für das Korrekturlesen. Für die Bereitstellung der technischen und räumlichen Rahmenbedingungen, welche die Durchführung der Arbeit überhaupt erst ermöglichten, bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Detlef Kömpf. Ganz besonderen Dank verdient meine Frau Lena für ihre Geduld und Kraft, die sie vor allem während der Fertigstellung der schriftlichen Niederlegung der Arbeit so manches Mal aufbringen musste. Vielen Dank!

9 Lebenslauf

Persönliche Information

Name	Urban Hansen
geboren am	19.11.1976 in Freiburg im Breisgau
Eltern	Sigrid Fiegl (geb. Fuchs)
	Gottlieb Fiegl († am 27.09.92)
Familienstand	verheiratet seit dem 2. Mai 2003 mit Lena Hansen

Schulausbildung

1983 – 1987	Grundschule in Freiburg
1987 – 1994	Allgemeinbildendes Gymnasium in Freiburg im Breisgau
1994 – 1997	Sozialpädagogisches Gymnasium in Lahr (Schwarzwald)
	Abitur

Ersatzdienst

1997 – 1998	Zivildienst im Rettungsdienst des DRK in Freiburg

Hochschulstudium

1998 – 2000	Grundstudium der Humanmedizin an der
	Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg
	Physikum
2000 – 2002	Hauptstudium an der Universität zu Lübeck
	1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
2002 – 2005	Hauptstudium an der Universität Leipzig
	2. und 3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Berufstätigkeit

seit 11/05	Arzt in Weiterbildung im Fach Psychiatrie und Psychotherapie
	am Zentrum für Psychiatrie Weissenau, Ravensburg

Doktorarbeit „Visuelle Suche bei Hemineglect nach Hirninfarkten“

04/01 – 09/02	Durchführung der experimentellen Arbeit