

***Augenbewegungen bei der Betrachtung und Vorstellung
komplexer visueller Szenen***

*Untersuchungen an normalsichtigen Probanden und an
Patienten mit Hemianopie oder Neglekt*

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Bernd Körber
aus Mülheim a.d. Ruhr

Düsseldorf
2003

Gedruckt mit der Genehmigung der Mathematisch-Naturwissen-
schaftlichen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Referent(in): Prof. Dr. P. Stoerig

Korreferent(in): Prof. Dr. R. Pietrowsky

Tag(e) der mündlichen Prüfung: 23.07.2003

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	6
I. KONZEPTE DER VORLIEGENDEN ARBEIT	9
I.1. Einleitung	9
I.1.1. Einführende Vorbemerkung	9
I.1.2. Neurophysiologische Grundlagen	9
I.1.2.1. Strukturelle und funktionelle Aspekte von Augenbewegungen	11
I.1.3. Augenbewegungen und visuelle Wahrnehmung	13
I.1.4. Die Rolle von Aufmerksamkeitsleistungen bei Augenbewegungen: ein kognitionspsychologisches Modell	15
I.1.5. Visuelle Vorstellung	16
I.1.6. Augenbewegungen und visuelle Vorstellung	17
I.1.7. Ausgewählte Störungen visueller Verarbeitung	19
I.1.7.1. Hemianopie	19
I.1.7.2. Heminoglekt	22
I.1.8. Augenbewegungsmessungen bei Patienten	24
I.2. Ziele der Untersuchungen	25
II. ALLGEMEINE METHODEN	29
II.1. Ort und Zeitraum der Untersuchungen	29
II.2. Versuchspersonen	29
II.3. Technische Ausrüstung	31
II.4. Versuchsphasen	32
II.4.1. System-Kalibrierung	32
II.4.2. Verhaltensmessung	33
II.4.2.1. Methode zur Messung von Blickbewegungen	34
II.4.2.1.1. Das System der automatischen Auswertung von Blickbewegungen (IVIEW)	34
II.4.2.1.2. Experimenteller Aufbau	36
II.4.2.1.3. Experimenteller Ablauf	37
II.4.3. Die Stimuli	37
II.4.3.1. Der Stimulus „Portrait“	38
II.4.3.2. Der Stimulus „Kuh“	39
II.4.3.3. Der Stimulus „Mona Lisa“	40
II.4.3.4. Der Stimulus „Wohnzimmer“	41
II.5. Versuchsaufbau der Experimente – Experimentelles Design	42
II.5.1. Abhängige und unabhängige Variablen	42
II.5.2. Experimentelles Design – Versuchspläne	45
II.6. Auswertung	48
III. ERGEBNISSE	50
III.1. Experimenteller Teil A: Untersuchung normalsichtiger Probanden	50

III.1.1. Experiment A1: Untersuchung der Bilddurchmusterungen normalsichtiger Probanden bei Vorstellung, Betrachtung und freiem Abruf verschiedener komplexer Szenen	50
III.1.1.1. Spezifische Fragestellungen und Hypothesen	51
III.1.1.2. Methoden und Statistische Auswertung	52
III.1.1.3. Ergebnisse	53
III.1.1.4. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse für Experiment A1	64
III.1.2. Experiment A2: Untersuchung der Blickbewegungen normalsichtiger Probanden bei Vorstellung, Betrachtung und freiem Abruf einer rotierten komplexen Szene	67
III.1.2.1. Spezifische Fragestellungen und Hypothesen	68
III.1.2.2. Methoden und Statistische Auswertung	69
III.1.2.3. Ergebnisse	71
III.1.2.4. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse für Experiment A2	79
III.1.3. Experiment A3: Alterseffekte	82
III.1.3.1. Spezifische Fragestellung und Hypothesen	82
III.1.3.2. Methoden und Statistische Auswertung	83
III.1.3.3. Ergebnisse	84
III.1.3.4. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse für Experiment A3	90
III.2. Experimenteller Teil B: Augenbewegungsmessungen bei Patienten	92
III.2.1. Experiment B1: Exploration von betroffenen Gesichtsfeldanteilen bei Patienten	92
III.2.1.1. Spezifische Fragestellungen und Hypothesen	93
III.2.1.2. Methoden und Statistische Auswertung	93
III.2.1.3. Ergebnisse	95
III.2.1.4. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse für Experiment B1	100
III.2.2. Experimenteller Exkurs B2: Untersuchung von Blickbewegungen verschiedener Patientengruppen bei der Vorstellung, der Betrachtung und dem freien Abruf einer komplexen visuellen Szene	103
III.2.2.1. Spezifische Fragestellungen und Hypothesen	103
III.2.2.2. Methoden	104
III.2.2.3. Ergebnisse	105
III.2.2.4. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse für den Experimentellen Exkurs B2	109
III.2.3. Experimenteller Exkurs B3: Blickverhalten einzelner Patienten in Relation zu normalsichtigen Probanden bei Betrachtung und Vorstellung komplexer visueller Szenen	110
III.2.3.1. Spezifische Fragestellungen und Hypothesen	111
III.2.3.2. Methoden	111
III.2.3.3. Separate Analyse für den Stimulus „Kuh“ und den Stimulus „Portrait“ für die normalsichtigen Probanden mit der unabhängigen Variable Sehbedingung	112
III.2.3.4. Ergebnisse	114
III.2.3.5. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse für den Experimentellen Exkurs B3 und Vergleich der Befunde des Experimentellen Teils B	123
IV. DISKUSSION	126
IV.1. Zusammenfassung der Ergebnisse	126
IV.2. Methodische Aspekte der Messung durchmusterter Areale bei visueller Vorstellung und Betrachtung	130
IV.3. Bildliche Vorstellung und Betrachtung: Dissoziationen und Gemeinsamkeiten bei der Durchmusterung komplexer visueller Szenen	132
IV.3.1. Kompression visueller Vorstellungsbilder	132
IV.3.2. Gemeinsame Durchmusterungsprinzipien in Vorstellung und Betrachtung	133
IV.3.3. Dissoziation von Vorstellung und Betrachtung: Die Rolle bildimmanenter Salienzen und spezifischer Aufmerksamkeitsfokussierung	134
IV.3.4. Stimulusunabhängige vertikale Augenbewegungen in Vorstellung und Betrachtung	135
IV.4. Implikationen für ein neurophysiologisches Erklärungsmodell	136
IV.5. Bedeutung für die visuelle Wahrnehmung: eine Hypothese	138

IV.6. Das Blickverhalten von Patienten bei Vorstellung und Betrachtung komplexer visueller Szenen	139
IV.6.1. Vorstellung und Betrachtung: Gemeinsame Durchmusterungsprinzipien bei Patienten – Parallelen zu Normalsichtigen	139
IV.6.2. Die Unterscheidbarkeit von Patienten beim Vergleich von Vorstellung und Betrachtung	142
IV.6.3. Implikationen für die neuropsychologische Rehabilitation	144
IV.7. Ausblick	145
LITERATUR	148
ANHANG	

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Reihe von Untersuchungen an Normalsichtigen legt nahe, dass Sehen und bildliches Vorstellen durch dasselbe neuronale Substrat vermittelt werden. Bei neurologischen Patienten sind jedoch sowohl Assoziationen als auch Dissoziationen von Störungen in beiden Bereichen berichtet worden. Diese Untersuchungen stellen die Grundlage für die vorliegende Arbeit dar. Zum Abtasten visueller Reize und Szenen werden sowohl beim Betrachten, als auch beim Vorstellen explorative Augenbewegungen eingesetzt. Damit stellen Augenbewegungsmessungen eine geeignete Methode zur Objektivierung von Bilddurchmusterungen dar. Das computergesteuerte IView-Meßsystem erfasst die Augenbewegungen eines Probanden mittels der Infrarotmeßtechnik und lässt somit über den Vergleich der Bilddurchmusterungen beim Betrachten und Vorstellen eine objektive Erfassung des beim Wahrnehmen und Vorstellen eingesetzten Gesichtsfeldes erreichen.

In der vorliegenden humanexperimentellen Studie wurden Blickbewegungsmuster während visueller Vorstellung, Betrachtung und freiem Abruf von komplexen visuellen Szenen untersucht. Übergeordnet wurde die Frage gestellt, ob man über das Messen von Augenbewegungen ermitteln kann, in wieweit sich die durchmusterten Areale bei bildlichem Vorstellen und tatsächlichem Sehen eines komplexen Stimulus unterscheiden, und ob es gemeinsame Mechanismen für die Durchmusterung solcher Stimuli gibt. Dabei sollte sich bei Vorstellung und Betrachtung primär inhaltsgeleitetes Blickverhalten zeigen. Durchmusterungsunterschiede zwischen den Sehbedingungen wurden hinsichtlich der Bedeutung spezifischer inhaltlich salienter Bildbereiche erwartet. Darüber hinaus wurde untersucht, ob sich die Durchmusterungen von Patienten mit postgenikulären Läsionen und Neglekt bei diesen Aufgaben unterscheiden. Es wurde erwartet, dass der Läsionsort, die betroffene Hemisphäre und der akute oder chronische Zustand eines Patienten kompensationsabhängig in unterschiedlicher Weise auf die Bildbetrachtung und -vorstellung Einfluss nehmen.

Im experimentellen Teil A wurden 55 normalsichtige Probanden untersucht. Es konnte erstmals nachgewiesen werden, dass die Ausdehnung einer betrachteten Fläche für die Vorstellung und den Abruf einer komplexen Szene kleiner ist, als bei deren tatsächlicher Betrachtung. Es konnte zudem nachgewiesen werden, dass bei den Durchmusterungen die einschlägigen Maße der Augenbewegungsmessung

(erste Sakkade, betrachtete Fläche und Aufenthaltsdauer) stimulusabhängig beim Vorstellen, Betrachten und Abrufen gerade in inhaltlich salienten Bildbereichen erhöhte Werte nachweisen lassen (Experiment A1). In wieweit solche salienten Bildbereiche nun einen Einfluss auf die Blickbewegungen unter unterschiedlichen Sehbedingungen haben, untersuchte Experiment A2. Eine Rotation des präsentierten Stimulus ließ erkennen, dass die Blickbewegungsmuster aufmerksamkeitsbezogen der Rotation der salienten Bildbereiche während Betrachtung und visueller Vorstellung folgen und dass sich in der Vorstellung das durchmusterte Areal in Richtung dieser Salienzbereiche verlagert. Diese Effekte ließen sich auch für eine ältere Probandengruppe (>50 Jahre) nachweisen, hier jedoch mit einer größeren Streuung der Ergebnisse (Experiment A3).

Unabhängig von diesen am Inhalt orientierten Blickbewegungen zeigte sich in Vorstellung und Betrachtung die Tendenz, die initiale erste Sakkade in das obere Halbfeld zu richten (Experiment A1), sowie in der Vorstellung- und in der Abrufbedingung tendenziell jeweils mehr Fläche in den beiden unteren Quadranten zu durchmustern als in den oberen (Experimente A2, A3).

Die im experimentellen Teil B erfolgte Analyse von Blickverhalten hemianoper und Neglekt-Patienten (n = 11) mit individuellen Ausfallschablonen lieferte für komplexe visuelle Szenen in Experiment B1 Ergebnisse, dass Patienten während beider Vorstellungsaufgaben und der Betrachtung auch innerhalb des untersuchten Ausfallbereiches explorieren (Experiment B1). Ein Großteil der Probanden exploriert in der Vorstellung im Läsionsbereich anteilig zur Gesamtdurchmusterung mehr Fläche als unter der Betrachtungsbedingung. Dabei deutet die Durchsicht der einzelnen Durchmusterungspfade an, dass für Patienten mit okzipitaler Schädigung die gesamt durchmusterte Fläche in der Vorstellung wie bei Normalsichtigen weniger ausgedehnt ist als bei der Bildbetrachtung. Im Trend durchmustern Neglekt-Patienten bei der Bildbetrachtung deutlich mehr im gesunden Bereich, während sie in den Vorstellungen deutlich mehr in den Ausfallbereich schauen. Ergänzend finden sich erste Hinweise darauf, dass inhaltlich saliente Objekte von Interesse in Interaktion mit blickkompensatorischem Verhalten vor allem in der Vorstellung externe Hinweisreize sein können und so das Blickverhalten beeinflussen.

Die explorativen experimentellen Exkurse B2 und B3 belegen und ergänzen anhand einer vereinfachten Halbfeldanalyse die Befunde des Experiments B1. Danach wird in der Vorstellung tendenziell länger innerhalb des betroffenen Halbfeldes verweilt als

bei der Betrachtung und es wird eine größere Fläche durchmustert, wobei Abhängigkeiten von der Läsionsseite und der Position von bildimmanenten Salienzbereichen bestehen. Darüber hinaus zeigen sich in ersten Trends Gruppenunterschiede: die Gruppe akut erkrankter Patienten richtet die erste Sakkade im Gegensatz zur Vorstellungsbedingung bei der Betrachtung nicht in das betroffene Halbfeld, auch wenn sich dort das saliente Objekt von Interesse befindet. Vorstellung scheint dabei initiales Explorieren des betroffenen Halbfelds zu erleichtern. Chronische Patienten richten die erste Sakkade unter allen Sehbedingungen überwiegend zum Objekt von Interesse. Diese weisen im Vergleich mit Normalsichtigen auch in jeder Sehbedingung erhöhte zeitliche und räumliche Durchmusterungsanteile im betroffenen Halbfeld auf, während sich wiederum für akute Patienten eine Dissoziation von Vorstellungsbedingungen und Betrachtung andeutet: Bei der Reizbetrachtung ergeben sich verminderte Durchmusterungsanteile im betroffenen Halbfeld gegenüber Normalsichtigen.

Insgesamt sprechen die vorliegenden Befunde bei Vorstellung, Betrachtung und freiem Abruf für ein vom Bildinhalt abhängiges, aufmerksamkeitsgelenktes Durchmustern komplexer visueller Szenen. Unterschiede ergeben sich hinsichtlich der Größe und Position der dabei selektiv geöffneten Aufmerksamkeitsfenster und damit der Abbildungsdimension des Stimulus. Parallel dazu existieren für einzelne Blickbewegungsparameter Mechanismen, die einem formalen, stimulusunabhängigen Blickverhalten folgen. Auch Patienten explorieren die betroffenen Anteile ihres Gesichtsfelds während der Vorstellung einer komplexen visuellen Szene. Wie bei den Normalgesunden sprechen für chronische Patienten die meisten Befunde für gemeinsame Mechanismen der Bilddurchmusterung bei Vorstellung und Betrachtung, wobei auch Kompensationsmechanismen greifen. Die Befunde für akute Patienten weisen aber auch auf Dissoziationen zwischen den Sehbedingungen hin. Entsprechend der Patientenätiologie deuten sich dabei Parallelen und Unterschiede in der Struktur der Bilddurchmusterungen an, die auf Gruppenspezifitäten rückschließen lassen. Die erhobenen Befunde werden im Kontext eines neurophysiologischen und eines kognitionspsychologischen Erklärungsmodells diskutiert. Mögliche Konsequenzen für die neuropsychologische Rehabilitation werden erörtert.

I. KONZEPTE DER VORLIEGENDEN ARBEIT

I.1. Einleitung

I.1.1. Einführende Vorbemerkung

Die vorliegenden Untersuchungen haben zum Ziel, den Einfluss des funktionellen Prozesses der Bildbetrachtung in verschiedenen Variationen (Vorstellung, Betrachtung, freier Abruf; unabhängige Variable) auf das Verhalten normalsichtiger Probanden und auf durch Läsionen des visuellen Systems hervorgerufene Verhaltensänderungen bei Patienten (Blickbewegungen; abhängige Variable) zu untersuchen.

Im Folgenden werden zunächst neurophysiologische Grundlagen der engen Anbindung des okulomotorischen Systems an perzeptuelle Vorgänge dargestellt. In direktem Zusammenhang werden strukturelle und funktionelle Aspekte von Augenbewegungen erläutert und Möglichkeiten ihrer Parametrisierung aufgezeigt. Es folgt eine Beschreibung der Bedeutung von Augenbewegungen für die visuelle Wahrnehmung bei der Bilddurchmusterung und deren Zusammenhang mit Kognition und Aufmerksamkeitsleistungen. Ein Überblick zur visuellen Vorstellungsfähigkeit im Kontext von Augenbewegungen und Theorien zur Bilddurchmusterung schließt sich an. Der pathophysiologischen und klinischen Beschreibung von Hemianopie und von Neglekt beim Menschen folgt schließlich die Erörterung vorliegender Befunde zu den benannten Störungsbildern im Kontext von Vorstellung und Augenbewegungen. Auf dieser Basis werden schließlich die Fragestellungen und Ziele hergeleitet, die zu den experimentellen Untersuchungen der vorliegenden Arbeit geführt haben.

I.1.2. Neurophysiologische Grundlagen

Die vorliegende Arbeit geht von der Annahme aus, dass Wahrnehmungs- und Vorstellungseindrücke aus Teilbildern zusammengesetzt werden, indem Objekte oder Objektteile mit den Informationen über die Position assoziiert werden. Dabei

bildet die enge Anbindung des okulomotorischen Systems an die perzeptuellen Vorgänge die Grundlage für Augenbewegungsparadigmen, mit deren Hilfe Prozesse der Wahrnehmung und Vorstellung vorteilhaft untersucht werden sollen.

Man geht von einer dichotomen neuronalen Verarbeitung von Position und Gestalt eines Objekts aus (Mishkin et al. 1983). So führt der afferente Verlauf der Sehbahnen vom Auge über das Corpus geniculatum laterale zur primären Sehrinde (V1) und im Verlauf der extrastriären Weiterverarbeitung visueller Information einerseits zum inferioren Temporallappen (ventrales System) und andererseits zum Lobus parietalis (dorsales System). Zellen des ventralen Systems reagieren selektiv auf Stimulusattribute wie Farbe und Struktur, auf einfache und komplexe Muster und auf komplexe natürliche Objekte wie Gesichter. Eine Zerstörung dieses Gebiets führt zu mangelnder Objekterkennung bei erhaltenem Gesichtsfeld (Cowey & Weiskrantz 1967). Demgegenüber reagieren Bereiche des parietalen Kortex selektiv auf Position und Bewegungsrichtung von nichtspezifizierten Objekten innerhalb des Gesichtsfelds (Holmes 1918, De Renzi 1982). Das Ergebnis der visuospatialen Analyse im Lobus parietalis (v.a. Area 7a und 7b) wird innerhalb des präfrontalen Kortex dem frontalen Augenfeld, dem supplementär-motorischen Kortex und dem dorsolateralen-präfrontalen Kortex zur Verfügung gestellt. Hier erfolgt die Programmierung der okulomotorischen Aktion. Kosslyn (1987) vermutet innerhalb des dorsalen Systems zwei Subsysteme, von denen das eine topologisch die Beziehung eines Objekts oder Objektteils zum Ganzen bearbeitet, während das andere eine metrische Repräsentation zwischen zwei Objekten oder zwischen Objekt und Betrachter bearbeitet.

Levine und Mitarbeiter (1985) konnten eine Dissoziation orts- und objektspezifischer Informationen auch für visuelle Vorstellung zeigen: die eine Patientengruppe ihrer Studie hatte in Assoziation mit einer Prosopagnosie und einer Achromatopsie eine defizitäre Vorstellungsfähigkeit für Objekte, die aus dem Gedächtnis beschrieben werden sollten. Die zweite Gruppe litt unter räumlichen Orientierungsstörungen und fiel zusätzlich dadurch auf, dass die räumlichen Beziehungen von Objekten zueinander nicht beschrieben werden konnten, wobei die Objekterkennung ungestört war.

Weitere Experimente zeigen die Interaktion von visueller Information und Okulomotorik. Dabei kommen den benannten Strukturen im Frontalhirn die Planung und Ausführung von Reflex- und Willkürsakkaden zu (Bruce & Goldberg 1985,

Schlag & Schlag-Rey 1987, Boch & Goldberg 1985). Zu einer verzögerten und verlangsamten Ausführung hypometrischer Sakkaden kommt es beispielsweise bei Läsionen des frontalen Augenfeldes (Guitton et al. 1985). Pierrot-Deseilligny und Mitarbeiter (1993) zeigten in einer funktionell-anatomischen Humanstudie, dass Läsionen des dorsolateralen präfrontalen Kortex zu einer Beeinträchtigung von Sakkaden zu erinnerten Sehzielen führen. Die Auswirkung von Frontalhirnläsionen auf die Planung und Ausführung von Sakkaden kann also an motorischen Basisparametern und an komplexen okulomotorischen Leistungen wie der Präzision von Sakkaden zu erinnerten Sehzielen („memory guided saccades“) abgelesen werden. Die enge Beziehung zwischen dem Abrufen gedächtnisrelevanter visuospatialer Informationen und der Ausführung entsprechender Sakkaden ist ebenfalls auch im Tierexperiment gezeigt worden (Funahashi 1993). Brandt (1995) folgert zusammenfassend, dass die während einer visuellen Vorstellung auftretenden Augenbewegungen eine spezifische Mitaktivierung des kortikalen okulomotorischen Systems – insbesondere seiner frontalen Anteile - darstellen und dass von einer funktionellen Relevanz der Augenbewegungen für die Generierung der bildlichen Vorstellung auszugehen ist.

I.1.2.1. Strukturelle und funktionelle Aspekte von Augenbewegungen

Mit der Entstehung der Fovea centralis bei den Säugern entstand die Notwendigkeit, den retinalen Bereich höherer visueller Auflösung gezielt für die Detailwahrnehmung interessanter Objekte nutzbar zu machen (Henry & Vidysagar 1991). Zusätzlich zum vestibulären und optokinetischen Reflex entwickelte sich ein Repertoire an willkürlichen Augenbewegungen, mit denen die Blickachse unabhängig von der Kopfachse verändert und Sehziele auf den Punkt des schärfsten Sehens abgebildet und dort stabilisiert werden konnten. Mit der Entwicklung frontaler Retinae und der Möglichkeit binokularen Sehens kamen konjugierte und diskonjugierte (vergente) Augenbewegungen hinzu, die eine gleichzeitige Abbildung des Sehziels auf beiden Foveae centrales gestatten. Man kann daher sechs funktionelle Klassen von Augenbewegungen unterscheiden, die verschiedene visuelle Funktionsbereiche widerspiegeln und die durch spezifische anatomische Strukturen realisiert werden (Walls 1962; Tab. I-1.).

Die Betrachtung stationärer visueller Szenen und der daraus resultierende Blickpfad (scanpath) konstituiert sich bei unbewegtem Kopf aus einem Wechselspiel von Sakkaden und Fixationen.

Tabelle I-1.: Funktionelle Klassen der Augenbewegungen (nach Leigh & Zee 1991).

Funktionelle Klassen	Hauptfunktionen
Visuelle Fixation	Stabilisiert das retinale Bild eines stationären Objektes bei unbewegtem Kopf.
Vestibulär	Stabilisiert das retinale Bild während kurzer Kopfbewegung.
Optokinetisch	Stabilisiert das retinale Bild während großer Kopfbewegung.
Langsame Folgebewegungen	Stabilisiert das retinale Bild eines bewegten Objektes.
Nystagmus (schnelle Phasen)	Automatische Rückstellbewegung bei optokinetischer und vestibulärer Stimulation.
Sakkaden	willkürliche Blickrichtungsänderungen und unwillkürliche rasche Blickrichtungskorrektur.
Vergenz	gegenseitige Bewegung bei binokularer Fixation eines Objektes.

Fixationen stabilisieren das retinale Bild eines stationären Objektes bei unbewegtem Kopf. Sie werden durch Mikrobewegungen (Tremor, drift, Mikrosakkaden) unterbrochen. Die Aufgabe dieser Mikrobewegungen ist die ständige feine Verschiebung des retinalen Bildes zur Verhinderung lokaler Adaptationsprozesse, da eine vollständige Stabilisierung des retinalen Bildes innerhalb von Sekunden zum Verschwinden des Seheindrucks führt (Ditchburn & Ginsborg 1953). Ursprünglich wurde angenommen, Fixationen seien Folgebewegungen bei fehlender Bewegung (Yarbus 1967). Man geht jedoch heute von einem eigenständigen Fixationssystem mit selektiver Störbarkeit durch umschriebene Läsionen aus (Luebke & Robinson 1988).

