

**Neglect in der taktil-sensiblen Modalität
Untersuchung mit elektrischer Stimulation am Rumpf**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften**

an der
Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft
der Universität Bielefeld

**vorgelegt von
Dipl.-Psych. Johannes Oswald Corbach**

**Erstgutachter und Betreuer: Prof. Dr. Wolfgang Hartje
Zweitgutachter: PD Dr. Michael Bulla-Hellwig**

Minden, November 2006

Danksagung

Mein herzlicher Dank gebührt allen, die mich im Laufe dieses langen Vorhabens unterstützt haben:

Prof. Hartje sowohl für finanzielle Hilfe als auch Rat, Kritik, Motivation und wissenschaftliche Betreuung während aller Phasen des Projekts.

Prof. Busse für die großzügige Hilfe bei der Anschaffung der Geräte.

Prof. Röther und den Neurologen des Klinikums Minden für die uneingeschränkte Unterstützung meines Vorhabens.

Dr. Hemmersbach und Dr. Kleff von den Johanniter-Ordenshäusern sowie Dr. Griese vom Klinikum für Rehabilitation I in Bad Oeynhausen für die Kooperation ihrer Kliniken.

Den Kolleginnen Ingrid Lischka, Dietlinde Haug, Gabriele Kroll und Marlies Krone für ihre unermüdliche Hilfe bei der Rekrutierung von Patienten. Ohne ihr Engagement wäre es mir nicht gelungen, eine ausreichende Anzahl von Probanden zu finden.

Dr. Christoph Rettig und Dr. Siegfried Straeten-Diekämper für die konstruktive Kritik an früheren Versionen des Manuskripts.

Erika Pauli und Dr. Jan Feuser für ihre Motivation.

Wolfhard Scieczek für technische Unterstützung bei Hard- und Software.

Schließlich meiner Ehefrau Regina, meiner Schwester Almuth und meinen Kindern Rebecca und Tillmann für die Zeit, die sie mir schenkten, um dieses Projekt zu verwirklichen.

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Theorie	3
2.1	<i>Modellvorstellungen über Neglect</i>	4
2.1.1	Neglect als Aufmerksamkeitsstörung	4
2.1.2	Neglect als Störung der mentalen Repräsentation	6
2.1.3	Neglect als Störung multimodaler Transformation	7
2.1.4	Neglect als Störung der Balance zerebraler Aktivierung.....	8
2.2	<i>Die Schätzung der subjektiven Mitte bei Neglect-Patienten</i>	9
2.3	<i>Rotation und Translation</i>	12
2.4	<i>Haut und Tastsinn</i>	18
2.4.1	Funktion und Beschaffenheit der Haut	18
2.4.2	Somatoviszerale Afferenz: Von der Haut zum Gehirn	22
2.5	<i>Hypothesen</i>	25
3	Methode	27
3.1	<i>Beschreibung der Versuchsanordnung</i>	27
3.2	<i>Elektrophysiologische Stimulation</i>	34
3.2.1	Prozedere	34
3.2.2	Instruktion	35
3.3	<i>Versuchspersonen</i>	36
3.4	<i>Ein- und Ausschlusskriterien</i>	36
3.5	<i>Neglectprüfung</i>	38
3.5.1	Linien Halbieren	38
3.5.2	Freies Zeichnen einer Uhr.....	39
3.5.3	Visuelle Exploration	39
3.5.4	Vorlesen	40
3.5.5	Taktile Sensibilität und Extinktionsphänomene	40
4	Ergebnisse	44
4.1	<i>Erste Auswertungsschritte</i>	44
4.2	<i>Differenz zwischen Reizposition und Reaktion: Vergleich der Gruppen</i>	45
4.3	<i>Differenz zwischen Reizposition und Reaktion: Gruppeninterner Vergleich des vorderen und hinteren Halbraums</i>	47
4.4	<i>Nonlineare Regression: Der Punkt der subjektiven Gleichheit</i>	48
5	Diskussion	56
5.1	<i>Ziel der Arbeit</i>	56
5.2	<i>Vaskuläre Risikofaktoren</i>	56
5.3	<i>Die drei Stichproben</i>	57

5.4	<i>Differenzierung zwischen Probandengruppen</i>	57
5.5	<i>Elektrische Reize auf der Haut</i>	58
5.6	<i>Warum wurden von der Gruppe der Neglect-Patienten links mehr Auslassungen gemacht?</i>	58
5.7	<i>Auswahl der Probanden</i>	59
5.8	<i>Die Schätzfehler der Probanden</i>	59
5.8.1	<i>Zerlegung der geforderten Handlungen in Einzelkomponenten</i>	59
5.8.1.1	<i>Wahrnehmung taktiler Reize</i>	60
5.8.1.2	<i>Lokalisierung taktiler Reize</i>	62
5.8.1.3	<i>Übertragung der taktilen Wahrnehmung in eine visuelle Vorstellung</i>	63
5.8.1.4	<i>Planung der motorischen Reaktion</i>	63
5.8.1.5	<i>Ausführung der Bewegung</i>	64
5.9	<i>Abweichende Schätzungen</i>	70
5.10	<i>Der Punkt der subjektiven Gleichheit in den drei Gruppen</i>	73
5.10.1	<i>Der PSG in der Gruppe RHG N+ im vorderen Halbraum: Ein Messartefakt?</i>	73
5.10.2	<i>Unterschiede zur Studie von Vallar et al. (1995)</i>	74
5.10.3	<i>Die subjektive Körpermitte: Weicht sie bei rechtshemisphäriell geschädigten Neglect-Patienten stets nach ipsilateral ab?</i>	75
5.11	<i>Die Ergebnisse vor dem Hintergrund der Hypothesen</i>	76
5.12	<i>Ausblick</i>	77
6	Zusammenfassung	79
7	Literatur	85
8	Anhang	

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1	Das mathematische Neglect-Modell nach Anderson (1996).	6
Abbildung 2	Die Konzepte „Translation (links) und „Rotation“.....	8
Abbildung 3	Versuchsordnung in der Studie von Vallar und Mitarbeitern.	12
Abbildung 4	Die Ergebnisse von Vallar et al. (1995).	13
Abbildung 5	Die Haut eines Neugeborenen.....	19
Abbildung 6	Unbehaarte und behaarte Haut.....	20
Abbildung 7	Überblick über die Afferenzen der Mechanorezeptoren.	24
Abbildung 8	Darstellung der taktilen Wahrnehmung der Neglect-Patienten im vorderen Halbraum gemäß der Hypothese 1.	25
Abbildung 9	Verhalten der Patienten gemäß Hypothese 2a.	26
Abbildung 10	Verhalten der Neglect-Patienten im hinteren Halbraum gemäß Hypothese 2b.	26
Abbildung 11	Der verwendete Zweifach-Konstantstrom-Stimulator.....	27
Abbildung 12	Die Relaisstation diente zur Verteilung des vom Konstantstrom- Stimulator erzeugten Reizstroms auf eine von fünfzehn Elektroden.	28
Abbildung 13	Auf der selbst konstruierten Tastatur sollten die Probanden durch Drücken der entsprechenden Taste die Position der aktuell stimulierten Elektrode einschätzen. Im Bild die Version zur Prüfung des vorderen Halbraums.	29
Abbildung 14	Analog die Tastatur, die bei der Prüfung des rückwärtigen Halbraums eingesetzt wurde.....	30
Abbildung 15	Verbindungselement zwischen Computer und Probandentastatur: Die externe Tastaturlogik des Programms ERTS.....	30
Abbildung 16	Die verwendeten 15 Oberflächenelektroden.	33
Abbildung 17	Überblick über den verwendeten Gerätepark.	32
Abbildung 18	Schematische Darstellung der Versuchsapparatur.....	31
Abbildung 19	Darstellung des gesamten neurophysiologische Versuchsablaufs.	34
Abbildung 20	Die sechs verwendeten Materialien des Qualitativen Extinktionstests. .	41
Abbildung 21	Die Abweichung der Probandenreaktion von der objektiven Position der stimulierten Elektrode am Bauch.	45
Abbildung 22	Die Abweichung der Probandenreaktion von der objektiven Position der stimulierten Elektrode am Rücken.	46
Abbildung 23	Der Punkt der subjektiven Gleichheit (PSG), bei allen Gruppen, im vorderen und hinteren Halbraum.....	51
Abbildung 24	Der PSG bei Neglect-Patienten im vorderen und hinteren Halbraum. ..	52
Abbildung 25	Der PSG bei den Gruppen RHG N- und NK.	53
Abbildung 26	Exemplarische Darstellung des Linienhalbierens von Proband Nr. 49. .	A2
Abbildung 27	Exemplarische Darstellung der Uhrzeichnung von Proband Nr. 14.	A4
Abbildung 28	Exemplarische Darstellung der Buchstabensuchaufgabe von Proband Nr. 26.	A5
Abbildung 29	Exemplarische Darstellung der Leseleistung von Proband Nr. 14.	A6
Abbildung 30	Exemplarische Darstellung des Qualitativen Extinktionstests von Proband Nr. 49.	A7
Abbildung 31	Exemplarische Darstellung des Qualitativen Extinktionstests von Proband Nr. 49.	A8

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1 Die Mechanorezeptoren der Haut und ihre Aufgaben.	21
Tabelle 2 Beschreibung der Probanden hinsichtlich Alter, Erkrankungsdauer und Ergebnissen in den Neglect-Tests.	37
Tabelle 3 Der Punkt der subjektiven Gleichheit (PSG) jedes Probanden.	50
Tabelle 4 Der Punkt der subjektiven Gleichheit (PSG) bei allen untersuchten Gruppen und allen Bedingungen.	51
Tabelle 5 Signifikanzprüfung der Mittelwerte abweichender Reaktionen vorne mit dem Kruskal-Wallis H-Test und dem Mann-Whitney U-Test.	54
Tabelle 6 Signifikanzprüfung der Mittelwerte abweichender Reaktionen hinten, gleichfalls mit dem Kruskal-Wallis H-Test und dem Mann-Whitney U-Test.	54
Tabelle 7 Signifikanzprüfung der Mittelwerte abweichender Reaktionen vorne minus hinten bei den verschiedenen Gruppen mit dem Vorzeichenrangtest von Wilcoxon.	55

Verzeichnis der Formeln

Formel 1 Fehlerquotient für linksseitige unimanuelle Stimulation im Qualitativen Extinktionstest (QET).....	41
Formel 2 Methode zur Ermittlung ungleicher Fehlerquoten bei unimanueller Stimulation jeder Körperseite: Die Bestimmung des Gesamtfehlerquotienten.....	42
Formel 3 Bestimmung des Fehlerquotienten bei bilateraler doppelseitiger Stimulation im QET.	43
Formel 4 Ermittlung der Wahrscheinlichkeit, dass ein Reiz als links- oder rechtsseitig eingeschätzt wird.....	48
Formel 5 Auflösung des Nenners aus Formel 4 zur Ermittlung des PSG.....	49
Formel 6 Exponent aus Formel 5.	49
Formel 7 Der Punkt der subjektiven Gleichheit (PSG).....	49

1 Einleitung

Zahlreiche Arbeitsgruppen weltweit widmen ihre Aufmerksamkeit der Erforschung des Neglect-Syndroms. Diese Aktivität hat in den letzten Jahren weiter zugenommen: Eine Medline-Recherche zeigt, dass 1995 etwa 90, 2000 etwa 100 und 2005 bereits gut 150 Arbeiten zum neurologischen Neglect-Syndrom veröffentlicht wurden. Trotz dieser Anstrengungen gilt Neglect nach wie vor als wenig verstanden.

Neglect ist ein Syndrom, das häufig mehrere Sinnesgebiete betrifft. Die meisten Fachbeiträge beschäftigen sich mit dem visuellen Neglect, nur wenige untersuchen das Syndrom in anderen Modalitäten. Beim Neglect im Bereich des Tastsinns haben fast alle Arbeiten die motorische Variante zum Gegenstand – taktil sensibler Neglect wurde sehr selten untersucht.

Die Aussagen, die bislang zur veränderten Raumwahrnehmung bei Neglect-Betroffenen gemacht wurden, beziehen sich fast ausnahmslos auf den vorderen Raum. Das verwundert kaum, wenn man bedenkt, dass sich die meisten Arbeiten mit dem visuellen Neglect beschäftigen. Vallar, Guariglia, Nico und Bisiach (1995) untersuchten das Neglect-Phänomen im Bereich des Hörsinns. Im Gegensatz zur visuellen Modalität erlaubt dieses Sinnesgebiet auch Fragestellungen zum rückwärtigen Raum. Sind die bekannten Neglect-Phänomene auch in dieser Raumhälfte beobachtbar? Wie wirken sie sich aus? Die Ausdehnung der Neglect-Forschung in den rückwärtigen Raum kommt einer Erweiterung des Horizonts der Forschergemeinschaft gleich.

Vallar und Mitarbeiter (1995) präsentierten Neglect-Patienten Tonreize. Ihre Aufgabe war zu bestimmen, ob diese Töne aus der linken oder rechten Raumhälfte stammten. Im Vergleich zu hirngeschädigten Patienten ohne Neglect und gesunden Kontrollprobanden wich die Einschätzung der Neglect-Betroffenen im vorderen wie im hinteren Raum nach rechts ab. Dies wurde von Vallar et al. (1995) als Beleg für die „Translationshypothese“ interpretiert, nach der die subjektive Körpermitte im vorderen wie im hinteren Raum nach rechts abweicht. Die konkurrierende „Rotationshypothese“, nach der im rückwärtigen Raum die subjektive Mitte nach links abweicht, wurde abgelehnt. Ruppel (1998) replizierte die Arbeit von Vallar et al. (1995) mit gesunden Probanden, kontrollierte aber zusätzlich deren Blickrichtung. Die leichte Abweichung der subjektiven Mitte nach links, die Vallar und Mitarbeiter auch bei Gesunden gefunden hatten,

war in Ruppels Arbeit allerdings nicht erkennbar. Eine andere Arbeit (Dillmann, 1997), in der die visuellen Vorstellungen von Neglect-Patienten untersucht worden waren, zog die Gültigkeit der Translationshypothese in Zweifel.

Nichtsdestoweniger hatte sich durch diese Studien ein interessanter Ansatz für weitere Forschung aufgetan. Wenn die Translationshypothese modalitätsunabhängige Gültigkeit hätte, müsste sie sich auch in anderen Sinnesgebieten nachweisen lassen. Würde man also Neglect-Patienten im Bereich des Tastsinns untersuchen und ihre Wahrnehmung des vorderen und des rückwärtigen Raums prüfen, ließe sich dann die Translationshypothese aufrechterhalten, oder müsste sie zugunsten der Rotationshypothese verworfen werden? Das waren die Überlegungen, die den Anstoß für die vorliegende Arbeit gaben.

Es wird zunächst ein kurzer Überblick über die aktuellen theoretischen Annahmen zum Neglect-Syndrom sowie über Grundlegendes zu Haut und Tastsinn gegeben. Dann werden die technischen Vorbereitungen für den experimentellen Teil erläutert und die Ausführung beschrieben. Das neurophysiologische Experiment wird bei einer Gruppe Neglect-Patienten, einer Gruppe Hirngeschädigter ohne Neglect und einer Gruppe gesunder Personen durchgeführt. Die Ergebnisse werden präsentiert, diskutiert und mit dem Ausgangspunkt, der Arbeit von Vallar und Mitarbeitern (1995), in Beziehung gesetzt.

2 Theorie

Das Wort „Neglect“ stammt vom lateinischen „Neglectus“ ab und bedeutet übersetzt „Vernachlässigung“. Im medizinischen Sprachgebrauch steht Neglect für ein Syndrom, welches nicht selten nach Hirnschädigungen auftritt. Eine häufig zitierte Definition stammt von Heilman et al. (2003, S. 296): „Neglect is the failure to report, respond, or orient to novel or meaningful stimuli presented to the side opposite a brain lesion, when this failure cannot be attributed to either sensory or motor defects.“ Mehrere Besonderheiten sind bemerkenswert: In der überwiegenden Anzahl der Fälle führen rechtshemisphärielle Läsionen zum Neglect, weshalb die Vernachlässigung sich meist in der linken Raumhälfte auswirkt (Vallar, 1993; Ringman et al., 2004). Zudem betrifft die Störung häufig mehrere Sinnesgebiete. Schließlich ist Neglect unabhängig von sensorischen Störungen – es handelt sich also nicht etwa um eine Form von Blindheit oder Taubheit, sondern Neglect stellt eine eigenständige Störung dar.

Bei den Erscheinungsformen des Neglects lässt sich zwischen allozentrischer, objektbezogener und egozentrischer Vernachlässigung unterscheiden (Kerkhoff, 2001). Die *allozentrischen* Defizite betreffen die räumliche Beziehung von zwei Objekten, wie z.B. die Größe der Teile einer Linie nach erfolgter Linienhalbierung. Bei der *objektbezogenen* Form wird eine Hälfte eines Objekts vernachlässigt, beispielsweise bei einer Mahlzeit die linke Seite des Tellers. Die *egozentrische* Form betrifft den eigenen Körper und seine Beziehung zur Außenwelt, beispielsweise durch Verschiebung der subjektiven Körpermitte oder Vernachlässigung der Gliedmaßen einer Körperseite. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit diesem Aspekt.

Die am häufigsten geschädigte Hirnregion bei Neglect ist die temporo-parietale Übergangsregion der rechten Hemisphäre (Milner und McIntosh, 2005). Allerdings ist Neglect auch nach rechtshemisphäriellen Läsionen der temporo-okzipitalen Übergangsregion (Rorden et al., 2006), des inferioren Parietallappens (Mort et al., 2003), des dorsolateralen frontalen Cortex (Smania et al., 1998), des oberen temporalen Kortex, der Inselregion, des Putamen, des Nucleus Caudatus bzw. der Stammganglien (Karnath et al., 2004; Damasio et al., 1980) sowie des Thalamus (Ringman et al., 2004) beschrieben. Die Frage nach den Läsionsorten, die Neglect zur Folge haben können, hängt eng mit der Definition des Neglects und den zur Diagnostik verwendeten Tests

zusammen. Die dabei gefundenen Dissoziationen sagen gleichermaßen etwas über die eingesetzten Tests als auch über die Heterogenität des Neglect-Syndroms aus.

2.1 Modellvorstellungen über Neglect

Nach Kerkhoff (2004) lassen sich die aktuellen Modellannahmen zum Neglect in vier verschiedene Gruppen einteilen: Neglect als Störung von Aufmerksamkeitsprozessen, Neglect als Störung mentaler Repräsentation, Neglect als Störung multimodaler Transformation und Neglect als Störung der Balance zerebraler Aktivierung.

2.1.1 Neglect als Aufmerksamkeitsstörung

Kinsbourne (1993) zufolge arbeitet in beiden Hirnhemisphären ein Prozess, der die Aufmerksamkeit zur kontralateralen Richtung steuert. Er nennt dies „Vektor“. Die gegenläufigen Vektoren der beiden Hemisphären steuern die Orientierung und Exploration des umgebenden Raumes, aber auch der internen Repräsentation desselben. Wird nun durch fokale Hirnschädigung einer dieser Vektoren geschwächt oder fällt gar aus, so ist nur noch einer wirksam, der nun ein Übergewicht zugunsten ipsiläsionaler Orientierung bewirkt. Die Vektoretheorie kann allerdings nicht erklären, warum das Neglect-Syndrom sich vorwiegend nach rechtshemisphäriellen Läsionen einstellt und nicht genau so häufig nach linkshemisphäriellen.

Heilman et al. (1995) und Mesulam (1998) haben diesen Kritikpunkt in ihren Modellannahmen berücksichtigt: Demnach steuert die rechte Hemisphäre Aufmerksamkeitsprozesse in beiden Halbräumen, während die linke Hemisphäre ausschließlich die Orientierung zur rechten Raumhälfte richtet. Mesulam (1998) hat diese Annahme auch anatomisch weiter präzisiert und ausgeführt, dass die Hemisphären ein neuronales Netz enthalten, welches die frontalen Augenfelder (lateraler prämotorischer Kortex), den posterioren parietalen Kortex, das Cingulum sowie die Basalganglien und den Thalamus umfasst. Kommt es nun zur Schädigung dieser Strukturen in der rechten Hemisphäre, so ist die Aufmerksamkeitssteuerung für den linken Außenraum gänzlich beeinträchtigt, während diejenige für den rechtsseitigen Teil des Außenraums weiter von der linken Hemisphäre überwacht wird. Bei linkshemisphäriellen Schädigungen kommt es dagegen selten zum Neglect, weil die Strukturen der rechten Hemisphäre den Ausfall des linkshemisphäriellen Steuerungssystems ausgleichen können. Abgesehen davon,

dass Heilman und Watson (1995) sowie Mesulam (1998) mit ihren Annahmen das ungleich häufigere Auftreten des Neglects nach rechtsseitigen Läsionen erklären können, gelingt es ihnen ebenso, die uneinheitlichen Lokalisationen zu berücksichtigen, die dem Neglect-Syndrom zugrunde liegen können.

Posner et al. (1988) entwarfen ein Modell der Verlagerung fokaler Aufmerksamkeitsprozesse: Zunächst wird die Aufmerksamkeit vom gegenwärtigen Fokus gelöst („disengagement“), dann wird sie verschoben („shift“/„movement“), und schließlich wird sie erneut ausgerichtet („engagement“). Posner und Driver (1992) argumentieren, dass die Loslösung von ipsiläsionalen hin zu kontraläsionalen Stimuli im Kern dem Neglect-Syndrom zugrunde liegt. In ihrer Argumentation führen sie an, dass Hinweise („cueing“) auf kontraläsionale Ziele bei den Patienten zu einer Verminderung der Vernachlässigung führen. Allerdings kann auch diese Theorie nicht erklären, warum zum einen sowohl bei Licht als auch bei absoluter Dunkelheit, d.h. bei Abwesenheit von visuellen sensorischen Reizen, Neglect-Betroffene sich mit gleicher Vorliebe der ipsiläsionalen Raumhälfte zuwenden. Ebenso wenig plausibel erscheint bei dieser Theorie die Beobachtung, dass in der visuellen und auch der auditiven Modalität die subjektive Mitte nach ipsiläsional abweicht.

Einen ganz anderen Ansatz verfolgt Anderson (1996): Sie entwickelte ein mathematisches Modell des Neglects. Dabei geht sie von hemisphäriell getrennten Aufmerksamkeitsvektoren aus, wobei sich die beiden Hirnhemisphären hinsichtlich ihres Anteils an der Steuerung dieser Vektoren unterscheiden. Die mathematische Funktion, die der Steuerung von Aufmerksamkeit durch die rechte Hemisphäre zugrunde liegt, ist stärker ausgeprägt als die von der linken Hemisphäre ausgehende. Zudem sorgt nur die rechts-hemisphäriell gesteuerte Funktion für eine ausgeglichene Zuwendung zu beiden Raumhälften. Die Wahrscheinlichkeit, dass die gesunde rechte Hemisphäre die Zuwendung der Aufmerksamkeit zu einem Reiz auslöst, ist umso höher, je mehr sich dieser Reiz in der Raummitte befindet. Die mathematisch ausgedrückte Aufmerksamkeitsfunktion der linken Hemisphäre wiederum ist weniger stark; zudem erreicht sie ihren Gipfel etwa 10 bis 20 Grad rechts von der Mitte (siehe Abbildung 1). Beim Gesunden addieren sich diese beiden Funktionen. Fällt durch eine unilaterale Hirnschädigung ein

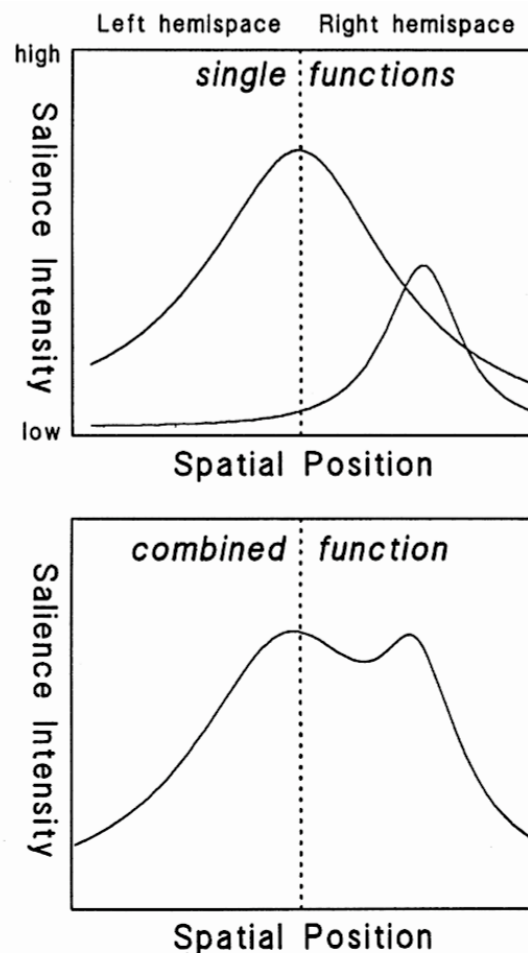


Abbildung 1 Das mathematische Neglect-Modell nach Anderson (1996). Oben: Mathematische Darstellung der von der rechten (große, zentrierte Kurve) und der linken Hemisphäre (kleine Kurve) gesteuerten Aufmerksamkeitsfunktion. Unten: Gegenseitige Ergänzung der beiden Funktionen beim Gesunden. Aus Kerkhoff (2001, S. 16).

Vektor aus, kommt es in Abhängigkeit vom Lokalisationsort zu einer unterschiedlichen Ausrichtung, entsprechend dem jeweiligen Vektor. Bei rechtshemisphäriellen Läsionen kommt nur noch der linkshemisphäriell gesteuerte Vektor zum Tragen und verursacht die Abweichung der subjektiven Mitte nach rechts. Umgekehrt kommt es bei einer entsprechenden linkshemisphäriellen Schädigung zu einer Steuerung der Aufmerksamkeit allein durch die rechtshemisphärielle Funktion und damit weiter zu einer ausgeglichenen Zuwendung zu beiden Raumhälften.

2.1.2 Neglect als Störung der mentalen Repräsentation

Bisiach und Mitarbeiter (Bisiach und Luzzatti, 1978; Bisiach et al., 1981) beschrieben ein Modell der topologischen Raumrepräsentation. Es geht davon aus, dass jedes Ereignis

nis, welches wir mit unseren Sinnen erfassen können, eine mentale Repräsentation hat. Repräsentationen können dabei sowohl durch sensorische Afferenzen als auch durch Erinnerungen aktiviert werden. Beim Neglect-Patienten ist allerdings der repräsentierte Raum nicht symmetrisch, sondern die linksseitige Raumrepräsentation ist erweitert und somit größer als die zusammengedrückte rechtsseitige. Allerdings wird nicht erklärt, wie es zu der hemisphäriellen Asymmetrie kommt.

Nach Rizzolatti et al. (1997) werden Raumrepräsentationen durch Aktivität von Strukturen des prämotorischen Kortex ermöglicht. Durch Handlungen wie Arm- oder Augenbewegungen im Bereich bestimmter Raumabschnitte versetzen wir uns in die Lage, eine Repräsentation des uns umgebenden Raums zu erstellen. Dabei fertigen wir verschiedene mentale Karten an. Kommt es zur Schädigung von prämotorischen Strukturen, hat das eine Störung der durch diese Struktur gesteuerten Raumrepräsentation und eine mentale sowie motorische Vernachlässigung eines Raumabschnitts zu Folge. Allerdings wird bei dieser Annahme gleichfalls nicht klar, warum es zum einen zu einer asymmetrischen Vernachlässigung des Raums kommt, die sich zum anderen vorwiegend nach rechtshemisphäriellen Läsionen zeigt.

2.1.3 Neglect als Störung multimodaler Transformation

Diese Theorien gehen davon aus, dass das Gehirn aus sensorischen Daten einen Referenzrahmen konstruiert, der den umgebenden Raum abbildet. Dieser wird ständig aktualisiert. Daten aus allen Sinnesgebieten werden dabei gesammelt und in das kognitive Modell integriert. Es bedarf einer korrekten Transformation der sensorischen in motorische Daten, um sich zu orientieren und sich sicher im Raum zu bewegen, ohne sich zu verletzen, insbesondere, weil dabei die einzelnen Körperteile, welche die Daten sammeln, relativ und absolut ständig ihre Position ändern. Diese Transformation ist bei Neglect-Patienten gestört, formulierten Ventre et al. (1984) und Jeannerod et al. (1987). Sowohl Karnath (1997) als auch Vallar (1997) präzisierten diese Theorie:

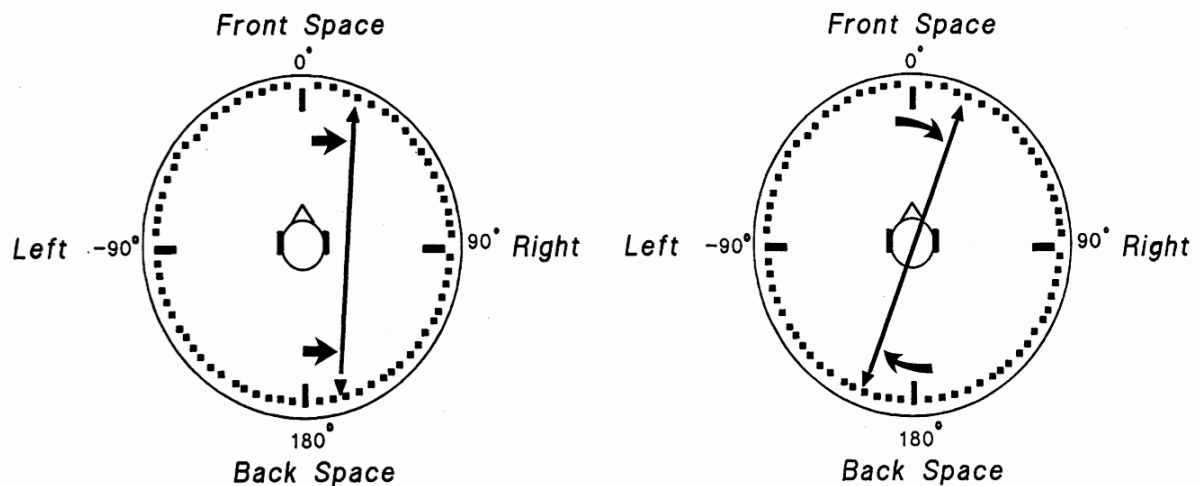


Abbildung 2 Die Konzepte „Translation (links) und „Rotation“. (Aus Kerkhoff, 2001, S. 17).

Beide nehmen an, dass der Transformationsprozess einem systematischen Fehler unterliegt, der die subjektive Mitte des vorderen Halbraums im Vergleich zur objektiven etwa 20 Winkelgrad nach ipsiläsional abweichen lässt (Abbildung 2). Allerdings unterscheiden sich beide Autoren in den Aussagen bezüglich des rückwärtigen Raums. Vallar (1997) geht von einer „Translation“ aus, bei der die subjektive Mitte sowohl im vorderen als auch im rückwärtigen Raum nach ipsiläsional verschoben wahrgenommen wird. Dies konnte er in einer Arbeit zeigen, in der er Neglect-Patienten auditive Reize präsentierte (Vallar et al., 1995). Karnath (1997) hingegen nimmt eine „Rotation“ an: Dabei wird der gesamte Außenraum um die vertikale Achse nach ipsiläsional rotiert wahrgenommen, gleich dem Ziffernblatt einer Uhr. Das bedeutet allerdings für den rückwärtigen Raum eine Verschiebung der subjektiven Mitte nach kontraläsional. Im Bereich des vorderen Raumes sind die Annahmen von Karnath (1997) und Vallar (1997) im Wesentlichen gleich.

2.1.4 Neglect als Störung der Balance zerebraler Aktivierung

Wenn auch andere theoretische Annahmen (vgl. Kinsbourne, 1993) schon davon ausgingen, dass Hemineglect eine unterschiedliche Aktivität der beiden Hemisphären zugrunde liegt, so fehlten ihnen doch physiologische Belege. Als einer der ersten lieferte diesen Sprague (1966): Er konnte bei der Katze zeigen, dass sich der Schweregrad einer kortikal induzierten Hemianopsie sowohl durch Entfernung des kontraläsional

gelegenen Colliculus superior als auch mittels Durchtrennung der Kommissurenfasern der Lamina quadrigemina mildern ließ. Diesen Ansatz verfolgten andere Autoren weiter: Payne et al. (1996) etwa demonstrierten, dass bei Katzen die Kühlung des posterioren mittleren suprasylvischen Kortex in der temporo-parieto-okzipitalen Übergangsregion die Aufmerksamkeit der Tiere für die kontralaterale Raumhälfte herabsetzte und einen nur für die Zeit der Kühlung andauernden visuellen Neglect erzeugte. Gleiches galt für den Colliculus superior. Später zeigten Geeraerts und Vandebussche (1999), dass eine simultane gleich starke Kühlung des homologen Areals in der anderen Hemisphäre den Neglect wieder aufhob oder gar bei noch stärkerer Kühlung die Neglect-Symptomatik umschwenkte und sich nun im vorher nicht betroffenen Halbraum auswirkte. Diese Befunde implizieren, dass offenbar nicht nur die absolute Aktivität einer bestimmten Hirnregion entscheidend für das Auftreten eines Neglects ist. Vielmehr scheint es so zu sein, dass die relative Aktivität kritischer Strukturen, etwa der parieto-temporo-okzipitalen Übergangsregion und des Colliculus superior, innerhalb und zwischen beiden Hemisphären zum Zustandekommen des Phänomens Neglect beitragen. Das Verhältnis der Aktivierung bestimmter Hirnregionen spielt offenbar eine wichtige Rolle für das Auftreten und die Ausprägung einer halbseitigen Vernachlässigung. Diese Erkenntnis gibt Überlegungen Auftrieb, nach neuen Methoden für die Rehabilitation von Neglect-Patienten zu suchen, in denen z.B. die Aktivität der kontraläsionalen Hemisphäre zeitweise herabgesetzt wird, um so das Phänomen der Vernachlässigung zeitweise oder vielleicht sogar darüber hinaus zu vermindern.

2.2 Die Schätzung der subjektiven Mitte bei Neglect-Patienten

„Body midline can be considered as a functional sagittal axis segmenting body and space into left and right sectors, the perception of which being therefore directly relevant to the problem of spatial localization of objects in extrapersonal space,“ schrieben Jeannerod und Biguer (1987, S. 102) und betonten die Wichtigkeit dieser Einteilung für die Orientierung im Raum. Die Kenntnis eines körperzentrierten Referenzsystems sei notwendig, um Bewegungen zu steuern. Nach Jeannerod und Biguer (1987, S. 105) lässt sich dieses Referenzsystem als eine Gleichgewichtposition zwischen den einströmenden Informationen aus beiden Raumhälften begreifen. Doch was passiert, wenn dieses Gleichgewicht gestört wird, etwa durch eine Hirnschädigung? Eine Möglichkeit

dabei ist die Abweichung der subjektiv wahrgenommenen Mitte. Viele Studien haben sich damit beschäftigt, wie sich dies beim Neglect-Syndrom auswirkt:

Heilman et al. (1983) ließen fünf Neglect-Patienten mit geschlossenen Augen nach Geradeaus zeigen. Dabei kontrollierten sie den Startpunkt der Zeigebewegung, die in der Mitte des Brustkorbs (Sternum) begonnen werden sollte. Im Vergleich zu einer Gruppe gesunder Personen ohne Hirnschädigung zeigten die Neglect-Patienten bei jeweils 10 Versuchen im Mittel 8,77 cm rechts an der Mitte vorbei.

Ferber und Karnath (1999) ließen Neglect-Patienten im Dunkeln eine Leuchtdiode (LED) so ausrichten, dass sie sich mittig vor ihrem Körper befand. Um Bewegungsartefakte auszuschließen, wurde die Diode nicht von den Probanden selbst, sondern auf deren verbale Anweisung von einer anderen Person bewegt. Die Aufgabe wurde in zwei verschiedenen Entfernungen zum Körper durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Diode sowohl in 120 als auch in 300 cm Entfernung von ihrem Körper 5,1 Grad bzw. 4,1 Grad rechts von der objektiven Mitte platziert wurde. Im Gegensatz dazu war bei einer gesunden Kontrollgruppe und einer Gruppe rechtshemisphäriell Geschädigter ohne Neglect keine Abweichung von der objektiven Mittellinie erkennbar.

Pisella et al. (2002) untersuchten in einem Längsschnitt-Design den Einfluss von Prismenadaptation auf das Neglect-Syndrom, was durch Geradeaus-Zeigen in dunkler Umgebung sowie der Linienhalbierungsaufgabe nach Schenkenberg et al. (1980) gemessen wurde. Die beiden Patientinnen begannen die Zeigebewegung an einem mittigen Punkt in der Nähe ihres Sternums. Bei der Erhebung des Ausgangszustands mit den genannten Verfahren zeigte sich jeweils bei beiden Verfahren und beiden Patienten eine Abweichung nach rechts.

Die Abweichung der subjektiven Mittellinie nach rechts bei der Aufgabe, geradeaus zu zeigen, wurde noch in weiteren Arbeiten gefunden (vgl. Mark und Heilman, 1990; Richard et al., 2000; Richard et al., 2001).

Allerdings gab es auch Ergebnisse mit anderen Schlussfolgerungen:

Den Hörsinn verschiedener Probandengruppen untersuchten Bisiach et al. (1984), unter anderem an einer Gruppe rechtshemisphäriell Geschädigter mit Neglect und Hemi-anopsie. Die Reize wurden dichotisch per Kopfhörer eingespielt, die Illusion einer

Klangrichtung wurde dabei durch Variation der Lautstärke erreicht. Die Aufgabe der Patienten war, an Ihrem Schädel durch Zeigen einzuschätzen, aus welcher Richtung sie den Klangreiz wahrgenommen hatten. Im Vergleich zur neurologisch unauffälligen Kontrollgruppe tendierte die Einschätzung bei den Neglect-Patienten auch bei stark linksseitig lateralisierten Tonreizen nach rechts. Das bedeutet, dass sich die subjektive auditorische Mittellinie im Verhältnis zur objektiven Mitte weiter nach links verschoben haben muss.

Mit der gleichen Modalität, aber einer anderen Methode arbeiteten Tanaka et al. (1999). Sie präsentierten rechts- und linkshemisphäriell Geschädigten sowie gesunden Kontrollprobanden zwar ebenfalls per Kopfhörer Tonreize, variierten deren räumliche Position aber mittels interauraler Zeitdifferenz. Durch unilaterale Variation der Präsentationszeit ist es möglich, beim Probanden den Eindruck entstehen zu lassen, der Reiz käme aus einer bestimmten Richtung. Je eher ein Reiz beispielsweise das rechte im Vergleich zum linken Ohr erreicht, um so eher wird er als „von rechts kommend“ wahrgenommen. Tanaka und Mitarbeiter (1999) präsentierten ihren Probanden Tonreize, die ständig ihre Position in Richtung der anderen Raumhälfte und zurück verlagerten. Aufgabe der Probanden war, die räumliche Position dieser Töne per Tastendruck möglichst mittig zu halten. Aus der Summe der Serie von Tonpositionen wurde ein Mittelwert errechnet. Dieser wich bei den Neglect-Patienten im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen nach links ab. Das bedeutet, dass ihre Klangwahrnehmung nach rechts tendierte; links musste der Tonreiz deutlich früher als rechts eintreffen, damit die Neglect-Patienten den Eindruck einer mittigen Präsentation hatten.

Bartolomeo und Chokron (1999) ließen eine Gruppe rechtshemisphäriell Geschädigter Patienten durch eine Zeigebewegung die subjektive Mitte demonstrieren. Es fand sich insgesamt eine kaum nennenswerte Abweichung nach rechts. Eine nähere Analyse der Gruppe zeigte jedoch bei Patienten mit ausgedehnten Läsionen des parietalen Kortex eine signifikante Abweichung der subjektiven Mitte nach rechts. Im Gegensatz dazu wiesen rechtshemisphäriell geschädigte Patienten ohne ausgedehnte parietale Läsionen Abweichungen signifikant nach links von der objektiven Mitte auf. Darüber hinaus zeigte sich, dass die Abweichungen der subjektiven Mittellinie weder Auffälligkeiten in

Neglect-Tests noch visuelle oder taktile Extinktionsphänomene noch systematische Abweichungen bei Zeigebewegungen nach links voraussagen konnten.

2.3 Rotation und Translation

Vallar et al. (1995) beschäftigten sich mit dem Problem, ob und wie sich eine Veränderung des egozentrischen Koordinatensystems im rückwärtigen Raum auswirken würde. Ihre Fragestellung war, ob Neglect-Patienten im vorderen und im rückwärtigen Raum eine Verschiebung der gesamten subjektiven Mittelachse in Richtung der ipsiläsionalen Raumhälfte vollziehen würden („Translation“), oder ob es Belege für das alternative Konzept der „Rotation“ geben würde, das eine Drehung der gesamten, vorderen wie rückwärtigen subjektiven Raumrepräsentation nach rechts annimmt (siehe Abbildung 2). Dies würde für den rückwärtigen Raum die Verschiebung nach links voraussagen. Die der Studie von Vallar et al. (1995) zugrunde liegende Idee war, durch Stimuli aus dem vorderen und dem rückwärtigen Raum die Gültigkeit dieser beiden Vorstellungen

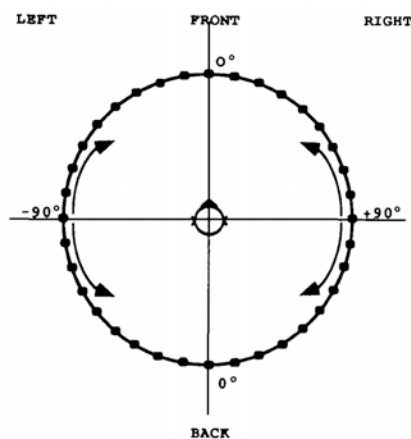


Abbildung 3 Versuchsanordnung in der Studie von Vallar und Mitarbeitern (1995, S. 470). Die Vogelperspektive zeigt die Versuchsperson inmitten eines Rings von Lautsprechern. Weitere Erklärungen im Text.

zu prüfen. 11 Neglect-Patienten, 10 rechtshemisphäriell Geschädigte ohne Neglect und 11 gesunde Kontrollpersonen wurden in die Mitte eines Ringes gesetzt, in dem sich im Abstand von 10 Grad jeweils kleine Lautsprecher befanden (siehe Abbildung 3). Von einer Position 90 Grad links oder 90 Grad rechts ausgehend, wurden den Personen nacheinander Töne mit einer Frequenz von 1000 Hz aus den nächstfolgenden Lautsprechern jeweils des vorderen oder hinteren Halbkreises dargeboten, und sie sollten

angeben, ob sie diese in ihrer linken oder in ihrer rechten Raumhälfte wahrgenommen hatten. Die Neglect-Patienten wichen sowohl im vorderen als auch im hinteren Raum im Mittel nach rechts ab, während die rechtshemisphäriell Geschädigten ohne Neglect und die gesunden Kontrollprobanden die Mitte vorne relativ genau fanden, hinten jedoch leicht nach links abwichen (siehe Abbildung 4). Diese Ergebnisse wurden von Vallar et al. (1995) als Bestätigung der Translationshypothese angesehen. Die Rotationshypothese lehnten sie ab.

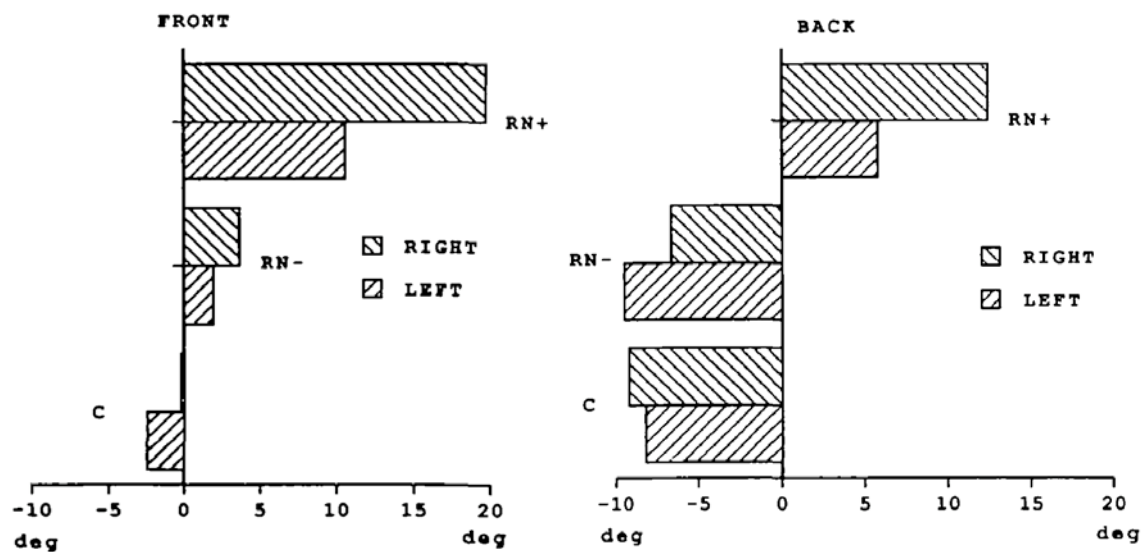


Abbildung 4 Die Ergebnisse von Vallar et al. (1995, S. 470): Im vorderen (linke Grafik) wie im hinteren Raum weicht die subjektive Mitte der Neglect-Patienten (RN+) nach rechts ab, unabhängig vom Startpunkt (unterschiedliche Schraffuren) der Sequenz von Tonreizen.

Dillmann (1997) bezog sich in seiner Arbeit auf die Studie von Vallar et al. (1995). Ihn interessierte die Frage, inwieweit bei Neglect-Patienten die Wahrnehmung des rückwärtigen Raums auch in der Vorstellung im Vergleich zu zwei Kontrollprobanden verändert wäre. Dazu fertigte er mit Hilfe von Verwandten der Patienten eine Skizze von deren Wohnung an. Die Patienten sollten sich dann vorstellen, in ihrer Wohnung zu sein und in eine bestimmte Richtung zu blicken; dabei sollten sie beschreiben, welche Gegenstände bzw. Gegebenheiten ihnen einfielen. Dieses Prozedere wurde mit drei weiteren mentalen Blickrichtungen wiederholt. In einer zweiten Aufgabe wurde den Neglect-Patienten eine Umrisskarte von Deutschland gezeigt, auf der lediglich die Stadt

Kassel als relativ zentraler Ort eingezeichnet war. Nun sollten sie sich vorstellen, von Kassel aus in eine bestimmte Richtung zu blicken und zu beschreiben, welche Städte ihnen einfielen. Auch diese Aufgabe wurde mit drei weiteren mentalen Blickrichtungen wiederholt. In beiden Aufgaben wurde den Patienten explizit gesagt, auch zu nennen, was in der Vorstellung hinter ihnen lag. Sowohl Patienten als auch Kontrollprobanden beachteten bei der Vorstellung ihrer Wohnung den vorderen rechten Quadranten stärker als den vorderen linken, und den hinteren linken stärker als den hinteren rechten Quadranten. Außerdem war ihnen der vordere Raum stärker präsent als der rückwärtige. Bei der Deutschlandkarte hingegen wurden die beiden vorderen Quadranten gleich stark beachtet, während im hinteren Raum dem rechten mehr Aufmerksamkeit zuteil wurde als dem linken Quadranten. Auch bei der Vorstellung der Wohnung fand der vordere Raum stärkere Beachtung als der rückwärtige. Im Unterschied zur Patientengruppe schenken die beiden Kontrollprobanden dem rückwärtigen Raum hier mehr Aufmerksamkeit als dem vorderen. Zusammengefasst stützen die Ergebnisse in beiden Aufgaben die Rotationshypothese. Da es aber über alle Versuchspersonen dieser Studie eine deutliche Variabilität gab, wird vermutet, dass diese auf unterschiedliche Strategien bei der Aufgabenbearbeitung zurückgeht. Das Argument zu Gunsten der Rotationshypothese hat deshalb nach Dillmann (1997) ein schwaches Gewicht und schließt die Translationshypothese nicht aus.

Karnath (1997) ließ seine Probanden in einem abgedunkelten Raum nach dem Punkt eines Laserpointers suchen, der sich „irgendwo“ befinden sollte. Die Teilnehmer waren allerdings falsch informiert worden, denn der besagte Punkt wurde nur kurz vor Beginn der Suche einmal gezeigt, war aber während der Ausführung der Aufgabe nicht zu sehen. Kopf- und Rumpforientierung der Probanden waren nach geradeaus gerichtet und fixiert worden. Nach dem Beginn der Suche wurden die Augenbewegungen der Versuchspersonen für 30 bis 40 Sekunden aufgezeichnet. Die ganze Prozedur wurde dreimal wiederholt. Die Probanden setzten sich aus einer Experimentalgruppe mit sieben rechtshemisphäriell geschädigten Patienten mit Neglect (RHG N+) sowie zwei Kontrollgruppen zusammen, bestehend aus fünf rechtshemisphäriell Geschädigten ohne Neglect (RHG N-) sowie fünf neurologischen Patienten ohne Hirnschädigung (NP). Die Verteilung der visuellen Raumexploration nahm bei beiden Kontrollgruppen eine symmetrische glockenähnliche Form an, die sich um die Mittellinie anordnete – es wurde

also am häufigsten nahe der Mitte gesucht. Auch bei der Gruppe der Neglect-Patienten zeigte das Muster der visuellen Exploration eine Glockenform, war aber im Mittel 15 Grad nach rechts verschoben. Dieses Ergebnis deutete Karnath (1997) als Argument gegen Kinsbournes Vektorenmodell der Aufmerksamkeit (Kinsbourne, 1993); danach hätten bei den Neglect-Patienten die Explorationen ipsilateral zur Hirnschädigung graduell zunehmen müssen, was nicht der Fall war. In der gleichen Arbeit beschäftigte sich Karnath (1997) mit dem Problem Rotation vs. Translation. Drei Patientengruppen wurden verglichen: RHG N+ (n=4), RHG N- (n=5) und NP (n=5). In einem völlig dunklen Raum sollten sie die Position einer roten LED durch verbales Dirigieren so ausrichten, dass diese geradeaus vor ihnen war. Die Diode befand sich achtmal in einer Entfernung von 120 cm und achtmal in einer Entfernung von 300 cm, jeweils in einer horizontalen Achse parallel zum Körper. Die Ergebnisse in den Kontrollgruppen RHG N- und NP zeigten eine Ausrichtung der LED nahe der objektiven Mitte; die Neglect-Patienten hingegen dirigierten die LED signifikant nach rechts von der objektiven Mitte. Eine Wiederholung dieses Versuchs in verschiedenen horizontalen Ebenen (auf Augenhöhe, 30 cm darüber und 30 cm darunter) erbrachte analoge Ergebnisse. Wenn man nun die Punkte, welche die Neglect-Patienten als „Geradeaus“ bezeichnet hatten, zu einer Achse verbindet und diese Achse in Richtung Körper der Patienten verlängert, dann trifft die Verlängerung an oder nahe der Körpermitte auf deren Körper. Dies wird von Karnath (1997) als Beleg für die Gültigkeit der Rotationshypothese im vorderen Raum gedeutet. Wäre sie nicht gültig, dann müsste die oben beschriebene Verlängerung der Achse signifikant rechts neben der Körpermitte auftreffen. Dies war im vorliegenden Versuch jedoch nicht der Fall. Für den rückwärtigen Raum legt sich Karnath (1997, S. 1416) allerdings nicht fest, hier hält er sowohl die Translations- als auch die Rotationshypothese für denkbar. Er bemängelte zudem an der Arbeit von Vallar et al. (1995) die fehlende Kontrolle der Blickrichtung, weil diese nach Lewald und Ehrenstein (1996) einen Einfluss auf die Lokalisation auditiver Reize hat.

Aus diesem Grund replizierte Ruppel (1998) die Studie von Vallar et al. (1995) mit gesunden Versuchspersonen und verglich ihre Daten mit denen der Kontrollgruppe von Vallar und Mitarbeitern. Im Unterschied zur Originalarbeit kontrollierte sie nun auch die Blickrichtung. Ruppel (1998) zeigte, dass sich bei ihren Probanden die Einschätzung der subjektiven Mitte im vorderen wie hinteren Halbraum kaum von der objekti-

ven Mitte unterschied. Somit differierten ihre Probanden mit denen der Kontrollgruppe in der Studie von Vallar et al. (1995), welche im hinteren Halbraum insgesamt nach links abwichen.

Richard et al. (2004) bauten einen Teller, der mittig von einer Linie aus roten LEDs durchzogen war. Dieser Teller war zwar an einer Haltevorrichtung fixiert, ließ sich jedoch zum einen parallel zur horizontalen Körperachse der Versuchspersonen verschieben, zum anderen um die vertikale Körperachse drehen. Sechs rechtshemisphäriell geschädigte Neglect-Patienten (RHG N+), sechs Patienten mit gleichartig lateralisierter Hirnschädigung ohne Neglect (RHG N-) sowie sechs altersentsprechende gesunde Personen (NK) nahmen an der Studie teil. Es war ihre Aufgabe, in absoluter Dunkelheit den Teller so auszurichten, dass sich die mittige leuchtende Linie des Tellers genau in der sagittalen Achse befand – vom Bauchnabel ausgehend nach gradeaus gerichtet. Dabei wurde die Ausgangsposition des Tellers variiert: Er konnte sich in Bezug auf die Körpermitte 15 Grad weiter links, 15 Grad weiter rechts sowie genau davor befinden – so wurden initial hinsichtlich einer Translation verschiedene Varianten vorgegeben. Außerdem wurde die Ausrichtung der Mittelachse des Tellers variiert, die jeweils 45 Grad nach links, 45 Grad nach rechts sowie genau gradeaus gerichtet sein konnte, was eine initiale Rotation vorgeben konnte. Durch die Kombination dieser Möglichkeiten ergaben sich neun Startpositionen, und jede Startposition wurde zweimal vorgegeben. Im Gegensatz zu den beiden anderen Gruppen fand sich bei der Gruppe der Neglect-Patienten im Mittel eine Translation von 5,4 cm bzw. 6,2 Grad nach rechts. Die initiale Translation hatte bei keiner Gruppe einen signifikanten Einfluss. Im Gegensatz dazu war eine Rotation bei den Neglect-Patienten geringfügig und erreichte in keiner Gruppe Signifikanzniveau. Die Autoren bestätigten somit die Abweichung des subjektiven Geradeaus. Darüber hinaus verhielten sich vier Neglect-Patienten im Einklang mit der Translationshypothese und nur einer im Einklang mit der Rotationshypothese. Dies werten Richard und Mitarbeiter (2004) als leichten Beleg für die Translationshypothese.

Kerkhoff et al. (2006) berichten über einen 33jährigen Patienten, der sieben Jahre zuvor bei einem Autounfall ein Schädel-Hirn-Trauma erlitten hatte, in dessen Folge sich links temporo-parieto-okzipital ein subdurales Hämatom gebildet hatte. Zusätzlich kam es

einen Tag nach Ausräumung des Hämatoms zu einem Herzstillstand mit der Folge einer hypoxischen Hirnschädigung. Bei der Untersuchung zeigte er einen Neglect nach rechts. Diesem Patienten sowie sechs gesunden Kontrollprobanden wurden zunächst im vorderen Halbraum Klangreize eingespielt, welche durch interaurale Zeitdifferenz virtuell in 5 Grad-Abständen räumlich variiert werden konnten. Dadurch ergaben sich 37 virtuelle Klangpositionen, die jeweils zweimal dargeboten wurden – insgesamt gab es also 74 Trials im vorderen Halbraum. Aufgabe der Probanden war, zu sagen, ob sie die Reize mittig oder nicht mittig lokalisierten; falls nicht, wurde der Reiz so lange nach den Angaben der Probanden verändert, bis er mittig wahrgenommen wurde. Auf diese Weise wurden 74 (bei Gesunden sogar 111) Schätzungen der subjektiven Mitte gewonnen. Analog wurde mit dem hinteren Halbraum verfahren. Zusätzlich wurden Kopfhaltung und Blick kontrolliert, weil die Probanden an einer Kopfstütze am Tübinger Perimeter saßen und einen roten Punkt fixieren sollten. 10 Monate später wurde der Versuch mit einer anderen Methode wiederholt: Hier wurde den Probanden von vornherein mitgeteilt, dass der Reiz im vorderen Halbraum eingespielt werden würde. Nahmen sie den Reiz im hinteren Halbraum wahr, sollten sie das sofort sagen; der Durchgang wurde dann annulliert und später wiederholt. Wie bei der ersten Untersuchungsserie 10 Monate zuvor sollten sie wieder angeben, ob sie den Reiz mittig oder nicht wahrnahmen; danach wurden die Reize, angefangen bei 45 Grad, in 5 Grad-Schritten so lange in Richtung Mitte verlagert, bis die Probanden den Reiz mittig wahrnahmen. Analog wurde mit dem rückwärtigen Halbraum verfahren. Im Unterschied zum ersten Versuch wurde den Probanden also der Halbraum genannt, und die Reize wurden nur in einem Bereich von -45 bis +45 Grad dargeboten, also näher an der Mitte. Damit sollte der Fehler kontrolliert werden, dass bei Versuchen zur auditiven Lokalisation in ca. 5 bis 10% der Fälle ein Reiz im entgegengesetzten Halbraum wahrgenommen wird (vgl. (Ruppel, 1998; Wightman und Kistler, 1989a; Wightman und Kistler, 1989b)). Beim Neglect-Patienten zeigte sich mit der ersten Methode im vorderen Halbraum eine Abweichung der subjektiven Mitte von 22,6 Grad nach links, im hinteren Halbraum von 14,5 Grad nach rechts. Die zweite Methode erbrachte ein analoges Ergebnis. Die Autoren stellten fest, dass sich der Patient gemäß der Rotationshypothese verhalten hatte, da die gesunden Kontrollprobanden nur eine geringe signifikante Abweichung von der Mitte zeigten und Blick und Kopfhaltung als Einflussmöglichkeiten

ausscheiden. Kerkhoff et al. (2006) kritisieren an der Studie von Vallar et al. (1995), dass man anhand der veröffentlichten Daten nicht erkennen kann, ob einzelne Patienten auch Rotation zeigen, auch wenn in der Gruppe im Mittel Translation vorherrscht. Ansonsten wird die geringere mittlere Abweichung bzw. höhere Varianz der Schätzungen im hinteren im Vergleich zum vorderen Halbraum diskutiert; eine mögliche Erklärung dafür ist die zusätzliche optische Kontrolle, die eine höhere Sensitivität und räumliche Auflösung des auditiven Systems im vorderen Halbraum mit sich bringt.

2.4 Haut und Tastsinn

2.4.1 Funktion und Beschaffenheit der Haut

Die Haut ist das größte Sinnesorgan des Menschen. Ihre Fläche hat eine Ausdehnung von etwa 2 m² (Lüllmann-Rauch, 2004; Zimmermann, 2005). Anatomisch lässt sich die mit Haaren, Talg- und Schweißdrüsen durchsetzte „Felderhaut“ von der „Leistenhaut“ unterscheiden. Letzterer fehlen Talgdrüsen und Haare, sie weist jedoch eine Oberflächenstruktur aus Bögen, Schleifen und Wirbeln auf. Diese Struktur der Leistenhaut ist individuell und genetisch festgelegt. Leistenhaut findet sich z.B. an den Fingerspitzen. Der größte Teil unseres Körpers ist jedoch von Felderhaut bedeckt.

Die Hautdecke wird in die „Kutis“ und die „Subkutis“ unterteilt. Bei der Kutis handelt es sich um die äußerste Hautschicht. An ihrer Oberfläche findet sich mit einer Stärke von 0,05-0,1 mm die Epidermis, darunter die Dermis (siehe Abbildung 5). Eine wichtige Aufgabe der Epidermis ist es, nach außen durch eine mechanisch widerstandsfähige und fast wasserundurchdringliche Schicht den Körper vor Krankheitserregern und Verletzungen zu schützen. Gleichzeitig verhindert sie ein Austrocknen des Körpers, denn sie stellt auch für im Körper gelöstes Wasser eine undurchdringliche Barriere dar. Im Gegensatz zur Epidermis ist die Dermis von Blutgefäßen durchsetzt und versorgt damit auch die über ihr liegende, äußerste Hautschicht. Die darunter liegende Schicht, die Subkutis, ist wiederum reich an Fettgewebe und zudem von Nerven und Blutgefäßen durchsetzt. Damit dient sie als Wärmeisolator und Energiespeicher. Außerdem hat die Subkutis die Funktion, eine mehr oder minder starke Verschieblichkeit gegenüber ihrem Untergrund zuzulassen; diese ist etwa an der Fußsohle geringer als an der Bauchdecke.

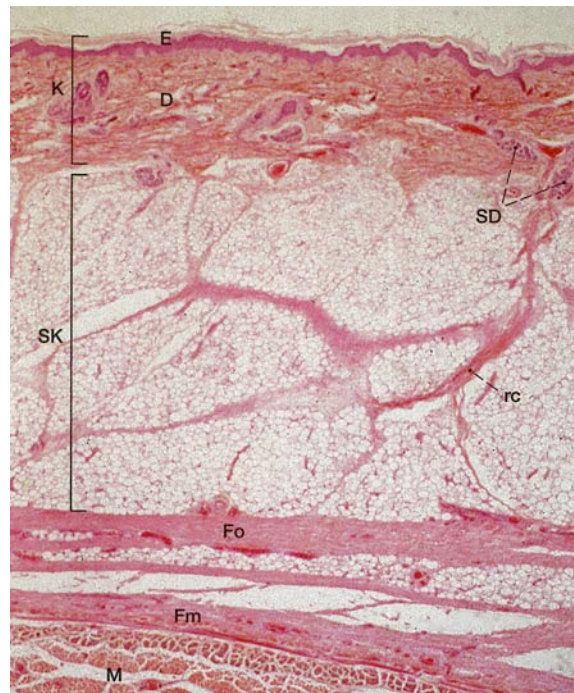


Abbildung 5 Die Haut eines Neugeborenen. Kutis (K) mit Epidermis (E) und Dermis (D) sowie Subkutis (SK) sind gut erkennbar. (Aus Lüllmann-Rauch, 2004, S. 776).

Neben ihrer Schutzfunktion stellt die Haut ein Sinnesorgan dar; sie ist Teil des somato-viszeralen Nervensystems. Durch unterschiedliche Rezeptoren in der Haut sind wir in der Lage, verschiedene Sinnesqualitäten zu erkennen: Druck und Berührung (Tastsinn), Wärme und Kälte (Thermorezeption), Schmerz (Nozizeption), Zustandsänderungen innerer Organe (Viszerorezeption) sowie die räumliche Lage der Extremitäten (Propriozeption). Für die vorliegende Arbeit interessiert nur der Tastsinn.

Nervenfasern mit Myelinscheide werden als A-Fasern bezeichnet, nicht-myelinisierte als C-Fasern (Zimmermann, 2005); A-Fasern lassen sich unterteilen in A β (Mechanosensoren) und A δ (Mechanosensoren, Kaltsensoren, mechanosensitive Nozizeptoren). In der Leistenhaut von Säugern wurden vier Typen von Mechanosensoren mit A β -Afferenzen gefunden: SA I-, SA II-, RA- und PC-Sensoren. Die Abkürzung „SA“ steht für „slowly adapting“, es handelt sich um Rezeptoren, die sich nur langsam an veränderte Reizbedingungen anpassen und länger andauernd Aktionspotentiale erzeugen; sie finden sich z.B. in der Fußsohle. Demgegenüber sind „RA“-Rezeptoren solche, die nach einer Veränderung schnell wieder zum Ausgangspotential zurückkehren, selbst wenn der veränderte Zustand eine Weile andauert („rapidly adapting“ – schnell anpassend). RA-Rezeptoren reagieren auf

bewegte mechanische Hautreize. „PC“ schließlich steht für „Pacinian Corpuscle“ – Vater-Pacini-Körperchen; diese sprechen stark auf Vibrationsreize an.

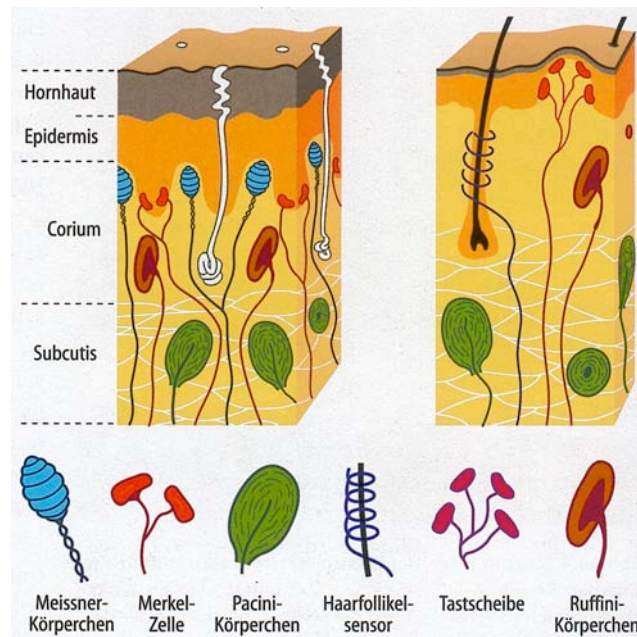


Abbildung 6 Unbehaarte (links) und behaarte Haut. Erklärung siehe Text. (Aus Zimmermann, 2005, S. 300).

In der behaarten Felderhaut finden sich an den Haarwurzeln berührungsempfindliche Sensoren, die auch zu den RA-Rezeptoren zählen, es fehlen jedoch Meissner-Körperchen. Sowohl in der behaarten als auch in der unbehaarten Haut kommen zudem auch freie Nervenendigungen vor. Abbildung 6 verdeutlicht die anatomische Struktur der zwei verschiedenen Hauttypen.

Wie werden nun Berührungsreize von der Haut kodiert? Auf die Reizamplitude, also die Intensität eines Reizes, sprechen SA-Rezeptoren besonders an. Nimmt die Intensität zu, erhöht sich die Entladungsrate der SA-Sensoren in Form einer Potenzfunktion. Zusätzlich gibt diese Gruppe von Rezeptoren auch Informationen über die Dauer eines Reizes weiter.