Sakkaden sind rasche Augenbewegungen, die in Abhängigkeit von ihrer Amplitude Winkelgeschwindigkeiten bis zu 700°/sec erreichen. Sie ermöglichen es, ein im peripheren Gesichtsfeld entdecktes Sehziel zu fixieren und es damit durch Abbildung auf der Stelle des schärfsten Sehens, der Fovea centralis der Retina, der Detailerkennung zugänglich zu machen. Da Sakkaden in Richtung, Amplitude und Geschwindigkeit weitgehend vorprogrammiert sind, müssen Zielfehler durch anschließende Korrektursakkaden mit einer Latenz von 100 - 300 ms ausgeglichen werden. Bei Fixation eines Blickziels, das sich exzentrischer als 20° vom egozentrischen Geradeaus befindet, werden Sakkaden meist mit Kopfwendebewegungen kombiniert.

Bei der Messung von Augenbewegungen lassen sich stationäre Fixationsparameter, Bewegungsparameter sowie die Explorationsdauer als kombiniertes Maß unterscheiden. Zu den stationären Parametern werden beispielsweise Fixationsdauer, -stabilität und -frequenz gezählt (Johnston 1988; Tab. I-2.).

Tabelle I-2.: Hauptkategorien verschiedener Parameter bei Augenbewegungsmessungen (nach Johnston 1988).

Stationäre Parameter	
Fixationsdauer	Zeitraum, innerhalb dessen ein spezifischer Ort fixiert wird (in ms)
Fixationsstabilität	Persistenz der Fixation eines spezifischen Ortes (in Grad der Abweichung)
Fixationsdichte (-frequenz)	Refixation eines spezifischen Ortes oder Bereiches (absolute bzw. relative Häufigkeit)
Bewegte Parameter	
Sakkadeninitiierung	Fähigkeit zur Ausführung einer Bewegung als Antwort auf externe oder interne Aufforderung (klinische Beobachtung)
Sakkadenlatenz	Reaktionszeit des Auges (in ms)
Sakkadengenauigkeit	Genauigkeit der Bewegung auf ein neues Ziel hin (in Grad der Abweichung vom intendierten Zielort oder Anzahl der Sakkaden bis zur Zielfixation)
Kombinierte Maße	
Explorationsdauer (oder Suchzeit)	Betrachtungszeitraum einer spezifischen Region bzw. Zeit bis zum Auffinden eines spezifischen Zielortes (in sec oder relative Häufigkeit)

I.1.3. Augenbewegungen und visuelle Wahrnehmung

Nur die zentralen fünf Sehwinkelgrad des Gesichtsfeldes fallen in retinale Bereiche mit einer für die Detailerkennung ausreichenden Dichte von Rezeptoren. Rasche Augenbewegungen dienen der fortlaufenden Repositionierung von Sehzielen in der Fovea centralis (s.o.). Eine Sakkade wird immer von einer kurzdauernden Fixation (etwa 150–1000 ms) gefolgt, und nur während der Fixation ist eine für die Detailerkennung ausreichende Auswertung des retinalen Bildes möglich. Die Abfolge von Fixationen und Sakkaden in der Zeit bezeichnet man als *visuelle Exploration*, das resultierende Blickbewegungsmuster als „*scanpath*“. Sie wird als kontinuierlicher und von durchgehend scharfem Wahrnehmungseindruck begleiteter Prozess erlebt, der der willkürlichen Kontrolle unterliegt. Der genauen Abfolge der explorierenden Augenbewegungen ist man sich jedoch nicht bewusst. Somit stellt das Explorationsmuster ein wichtiges physiologisches Maß zur Untersuchung von Wahrnehmungsleistungen und der visuellen Vorstellung zugrunde liegender

kognitiver Vorgänge dar, die einer introspektiven Beobachtung deutlich überlegen ist. Durch die Erhebung von Augenbewegungsmustern lassen sich somit Rückschlüsse auf mögliche visuelle Mechanismen bei der Wahrnehmung ziehen.

Explorative Augenbewegungsmuster und Wahrnehmungsobjekt stehen in engem Zusammenhang, wobei sie nicht rein reflexiv durch die äußere Reizkonfiguration bestimmt sind. Die Verteilung von Fixationen steht in Beziehung zum visuellen Inhalt des Bildes (Buswell 1935, Brandt 1940). Diese fallen aufmerksamkeitsbezogen vor allem in Bildbereiche, die intuitiv für das Erkennen besonders relevant scheinen; bei einfachen Strichzeichnungen beispielsweise dort, wo Linien kreuzen oder Ecken entstehen (Jeannerod et al. 1968). Gleichzeitig wird das Explorationsverhalten aber auch von den Erwartungen und Aufgaben mitbestimmt, unter denen die Bildbetrachtung erfolgt (Yarbus 1967).

Somit stellt die visuelle Wahrnehmung eine Interaktion visueller, kognitiver und okulomotorischer Funktionen dar, bei der die Steuerung willkürlicher Augenbewegungen durch selektive Aufmerksamkeit, Gedächtnisleistungen und kontextspezifische Erwartungen beeinflusst wird (Brandt 1995). Demnach wäre für die Betrachtung eines komplexen Bildes in einem bestimmten Zeitraum ein ungleichmäßiges, jedoch aufgabenspezifisches und stimulusspezifisches Blickbewegungsmuster aus kürzeren und längeren Sakkaden sowie verschieden lang andauernden Fixationen zu erwarten, das spezifische Aufmerksamkeitsfoki auf inhaltsrelevante Bildinhalte aufweist. Dieses Verhalten wiederum sollte messbar werden durch bestimmte Blickbewegungsparameter, z.B. einer ungleichmäßigen Verteilung der betrachteten Fläche innerhalb eines Bildes oder ungleichmäßiger Verteilung der Aufenthaltsdauern in verschiedenen Bildanteilen. Dies stellt einen wesentlichen Aspekt der Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit dar. Die beiden kombinierten Maße geben nicht allein Aufschluss darüber, welche Orte zu welchem Zeitpunkt einer Bilddurchmusterung aufgesucht werden, sondern liefern Informationen, wie viel Zeit an einem bestimmten Ort innerhalb des Bildes verbracht wird und welche Konsequenz dies für den in der Zeit gesamt durchmusterter Bildbereich hat. Ein solches physiologisches Verhaltensäquivalent für die Bildbetrachtung bedarf der Existenz einer visuellen Repräsentationsebene auf neuronaler Ebene, die die resultierenden raum-zeitlichen Beziehungen integriert. Dies wird als „quasi bildhafte Repräsentationsebene für visuelle Reize“ (Kosslyn 1987) bezeichnet.

In der vorliegenden Arbeit wird dieser Zusammenhang eingehender untersucht, wobei besonderes Augenmerk darauf gerichtet wird, ob spezifische Aufmerksamkeitsleistungen bei der Bildbetrachtung eine Rolle spielen, wobei das „Bildgedächtnis“ kohärent mit der Bildbetrachtung einhergehen könnte. Das „Bildgedächtnis“ könnte somit wiederum direkt anhand eines Vergleiches der Augenbewegungen bei der Bildvorstellung mit denen bei der Betrachtung gemessen werden.

I.1.4. Die Rolle von Aufmerksamkeitsleistungen bei Augenbewegungen: ein kognitionspsychologisches Modell

Die Fixation eines Sehziels in der Fovea erfolgt nicht wahllos. Aus kognitionspsychologischer Sicht liegt ihr ein Filtersystem zugrunde, das es ermöglicht, nur auf relevante Information zu reagieren und den Rest unbeachtet zu lassen. Der dabei stattfindende Filtervorgang wird als selektive Aufmerksamkeit bezeichnet (Kolb & Wishaw 1993): Innerhalb eines internen räumlichen Koordinatensystems, das den beobachtbaren Außenraum umfasst, können so selektiv Aufmerksamkeitsfenster („attentional windows“) dort geöffnet werden, wo inhaltlich bedeutsame, saliente Information zu erwarten ist. Salienz wiederum kann eine einfache Qualität wie Farbe sein (Treisman & Gelade 1980), die wahrnehmungsrelevante Gruppierung von Stimuluseigenschaften nach Prinzipien ihrer Gestalt (Prinzmetal 1981, Duncan 1984) oder auch die Unähnlichkeit zwischen einem Stimulus und Distraktoren (Duncan & Humphreys 1992, Nothdurft 1993). Aus funktionell-anatomischer Sicht soll es sich hierbei um „bottom-up“ Prozesse handeln, wenn ein Umweltreiz über sensorische Systeme Einfluss auf höhere Hirnareale nimmt. Ebenso kann über „top-down“ Einflüsse auf das visuelle System selektiv Aufmerksamkeit gerichtet werden, wenn vorab eine Instruktion für einen spezifischen Stimulus erfolgt ist (Frith 2001). Beide Prozesse sollen über Feedback Schleifen „aufmerksamkeitssteuernde Kontrolloperationen“ durchführen und über frontale und parietale Areale mediiert werden (Kastner & Ungerleider 2001).

I.1.5. Visuelle Vorstellung

Verschiedene experimentelle Arbeiten weisen auf funktionelle Ähnlichkeiten zwischen Vorstellungs- und Wahrnehmungsbildern und gemeinsame kognitive Mechanismen bei Wahrnehmungs- und Vorstellungsprozessen hin. So lassen sich durch visuelle Vorstellung Nachbilder induzieren (Weiskrantz 1952, Broerse & Cassini 1984). Die für eine mentale Rotation mehrdimensionaler Figuren benötigte Antwortlatenz entspricht den äußerlich ablaufenden physikalischen Transformationen (Shepard & Metzler 1971, Metzler & Shepard 1974, Cooper 1975). Die Durchmusterungsdistanzen in Vorstellungsbildern korrelieren mit den Antwortlatenzen und stimmen mit Absuchdistanzen beim Wahrnehmen überein. Wie bei der Wahrnehmung dauert es länger, einen entfernten Ort auf einer Landkarte aufzusuchen als einen nahen (Kosslyn 1973, Finke & Pinker 1983). Die Vorstellung von Gegenständen, die teilweise durch Hindernisse verdeckt sind ist schwieriger als die Vorstellung solcher, die vollständig sichtbar sind (Kosslyn 1975).

Neueren, insbesondere durch funktionelle Bildgebung getragenen Forschungsergebnissen zufolge, sind die strukturell-anatomischen Korrelate für visuelle Vorstellung im parieto- und temporo-okzipitalen Assoziationskortex zu lokalisieren (Roland & Gulyas 1994, D'Esposito et al. 1997). Sie wären demnach mit Strukturen assoziiert, denen neben visuellen Funktionen und der *Feature*-Analyse auch eine Aufmerksamkeitssteuerung zukommen soll (vgl. I.1.4.). Einige Studien konnten auch die Aktivierung des primären visuellen Kortex (Kosslyn et al. 1993, 1995, 1999) und des Nucleus geniculatus lateralis (Chen et al. 1998) während visueller Vorstellung zeigen. Somit könnte die Generierung mentaler Vorstellungsbilder sensorische Repräsentationen schon während früher Stadien innerhalb des visuellen Systems involvieren. Ishiai und Mitarbeiter (2000) fanden mit funktioneller Magnetresonanztomografie zusätzlich eine nicht-aufgabenspezifische Aktivierung frontaler Kortexbereiche. Sie vermuten, dass eine inhaltsgeleitete Aktivierung extrastriärer Kortexareale ergänzt wird durch „top-down“-Mechanismen innerhalb des frontalen und parietalen Kortex. Diese sollen den Abruf und die Beibehaltung von Gesicht- und Objektrepräsentationen während visueller Vorstellung ermöglichen.

Die beschriebenen funktionellen und strukturell-anatomischen Ähnlichkeiten zwischen visueller Wahrnehmung und visueller Vorstellung lassen die Frage

aufkommen, ob sich Augenbewegungsparameter als Verhaltensmaß bei Vorstellung von visuellem Stimulusmaterial – wie in der vorliegenden Arbeit vorgesehen - in gleicher Weise sinnvoll operationalisieren lassen wie bei der Betrachtung von visuellen Reizen. Hierauf soll im folgenden Abschnitt näher eingegangen werden.

I.1.6. Augenbewegungen und visuelle Vorstellung

Mit Hilfe der beschriebenen bildgebend oder experimentell durch Probandenuntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse wird ein konsistentes Modell der kognitiven Vorgänge angestrebt, die einerseits als „aktives Sehen“ sowie andererseits als „visual imagery“ bezeichnet werden. Kernaspekte der visuellen Vorstellung werden von Kosslyn und Shin (1994) in einer integrierenden Zusammenfassung vorhergehender Studien beschrieben. Ausgehend von PET und SPECT-Untersuchungen während der Ausführung von visuellen Vorstellungsaufgaben ergaben sich erhöhte Blutflussraten in den bereits oben beschriebenen Kortexarealen, die auch in den Prozess visueller Wahrnehmung einbezogen sind. Ausgehend davon, dass diese verschieden hoch differenzierten Areale gegenseitig neuronale Informationen austauschen, versuchen die Autoren ein Erklärungsmodell für den Prozess des Vorstellens von Bildern sowie auch des Erkennens von Bildern im Sinne eines „Abgleichprozesses mit mentalen Prototypen“ zu geben. Danach soll die Projektion von Information eines extrastriären „High-level“-Areal in das retinotop organisierte V1-Areal, das zugleich als „Fenster“ für eingehende retinale Bilder dient, die Visualisierung eines zuvor entworfenen Bildes sein. Dies wird als so genanntes „geistiges Auge“ bezeichnet. Dabei soll die Area striata die Rolle eines visuellen Puffers übernehmen, innerhalb dessen ein Aufmerksamkeitsfenster das Betrachten selektiv auf die jeweils interessanten Aspekte eines Gesamtbildes lenkt. Analog zur Verarbeitung externer Bilder spielen bei der Analyse visueller Vorstellungsbilder verschiedene Subsysteme eine wesentliche Rolle, die die Objekte nach verschiedenen Kriterien wie Gestalt, Farbe, Lokalisation, Größe und Ausrichtung definieren und assoziieren (vgl. auch Stoerig und Brandt 1993).

Die Methode der Messung von Augenbewegungen mit den daraus resultierenden scanpaths, der sequenziellen Abfolge von Fixationen und Sakkaden, geht auf ein von Noton und Stark (1971a-c) entwickeltes Konzept der seriellen Bildwahrnehmung

zurück („Scanpath-Theorie“). Demnach machen visuelle Wahrnehmung, Vorstellen und Erkennen im Wesentlichen die regelhafte Abfolge von motorischen (Sakkaden) und sensorischen Schritten (Fixationen) innerhalb des Scanpaths aus. Die systematischen bild- bzw. probandenabhängigen Scanpaths führten in der Folge zur so genannten „Feature-Ring-Hypothese“. Hierbei wird angenommen, dass ein betrachtetes Objekt intern durch seine Hauptmerkmale und die Augenbewegungen, die notwendig sind, um von einem Merkmal (feature) zum nächsten zu gelangen, repräsentiert wird. Demnach entspricht der Prozess des (Wieder-) Erkennens dem zyklischen Durchlaufen eines sog. „Feature-Rings“. Ausgehend von den während einer Bildbetrachtung erhaltenen scanpaths (visuelle Wahrnehmung) beschäftigten sich Brandt und Stark (1997) mit gemessenen Augenbewegungen während der Vorstellung zuvor gesehener einfacher Bildmuster. Während der Vorstellung eines zuvor bereits gesehenen Musters konnten scanpaths aufgezeichnet werden, die denen der Musterbetrachtung ähnelten. Gbadamosi und Mitarbeiter (1997) bestätigen diesen Befund und finden darüber hinaus bei normalsichtigen Probanden deutlich geringere Ähnlichkeiten der Blickfolgen bei der Bildbetrachtung und den Vorstellungsbildern als bei den Blickfolgen derselben Vorstellungsbilder untereinander. Sie argumentieren, dass bei der Bildbetrachtung innerhalb eines akzentuierten „bottom-up“ Prozesses im visuellen Puffer ein mentales Abbild erzeugt wird, von dem aus im nächsten Schritt von einem „High-level Area“ ein Prototyp des Gesehenen erstellt wird. Dieser wird während einer nachfolgenden, wenig randomisierten Vorstellungsaufgabe als starke „top-down“ Komponente in den Puffer eingelesen und generiert dann die entsprechenden Augenbewegungen. Die Autoren können zeigen, dass der Mechanismus einer „top-down“ Steuerung vorliegt, und dass dieser mittels Augenbewegungen nachzuweisen ist. Über ihre Befunde hinaus vermuten die Autoren, dass das bei den Vorstellungsaufgaben betrachtete mentale Abbild auch bei Personen mit Gesichtsfeldeinschränkungen intakt ist. Demgegenüber finden Butter et al. (1997) halbfeldspezifische Einbußen visueller Vorstellungsfähigkeit bei solchen Patienten und deuten dies als eine Beteiligung des okzipitalen Kortex über dessen mögliche Pufferfunktion hinaus. Grundsätzlich stellt das Messen von Augenbewegungsparametern somit eine mögliche Methode zur Messung visueller Vorstellung dar, bei der jedoch gerade im Hinblick auf das Verhalten von Patienten mit Schädigungen innerhalb des visuellen

Systems viele Fragen offen bleiben. Dies soll in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

I.1.7. Ausgewählte Störungen visueller Verarbeitung

Messungen der Blickbewegungen bei normalsichtigen Probanden haben eine enge strukturelle und funktionelle Beziehung zwischen bildhaftem Sehen und visueller Vorstellung gezeigt. Diese Befunde geben Hinweise auf eine netzwerkartige neuronale Verschaltung von Blickbewegungen, Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsleistungen im Kontext des visuellen Systems, die zusammen visuelle Wahrnehmung konstituieren. Interessanterweise ergeben Untersuchungen spezifischer Patientengruppen teilweise widersprüchliche Hinweise darauf, dass gerade diese Interaktion von kognitiven Leistungen spezifisch gestört ist. Im Folgenden werden daher zwei Störungsbilder beschrieben, die für die vorliegenden Untersuchungen von besonderer Bedeutung sind, da sie erstens beteiligte Strukturen auf verschiedenen Ebenen der visuellen Verarbeitung betreffen, zweitens bei beiden Gruppen durch die Läsion das Blickverhalten in unterschiedlicher Weise beeinflusst ist, aber dabei auf motorischer Ebene möglich bleibt und drittens bei beiden Gruppen das Sehen beeinträchtigt sein soll, während für das Vorstellen kontroverse Befunde vorliegen.

I.1.7.1. Hemianopie

Der Ausfall eines ganzen Halbfeldes, bedingt durch Läsionen in der zentralen Sehbahn, wird als Hemianopie bezeichnet. Der Ort der Läsion bestimmt hierbei wesentlich die Form der resultierenden Gesichtsfeldstörung (Abb. I-1.). Man unterscheidet zwischen homonymer (gleichseitiger) Hemianopie bei Läsionen des Tractus opticus oder entsprechenden Gebieten der Area striata, heteronymer (bitemporaler, binasaler) Hemianopie bei Läsionen des Chiasma opticum und verschiedenen Formen der z. T. unvollständigen Quadranten- oder Hemianopie bei partiellen V1-Läsionen mit oder ohne Einschluss der separat projizierenden Makula lutea. Die Diagnose einer Hemianopie wird üblicherweise durch Gesichtsfeldperimetrie gesichert. Sie kann durch begleitende kognitive Störungen wie Aphasie oder Hemineglekt erschwert werden (Zihl & v. Cramon 1986).

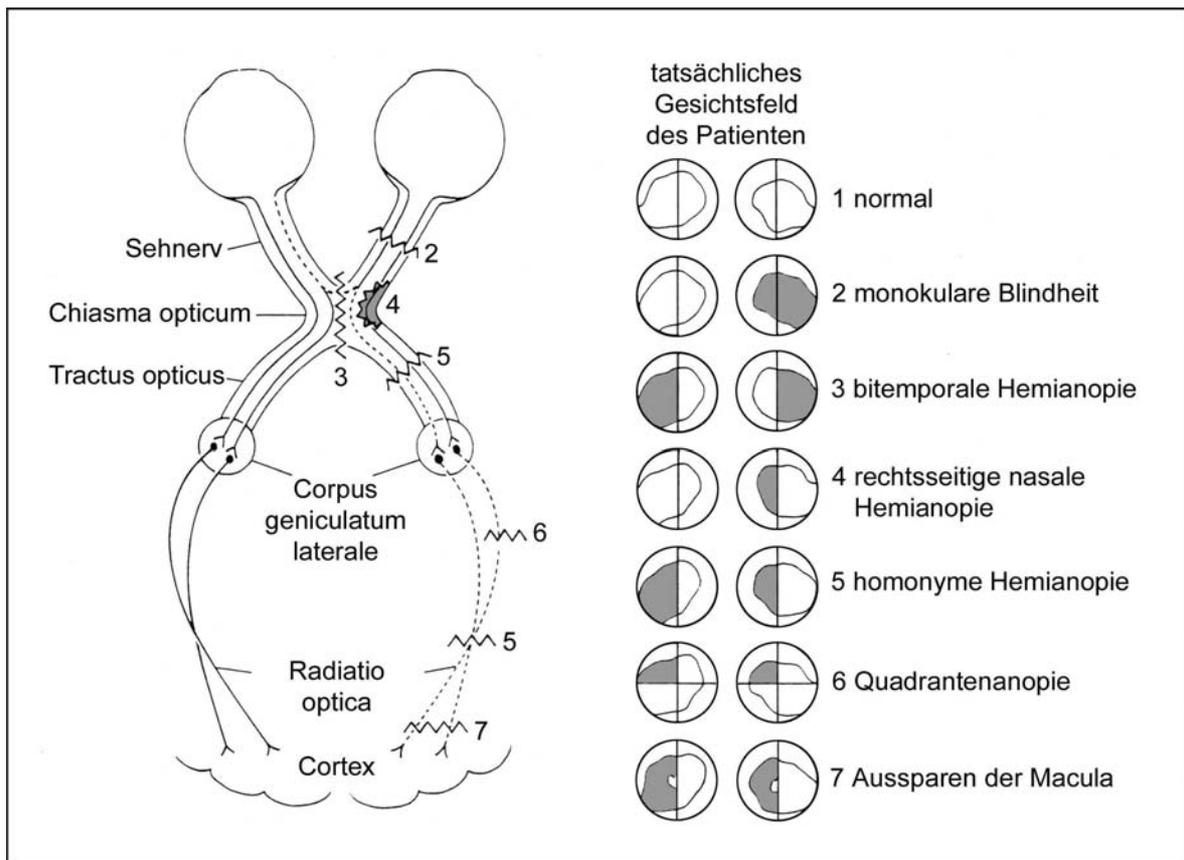


Abb. I-1.: Visuelle Ausfälle nach einer Verletzung in verschiedenen Regionen des visuellen Systems (bezeichnet durch Zahlen). Die grau unterlegte Region des jeweiligen Gesichtsfeldes bezeichnet ein blindes Areal (nach Curtis 1972).

Verlauf und Therapie einer Hemianopie hängen maßgeblich von der Schwere der Störung und dem Adaptationsgrad des Patienten ab. Morphologische spontane Rückbildung, wie beispielsweise durch Axonsprossung oder synaptische Sensitivitätsänderungen, mit einer eventuellen Teilrückbildung des blinden Gesichtsfeldes sind im Allgemeinen innerhalb von sechs Monaten abgeschlossen. Sakkadische Suchstrategien für Reize im blinden Gesichtsfeld bestehen in der Frühphase aus treppenstufenförmigen Suchsakkaden und werden nach der Adaptation durch eine zeitsparendere Kombination von hypermetrischen Sakkaden mit Korrektursakkaden ersetzt (Meienberg et al. 1981). Dabei werden in der klinischen Praxis bei visueller Exploration und auf allen Ebenen der Aufmerksamkeitsleistungen Einschränkungen diagnostiziert, beginnend bei einfachen Reaktionszeitmessungen. Vor allem jedoch zeigen sich bei den so genannten höheren Aufmerksamkeitsleistungen, zu denen man die Aufmerksamkeitsteilung und die oben erläuterte selektive Aufmerksamkeit zählt, verlängerte Reaktionszeiten und hohe Fehlerraten (Kerkhoff 2000).

Im Mittelpunkt therapeutischer Intervention steht die Stärkung neurovisueller Kompensationsmechanismen durch gezielte aufmerksamskeitsgesteuerte Trainingsprogramme zur Korrektur der Lesestörung oder Förderung der visuellen Exploration im betroffenen Gesichtsfeld. Letzteres dient primär der Vergrößerung von Such-Sakkadenamplituden im Hinblick auf eine bessere Orientierung der Patienten im Alltag. Auf diese Weise kann der Suchbereich von Patienten in ihrem blinden Gesichtsfeld um durchschnittlich 20° erweitert werden (Zihl & v. Cramon 1986, Kerkhoff et al. 1992).

Läsionen der primären Sehrinde verursachen Gesichtsfeldausfälle in den betroffenen Gesichtsfeldanteilen, die auch die bildliche Vorstellung betreffen können (Farah et al. 1992, Übersicht bei Farah 1995). Farah und Mitarbeiter folgern, dass das visuelle Vorstellungsbild in einem räumlichen Repräsentationsmedium abhängig vom okzipitalen Kortex entsteht und dass eine Läsion hier ein Defizit in der Generierung des Vorstellungsbildes hervorruft. Andere hingegen finden, dass nach okzipitalen Läsionen die Fähigkeit, visuelles Wissen aus dem Langzeitgedächtnis in ein mentales Bild zu integrieren, vorhanden ist, und vermuten den Verlust von Vorstellungsbildern nur bei Beeinträchtigungen des visuellen Gedächtnisses (Goldenberg & Artner 1991, Chatterjee & Southwood 1995). Sehen und bildliches Vorstellen beinhaltet zumindest zwei Komponenten, das Sehen als sensorische Modalität, die reflexiv und implizit sein kann, und den willentlichen, bewussten Zugriff auf die Information, die bearbeitet wird oder bereits bearbeitet wurde (vgl. I.1.3.). Stoerig und Cowey (1995) schlagen vor, dass der visuellen Wahrnehmung eine hierarchische neuronale Organisation zugrunde liegt, wobei die jeweiligen Verarbeitungsebenen anatomisch unterscheidbar und vielfach über Hin- und Rückprojektionen verschaltet sind (vgl. auch Stoerig & Brandt 1993; s.o.). Neben anatomischen Aspekten sprechen für diese Argumentation klinische Beobachtungen des Verhaltens nach Läsionen innerhalb verschiedener Strukturen des visuellen Systems (Überblick bei Stoerig & Brandt 1993, Stoerig 1996). Wie beschrieben zeigen hemianope Patienten ein verändertes Blickverhalten, dass auf Verhaltensebene zu ihrer kortikalen Schädigung in Beziehung steht. Betroffen ist ein recht frühes Stadium der visuellen Verarbeitung, welches gleichzeitig am Prozess visueller Vorstellung beteiligt sein soll (siehe auch Befunde der Bildgebung weiter oben). Läsionsort ist ein Gebiet retinotoper Organisation, das vor allem in Erklärungsmodellen der gegenwärtigen Forschung als „visueller Puffer“ für die

Konstituierung eines Vorstellungsbildes dienen soll. Darum sollten sich gerade bei dieser Patientengruppe, wie auch bei den im Folgenden beschriebenen Neglekt-Patienten Veränderungen im Sehen und Vorstellen von visuellen Szenen in den Augenbewegungsmustern widerspiegeln.

I.1.7.2. Hemineglekt

Unter Hemineglekt versteht man eine schwere, häufig multimodale Beeinträchtigung aufmerksamkeits- und handlungsbezogenen Verhaltens. Sie ist charakterisiert durch eine geschwächte Wahrnehmung von Reizen, die der betroffenen Körperhälfte (üblicherweise der linken) dargeboten werden oder in dem diese umgebenden Halbraum präsentiert werden. Die Extremitäten der betroffenen Körperhälfte werden nicht benutzt. Gleichzeitig liegt weder eine Läsion des zentralen oder peripheren sensomotorischen Apparates vor, noch eine Beeinträchtigung primärer kortikaler Projektionsareale (Werth et al. 1986, Heilman et al. 1993). Die bewusste Wahrnehmung von Objekten im betroffenen visuellen Halbfeld ist reduziert oder unterbleibt und Objektbezüge zueinander gehen verloren (visuell-räumlicher Neglekt; Abb. 1-2.). Üblicherweise wird nur die rechte Hälfte von Zeichnungen kopiert, es kommt zu Abweichungen nach rechts, wenn Linien halbiert werden sollen, und in Ausstreichaufgaben werden nur die Symbole auf der rechten Seite des Blattes bearbeitet (Ghianotti et al. 1972, Albert 1973, Schenkenberg et al. 1980). Patienten führen keine Blickbewegungen in Richtung auf Objekte im betroffenen visuellen Halbfeld aus, so dass ihre visuelle Exploration eingeschränkt ist und sie dort keine selektiven Aufmerksamkeitsleistungen erbringen. Es resultieren Störungen der visuellen Orientierung und des Lesevorgangs, sowie verminderte kognitive Leistungsfähigkeit (Johnston 1988). Oft liegt dazu eine Gesichtsfeldeinschränkung vor (Halligan et al. 1990). Häufig sind perimetrische Diagnoseverfahren erschwert (Walker et al. 1991); visuell evozierte Potentiale können normal erscheinen (Vallar et al. 1991).

Die morphologische Zuordnung des Neglektsyndroms zum Läsionsort ist nicht einheitlich. Zumeist werden weitreichende Läsionen innerhalb parietaler oder frontaler Bereiche der rechten Hemisphäre beobachtet. Dabei scheinen gerade diejenigen Areale betroffen, die nach Meinung von Kastner und Ungerleider (2001)

über Feedback Schleifen aufmerksamkeitssteuernde Kontrolloperationen durchführen sollen (s.o.). Aber auch Läsionen des Thalamus, der Basalganglien oder des Hirnstamms können zu Neglekt führen (Heilman & Valenstein 1972, Watson et al. 1973, Watson & Heilman 1979, Damasio et al. 1980, Vallar & Perani 1986, Werth 1988, Pinto et al. 1990). Es wird von einer „Netzwerktheorie der Aufmerksamkeitssteuerung“ ausgegangen, innerhalb derer die rechte Hemisphäre Aufmerksamkeitsaspekte beider Halbräume kontrolliert, während die linke Hemisphäre Aufmerksamkeit weitestgehend zur kontralateralen Seite kontrolliert (Mesulam 1981, Weintraub & Mesulam 1989, Corbetta et al. 1993, vgl. ergänzend I.1.4.). Hieraus resultiert eine vielfache Dominanz der linken Gesichtsfeldhälfte, die sich auch in den Augenbewegungsmustern bei der Bildbetrachtung äußern kann (Übersicht bei Springer & Deutsch 1998).

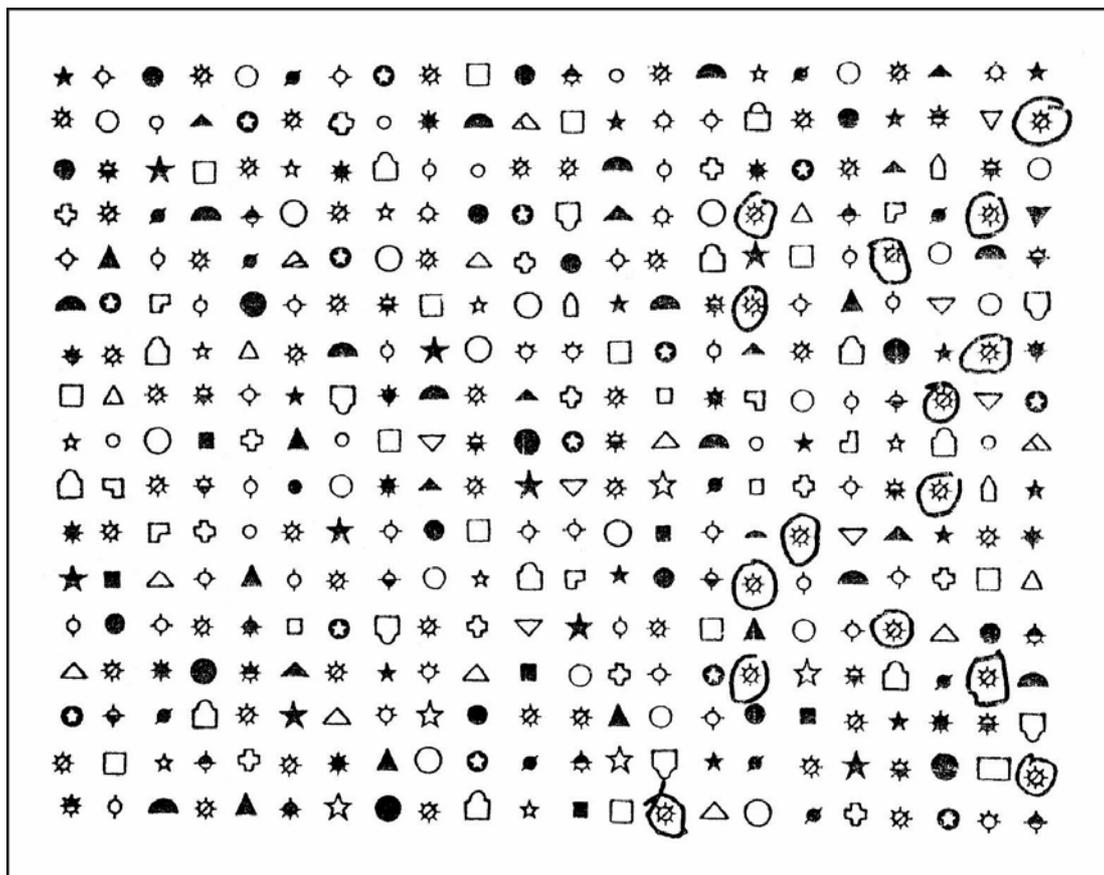


Abb. I-2.: Bearbeitung einer Ausstreichaufgabe (Star-Cancellation-Task) durch einen Patienten mit visuellem Neglekt. Begonnen wurde am rechten Vorlagenrand, die Bearbeitung zeigt Auslassungen und erfolgte nicht über die Mitte des Blattes hinaus.

Unilateraler visueller Neglekt ist eine Störung der visuellen Aufmerksamkeit, die auch mentale Repräsentationen betreffen kann. Patienten sollen nicht über die linke Seite

von vorgestellten Szenen oder Objekten berichten (Bisiach & Luzatti 1978). Dieser „repräsentationale Neglekt“ kann in Kombination mit einem „visuell-räumlichen Neglekt“ auftreten, beide können aber auch unabhängig voneinander erscheinen (Guariglia et al. 1993, Beschin et al. 1997, Coslett 1997). Zudem scheinen beide Neglektformen in Abhängigkeit von der Läsionsseite verschiedenen Prozessen funktioneller Erholung zu unterliegen (Bartolomeo et al. 1994).

Wie bei hemianopen Patienten zeigen Patienten mit Neglekt somit Veränderungen in ihren Augenbewegungen bei der visuellen Exploration. Auch bei ihnen scheint sowohl das Betrachten, als auch die visuelle Vorstellungsfähigkeit beeinträchtigt. Die betroffenen parietalen Strukturen sind für die visuospatiale Analyse innerhalb des Gesichtsfelds relevant und besitzen wie weiter oben beschrieben für neurophysiologische und kognitionspsychologische Erklärungsmodelle von Betrachtung und Vorstellung besondere Bedeutung. Dabei ist die betroffene Ebene visueller Verarbeitung höher anzusiedeln als bei Patienten mit striatalen Läsionen, da hier ein Bereich reiner visuell räumlicher Integration beeinträchtigt ist, der zum einen die Objektwahrnehmung und zum anderen den postulierten striären visuellen Puffer ausspart. Die folgenden Ausführungen werden zeigen, dass für beide Patientengruppen sowohl Gemeinsamkeiten, als auch Dissoziationen in den Augenbewegungsmustern beim Sehen und beim Vorstellen vorliegen.

I.1.8. Augenbewegungsmessungen bei Patienten

Untersuchungen an Normalsichtigen und Patienten mit verschiedenen umschriebenen Läsionen innerhalb des visuellen Systems können Aufschluss über die dem Sehen und dem Vorstellen zugrunde liegenden neuronalen Verschaltungen geben. Dabei eignen sich die beiden oben beschriebenen Hemianopie- und Neglekt-Patienten besonders, da sie sich hinsichtlich der Lokalisation ihrer Schädigung (parietale bzw. okzipitale Läsionen) und im klinischen Erscheinungsbild (s.o., Übersicht bei Kerkhoff & Schindler 1997) deutlich unterscheiden. Den betroffenen Hirnstrukturen werden dabei in der Modellvorstellung verschiedene Funktionsbereiche zugeordnet. Beide Syndrome wurden mit elektrookulografischen Methoden erstmals 1973 von Chedru und Mitarbeitern experimentell untersucht, die Datenanalyse konzentrierte sich hier jedoch vor allem auf Unterschiede zwischen

den Läsionsseiten (eine umfassende Beschreibung dieser Arbeit findet sich bei Johnston 1988).

Stationäre Blickbewegungsparameter (Fixationsdauer, -stabilität und -frequenz) und auch die kombinierten Maße sind im Vergleich zu Bewegungsparametern gerade bei Hemianopie- und Neglekt-Patienten bisher weniger untersucht. Veröffentlichte Daten zeigen jedoch bei Hemianopie eine Verschiebung nach kontralateral, d.h. in das betroffene („blinde“) Halbfeld hinein, und bei Neglekt eine Verschiebung in das gesunde Halbfeld (Girotti et al. 1983, Johnston 1984, Johnston & Diller 1986, Ishiai et al. 1987, Rizzo & Hurtig 1992, Karnath 1994, Karnath & Fetter 1995, Barton et al. 1998). Diese Befunde lassen sich jedoch nicht in abschließendem Konsens interpretieren. Entsprechend der Fragestellungen variieren in den genannten Untersuchungen sowohl die Stimulusbedingungen, als auch die jeweilige Operationalisierung der Fixationsparameter stark, so dass hier weiterer Klärungsbedarf besteht (vgl. auch Johnston 1988).

Augenbewegungen dienen zum Abtasten der visuellen Reize und Szenen und werden sowohl beim Betrachten (Überblick bei Johnston & Pirozzolo 1988), als auch beim Vorstellen (Brandt & Stark 1997) eingesetzt. Sie können zudem Ausdruck von Aufmerksamkeitsprozessen sein (s.o.). Damit können Augenbewegungsmessungen eine geeignete Methode darstellen, Einbußen in den Blickbewegungen bei Hemianopen Patienten und Neglekt-Patienten unter verschiedenen Sehbedingungen zu objektivieren (Gbadamosi et al. 1997, Butter et al. 1997). Grundsätzlich kann das Messen von Augenbewegungsparametern somit eine geeignete Methode zur Messung visueller Vorstellung darstellen, bei der jedoch gerade im Hinblick auf das Verhalten von Patienten mit Schädigungen innerhalb des visuellen Systems viele Fragen offen bleiben.

1.2. Ziele der Untersuchungen

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen, dass Bildbetrachtung, visuelle Vorstellung und Okulomotorik in enger strukturell-funktioneller Beziehung stehen und durch Aufmerksamkeitsleistungen und Kognition beeinflusst werden können. Sie zeigen, dass die Methode der Augenbewegungsmessung diese Beziehungen in wichtigen Aspekten aufdecken kann und pathologische Veränderungen messbar und

analysierbar werden lässt. Die vorliegende Arbeit hat es sich zur Aufgabe gestellt, über den Vergleich von durchmusterten Arealen bei der Vorstellung, der Betrachtung und dem freien Abruf komplexer visueller Szenen Informationen darüber zu erhalten, wie komplexe Reize in der Vorstellung durchmustert werden und ob die Durchmusterungen bei Bildbetrachtung und Vorstellung spezifische Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufweisen. Die folgenden zentralen Fragen werden in der vorliegenden Arbeit erörtert:

- *Unterscheiden sich die Blickbewegungen Normalsichtiger beim bildlichen Vorstellen komplexer visueller Szenen, beim Betrachten derselben Szenen und bei deren freiem Abruf hinsichtlich des Ausmaßes des jeweils durchmusterten Gesichtsfeldes und des zeitlichen Verweilens innerhalb der durchmusterten Areale?*
- *Existieren in der Vorstellung wie bei der Betrachtung Beziehungen zwischen Bildinhalt und der Art der Durchmusterung?*
- *Unterscheiden sich die Blickbewegungsmuster von Patienten mit Neglekt und mit postgenikulär bedingten Gesichtsfeldausfällen bei diesen beiden Aufgaben? Verhalten sich chronische Patienten anders als akute?*
- *Können wir durch die Messung von Augenbewegungsmustern herausfinden, inwiefern Sehen und bildliches Vorstellen bei den beiden Patientengruppen in gleicher Weise betroffen sind?*

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Untersuchungen sind in zwei experimentelle Teile untergliedert. Der erste Teil (Teil A) besteht aus Untersuchungen normalsichtiger Probanden. Dabei dienen erstmals komplexe visuelle Szenen als Reizmaterial. Es handelt sich um eine Auswahl von Bildmaterial, das nicht einzelne, isolierte Sehqualitäten beinhaltet, sondern dessen Inhalt sich je nach Stimulus aus vielfach verschiedenen Qualia konstituiert und spezifische saliente Bildanteile aufweist. Die visuellen Szenen sollen abhängig von den gewählten Blickparametern analysiert werden und Auskunft darüber geben, wie Normalsichtige komplexes Bildmaterial in der Betrachtung und der Vorstellung bearbeiten und welche Faktoren

dabei eine wichtige Rolle spielen. Der Vergleich der Durchmusterungen unter den verschiedenen Sehbedingungen erlaubt dabei Rückschlüsse auf das in der Vorstellung tatsächlich angesehene Areal. Dies findet seine Begründung darin, dass der tatsächliche Sehbereich einer Person stets größer ist als die von Aufnahme- und Meßsystemen erfassbare Fläche, die die visuelle Wahrnehmung auf ein punktuelles Scannen reduziert und peripheres Sehen ausgrenzt.

Darüber hinaus soll entschieden werden, welche Bilder aus methodischer Sicht für weitere Untersuchungen an Patientenkollektiven mit Beeinträchtigungen innerhalb des visuellen Systems sinnvoll eingesetzt werden können. Welche Stimuli lassen die gewählten Blickparameter messbar werden? Welche Stimuli sind unter den verschiedenen Sehbedingungen überhaupt sinnvoll vergleichbar?

Während vorangegangene Untersuchungen vor allem Sakkaden bzw. den Verlauf von Sakkaden operationalisiert haben, ist in der vorliegenden Arbeit ein Schwerpunkt die Betrachtung kombinierter Maße, die – operationalisiert als Aufenthaltsdauer des Blicks in bestimmten Abschnitten des Bildes und als betrachtete Fläche - neben den bewegten auch stationäre Blickbewegungsparameter berücksichtigen.

Die Sehbedingungen werden in Vorstellung, Betrachtung und freien Abruf untergliedert. Alle vom Verfasser zitierten Studien, die mit Hilfe von Augenbewegungsmessungen visuelle Vorstellungsfähigkeit zu erfassen suchen, operationalisieren imagery als freien Abruf eines unmittelbar im Vorfeld betrachteten Stimulus. Die vorliegende Arbeit stellt beiden Sehbedingungen visuelle Vorstellung voran, ohne dass der tatsächliche Bildstimulus schon bekannt ist bzw. unmittelbar im Vorfeld gesehen wurde. Daraus sollte eine vom freien Abruf verschiedene Gewichtung von selektiver Aufmerksamkeit, verbal- bzw. visuell-räumlich kodierter Gedächtnisleistung und kontextueller Erwartung resultieren, die möglicherweise die Blickbewegungen beeinflusst. Die genaue Beschreibung dieses Vorgehens findet sich im Methodenteil (II.4.2.).

Erste explorative Patientenuntersuchungen finden sich im experimentellen Teil B. Die Arbeit möchte ein Vorgehen bieten, die Untersuchung von Patienten mit Läsionen innerhalb des visuellen Systems zu ermöglichen und den Vergleich mit Kontrollprobanden zulassen. Darum sollten einerseits läsionstypische Merkmale in die Datenanalyse eingehen und andererseits ein breites Spektrum von Blickbewegungsparametern erfasst werden. Jeder dargebotene Stimulus wurde entsprechend der Aufgabenstellung als Ganzheit, mit Hilfe individueller

Ausfallschablonen oder in Form einer Unterteilung in Halbfelder analysiert. Entsprechend der Kategorisierung von Augenbewegungen nach Johnston (1988) werden auch für die Patientenuntersuchungen als bewegter Parameter die *Richtung der ersten Sakkade* in einen der Quadranten, als überwiegend stationärer Fixationsparameter die *prozentuale Aufenthaltsdauer* in den Quadranten bzw. Halbfeldern und als kombiniertes Maß die *betrachtete Fläche (scanarea)* untersucht. Zusätzlich wurde in einigen Experimenten jeweils die betrachtete Fläche über das gesamte Reizbild ausgewertet.

Unabhängig von normalsichtigen Kontrollprobanden wurde explorativ in Form von Einzelfällen für jeden Patienten bei ausgewählten Stimuli die betrachtete Fläche im Ausfallbereich in Relation zur betrachteten Fläche im gesamten Gesichtsfeldbereich analysiert, um herauszufinden, ob Patienten tatsächlich innerhalb des von der Läsion betroffenen Halbfeldanteils explorieren.

II. ALLGEMEINE METHODEN

II.1. Ort und Zeitraum der Untersuchungen

Alle Experimente wurden in einem Augenbewegungslabor des Instituts für Experimentelle Psychologie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf durchgeführt. Während der Messungen wurde dieser Raum vollständig verdunkelt. Die Untersuchungen fanden zwischen April 1999 und Februar 2001 statt.

II.2. Versuchspersonen

Die Experimente der vorliegenden Untersuchung sind untergliedert in zwei Blöcke. Teil A untersucht das Verhalten normalsichtiger Probanden. Schwerpunkt von Teil B ist die Untersuchung von Patienten mit Störungen innerhalb des visuellen Systems. Die Experimentalgruppen Normalsichtiger setzten sich aus insgesamt 46 jungen Probanden (jünger als 50 Jahre; 19 Männer, 27 Frauen, 20-44 Jahre, mittleres Alter 27.65 Jahre; Experimente III.1.1. – III.1.2.) und 9 älteren Probanden (älter als oder gleich 50 Jahre; 4 Männer, 5 Frauen, 56–68 Jahre, mittleres Alter 62.56; Experiment III.1.3.) zusammen. Keiner dieser Probanden hatte eine neurologische Erkrankung oder eine Erkrankung des visuellen Systems. Schwächen der Sehstärke wurden durch eine Visuskorrektur (Brille, Kontaktlinsen) ausgeglichen. Jeder Kontrollproband durchlief die Experimente jeweils nur einmal. Die Auswahl desjenigen Auges, dessen Bewegungen aufgezeichnet werden sollten, wurde für jeden Probanden randomisiert. Die Versuchspersonen des experimentellen Teils B (III.2.1.-III.2.3.) setzten sich aus 11 Patienten zusammen (Tabelle II-2.1.), die entweder direkt über das Institut oder über die Medizinisch-Neurologische-Klinik der Universität rekrutiert wurden. Die Patienten WE, FW und KH wurden sowohl im akuten (WE_a, FW_a, KH_a) als auch im chronischen Stadium (WE_c, FW_c, KH_c) ihrer Krankheit getestet. Das Zeitintervall zwischen diesen Messungen betrug minimal neun Monate. Alle anderen Patienten durchliefen die Experimente in ihrem aktuellen Erkrankungszustand jeweils nur einmal. Kein als akut klassifizierter Patient hatte zum Zeitpunkt der Untersuchung ein Explorations- oder Lesetraining absolviert. Ätiologisch lagen für die sensorischen Defizite vaskuläre Insulte und Schädel-Hirn-Traumata zugrunde. Die Läsionsorte

waren durch magnetresonanz- oder computertomografische Aufnahmen verifiziert. Akut erkrankte Patienten wurden im ersten Monat nach Eintritt der Schädigung getestet. Für einen als chronisch eingestuften Patienten betrug der kürzeste Zeitraum zwischen Schädigung und Testung neun Monate. Gemeinhin wird für Spontanremission und Restitution (z. B. Axonsprossung) ein Zeitraum von sechs Monaten ab Eintritt des Ereignisses angenommen (Kerkhoff & Schindler 1997). Die Gesichtsfeldplots der Patienten wurden mit einem institutseigenen Tübinger Handperimeter (Goldmann-Standard) ermittelt. Eine Übersicht dieser Daten findet sich im Anhang der Arbeit. Es lag entweder eine striäre Beeinträchtigung oder ein Neglekt vor. Kein Patient wies eine Kombination beider Symptome auf. Einen Überblick gibt Tabelle II-2.1. Die Neglektdiagnostik erfolgte mit dem Untertest *visuelles Scanning* der TAP sowie unstandardisiert mit den paper-pencil Verfahren Linienhalbierung, Ausstreichen, Abzeichnen verschiedener Figuren und Leseprobe.