Weil bei Meissner-Körperchen und Haarfollikelsensoren die Entladungsfrequenzen mit der Geschwindigkeit der Reizbewegungen zunehmen, kann man sie als Geschwindigkeitssensoren bezeichnen. Hört die Bewegung auf und der Reiz wandelt sich zu einem

unbeweglichen, andauernden Druckreiz, adaptieren diese Sensoren spätestens nach 500 ms (Zimmermann, 2005).

Ändert sich bei einem mechanischen Hautreiz die Bewegungsgeschwindigkeit, sprechen darauf die Pacini-Körperchen an, die deshalb auch als Beschleunigungssensoren bezeichnet werden. Zusätzlich sind ihre Aktionspotentiale auch durch Vibrationsreize erregbar.

Komplexe Vorgänge wie das Ertasten einer Oberfläche mit den Fingerspitzen erzeugen Erregungen bei allen vier Arten von Mechanosensoren – Intensität, Dauer, Geschwindigkeit und Beschleunigung. Tabelle 1 verschafft einen Überblick über die verschiedenen Arten von Mechanorezeptoren in der Haut.

Tabelle 1 Die Mechanorezeptoren der Haut und ihre Aufgaben.

Qualität	Langsam adaptierend (SA)		Schnell adaptierend (RA)	Pacini-Körperchen (PC)
Unterteilung	SA I	SA II		
Bezeichnung	Merkel-Zelle	Ruffini-Körperchen	Meissner-Körperchen & Haarfollikel	Vater-Pacini-Körperchen
Rezeptor für	Intensität des Drucks	Intensität der Dehnung	Geschwindigkeit der Deformation	Beschleunigung, Vibration

Die Innervationsdichte spielt eine Rolle für die Genauigkeit, mit welcher der Tastsinn räumliche Reize erfassen kann. Ein Hautareal, durch das eine afferente Faser erregt werden kann, wird als „rezeptives Feld“ bezeichnet. In der unbehaarten Haut ist die Innervationsdichte höher und rezeptive Felder kleiner. An den Fingern werden zwei bis zehn benachbarte Meissner-Körperchen von einer Nervenfasern versorgt. Im Gegensatz dazu sind die rezeptiven Felder in der behaarten Haut größer, so dass hier z.B. 30 Haarfollikel von einer Faser innerviert werden (Zimmermann, 2005). Wie groß die räumliche Auflösung in einer Region ist, lässt sich z.B. durch die „Zwei-Punkt-Schwelle“ bestimmen: Es handelt sich dabei um die Entfernung, bei der eine Versuchsperson zwei simultane Reize als unterschiedlich wahrnehmen kann.

Davey et al. (2001) prüften bei gesunden Probanden die zwei-Punkt-Schwelle mit Hilfe eines Tastzirkels. Im Dermatom Th 8, welches eine knappe Handbreite über dem

Bauchnabel liegt, wurde eine zwei-Punkt-Schwelle von etwa 35 mm gemessen. Mit 31 bis 35 mm sehr ähnlich sind die zwei-Punkt-Schwellen, die Schiavetto et al. (1993) am Rücken von gesunden jungen Probanden bestimmt hatten. Auch wenn sich in den beiden Studien die Untersuchungsmethode und die Kriterien zur Schwellenbestimmung geringfügig unterscheiden, so hält der Verfasser die gefundenen Werte insgesamt für vergleichbar.

Von Davey et al. (2001) wurde zusätzlich die Wahrnehmungsschwelle für elektrische Hautreize ermittelt. Diese hatten eine Frequenz von 3 Hz und eine Impulsbreite von 0,5 Millisekunden. Die Schwelle lag in der betreffenden Region bei 2 Milliampère. Davey und Mitarbeiter (2001) fanden keine Korrelation zwischen der zwei-Punkt-Schwelle und der Wahrnehmungsschwelle für einzeln dargebotene elektrische Reize. Sie führen das auf unterschiedliche Verarbeitungsmechanismen der geprüften Stimulationsmöglichkeiten zurück: Die Wahrnehmungsschwelle sei wahrscheinlich vorwiegend von der Dicke der Haut sowie vom Typ der afferenten Fasern abhängig, die das betreffende Gebiet innervieren. Die zwei-Punkt-Schwelle wiederum würde u.a. von zentralen Verarbeitungsmechanismen wie lateraler Hemmung bestimmt (Davey et al., 2001, S. 129). Die Ansicht, dass der Wahrnehmung einzeln applizierter Hautreize andere Verarbeitungsmechanismen zu Grunde liegen als der simultanen Verarbeitung zweier Reize wird auch von Martikainen und Pertovaara (2002) geteilt: Sie applizierten als Tastreize kleine Messingscheiben, sowohl einzeln als auch simultan. Zusätzlich wurden diese Scheiben manchmal auch tiefgekühlt aufgebracht, um kurzzeitig schmerzhaft Reize zu erzeugen. Ihre gesunden Versuchspersonen konnten die Reize einzeln gleich gut lokalisieren, unabhängig davon, ob sie schmerzhaft waren oder nicht. Die zwei-Punkt-Schwelle schmerzhafter Reize war allerdings erheblich höher als die von nicht-schmerzhafter Berührung. Die beiden Autoren erklären letzteres mit der größeren Präzision lateraler Hemmung bei Mechanorezeptoren im Vergleich zu Nozizeptoren.

2.4.2 Somatoviszzerale Afferenz: Von der Haut zum Gehirn

Die Afferenzen der Haut treten durch die Hinterwurzeln in das Rückenmark ein. Davon ausgenommen ist der Bereich des Kopfes, der über das trigeminoafferente System das Gehirn erreicht. Die Nervenstränge teilen sich vorab in mehrere Äste; dadurch kommt es zu einer überlappenden Innervierung benachbarter Hautareale. Dies hat den Effekt,

dass bei Läsionen einer Hinterwurzel kein unversorgtes, sondern nur ein schlechter versorgtes Hautareal zurückbleibt. Auf Höhe des Eintritts in den Rückenmarkskanal bestehen Verschaltungen zu Motoneuronen und Sympathikusneuronen. Zum Gehirn nehmen die somatoviszeralen Afferenzen zwei Routen: Das Hinterstrangsystem, auch lemniskales System genannt, und das Vorderseitenstrang- oder anterolaterale System (siehe Abbildung 7).

Die Informationen der Mechanorezeptoren werden ipsilateral über das Hinterstrangsystem zum Gehirn geleitet. In der Medulla Oblongata kommt es zur synaptischen Umschaltung auf die zweiten Neurone. Sie kreuzen dort nach kontralateral und verlaufen weiter zum Nucleus ventralis posterolateralis des Thalamus. Dort befindet sich die zweite synaptische Schnittstelle. Die Afferenzen der Mechanorezeptoren ziehen weiter über die Capsula interna und die Corona radiata zum primären sensorischen Rindengebiet des Kortex (S I) im Gyrus postcentralis. Die Somatotopie, also die systematische Abbildung der sensorischen Verhältnisse aus der Körperperipherie, ist in den primären somatosensorischen Assoziationsgebieten stark ausgeprägt. Dies ist in den sekundären sensorischen Assoziationsgebieten (S II) weniger der Fall; hier finden sich neben bilateralen Afferenzen auch Verbindungen zu sensorischen Arealen anderer Sinnesgebiete (Kugler, 2004).

Zum Vorderseitenstrang ziehen vor allem nozi- und thermosensitive Afferenzen, in geringem Maße wird hierüber auch Information von wenig diskriminierenden Mechanosensoren übermittelt. Dies ist womöglich der Grund dafür, dass nach Durchtrennung des Hinterstrangs ein Teil der Mechanosensorik erhalten bleibt. Die meisten Neurone des Vorderseitenstrangs sind, anders als die des Hinterstrangsystems, allerdings multirezeptiv – sie übermitteln sowohl Temperatur- als auch Schmerz- und Berührungsinformation. Wie diese vermengte Information im Gehirn wieder dechiffriert und den einzelnen somatoviszeralen Qualitäten zugeschrieben wird, ist bislang noch unklar (Zimmermann, 2005). Die Afferenzen des Vorderseitenstrangs wechseln schon im Rückenmark nach kontralateral; sie ziehen weiter zum Hirnstamm und zum medialen Thalamus, von wo aus Verbindungen zum Hypothalamus und zum limbischen System bestehen. Eine deutliche Projektion zum Neokortex existiert nicht.

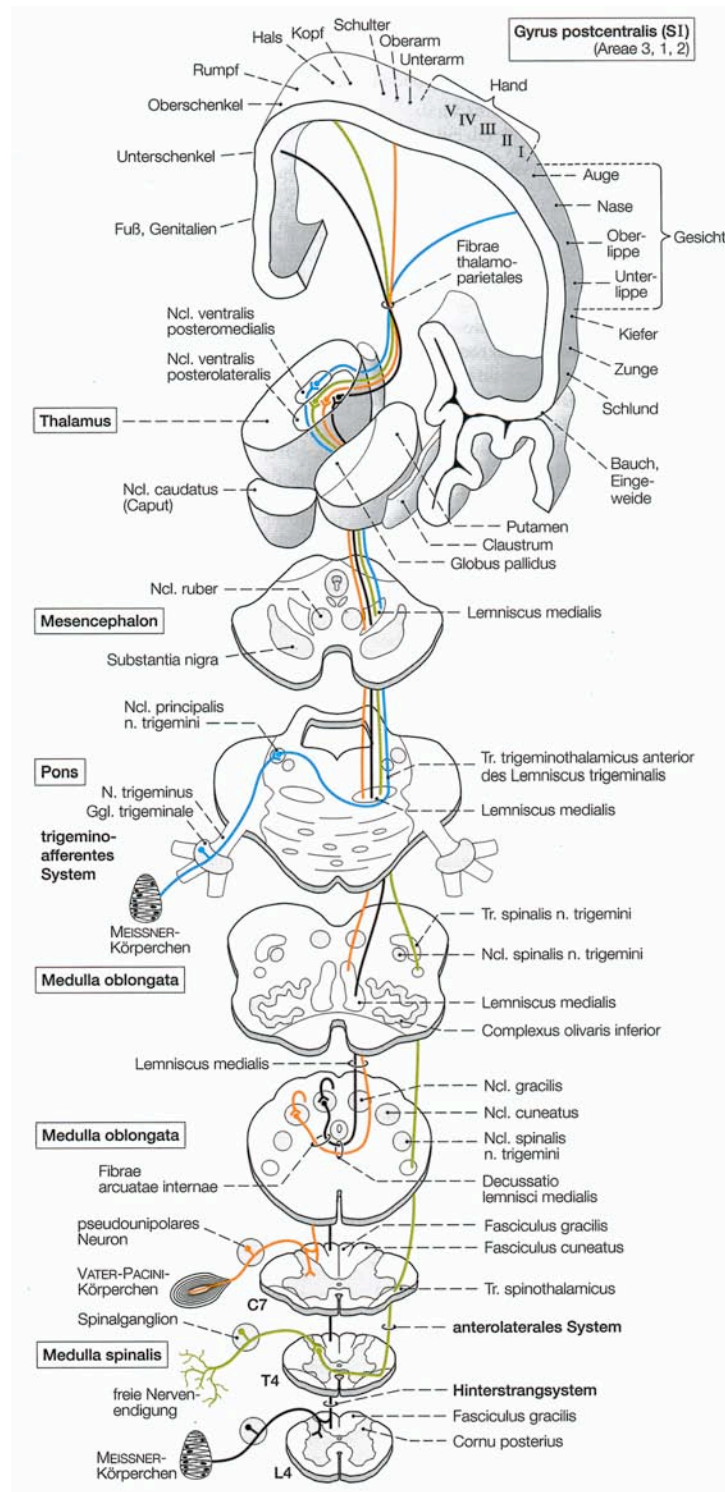


Abbildung 7 Überblick über die Afferenzen der Mechanorezeptoren. (Aus Kugler, 2004, S. 534).

2.5 Hypothesen

In der Literatur gibt es keine vergleichbare Arbeit, die sich mit der genauen Positionsschätzung taktil-sensibler Reize durch Neglect-Patienten beschäftigt hat. Somit lassen sich empirisch keine Hypothesen begründen, wie die Neglect-Patienten die taktilen Reize wahrnehmen werden. Verschiedene Szenarien sind denkbar:

Hypothese 1: Wie in vielen Arbeiten in der visuellen Modalität gezeigt (vgl. Kapitel 2.2 und 2.3), ist bei Neglect-Patienten die subjektiv wahrgenommene Körpermitte im vorderen Halbraum nach rechts verschoben. Objektiv mittig präsentierte Reize sowie solche in einem Bereich bis zu 20 Grad rechts davon werden von Neglect-Patienten als linksseitig wahrgenommen (siehe Abbildung 8). Die geforderte Zeigebewegung wird in diesem Bereich links von der objektiven Position des jeweiligen Reizes ausgeführt. Da dieses Verhalten sowohl nach der Translations- als auch nach der Rotationshypothese erwartet wird, ist eine Differenzierung zwischen beiden Hypothesen im vorderen Halbraum nicht möglich.

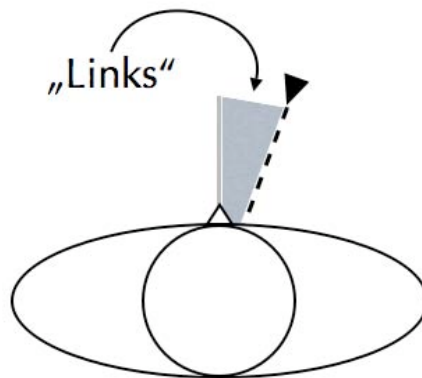


Abbildung 8 Darstellung der taktilen Wahrnehmung der Neglect-Patienten im vorderen Halbraum gemäß der Hypothese 1. Gezeigt wird ein Proband aus der Vogelperspektive: Die Ellipse zeigt die Schultern, der Kreis den Kopf mit Nase. Die subjektive Mitte (gestrichelte Linie, mit dickem Pfeilkopf gekennzeichnet) liegt rechts von der objektiven Mitte. Reize im Bereich zwischen subjektiver und objektiver Mitte (grauer Keil) werden tendenziell als linksseitig wahrgenommen.

Hypothese 2a: Im hinteren Halbraum ist die subjektive Körpermitte von Neglect-Patienten entsprechend der Translationshypothese gleichfalls nach rechts verschoben. Analog zum vorderen Halbraum lokalisiert diese Gruppe im Vergleich zu den Hirngeschädigten ohne Neglect und den gesunden Kontrollprobanden objektiv mittig oder

nahe der Mitte präsentierte Reize links von ihrer dargebotenen Position (siehe Abbildung 9).

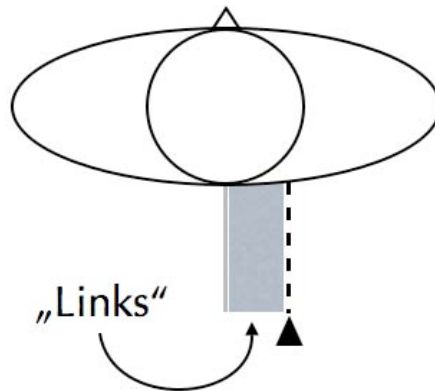


Abbildung 9 Verhalten der Patienten gemäß Hypothese 2a: Die subjektiv wahrgenommene Mitte weicht im hinteren Halbraum nach rechts ab. Reize im Raum zwischen subjektiver und objektiver Mitte werden tendenziell linksseitig wahrgenommen.

Hypothese 2b: Im hinteren Halbraum ist die subjektive Körpermitte von Neglect-Patienten entsprechend der Rotationshypothese nach links verschoben. Im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen lokalisieren die Neglect-Patienten objektiv mittig oder beinahe mittig präsentierte Reize rechts von ihrer dargebotenen Position (siehe Abbildung 10).

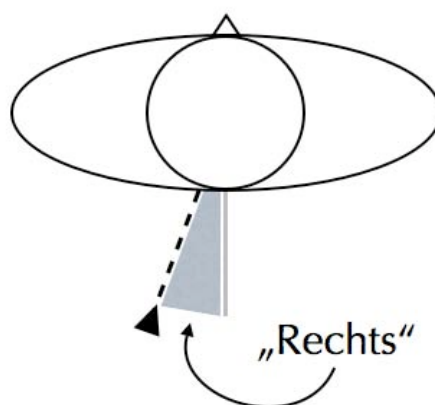


Abbildung 10 Verhalten der Neglect-Patienten im hinteren Halbraum gemäß Hypothese 2b. Die subjektive Mitte weicht nach links ab. Reize im Raum zwischen subjektiver und objektiver Mitte werden tendenziell rechtsseitig wahrgenommen.

3 Methode

3.1 Beschreibung der Versuchsanordnung

Die avisierte Untersuchungsmethode – elektrische Reize auf der Haut – erforderte wegen der potentiellen Gefahren besondere Umsicht bei der Auswahl der verwendeten Geräte. Zur Erzeugung der elektrischen Reize wurde deshalb der Zweifach-Konstantstrom-Stimulator SKS-SEP-2 der Firma Lucius und Baer (Geretsried) angeschafft (siehe Abbildung 11).



Abbildung 11 Der verwendete Zweifach-Konstantstrom-Stimulator.

Dieses Gerät verfügt über die notwendigen technischen Eigenschaften, um die erforderlichen Reize zu erzeugen. Darüber hinaus ist es bauartbedingt so konstruiert, dass die vom Gesetz geforderten Sicherheitsstandards eingehalten werden, weshalb es über eine Zulassung nach dem Medizinproduktegesetz (MPG) und der Medizinprodukteverordnung (MPV) verfügt. Beispielsweise wird konstruktionsbedingt die Weiterleitung von Spannungsschwankungen aus dem Stromnetz bis zu einer Höhe von 4000 Volt verhindert. Leider besitzt der Konstantstromstimulator nur zwei Reizausgänge für Elektroden;

bei der Untersuchung sollten jedoch 15 Elektroden zum Einsatz kommen, die sich einzeln ansteuern lassen mussten. Dies wiederum sollte von der Versuchsperson nicht erkennbar sein, und die fehlerfreie Ansteuerung der Elektroden sowie die Aufzeichnung der Reaktionen in jeweils 150 Trials sollten den Versuchsleiter nicht überfordern. Aus diesem Grund schied eine mechanische Lösung zur Umschaltung der elektrischen Reize aus. Es lag nahe, ein Gerät zu bauen, welches im Sinne einer großen Weiche den Reizstrom auf eine von 15 Elektroden (Abbildung 18) verteilen kann. Dieser Vorgang sollte idealerweise von einem Computer gesteuert werden können. Von der Werkstatt der Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft der Universität Bielefeld wurde deshalb eine Relaisstation gebaut, die diesen Anforderungen entsprach (siehe Abbildung 12). Mit Hilfe der Relaisstation, eines herkömmlichen IBM-kompatiblen Personalcomputers und der Software ERTS (Behringer, 1993) gelang es, jede Elektrode 10-mal unter Experimentalbedingungen nach einer vorab programmierten pseudorandomisierten Reihenfolge vollautomatisch anzusteuern.



Abbildung 12 Die Relaisstation diente zur Verteilung des vom Konstantstrom-Stimulator erzeugten Reizstroms auf eine von fünfzehn Elektroden.

Ein weiterer Grundgedanke war, die Reaktionen der Versuchspersonen möglichst detailliert zu erfassen. Deshalb wurde z.B. die Idee verworfen, lediglich aufzuzeichnen, ob die Reize rechts- oder linksseitig wahrgenommen worden waren. Vielmehr sollte möglichst genau protokolliert werden, an welcher Position auf der horizontalen Ebene des Rumpfes das Kribbeln gespürt wurde. Deshalb konstruierte die Werkstatt der Fakultät zwei Tastaturen mit jeweils 15 Tasten. Die Anordnung der Tasten war halbkreisförmig, in der einen Version konvex, in der anderen konkav, und sollte durch diese Form die natürliche Rundung des Rumpfes abbilden (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14). Diese Tastatur wurde wiederum mit einer dazwischen geschalteten Box des ERTS-Programms, der so genannten Tastaturlogik (siehe Abbildung 15), ebenfalls an den oben erwähnten Rechner angeschlossen. Jeder Tastendruck wurde so durch ERTS aufgezeichnet und digital gespeichert.

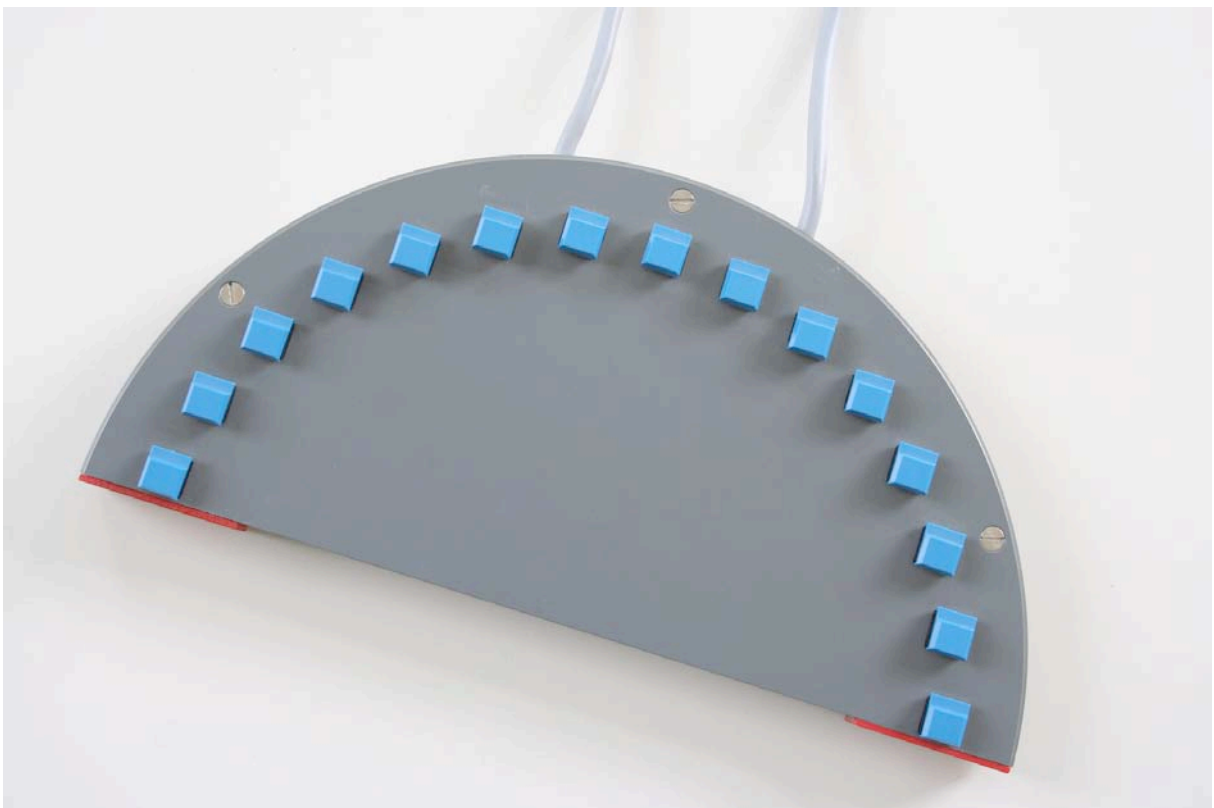


Abbildung 13 Auf der selbst konstruierten Tastatur sollten die Probanden durch Drücken der entsprechenden Taste die Position der aktuell stimulierten Elektrode einschätzen. Im Bild die Version zur Prüfung des vorderen Halbraums.

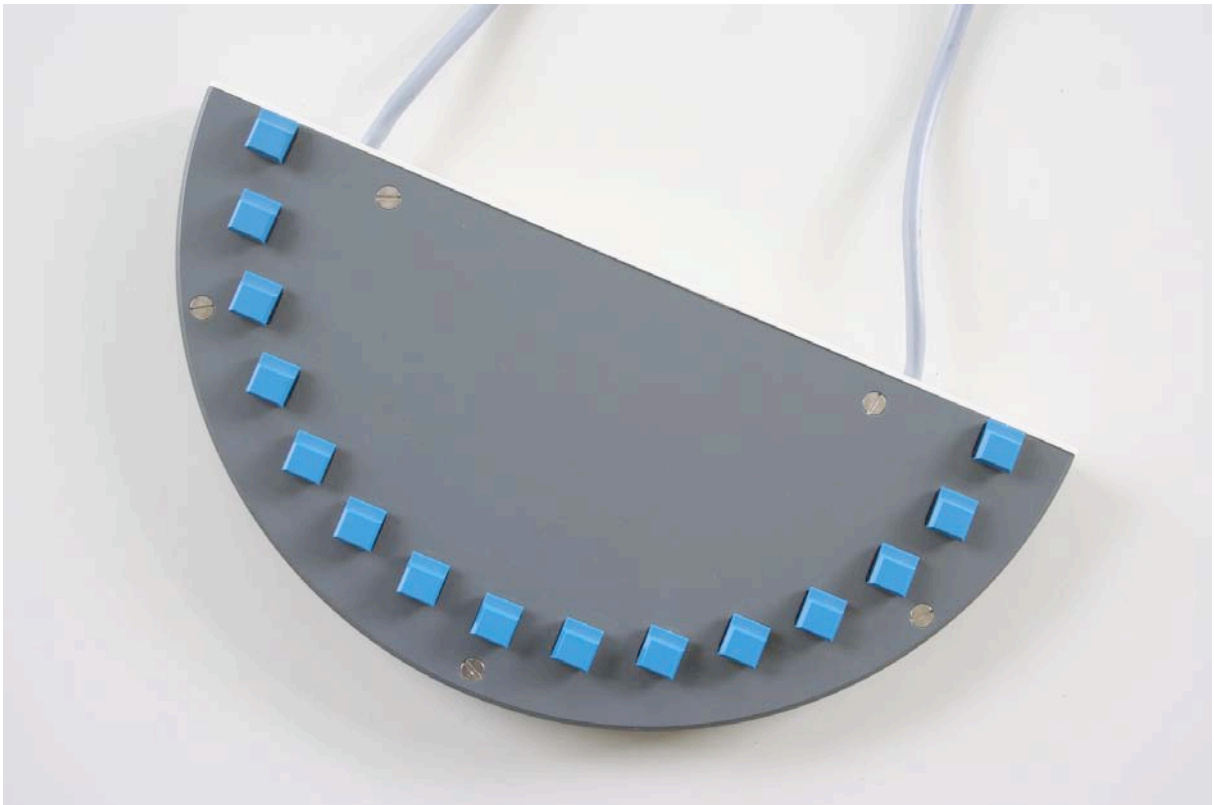


Abbildung 14 Analog die Tastatur, die bei der Prüfung des rückwärtigen Halbraums eingesetzt wurde.



Abbildung 15 Verbindungselement mit Übersetzungsfunktion zwischen Computer und Probandentastatur: Die externe Tastaturlogik des Programms ERTS.

Durch den Anschluss des Stimulators an ein anderes elektrisch betriebenes Gerät stellte sich allerdings das Problem, dass auch dieses die technischen Voraussetzungen erfüllen muss, die für den Einsatz an Patienten gesetzlich gefordert werden. Deshalb wurden alle eingesetzten Geräte einem Prüfsingenieur der TÜV Rheinland Product Safety mit der Frage vorgestellt, ob der Gerätepark als Ganzes und die Relaisstation im Speziellen sicher am Patienten eingesetzt werden können und die gesetzlichen Vorschriften erfüllt werden. Die dabei gefundenen Mängel wurden behoben und die Anlage nochmals zur Prüfung vorgestellt. Hierbei wurden Gehäuseableitströme festgestellt, die im Falle einer fehlenden Schutzkontaktverbindung bei Berührung eines metallenen Gehäuses zu einem kleinen, ungefährlichen, aber unerwarteten Stromschlag hätten führen können. Dieses Problem wurde mit der zusätzlichen Anschaffung eines Trenntransformators behoben, über den nun alle elektrischen Geräte an das Stromnetz angeschlossen wurden. Somit stand einem sicheren Betrieb nichts mehr im Wege. Einen Überblick über die gesamte Anlage geben Abbildung 16 und Abbildung 17.

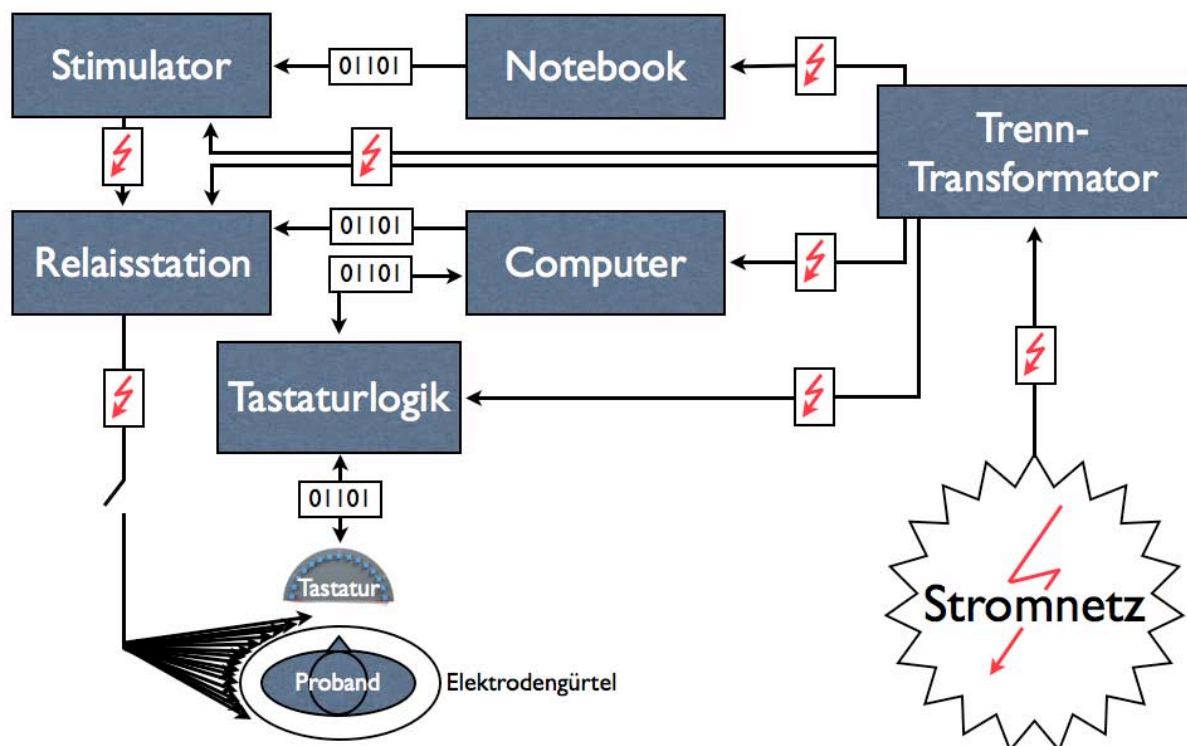


Abbildung 16 Schematische Darstellung der Versuchsanlage. Die Pfeile zeigen eine Kabelverbindung an. Stromfluss wird durch das Blitzsymbol, Datenfluss durch die binären Ziffern symbolisiert.

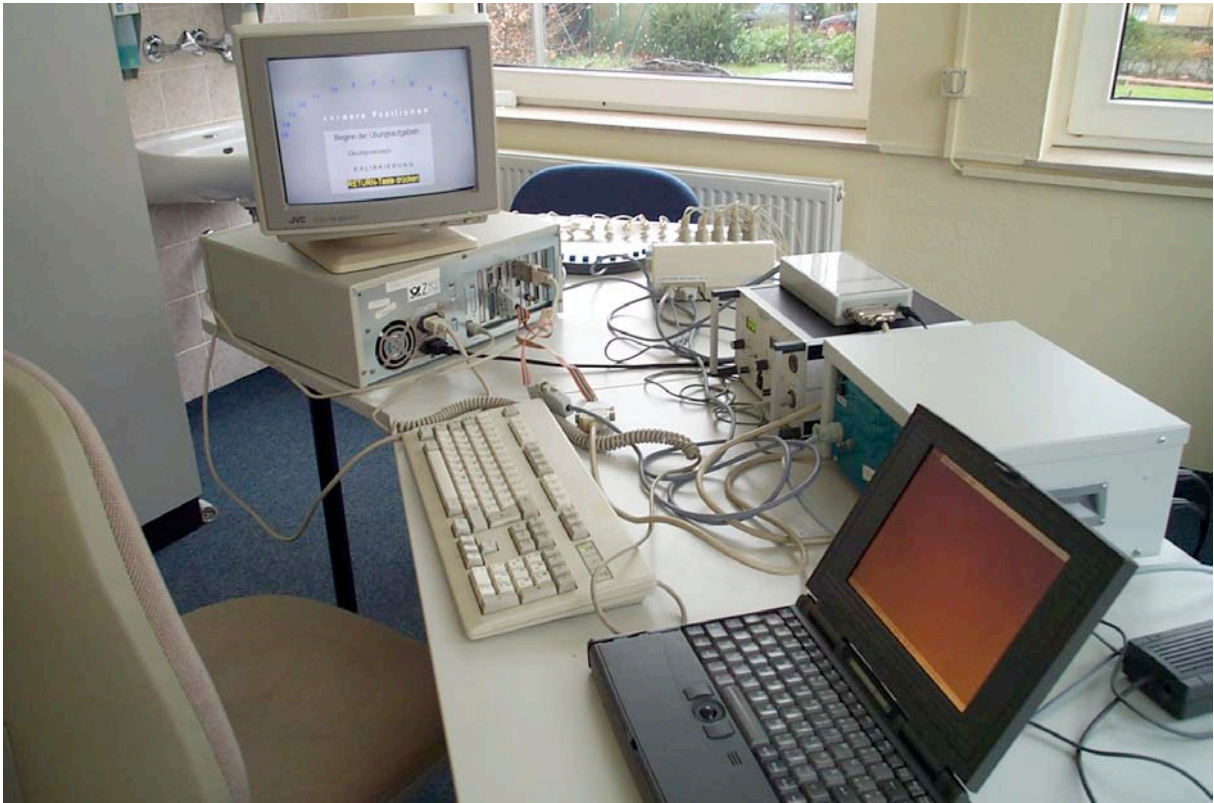


Abbildung 17 Überblick über den verwendeten Gerätepark: Im Hintergrund der Sitzplatz der Versuchsperson, davor der Elektrodengürtel und die Tastatur für die Probandenreaktionen. Rechts davor befindet sich die Relaisstation, rechts davon der Konstantstrom-Stimulator mit darauf abgelegter ERTS-Tastaturlogik, und direkt daneben steht der Trenntransformator, über den die gesamte Stromversorgung abgewickelt wurde. Links der Rechner, mit dem die Abfolge der Reize gesteuert und die Reaktionen aufgezeichnet wurden. Das Notebook im Vordergrund diente der Auslösung der Reize auf dem Konstantstrom-Stimulator.