Tab. II-2.1.: Liste der Versuchspersonen: Die Versuchspersonen WE, FW und KH durchliefen die Experimente jeweils im akuten (_a) und im chronischen (_c) Zustand ihrer Erkrankung.

VP-Code	Geburtsjahr	Geschl.	Alter zum Zeitpunkt der Läsion	Ätiologie	Läsionsseite	Status der Erkrankung	Zeitpunkt der Messung	Aufgenommenes Auge	visuelles Defizit
CP	1964	weibl.	36	vaskulär	rechts	akut	Okt 00	Rechts	Neglekt
JK	1956	männl.	44	vaskulär	rechts	akut	Nov 00	Links	Neglekt
KP	1943	männl.	47	vaskulär	rechts	chronisch	Jan 01	Links	Neglekt
MI	1943	weibl.	51	vaskulär	rechts	chronisch	Feb 01	Links	Neglekt
FS	1938	männl.	42	SHT	links	chronisch	Dez 00	Rechts	Anopie
FW_a	1937	männl.	62	vaskulär	rechts	akut	Dez 99	Rechts	Anopie
FW_c						chronisch	Feb 01	Rechts	Anopie
GY	1957	männl.	8	SHT/vas	links	chronisch	Jan 01	Rechts	Anopie
KH_a	1939	männl.	59	vaskulär	rechts	akut	Jul 99	Links	Anopie
KH_c						chronisch	Dez 00	Links	Anopie
LJ	1938	männl.	60	vaskulär	rechts	akut	Jul 99	Links	Anopie
PR	1936	männl.	59	vaskulär	rechts	chronisch	Jul 99	Rechts	Anopie
WE_a	1932	weibl.	68	vaskulär	links	akut	Mai 00	Rechts	Anopie
WE_c						chronisch	Jan 01	Rechts	Anopie

Die primäre Läsion betrifft bei FS hauptsächlich den linken Temporallappen und schließt hier die Radiatio Optica und das Umfeld des Nucleus geniculatus lateralis dorsalis ein (siehe z. B. Stoerig & Cowey 1997, Stoerig et al. 1998, Goebel et al. 2001). Mit Ausnahme dieses Probanden zeigte kein Patient relevante okulomotorische oder kognitive Dysfunktionen. FS besitzt Beeinträchtigungen im

Bereich des Arbeitsgedächtnisses, wobei diese Leistungen im Test durch anschließende verbale und zeichnerische Abfrage überprüft werden konnten. Für FW wurden leichte Residuen im sprachlichen Ausdruck (sensomotorische Restaphasie) diagnostiziert. Dieser Patient besitzt Läsionen in extra-visuellen Strukturen und zusätzlich weitere kleine Läsionen Versorgungsgebiet der Arteria cerebri media. Zusätzlich zu Läsionen in extra-visuellen Arealen weist GY zusätzlich kleine Läsionen im Parietal- und Frontallappen auf (siehe z. B. Weiskrantz et al. 1999, Stoerig & Barth 2001). Einige weitere Probanden zeigten in der neuropsychologischen Testung Auffälligkeiten, die keinen Einfluss auf die gemessenen Parameter hatten, jedoch der Vollständigkeit halber benannt werden. KH zeigte im Akutstadium (KH_a) Beeinträchtigungen der selektiven Aufmerksamkeit als Folge des Gesichtsfeldausfalls. JK mit einer rechtshemisphärischen intraparietalen Läsion zeigte zusätzlich leichte taktile Störungen und LJ Einschränkungen im biografischen Gedächtnis und bei kalkulatorischen Aufgaben. Ergänzend muss erwähnt werden, dass die Patienten GY und FS Probanden mit sehr viel experimenteller Erfahrung sind, die gegenüber den anderen Probanden mehr Routine für experimentelle Settings besitzen. Beschreibungen der Probanden FW, HK, FS und GY finden sich bei Stoerig, Zontanou und Cowey (2002).

II.3. Technische Ausrüstung

Zur benötigten technischen Laborausrüstung gehört das Tübinger Handperimeter (Goldmann-Standard; Oculus, Wetzlar, Deutschland) für die Messung des Gesichtsfeldes bei jedem Patienten. Für die Probanden FS, GY und PR, sowie die Probanden FW_a/_c, KH_a/_c und WE_a/_c wurden die visuellen Felder mit einer Kombination aus statischer und dynamischer Perimetrie ermittelt. Dabei wurde ein kreisförmiger Reiz ($160'$, 320 cd/m^2) von der Peripherie aus langsam in Richtung des Fixationspunktes bewegt, bzw. vom blinden Feld in Richtung des intakten Feldes. Der Hintergrund war weiß mit einer Luminanz von 10 cd/m^2 . Der Proband hatte die Aufgabe, die zentrale Fixation beizubehalten und eine Reaktionstaste zu drücken, sobald sie einen Zielreiz entdeckt. Das Fixationsverhalten konnte mit einer Infrarotkamera überwacht werden (vgl. hierzu auch Stoerig et al. 2002). Diese Messungen wurden jeweils von Institutspersonal durchgeführt. Anamnestische neuropsychologische Testungen und die Bildgebung wurden von Klinikseite durchgeführt. Als kognitive Leistungstests kamen neben den oben genannten

Neglekt Diagnostika Teile des Rivermead Behavior Memory Test sowie die visuellen und verbalen Merkspannen der HAWIE-Diagnostik zur Anwendung. Die Aufmerksamkeitsdiagnostik erfolgte mit der Tübinger Aufmerksamkeitsbatterie TAP. Die Ergebnisse standen dem Untersucher mit Einverständnis der Patienten zur Verfügung. Ein Augenbewegungs-Aufnahmesystem mit Infrarotkamera zur Untersuchung und das dazugehörige Analyseprogramm IView (beides Sensomotoric Instruments GmbH, Warthestr. 21, D-14513 Teitow/Berlin; www.smi.de) mit institutseigener Modifizierung (gfa-basic) sind Bestandteile des Institutsequipments. Das Präsentationsprogramm Superlab und zwei Computersysteme vervollständigen die verwendete Laboreinrichtung.

An den Superlab-Computer angeschlossen sind zwei Monitore, einer zur Observation durch den Untersucher, der andere zur Präsentation der Experimente für den Probanden (Eizo FlexScan F55S, Auflösung 800x600 Pixel; vgl. Abb. II-2.3.1.1). Der in eine Trennwand eingelassene Präsentationsmonitor besitzt eine sichtbare Fläche von 32 cm horizontal und 24 cm vertikal. Dies entspricht 31.4° bzw. 23.8° Sehwinkel oder 15.7° bzw. 11.9° Exzentrizität bei zentraler Fixation.

II.4. Versuchsphasen

Im Wesentlichen lassen sich zwei Versuchsphasen unterscheiden, die in den folgenden Abschnitten der Reihe nach erläutert werden:

II.4.1. System-Kalibrierung

Vor Durchführung von Augenbewegungsmessungen eines Probanden und nach Abgleich von Pupillen- und Korneareflex (II.4.2.1.1.) müssen die Position des aufzunehmenden Auges, Monitor- und Kameraposition abgeglichen werden. Dies erfolgt teilautomatisiert mit Hilfe des Iview-Systems und eines Eichbildes (Abb. II-3.1.) In festgelegter Reihenfolge muss die Versuchsperson neun verschieden positionierte Kreuze (jeweils 20 Pixel vertikal und 15 Pixel horizontal) auf dem Präsentationsmonitor fixieren. Der Versuchsleiter kann jede einzelne Fixation auf einem Beobachtungsmonitor überwachen und bestätigt die Fixation nach eigenem Ermessen. Anschließend fordert das Meßsystem selbständig das nächste zu betrachtende Fixationskreuz. Wurden alle Fixationen bestätigt, erhält der

Versuchsleiter vom System Rückmeldung über die Güte der Kalibrierung. Bei negativer Rückmeldung muss die Eichmessung neu durchgeführt werden.

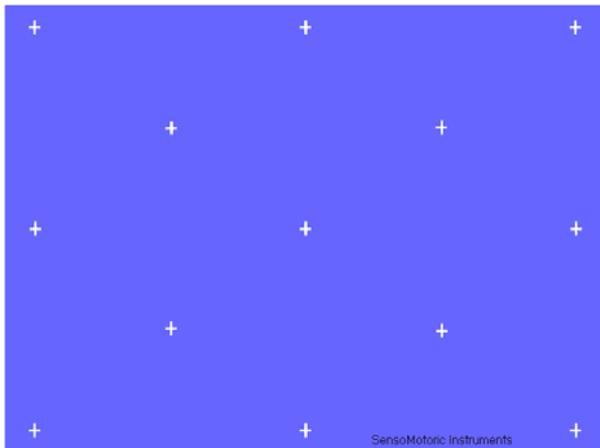


Abb. II-4.1: Das Eichbild: Bild zur Kalibrierung der Blickbewegungen der VP auf dem Monitor. Zur Einstellung der Augenbewegung wurde die VP gebeten, nacheinander die Kreuze Mitte (400/300), oben rechts (760/30), oben Mitte (400/30), oben links (40/30), Mitte links (40/300), Mitte rechts (760/300), unten rechts (760/570), unten Mitte (400/570) und unten links (40/570) zu fixieren, sowie abschließend noch einmal das mittlere Kreuz zu fixieren. Bei einer Bildschirmauflösung von 800x600 Pixels entspricht die Position der Fixationskreuze den in Klammern angegebenen Pixelkoordinaten.

Nach erfolgreicher Kalibrierung können die experimentellen Durchgänge begonnen werden, wobei Kopfbewegungen des Probanden oder eine Veränderung (drift) der Kopfposition im Verlauf der Messungen möglichst zu vermeiden sind. Im Zweifelsfall oder nach einer Fehlermeldung des Iview-Programmes kann zwischen den einzelnen Durchgängen eine erneute Kalibrierung durchgeführt werden.

II.4.2. Verhaltensmessung

Die Darbietung eines einzelnen experimentellen Durchgangs erfolgt über das Superlab-Präsentationssystem im Anschluss an eine entsprechende verbale Instruktion (vgl. II.4.3). Nach Start des Präsentationsprogramms erscheint zunächst für fünf Sekunden die Aufforderung „Bitte betrachten Sie das folgende Bild und merken Sie sich Details“, dann folgt die Aufforderung „Bitte fixieren Sie zunächst den Punkt in der Mitte“ (fünf Sekunden). Anschließend wird für vier Sekunden ein Fixationspunkt (Durchmesser 0.63 cm) vor weißem Hintergrund eingeblendet, bevor für den Zeitraum von 30 Sekunden ein visueller Reiz (komplexe visuelle Szene bzw. schwarzes Bild) präsentiert wird und zeitgleich mit dessen Erscheinen ein Trigger an

das Iview-Aufnahmesystem zum Start der Aufzeichnung gesetzt wird. Ein weiterer Trigger wird dann mit dem Ende der Reizpräsentation gesetzt.

Während eines experimentellen Durchgangs haben die Versuchspersonen die Aufgabe, sich eine komplexe visuelle Szene auf einem schwarzen Monitorbild vorzustellen, als ob sie sie dort sehen würden. Diese Bedingung wird im folgenden **Vorstellungsbedingung** genannt. Unter randomisierten Bedingungen wird nach einem Zeitintervall ein entsprechendes reales Bild präsentiert (**Betrachtungsbedingung**). Dieses Bild sollen die Probanden innerhalb des Präsentationszeitraums betrachten. Im nachfolgenden freien Abruf erinnern die Probanden dieses Bild (**Abrufbedingung**). Die Versuchspersonen wurden in dieser Bedingung ebenfalls dazu angehalten, das schwarze Monitorbild zu explorieren. Dieser Abruf aus dem Kurzzeit-/ Arbeitsgedächtnis dient dazu, den Unterschied zwischen nur auf verbaler Instruktion hin erfolgreiches, auf das Langzeitgedächtnis zugreifendes Vorstellen und dem Wieder-Vorstellen einer bildlich vorgegebenen, aus dem Kurzzeitgedächtnis abrufbaren konkreten Szene zu erfassen. Unter allen drei Bedingungen werden die frei auftretenden Blickbewegungen aufgezeichnet. Die Aufnahmedauer für eine Bedingung beträgt jeweils 30 Sekunden. Der Vollständigkeit wegen wird hier erwähnt, dass die Versuchsperson zur Ergänzung der Augenbewegungsmessung dazu angehalten wurde, eine Skizze des vorgestellten bzw. erinnerten Bildes anzufertigen. Aufgrund der Uneinheitlichkeiten in den Darstellungen zwischen den Probanden und mit Rücksicht auf die Belastbarkeit einzelner Patienten – teilweise musste auf eine verbale Beschreibung zurückgegriffen werden - wurden diese vom Untersucher nicht zur Beurteilung herangezogen und als abhängige Variable verworfen. Ein screening dieses Materials erfolgte ausschliesslich im Hinblick auf das Instruktionsverständnis des Probanden.

II.4.2.1. Methode zur Messung von Blickbewegungen

II.4.2.1.1. Das System der automatischen Auswertung von Blickbewegungen (IVIEW)

Das im Institut zur Verfügung stehende computergesteuerte Iview-Meßsystem detektiert monokular die Augenbewegungen eines Probanden mittels der noninvasiven Infrarotmesstechnik. Eine Infrarotkamera erfasst den Pupillen- und den

Korneareflex eines Auges, die durch eine Infrarotlichtquelle platziert werden und unabhängig voneinander durch den Experimentator adjustiert werden können. Ein Computerprogramm (IView, SMI-Instruments, Teltow, Deutschland) liefert dann ein Koordinatenpaar, das der Auflösungsmatrix des zur Stimuluspräsentation verwendeten Computerbildschirms angepasst wird. Das System ermittelt alle 20 ms einen Messpunkt. Die Rohdaten stehen dem Anwender im Analysemodus zur Verfügung. Hier kann man einerseits die Daten grafisch auswerten, beispielsweise als Scanpath, überlagert auf das Stimulusbild, andererseits lässt sich die Datenmatrix auch numerisch in Form der Rohdaten oder unter verschiedenen Analyseaspekten betrachten. Eine Möglichkeit der systeminternen Auswertung ist die Ermittlung prozentualer Aufenthaltsdauern in vorab definierten „Regionen von Interesse“ (ROI-Analyse). Ein solcher Auswertemodus kam auch in den vorliegenden Untersuchungen zur Anwendung. Die weitergehende Analyse ermöglicht jedoch ausschließlich Angaben als Prozentverteilung. Darum wurde vom Institut ein zusätzliches Programm (in gfa-basic) entwickelt, dass aus den Rohdaten auch die Verteilung der Anzahl von Blickbewegungen oder Fixationen mit verschiedener Dauer und mit verschiedenem Fixationsradius berechnen kann und mit herkömmlichen Windows-Anwendungen kompatibel ist. Dieses Programm kann zusätzlich die innerhalb des Stimulusbildes betrachtete Fläche bzw. Anteile dieser Fläche in Relation zur Gesamtfläche des Monitors berechnen, die über die einfache ROI-Analyse hinausgeht (vgl. III.2.3. „Ausfallschablonen“).

Die Aufnahme der Augenbewegungen in der Zeit lastet die Speicherkapazität eines herkömmlichen Personalcomputers vollständig aus. Die gleichzeitige Darbietung eines umfassenden experimentellen Designs ist zeitgleich mit einem einzigen System nicht möglich. Darum wurde die Iview-Apparatur mit einem zweiten Computersystem, dem Präsentationssystem (Superlab) über einen vom Institut eingepassten Trigger verbunden. So kann man eine methodisch einwandfreie Präsentation des experimentellen Designs (z. B. mit Versuchsanweisung, Fixationspunkt, mehreren aufeinander folgenden Stimuli) gewährleisten sowie einzelnen Präsentationen und Aufnahmen dissoziieren und damit Fehlerquellen reduzieren. Gleichzeitig können beide Systeme über den oben beschriebenen Trigger miteinander kommunizieren, so dass man bei der Analyse genau denjenigen Zeitraum betrachten kann, der der Stimuluspräsentation entspricht.

II.4.2.1.2. Experimenteller Aufbau

Die Versuchsperson sitzt an einem Labortisch im verdunkelten Experimentalraum. Zur Vermeidung von Kopfbewegungen während der Messungen ist ihr Kopf mit einer Kinnstütze fixiert. Der Labortisch grenzt an eine schwarze Trennwand, die die Plätze von Proband und Untersucher separiert.

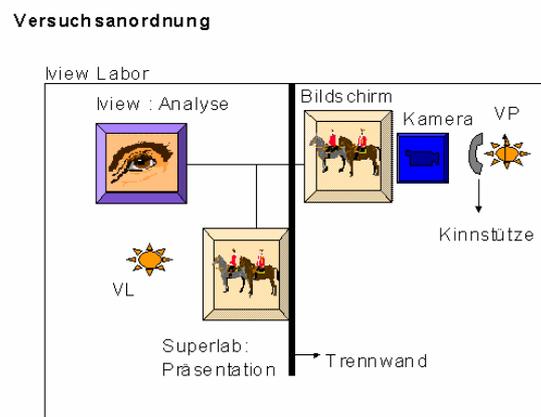


Abbildung II-4.2.1.2.: Schematische Darstellung des experimentellen Aufbaus (Erläuterungen siehe Text)

In die Trennwand ist einer von zwei Superlab-Monitoren zur Präsentation des Experimentalprogramms derart eingelassen, dass für den Probanden nur die Bildschirmfläche sichtbar ist. Dieser Bildschirm befindet sich in einer Linie in 57 cm Entfernung vom Auge des Probanden. Unterhalb des Bildschirms ist die Infrarotkamera des Iview-Systems zur Detektion der Augenbewegungen positioniert. Infrarotgeber und Objektiv können auf das Gesicht des Probanden gerichtet werden. Dieser wird durch die Kamera nicht abgelenkt.

Der Versuchsleiter befindet sich für den Probanden nicht sichtbar auf der gegenüberliegenden Seite der Trennwand und bedient sowohl das Präsentationssystem, als auch das Iview-Aufnahme- und Analysesystem. Durch Anschluss eines zweiten Monitors an den Superlab-Präsentations-PC kann der Versuchsleiter gleichzeitig Präsentation und Aufnahme überwachen (Abb.II-4.2.1.2.).

Unmittelbar nach Ablauf eines experimentellen Durchgangs kann zusätzlich in kürzester Zeit durch Anzeigen des Scanpath die Güte der Aufnahme über das Iview-Analysesystem visuell kontrolliert werden.

II.4.2.1.3. Experimenteller Ablauf

Für jede Versuchsperson war der experimentelle Ablauf gleich. Nach randomisierter Zuordnung des jeweils aufzunehmenden Auges erfolgte zunächst die Kalibrierung des Iview-Systems. Anschließend wurde jeder Versuchsperson in randomisierter Reihenfolge die jedem Experiment entsprechende Anzahl von visuellen Stimuli präsentiert (siehe Versuchspläne dort). Dabei handelt es sich in sofern um eine Teilrandomisierung, als für jeden einzelnen Stimulus die Reihenfolge Vorstellung – Betrachtung – Abruf eingehalten werden musste. Nach jeder Einzelpräsentation wurde die Versuchsperson im Hinblick auf Farbe, Tiefe, Konturen, Kontraste, Bewegung und zeitliche Stabilität des vorgestellten Bildes befragt und sollte eine Skizze des „Gesehenen“ anfertigen. Anschließend erfolgte die nächste Verhaltensmessung oder gegebenenfalls zunächst eine Rekalibrierung des Systems.

II.4.3. Die Stimuli

In den vorliegenden Experimenten wurden für die Verhaltensanalysen vier komplexe visuelle Stimuli verwendet, die einerseits anhand spezifischer inhaltlich salienter Bereiche ausgewählt wurden und andererseits möglichst verschieden sein sollten. Zudem mussten über die verschiedenen Probanden hinweg vergleichbare, leicht vorstell- und beschreibbare Inhalte gewählt werden. Die Salienzbereiche der einzelnen Stimuli wurden vor Durchführung der Experimente unter bildinhaltlichen Aspekten vom Versuchsleiter als „Regionen besonderen Interesses“ festgelegt. Dies betrifft diejenigen Reiz- bzw. Objektteile, die bei Normalsichtigen während der Betrachtung wesentlich zur Erkennung des Objekts beitragen (Robertson & Lamb 1991, Hoffman & Singh 1997, Parkhurst et al. 2002, Turano et al. 2003, vgl. I.1.4.). So besteht beispielsweise eine bereits angeborene Präferenz für die Gesichter von Tieren oder Menschen (Slater & Kirby 1998).

Drei weitere von den Probanden betrachtete Stimuli (Keks, Rousseau, Opart) gingen nicht in die Auswertung der Experimente ein. Sie sollen der Vollständigkeit halber

aber erwähnt werden, da sie innerhalb des teilrandomisierten experimentellen Ablaufs zusätzlich Distraktorfunktionen übernehmen. Es ergaben sich damit zeitlich variablere Abstände zwischen der Betrachtung und einer Vorstellungsbedingung desselben Bildstimulus. Abbildungen dieser drei benannten Stimuli befinden sich im Anhang dieser Arbeit.

Im Folgenden werden die im Wesentlichen verwendeten visuellen Stimuli der Reihe nach vorgestellt.

II.4.3.1. Der Stimulus „Portrait“



Abb. II-4.3.1: Darstellung des Stimulus „Portrait“.

Der Stimulus Portrait wurde in den Bedingungen Vorstellung, Betrachtung und Abruf gezeigt. Gegenüber den anderen drei in diesen Bedingungen gezeigten Stimuli (vgl. II.4.3.2.- II.4.3.4.) besitzt das von vorne gezeigte Gesicht eine relative Symmetrie (Enquist et al. 1994) und ist als Reizmaterial gegenüber der Vorstellungsbedingung unbekannt. In der Vorstellungsbedingung erhält der Proband vorab die Instruktion, sich auf dem Monitor das Gesicht eines Freundes auf schwarzem Hintergrund vorzustellen.

Die Durchmusterung eines Gesichtes durch einen normalsichtigen Probanden ist bekannt: sie richtet sich auf markante Punkte des Gesichtes (Augen, Nase, Mund) und es wird tendenziell mehr im linken Halbfeld exploriert (Luria 1973). Augen, Nase und Mund wurden darum für diesen Reiz auch in den vorliegenden Experimenten als Salienzbereiche festgelegt. Diese Objektteile verteilen sich auf verschiedene

Halbfelder bzw. Bildquadranten, während das Gesamtobjekt „Portrait“ halbfeldübergreifend präsentiert wird.

Der Stimulus nimmt nicht die gesamte Monitorfläche in Anspruch und ist in deren Mitte positioniert. Seine maximale Ausdehnung beträgt 12.3° Sehwinkel horizontal und 18.9° Sehwinkel vertikal. Dies entspricht 6.1° bzw. 9.4° Exzentrizität bei zentraler Fixation.