Ein weiteres Problem bestand darin, dass bei allen Versuchspersonen jede Elektrode relativ zur Körpermitte die gleiche Position einnehmen sollte, und zwar unabhängig von deren Körpergröße und Leibesfülle. Deshalb wurden aus 4 cm breiter Gummilitze Gürtel unterschiedlicher Größe genäht, in welche in regelmäßigen Abständen Schlitze zur Aufnahme der Elektroden eingenäht waren (siehe Abbildung 18). Durch die Dehnbarkeit des Materials konnte gewährleistet werden, dass die relative Position der Elektroden bei allen Versuchspersonen gleich war und die Elektroden durch optimalen Druck sicheren Kontakt zur Haut hatten. Die Spannung jedes Gürtels ließ sich wegen des eingenähten Klettverschlusses stufenlos regulieren. Der von den Elektroden erfasste Bereich erstreckte sich zu 180 Grad einmal über den Bauch, einmal über den Rücken, jeweils von rechter zu linker Hüfte. Beim Anlegen wurde genau darauf geachtet, dass

die beiden äußeren Elektroden jeweils über dem Hüftknochen und die mittlere über dem Bauchnabel lagen. Es blieb das Problem, dass jene Elektrode, die auf die Wirbelsäule aufsetzen sollte, häufig durch die Musculi longissimi Thoracis neben der Wirbelsäule angehoben wurde und der Hautkontakt auch nicht mit Fixierung durch Pflaster hergestellt werden konnte. Dies wurde schließlich als gegeben hingenommen.

Im Gürtel wurden 15 Elektrodenpaare fixiert (Nervenreizelektroden der Firma Schuler Medizintechnik, siehe Abbildung 18). Diese jeweils bipolaren Oberflächenelektroden vermögen durch die Haut hindurch Nerven zu stimulieren. Jede Reizelektrode besteht aus einem stempelartigen Kunststoffkörper, in dem sich zwei eingelegte vergoldete Buchsen befinden, die der Aufnahme von Filzeinsätzen dienen. Der Mittelabstand von Anode zu Kathode beträgt jeweils 20 mm. Vor Anwendung wurden die Filzeinsätze ausführlich gewässert, um Leitfähigkeit zu gewährleisten. Jedes Elektrodenpaar ist fest mit einem Kabel von 1,50 m Länge verbunden und wird damit an die Relaisstation angeschlossen.



Abbildung 18 In den Gürtel aus Gummilitze wurden die 15 Oberflächenelektroden eingearbeitet, mit nassen Filzeinsätzen bestückt und dann den Probanden angelegt.

spüren konnte. In einem zweiten Probedurchgang wurde geprüft, ob die Versuchspersonen auch bei Pseudo-Randomisierung in der Lage waren, die Reize zu registrieren. Wenn Patienten durchweg nicht auf kontraläsionale Stimuli reagierten, wurde der Versuch nach dem Probedurchgang abgebrochen und die betreffende Person von der Studie ausgeschlossen, weil davon ausgegangen wurde, dass sie an einer linksseitigen Sensibilitätsstörung litt. Eine Sekunde vor Beginn der Reizdarbietung wurde ein Warnton eingespielt, anschließend wurden maximal acht Sekunden lang Reize dargeboten. Jedweder Tastendruck von Seiten des Patienten, unabhängig davon, ob die Reaktion korrekt war oder nicht, beendete sofort die Stimulation. Danach folgte eine kurze Pause von zwei Sekunden, bis wieder ein Warnton erklang und sich die Reizdarbietung bei einer anderen Elektrode wiederholte. Die 15 Elektroden wurden pseudo-randomisiert angesteuert. Wenn alle 15 Elektroden einmal aktiviert worden waren, wurde alles in einem weiteren Durchgang wiederholt. Insgesamt gab es 10 Experimentaldurchgänge mit insgesamt 15 Trials; jede Elektrode wurde also unter Experimentalbedingungen 10-mal angesteuert. Insgesamt umfasste der Hauptversuch also 150 Trials. Abbildung 19 veranschaulicht die Vorgehensweise. Das gesamte Prozedere wurde in separaten Durchgängen sowohl im vorderen als auch im hinteren Halbraum durchgeführt. Da die Filzeinsätze der Elektroden durch die Körperwärme der Probanden austrockneten und so ihre Leitfähigkeit verloren, wurden sie nach der Durchführung des Experiments im vorderen Halbraum erneut gewässert. Einschließlich Anlegen und Abnehmen der Elektroden dauerte der neurophysiologische Teil insgesamt 70 bis 90 Minuten.

3.2.2 Instruktion

Zu Beginn wurde den Probanden die Anlage kurz gezeigt und den Patienten erklärt, dass es sich um eine wissenschaftliche Studie handele, die nicht von ihrer Klinik veranlasst sei. Es wurde versichert, dass ihnen bei Nicht-Teilnahme von Seiten der Klinik keine Nachteile entstehen würden. Danach wurden sie gefragt, ob sie bereit wären, teilzunehmen. Waren sie einverstanden, wurde allen Teilnehmern folgende Instruktion gegeben: „Mit diesem Versuch wird Ihre Wahrnehmung von Berührungsreizen untersucht. Ich habe Ihnen dazu einen Gürtel mit 15 Elektroden angelegt. Nun sehen Sie eine Tastatur mit 15 Tasten vor sich, die in einem Halbkreis angeordnet sind. Die halbrunde Anordnung soll die Rundung ihres Bauches (bzw. ihres Rückens) wiedergeben.

Jede Taste entspricht der Position einer bestimmten Elektrode an Ihrem Körper. [Zeigen!] Sie brauchen sich nicht zu sorgen: Die Stromstärke ist gering, lässt sich stufenlos verstellen und ist nicht schmerzhaft. Sie wird zunächst in zwei Probedurchgängen an Ihre Reizempfindlichkeit angepasst. Kurz nach einem Piepton werden Sie an Ihrem Bauch (bzw. Rücken) ein Kribbeln spüren. Sie sollen daraufhin die Taste drücken, von der Sie meinen, dass sie den Ort, an dem es kribbelt, am besten wiedergibt. Kribbelt es z.B. in der Körpermitte, drücken Sie die mittlere Taste; kribbelt es ganz rechts, drücken Sie diese, kribbelt es ganz links, drücken Sie jene Taste [wurde jeweils gezeigt]. Kribbelt es an einer anderen Position irgendwo dazwischen, drücken Sie bitte ebenfalls die entsprechende Taste. Arbeiten Sie dabei genau, aber überlegen Sie nicht zu lange.“ Anschließend wurde mit der Versuchsdurchführung begonnen.

Gelang es einer Versuchsperson nicht, bei einer Stromstärke von 13 mA alle Reize zu spüren, wurde der Versuch abgebrochen und sie von der Studie ausgeschlossen. Damit wurde sichergestellt, dass keine Person schmerzhaften Reizen ausgesetzt war.

3.3 Versuchspersonen

Die Auswahl der Probandengruppen erfolgte mit dem Ziel, Effekte der Untersuchungsmethode sowie Effekte der Hirnschädigung trennen zu können. Deshalb wurden für die Studie insgesamt drei Gruppen rekrutiert: 8 rechtshemisphäriell geschädigte Personen mit Neglect (RHG N+; 5 Frauen und 3 Männer; Altersmedian: 67,5 Jahre), eine Gruppe von 8 rechtshemisphäriell geschädigten Patienten ohne Neglect (RHG N-; 1 Frau, 7 Männer; Altersmedian 56,5 Jahre) sowie 11 Kontrollprobanden über 50 Jahre ohne Hirnschädigung (NK; 3 Frauen, 8 Männer; Altersmedian 52 Jahre). Der statistische Vergleich mit dem Kruskal-Wallis H-Test zeigt, dass die Altersunterschiede zwischen den drei Gruppen nah an einer 95-prozentigen Signifikanz liegen ($\chi^2 = 5,831$, $p = 0,054$). Demographische und klinische Angaben über die Versuchspersonen können der Tabelle 2 entnommen werden.

3.4 Ein- und Ausschlusskriterien

Zur Aufnahme in die Studie mussten die Patienten erstmalig ein rechtshemisphärielles zerebrales Ereignis erlitten haben. Bei den Neglect-Patienten mussten mindestens drei der durchgeführten Tests einen Neglect belegen, in der Gruppe der rechtshemisphäriell

Tabelle 2 Beschreibung der Probanden hinsichtlich Alter, Erkrankungsdauer und Ergebnissen in den Neglect-Tests.

Gruppe	Proband Nr.	Alter (Jahre)	Geschlecht	Art der Schädigung	Tage seit Schädigung	A markieren Auslassungen Links/Rechts	Lesen Fehler	Lesen Zeit Sek.	QET Quotient	Uhr zeichnen	Linien halbieren	Auffällige Bereiche von 5	
RHG N	12	66	W	Isch ACM r	67	5 / 1	4	125	22	7	-4	4	
	14	73	M	Isch ACM r	59	12 / 6	47	520	22	4	49	4	
	21	71	W	Isch ACM r, StG, In	33	19 / 0	3	99	50	6	11	4	
	22	55	M	ICB par, okz, front, r	81	1 / 3	41	347	39	6	21	4	
	26	76	M	Isch ACM r, NC, Nlent, In	34	11 / 2	4	171	50	8	1	3	
	33	68	W	Isch ACP r	39	13 / 4	4	104	39	5	-3	4	
	49	67	W	ICB par, okz, Ödem	25	30 / 16	Miss.	Miss.	50	7	31	4	
	57	55	W	OP Astroz front r, Ödem	66	3 / 0	3	81	50	5	-3	3	
	Md	67,50	5W, 3M		49,00								
	RHG N	16	63	M	ICB front, temp, r, Ödem	133	4 / 2	2	93	67	8		1
24		61	W	ICB front, temp, par, r, NC	98	1 / 0	1	79	50	9		1	
28		48	M	Isch chor ant r	70	1 / 2	1	88	11	8		0	
30		73	M	Isch r	29	0 / 1	14	109	11	9		1	
51		46	M	Isch StG r	5	0 / 0	0	84	5	9		0	
52		77	M	Isch ACP r	6	2 / 2	0	79	-6	10		0	
55		52	M	Raumf r front, Ödem	6	0 / 1	0	78	0	10		0	
56		51	M	Isch ACP r	15	0 / 1	1	99	0	9		0	
Md		56,50	1W, 7M		22,00								
NK		80	66	M									
	81	72	M										
	82	52	W										
	83	52	M										
	84	56	M										
	85	62	M										
	86	53	M										
	87	50	M										
	88	52	W										
	89	51	M										
90	51	W											
Md	52,00	3W, 8M											

Anmerkung: Patient 16 machte beim QET bei einseitiger Stimulation ebenso viele Fehler wie bei DSS.

Abkürzungen: Isch=Ischämie; ICB=intrakranielle Blutung; r=rechts; ACM=Arteria cerebri media; ACP=Arteria cerebri posterior; chor ant=Arteria choroidea anterior; StG=Stammganglien; In=Insula; front=frontal; par=parietal; okz=okzipital; NC=Nucleus caudatus; Nlent=nucleus lentiformis; Astroz=Astrozytom, OP=Operation.

Geschädigten ohne Neglect durften maximal in einem Test Hinweise auf Neglect oder Extinktion zu finden sein. Von vorneherein ausgeschlossen wurden Personen mit wie auch immer gearteter zerebraler Vorerkrankung, elektromagnetisch beeinflussbaren Implantaten (Herzschrittmachern, Insulinpumpen o.ä), Hemihypästhesie, Vigilanzstörung und Zweifeln an der Verträglichkeit der Apparatur. Entgegen der Erwartung konnte im Klinikum Minden keine ausreichende Anzahl geeigneter Patienten gefunden werden. Deshalb wurde mit dem Klinikum für Rehabilitation I und den Johanniter-Ordenshäusern zwei Rehabilitationskliniken in Bad Oeynhausen in die Rekrutierung mit einbezogen. Da viele Faktoren, die zum Ausschluss führten, vorab nicht immer erkennbar waren, musste bei der überwiegenden Anzahl von Rekrutierungen der Patient hinterher von der Teilnahme ausgeschlossen werden. Gründe hierfür waren häufig eine linksseitige Sensibilitätsstörung oder aber ein abgeklungener Neglect, bei dem die Symptomatik zu schwach für die Neglectgruppe und zu stark für die Patientenkontrollgruppe war. Insgesamt fanden 63 Kontakte mit Versuchspersonen statt, davon wurden 27 Personen in die Studie eingeschlossen. An diesen Zahlen wird der erhebliche Aufwand bei der Rekrutierung von Patienten deutlich.

3.5 Neglectprüfung

Im neuropsychologischen Teil am nächsten Tag wurden die Patienten in verschiedenen Bereichen und Sinnesgebieten einer ausführlichen Neglectprüfung unterzogen. Diese Sitzung dauerte etwa 60 Minuten.

3.5.1 Linien Halbieren

Fünf Linien von 20 bis 27 cm Länge sollten jeweils in ihrer Mitte markiert werden, jeweils eine pro Blatt im DIN A4 Querformat. Die Auswertung erfolgte analog dem Vorgehen von Ferber und Karnath (2001a): Die Abweichung der Mittelmarkierung von der objektiven Mitte wurde bestimmt, in dem die Distanz vom rechten Ende der Linie bis zu Markierung von der Gesamtlänge der Linie subtrahiert und durch die Hälfte der Linienlänge geteilt wurde. Dieser Quotient wurde mit 100 multipliziert, und davon 100 subtrahiert. Auf diese Weise wurde die prozentuale Abweichung bei dieser Aufgabe berechnet. Positive Werte stellen Abweichungen nach rechts, negative Abweichungen nach links dar. Aus der prozentualen Abweichung aller fünf Halbierungen wurde das arithmetische Mittel als Gesamtmaß für die Leistung bei dieser Aufgabe gebildet. In der

klassischen Arbeit von Schenkenberg et al. (1980) wurde bei einer im Wesentlichen ähnlichen Aufgabe ein Abweichungsquotient von 2,6% bei einer Standardabweichung von 5,7 Prozent bei einer Stichprobe gesunder Probanden ungefähr gleichen Alters gefunden. Um den cut-off Punkt nicht zu eng zu fassen, wurde in der vorliegenden Arbeit die zweifache Standardabweichung zugrunde gelegt, so dass Abweichungen von 14% und -9% als auffällig erachtet wurden. Ein Arbeitsergebnis wird auf Seite 2 des Anhangs gezeigt.

3.5.2 Freies Zeichnen einer Uhr

Auf einem leeren Blatt im Format DIN A4 hoch sollte das Ziffernblatt einer Uhr einschließlich aller Ziffern, aber noch ohne Zeiger frei gezeichnet werden. Danach sollten die Zeiger so eingefügt werden, dass die Uhr „zwanzig vor vier“ anzeigte. Die Auswertung erfolgte nach der Beurteilungsmethode von Rouleau et al. (1992), in der die Integrität des Ziffernblatts, die Vollständigkeit und Reihenfolge der Ziffern sowie die Vollständigkeit und Platzierung der Zeiger bewertet wurde. Der vollständige Auswertungsbogen ist im Anhang auf Seite 3 zu finden, ein Arbeitsergebnis eines Probanden auf Seite 4. Die Werte einer gesunden Stichprobe vergleichbaren Alters betragen im Mittel 8,94 mit einer Standardabweichung von 1,12. In der vorliegenden Arbeit wurden nur solche Leistungen als auffällig erachtet, die zwei Standardabweichungen oder mehr unter dem Mittelwert der gesunden Probanden von Rouleau und Mitarbeitern lagen. Gerundet war dies ein Wert von 7 oder weniger.

3.5.3 Visuelle Exploration

Des Weiteren wurde die Suchaufgabe nach Weintraub und Mesulam (1985) eingesetzt: Auf einem Blatt im DIN A4 Querformat sind mehrere Hundert einzelne Buchstaben zufällig angeordnet, darunter in der linken und rechten Hälfte jeweils 30 „A“ (siehe Anhang, Seite 5). Dieses Blatt wurde den Probanden mittig vorgelegt. Alle 60 Buchstaben „A“ sollten gefunden und durchgestrichen werden. Von rechtshemisphäriell Geschädigten werden dabei häufig signifikant mehr kontraläsionale, aber auch signifikant mehr ipsiläsionale Reize ausgelassen wie von gesunden, altersentsprechenden Kontrollprobanden (Weintraub und Mesulam, 1987; Weintraub und Mesulam, 1988). Die Autoren werteten zwar die Auslassungen separat links- und rechtsseitig aus, gaben sie jedoch nur als Gesamtsumme an. Den 9 gesunden Kontrollprobanden von Weintraub

und Mesulam (1987, 1988) unterliefen bei dieser Aufgabe im Mittel insgesamt 1,7 Auslassungen. Anders ausgedrückt: Sie fanden 58,3 von 60 „A“. Als Kriterium für einen bestehenden Neglect wurde in der vorliegenden Arbeit der dreifache Mittelwert der Angaben von Weintraub und Mesulam angenommen – alle Leistungen mit mehr als 5 Auslassungen wurden als auffällig angesehen.

3.5.4 Vorlesen

Der „Bogenhauser bündige Lesetest“ (Kerkhoff et al., 1992; Kerkhoff, o.J.) besteht aus einem linksbündigen Text von 180 Wörtern (siehe Anhang, Seite 6). Es gibt sechs Parallelversionen, die einem Märchenbuch von Preußler (1965) entnommen sind. Die Texte haben alle die gleiche Schwierigkeit, jedoch kam fast immer Version A zum Einsatz. Die Patienten sollten den Text laut vorlesen. Sowohl die Fehler als auch die benötigte Zeit wurden notiert. Leistungen, die eine zweifache Standardabweichung unter dem Mittelwert lagen, wurden als auffällig erachtet. Die cut-off Scores wurden somit hinsichtlich der benötigten Zeit auf 120 Sekunden, hinsichtlich der Fehler auf 2 festgelegt.

3.5.5 Taktile Sensibilität und Extinktionsphänomene

Mit dem Qualitativen Extinktionstest (QET) wurden sowohl die taktile Sensibilität als auch Extinktion untersucht. Dieser Test stammt ursprünglich von Schwartz et al. (1977). In der vorliegenden Arbeit kam die Fassung von Heldmann et al. (2000) zum Einsatz (siehe auch Kerkhoff et al., 2001). Sechs unterschiedliche Materialien, und zwar Plastikfolie, Seide, feines Schmirgelpapier, harter Schaumstoff von einer Camping-Isoliermatte, flauschige Kunstfaser und grobes Leinengewebe (Jute) waren jeweils auf ein kleines Brett im Format 10 x 15 cm aufgeklebt (siehe Abbildung 20). Jedes Material war doppelt vorhanden. Der Versuchsperson wurden die Materialien zunächst gezeigt, und sie wurde aufgefordert, die Stoffe anzufassen. Die Materialien wurden dabei mehrfach benannt, und schließlich sollte der Proband gleichfalls alle Stoffe benennen, um die Bezeichnungen zu lernen. Anschließend wurden den Probanden die Augen verbunden und ein Kopfhörer aufgesetzt, der ein Rauschen produzierte. Damit wurde verhindert, dass die Materialien bei der Reibung auf der Haut an den dabei entstehenden Geräuschen erkannt wurden, denn die Tastreize sollten selbstverständlich ausschließlich mit dem Tastsinn erkannt werden. Die Probanden wurden zunächst in einer Be-



Abbildung 20 Die sechs verwendeten Materialien des Qualitativen Extinktionstests, jeweils auf ein Holzbrettchen geklebt (v.l.n.r.): Plastikfolie, Seide, feines Sandpapier, Schaumstoff, flauschige Kunstfaser und Leinen.

dingung unilateraler Stimulation mit jedem der sechs Materialien in zufälliger Reihenfolge abwechselnd auf dem linken und dem rechten Handrücken berührt. Aufgabe war, das Material zu benennen. Für die linke Seite wurde die Anzahl der Fehler zur Gesamtzahl der Trials ins Verhältnis gesetzt und so der Fehlerquotient F_{links} berechnet:

$$\frac{\text{Fehler}_{\text{links}}}{\text{Trials}_{\text{links}}} = F_{\text{links}}$$

Formel 1 Fehlerquotient für linksseitige unimanuelle Stimulation im Qualitativen Extinktionstest (QET)

Analog wurde F_{rechts} bestimmt. Schließlich wurde F_{rechts} von F_{links} subtrahiert und somit aus der Differenz der unimanuellen Trials der Fehlerquotient $F_{\text{unimanuell}}$ berechnet:

$$F_{links} - F_{rechts} = F_{unimanuell}$$

Formel 2 Orientierung über ungleiche Fehlerquoten bei unimanueller Stimulation jeder Körperseite: Differenzbildung aus linksseitigem und rechtsseitigem Fehleranteil.

Probandin Nr. 49 beispielsweise, deren Original-Datenblatt aus dem QET im Anhang auf den Seiten 7 und 8 eingesehen werden kann, machte linksseitig zwei und rechtsseitig einen von sechs möglichen Fehlern. Somit betrug bei ihr $F_{unimanuell} = 1/6$ oder 16,67%.

Gelang die Erkennung beispielsweise ausschließlich mit der rechten Seite, was einem $F_{unimanuell}$ von 100% gleichkam, wurde dies als hochgradiger Verdacht auf Hemihypästhesie oder schweren Neglect gewertet. Der QET wurde dann an dieser Stelle abgebrochen und die Person von der Studie ausgeschlossen. Erfahrungsgemäß würden diese Patienten ebenfalls nicht in der Lage sein, die elektrophysiologischen Reize beidseitig zu registrieren. Bei den meisten Teilnehmern folgten jedoch danach 36 Trials mit doppelseitiger simultaner Stimulation, jeweils zur Hälfte mit identischen und mit verschiedenen Materialien. Dabei benannten die Neglect-Patienten fast immer zuerst den rechtsseitig applizierten Stoff. Zudem kam es regelmäßig vor, dass Patienten auch bei unterschiedlichen Materialien behaupteten, auf dem linken das Gleiche zu spüren wie auf dem rechten Handrücken. Um Fehlern durch suggestive Befragung vorzubeugen, wurden nur die Trials mit unterschiedlichen Materialien ausgewertet.

Sowohl bei unimanueller als auch bei bimanueller Stimulation kam es vor, dass die Versuchspersonen die Namen der Materialien nicht mehr nennen konnten; in diesem Fall wurden die Bezeichnungen aller sechs Stoffe noch einmal erwähnt. Ebenso wurde verfahren, wenn eine missverständliche Bezeichnung (z.B. „Kunststoff“) genannt worden war.

Anschließend wurden die Fehler links und rechts ausgezählt und analog dem Vorgehen bei einseitiger Stimulation für jede Seite ein prozentualer Fehlerquotient berechnet. Schließlich wurde der rechte vom linken Fehleranteil subtrahiert und der Quotient $F_{bimanuell}$ bestimmt:

$$F_{links} - F_{rechts} = F_{bimanuell}$$

Formel 3 Bestimmung des Fehlerquotienten bei bilateraler doppelseitiger Stimulation im QET.

Probandin 49 machte bei doppelseitiger simultaner Stimulation linksseitig 13 und rechtsseitig 4 von 18 möglichen Fehlern und erreichte so einen $F_{bimanuell}$ von 9/18 oder 50% (vgl. Anhang Seite 8).

Lag bei einem Probanden $F_{bimanuell}$ vergleichbar hoch wie $F_{unimanuell}$, wurde das als Hinweis auf eine Hemihypästhesie gewertet. Lag $F_{bimanuell}$ jedoch mehr als 30 Prozentpunkte höher oder tiefer als $F_{unimanuell}$, wurde das als Hinweis auf Extinktion gewertet. Ein positiver $F_{bimanuell}$ weist auf ein linksseitiges, ein negativer auf ein rechtsseitiges Extinktionsphänomen hin, und ein Score von 0 belegt ein Fehlen taktiler Extinktion.

Da bei Probandin 49 $F_{bimanuell}$ von 50% um gut 33 Prozentpunkte über $F_{unimanuell}$ von 16,67% lag, wurde diese Auffälligkeit als Extinktion gedeutet.

Besonders die Gruppe der Neglect-Patienten tat sich mit dem QET sehr schwer; bei doppelseitiger Stimulation benannten sie zuerst immer das rechtsseitig präsentierte Material. Viele Patienten brauchten für den QET 30 Minuten oder länger und berichteten anschließend von erheblicher Erschöpfung.

4 Ergebnisse

4.1 Erste Auswertungsschritte

Zur Identifikation hatten die Elektroden eine fortlaufende Nummerierung erhalten, die mit 1 bei Position +90 Grad in der rechten Hüfte begann und mit 15 an Position -90 Grad in der linken Hüfte endete. Dieses System kam sowohl bei der Prüfung des vorderen als auch des hinteren Halbraums zur Anwendung. Die Elektrode in der Körpermitte war jeweils die 8. Die gleiche Nummerierung wurden intern auch für die Reaktionstasten verwendet, was nirgendwo für die Versuchspersonen erkennbar war. Von einem imaginären Mittelpunkt des Körpers aus wurde so ein Bereich von jeweils 180 Grad erfasst. Die Elektroden hatten jeweils einen Abstand von 12,86 Grad.

Zum Zwecke der Aufzeichnung legte ERTS pro Versuchsperson und pro Halbraum jeweils eine Datei an. Nur der relevante Teil der gesammelten Daten wurde dann in das Format des Tabellenkalkulationsprogramms Excel:mac (Microsoft, 2003) importiert. Aus den aufgezeichneten Informationen wurden Angaben über die vorgegebenen Reize, die Reaktionen, die Reaktionszeiten und die Kennzeichnung des Durchgangs, bei dem der jeweilige Reiz ausgelöst worden war, übernommen. Der Übersichtlichkeit halber wurden die Daten zunächst aufsteigend nach Reizen sortiert. Dabei wurde deutlich, dass es speziell bei den Neglect-Patienten häufiger zu Auslassungen kam, die sich in der Mehrzahl bei linksseitigen Reizen zeigten. Des Weiteren wurden einige Trials identifiziert, bei denen das System selber innerhalb von 6 msec eine Reaktion aufgezeichnet hatte, ohne dass es vorher zu einer Dateneingabe gekommen war; Gründe für dieses Phänomen sind nicht bekannt. Auslassungen und Systemfehler wurden als solche gekennzeichnet und an dieser Stelle eventuell vorhandene Daten aus der Spalte „Reaktion“ gelöscht.

Im nächsten Schritt wurden die Daten zunächst deskriptiv ausgewertet. Zur Berechnung eventueller Differenzen zwischen gereizter Position und aufgezeichneter Reaktion wurde die Nummer der betätigten Taste von derjenigen der aktivierten Elektrode subtrahiert. Für jede Position wurde danach aus den maximal 10 Differenzwerten das arithmetische Mittel berechnet; Auslassungen oder Systemfehler gingen natürlich in diese Berechnung nicht mit ein. Aus diesen Werten wurde wiederum anschließend für

jede Patientengruppe jeweils für beide Halbräume das arithmetische Mittel pro Reizposition errechnet. Abbildung 21 und Abbildung 22 veranschaulichen dies.

Alle weitergehenden statistischen Berechnungen wurden mit dem Programmpaket SPSS, Version 12 (SPSS GmbH, 2001) ausgeführt. Nur Ergebnisse mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ wurden als signifikant bewertet.

Die Daten über die subjektiven Abweichungen befinden sich zwar auf Intervallskalenniveau, so dass im Prinzip die Berechnung mit parametrischen Verfahren möglich wäre. Diese Verfahren fordern jedoch für ihren Einsatz bestimmte Voraussetzungen wie z.B. Varianzhomogenität. Da nicht davon ausgegangen werden kann, dass diese alle erfüllt sind und zudem die Stichproben nur eine geringe Größe aufweisen, wurden nichtparametrische Verfahren bei der Auswertung bevorzugt.

4.2 Differenz zwischen Reizposition und Reaktion: Vergleich der Gruppen

Die Abweichungen bei den Einschätzungen jeder Elektrodenposition wurden bei den drei Gruppen mit dem Kruskal-Wallis H-Test miteinander verglichen. Aus den in Tabelle 5 (siehe Seite 54) dargestellten Ergebnissen für den vorderen Halbraum ist er-

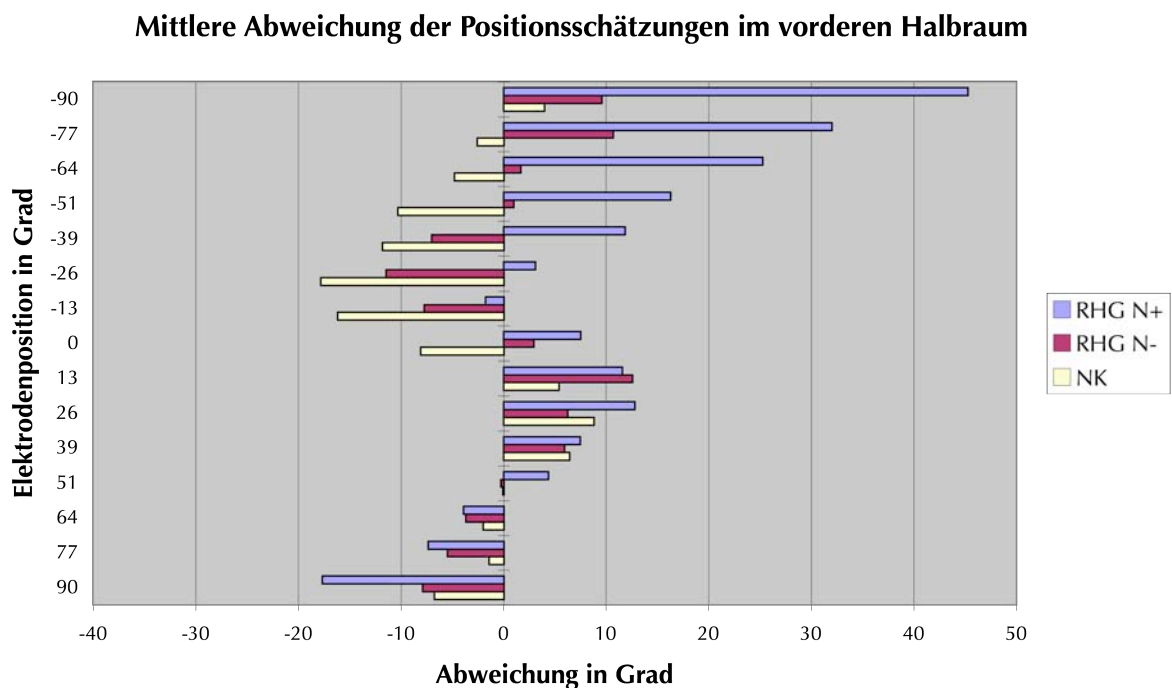


Abbildung 21 Die Abweichung der Probandenreaktion von der objektiven Position der stimulierten Elektrode am Bauch. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte, jeweils nach Gruppen aufgeschlüsselt.

kennbar, dass die Neglect-Patienten linksseitig bis auf die Position -13 Grad signifikant andere Reaktionen zeigen als die rechtshemisphäriell Geschädigten ohne Neglect und die Gesunden. Im rechten Halbraum unterscheidet sich die Einschätzung der Gruppen lediglich in der rechten Hüfte bei 90 Grad.

Zur näheren Betrachtung wurden jeweils zwei Gruppen miteinander verglichen; da die Prüfung der Varianzhomogenität mit dem Levene-Test zeigte, dass nicht bei allen Daten Varianzhomogenität vorlag, wurde der Mann-Whitney U-Test eingesetzt (siehe Tabelle 5). Es wird erkennbar, dass an allen linksseitigen Positionen zwischen -90 bis 0 Grad die Neglect-Patienten den Tastreiz signifikant weiter rechts einschätzen als die Gruppe der Gesunden. Auf den Positionen -90, -64, -39 und -26 Grad gilt dies auch im Vergleich zur Kontrollgruppe der rechtshemisphäriell Geschädigten ohne Neglect. In der rechten Hüfte bei 90 Grad wiederum kehrt sich die Reaktion um: Hier weichen die Neglect-Patienten signifikant weiter nach links ab als die anderen beiden Gruppen. Die beiden Kontrollgruppen verhalten sich an 12 von 15 Elektrodenpositionen statistisch gleich: Lediglich an Positionen -77 Grad, tendenziell auch an Position -90 Grad im linken Halbraum finden sich statistisch signifikante Unterschiede, bei denen die Einschätzung der Hirngeschädigten sich stets weiter rechts findet als die der Gesunden.

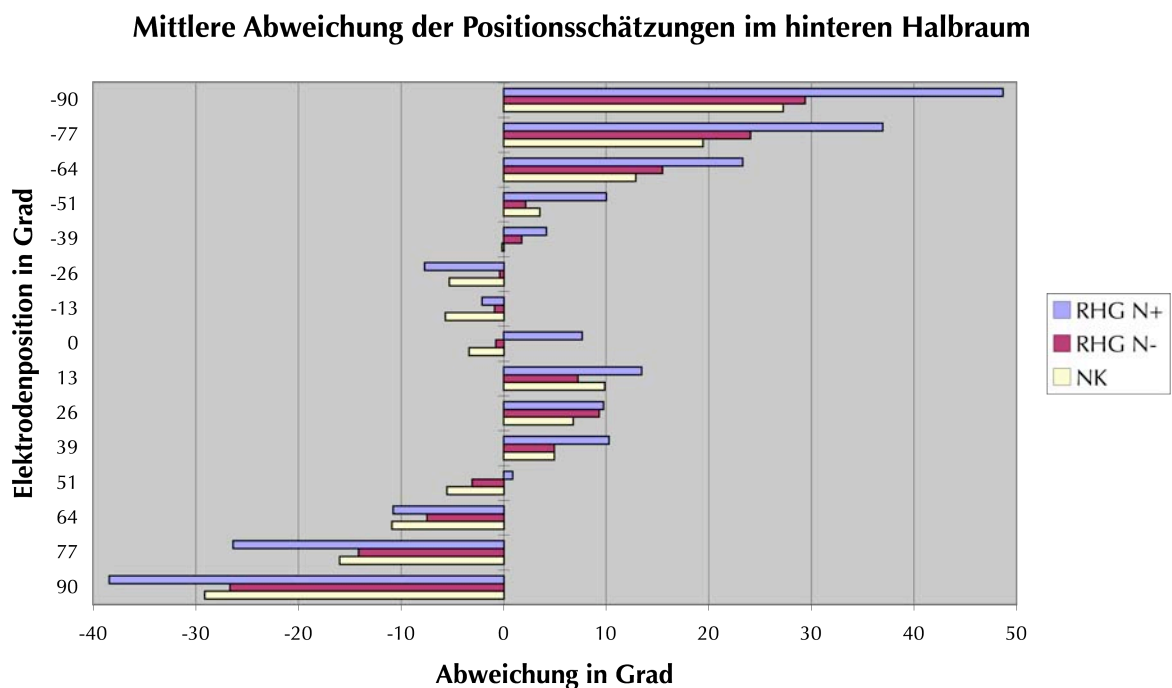


Abbildung 22 Die Abweichung der Probandenreaktion von der objektiven Position der stimulierten Elektrode am Rücken. Dargestellt sind die Mittelwerte, jeweils nach Gruppen aufgeschlüsselt.

Abbildung 21 stellt dies grafisch dar.

Im hinteren Halbraum (Tabelle 6) unterscheiden sich die Einschätzungen durch die Gruppen lediglich bei -90 Grad signifikant (und bei -77 Grad tendenziell), was auf Unterschiede zwischen den Neglect-Patienten und der gesunden Kontrollgruppe zurückzuführen ist. In allen Gruppen weichen die Einschätzungen auf beiden Seiten bei den drei äußersten Elektroden 13 Grad oder mehr von der objektiven Position in Richtung Mitte ab. Im Bereich zwischen -51 und +51 Grad werden hingegen von allen Gruppen kaum Fehler gemacht (siehe Abbildung 22).

4.3 Differenz zwischen Reizposition und Reaktion: Gruppeninterner Vergleich des vorderen und hinteren Halbraums

Ist die gestellte Aufgabe im vorderen und im hinteren Halbraum unterschiedlich schwierig? Wären die Anforderungen gleichwertig, müsste sich das in einer etwa gleichen mittleren Abweichung der subjektiven zur objektiven Position widerspiegeln. Ebenso könnte die Frage nach Rotation oder Translation in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen: Bei Rotation würden sich in der Gruppe RHG N+ im Vergleich der Abweichung vorne zu hinten links und rechts signifikante Abweichungen zeigen. Wäre Translation zu beobachten, dann sollte, wenn überhaupt, in der rechten Raumhälfte ein signifikanter Unterschied zwischen dem vorderen und dem hinteren Halbraum zu erkennen sein. Bei den anderen beiden Gruppen sollten die entsprechenden Effekte nicht zu beobachten sein. Zur Beantwortung dieser Fragen wurden die mittleren Abweichungen jeder Versuchspersonen im vorderen und hinteren Raum mit dem Vorzeichenrangtest von Wilcoxon (Bortz und Lienert, 2003) hinsichtlich signifikanter Unterschiede geprüft. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 7. In der Gruppe der Neglect-Patienten sind nur die Abweichungen in der rechten Peripherie (+77 und +90 Grad) signifikant unterschiedlich, was auf einen stärkeren Fehler im hinteren Halbraum zurückzuführen ist. In der Patientengruppe ohne Neglect wurden im hinteren Halbraum in beiden äußeren Exzentrizitäten mehr Fehler gemacht, so dass es sowohl bei -90 und -77 als auch bei +90 Grad zu signifikanten Unterschieden der Abweichungen kommt. Anders ist es im mittleren Bereich: Der signifikante Unterschied bei -26 Grad ist auf einen stärkeren Schätzfehler im vorderen Halbraum zurückzuführen. In der Gruppe der gesunden Kontrollprobanden wiederum finden sich signifikante Unterschiede in der gesamten linken

Raumhälfte und in der rechten äußeren Exzentrizität. In den äußeren Exzentrizitäten beider Seiten (also ± 64 , ± 77 und ± 90 Grad) sind die Unterschiede auf größere Fehler im hinteren Halbraum zurückzuführen. Im mittleren Bereich finden sich allerdings die größeren Fehleinschätzungen im vorderen Halbraum in der Mitte und links davon, und zwar zwischen den Positionen -51 und 0 Grad.

4.4 Nonlineare Regression: Der Punkt der subjektiven Gleichheit

In vielen Arbeiten zum Neglect-Syndrom wurde die Frage behandelt, wo Neglect-Patienten die subjektive Mitte ihres Körpers oder des Außenraums wahrnehmen. Milner und Harvey (1995, S. 86) berechneten dazu in ihrer Arbeit den „Point of subjective equality“, zu deutsch: „Punkt der subjektiven Gleichheit (PSG)“. Der PSG bezeichnete den Punkt, an dem für die Versuchspersonen die Wahrscheinlichkeit für die Entscheidung darüber, ob ein links- und ein rechtsseitiger Reiz unterschiedlich sind, gleich groß ist. Ferber (2000; siehe auch Ferber und Karnath, 2001b) verwendete ebenfalls dieses Konzept. Die dazugehörige mathematische Funktion des PSG hat die Form einer Sigmoidfunktion. Der PSG dient dazu, die subjektive Perspektive der Probanden erkennbar zu machen.

In der vorliegenden Arbeit wird die Idee des PSG aufgegriffen. Er dient hier der Quantifizierung des Entscheidungsalgorithmus der Versuchspersonen; er soll klarer darstellen, an welchem Punkt die Klassifizierung eines Reizes als links- oder als rechtsseitig gleich wahrscheinlich war. Die von Ferber (2000) benutzte Formel wurde angepasst und in folgender Form verwendet:

$$P_{(\text{Wahl})} = \frac{1}{1 + e^{-a \times \text{PSG} + b}}$$

Formel 4 Ermittlung der Wahrscheinlichkeit, dass ein Reiz als links- oder rechtsseitig eingeschätzt wird.

$P_{(\text{Wahl})}$: Die Wahrscheinlichkeit, dass der Reiz als links oder rechtsseitig eingeschätzt wird.

e : Euler'sche Zahl (2,71828 ...).

PSG : Punkt der subjektiven Gleichheit.

a, b : Parameter, welche die Steigung der Funktion am Punkt $P_{(\text{Wahl})}=0,5$ beschreiben.

Die eigentliche Berechnung des PSG gelingt bei näherer Betrachtung der Formel. Wenn die Wahrscheinlichkeit einer Klassifizierung als links oder rechts gleich groß sein soll, muss $P_{(\text{Wahl})} = 0,5$ sein. Deshalb muss gelten:

$$e^{-a \times \text{PSG} + b} = 1$$

Formel 5 Auflösung des Nenners aus Formel 4 zur Ermittlung des PSG.

Dies ist wiederum nur möglich, wenn für den Exponent in Formel 5 gilt:

$$a \times \text{PSG} + b = 0$$

Formel 6 Exponent aus Formel 5.

Nach PSG aufgelöst, ergibt sich somit:

$$\text{PSG} = \frac{-b}{a}$$

Formel 7 Der Punkt der subjektiven Gleichheit (PSG).

Die jeweiligen Punkte der subjektiven Gleichheit wurden deshalb folgendermaßen errechnet:

Zunächst wurden die Reaktionen der Versuchspersonen im Programm Excel:mac v.X nach rechts- und linksseitig als Variable „ReaktLiRe“ klassifiziert. Da die Elektrode Nr. 8 sich stets in der Mitte befand, wurden Reaktionen auf Tasten > 8 als linksseitig (= 1), Reaktionen < 8 als rechtsseitig (= 0) eingeordnet. Wegen der ungeraden Anzahl von Elektroden bzw. Tasten könnten die Reaktionen auf der mittigen Taste 8 sowohl als Argument für eine Abweichung nach links als auch für eine Abweichung nach rechts gedeutet werden. Zur Vermeidung dieses Dilemmas wurden Reaktionen auf Taste 8 nicht in die Wertung mit einbezogen. Anschließend wurden die Daten aller Versuchspersonen in das Format von SPSS, Version 12 konvertiert. Mit SPSS konnte dann für jede Versuchsperson für den vorderen und den hinteren Halbraum eine nonlineare Regression gerechnet werden, und zwar mit der unabhängigen Variable „Reiz“ und der ab-

hängigen Variable „ReaktLiRe“. Die Anzahl der Iterationen variierte beträchtlich. Bei einer 95%igen Wahrscheinlichkeit wurden die Variablen a und b errechnet. In Formel 7 eingesetzt, konnte somit bei jedem Teilnehmer der Studie der Punkt der subjektiven Gleichheit errechnet werden. Tabelle 3 zeigt den PSG jedes einzelnen Teilnehmers:

Tabelle 3 Der Punkt der subjektiven Gleichheit (PSG) jedes Probanden. Alle Werte in Winkelgrad. Positive Werte stellen Abweichungen nach rechts, negative Abweichungen nach links dar.

Gruppe	Versuchsperson Nr.	PSG vorne	PSG hinten
RHC N+	12	-6,88	8,68
	14	-17,41	-6,43
	21	9,09	-3,27
	22	-0,76	-0,57
	26	-21,49	-5,34
	33	-55,98	-0,52
	49	-11,25	-6,50
	57	6,38	-10,17
RHC N-	16	-11,72	-6,88
	24	6,09	4,82
	28	-1,76	0,02
	30	-6,44	2,18
	51	-6,88	-10,07
	52	6,36	-6,88
	55	-6,26	-11,40
	56	-6,44	0,01
NK	80	-6,37	-0,10
	81	6,26	-10,71
	82	10,96	-0,10
	83	-6,88	-0,02
	84	0,02	6,35
	85	6,27	-6,03
	86	12,55	-0,02
	87	14,33	-1,20
	88	1,96	0,00
	89	4,97	-5,65
	90	2,82	-11,31

Die arithmetischen Mittelwerte aller Punkte subjektiver Gleichheit, getrennt nach Versuchspersonengruppen und Halbraum sowie umgerechnet zu Winkelgrad, zeigt im Folgenden Tabelle 4:

Tabelle 4 Der Punkt der subjektiven Gleichheit (PSG) bei allen untersuchten Gruppen und allen Bedingungen. Alle Werte in Winkelgrad. Positive Werte stellen Abweichungen nach rechts, negative Abweichungen nach links dar.

Patientengruppe	PSG vorne	PSG hinten
Rechtshemisphäriell Geschädigte mit Neglect	-12,29	-3,01
Rechtshemisphäriell Geschädigte ohne Neglect	-3,38	-3,52
Gesunde Kontrollprobanden	4,26	-2,62

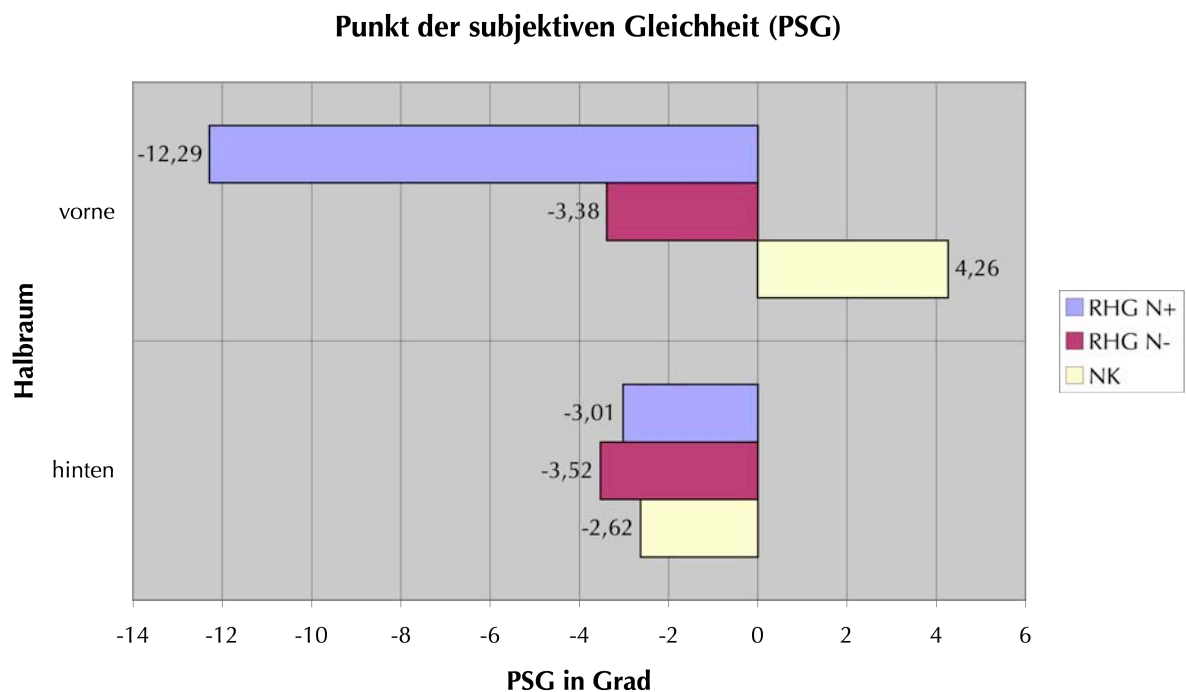


Abbildung 23 Der Punkt der subjektiven Gleichheit (PSG), bei allen Gruppen, im vorderen und hinteren Halbraum.

Der Kruskal-Wallis H-Test bestätigt, dass die arithmetischen Mittelwerte der PSG im vorderen Halbraum signifikant zwischen den Gruppen differieren ($\chi^2 = 6,141$, $p = 0,046$). Dies geht im Wesentlichen auf die unterschiedlichen Einschätzungen der Neglect-Patienten und der gesunden Kontrollgruppe zurück (Mann-Whitney U-Test für unabhängige Stichproben: $p = 0,035$). Allerdings unterscheidet sich im vorderen Halbraum auch der PSG der Gruppe RHG N- nahezu signifikant von dem der Gruppe NK (U-Test: $p = 0,052$). Im Mittel liegt der PSG bei den Neglect-Patienten um gut 12 Grad

links von der Mitte. Das bedeutet, dass im Bereich von 0 bis -12 Grad präsentierte Tastreize von dieser Gruppe eher als rechtsseitig eingeschätzt werden. Erst wenn Tastreize mehr als 12 Grad im linken Halbraum präsentiert werden, werden sie von der Gruppe der Neglect-Patienten zunehmend auch korrekt dem linksseitigen Raum zugeschrieben. In den beiden anderen Gruppen sind die Einschätzungen hingegen deutlich näher an der Mitte gelegen: Bei den rechtshemisphäriell Geschädigten ohne Neglect weicht er etwa 3 Grad zur linken Seite ab, bei den gesunden Kontrollprobanden gut 4 Grad zur rechten.

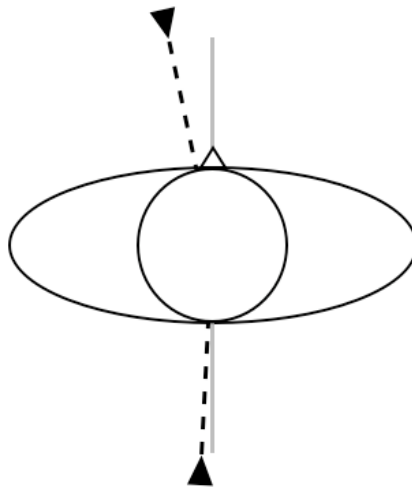


Abbildung 24 Der PSG (gestrichelte Linie und Pfeilkopf) bei den Neglect-Patienten im vorderen und hinteren Halbraum. Die grauen Linien zeigen die objektive Mitte an.

Im hinteren Halbraum hingegen liegen die anhand der Einschätzungen aller drei Probandengruppen errechneten Punkte der subjektiven Gleichheit sehr nahe beieinander: Sie driften alle leicht zur linken Seite und variieren geringfügig zwischen -2,6 und -3,6 Grad. Signifikante Unterschiede in der Einschätzung des PSG sind im Kruskal-Wallis H-Test nicht erkennbar ($\chi^2 = 0,905$, $p = 0,200$). Die Abbildungen 23, 24 und 25 veranschaulichen diese Ergebnisse.

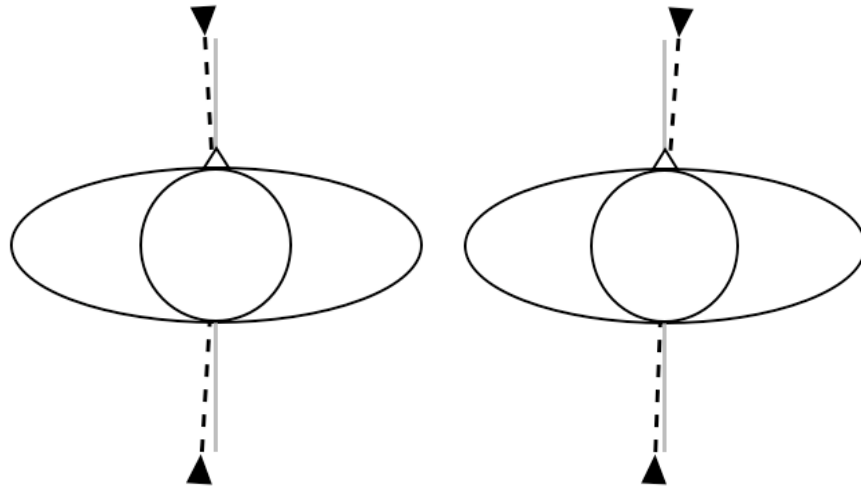


Abbildung 25 Der PSG (gestrichelte Linie und Pfeil) bei den Gruppen RHG N- (linke Grafik) und NK. Die grauen Linien zeigen die objektive Mitte an.

Tabelle 5 Signifikanzprüfung der Mittelwerte abweichender Reaktionen vorne mit dem Kruskal-Wallis H-Test und dem Mann-Whitney U-Test. Signifikanzniveau $\alpha=0,05$. *=signifikant.

Elektrode Nummer		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Position in Grad		-90	-77	-64	-51	-39	-26	-13	0	13	26	39	51	64	77	90
H-Test:	p	,000*	,001*	,002*	,004*	,007*	,003*	,282	,041*	,402	,583	,970	,748	,991	,437	,044
RHG N+, RHG N-, NK	χ^2	17,789	14,800	12,575	10,825	9,990	11,864	2,534	6,365	1,821	1,080	0,060	0,580	0,018	1,657	6,266
U-Test: RHG N+, RHG N-	p	,000*	,065	,054	,105	,015*	,028*	,574	,505	1,000	,397	,878	,505	,959	,721	,050*
U-Test: RHG N+, NK	p	,000*	,000*	,000*	,001*	,003*	,001*	,238	,033*	,360	,479	,840	,600	,904	,152	,020*
U-Test: RHG N-, NK	p	,062	,007*	,151	,062	,351	,152	,177	,051	,203	,600	,968	,778	,840	,717	,840

Tabelle 6 Signifikanzprüfung der Mittelwerte abweichender Reaktionen hinten, gleichfalls mit dem Kruskal-Wallis H-Test und dem Mann-Whitney U-Test. Signifikanzniveau $\alpha=0,05$. *=signifikant.

Elektrode Nummer		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Position in Grad		-90	-77	-64	-51	-39	-26	-13	0	13	26	39	51	64	77	90
H-Test:	p	,016*	,056	,118	,795	,730	,257	,627	,443	,576	,843	,342	,661	,759	,328	,218
RHG N+, RHG N-, NK	χ^2	8,299	5,767	4,279	0,459	0,630	2,719	0,933	1,630	1,105	0,342	2,145	0,828	0,551	2,232	3,048
U-Test: RHG N+, RHG N-	p	,021*	,105	,234	,505	,878	,161	,779	,343	,382	,721	,234	,645	,959	,234	,195
U-Test: RHG N+, NK	p	,007*	,026*	,033*	,657	,657	,600	,573	,284	,492	,657	,206	,442	,545	,206	,109
U-Test: RHG N-, NK	p	,778	,395	,657	,968	,395	,206	,364	,867	,657	,717	,968	,657	,600	,904	,717

Tabelle 7 Signifikanzprüfung der Mittelwerte abweichender Reaktionen vorne minus hinten bei den verschiedenen Gruppen mit dem Vorzeichenrangtest von Wilcoxon. Signifikanzniveau $\alpha=0,05$. *=signifikant.

Elektrode Nummer		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Position in Grad		-90	-77	-64	-51	-39	-26	-13	0	13	26	39	51	64	77	90
Wilcoxon-Test: RHG N+	p	,484	,401	,889	,674	,674	,091	,944	,893	,779	,866	,889	,866	,263	,012*	,017*
Wilcoxon-Test: RHG N-	p	,012*	,012*	,115	1,000	,093	,036*	,271	,735	,206	,575	1,000	,484	,441	,293	,042*
Wilcoxon-Test: NK	p	,003*	,003*	,003*	,014*	,005*	,009*	,047*	,050*	,058	,689	,824	,169	,059	,011*	,003*

5 Diskussion

5.1 Ziel der Arbeit

Die vorliegende Studie wurde durch die Arbeit von Vallar et al. (1995) angestoßen, die den vorderen und den rückwärtigen Raum im Bereich des Hörsinns bei Neglect-Patienten untersuchten. Da die überwältigende Mehrheit der Arbeiten zum Neglect-Syndrom sich mit der visuellen Modalität beschäftigt, gibt es zu den Auswirkungen von Neglect auf die taktile Modalität kaum Untersuchungen. Es bleibt die Frage: Wie schätzen Neglect-Patienten den rückwärtigen Raum im Bereich des Tastsinns ein? Studien dazu gibt es bislang nicht. Deshalb wurde mit dieser Arbeit Neuland betreten. Viele Entscheidungen mussten getroffen werden, über die in anderen Arbeiten so nicht entschieden werden musste, weil vorherige Studien den Weg bereits gegangen waren.

5.2 Vaskuläre Risikofaktoren

Bei allen Patienten, ganz gleich ob mit oder ohne Neglect, handelt es sich aller Wahrscheinlichkeit nach um Personen mit anderen körperlichen Voraussetzungen als bei Gesunden. Womöglich bestehen ein oder mehrere vaskuläre Risikofaktoren, wie z.B. Diabetes, Rauchen oder Übergewicht. Es ist bekannt, dass diabetische Neuropathie die Sensibilität am Rumpf vermindern kann (Mackel, 1989; Lauria et al., 1998). Darüber hinaus könnten dickere Fettschichten am Rumpf durchaus in einer veränderten Wahrnehmung der elektrischen Reize resultieren. Da die Fettschichten üblicherweise vorne stärker sind als hinten, müsste dies in einer größeren Ungenauigkeit im vorderen Halbraum resultieren. Die Daten stützen diese Befürchtungen allerdings nicht: Zwischen den Neglect-Patienten und den Gesunden zeigen sich vorne nur linksseitig Unterschiede. Würden sich Veränderungen auf diabetische Neuropathie oder stärkere Fettschichten am Rumpf der Patienten zurückführen lassen, müssten sich beidseitige Unterschiede zeigen. Deshalb spielt das Argument geringerer taktiler Sensibilität wegen lokaler Besonderheiten am Rumpf der Patienten keine erkennbare Rolle. Dennoch sollten bei einer Folgestudie Informationen über Gewicht, Körpergröße und Rauchen sowie Begleiterkrankungen wie Diabetes mit erfasst werden.

5.3 Die drei Stichproben

Statistisch unterscheiden sich die beiden Patientengruppen weder hinsichtlich des Alters noch der Zeit seit ihrer Hirnschädigung. Abgesehen von den Neglect-Tests ist allerdings nicht die Schwere der Erkrankung erfasst worden, beispielsweise durch Information darüber, ob der Patient mobil oder zur selbständigen Körperpflege imstande ist. Ein Maß, das diese Anforderungen erfüllt, ist z.B. der Barthel-Index (Masur, 1995). Damit wäre ein weiteres Kriterium zur Beschreibung der Stichproben verfügbar gewesen, anhand dessen man Unterschiede hätte erkennen können.

Die gesunde Kontrollgruppe ist signifikant jünger als die Gruppe der Neglect-Patienten. Es ist dem Verfasser nicht gelungen, eine ausreichende Anzahl von Teilnehmern in der siebten oder achten Lebensdekade zu rekrutieren. Daraus erwächst ein Argument, das bei der Interpretation der Ergebnisse Gewicht erhält: Es ist theoretisch möglich, dass sich die Unterschiede zwischen den Gruppen RHG N+ und NK allein auf das jüngere Alter der Gesunden zurückführen lassen. Allerdings reicht das zur Erklärung von Halbseiten-Phänomenen nicht aus.

5.4 Differenzierung zwischen Probandengruppen

Die Differenzierung zwischen Hirngeschädigten mit Neglect und solchen ohne war problematisch. Weil Neglect ein Phänomen ist, das sich nicht nur in verschiedenen Sinnesgebieten, sondern auch innerhalb dieser in unterschiedlichen Symptomen zeigen kann, werden üblicherweise zur Diagnostik mehrere Tests eingesetzt (Bailey et al., 2000; Ferber und Karnath, 2001a; Lezak et al., 2004). Einen einheitlichen, allgemein anerkannten Standard zur Diagnostik aller verschiedenen Aspekte des Neglect-Phänomens gibt es nicht. Deshalb kamen auch in der vorliegenden Arbeit mehrere Tests zum Einsatz: Die Patienten sollten Linien halbieren, eine Uhr zeichnen, Buchstaben suchen, einen Text vorlesen sowie verschiedene Materialien ertasten und benennen. Entgegen der Erwartung überschritten auch viele Patienten in den Tests die cut-off Werte, die vorher gar nicht mit Neglect-Symptomen aufgefallen waren. Entsprechend gestaltete es sich schwierig, die Patienten in zwei Gruppen aufzuteilen, und es wurde die Entscheidung getroffen, in die Gruppe RHG N- auch solche Patienten aufzunehmen, die in *einem* der Screening-Tests auffällig gewesen waren. Dieses Vorgehen könnte theoretisch zu einer Verwässerung der Teilung der Patientengruppen und in Folge

dessen zu einer Abschwächung einer Gruppendifferenzierung in der neurophysiologischen Aufgabe geführt haben. Auf jeden Fall hat diese Vorgehensweise zu einer Abnahme der Probandenzahl insgesamt geführt, da vier Patienten mit Auffälligkeiten in zwei von fünf Tests ausgeschlossen wurden.

5.5 Elektrische Reize auf der Haut

Die Impulsbreite der elektrischen Reize war in der vorliegenden Studie zwar mit 0,1 Millisekunden deutlich schmaler als in der Arbeit von Davey et al. (2001), so dass die dort ermittelte Schwelle von 2 Milliampère von den meisten Probanden der vorliegenden Arbeit nicht wahrgenommen worden wäre. Allerdings hatten die beiden Probedurchgänge nicht zuletzt den Zweck sicherzustellen, dass die Reize überschwellig waren. Bei unilateraler Stimulation wurden erfahrungsgemäß Reize von ≥ 5 mA von den meisten Teilnehmern wahrgenommen, links wie rechts. Teilnehmer, die Reize von 13 mA (linksseitig) noch nicht oder nicht zuverlässig spürten, wurden von der Teilnahme ausgeschlossen. Deshalb kann der Einwand zuverlässig entkräftet werden, dass Reize ausgelassen worden sind, weil sie die notwendige Wahrnehmungsschwelle nicht erreicht hatten.

5.6 Warum wurden von der Gruppe der Neglect-Patienten links mehr Auslassungen gemacht?

Die wichtigste und plausibelste Erklärung für das vermehrte Ausbleiben einer Reaktion bei linksseitiger Stimulation in der Gruppe RHG N+ ist natürlich der Neglect selber. Schließlich wird er dadurch definiert, dass linksseitige Reize nicht, nicht so stark oder nicht so zuverlässig wahrgenommen werden wie rechtsseitige.

Es gibt allerdings weitere Erklärungen für die gehäuften linksseitigen Auslassungen durch Neglect-Patienten beim neurophysiologischen Teil: Zum einen war die eingeräumte Reaktionszeit von acht Sekunden manchmal nicht ausreichend lang. Da viele Patienten verlangsamt agierten, erfolgte manchmal eine Reaktion nach mehr als acht Sekunden, wurde dann jedoch nicht mehr aufgezeichnet. Zum anderen war bei vielen Patienten linksseitig eine unterschiedlich stark verminderte Reaktion auf taktile Reize erkennbar. Ob eine solche linksseitige Hemihypästhesie eine besonders schwere Ausprägung des Neglects oder eine vom Neglect unabhängige Störung war, konnte im konkreten Fall meist nicht weiter differenziert werden. Bei starker Ausprägung des Phä-

nomens führte dies regelmäßig zum Ausschluss der betreffenden Person. Dabei ist durchaus klar, dass damit paradoxerweise womöglich die interessantesten, weil am stärksten betroffenen Patienten ausgeschlossen wurden.

5.7 Auswahl der Probanden

Somit stellt sich die Frage, ob zu einer Studie des taktilen Neglects nur Versuchspersonen mit *taktiler* Vernachlässigung zugelassen werden sollten, oder ob die Probanden auch in anderen Modalitäten Vernachlässigung zeigen dürfen. Das besondere Problem bei der verwendeten Methode war, dass es viele Patienten gab, die linksseitig die elektrischen Reize gar nicht spürten. Guiseppe Vallar und Mitarbeiter entwickelten Methoden, um zwischen Hemihypästhesie als Phänomen einer primär gestörten Sensibilität und taktil sensiblem Neglect als Phänomen einer gestörten Awareness zu unterscheiden. Es gelang ihnen, mittels Messung der Hautleitfähigkeit (Vallar et al., 1991a) sowie mittels evozierten Potentialen (Vallar et al., 1991b) zwischen den beiden Phänomenen zu differenzieren. Der Einsatz dieser Methoden in der vorliegenden Studie hätte allerdings den ohnehin schon großen zeitlichen und personellen Rahmen gesprengt. Somit blieb unklar, welches Phänomen im Vordergrund stand, wenn Patienten linksseitige Reize nicht oder nur deutlich schwächer wahrnahmen. Dennoch könnten die Messung der Hautleitfähigkeit und/oder evozierte Potentiale in zukünftigen Studien eingesetzt werden, um die vorhandene Methode zur lokalen Prüfung taktiler Sensibilität bei Gruppen von Patienten mit primär taktil-sensiblem Neglect zu ergänzen. In diesem Zusammenhang wäre auch die Fragestellung interessant, ob sich bei ausschließlicher Auswertung rechtsseitiger taktiler Reize Unterschiede zwischen verschiedenen Gruppen mit und ohne Neglect zeigen. Bei einem solchen Design könnte ein Gutteil der Patienten, die bei der vorliegenden Studie ausgeschlossen werden mussten, mit einbezogen werden.