II.4.3.2. Der Stimulus „Kuh“

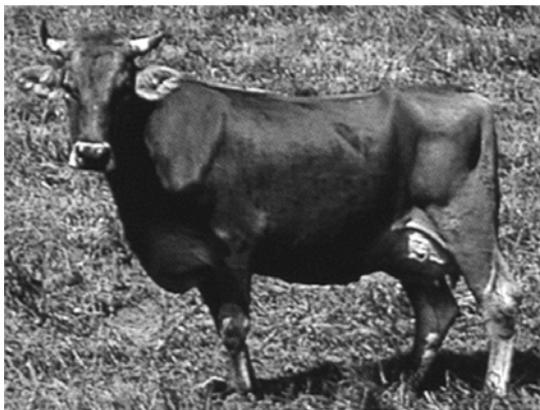


Abb. II-4.3.2.: Stimulus „Kuh“

Die Auswahl des Stimulus „Kuh“ erfolgte aufgrund der Möglichkeit räumlich-flächiger Gewichtung und der Bekanntheit des Stimulus. Der Proband wurde in der Vorstellungsbedingung aufgefordert, sich eine Kuh vorzustellen, die nahezu die Monitorfläche ausfüllt; der Kopf befinde sich links oben, der Hinterleib des Tieres im rechten Bild Drittel; die Kuh stehe auf einer Wiese, den Horizont sehe man nicht. Hier erfolgte also eine sehr genaue Beschreibung der Position des Stimulus. Der Kuhkopf wurde in Anlehnung an Slater und Kirby (1998) und wegen seiner Positionierung annähernd innerhalb eines *Goldenen Rechtecks* (Green 1995) als inhaltlich salientester Bereich festgelegt. Während das Gesamtobjekt „Kuh“ wie auch der Stimulus „Portrait“ halbfeld- und quadrantenübergreifend präsentiert wird, erscheint das eine saliente Objekt von Interesse – der Kopf des Tieres - hier nur in einem Quadranten.

Um herauszufinden, ob die Ausdehnung der betrachteten Fläche in der Vorstellung inhaltlich salienten Bereichen folgt, wurde der Stimulus „Kuh“ in den Experimenten III.1.2. und III.1.3. auch in den Varianten „gespiegelt vertikal (an der vertikalen Achse)“, „gespiegelt horizontal (an der horizontalen Achse)“ und „gespiegelt vertikal

und horizontal“ mit entsprechender Instruktion präsentiert (Erläuterungen siehe II.5.2).

II.4.3.3. Der Stimulus „Mona Lisa“

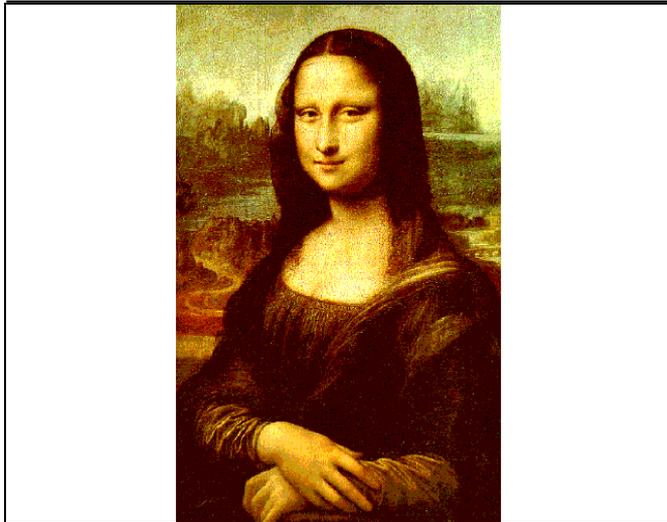


Abb. II-4.3.3.: Darstellung des Stimulus „Mona Lisa“.

Der Stimulus „Mona Lisa“ macht wie das „Portrait“ nur einen Teil der Monitorfläche aus und ist in deren Mitte positioniert. Seine maximale Ausdehnung beträgt 12.2° Sehwinkel horizontal. Dies entspricht 6.1° Exzentrizität bei zentraler Fixation. Die vertikale Ausdehnung entspricht den Bildschirmmaßen.

Im Unterschied zu den anderen Stimuli handelt es sich um ein bekanntes Bild, das zudem auch einen komplexen Hintergrund mit Landschaft besitzt. Auf inhaltlicher Ebene ist mit verschiedenen als salient festgelegten Bereichen zu argumentieren, dem Gesicht (vgl. Beschreibungen zu Portrait und Kuh), das zudem in spezieller herausragender Sfumato-Technik von Leonardo da Vinci mit Ölfarbe gestaltet wurde (Solso 1994) den Händen, sowie dem Dekoltee und dem Hintergrund (Goldstein et al. 1986). Somit liegt hier, ergänzend zu den übrigen ausgewählten Stimulusbildern, ein Reiz mit mehreren Objektteilen als Salienzbereiche vor, die auch innerhalb des Gesamtobjekts/-bilds halbfeld- und quadrantenübergreifend präsentiert werden. Die Probanden erhielten einzig die Aufforderung, sich Leonardo da Vincis Gemälde „Mona Lisa“ im mittleren Drittel des Monitors vorzustellen.

II.4.3.4. Der Stimulus „Wohnzimmer“

Der Stimulus „Wohnzimmer“ ist der vierte Stimulus, der in den Bedingungen Vorstellung, Betrachtung und Abruf gezeigt wurde. Die Probanden wurden in der Vorbildungsbedingung gebeten, sich ihr eigenes Wohnzimmer vorzustellen, wenn Sie in dessen Eingangstür stehen. Das als Stimulus vorgegebene Wohnzimmer



Abb. II-4.3.4.: Darstellung des Stimulus „Wohnzimmer“.

enthält die üblichen Möbel, von denen kein Stück besonders heraussticht. Dies ist bei der Vorstellung des eigenen Wohnzimmers möglicherweise anders. Wesentlicher Unterschied zu den anderen gezeigten Stimuli ist jedoch, dass letztgenannte vor allem objektzentriertes Sehen verlangen, der vorliegende jedoch raumzentrierte Vorstellung erfordert. Ergänzend zu den übrigen Reizbildern, kann der Betrachter hier weniger von einem Teilobjekt auf die Gesamtszene schließen und das Betrachten eines Einzelobjekts führt gleichzeitig weniger zwingend dazu, über einen Bildquadranten hinaus zu explorieren.

Für die einzelnen Stimuli wurden die folgenden Abkürzungen verwendet:

- **Keks binokular:** *Keks*, binokulare Betrachtung
- **Keks monokular:** *Keks*, monokulare Betrachtung
- **Rousseau:** *Rousseau*, Betrachtung seitenrichtig
- **Rousseau gespiegelt:** *Rousseau*, Betrachtung gespiegelt
- Im folgenden entspricht die Endung „-V“ (= Vorstellung) der Vorbildungsbedingung, „-B“ (= Betrachtung) der Betrachtungsbedingung und „-A“ (= Abruf) der Abrufbedingung:
- **PORTRAIT-V, PORTRAIT-B, PORTRAIT-A:** *Portrait* in der jeweiligen Sehbedingung
- **KUH-V, KUH-B, KUH-A:** *Kuh* in der jeweiligen Sehbedingung

- **KUGE-V, KUGE-B, KUGE-A:** Kuh gespiegelt vertikal in der jeweiligen Sehbedingung
- **KUGU-V, KUGU-B, KUGU-A:** Kuh gespiegelt horizontal in der jeweiligen Sehbedingung
- **KUGR-V, KUGR-B, KUGR-A:** Kuh gespiegelt vertikal und horizontal in der jeweiligen Sehbedingung
- **MONA LISA-V, MONA LISA-B, MONA LISA-A:** Mona Lisa in der jeweiligen Sehbedingung
- **WOHNZIMMER-V, WOHNZIMMER-B, WOHNZIMMER-A:** Wohnzimmer in der jeweiligen Sehbedingung

II.5. Versuchsaufbau der Experimente – Experimentelles Design

II.5.1. Abhängige und unabhängige Variablen

Die abhängigen Variablen (AV) des Experiments ergaben sich aus der Verhaltensanalyse. Ausgewertet wurden je nach Experiment folgende Variablen:

1. Richtung der ersten Sakkade in einen Quadranten oder ein Halbfeld

Als **Erste Sakkade** wurde die Richtung der ersten gerichteten Sakkade eines jeden Probanden in einen bestimmten Quadranten (experimenteller Teil A) bzw. ein Halbfeld oder einen Läsionsbereich (experimenteller Teil B) definiert. Diese AV gibt aus funktioneller Sicht darüber Auskunft, ob ein bestimmtes Objekt innerhalb des Stimulus initial mit der Darbietung aufgesucht wird und diesem Objekt so aus Sicht des Probandenverhaltens eine besondere Salienz vermittelt wird. Im Unterschied zu beiden anderen AVn handelt es sich hier um einen bewegten Augenbewegungsparameter (vgl. Einleitung; Abb.II.5.2.1.).

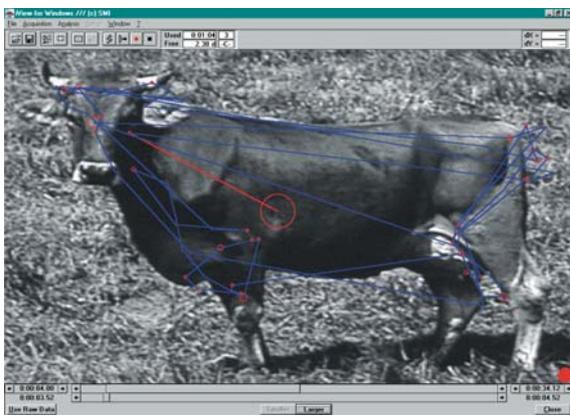


Abb.II-5.1.1.: Darstellung des Iview-Analyseprogramms – Monitoransicht: Scanpath unter Vorgabe von Fixationsdauer (>120 ms) und –stabilität (1° Sehwinkel); rote Linie: erste Sakkade vom Startpunkt in der Bildmitte; rote Kreise bezeichnen Fixationen unterschiedlicher Dauer zwischen den Blicksakkaden; blaue Linien: Sakkaden.

2. Prozentuale Aufenthaltsdauer in einem Quadranten oder Halbfeld

Als **Aufenthaltsdauer** gilt die Dauer (in Prozent) des Durchmusterens einzelner Bildquadranten, oder Halbfelder (je nach Experiment). Diese AV gibt als kombiniertes Maß bewegter (Sakkaden) und statischer (Fixationen) Blickbewegungsparameter Auskunft über den zeitlichen Aufwand und die Verteilung einer Durchmusterung in bestimmten Bildbereichen (Abb.II.5.2.2.).

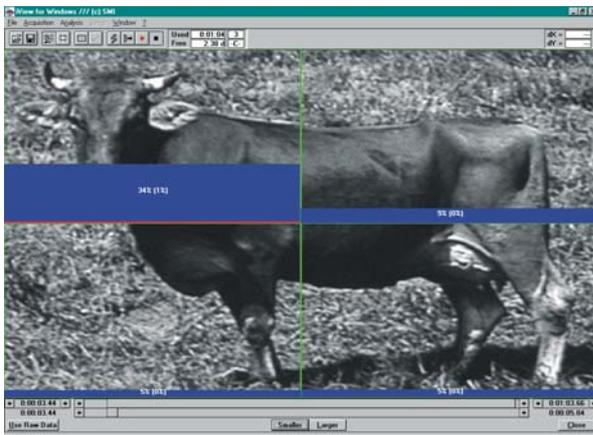


Abb.II-5.1.2.: Darstellung des Iview-Analyseprogramms – Monitoransicht: prozentuale Aufenthaltsdauer in den Quadranten unter Vorgabe von Fixationsdauer (>120 ms) und –stabilität (1° Sehwinkel). Der jeweils erstgenannte Zahlwert und die blauen Flächen geben die Prozentanteile für den gesamten Betrachtungszeitraum an, die Zahlen in Klammern und die rote Fläche bezeichnen die Prozentwerte während der ersten Sekunde der Betrachtung.

3. Betrachtete Fläche (Quadrant, Halbfeld, Gesichtsfeld, Läsionsbereich, gesunder Bereich)

Die prozentual betrachtete **Fläche** in einzelnen Gesichtsfeldbereichen (variierend mit dem Experiment Quadranten, Halbfelder oder Läsionsbereiche). Dieses ebenfalls kombinierte Maß gibt unabhängig vom zeitlichen Aspekt Auskunft über denjenigen Bildbereich bzw. diejenigen Bildanteile, die überhaupt durchmusteret werden.

Grundlage für alle Auswertungen sind die Scanpaths der Probanden. Für die Analyse der ersten Sakkade und der prozentualen Aufenthaltsdauer wurden Fixationsdauern größer oder gleich 120 ms mit einer Fixationsstabilität von einem Grad Sehwinkel (dies entspricht bei einem Auge-Monitorabstand von 57cm und einer Auflösung von 800x600 15 Bildschirmpixels) zugrunde gelegt (persönliche Kommunikation des Autors mit H.-O. Karnath, Berechnungsgrundlage z. B. in Niemeier & Karnath 2000).

Die Minimale Fixationszeit beim Lesen beträgt 100 ms (Dodge 1907, Kornhuber 1978). Yarbus (1967) schlägt eine optimale Fixationszeit von 250 ms für die Wahrnehmung eines komplexen Objektes vor und Ishiai et al. eine Dauer von 200 ms, wobei Fixationszeiten im Bereich von 160-400 ms gemessen wurden (Jung 1973). Mit der für die vorliegenden Untersuchungen gewählten Vorauswahl zur Analyse der Aufenthaltsdauern können Mikrosakkaden in der Größenordnung von Zehntelgraden (Yarbus 1967, Straumann & Henn 1998) und Effekte von Blinzlern ausgeschlossen werden, die die Werte der beiden AVn verfälschen können. Ebenso werden Detektionsfehler durch „Rauschen“ im Analysesystem vermindert (Stampe 1993). Folglich müssen die Werte für die prozentuale Aufenthaltsdauer über den Messzeitraum in ihrer Summe individuell nicht notwendigerweise einhundert Prozent erreichen.

Für die Auswertung der Fläche wurden die Rohdaten der Probanden zugrunde gelegt. Diese Variable wurde mit einem institutseigenen, in gfa-basic geschriebenen Programm gesondert ausgewertet. Mikrosakkaden stellen bei dieser Variable eine zu vernachlässigende Größe dar, da sie bedingt durch die Blickbewegungen innerhalb der betrachteten Fläche bleiben. Demgegenüber können Blinzler zu einer artifiziellen Vergrößerung der betrachteten Fläche führen. Darum wurden alle Scanpath-Aufnahmen vom Untersucher einzeln visuell überprüft. Ein Beispiel für eine unkorrigierte Durchmusterung (scanpath) im Auswertungsmodus des Iview-Analyseprogramms gibt Abbildung II-5.2.3.

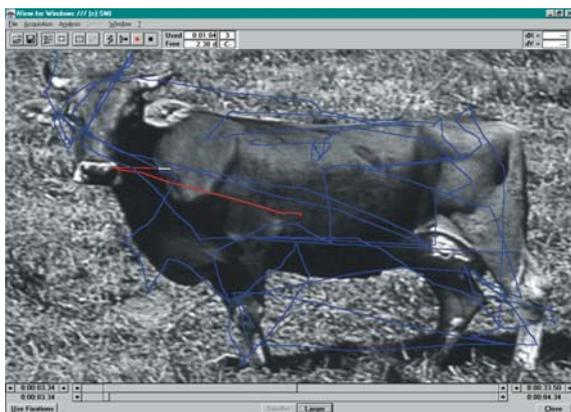


Abb.II-5.1.3.: Darstellung des Iview-Analyseprogramms – Monitoransicht: Durchmusterung: unkorrigierte Rohdaten; blau: scanpath während 30 Sekunden Bildbetrachtung; rot: scanpath während der ersten Betrachtungssekunde (weitere Erläuterungen siehe Text).

Die unabhängigen Variablen werden für jedes Experiment gesondert dort aufgeführt. Zur Beschreibung der unabhängigen Variable „Sehbedingung“ siehe II.4.2.

II.5.2. Experimentelles Design – Versuchspläne

Die Experimente der vorliegenden Untersuchung sind untergliedert in zwei Experimentierblöcke. Der experimentelle Teil A untersucht das Verhalten normalsichtiger Kontrollprobanden und dient zur unabhängigen Erfassung der verschiedenen Blickbewegungsparameter unter den drei Sehbedingungen. Schwerpunkt des experimentellen Teils B ist die Untersuchung von Patienten mit Störungen innerhalb des visuellen Systems.

Der experimentelle Teil A (Untersuchung normalsichtiger Probanden) ist untergliedert in drei Experimente. Der experimentelle Teil B setzt sich ebenfalls aus einem Hauptexperiment B1 und zwei experimentellen Exkursen, die denselben Datensatz verwenden zusammen. Tabelle II-5.2.1. gibt eine Übersicht über die Gliederung der Einzelexperimente.

Tabelle II-5.2.1.: Übersicht über die Einzeluntersuchungen des Experimentalteils

<u>Experimenteller Teil A: Normalsichtige</u>	
Experiment A1	Darbietung 4 verschiedener komplexer Szenen; n = 19
Experiment A2	Veränderungen der komplexen Szenen (Rotationsbedingungen); n = 36
Experiment A3	Rotationsbedingungen bei älteren Probanden (N>50 Jahre); n = 9
<u>Experimenteller Teil B: Patienten</u> (n = 11)	
Experiment B1	Vergleich von Patienten untereinander mit Ausfallschablonen / 3 Stimuli
Exp. Exkurs B2	Vergleich von Patientengruppen untereinander / 1 Stimulus
Exp. Exkurs B3	Vergleich Patienten versus Normalsichtige / 2 Stimuli Vergleich von

Die Verteilung der Probanden und Stimuli in den einzelnen Versuchen zeigen die Tabellen II-5.2.2. bis II-5.2.5.

Tabelle II-5.2.2.: Verteilung der Probanden und Stimuli für den Experimentellen Teil A: Experiment A1 (Angabe der Sehbedingung in Klammern: V = Vorstellung, B = Betrachtung, A = freier Abruf). Für VP 12 konnte der Reiz Portrait-Abruf wegen fehlerhafter Aufnahmedaten nicht ausgewertet werden.

Proband	Stimulus							
	Keks binok.	Keks monok.	Rousseau seitenr.	Rousseau gespiegelt	Kuh	Portrait	Mona Lisa	Wohnzmr
1	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
2	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
3	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
4	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
5	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
6	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
7	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
8	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
9	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
10	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
11	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
12	B	B	B	B	V/B/A	V/B	V/B/A	V/B/A
13	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
14	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
15	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
16	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
17	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
18	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
19	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A

Tabelle II-5.2.3.: Verteilung der Probanden und Stimuli für den Experimentellen Teil A: Experiment A2 (Angabe der Sehbedingung in Klammern: V = Vorstellung, B = Betrachtung, A = freier Abruf). Die Datensätze der Versuchspersonen 3, 5, 6, 11, 14-17 und 19 wurden zufällig aus Experiment A1 ausgewählt. Die VPn wurden auf vier unabhängige Gruppen verteilt (Kuh, Kuge, Kugu, Kugr; vgl. auch III.1.2.2.). Die VPn 20 bis 46 sahen zusätzlich den Stimulus Opart, der hier eine Distraktorfunktion übernimmt.

Proband	Stimulus				Opart
	Kuh	Kuh gespiegelt vertikal	Kuh gespiegelt horizont.	Kuh gespiegelt vert.&horiz.	
	KUH	KUGE	KUGU	KUGR	
3	V/B/A				
5	V/B/A				
6	V/B/A				
11	V/B/A				
14	V/B/A				
15	V/B/A				
16	V/B/A				
17	V/B/A				
19	V/B/A				
20		V/B/A			V/B/A
21		V/B/A			V/B/A
22		V/B/A			V/B/A
23		V/B/A			V/B/A
24		V/B/A			V/B/A
25		V/B/A			V/B/A
26		V/B/A			V/B/A
27		V/B/A			V/B/A
28		V/B/A			V/B/A
29			V/B/A		V/B/A
30			V/B/A		V/B/A
31			V/B/A		V/B/A
32			V/B/A		V/B/A
33			V/B/A		V/B/A
34			V/B/A		V/B/A
35			V/B/A		V/B/A
36			V/B/A		V/B/A
37			V/B/A		V/B/A

Fortsetzung Tab. II-5.2.3.

Proband	Stimulus				
	Kuh	Kuh ge- spiegelt vertikal	Kuh ge- spiegelt horizont.	Kuh ge- spiegelt vert.&horiz.	Opart
	KUH	KUGE	KUGU	KUGR	
38				V/B/A	V/B/A
39				V/B/A	V/B/A
40				V/B/A	V/B/A
41				V/B/A	V/B/A
42				V/B/A	V/B/A
43				V/B/A	V/B/A
44				V/B/A	V/B/A
45				V/B/A	V/B/A
46				V/B/A	V/B/A

Tabelle II-5.2.4.: Verteilung der Probanden und Stimuli für den Experimentellen Teil A: Experiment A3 (Angabe der Sehbedingung in Klammern: V = Vorstellung, B = Betrachtung, A = freier Abruf). Für VP 47 konnte der Reiz KUGU-Abruf wegen fehlerhafter Aufnahmedaten nicht ausgewertet werden.

Proband	Stimulus					
	Kuh	Kuh ge- spiegelt vertikal	Kuh ge- spiegelt horizont.	Kuh ge- spiegelt vert.&horiz.	Portrait	Opart
	KUH	KUGE	KUGU	KUGR		
47	V/B/A	V/B/A	V/B	V/B/A	V/B/A	V/B/A
48	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
49	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
50	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
51	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
52	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
53	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
54	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
55	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A

Tabelle II-5.2.5.: Verteilung der Probanden und Stimuli für den Experimentellen Teil B (Angabe der Sehbedingung in Klammern: V = Vorstellung, B = Betrachtung, A = freier Abruf). Fehlende Aufnahmen erklären sich durch die eingeschränkte Belastbarkeit der Patienten. Für VP LJ konnte der Reiz Mona-Lisa-Vorstellung und für VP MI der der Reiz Opart-Abruf wegen fehlerhafter Aufnahmedaten nicht ausgewertet werden. Von VP MI wurde das Experiment vor dem Durchgang Portrait-Abruf wegen Ermüdung abgebrochen.

Proband	Stimulus											
	Keks binok.	Keks monok.	Rousseau seitenr.	Rousseau gespiegelt	Kuh	Kuh ge- spiegelt vertikal	Kuh ge- spiegelt horizont.	Kuh ge- spiegelt vert.&horiz.	Portrait	Mona Lisa	Wohnzmr	Opart
					KUH	KUGE	KUGU	KUGR				
FS	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
GY	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
KH_c	B	B	B	B	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A
PR			B	B	V/B/A						V/B/A	
WE_c	B				V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A			V/B/A
FW_c	B				V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A			V/B/A
FW_a	B	B	B	B	V/B/A				V/B/A	V/B/A	V/B/A	
KH_a	B	B	B	B	V/B/A				V/B/A	V/B/A	V/B/A	
WE_a	B	B	B	B	V/B/A				V/B/A			
LJ					V/B/A				V/B/A	/B/A	V/B/A	
KP	B				V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A			V/B/A
MI	B				V/B/A				V/B/			B/ /B
JK	B	B	B	B	V/B/A				V/B/A	V/B/A	V/B/A	
CP					V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A	V/B/A			V/B/A

II.6. Auswertung

Die Berechnungsgrundlagen für die abhängigen Variablen in den einzelnen Experimenten stellten sich wie folgt dar:

Experimente A1, A2 und A3: Für die Richtung der ersten Sakkade wurde für jede VP für jeden Reiz unter den vier Bildquadranten jeweils der Zielquadrant ausgewählt. Für die prozentuale Aufenthaltsdauer gingen für jeden Probanden jeweils die Verweildauern in den vier Quadranten (in Prozent) innerhalb des Präsentationsintervalls von 30 Sekunden als Rohwerte in die Analyse ein. Aufgrund des Selektionskriteriums (vgl. II.5.1.) können sich hier Residualzeiten ergeben, die in der Analyse nicht berücksichtigt werden. Da neben den mittleren Aufenthaltsdauern gerade auch die individuellen Varianzen der Versuchspersonen in den verschiedenen Sehbedingungen berücksichtigt werden sollten, wurde hier auf eine Normierung der Daten verzichtet (vgl. auch Niemeier & Karnath 2000).

Die prozentual betrachtete Fläche wurde aus den Rohdaten nach handselektierter Artefaktbereinigung (Entfernung von Blinzlern) für jede VP berechnet. Dabei ergeben sich die in die weiterführende Analyse eingehenden Prozentwerte für die vier Bildquadranten aus den für jede VP individuellen Pixelwerten der Gesamtdurchmusterung ($\sum \text{Quadrant } \{1, 2, 3, 4\} = \sum \text{Gesamtdurchmusterung} = 100\%$). Die erhobenen Daten gehen somit als normierte Werte in weiterführende Analysen ein. Die durchmusterte Gesamtfläche (AV X) geht für jeden Probanden als Prozentwert in Abhängigkeit von der Bildschirmfläche normiert in die Analyse ein.