5.8 Die Schätzfehler der Probanden

5.8.1 Zerlegung der geforderten Handlungen in Einzelkomponenten

Die Aufgabe der Versuchspersonen lässt sich bei näherer Betrachtung in verschiedene Komponenten zerlegen: Zunächst musste der elektrische Reiz gefühlt, danach lokalisiert werden. Alsdann war eine Übertragung der taktilen Lokalisation in eine visuelle

Vorstellung notwendig. Anhand dieser kann eine motorische Reaktion des Arms geplant und ausgeführt werden. Im Folgenden sollen diese Elemente einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

5.8.1.1 Wahrnehmung taktiler Reize

Es gibt bislang nur wenige Untersuchungen, die sich mit der Wirkung von Hirnschädigungen auf die Wahrnehmung taktil sensibler Reize beschäftigen.

Corkin et al. (1970) untersuchten 127 Patienten mit Hirnschädigungen unterschiedlichster Lokalisation und Ätiologie sowie 20 gesunde Kontrollprobanden. Bei allen wurde sukzessive auf beiden Händen Druck-Sensibilität, Zwei-Punkt Diskrimination, Punktlokalisierung, Raum-Lage-Sinn und taktile Objekterkennung geprüft. Bei Läsionen der postzentralen Handrepräsentationsregion zeigte sich ein schwerer und andauernder Verlust der Sensibilität der kontralateralen Hand. Läsionen des Parietallappens, bei denen die Postzentralregion nachweislich nicht betroffen war, verursachten hingegen nur eine vorübergehende Sensibilitätsstörung, wenn überhaupt. Läsionen der Präzentralregion oder anderer als der genannten Gebiete waren selten mit sensiblen Störungen der Hände assoziiert. Darüber hinaus war kein Unterschied zwischen links- und rechtsseitigen Schädigungen erkennbar. In die Patientengruppe dieser Studie waren allerdings auch Personen mit beidseitigen Hirnschädigungen sowie langjährig geschädigte Personen aufgenommen worden; die Möglichkeit von Restitutionsprozessen sowie hemmender oder verstärkender Einflüsse von ein- oder beidseitigen Schädigungen wurden nicht ernsthaft kontrolliert.

Einen Hinweis darauf, dass linksseitige Hemihypästhesie nicht immer ausschließlich ein sensorisches Phänomen ist, fanden Vallar und Mitarbeiter in Studien mit links- und rechtshemisphäriell geschädigten Patienten (Vallar et al., 1990; Vallar et al., 1993). Sie prüften deren taktile Sensibilität durch Berührungen ihres Handrückens vor, direkt anschließend und eine halbe Stunde nach der kalorischen Stimulation des linken Gehörgangs mit kaltem Wasser. Dabei stellten sie bei allen rechtshemisphäriell Geschädigten direkt im Anschluss an die linksseitige kalorische vestibuläre Stimulation eine Verbesserung der taktilen Sensibilität der linken Hand fest; die kalorische Stimulation des rechten Gehörgangs mit Eiswasser führte allerdings bei linksseitig Geschädigten mit rechtsseitiger Hemihypästhesie nicht zu einem vergleichbaren Effekt. In einem weiteren Expe-

riment prüften Vallar et al. (1991) bei drei rechtshemisphäriell geschädigten Neglect-Patienten mittels Messung der Hautleitfähigkeit, ob linksseitig physiologische Reaktionen ohne Bewusstwerdung vorhanden waren. Sie fanden, dass linksseitig 54% der Stimuli eine Veränderung der Hautleitfähigkeit hervorriefen, obwohl die Patienten keine verbale Reaktion auf sie zeigten, verglichen mit 14% auf der rechten Seite. Daraus schlossen Vallar et al. (1991), dass linksseitig eine somatosensorische Verarbeitung stattgefunden haben musste, was der These widerspricht, dass die linksseitige Hemihypästhesie dieses Patienten ausschließlich ein primär sensorisches Defizit ist.

Diese Daten wurden von Vallar und Mitarbeitern so gedeutet, dass die Hemihypästhesie nicht nur durch eine Störung der primär sensorischen Reizverarbeitung, sondern auch durch eine Störung der Aufmerksamkeitsverarbeitung verursacht sein könnte. Die Autoren nehmen an, dass eine Reaktion dieser Art auf einer frühen, vorbewussten Stufe somatosensibler Verarbeitung stattgefunden hat, auf einer Stufe der "Verarbeitung ohne Bewusstwerdung". Diese Beobachtungen sprechen darüber hinaus nach Meinung von Vallar et al. (1991) für eine hemisphärielle Asymmetrie im Bereich taktiler Aufmerksamkeit mit rechtshemisphärieller Spezialisierung sowie einer möglichen Aufmerksamkeitskomponente bei linksseitiger Hemihypästhesie nach rechtshemisphäriellen Schädigungen. Hemihypästhesie könne bei Neglect-Patienten als Teil der Symptomatik des Neglects gesehen werden. Bottini et al. (2005) fanden darüber hinaus bei Patienten mit linkshemisphärieller Schädigung, dass eine linksseitige kalte kalorische Stimulation überraschenderweise zur vorübergehenden Reduzierung einer rechtsseitigen Hemihypästhesie führte. Die Abmilderung sowohl links- als auch rechtsseitiger Hemihypästhesie durch linksseitige kalorische Stimulation widerspricht der Vermutung, dass es sich um einen Cueing-Effekt handeln könnte, bei dem einfach nur kurzzeitig die Aufmerksamkeit auf die stimulierte Körperseite gerichtet wird. Nach Bottini et al. (2005, S. 1282) stützt dieser Befund grundsätzlich die Annahme, dass die rechte Hemisphäre die Fähigkeit besitzt, die somatosensorische Aufmerksamkeit oder Repräsentation der gesamten, links- wie rechtsseitigen Körperoberfläche zu steuern.

Es erscheint prinzipiell möglich, dass auch eine Veränderung der Wahrnehmung taktiler Reize Teil des Phänomens Neglect ist. Einen Hinweis darauf war bei der vorliegenden Arbeit in der Phase der Datenerhebung erkennbar, in der viele Patienten linksseitig

eine so starke Wahrnehmungsstörung aufwiesen, dass sie die elektrischen Reize gar nicht oder nicht ausreichend bewusst spürten oder zumindest nicht darauf reagierten. Patienten, bei denen dies vorab erkennbar war, wurden von der Teilnahme ausgeschlossen. Allerdings ist in der Gruppe der Neglect-Patienten nach wie vor eine deutlich höhere Rate von Auslassungen nach linksseitigen im Vergleich zu rechtsseitigen Reizen erkennbar. Nun kann man speziell vor dem Hintergrund der oben angeführten Arbeiten von Vallar und Mitarbeitern (1991, 1992) einwenden, dass damit gerade die Patienten ausgeschlossen wurden, die womöglich den stärksten taktil sensiblen Neglect gezeigt haben. Dieses Problem konnte mit der gewählten Methode nicht gelöst werden, da für die geforderte Reaktion – der Betätigung einer von fünfzehn Tasten – eine bewusste Entscheidung erforderlich war.

5.8.1.2 Lokalisierung taktiler Reize

Eine weitere Frage ist die räumliche Auflösung der Hautgebiete am Rumpf der Probanden. Schiavetto et al. (1993) und Davey et al. (2001) hatten in diesem Gebiet zwei-Punkt-Schwellen von 31 bis 35 mm ermittelt. Allerdings wurde die Taille der Versuchspersonen nicht gemessen. Angenommen, der Rumpfumfang der Probanden hätte 90 cm betragen, und man würde wegen der halbseitigen Prüfung dieses Maß durch zwei teilen, dann könnte bei 15 Elektroden (mit 14 Zwischenräumen) ein Abstand von 32 mm zwischen den Elektroden durchaus realistisch sein. Auf jeden Fall hätten bei schlanken Personen die Elektroden einen geringeren Abstand gehabt und so die ermittelte zwei-Punkt-Schwelle unterschritten. War es bei diesen Voraussetzungen überhaupt möglich, die Reize wie gefordert genau zu lokalisieren?

Die zwei-Punkt-Schwelle wird durch simultane Stimulation zweier benachbarter Hautareale bestimmt. Im vorliegenden Versuch wurde jedoch nicht simultan stimuliert, sondern sequentiell. Es ging nicht darum zu differenzieren, ob es sich um ein oder zwei taktile Reize handelte, sondern die Lokalität von einem Reiz sollte bestimmt werden. Sicherlich ist die Aufgabe in dieser Körperregion schwierig, und Fehler sind zu erwarten. Es wurde jedoch angenommen, dass die Probanden in ihrer Schätzung um die wahre Lokalität schwanken würden. Deshalb wurden pro Elektrode 10 Trials durchgeführt, damit sich die Fehler durch Schwankung um den wahren Wert gegenseitig egalieren würden. Wie die Ergebnisse der gesunden Kontrollgruppe zeigen, ist diese An-

nahme jedoch an den meisten Positionen so nicht haltbar (siehe Abbildung 21 und Abbildung 22). An der Mehrzahl der Reizpositionen, gleich ob im vorderen oder im rückwärtigen Halbraum, zeigt auch die Gruppe NK Abweichungen, die deutlich von 0 verschieden sind. Die Erwartung, dass sich die Schätzfehler an der Mehrzahl der einzelnen Reizpositionen gegenseitig aufheben würden, hat sich somit nicht bestätigt. Dies unterstreicht die Schwierigkeit der geforderten Aufgabe.

5.8.1.3 Übertragung der taktilen Wahrnehmung in eine visuelle Vorstellung

Außer dem taktilen Input war es den Versuchspersonen nicht möglich, durch andere Sinneskanäle Information über den Reiz zu erhalten. Weder gab ein Blick auf die Elektroden preis, welche gerade reizte, noch wurde vom Untersucher mitgeteilt, um welche Elektrode es sich gerade handelte. Aus diesem Grund wird angenommen, dass die Wahrnehmung der taktilen Reize in eine visuell-räumliche Vorstellung transformiert werden musste. Dies war notwendig, um zu entscheiden, welche Taste der Position des gereizten Hautareals entsprach und deshalb betätigt werden musste. Die nachfolgende Reaktion der Probanden geschah zwar motorisch. Da der Versuch im Hellen stattfand, erfolgte die motorische Reaktion allerdings unter visueller Kontrolle. Insofern wird davon ausgegangen, dass mindestens drei Sinnesgebiete an der Ausführung der Reaktion beteiligt waren: Sehsinn, Tastsinn und Raumlagesinn. Vor diesem Hintergrund ist klar, dass die Reaktion multimodal gesteuert werden musste.

5.8.1.4 Planung der motorischen Reaktion

In ihrer Überblicksarbeit diskutieren Coulthard und Mitarbeiter (2006) verschiedene Elemente motorischer Aktionen. Ein Aspekt dabei ist die Bewegungsinitiierung. Von verschiedenen Autoren wurde mehrfach bei Neglect-Patienten eine direktionale Hypokinesie beobachtet, eine verlängerte Reaktionszeit vor Bewegungen in die kontraläsionale Richtung (z.B. Heilman et al., 1985; Tegnér und Levander, 1991; Mattingley et al., 1992). Sie zeigte sich bei Bewegungen, die von rechts nach links ausgeführt werden sollten, und zwar nicht nur, wenn die Überschreitung der Mittellinie erforderlich war, sondern auch bei Bewegungen innerhalb des rechten Halbraums. Die Arbeitsgruppe um Mattingley (Mattingley et al., 1998; Husain et al., 2000) ließ Neglect-Patienten von einer rechten, mittigen und linken Startposition Bewegungen initiieren. Bei diesen Patienten verstrich mehr Zeit, bevor sie eine Bewegung von der rechten in die linke Raum-

hälfte begannen, als wenn die Bewegung die rechte Raumhälfte zum Ziel hatte. Es fiel allerdings auf, dass Bewegungen auch innerhalb der linken Raumhälfte deutlich schneller begonnen wurden, wenn sie rechtsgerichtet waren. In den beiden genannten Arbeiten zeigte sich zudem auch ein Unterschied zwischen Neglect-Patienten mit rechts-parietaler und solchen mit rechts-frontaler Lokalisation. Frontal-geschädigte Patienten initiierten Bewegungen innerhalb des linken Halbraums langsamer, und zwar unabhängig davon, ob sie dabei Bewegungen nach links oder nach rechts ausführen mussten. Weil sich dies nicht einfach mit einer Veränderung gerichteter Bewegungen erklären lässt, sondern ein verändertes Verhalten in einem bestimmten Raumabschnitt offenbart, unterscheiden Coulthard et al. (2006, S. 2720) deshalb zwischen einem *direktionalen* und einem *räumlichen* motorischen Defizit bei Neglect-Patienten. Da sich direktionale Hypokinesie nur bei Neglect-Patienten, nicht aber bei Schlaganfallpatienten ohne Neglect zeigte, wurde geschlussfolgert, dass es sich dabei um ein Neglect-Phänomen handeln muss.

Bartolomeo et al. (1998, 2001) konnten eine direktionale Hypokinesie bei ihren Untersuchungen nicht grundsätzlich bestätigen: Rechtshemisphäriell geschädigte Neglect-Patienten reagierten zwar auf linksseitige Reize langsamer, führten nach links gerichtete Bewegungen jedoch nicht langsamer aus als nach rechts gerichtete. Linkshemisphäriell geschädigte Neglect-Patienten wiederum reagierten bei Bartolomeo und Mitarbeitern langsamer auf rechtsseitige Reize und führten zudem nach rechts gerichtete Bewegungen langsamer aus als nach links gerichtete.

Letztendlich ist jedoch die Reaktionszeit bei der hier verwendeten Aufgabe unerheblich; es interessiert im Kontext des vorliegenden Experiments lediglich, in welcher Weise die verschiedenen Gruppen reagiert haben und nicht, wie schnell. Allerdings ist die Geschwindigkeit, mit der die geforderten Handlungen ausgeführt wurden, ein Faktor, der zu verspäteten Reaktionen bei linksseitigen Reizen geführt hat, da diese 8 Sekunden nach Beginn der Stimulation nicht mehr erfasst wurden.

5.8.1.5 Ausführung der Bewegung

Eine mögliche Einflussgröße ist die motorische Ausführung der Probandenreaktion. Es ist denkbar, dass sich die Neglect-Patienten von den Gesunden und der Patientengrup-

pe ohne Neglect bei der Ausführung der Bewegung unterscheiden, die jeweils zum Tastendruck führte. Hierzu werden einige Studien referiert:

Goodale et al. (1990) untersuchten eine Gruppe von rechtshemisphäriell Geschädigten und eine Gruppe Gesunder. Die Hirngeschädigten hatten früher alle eine Neglect-Symptomatik gehabt, waren davon jedoch soweit genesen, dass sie in gängigen Neglect-Tests nicht mehr auffielen. Beide Gruppen absolvierten eine erste Aufgabe, in der sie auf eine von fünf LEDs (Licht emittierende Dioden) zeigen sollten, und eine zweite, wo sie in die Mitte zwischen zwei aufleuchtenden LEDs zu deuten hatten. Die wahren Mittelpunkte bei dieser Halbierungsaufgabe entsprachen dabei der Position der LEDs bei der ersten Aufgabe. Die Analyse der Zeigebewegungen ergab zweierlei: Zum einen unterschieden sich die Patienten- und die Kontrollgruppe bei der reinen Zeigaufgabe nicht. Im Gegensatz dazu wichen die rechtshemisphäriell Geschädigten in der Halbierungsbedingung signifikant nach rechts ab. Und nicht nur das: Eine Analyse der dreidimensional aufgezeichneten Bewegungsmuster offenbarte bei der Patientengruppe eine Abweichung nach rechts, speziell zu Beginn der Bewegungen. Diese wurde in der Zeigebedingung noch korrigiert, gelang jedoch in der Halbierungsbedingung signifikant schlechter. Goodale und Mitarbeiter (1990) deuten dies als Ausdruck eines anhaltenden Neglects. Allerdings ist ihnen auch nicht klar, warum die Patienten ihre abweichende Bewegung beim reinen Zeigen korrigieren können, nicht jedoch bei der Halbierungsanforderung. Spekulativ werden Übungseffekte aus dem Alltag genannt, z.B. Greifen nach kleinen Gegenständen. Es könne jedoch auch sein, dass die abweichenden Bewegungen unbedingte Folge einer verzerrten Raumrepräsentation seien.

Die Studie von Goodale et al. (1990) wurde von Harvey et al. (1994) mit einer Gruppe rechts- und einer Gruppe linkshemisphäriell Geschädigter sowie einer gesunden Kontrollgruppe repliziert. Die Versuchspersonen sollten ebenfalls eine Zeigaufgabe sowie einer Halbierungsaufgabe ausführen, diesmal allerdings zusätzlich im Hellen und im Dunkeln, also auch ohne visuelles Feedback. Die rechtshemisphäriell Hirngeschädigten zeigten bei beiden Aufgaben signifikante Abweichungen nach rechts, allerdings nur im Dunkeln. Die Abweichungen betrafen sowohl die Zeigebewegungen als auch die gezeigte Stelle und waren bei Personen, die mit beiden Armen zeigen konnten, unabhängig vom eingesetzten Arm. Eine Abweichung lediglich bei der Halbierungsaufgabe,

nicht aber bei der reinen Zeigebedingung, wie sie von Goodale et al. (1990) gefunden worden war, war nicht erkennbar. Im Grunde wurde auch die Abweichung bei der Halbierungsbedingung nicht repliziert, da in der Arbeit der Gruppe um Goodale (1990) alle Aufgaben im Hellen durchgeführt worden waren – hier zeigte sich wiederum bei Harvey und Koautoren kein Effekt. Die Ergebnisse werden von Harvey et al. (1994, S. 349) vorsichtig als möglicher Einfluss eines ‚premotor bias‘ bei der Steuerung von Bewegungen gedeutet, dessen störende Einwirkung ganz besonders bei Neglect zur Geltung komme. Der ‚premotor bias‘, bei dem es sich um nichts anderes handelt als um direktionale Hypokinesie, ziehe Aufmerksamkeit von der kontraläsionalen Hemisphäre ab. Alternativ könnte eine visuo-motorische Störung des egozentrischen Koordinatensystems wirksam sein, etwa in Form einer schwach ausgeprägten optischen Ataxie.

Chokron und Bartolomeo (1997) untersuchten eine kleine Gruppe von sechs rechtshemisphäriell Geschädigten. Drei davon zeigten Neglect-Symptome. Zusätzlich wurden acht neurologisch unauffällige Kontrollprobanden untersucht. Alle Teilnehmer sollten mit dem rechten Arm ihr subjektives Geradeaus zeigen, und zwar ausgehend von jeweils zwei Startpositionen links und rechts. Allen waren dabei die Augen verbunden. Die beiden Forscher fanden eine signifikante Abhängigkeit der Zeigerichtung vom Startpunkt der Bewegung: Begann die Bewegung rechts, tendierte die Zeigerichtung ebenfalls nach rechts; begann die Bewegung links, fiel die Abweichung nach rechts geringer aus.

Karnath et al. (1997) untersuchten die Greifbewegungen von rechtshemisphäriell geschädigten Neglect-Patienten, rechtshemisphäriell Geschädigten ohne Neglect und einer gesunden Kontrollgruppe. Alle Versuchspersonen sollten von einem definierten Startpunkt aus auf eine von drei LEDs zeigen, die links, mittig oder rechts auf Augenhöhe aufleuchtete. Der Versuch wurde sowohl bei Licht als auch bei Dunkelheit durchgeführt. Die Aufzeichnungen der Handbewegungen ergaben keine signifikanten Unterschiede der Bewegungsmuster zwischen den Gruppen. Auch konnten bei der Neglect-Gruppe keine verstärkten Such- und Ausgleichsbewegungen gefunden werden.

Besonders durchdacht gingen Jackson et al. (2000) bei ihrer Arbeit vor. Sie verglichen eine kleine Gruppe von drei rechtshemisphäriell geschädigten Neglect-Patienten, wovon bei einem kein Neglect mehr nachweisbar war, mit sechs gesunden Kontrollpro-

banden. Von einem definierten Startpunkt aus sollten alle Probanden mit dem rechten Arm auf Punkte in der linken und rechten Raumhälfte zeigen. Dabei gab es drei Bedingungen: In der Bedingung „visuell/visuell“ (VV) waren bei der Suche sowohl der Zielpunkt als auch die Arme sichtbar. Der linke Arm wurde neben die Zielregion gelegt und lieferte deshalb keine Information über deren Lage. In der Bedingung „visuell/propriozeptiv“ (VP) war der Zielpunkt abgedeckt. Die Information über dessen Lokalität erhielten alle Versuchspersonen propriozeptiv durch den Zeigefinger des ebenfalls verdeckten linken Arms, der auf der Tafel unter dem Zielpunkt platziert worden war. Alle Versuchspersonen sollten nun mit dem sichtbaren rechten Zeigefinger auf den Zielpunkt zeigen. In der dritten Bedingung „propriozeptiv/propriozeptiv“ (PP) waren die Bedingungen so wie in „VP“, außer dass den Probanden zusätzlich die Augen verbunden waren, so dass sie bei der Zeigebewegung auf visuelle Information vollkommen verzichten mussten. Die Genauigkeit der gezeigten Punkte war in der Patientengruppe unter allen drei Bedingungen vergleichbar mit der Kontrollgruppe. Die Analyse der Bewegungsmuster („Kurvatur“) offenbarte jedoch in der Bedingung „VP“ und noch stärker in der Bedingung „VV“ signifikante Unterschiede zu den Bewegungsmustern der Kontrollprobanden: Wenn die Patienten ihren rechten Arm bzw. zusätzlich das Ziel sehen konnte, machten sie ausholendere Bewegungen, als wenn sie auf visuelle Information nicht zurückgreifen konnten. Die Kurvatur der Kontrollprobanden hingegen unterschied sich in den drei Bedingungen nicht. Nach Jackson et al. (2000) sprechen diese Befunde dagegen, dass Bewegungen ausschließlich auf einer intrinsischen Ebene von Muskel- und Gelenkkoordinaten geplant werden. Vielmehr müsse bei der Bewegungssteuerung auch visuelle Information eine Rolle spielen; da die visuelle Repräsentation bei Neglect verzerrt sei, komme es zu unterschiedlichen Bewegungsmustern.

Hinsichtlich Größenschätzung und Greifbewegungen untersuchten McIntosh et al., (2001) neben Neglect-Patienten auch rechtshemisphäriell Geschädigte ohne Neglect und Gesunde. Die Stimuli bestanden aus Chips unterschiedlicher Größe; in der einen Bedingung sollte deren Größe durch Bewegungen von Daumen und Zeigefinger der rechten Hand geschätzt werden, in der anderen sollten sie auch danach greifen. Die Stimuli wurden in beiden Raumhälften präsentiert. Weder bei der Größenschätzung noch beim Greifen nach den Objekten wurden zwischen den Gruppen signifikante

Unterschiede gefunden. Einzig die Bewegungsdauer war bei den Neglect-Patienten länger als bei der Kontrollgruppe.

Coulthard et al. (2006, S. 2722) kommen hinsichtlich Analyse von Bewegungen bei Neglect-Patienten zu folgenden Schlüssen:

- Neglect-Patienten brauchen länger, um Bewegungen in den kontraläsionalen Halbraum zu beginnen. Dieses Phänomen wird als „direktionale Hypokinesie“ bezeichnet.
- Es ist möglich, dass auch die Zeit, die Neglect-Patienten für die Ausführung ihrer Bewegungen brauchen, verändert ist.
- Bei der bei manchen rechtshemisphäriell geschädigten Personen gefundenen Abweichungen der Bewegung nach rechts besteht möglicherweise ein Einfluss der Läsionslokalisation: Patienten mit Schädigungen des Frontallappens verhalten sich anders als solche mit Schädigungen des Parietallappens. Speziell dieser Aspekt sei bislang in Studien ungenügend berücksichtigt worden. In den Studiendesigns werden Neglect-Patienten unterschiedlichster Schädigungsorte zusammengefasst und mit anderen rechtshemisphäriell Geschädigten ohne Neglect sowie linkshemisphäriell Geschädigten und gesunden Personen verglichen. Nach Coulthard et al. (2006) ist es jedoch notwendig, bei Studien zum Greifverhalten zukünftig die Neglect-Patienten nach Läsionslokalisationen aufzuteilen, um einen Erkenntnisgewinn zu erlangen.

Was bedeuten nun die referierten Befunde für die vorliegende Arbeit?

Im vorderen linken Halbraum finden sich in der Gruppe der Neglect-Patienten, bis auf die Position -13 Grad, signifikant mehr Abweichungen als bei den anderen beiden Gruppen (vgl. Abbildung 21). Bei den drei äußersten Elektroden, sowohl links als auch rechtsseitig, muss man ein Berechnungsartefakt mit einkalkulieren. Die Tastenbedienungen an diesen Positionen können nicht so frei um eine Position schwanken wie im mittleren Raum, weil die Untersuchung eben nur einen Bereich von 180 Grad erfasste, der dort seine Grenze hatte. Zwei Dinge sind allerdings bemerkenswert:

- Während zwischen -64 bis -90 Grad die Abweichungen der Gruppen NK und RHG N- mit maximal 11 Grad geringfügig vom optimalen Wert abweichen, ist die Abweichung der Gruppe RHG N+ dort mit maximal 45 Grad erheblich höher.
- Wollte man die Abweichung in der äußeren Exzentrizität vorne links vorwiegend mit einem Messartefakt erklären, dann sollte man dieses Artefakt auch in der äußeren Exzentrizität vorne rechts finden. Das ist aber nicht der Fall: An den Positionen +64 bis +90 Grad ist bei den Gruppen RHG N- und NK eine maximale Abweichung von 8 Grad und bei der Gruppe RHG N+ von 17 Grad erkennbar. Während die Abweichung der Gruppen NK und RHG N- somit rechtsseitig etwa gleich stark ist wie linksseitig, liegt sie bei der Gruppe RHG N+ deutlich unter dem Niveau der linksseitigen Abweichung. Zudem ist lediglich in der rechten Hüfte bei Position +90 Grad die Abweichung in der Gruppe der Neglect-Patienten signifikant von den anderen beiden Gruppen verschieden, nicht aber bei den im Vergleich zur linken Seite analogen Positionen +77 und +64 Grad.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es bei den Reaktionen der Neglect-Patienten vorne links zu Abweichungen kommt, die sich vorne rechts nicht finden lassen. Im vorderen Halbraum erstreckt sich diese unterschiedliche Reaktionsweise von der Mitte an fast auf die gesamte linke Seite. Die Deklaration dieses Phänomens als reines Messartefakt reicht zur Erklärung nicht aus.

In der vorliegenden Studie wurde weder die benutzte Hand kontrolliert, noch deren Startposition. Wer von den Probanden konnte, nutzte für die Tastenbedienung im linken Halbraum auch schon mal den linken Arm. Allein schon wegen der häufig bestehenden linksseitigen Hemiparese nutzten die Neglect-Patienten fast immer den rechten Arm und starteten ihre Bewegung im rechten Halbraum. Chokron und Bartolomeo (1997) wiesen auf den Fehler hin, der sich bei rechtsseitig gestarteten Bewegungen ergeben kann. Zudem sind die Befunde hinsichtlich der Abweichung der Zeigebewegungen bei Neglect-Patienten uneinheitlich. Es ist deshalb denkbar, dass zu den nach rechts abweichenden Einschätzungen im vorderen linken Halbraum in der Gruppe RHG N+ systematische Bewegungsabweichungen beitragen. Dies wäre ein Fehler, der bei der Ausführung der Reaktion erkennbar wird. Es bleibt jedoch die Frage ungeklärt, welcher kognitiver bzw. motorischer Prozess zwischen Beginn der Reizpräsentation

und beendeter Reaktionsausführung für diesen Fehler verantwortlich wäre. Eine Replikation des Versuchs mit mündlicher Angabe des stimulierten Orts durch die Probanden könnte in dieser Frage weiter führen.

5.9 Abweichende Schätzungen

Des Weiteren fällt auf, dass die Fehleinschätzungen bei der Gruppe NK zwischen Position -77 und 0 Grad, also fast im gesamten vorderen linken Halbraum, nach links tendieren. Die in der Gruppe RHG N+ registrierten Fehler sind im genannten Bereich bis auf Position -13 Grad ausnahmslos Abweichungen nach rechts. Die Gruppe RHG N- wiederum verhält sich vorne links weniger einheitlich: In der linken äußeren Exzentrizität gibt es geringe Abweichungen nach rechts, die Elektroden bei -64 und -51 Grad werden sehr genau lokalisiert, und zwischen -39 und -13 Grad tendieren die Schätzungen nach links.

Im vorderen rechten Halbraum hingegen liegen die Reaktionen aller Versuchspersonen nahe beieinander: Im Bereich +13 bis +51 Grad finden sich dezente Abweichungen nach rechts. In der rechten äußeren Exzentrizität sind bei allen Gruppen nach links gerichtete Abweichungen erkennbar, die wegen der geringeren Möglichkeit einer Streuung um die betreffenden Punkte herum als Messartefakte gedeutet werden. Der Vergleich der Schätzungen in der rechten Hüfte (Elektrode bei +90 Grad: Abweichung 18 Grad nach links) mit der in der linken Hüfte (Elektrode bei -90 Grad: Abweichung 45 Grad nach rechts) offenbart nur in der Gruppe RHG N+ eine ungleich große Abweichung. In den Gruppen RHG N- und NK hingegen sind die Abweichungen bei den Reaktionen auf die äußerste linke und die äußerste rechte Elektrode vergleichbar und liegen zwischen ± 4 und ± 11 Grad. Der Verfasser geht deshalb davon aus, dass die Abweichung in der linken Hüfte bei der Gruppe RHG N+ nicht ein reines Messartefakt, sondern eine Manifestation des Neglect-Syndroms ist.

Im hinteren Halbraum ist bei allen Gruppen eine grundsätzlich höhere Variabilität erkennbar, die ihre Extreme allerdings nur in den äußeren Exzentrizitäten zwischen ± 64 und ± 90 Grad hat, links wie rechts. Selbst bei der Gruppe der Gesunden sind hier Abweichungen von der optimalen Position von bis zu 29 Grad zu verzeichnen. Trotz der Tatsache, dass bei vielen Probanden die Elektrode über der Wirbelsäule nicht mit der Haut in Kontakt zu bringen war und somit eine Referenz für die objektive Körpermitte

fehlte, sind die Einschätzungen in allen Gruppen im Mittelbereich zwischen -51 und +51 Grad genauer als im vorderen Halbraum. Was ist der Grund dafür?

Hier hilft womöglich die genaue Betrachtung des Verhaltensmusters der drei Gruppen weiter:

Die Gruppe RHG N+ verhielt sich in beiden Halbräumen im Wesentlichen gleich: Von -90 bis +51 Grad wichen die Schätzungen im Wesentlichen nach rechts ab. Nur in der rechten äußeren Exzentrizität gab es eine Abweichung nach links, die im hinteren Halbraum signifikant stärker ausfiel als im vorderen.

Die Gruppe RHG N- weicht sowohl im Bereich von -90 bis -50 Grad als auch im Bereich von 0 bis 39 Grad nach rechts ab, an den übrigen Positionen finden sich mehr oder weniger starke Abweichungen nach links. Mit Ausnahme der Position -39 Grad finden sich signifikante Unterschiede zwischen dem vorderen und dem hinteren Halbraum nur in den äußeren Exzentrizitäten, die durchweg auf stärkere Abweichungen im hinteren Halbraum zurückzuführen sind.

Die meisten Unterschiede zwischen dem vorderen und dem hinteren Halbraum zeigen sich in der Gruppe der gesunden Kontrollprobanden (NK). Hinten links gibt es im Bereich -90 bis -64 Grad deutliche Abweichungen nach rechts – im Gegensatz dazu fallen im vergleichbaren Bereich vorne die Schätzungen signifikant genauer aus. Dafür gibt es wiederum zwischen -51 und 0 Grad vorne deutliche Abweichungen nach links, die wiederum signifikant stärker ausfallen als im vergleichbaren Bereich des hinteren Halbraums. Darüber hinaus findet sich in der rechten äußeren Exzentrizität bei +77 und +90 Grad im hinteren Halbraum eine signifikant stärkere linksseitige Abweichung als vorne.

Es lässt sich demnach festhalten, dass die Genauigkeit der Einschätzung der taktilen Reize nicht zwangsläufig eine Frage der Gruppenzugehörigkeit ist. Die gesunden Kontrollprobanden haben nicht per se genauere Einschätzungen abgegeben als die beiden Patientenstichproben, und die Neglect-Patienten haben nicht grundsätzlich schlechter geschätzt als die Probanden der Gruppen RHG N- und NK. Wie lassen sich diese Ergebnisse deuten?

Eine Erklärungsmöglichkeit ist die Nutzung der Wirbelsäule als anatomische Orientierungshilfe. Obwohl bei den meisten Probanden im hinteren Halbraum die Elektrode auf der Wirbelsäule nicht zu spüren war, könnte es doch sein, dass sie durch den größeren Abstand der Elektroden bei -13 und +13 Grad davon als eine Art anatomische Trennlinie zwischen links und rechts diente und den Versuchspersonen half, zumindest in der Nähe dieser Linie Reize genauer zu lokalisieren. Jedenfalls vermochte die Gruppe der gesunden Kontrollprobanden im hinteren Halbraum die Reize zwischen 0 und -51 Grad signifikant genauer einzuschätzen als im vorderen. Die Einschätzung des rechtsseitigen Raumes zwischen +13 und +51 Grad war bei allen Gruppen vorne und hinten ohnehin vergleichbar genau. Deshalb bleibt die Frage, warum ein solcher Orientierungspunkt nur für die Einschätzung der linksseitigen Reize von Vorteil gewesen sein soll und nicht auch der rechtsseitigen.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, dass visuelle Kontrolle zu einer Verbesserung der Schätzleistung führt: Theoretisch wäre es denkbar, dass der Blick auf die Elektroden den Teilnehmern geholfen hat, deren Position auf der Haut einzuschätzen. Weil diese Möglichkeit im hinteren Halbraum nicht bestand, hätten die Schätzungen dort ungenauer sein müssen. Dies war jedoch nur in den äußeren Exzentrizitäten so, nicht jedoch in den mittleren Bereichen. Abgesehen davon war bei vielen Probanden der Blick auf die Elektroden an ihrem Bauch durch Kleidung verdeckt. Deshalb werden diese Überlegungen als unplausibel verworfen.