Experiment B1: Die prozentual betrachtete Fläche im Läsionsbereich berechnete sich individuell an der vom jeweiligen Patienten gesamt durchmusterter Fläche. Grundlage für den erhaltenen individuellen Prozentwert stellt der von der Durchmusterung umfasste Pixelwert des Bildschirmmonitors dar:

$$\left(\frac{\sum \{\text{Pixel Ausfallbereich}\}}{\sum \{\text{Pixel Durchmusterung}\}} \right) \times 100.$$

Experimenteller Exkurs B2: Für die Verhaltensmaße wurden jeweils die aus den jeweiligen Halbfeldwerten hervorgehenden Asymmetrieindizes berechnet und betrachtet. Unter dem Asymmetrieindex versteht man den Quotienten aus dem Verhalten innerhalb eines Halbfeldes und der Summe des Verhaltens innerhalb beider Halbfelder, multipliziert mit hundert (Steiner et al. 1988, Milani et al. 1990). Asymmetrieindices stellen somit normierte Werte dar. Sie stellen anteilig Relationen in den Durchmusterungen dar und geben keine Auskunft über absolut durchmusterter Areale. Im Experimentellen Exkurs B2 wurde das Asymmetrieindex eines Probanden

jeweils für das betroffene Halbfeld berechnet, also „(betroffenes Halbfeld / (betroffenes + nicht betroffenes Halbfeld) x 100)“. Die daraus resultierenden normierten Prozentwerte für die AVn erste Sakkade, prozentuale Aufenthaltsdauer und prozentual betrachtete Fläche gingen in weiterführende Analysen ein.

Experimenteller Exkurs B3: Für die Richtung der ersten Sakkade wurde für jede VP für jeden Reiz unter den Halbfeldern jeweils das Zielhalbfeld ausgewählt. Die Werte für die VPn der Kontrollgruppe wurden aufsummiert. Für die AVn „prozentual durchmusterte Fläche“ und „prozentuale Aufenthaltsdauer“ wurden jeweils individuell die Asymmetrieindices für das linke Halbfeld, d.h. „(linkes Halbfeld / (linkes + rechtes Halbfeld) x 100)“ berechnet. Hier bedeutet ein Asymmetrieindex von 50 %, dass der Proband zu gleichen Teilen in die Halbfelder geschaut hat. Ein Asymmetrieindex von über 50 % bedeutet ein asymmetrisches Durchmustern zum linken Halbfeld hin, ein Asymmetrieindex kleiner 50 % weist auf anteilig vermehrtes Durchmustern des rechten Halbfeldes hin. Für die Kontrollgruppe wurde über diese normierten Indices jeweils gemittelt. Zusätzlich wurden Standardfehler angegeben.

Die inferenzstatistische Auswertung der Daten aus den Experimenten Teil A (Experimente A1, A2 und A3) sowie Teile des Experiments Teil B (Experimenteller Exkurs B2) erfolgte mittels Multivariater Varianzanalyse. T-Tests dienen zur post-hoc Analyse. Die Auswertung der Daten aus den Experimenten Teil B Experimente B1 und Experimenteller Exkurs B3 erfolgte deskriptiv. Ausführungen zu den Auswertemodi finden sich in den spezifischen Methoden im Ergebnisteil.

III. Ergebnisse

III.1. Experimenteller Teil A: Untersuchung normalsichtiger Probanden

III.1.1. Experiment A1: Untersuchung der Bilddurchmusterungen normalsichtiger Probanden bei Vorstellung, Betrachtung und freiem Abruf verschiedener komplexer Szenen

Einige Studien legen eine Kompression des visuellen Vorstellungsbildes gegenüber der Bildbetrachtung nahe (Kosslyn 1978, Farah 1995, vgl. aber Gbadamosi et al. 1997), die sich auch in visuellen Gedächtnisaufgaben findet (Sheth & Shimojo 2001). Lässt sich eine solche Kompression anhand der Ausdehnung der Fläche des betrachteten visuellen Feldes für komplexe visuelle Szenen zeigen? Lässt sich anhand der Quadrantenauswertung und Gesichtsfeldauswertung zeigen, ob sich die Blickverteilung innerhalb der betrachteten Fläche eines Stimulus je nach Sehbedingung verändert?

Gemäß der Feature-Ring-Hypothese werden während einer Durchmusterung seriell Aufmerksamkeitsfenster geöffnet, die zum einen von den Hauptmerkmalen des betrachteten Objektes abhängig sind, zum anderen aber auch von bereits vorhandenem Wissen um das Objekt (mentale Prototypen; vgl. allgemeine Einleitung). Die Richtung der ersten größeren Sakkade in einen der Bildquadranten könnte dann ein physiologisches Maß für die Beziehung zwischen dem in der Theorie selektiv geöffneten Aufmerksamkeitsfenster/-fokus und dem inhaltlichen „Objekt von Interesse“ gleichsam als erste Stufe einer Durchmusterungsaktivität sein. Wenn mentale Prototypen dabei eine besondere Rolle spielen, könnte eine mögliche Regelmäßigkeit für die Bildbetrachtung, die visuelle Vorstellung und den freien Abruf bereits gesehenen Bildmaterials existieren. Je bekannter der Stimulus, desto genauer sollte die Richtung der ersten Sakkade in Richtung des salienten Objektes von Interesse weisen.

Wie in der Einleitung ausgeführt belegen einige Studien die Interaktion von Augenbewegungen mit Gedächtnis, Kognition und Erwartung (Yarbus 1967, Brandt 1995). Wenn das der Fall ist, sollten Asymmetrien der Verteilung von

Blickbewegungen in den Quadranten bzw. Halbfeldern auftreten. Die prozentuale Aufenthaltsdauer sollte in denjenigen Bildquadranten erhöht sein, die ein Objekt von Interesse bzw. Hauptmerkmale des Bildmaterials beinhalten. Hierbei sollte es dann zu Unterschieden zwischen Bildbetrachtung und Vorstellung kommen, wenn der gezeigte Stimulus über inhaltliche Objekte von Interesse hinaus in spezifischen Bildanteilen nicht erwartete Salienzen aufweist, so dass zusätzliche Aufmerksamkeitsfenster geöffnet werden, oder umgekehrt in der Vorstellung zusätzliche Elemente enthalten sind.

III.1.1.1. Spezifische Fragestellungen und Hypothesen

Um diese Beziehungen zwischen Blickbewegungen, Sehbedingungen und komplexer visueller Szene aufzuklären wurden im vorliegenden Experiment verschiedene komplexe visuelle Szenen als Stimuli verwendet, deren Bekanntheit variiert und die verschieden stark ausgeprägte inhaltlich saliente Bereiche aufweisen. Das Experiment erfolgte unter folgenden Überlegungen:

Gibt es eine Interaktion zwischen den Sehbedingungen Vorstellung, Betrachtung und freier Abruf bei Präsentation von komplexen visuellen Szenen?

Wenn in der Vorstellung eine Kompression des Bildes erfolgt, sollte sich dies in den Bedingungen Vorstellung und freier Abruf für die anteilig betrachtete Fläche gegenüber der Betrachtung manifestieren lassen.

Wenn Blickbewegungen abhängig von inhaltsrelevanten Bildanteilen (= Objekt von Interesse) sind, dann sollte der Aufmerksamkeitsfokus unter jeder Sehbedingung in denjenigen Quadranten gerichtet sein, in dem sich dieser Bildanteil befindet: dies sollte sich für die prozentuale Aufenthaltsdauer, die durchmusterte Fläche und die Richtung der ersten Sakkade manifestieren lassen.

III.1.1.2. Methoden und Statistische Auswertung

Im folgenden Experiment werden Asymmetrien in der Verteilung von Blickbewegungen bei verschiedenen komplexen visuellen Szenen und unter verschiedenen Sehbedingungen untersucht. Die durchmusterten Flächen unter den jeweiligen Sehbedingungen sollen verglichen werden und Beziehungen zwischen Blickbewegungen, Sehbedingungen und komplexer visueller Szene sollen aufgeklärt werden.

Die untersuchten Variablen setzten sich wie folgt zusammen:

Unabhängige Variablen: UV1: Sehbedingung (Betrachtung, Vorstellung, Abruf)

UV2: Bild (Kuh, Portrait, Mona Lisa, Wohnzimmer)

UV3: Quadrant (OL, OR, UL, UR)

Abhängige Variablen: AV1: Richtung der ersten Sakkade

AV2: prozentuale Aufenthaltsdauer

AV3: betrachtete Fläche

Zusätzlich: AV X: betrachtete Gesamtfläche

AV X: Als gesondert betrachtete Variable galt die von jedem Probanden betrachtete Gesamtfläche in Prozent der Monitorfläche.

Die *Prozentuale Aufenthaltsdauer* und die *Richtung der ersten Sakkade* wurden aus dem Scanpath unter der Vorgabe Fixationsdauer größer 120 ms und Fixationsstabilität von einem Grad Sehwinkel für die vier Quadranten berechnet.

Die *prozentual betrachtete Fläche* wurde aus den Rohdaten für die vier Quadranten berechnet. Zugrunde liegt jeweils die anteilig am gesamten Scanbereich – also innerhalb der Pfade - betrachtete Fläche im jeweiligen Quadranten.

Die Datenanalyse orientierte sich dabei einheitlich für die vollformatigen und auch für die hochformatigen Bilder an der Monitorfläche. Somit konnte die unabhängige Variable „Quadrant“ einheitlich definiert werden, ohne hier weitere unabhängige Variablen einführen zu müssen.

Als Versuchsdesign diente ein 3x4x4 Plan mit Messwiederholung auf allen drei Faktoren.

Die inferenzstatistische Auswertung der Daten erfolgte mittels Multivariater Varianzanalyse.

III.1.1.3. Ergebnisse

Für die Analyse der **Gesamtfläche** ohne Berücksichtigung des Faktors Quadrant zeigen sich für alle vier Stimuli signifikante Unterschiede zwischen der jeweiligen Betrachtungsbedingung im Vergleich mit der entsprechenden Vorstellungsbedingung und der Abrufbedingung ($F(6,19) = 13.382, p < 0.001$, vgl. Abb. III-1.1.3.5.).

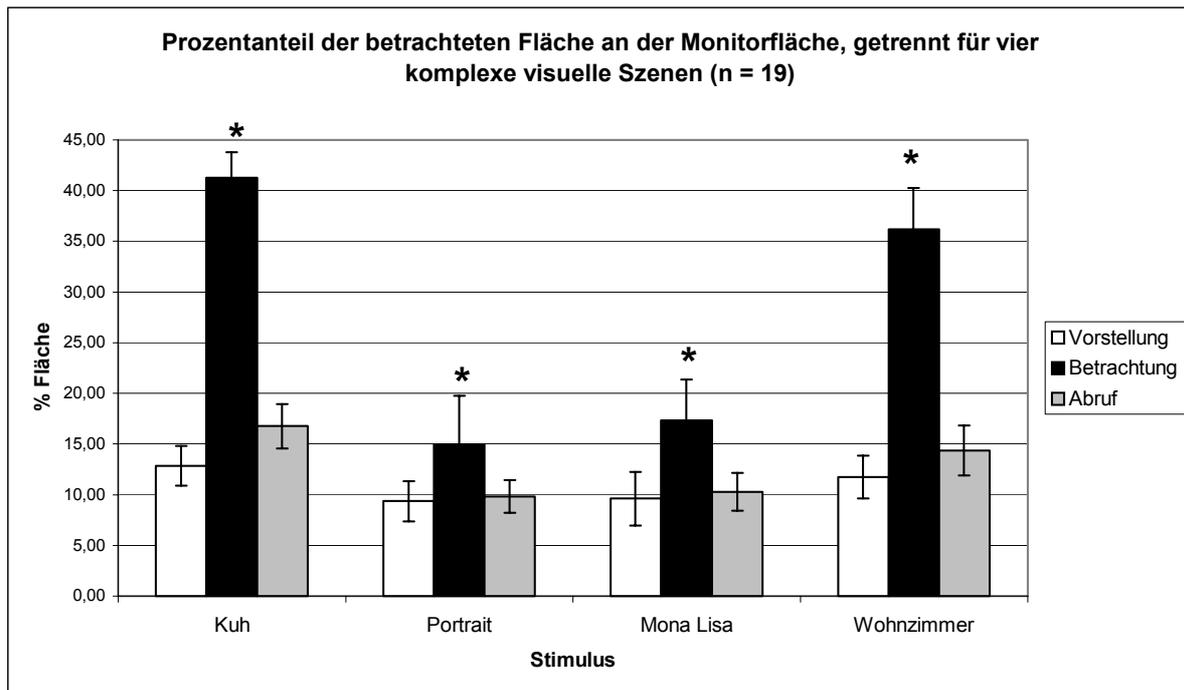
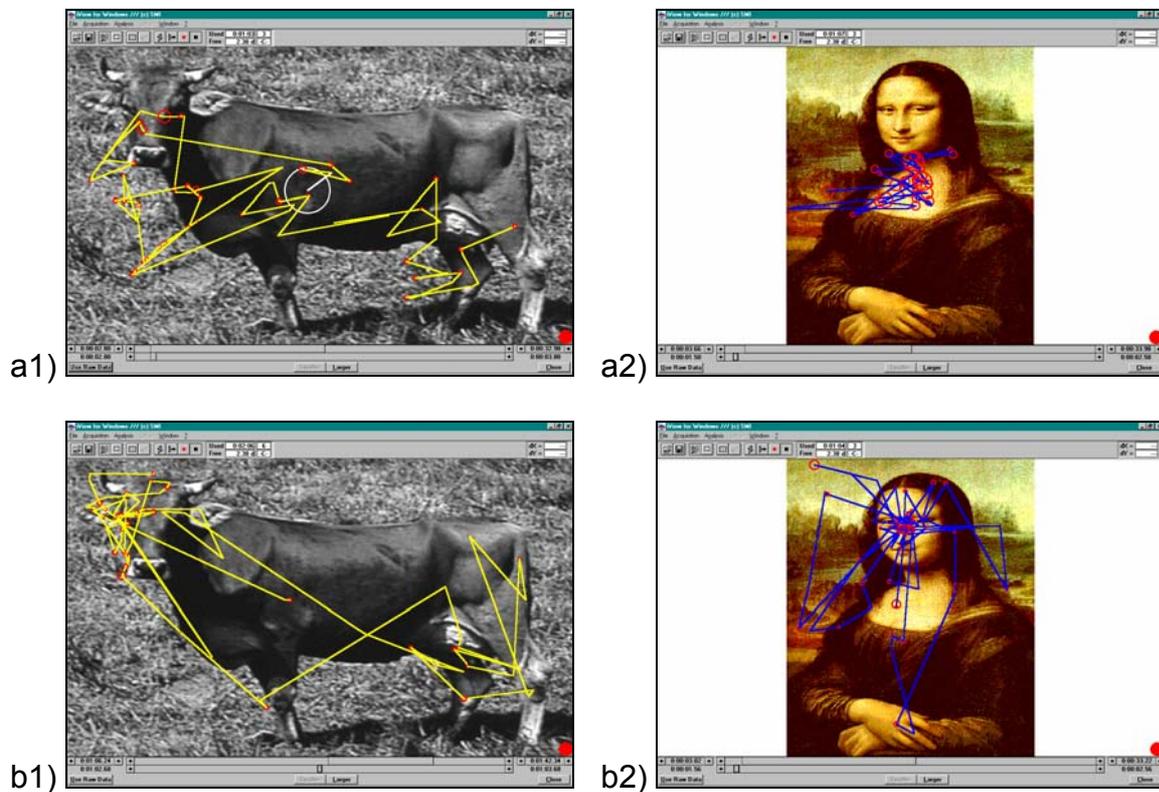


Abb. III-1.1.3.5.: Prozentanteil (Mittelwert \pm SEM) der betrachteten Fläche an der Stimulusfläche für die einzelnen Reizbilder unter den verschiedenen Sehbedingungen. Signifikanzzeichen beziehen sich auf den Haupteffekt zwischen der Betrachtungsbedingung und beiden Vorstellungsbedingungen für den jeweiligen Stimulus (* $p \leq 0.05$; Portrait-Abruf: $n = 18$).

Tab. III-1.1.3.1.: Gesamt durchmusterte Fläche: Übersicht über die post hoc Vergleiche (t-Tests) zum Haupteffekt Interaktion von Bild und Sehbedingung.

Komplexe visuelle Szene	Vergleich der Sehbedingungen	Statistische Werte (zweiseitig)
Kuh	Vorstellung vs. Betrachtung	$t(18) = 13.389, p < 0.001$ *
Kuh	Vorstellung vs. Abruf	$t(18) = 1.737, p = 0.099$
Kuh	Betrachtung vs. Abruf	$t(18) = 8.748, p < 0.001$ *
Portrait	Vorstellung vs. Betrachtung	$t(17) = 2.608, p = 0.018$ *
Portrait	Vorstellung vs. Abruf	$t(17) = 0.011, p = 0.991$
Portrait	Betrachtung vs. Abruf	$t(17) = 2.638, p = 0.017$ *
Mona Lisa	Vorstellung vs. Betrachtung	$t(18) = 2.657, p = 0.016$ *
Mona Lisa	Vorstellung vs. Abruf	$t(18) = 0.287, p = 0.778$
Mona Lisa	Betrachtung vs. Abruf	$t(18) = 2.858, p = 0.010$ *
Wohnzimmer	Vorstellung vs. Betrachtung	$t(18) = 6.238, p < 0.001$ *
Wohnzimmer	Vorstellung vs. Abruf	$t(18) = 1.027, p = 0.318$
Wohnzimmer	Betrachtung vs. Abruf	$t(18) = 6.642, p < 0,001$ *

Eine Übersicht über die Ergebnisse der Vergleiche zur betrachteten Fläche in Abhängigkeit von der Stimulusfläche unter verschiedenen Sehbedingungen bei der Präsentation unterschiedlicher komplexer Szenen gibt Tabelle III-1.1.3.1. Für jede gezeigte komplexe visuelle Szene ist die Ausdehnung der gesamt betrachteten Fläche in der Betrachtungsbedingung signifikant größer als in den entsprechenden Vorstellungsbedingungen ($F(2,18) = 57.434, p < 0.001$). Vorstellung und Abruf unterscheiden sich hingegen nicht signifikant. Abbildung III-1.1.3.1. zeigt zwei Beispiele für die Bilddurchmusterungen unter den verschiedenen Sehbedingungen. Die durchmusterterten Areale sind für die Vorstellungsbedingungen jeweils weniger ausgedehnt als für die Betrachtungsbedingung.



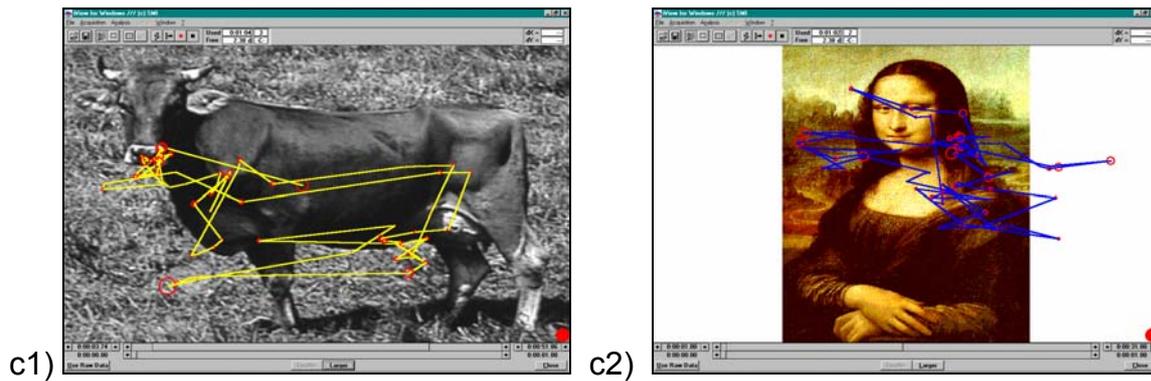


Abb. III-1.1.3.1.: Durchmusterungen der Probanden VP 6 (Kuh) und VP 9 (Mona Lisa) unter den Sehbedingungen Vorstellung (a1, a2), Betrachtung (b1, b2) und freier Abruf (c1, c2). Zur besseren Anschauung wurden für alle Sehbedingungen die Reizbilder unterlegt und die Durchmusterungen wurden unter Zuhilfenahme des Selektionskriteriums Fixationsdauer (>120 ms) und Fixationsstabilität (1° Sehwinkel) dargestellt.

Betrachtete Fläche: Für die Ausdehnung der betrachteten Fläche zeigen sich wie für die prozentuale Aufenthaltsdauer signifikante Interaktionen von Sehbedingung, Bild und Quadrant ($F(18,19) = 2.124$, $p = 0.005$).

Folgende Ergebnisse lassen sich *post hoc* in Bezug auf die Dreifachinteraktion beschreiben (Abb. III-1.1.3.2. – III-1.1.3.5.): Vier signifikante Ergebnisse zeigen sich für den Stimulus Kuh (Abb. III-1.1.3.2.): Die Vorstellungsbedingungen unterscheiden sich jeweils von den Betrachtungsbedingungen (unterer linker Quadrant UL $t(18) = 2.125$, $p = 0.048$, oberer rechter Quadrant OR $t(18) = 2.424$, $p = 0.026$, unterer rechter Quadrant UR $t(18) = 2.299$, $p = 0.034$, zweiseitig), für den unteren linken Quadranten lassen sich zusätzlich Unterschiede zwischen Betrachtungs- und Abrufbedingung aufzeigen (UL $t(18) = 2.614$, $p = 0.018$, zweiseitig). Interessanterweise existiert kein signifikanter Befund für den oberen linken Quadranten, der das Objekt von Interesse beinhaltet. Betrachtet man die Mittelwerte in Abbildung III-1.1.3.2. fällt auf, dass die prozentual anteilig betrachtete Fläche bei der Vorstellungsbedingung in beiden linken Quadranten gegenüber der Betrachtung erhöht ist, während sie in den beiden rechten Quadranten bei diesem Vergleich vermindert ist.

Beim Stimulus Portrait, der den symmetrischsten Bildaufbau unter den vier präsentierten visuellen Szenen aufweist, zeigen sich für die betrachtete Fläche innerhalb eines Quadranten unter den verschiedenen Sehbedingungen keine signifikanten Veränderungen (Abb. III-1.1.3.3.).

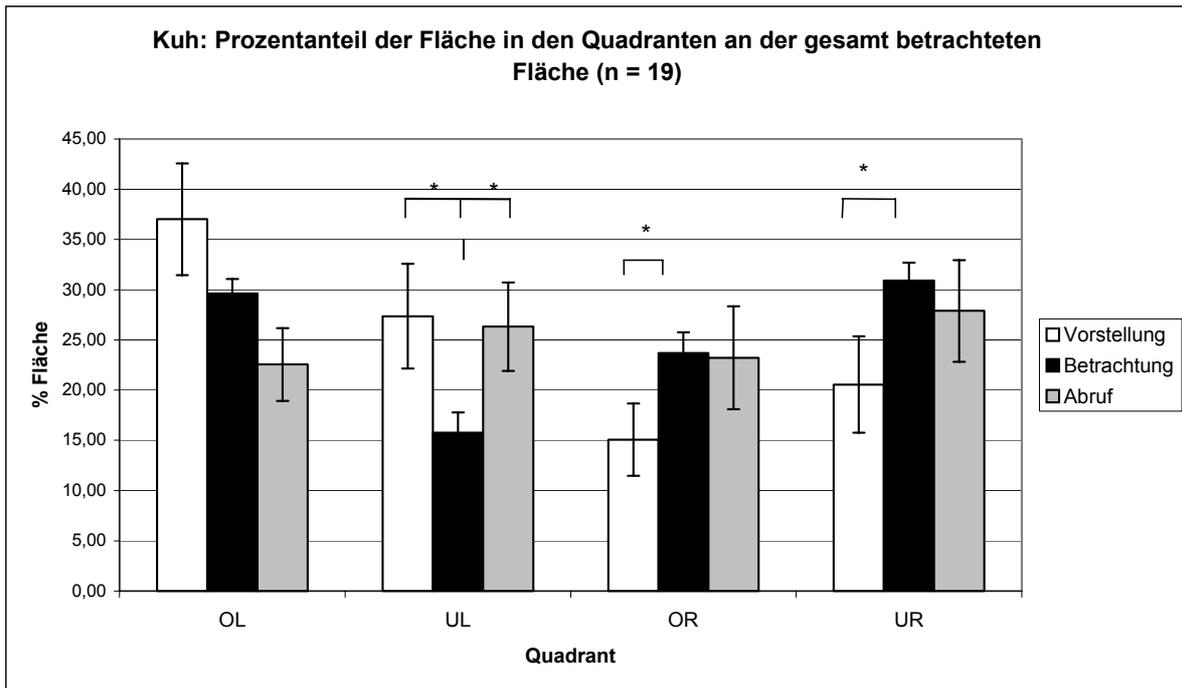


Abb. III-1.1.3.2.: Prozentanteil (Mittelwert \pm SEM) der betrachteten Fläche in den Quadranten “oben links” (OL), “unten links” (UL), “oben rechts” (OR) und “unten rechts” (UR) an der gesamt betrachteten Fläche unter den einzelnen Sehbedingungen für den Stimulus „Kuh“; * $p \leq 0.05$ für die Vergleiche zwischen zwei Sehbedingungen (t-Tests).

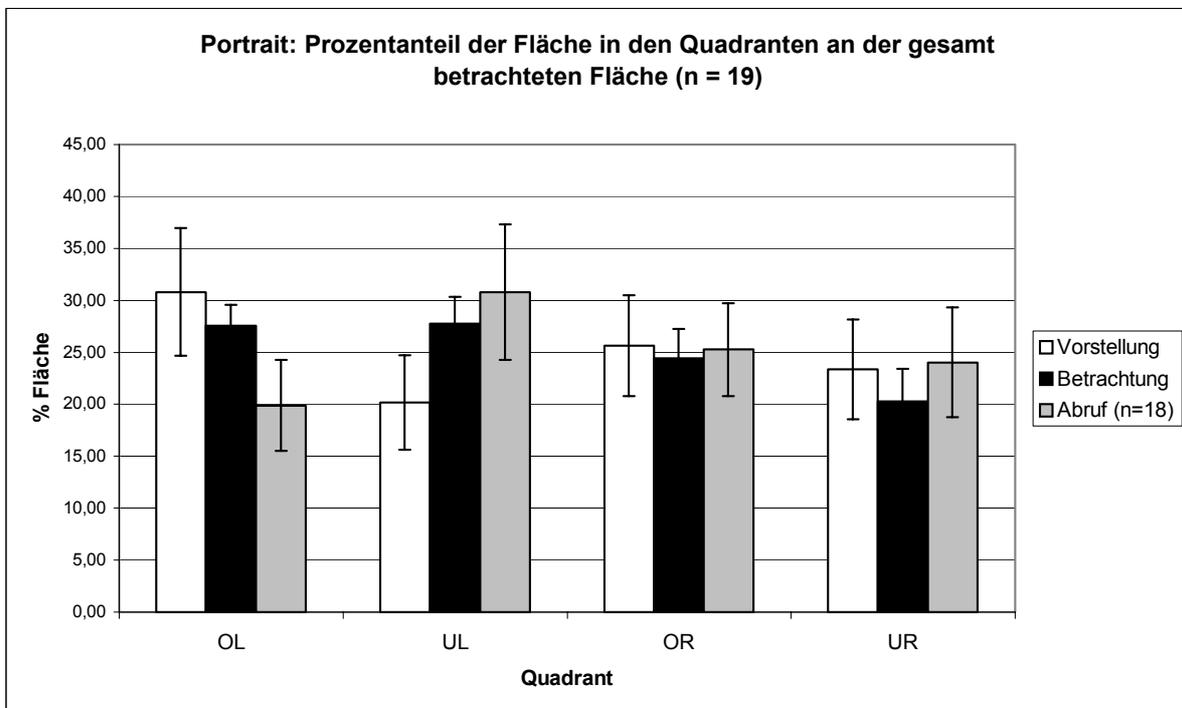


Abb. III-1.1.3.3.: Prozentanteil (Mittelwert \pm SEM) der betrachteten Fläche in den Quadranten “oben links” (OL), “unten links” (UL), “oben rechts” (OR) und “unten rechts” (UR) an der gesamt betrachteten Fläche unter den einzelnen Sehbedingungen für den Stimulus „Portrait“.

Es zeigen sich signifikante Unterschiede bezüglich der betrachteten Fläche für den oberen linken und den unteren rechten Quadranten beim Vergleich der Sehbedingungen Vorstellung vs. Betrachtung beim Stimulus Mona Lisa (OL $t(18) = 2,329$, $p = 0.032$, UR $t(18) = 2,213$, $p = 0.040$, zweiseitig), jedoch nicht unter der Abrufbedingung (Abb. III-1.1.3.4.). Im Fall des oberen linken Quadranten ist die mittlere prozentual betrachtete Fläche unter der Vorstellungsbedingung geringer als unter der Betrachtungsbedingung, für den unteren rechten Quadranten ist die Relation umgekehrt.

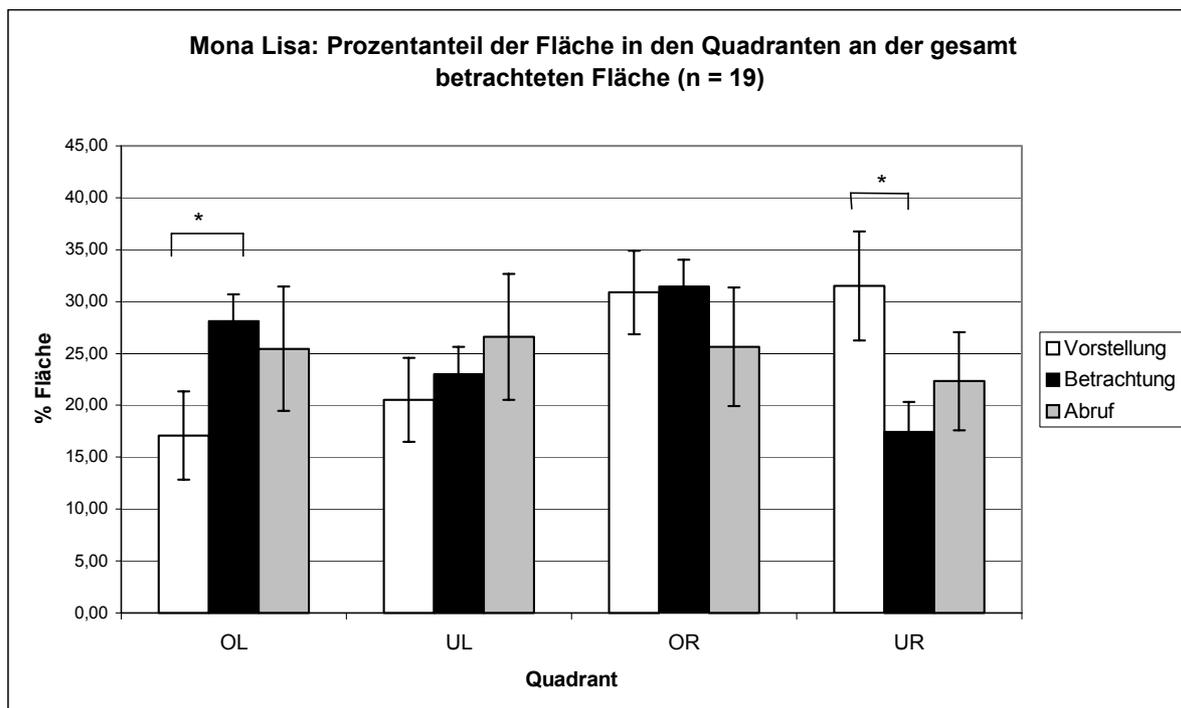


Abb. III-1.1.3.4.: Prozentanteil (Mittelwert \pm SEM) der betrachteten Fläche in den Quadranten “oben links” (OL), “unten links” (UL), “oben rechts” (OR) und “unten rechts” (UR) an der gesamt betrachteten Fläche unter den einzelnen Sehbedingungen für den Stimulus „Mona Lisa“; * $p \leq 0.05$ für die Vergleiche zwischen zwei Sehbedingungen (t-Tests).

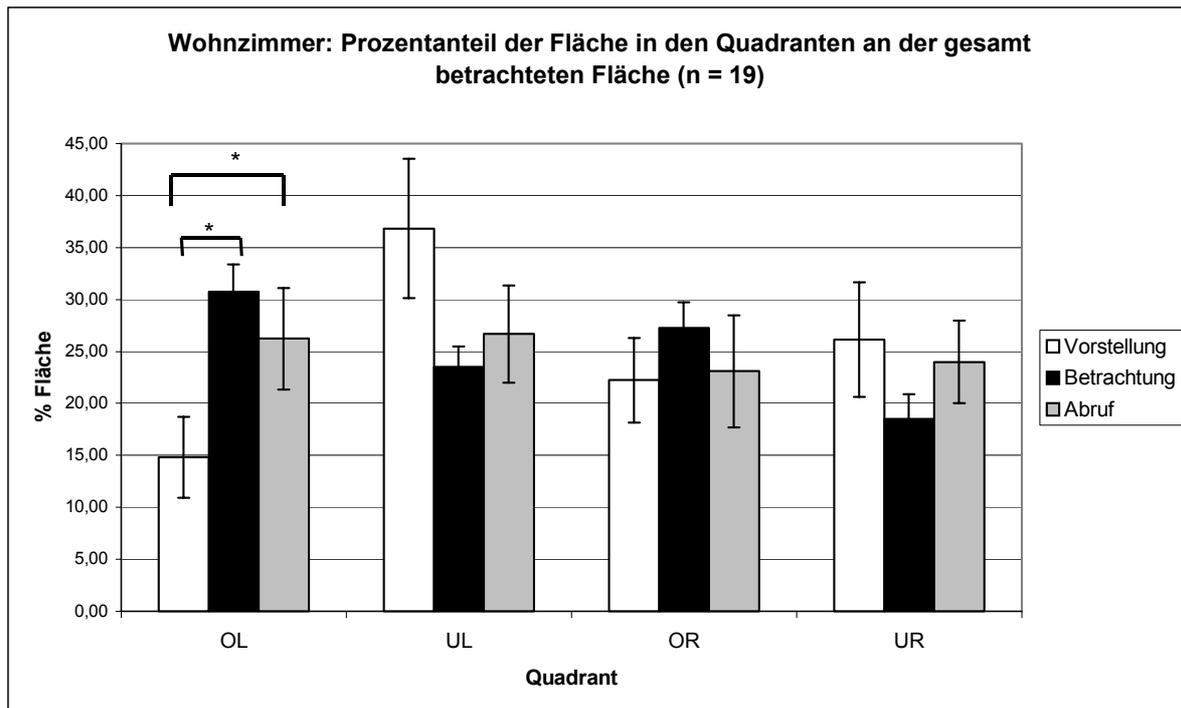


Abb. III-1.1.3.5.: Prozentanteil (Mittelwert \pm SEM) der betrachteten Fläche in den Quadranten “oben links” (OL), “unten links” (UL), “oben rechts” (OR) und “unten rechts” (UR) an der gesamt betrachteten Fläche unter den einzelnen Sehbedingungen für den Stimulus „Wohnzimmer“; * $p \leq 0.05$ für die Vergleiche zwischen zwei Sehbedingungen (t-Tests).

Beim Stimulus Wohnzimmer zeigen sich für den oberen linken Quadranten im Vergleich von Vorstellung mit Betrachtung und von Vorstellung mit Abruf signifikante Unterschiede ($t(18) = 3.278$, $p = 0.004$; $t(18) = 2.569$, $p = 0.019$, zweiseitig, Abb. III-1.1.3.5.).

Prozentuale Aufenthaltsdauer: Die Dauer des prozentualen Aufenthalts beim Blicken in die Quadranten ist über alle Bilder zwischen den Sehbedingungen verschieden. Nicht allein die Betrachtungsbedingungen unterscheiden sich von den beiden Vorstellungsbedingungen, sondern auch die reine Vorstellungsbedingung und der freie Abruf unterscheiden sich voneinander. Grundsätzlich unterscheiden sich alle Sehbedingungen voneinander ($F(2,19) = 105.571$, $p < 0.001$; t-Tests jeweils $p < 0.002$, zweiseitig). Hierbei ist es dann wichtig, unter welchen Sehbedingungen die einzelnen Bilder betrachtet werden. Für jedes einzelne Bild verändert sich die Aufenthaltsdauer in den einzelnen Quadranten je nach Sehbedingung signifikant ($F(18,19) = 1.778$, $p = 0.027$). Das bedeutet, unter dem Aspekt der Quadrantenanalyse ergeben sich für die Aufenthaltsdauern Unterschiede zwischen den Stimulusbildern und zusätzlich Unterschiede zwischen Vorstellungs- und

Betrachtungsbedingungen. Die Betrachtung der Quadranten erfolgt unter den einzelnen Sehbedingungen demnach inhaltsgeleitet. Dies soll im Folgenden für die präsentierten vier komplexen visuellen Szenen ausgeführt werden.

Unter den Sehbedingungen Vorstellung und Abruf unterscheidet sich beim Stimulus Kuh die Aufenthaltsdauer im oberen linken Quadrant, der den Kopf des Tieres beinhaltet (= das Objekt von Interesse) von der Aufenthaltsdauer innerhalb desselben Quadranten unter der Betrachtungsbedingung ($t(18) = 2.216$, $p = 0.04$ bzw. $t(18) = 2.182$, $p = 0.043$ zweiseitig, Abb.III-1.1.3.6.). In den beiden Vorstellungsbedingungen gelten längere Aufenthaltszeiten verglichen mit der Betrachtungsbedingung.

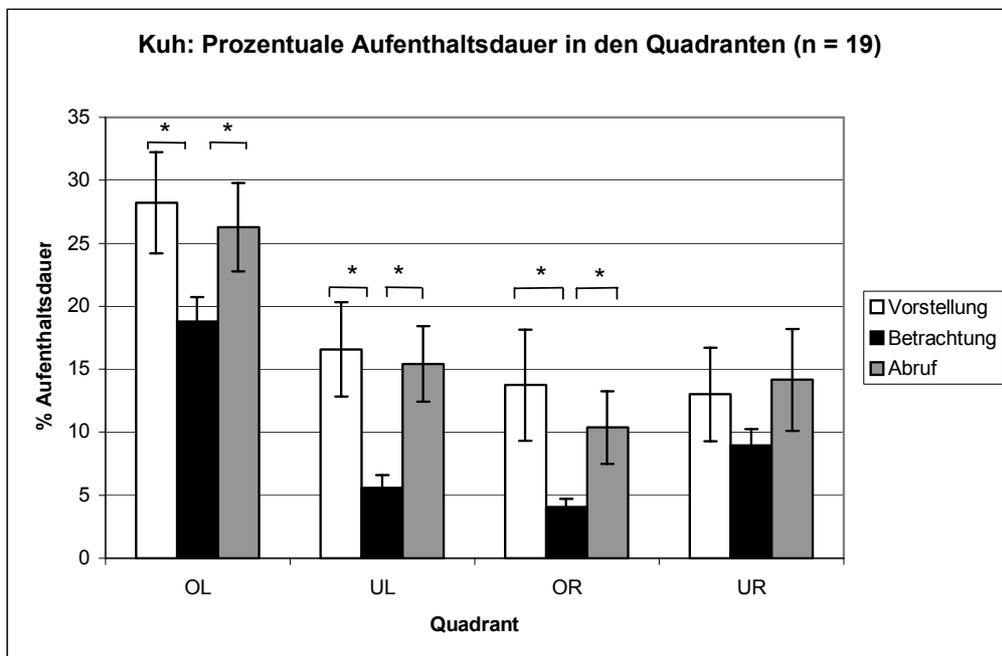


Abb. III-1.1.3.6.: Prozentuale Aufenthaltsdauer als Mittelwert \pm SEM in den einzelnen Quadranten „oben links“ (OL), „unten links“ (UL), „oben rechts“ (OR), „unten rechts“ (UR) für den Stimulus „Kuh“ unter den einzelnen Sehbedingungen; * $p \leq 0.05$ für die Vergleiche zwischen zwei Sehbedingungen (t-Tests).

Beim unteren linken und oberen rechten Quadranten (die Quadranten mit dem geringsten inhaltlichen Informationsgehalt) unterscheiden sich ebenfalls die Aufenthaltsdauern unter der Vorstellungs- und Abrufbedingung von der Betrachtungsbedingung. Auch hier sind die Zeiten bei den beiden Vorstellungsbedingungen erhöht gegenüber der Betrachtungsbedingung (Vorstellung UL $t(18) = 2.814$, $p = 0.011$, Vorstellung OR $t(18) = 2.810$, $p = 0.012$ bzw. Abruf UL $t(18) = 2.340$, $p = 0.031$, Abruf OR $t(18) = 2.265$, $p = 0.036$, zweiseitig). Für den

unteren rechten Quadranten ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sehbedingungen, wobei ein Vergleich der Mittelwerte auch hier erhöhte Werte in den Vorstellungsbedingungen andeutet.

Für den Stimulus Portrait ergibt sich nur ein signifikanter Unterschied: Hier unterscheidet sich die Aufenthaltsdauer im oberen linken Quadranten in der Vorstellungsbedingung signifikant von der Betrachtungsbedingung im Sinne einer deutlichen Erhöhung ($t(18) = 3.253, p = 0.004$, zweiseitig, Abb. III-1.1.3.7.).

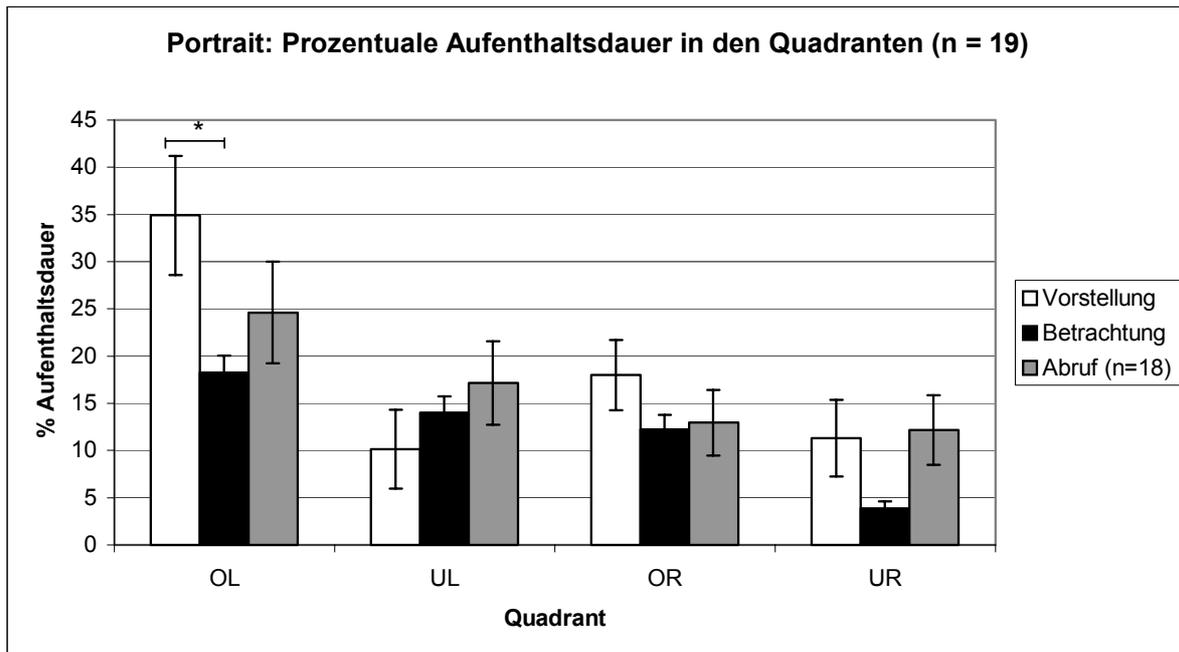


Abb. III-1.1.3.7.: Prozentuale Aufenthaltsdauer als Mittelwert \pm SEM in den einzelnen Quadranten „oben links“ (OL), „unten links“ (UL), „oben rechts“ (OR), „unten rechts“ (UR) für den Stimulus „Portrait“ unter den einzelnen Sehbedingungen; * $p \leq 0.05$ für die Vergleiche zwischen zwei Sehbedingungen (t-Tests).

Zwei wichtige Ergebnisse finden sich bei Mona Lisa. Für den oberen rechten Quadranten unterscheidet sich die Aufenthaltsdauer in der Vorstellungsbedingung von derjenigen der Betrachtungsbedingung (Abb. III-1.1.3.8.). Für den unteren rechten Quadranten ergeben sich Unterschiede für die Aufenthaltsdauer zwischen der Betrachtungs- und der Abrufbedingung (Vorstellung vs. Betrachtung: $t(18) = 2.285, p = 0.035$ bzw. Abruf vs. Betrachtung $t(18) = 2.330, p = 0.032$, zweiseitig). In beiden Fällen sind die mittleren Aufenthaltsdauern unter der Vorstellungsbedingung gegenüber der Betrachtung erhöht.

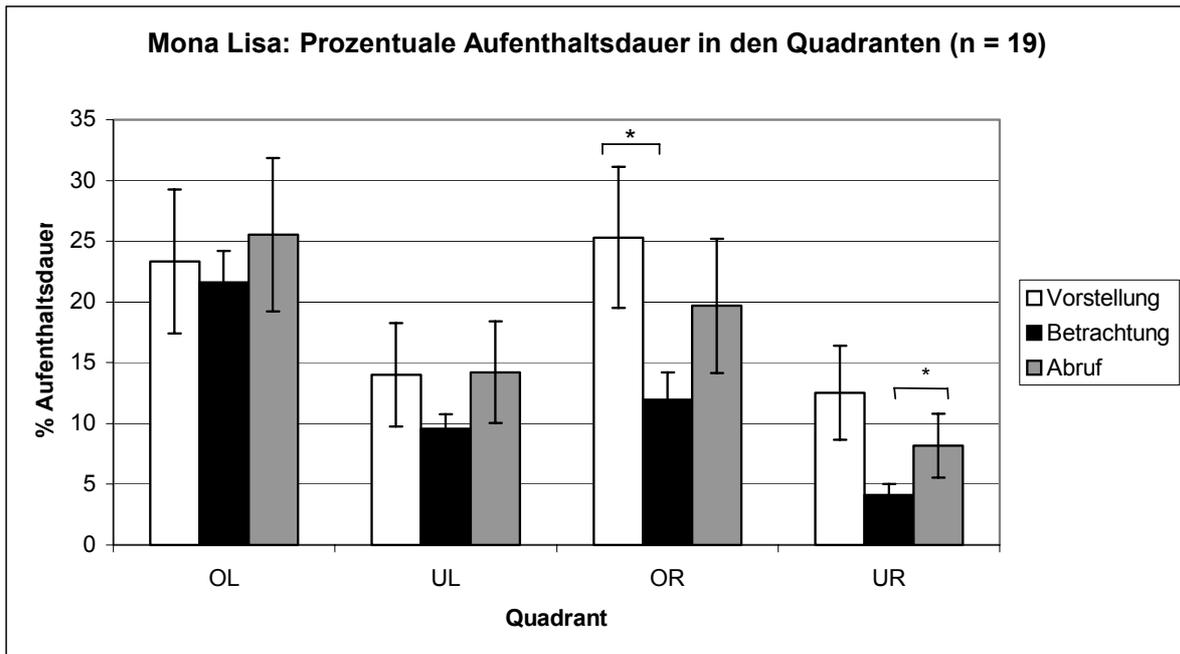


Abb. III-1.1.3.8.: Prozentuale Aufenthaltsdauer als Mittelwert \pm SEM in den einzelnen Quadranten „oben links“ (OL), „unten links“ (UL), „oben rechts“ (OR), „unten rechts“ (UR) für den Stimulus „Mona Lisa“ unter den einzelnen Sehbedingungen; * $p \leq 0.05$ für die Vergleiche zwischen zwei Sehbedingungen (t-Tests).