In der Gruppe RHG N+ fällt auf, dass fast alle Schätzungen nach rechts abweichen, bis auf die drei Positionen der rechten äußeren Exzentrizität sowie zwei links von der Mitte bei -13 und -26 Grad, und zwar im vorderen wie im hinteren Halbraum. Es scheint also kaum der Fall gewesen zu sein, dass es bei den Reaktionen im mittleren Bereich eine Schwankung um die wahre Reizposition gegeben hat, sondern fast überall lag die Mehrzahl der Einschätzungen rechts von der korrekten Position. Obwohl die Aufgabe im Hellen stattfand und alle Probanden die Tastatur vor sich sehen konnten, erhielten sie kein Feedback. Weder konnten sie selber sehen, ob ihr Tastendruck zur stimulierten Elektrode passte, noch wurde ihnen vom Verfasser in irgendeiner Weise eine Rückmeldung gegeben. Insofern handelt es sich um ein Paradigma mit eingeschränkter visueller Kontrolle. Deshalb ist es denkbar, dass sich hier der von Harvey et al. (1994) beschrie-

bene ‚premotor bias‘ widerspiegelt und das Handeln der Neglect-Patienten bestimmt hat. Allerdings wurde in der vorliegenden Studie auch nicht, wie von Coulthard et al. (2006) gefordert, hinsichtlich frontaler und parietaler Läsionslokalisationen unterschieden. Dazu wäre eine höhere Probandenzahl notwendig gewesen.

5.10 Der Punkt der subjektiven Gleichheit in den drei Gruppen

Der Punkt der subjektiven Gleichheit liegt im vorderen Halbraum bei den Neglect-Patienten im Mittel bei etwa -12 Grad. Er unterscheidet sich signifikant von dem Ergebnis bei den gesunden Probanden, nicht aber von dem bei den rechtshemisphäriell Geschädigten ohne Neglect. Eine Abweichung nach links bedeutet zunächst einmal, dass die Neglect-Patienten eine größere Anzahl linksseitiger Reize als rechtsseitige eingeschätzt haben als umgekehrt. Nur so kann der Effekt entstehen, dass der Punkt, an dem die Wahrscheinlichkeit für die Einschätzung eines Reizes als links- oder rechtsseitig gleich groß ist, nach links rückt. Für die Neglect-Patienten der vorliegenden Studie war also etwa bei -12 Winkelgrad die Wahrscheinlichkeit gleich groß, dass sie diesen Reiz mit einem linksseitigen oder einem rechtsseitigen Tastendruck quittieren würden. Dieser Effekt ist jedoch nur im vorderen Halbraum erkennbar. Im hinteren Halbraum tendieren bei allen drei Gruppen die Punkte subjektiver Gleichheit minimal nach links, unterscheiden sich jedoch nicht.

5.10.1 Der PSG in der Gruppe RHG N+ im vorderen Halbraum: Ein Messartefakt?

Theoretisch könnte es sich bei dem Effekt im vorderen Halbraum, trotz signifikanter Unterschiede zumindest zwischen zwei Gruppen, um ein Artefakt handeln. Die Patienten könnten zum Beispiel nachlässig gehandelt haben, weil sie die Instruktion nicht verstanden hatten oder ermüdeten. Hier hilft allerdings die genaue intraindividuelle Betrachtung der Daten, speziell der Vergleich des Verhaltens im vorderen und im hinteren Halbraum. Was die Durchführung anbetrifft, so wurde der Versuch stets zunächst im vorderen Halbraum begonnen und dann im hinteren Halbraum fortgesetzt. Somit waren die Probanden bei der Durchführung vorne frischer und aufmerksamer als hinten, weshalb das Argument der Ermüdung zur Erklärung wenig plausibel ist. Allerdings könnte hier anders herum argumentiert werden: Bei der Beurteilung der rückwärtigen Reize waren die Probanden bereits mit der Apparatur und ihrer Bedienung vertraut;

dies könnte sich in einer größeren Sicherheit bei der Reaktion auf die Reize ausgedrückt haben. Gegen dieses Argument sprechen allerdings die mittleren Abweichungen bei den Reaktionen, vor allem in der Gruppe der Gesunden: Sie waren im hinteren Halbraum in den äußeren Exzentrizitäten deutlich höher als im vorderen Halbraum, im Bereich von der Mitte an links hingegen geringer. Würde man einen Lerneffekt finden, müsste im hinteren Halbraum in allen Bereichen eine signifikant geringere Variabilität zu finden sein als im vorderen Halbraum, speziell in den Hüften und in der Körpermitte, weil sich dort am ehesten körpereigene Referenzmerkmale und Elektrodenpositionen zur Deckung bringen lassen müssten. Das ist aber mitnichten der Fall. Die mündlichen Äußerungen vieler Probanden, dass sie die Aufgabe im rückwärtigen Raum schwieriger fanden, hat demnach in den Daten keine eindeutige Entsprechung.

5.10.2 Unterschiede zur Studie von Vallar et al. (1995)

Im Vergleich zur Vorgehensweise von Vallar et al. (1995) gibt es einige Unterschiede. So präsentierten diese Forscher die Reize sequenziell, ausgehend von einer lateralen Position bei ± 90 Grad, und die Versuchspersonen sollten angeben, wann die Reize aus der gegenüberliegenden Raumhälfte kämen. Bei der vorliegenden Arbeit dagegen wurden die Reize pseudorandomisiert in der linken und rechten Raumhälfte präsentiert. Dadurch sollte eine größere Genauigkeit erreicht werden. Diese ist gelungen, wenn auch auf Kosten einer präzisen Replikation des Vallar'schen Paradigmas in der taktilen Modalität.

Dieser Punkt ist auch wichtig, um die unterschiedliche Vorgehensweise bei der Bestimmung der subjektiven Mitte zu verstehen. Vallar et al. (1995) errechneten sie relativ einfach durch Bestimmung des Umkehrpunktes, an dem die Probanden den Reiz in der entgegengesetzten Raumhälfte lokalisierten. Mehrere Umkehrpunkte wurden gesammelt, und ihr arithmetisches Mittel stellte die subjektive Mitte für den betreffenden Halbraum dar. Da in der vorliegenden Arbeit wegen des randomisierten Vorgehens keine Umkehrpunkte bestimmt werden konnten, musste rechnerisch auch anders vorgegangen werden. Deshalb wurde das aufwändige Verfahren zur Bestimmung des Punkts der subjektiven Gleichheit (PSG) gewählt.

Des Weiteren erfolgten bei Vallar et al. (1995) die Antworten der Versuchspersonen mündlich, in der vorliegenden Arbeit hingegen über motorische Reaktionen der Arme.

Ist es möglich, dass die Methode des mündlichen Feedbacks ein anderes Ergebnis erbracht hätte? Die taktil-motorische Informationsübermittlung könnte durch die Auswirkung des Neglect-Syndroms auf die Motorik einen Einfluss auf die Ergebnisse gehabt haben. Dies könnte geprüft werden, indem bei einer Replikation des aktuellen Versuchs die Einschätzung über den stimulierten Ort mündlich abgegeben würde. Freilich wäre gleichfalls zu untersuchen, ob eine Replikation des Versuchs von Vallar et al. (1995) mit taktil-motorischer Einschätzung der Stimulusposition hier zu einem anderen Ergebnis geführt hätte. Dies könnten Themen von Folgestudien sein.

5.10.3 Die subjektive Körpermitte: Weicht sie bei rechtshemisphäriell geschädigten Neglect-Patienten stets nach ipsilateral ab?

Nach wie vor ungeklärt ist der Befund der linksseitigen Abweichung des Punkts der subjektiven Gleichheit im vorderen Halbraum bei der Gruppe der Neglect-Patienten. Ist dies ein statistisches Artefakt? Eine Folgestudie mit einer größeren Probandenanzahl könnte dieser Frage nachgehen. Bei näherem Hinsehen wird jedoch klar, dass die Lage in der Literatur keineswegs so eindeutig ist:

In der auf Seite 66 bereits erwähnten Arbeit von Chokron und Bartolomeo (1997) sollten die Probanden von einem kontrollierten Startpunkt nach Geradeaus zeigen. Die Zeigerichtung der Kontrollgruppe wies eine geringfügige, aber signifikante Abweichung nach rechts auf. Bei den Hirngeschädigten war eine hohe Variabilität erkennbar: Drei von sechs zeigten im Mittel deutliche Abweichungen von mehr als 10 Grad, und zwar zwei nach links und einer nach rechts.

Zimmer et al. (2003) untersuchten den Hörsinn von rechtshemisphäriell Geschädigten mit Neglect, mit Hemianopsie, ohne Neglect bzw. Hemianopsie sowie von links-hemisphäriell Geschädigten ohne Neglect und Hemianopsie und gesunden Kontrollprobanden. Die Klangreize wurden durch einen Kopfhörer präsentiert. Zur Simulation des Richtungshörens nutzten sie die Methode der interauralen Zeitdifferenz. Die Richtung des Klangeindrucks sollten die Probanden direkt im Anschluss mündlich angeben. Zunächst fiel auf, dass knapp die Hälfte der Neglect-Patienten nicht in der Lage war, die Tonreize räumlich zuzuordnen. Darüber hinaus nahmen die Neglect-Patienten mittig präsentierte Tonreize weiter rechts wahr als die übrigen Gruppen. Somit wurde bei ihnen eine Abweichung der subjektiven mittleren auditorischen Ebene nach links festge-

stellt; der Punkt, an dem diese Patienten einen Tonreiz mit gleicher Wahrscheinlichkeit als links- oder rechtsseitig einschätzen, war bei ihnen in die linke Raumhälfte verschoben und lag etwa bei $-3,5$ Grad. Angesichts der Tatsache, dass fast die Hälfte der Neglect-Patienten unfähig zur Lokalisierung von Klangreizen war und die andere Hälfte eine leichte Verschiebung der mittleren auditorischen Ebene nach links zeigte, zogen Zimmer et al. (2003) zwei Schlüsse: 1. Eine Störung der Verarbeitung von Klangreizen ist mit Neglect assoziiert. 2. Eine systematische Verschiebung der Repräsentation auditiver Reize, wie häufig in der visuellen Modalität beobachtet, ist nicht unbedingt gegeben.

In einem wesentlichen Punkt stimmen die Ergebnisse von Zimmer et al. (2003) mit dem Ergebnis der vorliegenden Studie überein: Beide Studien sprechen dafür, dass die subjektive Raummitte im vorderen Raum nach links verlagert oder rotiert ist. So nahmen die hier untersuchten Patienten mit Neglect sensible Reize, die objektiv links von der Mitte (Bauchnabel) dargeboten wurden, als rechtsseitig positioniert wahr. Dies galt allerdings nur für einen gewissen linkseitigen Bereich.

Sowohl die Befunde von Zimmer und Mitautoren als auch die eigenen Befunde scheinen in einem deutlichen Gegensatz zu der von Karnath (1997) beschriebenen Rotation des subjektiven Geradeaus um ca. 10 Grad nach rechts zu stehen. Es ist bisher nicht gelungen, eine sichere Erklärung für diese Diskrepanz zu finden. Spekulativ könnte man aber daran denken, dass den divergenten Befunden grundlegend unterschiedliche Prozesse zugrunde liegen: Während es sich bei der Angabe des subjektiven Geradeaus bei Karnath (1997) um eine aktive Bestimmung einer speziellen Raumrichtung handelt (z.B. Zeigen mit einem Laser-Pointer oder visuelles Suchen eines nicht existierenden hellen Punktes in einem dunklen Raum), gaben die Neglect-Patienten im vorliegenden Experiment und in der Studie von Zimmer et al. (2003) die Position einer passiv wahrgenommenen sensiblen bzw. auditiven Stimulation an. Der genaue Unterschied zwischen diesen Prozessen bzw. die Gültigkeit der spekulativen Erklärung müsste allerdings erst noch in weiteren Studien aufgeklärt werden.

5.11 Die Ergebnisse vor dem Hintergrund der Hypothesen

Die Annahmen der Hypothese 1 haben sich nicht als zutreffend erwiesen. Die subjektive Mittellinie im vorderen Halbraum lag bei den untersuchten Neglect-Patienten bei -

12,29 Grad und damit links von der objektiven Mitte. Die Hypothese 1 wird deshalb verworfen.

Im Bereich des hinteren Halbraums wurden die Annahmen sowohl der Hypothese 2a als auch der Hypothese 2b nicht bestätigt. Zwar verlief bei den Neglect-Patienten die Schätzung der subjektiven Mittellinie -3,0 Grad links von der objektiven Mittellinie; dies war bei den beiden anderen untersuchten Gruppen der rechtshemisphäriell Geschädigten ohne Neglect sowie den gesunden Kontrollprobanden jedoch ebenfalls erkennbar. Da sich die Neglect-Patienten nicht wie gefordert zumindest von der Gruppe der Gesunden signifikant unterscheiden, werden sowohl die Hypothese 2a als auch die Hypothese 2b verworfen. Aus der vorliegenden Arbeit können somit weder Argumente für die Translationshypothese noch für die Rotationshypothese abgeleitet werden.

5.12 Ausblick

Der Wert der entwickelten Verfahrenstechnik für die klinische Routineanwendung in der Akutbehandlung von Neglect-Patienten wird eher als gering eingeschätzt. Der eingesetzte Gerätepark, selbst wenn er kommerziell als solcher erhältlich wäre, ist teuer und die Anwendung aufwändig. Viele Kliniken werden kaum bereit sein, diesen Aufwand zu betreiben, weil die Ergebnisse in ihrem Detailreichtum für sie nicht von ausreichendem diagnostischem Wert sind. Natürlich lässt sich ein taktile Neglect auch mit einfacheren Mitteln diagnostizieren. Wenn jedoch ausführlichere Information über den Patienten benötigt wird, beispielsweise zum Vergleich der subjektiven Mitte in verschiedenen Sinnesgebieten, könnte das Verfahren durchaus zum Einsatz kommen.

Wichtiger ist sicherlich die verwendete Methode im Bereich der klinischen Forschung. Insbesondere die Variation des Paradigmas, z.B. mit sequenzieller Darbietung der Reize oder einer mündlichen Angabe der Reizposition stellen weitere Möglichkeiten dar, sich dem Thema taktile sensibler Neglect aus wissenschaftlicher Perspektive zu nähern. Zusätzlich sollte bei einer originalgetreuen Replikation die Startposition der Hand kontrolliert, und wenn möglich sogar variiert werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stehen im Gegensatz zum Gros der Arbeiten, die sich mit der Abweichung der subjektiven Mittellinie beim Neglect-Syndrom beschäftigen haben und im vorderen Halbraum eine Abweichung derselben nach rechts

gefunden hatten. In der Diskussion über widersprechende Befunde werden häufig die Argumente genannt, dass die einzelnen Studien wegen Aufgaben in verschiedenen Sinnesgebieten nicht vergleichbar sind oder die Patienten unterschiedlich stark betroffen waren. Es gilt zwar als anerkannt, dass Neglect bei vielen Patienten ein multimodales Phänomen ist. Die Schlussfolgerung daraus, das Phänomen Neglect auch in verschiedenen Sinnesgebieten zu untersuchen, haben jedoch bislang nur Wenige in einer Forschungsarbeit umgesetzt. Wenn als Aufnahmekriterium in eine Studie taktiler Neglect gefordert wird, wie würden sich diese Patienten in visuellen oder auditiven Aufgabenstellungen verhalten? Wie würden sich Patienten mit auditivem Neglect bei visuellen oder taktilen Anforderungen verhalten? Wie würden sich Neglect-Patienten verhalten, wenn sie gar in allen drei Modalitäten untersucht würden? Auch wenn für solche Studien ein erheblicher Aufwand notwendig ist: Crossmodale Studien sind Ansätze, die das Wissen über das Neglect-Syndrom erheblich befördern können.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Neglect-Syndrom, das nach Schädigungen des Gehirns, und zwar insbesondere seiner rechten Hemisphäre auftreten kann. Patienten mit diesem Krankheitsbild fallen dadurch auf, dass sie Reize aus der Raumhälfte vernachlässigen, die der Hirnschädigung gegenüber liegt. Dies fällt im Alltag meist im Bereich visueller Reize auf. Allerdings ist es möglich, dass auch Hör- und Tastreize betroffen sind. Wichtig ist zudem, dass diese Vernachlässigung meist auftritt, ohne dass sensorische Schädigungen in den betreffenden Sinnesgebieten vorliegen. Häufig ist es sogar so, dass die Vernachlässigung auch visuelle Vorstellungen betrifft.

Obwohl schon seit mindestens 20 Jahren Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten, nimmt das wissenschaftliche Interesse am Neglect nach wie vor zu. Die meisten Veröffentlichungen beschäftigen sich mit der Auswirkung des Syndroms auf die visuelle Wahrnehmung. Die Arbeiten, die sich mit dem Tastsinn beschäftigen, haben meistens die motorische Komponente zum Gegenstand, bei der Bewegungen des Körpers oder von Gliedmaßen im Bereich der kontraläsionalen Raumhälfte unterbleiben. Die Auswirkung auf die sensible Komponente des Tastsinns wiederum ist bislang nur von wenigen Aufsätzen beschrieben worden, und die systematische Untersuchung der Auswirkung von Neglect auf die taktil-sensible Wahrnehmung der vorderen und hinteren Körperoberfläche geschieht in der vorliegenden Arbeit zum ersten Mal.

Auslöser für diese Studie war die Arbeit von Vallar und Mitarbeitern (1995). Diese untersuchten eine Gruppe rechtshemisphäriell geschädigter Neglect-Patienten, eine Gruppe rechtshemisphäriell Geschädigter ohne Neglect sowie eine Gruppe gesunder Personen hinsichtlich der Wahrnehmung von Tonreizen. Alle Probanden wurden in die Mitte eines Rings gesetzt, auf dem auf Ohrhöhe durch 36 Lautsprecher sukzessive Töne eingespielt wurden. Die Präsentation der Reize begann mit einem seitlich liegenden Lautsprecher, und es gaben nacheinander alle Lautsprecher in Richtung der gegenüberliegenden Seite einen Tonreiz ab. Die Aufgabe der Probanden war, nach jedem Ton zu sagen, ob sie ihn links oder rechts wahrgenommen hatten. Die Versuche wurden im vorderen und im hinteren Halbraum getrennt durchgeführt. Aus der Summe dieser Angaben wurde die subjektive Mitte der jeweiligen Probandengruppe errechnet. Es zeigte sich, dass die subjektive Mitte bei den Neglect-Patienten sowohl im vorderen als auch

im hinteren Raum nach rechts abwich. Im Gegensatz dazu kam es bei den rechts-hemisphäriell Geschädigten ohne Neglect im vorderen Raum kaum zu nennenswerten Abweichungen, im hinteren Raum allerdings zu leichten Abweichungen nach links. Dies wurde von Vallar et al. (1995) als Beleg für die Gültigkeit der „Translationshypothese“ gesehen: Diese geht davon aus, dass die subjektive Mitte bei Neglect-Patienten im vorderen wie im hinteren Raum nach rechts verschoben ist. Sie steht im Gegensatz zur „Rotationshypothese“, die im vorderen Raum zwar die gleiche Annahme wie die Translationshypothese hat, im hinteren Raum jedoch von einer Verlagerung der subjektiven Mitte nach links ausgeht, ähnlich der kompletten Drehung des Ziffernblatts einer Uhr. Die Rotationshypothese wurde von Vallar et al. (1995) auf Basis ihrer Daten abgelehnt.

Ein wichtiger Kritikpunkt an der Arbeit der Arbeitsgruppe um Vallar bezieht sich auf die Tatsache, dass die Blickrichtung die Lokalisierung von Schallquellen beeinflussen kann. Aus diesem Grunde replizierte Ruppel (1998) den Versuch von Vallar und Mitarbeitern mit einer Gruppe gesunder Probanden, kontrollierte diesmal allerdings deren Blickrichtung. Die Ergebnisse zeigten im vorderen wie im hinteren Raum fast eine komplette Übereinstimmung von subjektiver und objektiver Mitte.

Andere Arbeitsgruppen untersuchten Neglect-Patienten hinsichtlich der Lokalisierung akustischer Reize oder dem Zeigen des subjektiven Geradeaus in der visuellen Modalität. Wenn auch eine Vielzahl von Aufsätzen dabei eine Abweichung der subjektiven Mitte nach rechts fand, so blieb diese Auffassung nicht unumstritten.

Ungeachtet dessen forderte der Ansatz der italienischen Arbeitsgruppe um Vallar weitere Forschungsarbeit heraus. Dabei stand die Überlegung im Mittelpunkt, dass die Translationshypothese auch durch Daten aus Versuchen mit Neglect-Patienten in anderen Sinnesgebieten belegt werden müsste, wenn sie modalitätsübergreifende Gültigkeit haben sollte. Folgerichtig wurde in der vorliegenden Arbeit versucht, eine ähnliche Aufgabe wie die von Vallar et al. (1995) an Neglect-Patienten im Bereich des Tastsinns zu stellen. Es sollte erfasst werden, an welcher Position taktile Reize im vorderen wie im rückwärtigen Halbraum am Rumpf wahrgenommen werden würden.

Folgende Hypothesen wurden formuliert: Hypothese 1: Im vorderen Halbraum werden objektiv mittig präsentierte Reize sowie solche in einem Bereich bis zu 20 Grad rechts

davon von Neglect-Patienten als linksseitig wahrgenommen. Die geforderte Zeigebewegung wird in diesem Bereich links von der objektiven Position des jeweiligen Reizes erwartet. Die subjektive Mitte ist nach rechts verschoben. Hypothese 2a bezieht sich auf den hinteren Halbraum: Die Gruppe der Neglect-Patienten lokalisiert im Vergleich zu den Hirngeschädigten ohne Neglect und den gesunden Kontrollprobanden objektiv mittig oder nahe der Mitte präsentierte Reize links von ihrer dargebotenen Position. Die subjektive Mitte ist nach rechts verschoben. Hypothese 2b: Im hinteren Halbraum ist die subjektive Körpermitte von Neglect-Patienten entsprechend der Rotationshypothese nach links verschoben. Im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen lokalisieren die Neglect-Patienten objektiv mittig oder beinahe mittig präsentierte Reize rechts von ihrer dargebotenen Position

Drei Gruppen wurden untersucht: 8 rechtshemisphäriell geschädigte Neglect-Patienten (RHG N+), 8 rechtshemisphäriell geschädigte Patienten ohne Neglect (RHG N-) und 11 ungefähr altersentsprechende, neurologisch unauffällige Probanden (NK). Eine besondere Schwierigkeit in der Phase der Datenerhebung war ein erheblicher Anteil von Patienten, die an der linken Rumpfseite die elektrischen Reize nicht wahrnahmen. Diese Patienten wurden von der Teilnahme ausgeschlossen. Darüber hinaus wurden Patienten mit zerebralen Vorerkrankungen nicht mit aufgenommen.

Um eine objektive Reizdarbietung zu erreichen, wurden die Reize elektrisch erzeugt. Kern der technischen Seite des Versuchs war ein Stimulator, der Reize für Oberflächen-elektroden zur Stimulation der Haut produzierte. Diese wurden zunächst in eine Relaisstation weitergeleitet. Von dort aus wurden sie, durch einen Computer gesteuert, in pseudorandomisierter Reihenfolge auf eine der Elektroden geschaltet. Allen Probanden wurde ein Gürtel mit 15 Oberflächenelektroden angelegt, die von Hüfte zu Hüfte reichten. Damit wurden in getrennten Durchgängen am Bauch und später am Rücken jeweils 150-mal Stromreize dargeboten. Weiterhin gehörte zu dem Gerätepark eine Spezialtastatur mit halbkreisförmiger Anordnung von 15 Tasten. Darauf sollten die Probanden die Lokalität des Stimulus auf ihrem Körper rückmelden. Diese Tastatur war durch eine Zwischenbox, der so genannten „Tastaturlogik“ mit dem Steuerungscomputer verbunden, der wiederum die Reaktionen der Versuchspersonen in Form ihrer Tastenbedienungen aufzeichnete. Dieser Rechner steuerte den Versuchsablauf mit dem Pro-

gramm „ERTS“. Weiterhin wurde ein zweiter Rechner, der die Reizauslösung des Stimulators steuerte, sowie ein Trenntransformator benötigt, über den die Stromversorgung aller Geräte gewährleistet wurde. Letzterer diente dazu, Personen vor geringfügigem, aber unerwartetem Stromkontakt zu schützen, der bei überschwelligem Ableitströmen durch Berührung des Gehäuses des Steuerungscomputers unter ungünstigen Bedingungen hätte entstehen können. Sämtliche Geräte erfüllten die entsprechenden gesetzlichen deutschen und europäischen Normen. Dies war durch einen unabhängigen Sachverständigen geprüft worden.

Die beiden Patientengruppen bearbeiteten in einer zusätzlichen Sitzung noch einige typische Neglect-Tests, um sicher zwischen Patienten mit und ohne Neglect zu differenzieren. Diese Tests umfassten „Linien halbieren“, „Suchen von Buchstaben“, „Vorlesen eines linksbündigen Textes“, „freies Zeichnen einer Uhr mit einer vorgegebenen Uhrzeit“ sowie „Ertasten und Benennen von verschiedenen Materialien“.

Die Differenzen zwischen stimulierten Elektroden und Reaktionen wurden bei den Versuchspersonen für jede Elektrodenposition gemittelt und nach Gruppe sowie Halbraum zusammengefasst. Im vorderen Halbraum unterschieden sich die Reaktionen der Neglect-Patienten von den Gesunden signifikant im Bereich links der Mitte zwischen -90 und 0 Grad. Im Gegensatz zu den anderen Gruppen schätzten dort die Neglect-Patienten die Reize durchgängig deutlich weiter rechts neben ihrer objektiven Position. Im vorderen rechten Halbraum gab es lediglich Gruppenunterschiede bei Position +90 Grad in der rechten Hüfte, wo die Schätzungen der Neglect-Patienten im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen signifikant weiter nach links drifteten. Im hinteren Halbraum waren kaum unterschiedliche Einschätzungen bei den drei Gruppen zu erkennen. Außer bei den drei Elektroden der linken äußeren Exzentrizität, wo die Neglect-Patienten die Reize signifikant weiter rechts beurteilten als die anderen Gruppen, gab es keine Unterschiede. Bemerkenswert ist, dass auch die Kontrollgruppe Gesunder an vielen Elektrodenpositionen im vorderen und hinteren Halbraum deutliche Abweichungen zeigte. Der gruppeninterne Vergleich zwischen den Einschätzungen im vorderen und hinteren Halbraum offenbarte in der gesunden Kontrollgruppe im linken Halbraum durchgängig signifikant unterschiedliche Werte. Darüber hinaus waren Abwei-

chungen in der rechten Hüfte bei allen Gruppen signifikant unterschiedlich, was auf genauere Einschätzungen im vorderen rechten Hüftbereich zurückzuführen war.

Durch eine multiple Regressionsrechnung wurde der Punkt der subjektiven Gleichheit (PSG) bestimmt. Dabei handelt es sich um den Punkt am Körper, bei dem die Wahrscheinlichkeit gleich groß ist, dass der Proband dort applizierte Reize als links- oder rechtsseitig einschätzt. Er dient der Visualisierung der subjektiven Mitte der Probanden. Der PSG wich im vorderen Halbraum bei den Neglect-Patienten deutlich, bei den Patienten ohne Neglect hingegen nur leicht nach links ab. In der gesunden Kontrollgruppe wich er vorne geringfügig nach rechts ab. Der Unterschied zwischen der Neglect- und der Kontrollgruppe war hier signifikant. Im hinteren Halbraum lagen die Punkte subjektiver Gleichheit aller drei Gruppen sehr nahe beieinander und wichen leicht nach links ab.

Die Ergebnisse wurden hinsichtlich äußerer (Studiendesign, Auswahl der Probanden, eingesetzte Geräte) und innerer Faktoren (Wahrnehmung, Lokalisierung, Visualisierung, Reaktionsplanung, Ausführung der Reaktion) diskutiert. Weiterhin wurde auch der „Punkt der subjektiven Gleichheit“ als Methode zur Errechnung der subjektiven Mitte erörtert. Es wird für möglich gehalten, dass eine Abweichung der Reaktionsbewegungen der Neglect-Patienten nach rechts auf die Ergebnisse Einfluss hatte. Eine Erklärung für die Abweichung der subjektiven Mitte nach links, die sich in der Gruppe der Neglect-Patienten fand, wurde nicht gefunden. Eine mögliche Erklärung ist, dass es sich beim Zeigen von Zielen im Raum bzw. der visuellen Suche danach um aktive, bei der Wahrnehmung auditiver und taktiler Reize hingegen um passive Prozesse handelt, bei denen Abweichungen der subjektiven Mittellinie bei jedem Patienten dissoziieren können.

Des Weiteren wurde auf die Unterschiede zur Arbeit von Vallar et al. (1995) hingewiesen: Sequenzielle vs. pseudorandomisierte Reizdarbietung, Bestimmung der subjektiven Mitte durch Mittelung von Umkehrpunkten vs. Errechnung des PSG mit Hilfe von Regressionsrechnung sowie mündliche vs. taktil-motorische Probandenreaktion.

Keine der Hypothesen vermochte das Verhalten der Neglect-Patienten zutreffend vorauszusagen. Deshalb wurden alle abgelehnt.

Insgesamt zeigt diese Arbeit zahlreiche Möglichkeiten für weitere Forschungstätigkeit auf. Insbesondere wird angeregt, multimodale Studien an ein und der gleichen Patientengruppe durchzuführen. Darüber hinaus sollte im Gegensatz zu vielen bisherigen Studien mit Patienten geforscht werden, bei denen der Neglect ausschließlich taktil oder auditiv geprüft wurde.

7 Literatur

- Anderson, B. (1996). A mathematical model of line bisection behaviour in neglect. *Brain*, *119* (3), 841-850.
- Bailey, M. J., Riddoch, M. J. & Crome, P. (2000). Evaluation of a test battery for hemi-neglect in elderly stroke patients for use by therapists in clinical practice. *NeuroRehabilitation*, *14* (3), 139-150.
- Bartolomeo, P. & Chokron, S. (1999). Egocentric frame of reference: its role in spatial bias after right hemisphere lesions. *Neuropsychologia*, *37* (8), 881-894.
- Bartolomeo, P., Chokron, S. & Gainotti, G. (2001). Laterally directed arm movements and right unilateral neglect after left hemisphere damage. *Neuropsychologia*, *39* (10), 1013-1021.
- Bartolomeo, P., D'Erme, P., Perri, R. & Gainotti, G. (1998). Perception and action in hemispacial neglect. *Neuropsychologia*, *36* (3), 227-237.
- Behringer, J. (1993). Experimental Run-Time System (ERTS), Version 3.11. Frankfurt: BeriSoft.
- Bisiach, E. & Luzzatti, C. (1978). Unilateral neglect of representational space. *Cortex*, *14* (1), 129-133.
- Bisiach, E., Capitani, E., Luzzatti, C. & Perani, D. (1981). Brain and conscious representation of outside reality. *Neuropsychologia*, *19* (4), 543-551.
- Bisiach, E., Cornacchia, L., Sterzi, R. & Vallar, G. (1984). Disorders of perceived auditory lateralization after lesions of the right hemisphere. *Brain*, *107* (1), 37-52.
- Bortz, J. & Lienert, G. A. (2003). *Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung. Leit-faden für die verteilungsfreie Analyse kleiner Stichproben*. Berlin: Springer.
- Bottini, G., Paulesu, E., Gandola, M., Loffredo, S., Scarpa, P., et al. (2005). Left caloric vestibular stimulation ameliorates right hemianesthesia. *Neurology*, *65* (8), 1278-1283.

- Chokron, S. & Bartolomeo, P. (1997). Patterns of dissociation between left hemineglect and deviation of the egocentric reference. *Neuropsychologia*, 35 (11), 1503-1508.
- Corkin, S., Milner, B. & Rasmussen, T. (1970). Somatosensory thresholds: Contrasting effects of postcentral-gyrus and posterior parietal-lobe excisions. *Archives of Neurology*, 23 41-58.
- Coulthard, E., Parton, A. & Husain, M. (2006). Action control in visual neglect. *Neuropsychologia*, 44 (13), 2717-2733.
- Damasio, A. R., Damasio, H. & Chui, H. C. (1980). Neglect following damage to frontal lobe or basal ganglia. *Neuropsychologia*, 18 (2), 123-132.
- Davey, N. J., Nowicky, A. V. & Zaman, R. (2001). Somatotopy of perceptual threshold to cutaneous electrical stimulation in man. *Experimental Physiology*, 86 (1), 127-130.
- Dillmann, A. (1997). *Neglect in der räumlichen Repräsentation: Anteriorer und posteriorer Teil des egozentrischen Koordinatensystems*. Universität Bielefeld: Unveröffentlichte Diplomarbeit.
- Ferber, S. (2000). *Raumwahrnehmung bei Patienten mit Neglect*. Münster: Lit Verlag.
- Ferber, S. & Karnath, H. O. (1999). Parietal and occipital lobe contributions to perception of straight ahead orientation. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 67 (5), 572-578.
- Ferber, S. & Karnath, H. O. (2001a). How to assess spatial neglect--line bisection or cancellation tasks? *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 23 (5), 599-607.
- Ferber, S. & Karnath, H. O. (2001b). Size perception in hemianopia and neglect. *Brain*, 124 (3), 527-536.
- Geeraerts, S. & Vandenbussche, E. (1999). Spontaneous and induced recovery of visual hemineglect during cooling inactivation of middle suprasylvian cortex in the cat. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 14 (4), 237-250.

- Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S. & Carey, D. P. (1990). Kinematic analysis of limb movements in neuropsychological research: subtle deficits and recovery of function. *Canadian Journal of Psychology*, 44 (2), 180-195.
- Harvey, M., Milner, A. D. & Roberts, R. C. (1994). Spatial bias in visually-guided reaching and bisection following right cerebral stroke. *Cortex*, 30 (2), 343-350.
- Heilman, K. M. & Watson, R. T. (1995). The neglect syndrome - a unilateral defect of the orienting response. In F. Boller & J. Grafman (Hrsg.), *Handbook of Neuropsychology*. Amsterdam: Elsevier.
- Heilman, K. M., Bowers, D. & Watson, R. T. (1983). Performance on hemispatial pointing task by patients with neglect syndrome. *Neurology*, 33 (5), 661-664.
- Heilman, K. M., Bowers, D., Coslett, H. B., Whelan, H. & Watson, R. T. (1985). Directional hypokinesia: prolonged reaction times for leftward movements in patients with right hemisphere lesions and neglect. *Neurology*, 35 (6), 855-859.
- Heilman, K. M., Watson, R. T. & Valenstein, E. (2003). Neglect and related disorders. In K. M. Heilman, R. T. Watson & E. Valenstein (Hrsg.), *Clinical Neuropsychology*. New York: Oxford University Press.
- Heldmann, B., Kerkhoff, G., Struppler, A., Havel, P. & Jahn, T. (2000). Repetitive peripheral magnetic stimulation alleviates tactile extinction. *NeuroReport*, 11 (14), 3193-3198.
- Husain, M., Mattingley, J. B., Rorden, C., Kennard, C. & Driver, J. (2000). Distinguishing sensory and motor biases in parietal and frontal neglect. *Brain*, 123 (8), 1643-1659.
- Jackson, S. R., Newport, R., Husain, M., Harvey, M. & Hindle, J. V. (2000). Reaching movements may reveal the distorted topography of spatial representations after neglect. *Neuropsychologia*, 38 (4), 500-507.
- Jeannerod, M. & Biguer, B. (1987). The directional coding of reaching movements: A visuomotor conception of spatial neglect. In M. Jeannerod (Hrsg.), *Neurophysiological and neuropsychological aspects of spatial neglect*. Amsterdam: North-Holland.

- Karnath, H. O. (1997). Spatial orientation and the representation of space with parietal lobe lesions. *Philosophical Transactions of the Royal Society London, Series B: Biological Sciences*, 352 (1360), 1411-1419.
- Karnath, H. O., Dick, H. & Konczak, J. (1997). Kinematics of goal-directed arm movements in neglect: control of hand in space. *Neuropsychologia*, 35 (4), 435-444.
- Karnath, H. O., Fruhmann Berger, M., Küker, W. & Rorden, C. (2004). The anatomy of spatial neglect based on voxelwise statistical analysis: a study of 140 patients. *Cerebral Cortex*, 14 (10), 1164-1172.
- Kerkhoff, G. (2001). Spatial hemineglect in humans. *Progress in Neurobiology*, 63 (1), 1-27.
- Kerkhoff, G. (2004). *Neglect und assoziierte Störungen*. Göttingen: Hogrefe.
- Kerkhoff, G., Bogenhausener bündiger Lesetest. Universität Saarbrücken, unveröffentlicht.
- Kerkhoff, G., Heldmann, B., Struppler, A., Havel, P. & Jahn, T. (2001). The effects of magnetic stimulation and attentional cueing on tactile extinction. *Cortex*, 37 (5), 719-723.
- Kerkhoff, G., Münßinger, U., Eberle-Strauss, G. & Stögerer, E. (1992). Rehabilitation of hemianopic alexia in patients with postgeniculate visual field disorders. *Neuropsychological Rehabilitation*, 2 (1), 21-42.
- Kerkhoff, G., Schindler, I., Artinger, F., Zoelch, C., Bublak, P. & Finke, K. (2006). Rotation or translation of auditory space in neglect? A case study of chronic right-sided neglect. *Neuropsychologia*, 44 (6), 923-930.
- Kinsbourne, M. (1993). Orientational bias model of unilateral neglect: Evidence from attentional gradients within hemispace. In I. H. Robertson & J. C. Marshall (Hrsg.), *Unilateral Neglect: Clinical and Experimental Studies*. Hove: Lawrence Erlbaum Associates.
- Kugler, P. (2004). Funktionelle Systeme: Somatosensorik und Somatomotorik. In D. Drenckhahn (Hrsg.), *Anatomie: Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie*. München: Urban und Fischer.

- Lauria, G., McArthur, J. C., Hauer, P. E., Griffin, J. W. & Cornblath, D. R. (1998). Neuropathological alterations in diabetic truncal neuropathy: evaluation by skin biopsy. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 65 (5), 762-766.
- Lewald, J. & Ehrenstein, W. H. (1996). The effect of eye position on auditory lateralization. *Experimental Brain Research*, 108 (3), 473-485.
- Lezak, M. D., Howieson, D. B. & Loring, D. W. (2004). Perception. In *Neuropsychological Assessment*. New York: Oxford University Press.
- Lüllmann-Rauch, R. (2004). Haut und Hautanhangsgebilde. In D. Drenckhahn (Hrsg.), *Anatomie: Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie*. München: Urban und Fischer.
- Mackel, R. (1989). Properties of cutaneous afferents in diabetic neuropathy. *Brain*, 112 (5), 1359-1376.
- Mark, V. W. & Heilman, K. M. (1990). Bodily neglect and orientational biases in unilateral neglect syndrome and normal subjects. *Neurology*, 40 (4), 640-643.
- Martikainen, I. K. & Pertovaara, A. (2002). Spatial discrimination of one versus two test stimuli in the human skin: dissociation of mechanisms depending on the task and the modality of stimulation. *Neuroscience Letters*, 328 (3), 322-324.
- Masur, H. (1995). *Skalen und Scores in der Neurologie*. Stuttgart: Thieme.
- Mattingley, J. B., Bradshaw, J. L. & Phillips, J. G. (1992). Impairments of movement initiation and execution in unilateral neglect. Directional hypokinesia and bradykinesia. *Brain*, 115 (6), 1849-1874.
- Mattingley, J. B., Husain, M., Rorden, C., Kennard, C. & Driver, J. (1998). Motor role of human inferior parietal lobe revealed in unilateral neglect patients. *Nature*, 392 (6672), 179-182.
- McIntosh, R. D., Pritchard, C. L., Dijkerman, H. C., Milner, A. D. & Roberts, R. C. (2001). Prehension and perception of size in left visual neglect. *Behavioural Neurology*, 13 (1-2), 3-15.
- Mesulam, M. M. (1998). From sensation to cognition. *Brain*, 121 (6), 1013-1052.

- Microsoft (2003). Microsoft Excel für Mac. *In Office:mac v.X*. Unterschleißheim: Microsoft GmbH.
- Milner, A. D. & Harvey, M. (1995). Distortion of size perception in visuospatial neglect. *Current Biology*, 5 (1), 85-89.
- Milner, A. D. & McIntosh, R. D. (2005). The neurological basis of visual neglect. *Current Opinion in Neurology*, 18 (6), 748-753.
- Mort, D. J., Malhotra, P., Mannan, S. K., Rorden, C., Pambakian, A., et al. (2003). The anatomy of visual neglect. *Brain*, 126 (9), 1986-1997.
- Payne, B. R., Lomber, S. G., Geeraerts, S., van der Gucht, E. & Vandebussche, E. (1996). Reversible visual hemineglect. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 93 (1), 290-294.
- Pisella, L., Rode, G., Farnè, A., Boisson, D. & Rossetti, Y. (2002). Dissociated long lasting improvements of straight-ahead pointing and line bisection tasks in two hemineglect patients. *Neuropsychologia*, 40 (3), 327-334.
- Posner, M. I. & Driver, J. (1992). The neurobiology of selective attention. *Current Biology*, 2, 165-169.
- Posner, M. I., Petersen, S. E., Fox, P. T. & Raichle, M. E. (1988). Localization of cognitive operations in the human brain. *Science*, 240 (4859), 1627-1631.
- Preußler, O. (1965). *Bei uns in Schilda. Die wahre Geschichte der Schildbürger nach den Aufzeichnungen des Stadtschreibers Jeremias Punktum*. Stuttgart: Thienemann.
- Richard, C., Honoré, J. & Rousseaux, M. (2000). Is there a distortion of body projection in extracorporeal space in neglect patients? *NeuroReport*, 11 (13), 3047-3051.
- Richard, C., Rousseaux, M. & Honoré, J. (2001). Plantar stimulation can affect subjective straight-ahead in neglect patients. *Neuroscience Letters*, 301 (1), 64-68.
- Richard, C., Rousseaux, M., Saj, A. & Honoré, J. (2004). Straight ahead in spatial neglect: Evidence that space is shifted, not rotated. *Neurology*, 63 (11), 2136-2138.
- Ringman, J. M., Saver, J. L., Woolson, R. F., Clarke, W. R. & Adams, H. P. (2004). Frequency, risk factors, anatomy, and course of unilateral neglect in an acute stroke cohort. *Neurology*, 63 (3), 468-474.

- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Fogassi, L. & Gallese, V. (1997). The space around us. *Science*, 277 (5323), 190-191.
- Rorden, C., Fruhmann Berger, M. & Karnath, H. O. (2006). Disturbed line bisection is associated with posterior brain lesions. *Brain Research*, 1080 (1), 17-25.
- Rouleau, I., Salmon, D. P., Butters, N., Kennedy, C. & McGuire, K. (1992). Quantitative and qualitative analyses of clock drawings in Alzheimer's and Huntington's disease. *Brain and Cognition*, 18 (1), 70-87.
- Ruppel, C. M. (1998). *Lokalisation auditiver Stimuli im vorderen und hinteren Halb-raum*. Universität Bielefeld: Unveröffentlichte Diplomarbeit.
- Schenkenberg, T., Bradford, D. C. & Ajax, E. T. (1980). Line bisection and unilateral visual neglect in patients with neurologic impairment. *Neurology*, 30 (5), 509-517.
- Schiavetto, A., Lepore, F. & Lassoche, M. (1993). Somesthetic discrimination thresholds in the absence of the corpus callosum. *Neuropsychologia*, 31 (7), 695-707.
- Schwartz, A. S., Marchok, P. L. & Flynn, R. E. (1977). A sensitive test for tactile extinction: Results in patients with parietal and frontal lobe disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 40, 228-233.
- Smania, N., Martini, M. C., Gambina, G., Tomelleri, G., Palamara, A., et al. (1998). The spatial distribution of visual attention in hemineglect and extinction patients. *Brain*, 121 (9), 1759-1770.
- Sprague, J. M. (1966). Interaction of cortex and superior colliculus in mediation of visually guided behaviour in the cat. *Science*, 153 (3743), 1544-1547.
- SPSS GmbH (2001). SPSS für Windows, Version 12. München: SPSS GmbH.
- Tanaka, H., Hachisuka, K. & Ogata, H. (1999). Sound lateralisation in patients with left or right cerebral hemispheric lesions: relation with unilateral visuospatial neglect. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 67 (4), 481-486.
- Tegnér, R. & Levander, M. (1991). Through a looking glass. A new technique to demonstrate directional hypokinesia in unilateral neglect. *Brain*, 114 (4), 1943-1951.

- Vallar, G. (1993). The anatomical basis of spatial hemineglect in humans. In I. H. Robertson & J. C. Marshall (Hrsg.), *Unilateral Neglect: Clinical and Experimental Studies*. Hove: Lawrence Erlbaum Associates.
- Vallar, G. (1997). Spatial frames of reference and somatosensory processing: A neuropsychological perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society London, Series B: Biological Sciences*, 352 (1360), 1401-1409.
- Vallar, G., Bottini, G., Rusconi, M. L. & Sterzi, R. (1993). Exploring somatosensory hemineglect by vestibular stimulation. *Brain*, 116 (1), 71-86.
- Vallar, G., Bottini, G., Sterzi, R., Passerini, D. & Rusconi, M. L. (1991a). Hemianesthesia, sensory neglect, and defective access to conscious experience. *Neurology*, 41 (5), 650-652.
- Vallar, G., Guariglia, C., Nico, D. & Bisiach, E. (1995). Spatial hemineglect in back space. *Brain*, 118 (2), 467-472.
- Vallar, G., Sandroni, P., Rusconi, M. L. & Barbieri, S. (1991b). Hemianopia, hemianesthesia, and spatial neglect: A study with evoked potentials. *Neurology*, 41 (12), 1918-1922.
- Vallar, G., Sterzi, R., Bottini, G., Cappa, S. & Rusconi, M. L. (1990). Temporary remission of left hemianesthesia after vestibular stimulation. A sensory neglect phenomenon. *Cortex*, 26 (1), 123-131.
- Ventre, J., Flandrin, J. M. & Jeannerod, M. (1984). In search for the egocentric reference. A neurophysiological hypothesis. *Neuropsychologia*, 22 (6), 797-806.
- Weintraub, S. & Mesulam, M. M. (1985). Mental state assessment of young and elderly adults in behavioral neurology. In M. M. Mesulam (Hrsg.), *Principles of Behavioral Neurology*. Philadelphia: F. A. Davis.
- Weintraub, S. & Mesulam, M. M. (1987). Right cerebral dominance in spatial attention. Further evidence based on ipsilateral neglect. *Archives of Neurology*, 44 (6), 621-625.

- Weintraub, S. & Mesulam, M. M. (1988). Visual hemispatial inattention: stimulus parameters and exploratory strategies. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 51 (12), 1481-1488.
- Wightman, F. L. & Kistler, D. J. (1989a). Headphone simulation of free-field listening. I: Stimulus synthesis. *Journal of the Acoustical Society of America*, 85 (2), 858-867.
- Wightman, F. L. & Kistler, D. J. (1989b). Headphone simulation of free-field listening. II: Psychophysical validation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 85 (2), 868-878.
- Zimmer, U., Lewald, J. & Karnath, H. O. (2003). Disturbed sound lateralization in patients with spatial neglect. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15 (5), 694-703.
- Zimmermann, M. (2005). Das somatoviszzerale sensorische System. In R. F. Schmidt, F. Lang & G. Thews (Hrsg.), *Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie*. Heidelberg: Springer Medizin.

8 Anhang

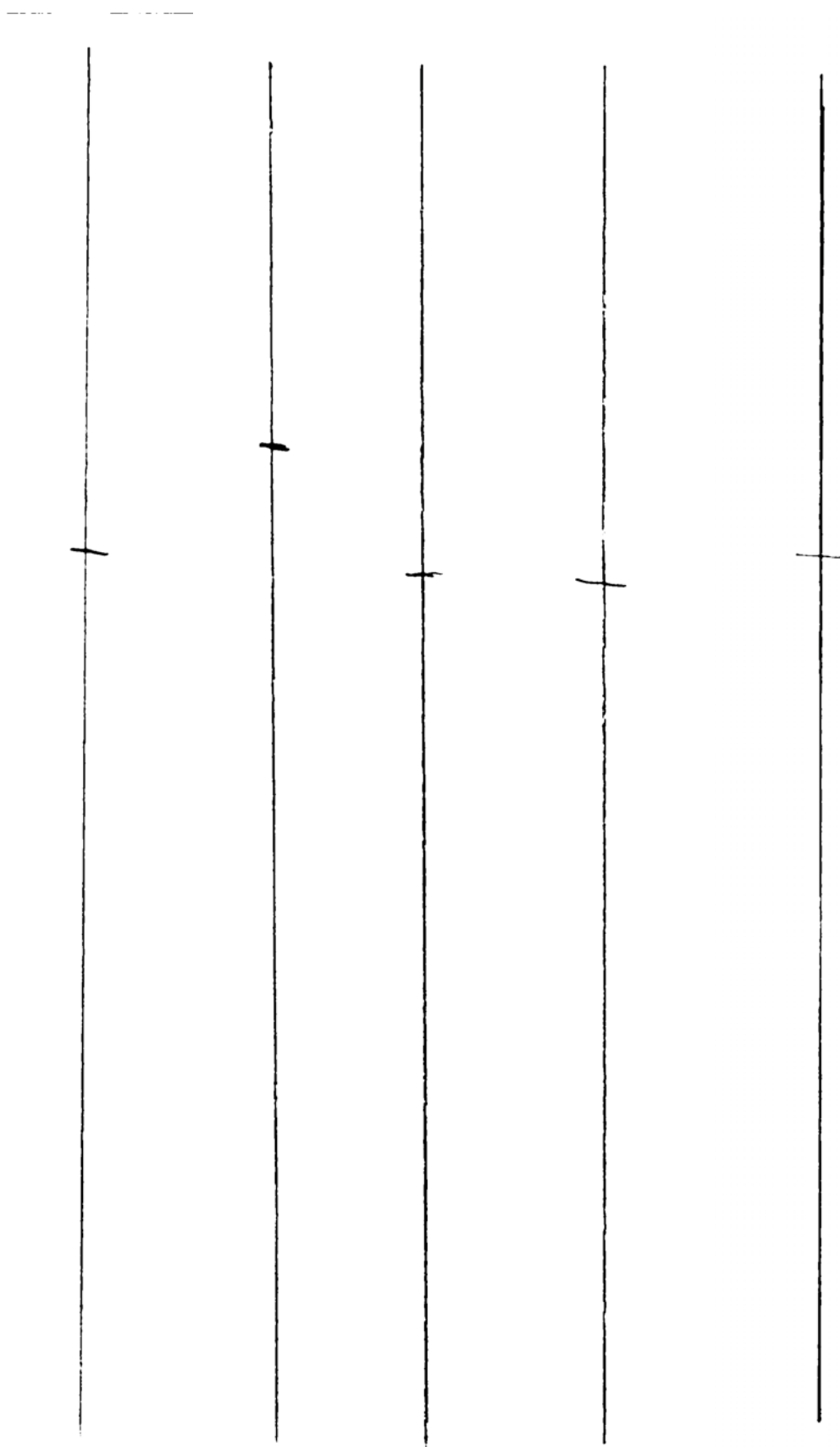


Abbildung 26 Exemplarische Darstellung des Linienhalbierens von Proband Nr. 49, leicht verkleinerte Wiedergabe. Zur Ansicht die Seite im Uhrzeigersinn um 90° drehen.

Bewertungssystem für Uhrzeichnungen (nach Rouleau et al., 1992):

1. Integrität des Ziffernblatts (maximal 2 Punkte)
 - 2 Ziffernblatt vorhanden ohne wesentliche Verzerrung.
 - 1 Ziffernblatt inkomplett oder verzerrt.
 - 0 Ziffernblatt fehlt oder ist absolut unangemessen.

2. Existenz und Sequenzierung der Ziffern (maximal 4 Punkte)
 - 4 Alle Ziffern sind in der richtigen Reihenfolge und mit allenfalls minimalen Fehlern in der räumlichen Anordnung.
 - 3 Alle Ziffern vorhanden, aber Fehler in der räumlichen Anordnung.
 - 2 Ziffern fehlen oder sind hinzugefügt, aber es ist keine grobe Verzerrung der übrigen Ziffern erkennbar. Ziffern entgegen dem Uhrzeigersinn angeordnet. Ziffern sind vorhanden, aber es gibt eine starke Verzerrung in der räumlichen Anordnung (z.B. Ziffern außerhalb des Ziffernblatts).
 - 1 Fehlende oder hinzugefügte Ziffern und wesentliche räumliche Verzerrung.
 - 0 Fehlen oder schwache Wiedergabe der Ziffern.

3. Existenz und Platzierung der Zeiger (maximal 4 Punkte)
 - 4 Zeiger sind in der korrekten Position und der Größenunterschied ist wiedergegeben.
 - 3 Leichte Fehler in der Platzierung der Zeiger oder fehlender Größenunterschied der Zeiger.
 - 2 Größere Fehler in der Platzierung der Zeiger; sie deuten klar in andere Richtungen (Großer: jenseits des Raums zwischen 3 und 4; Kleiner: $\leq 7, \geq 9$).
 - 1 Es ist nur ein Zeiger vorhanden oder die Zeiger sind schwach wiedergegeben.
 - 0 Keine Zeiger oder Perseveration der Zeiger.

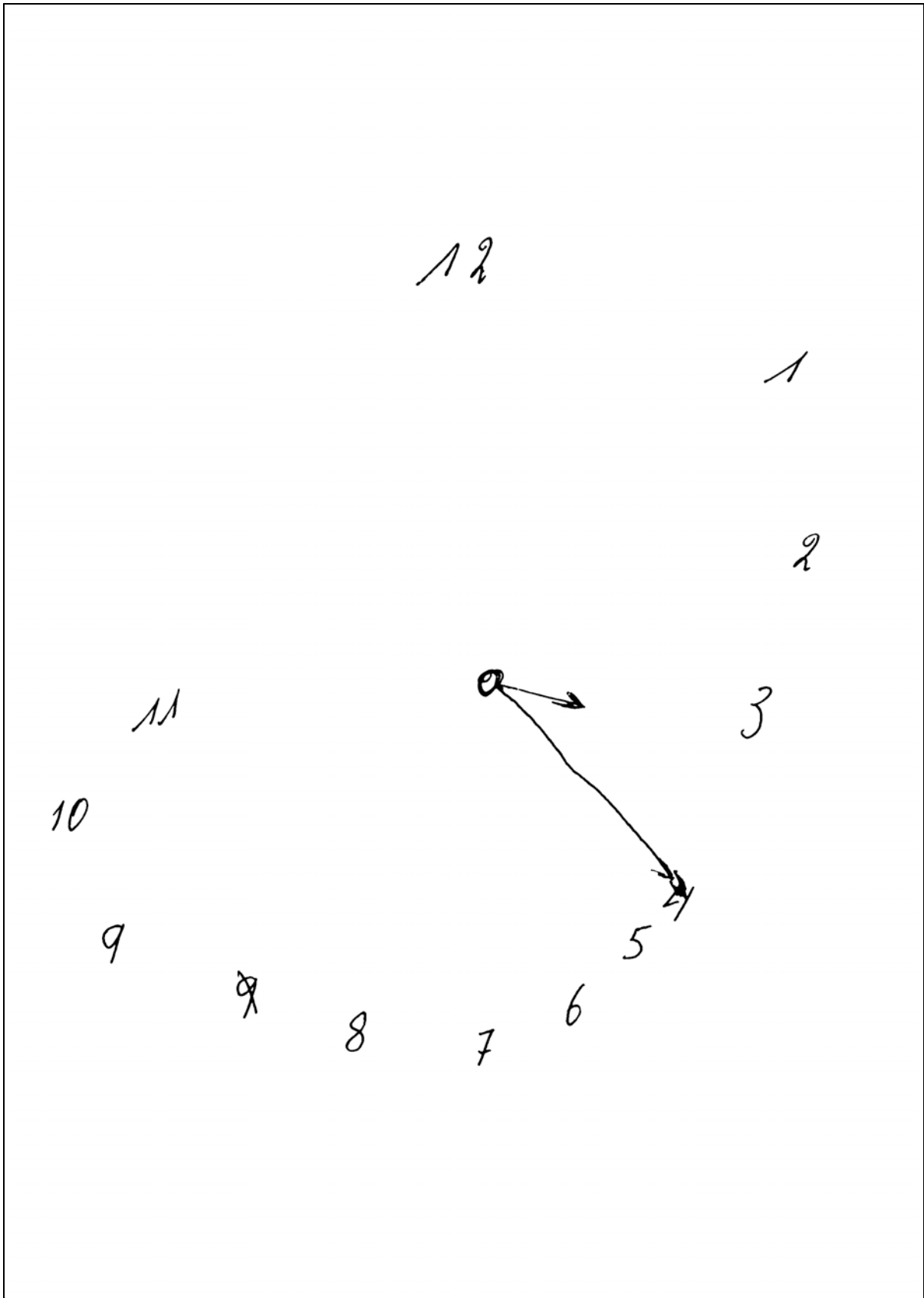


Abbildung 27 Exemplarische Darstellung der Uhrzeichnung von Proband Nr. 14. Gemäß dem Auswertungssystem von Rouleau et al. (1992) wurde sie mit vier Punkten bewertet. Der Rahmen zeigt die Blattgröße der Originalvorlage an.

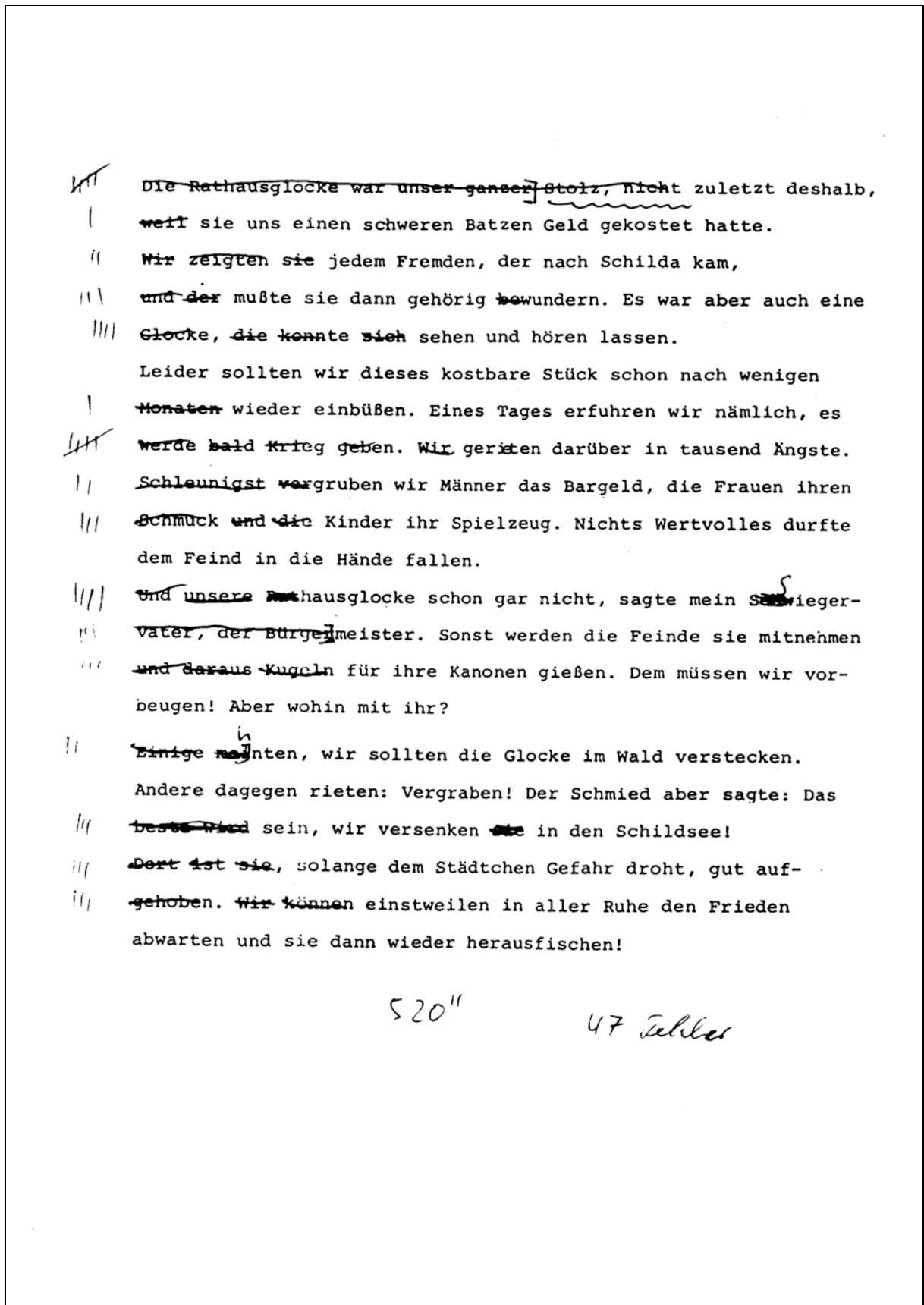


Abbildung 29 Exemplarische Darstellung der Leseleistung von Proband Nr. 14. Der Rahmen zeigt die Blattgröße der Originalvorlage an.

Qualitativer Extinktions-Test-2 (QET2) (Kerckhoff, 12/1999)

Name: _____ Geschlecht W Alter 67

Ätiologie/Läsion _____ Chronizität-Monate _____

Neglect.: _____ Neglect-Dyslexie _____ Gesichtsfeld: _____

Hemiparese _____ Sensibles Defizit _____

Unimanuelle Probetrials: (pro Material und Hand 1 Trial)

	Plastikfolie-	Sandpapier- fein	Seide (grün)	Flausch (schwarz)	Jute (beige)	Schaum- gummi
L. Hand	✓	Seide	Schaumgummi	✓	✓	✓
R. Hand	✓	✓	Jute	✓	✓	✓

4
5

Experimentelle Trials: bilaterale Stimulation der Handrücken mit gleichem vs. verschiedenem Material:
 (Untersucher/in sitzt Patient gegenüber, dessen Hände ausgestreckt mit Handfläche nach oben auf dem Tisch liegen; jeweils 2 Stimuli werden von proximal nach distal mit etwa 5 cm /Sekunde über beide Handflächen gezogen; nach jedem Trial die Frage: welches Material: ??; kein Hinweis vom Untersucher ob 1/oder2 Materialien!)

Trial	Rechte Hand	Linke Hand	Antwort des Probanden rechte Hand/linke Hand
1	Plastikfolie	Plastikfolie	✓ ✓
2	Sand-fein	Seide	✓ ✓
3	Jute	Jute	✓ ✓
4	Seide	Flausch	✓ Schaumgummi
5	Schaumgummi	Sand-fein	Jute Seide
6	Flausch	Flausch	✓ ✓
7	Seide	Sand-fein	Jute Jute
8	Schaumgummi	Schaumgummi	✓ Jute
9	Seide	Seide	✓ ✓
10	Flausch	Schaumgummi	✓ Flausch
11	Flausch	Flausch	✓ ✓
12	Plastikfolie	Jute	✓ Schaumgummi

+ +
+ f
f f
+ f
+ f

Abbildung 30 Exemplarische Darstellung des Qualitativen Extinktionstests von Proband Nr. 49, 1. Seite.

Trial	Rechte Hand	Linke Hand	Antwort des Probanden rechte Hand/linke Hand		
13	Plastikfolie	Plastikfolie	✓ / ✓		
14	Seide	Sand-fein	Schaum / Schaum	f	f
15	Jute	Jute	✓ / ✓		
16	Flausch	Seide	✓ / Flausch	+	f
17	Sand-fein	Schaumgummi	✓ / Seid	+	f
18	Flausch	Flausch	✓ / ✓		
19	Sand-fein	Seide	✓ / Sand	+	f
20	Schaumgummi	Schaumgummi	✓ / ✓		
21	Seide	Seide	✓ / ✓		
22	Schaumgummi	Flausch	✓ / Schaumg.	+	f
23	Flausch	Flausch	✓ / Schaumg.		
24	Jute	Plastikfolie	✓ / ✓	+	+
25	Sand-fein	Sand-fein	✓ / ✓		
26	Seide	Seide	✓ / ✓		
27	Plastikfolie	Seide	✓ / ✓	+	+
28	Jute	Jute	✓ / ✓		
29	Flausch	Schaumgummi	✓ / Seid	+	f
30	Seide	Jute	✓ / Seid	+	f
31	Schaumgummi	Schaumgummi	✓ / Seid		
32	Jute	Seide	✓ / ✓	+	+
33	Flausch	Flausch	✓ / Schaumg.		
34	Seide	Plastikfolie	Plastic / ✓	f	+
35	Seide	Seide	✓ / ✓		
36	Schaumgummi	Flausch	✓ / Seid	+	f

Auswertung: $\frac{13}{18}$ Anzahl Fehler linke Hand bei fettgedruckten Trials = $\frac{72,2}{100}$ Fehler Links
 $\frac{4}{18}$ Anzahl Fehler rechte Hand bei fettgedruckten Trials = $\frac{22,2}{100}$ Fehler Rechts

Extinktionsquotient: % Fehler links - % Fehler rechts = 50

Dr. Georg Kerkhoff, EKN, Dachauerstr. 164, D-80992 München, Tel. 089/15 40 57, e-mail: ekn@extern.lrz-muenchen.de

Abbildung 31 Exemplarische Darstellung des Qualitativen Extinktionstests von Proband Nr. 49, 2. Seite.

Ich versichere, die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt zu haben.

Minden, im November 2006

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier °° ISO 9706