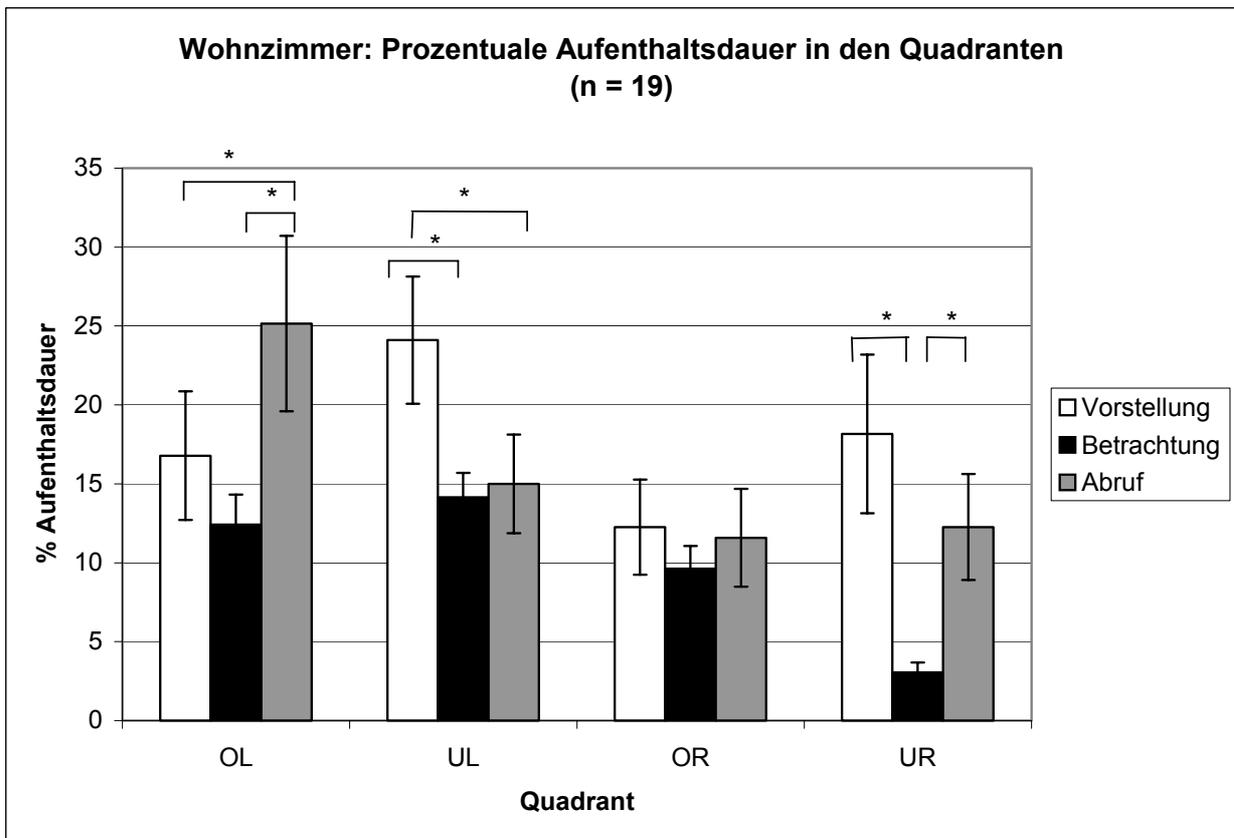


Abb. III-1.1.3.9.: Prozentuale Aufenthaltsdauer als Mittelwert \pm SEM in den einzelnen Quadranten „oben links“ (OL), „unten links“ (UL), „oben rechts“ (OR), „unten rechts“ (UR) für den Stimulus „Wohnzimmer“ unter den einzelnen Sehbedingungen; * $p \leq 0.05$ für die Vergleiche zwischen zwei Sehbedingungen (t-Tests).

Während bei allen anderen Stimulusbildern signifikante Unterschiede stets in Relation zur Betrachtungsbedingung auftreten, finden sich beim Stimulusbild Wohnzimmer (Abb. III-1.1.3.9.) für die Aufenthaltsdauer in den oberen linken und den unteren linken Quadranten signifikante Unterschiede zwischen der Vorstellungs- und der Abrufbedingung ($t(18) = 2.164$, $p = 0.044$, $t(18) = 2.681$, $p = 0.015$, zweiseitig). Auf dem 5% -Niveau signifikant werden weiterhin die Vergleiche „Betrachtung vs. Abruf“ für den oberen linken und den unteren rechten Quadranten ($t(18) = 2.779$, $p = 0.012$, $t(18) = 2.942$, $p = 0.009$, zweiseitig) sowie die Vergleiche „Vorstellung vs. Betrachtung“ für den unteren linken und den unteren rechten Quadranten ($t(18) = -2.730$, $p = 0.014$, $t(18) = 3.165$, $p = 0.005$, zweiseitig).

Betrachtet man die Abbildungen III-1.1.3.6. - III-1.1.3.9. fällt zusätzlich auf, dass sich die prozentualen Aufenthaltsdauern in den Quadranten innerhalb einer Sehbedingung unabhängig vom präsentierten Stimulus in einigen Fällen nicht auf 100 Prozent addieren. In vielen Fällen wird im Mittel mehr Zeit unter Vorstellung und freiem Abruf gegenüber der Betrachtung in den Quadranten verbracht (siehe III.1.4.).

Richtung der ersten Sakkade: Die erste Sakkade wird abhängig vom präsentierten Bild vermehrt in einen spezifischen Quadranten gerichtet. Besonders deutlich wird dies für die Stimuli Kuh und Portrait, bei denen der obere linke Quadrant bevorzugt wird (Tab. III-1.1.3.2.). Für die Richtung der ersten Sakkade zeigen sich auch inferenzstatistische Haupteffekte für die Interaktion zwischen Bild und Quadrant ($F(9,19) = 9.431$, $p < 0.001$, Tab. III-1.1.3.2.).

Keine signifikanten Unterschiede zeigen sich in der Dreifachinteraktion zwischen Sehbedingung, Bild und Quadrant. Das bedeutet, dass sich die Richtung der ersten Sakkade nicht in Abhängigkeit von der Sehbedingung allein, wohl aber in Abhängigkeit von den betrachteten Bildern unter den unterschiedlichen Sehbedingungen differenzieren lässt.

Tab. III-1.1.3.2.: Anzahl der gerichteten ersten Sakkaden in die einzelnen Quadranten „oben links“ (OL), „unten links“ (UL), „oben rechts“ (OR) und „unten rechts“ (UR) als Mittelwerte und Standardfehler (SEM) über alle Sehbedingungen, getrennt nach Stimulusbild; * $p \leq 0.05$.

Stimulus	n		Quadrant			
			OL	UL	OR	UR
Kuh	19	Mittelwert	15 *	1	1	2
		SEM	0,58	0,76	0,29	0,29
Portrait	18	Mittelwert	10 *	1 *	6	1
		SEM	0,87	0,29	0,58	0,50
Mona Lisa	19	Mittelwert	7 *	2 *	8 *	2
		SEM	2,18	1,04	0,50	0,76
Wohnzimmer	19	Mittelwert	6 *	5 *	5 *	3
		SEM	1,80	2,25	0,00	0,58

Beim Stimulus Kuh verläuft die erste Sakkade signifikant häufiger in den oberen linken Quadranten verglichen mit den übrigen Quadranten (vs. UL $t(18) = 10.550$, $p < 0.001$, OR $t(18) = 11.403$, $p < 0.001$, UR $t(18) = 8.058$, $p < 0.001$, zweiseitig). Dies trifft in gleicher Weise für die Bilder Portrait (vs. UL $t(17) = 9.231$, $p < 0.001$, OR $t(17) = 6.129$, $p < 0.001$, UR $t(17) = 6.474$, $p < 0.001$, zweiseitig) und Mona Lisa (vs. UL $t(18) = 8.748$, $p < 0.001$, OR $t(18) = 4.193$, $p < 0.001$, UR $t(18) = 7.184$, $p < 0.001$, zweiseitig) zu, wobei sich im ersten Fall zusätzlich signifikant die Häufigkeit der ersten Sakkade in den oberen rechten Quadranten von der Häufigkeit der ersten Sakkade in den unteren linken Quadranten unterscheidet ($t(18) = 2.364$, $p = 0.03$, zweiseitig). Bei der Mona Lisa fällt die erste Sakkade signifikant häufiger in den oberen rechten Quadranten als in die beiden unteren Quadranten (vs. UL $t(18) = 3.012$, $p = 0.007$, UR $t(18) = 3.293$, $p = 0.004$, zweiseitig). Beim Stimulus Wohnzimmer fällt die erste Sakkade signifikant häufiger in die beiden oberen Quadranten verglichen mit den unteren Quadranten (OL vs. UL: $t(18) = 6.710$, $p < 0.001$, OL vs. UR: $t(18) = 5.301$, $p < 0.001$, OR vs. UL: $t(18) = 3.308$, $p = 0.004$, OR vs. UR: $t(18) = 2.950$, $p = 0.009$, zweiseitig).

III.1.1.4. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse für Experiment A1

Die Ausdehnung der insgesamt betrachteten Fläche ist für die Vorstellung einer komplexen visuellen Szene kleiner als bei deren tatsächlicher Betrachtung. Dies trifft sowohl für die reine Vorstellung, als auch für den freien Abruf aus dem Gedächtnis zu. Der größte Unterschied findet sich zwischen Vorstellung und Betrachtung beim Stimulus Kuh. Hier wird in der Vorstellung im Mittel 28.44 Prozent weniger Fläche durchmustert. Der kleinste Unterschied mit 5.1 Prozent durchmusterter Fläche liegt beim Vergleich von Betrachtung mit freiem Abruf beim Stimulus Portrait vor. Vorstellung und freier Abruf unterscheiden sich hingegen nicht (vgl. Abb.III-1.1.3.2.).

Die Ergebnisse für die prozentual betrachtete Fläche in den Quadranten ergänzen die Befunde zur gesamt durchmusterter Fläche. Die meisten Signifikanzen finden sich bei den Vergleichen zwischen reiner Vorstellung und Betrachtung. Nur im Fall des Stimulus Wohnzimmer treten auch signifikante Unterschiede zwischen der Vorstellungs- und der Abrufbedingung auf. Gegenüber den drei anderen Stimuli lassen die Vorstellung des (probanden-) eigenen Wohnzimmers und der Abruf des präsentierten Bildes größere inhaltliche und räumliche Variabilität zwischen Vorstellungsbild und Bildbetrachtung zu. Möglicherweise spiegelt sich dies in den divergierenden Augenbewegungsmustern wieder.

Die meisten signifikanten Unterschiede zeigen sich für den Stimulus Kuh, der insgesamt hinsichtlich der Salienzbereiche seiner Quadranten den inhaltlich strukturiertesten Stimulus darstellt (Kopf – Euter – Rücken, Vorderbeine). Keine signifikant verschiedenen Werte zeigen sich demgegenüber für den inhaltlichen und in der Ausdehnung sehr symmetrischen Stimulus Portrait. Dies lässt hier erstmals vermuten, dass sich gerade inhaltliche Stimulusaspekte auf Veränderungen in den Sehbedingungen auswirken. Diese Befunde können in weiterer Konsequenz erste Überlegungen bezüglich einer Aufmerksamkeitsfokussierung nicht nur bei der Bildbetrachtung, sondern auch bei der visuellen Vorstellung anregen, da bei freiem Abruf und bei instruierter Vorstellung einer komplexen Szene eine Konzentration auf inhaltlich bedeutsame Bereiche erfolgen könnte.

Die Werte für die prozentualen Aufenthaltsdauern in den Quadranten sprechen ebenfalls für eine solche Argumentation. Sie variieren mit dem präsentierten Stimulus. Signifikant höhere Aufenthaltsdauern findet man beispielsweise in denjenigen Quadranten, in denen sich ein inhaltlich wichtiges Objekt befindet. Dort,

wo für die Versuchsperson kaum Informationsgehalt zu erwarten ist, verringert sich die Aufenthaltsdauer. Dies impliziert eine aufmerksamkeitsgesteuerte Bildbetrachtung. Besonders deutlich wird dies für den Stimulus Kuh und zusätzlich für Portrait und Mona Lisa, deren Bildaufbau relativ symmetrisch ist. Hier beinhaltet möglicherweise der linke obere Quadrant beim Stimulus Portrait genug Informationen, um ein mentales Abbild des gesamten Gesichtes zu erzeugen. Die Position und Perspektive der Person innerhalb des Gemäldes Mona Lisa erlaubt möglicherweise eine rechtsseitige Lateralisierung der Aufenthaltsdauern, um eine Vorstellung wesentlicher Aspekte der Szene zu ermöglichen. Demgegenüber finden sich beim Stimulus Wohnzimmer keine inhaltlich herausragenden salienten Bereiche, die einen spezifischen Aufmerksamkeitsfokus verlangen können. Zudem könnte es wesentlich mehr inhaltliche Varianz zwischen der Vorstellung des eigenen Wohnzimmers und des gezeigten Stimulus geben. Möglicherweise treten darum auch hier signifikante Unterschiede bezüglich der ausgewerteten Parameter zwischen Vorstellungs- und Abrufbedingung auf (s.o.). Für die Analyse der prozentualen Aufenthaltsdauer ist es somit auch nicht gleichgültig, ob ein Stimulusbild vor der Vorstellungsaufgabe bereits gesehen wurde oder erst im Nachhinein präsentiert wird.

Das Verweilen innerhalb einer Bildregion folgt damit vorwiegend am Bildinhalt orientierten Strategien und nicht einem fixen formalen Scanningverhalten (vgl. auch die Durchmusterungspfade in Abb. III-1.1.3.1.). Zusätzlich variieren die prozentualen Aufenthaltsdauern mit der Sehbedingung und die Werte für die Quadranten addieren sich innerhalb einer Sehbedingung nicht regelmäßig auf 100 Prozent: Während der Vorstellungsbedingungen verweilen die Probanden unter den gegebenen Parametern länger in den Quadranten als bei der Betrachtung. Hierfür kommen zwei Ursachen in Frage. Die Probanden könnten trotz expliziter Aufforderung während des Aufnahmeintervalls vom Bildschirm weggeschaut haben. Die Durchsicht der Rohdaten-scanpaths ohne Beschränkung der Fixationsdauer und –stabilität zeigt jedoch, dass die einzelnen Versuchspersonen sehr wohl während der gesamten Präsentationszeit auf dem Bildschirm exploriert haben. Auch lassen sich keine zusätzlichen systematischen bildbezogenen Abweichungen in den Durchmusterungen erkennen. Diejenigen Fixationen mit einer Dauer unter 120 ms und die Sakkaden der Probanden wurden allerdings bei der vorliegenden zeitlichen Analyse entsprechend den Literaturvorgaben nicht berücksichtigt (vgl. II.5.1.).

Vielmehr ist somit davon auszugehen, dass bei der Vorstellung komplexer visueller Szenen länger in bestimmten Bildbereichen fixiert wird und möglicherweise eine geringere sakkadische Durchmusterung erfolgt als bei der Betrachtung desselben komplexen Bildes. Bei der Bildbetrachtung setzt ein Proband demgegenüber vermehrt Fixationszeiten unter 120 ms zur Erfassung des Bildinhaltes ein, die dann aus dem Auswertungsrahmen fallen. Dies kann folgende Bedeutung für die visuelle Wahrnehmung besitzen: In der Vorstellung entsteht das aus dem Gedächtnis abzurufende Bild langsam, einzelne Bildfeatures werden länger andauernd fixiert. Das Erkennen einzelner Bildanteile bei der Betrachtung erfolgt schneller, die Fixationszeiten sind kürzer und es werden möglicherweise vermehrt bewegte Augenbewegungsparameter zum Durchmustern des Gesamtbildes eingesetzt. In einer weiterführenden Untersuchung sollten darum verschiedenste Fixationsdauern für Vorstellung und Betrachtung geplottet und miteinander verglichen werden.

Der Inhalt eines Bildes wirkt sich auf die Blickverteilung in den Sehbedingungen zusätzlich verschieden aus: zu den deutlichsten Unterschieden kommt es in denjenigen Quadranten, in denen sich ein salientes Objekt von Interesse befindet. Ist ein salientes Objekt von Interesse vorhanden, wird dort in der Vorstellung noch mehr verweilt als in der Betrachtung und auch mehr als beim freien Abruf. Je eindeutiger das Objekt von Interesse in einem Bild ist, desto eindeutiger treten diese Befunde hervor.

Vor allem für den Stimulus Kuh wird der inhaltliche Bezug der ersten Sakkade zum Quadranten deutlich. Das Objekt von Interesse, der Kopf des Tieres, ist unter allen Sehbedingungen das Ziel der ersten Blickbewegung und somit eines primären Aufmerksamkeitsfokus. Auch für Portrait (Augen) und Mona Lisa (Kopf) könnte man eine solche Beziehung zwischen bedeutsamem Bildinhalt und Blickbewegung vermuten, hier ist sie jedoch weniger eindeutig zu erkennen. Für den Stimulus Wohnzimmer liegt kein deutliches Objekt von Interesse vor. Entsprechend zeigt sich die Verteilung der ersten Sakkade ähnlicher über die Quadranten. Deutliche Parallelen existieren somit zwischen den Befunden für die prozentuale Aufenthaltsdauer und die Richtung der ersten Sakkade: vermehrt Bildanteile mit höchster inhaltlicher Salienz weisen bezüglich der prozentualen Aufenthaltsdauer die deutlichsten Unterschiede zwischen den Sehbedingungen auf und sind Ziel der ersten Sakkade in allen Sehbedingungen. Jedoch scheint nicht allein ein inhaltlicher Bezug der ersten Sakkade zu den Stimuli zu bestehen. Betrachtet man die

Absolutzahlen für die Probanden, wird unabhängig vom Stimulus eine Präferenz für die oberen beiden Quadranten gegenüber den unteren beiden Quadranten deutlich. Der Aspekt des inhaltlichen Objektes von Interesse könnte diese möglicherweise strategiegeleitete Präferenz dann noch überlagern (Tab.III-1.1.3.2.: vgl. Absolutwerte für den Stimulus Kuh mit denen von Mona Lisa und Portrait, bei denen die Werte in den oberen Quadranten ähnlicher sind).

Wägt man alle drei Blickbewegungsparameter gegeneinander ab, wird zudem deutlich wie wichtig es ist, bei der Untersuchung von Blickverhalten mehrere Maße zu analysieren: Während sich für die prozentuale Aufenthaltsdauer gerade in den Quadranten Unterschiede zwischen den Sehbedingungen zeigen, die ein Objekt von Interesse beinhalten, scheint sich die betrachtete Fläche gerade dort nicht zu verändern, sondern vermehrt in denjenigen Quadranten, die keinen oder einen weniger eindeutigen salienten Bereich beinhalten. Beiden Verhaltensmaßen gegenüber bleibt die Richtung der ersten Sakkade gleich. In einer weiterführenden Studie könnte es daher aus methodischer Sicht sinnvoll sein, speziell nach Interkorrelationen zwischen den verschiedenen Blickbewegungsparametern zu fragen.

Zusammengefasst zeigen die Befunde dieses Experiments, dass der Durchmusterungsbereich in der Vorstellung kleiner ist als während der Bildbetrachtung. Darüber hinaus gibt es deutliche Evidenz für inhaltlich dominierte Durchmusterungen in Betrachtung und Vorstellung, wobei die betrachtete Fläche in engem Zusammenhang mit der Aufenthaltsdauer in bestimmten Bildbereichen steht. Dies wird im folgenden Experiment eingehender untersucht.

III.1.2. Experiment A2: Untersuchung der Blickbewegungen normalsichtiger Probanden bei Vorstellung, Betrachtung und freiem Abruf einer rotierten komplexen Szene

Die Daten aus Experiment A1 konnten neben den Befunden zur durchmusterten Fläche zeigen, dass Blickbewegungen normalsichtiger Probanden auch beim Betrachten komplexer visueller Szenen auf Bereiche inhaltlicher Salienz geleitet werden. Erste Überlegungen zur Beziehung zwischen inhaltlichen Salienzbereichen und dem selektiven Öffnen von Aufmerksamkeitsfenstern bei der Blicksteuerung

wurden hier erörtert. Beim Vergleich der Mittelwerte bei der Betrachtung der Stimuli „Rousseau seitenrichtig“ und „Rousseau gespiegelt“ aus einem Vorexperiment ergaben sich erste Hinweise darauf, dass auch die Summenwerte für die Richtung der ersten Sakkade in einen Quadranten spiegelbildlich erscheinen. Ebenso verteilten sich die mittleren prozentualen Aufenthaltsdauern in den unteren beiden Quadranten. Die Aufenthaltsdauern in den oberen Quadranten bleiben hingegen gleich. Die entsprechenden Daten werden daher gesondert in Tabelle III-1.2.1. aufgegriffen. Die Vermutung liegt nahe, dass die Blickbewegungen der Probanden sich mit dem salienten Objekt von Interesse, der liegenden Frau, spiegelbildlich verändern (Abbildungen des Stimulus finden sich im Anhang dieser Arbeit).

Tab. III-1.2.1.: Prozentuale Aufenthaltsdauer (Mittelwert \pm SEM) und Summenwerte für die Richtung der ersten Sakkade bei Betrachtung des Stimulusbildes „Rousseau“ (n = 19, OL: oberer linker Quadrant, UL: unterer linker Quadrant, OR: oberer rechter Quadrant, UR: unterer rechter Quadrant).

Quadrant	Rousseau				Rousseau gespiegelt			
	OL	UL	OR	UR	OL	UL	OR	UR
Aufenthaltsdauer (%) Mittelw.	12	7	13	10	12	10	12	7
SEM	1,76	1,51	1,81	1,30	1,67	1,02	1,42	1,34
Erste Sakkade (Anzahl)	18	0	1	0	2	2	15	0

Im vorliegenden Experiment sollte nun untersucht werden, ob solche Wechselwirkungen zwischen Bildinhalt, Positionsverschiebungen von Salienzbereichen im Bild und Blickbewegungen auch systematisch unter verschiedenen Sehbedingungen auftreten. Die deutlichsten Befunde beim Vergleich von Vorstellungsbedingungen und Betrachtung in Richtung einer Interaktion von inhaltlicher Salienz und Blickbewegungsparametern zeigten sich beim Stimulusbild „Kuh“, der aus diesem Grund für die folgende Untersuchung ausgewählt wurde.

III.1.2.1. Spezifische Fragestellungen und Hypothesen

Wenn es bei komplexen visuellen Szenen eine übereinstimmende Durchmusterungsaktivität zwischen Betrachtung und Vorstellung gibt, dann sollte sich diese in der Verteilung von Blickbewegungsparametern in einzelnen Quadranten zeigen. Hängt dabei die Vorstellung wie die Betrachtung vom Objekt von Interesse

ab? Folgt der Durchmusterungsbereich auch in der Vorstellung entsprechend der Rotation des Stimulus dem Objekt von Interesse? Zur Untersuchung dieses Zusammenhangs wurde in diesem Experiment folgende Überlegung zugrunde gelegt:

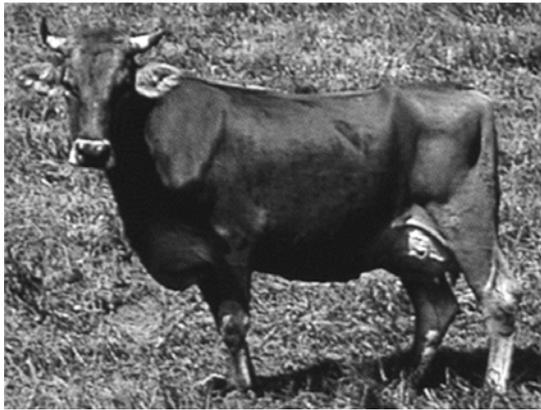
Gibt es für einen spezifischen salienten Bereich innerhalb eines komplexen visuellen Stimulus eine Interaktion zwischen den Sehbedingungen Vorstellung, Betrachtung und freier Abruf, wenn man dasselbe Bild in verschiedenen Varianten (Rotationseffekte) betrachtet?

In jeder Sehbedingung unterscheiden sich die Blickbewegungsparameter innerhalb desselben Bildquadranten, wenn dort mit variierender Stimulusposition Bildanteile unterschiedlicher inhaltlicher Salienz präsentiert werden.

III.1.2.2. Methoden und Statistische Auswertung

Zur Untersuchung inhaltlicher und formaler Aspekte der Bildbetrachtung wurde ein einzelner Stimulus (Kuh) in rotierter Form präsentiert, so dass inhaltlich identische Salienzbereiche nur in ihrer Position verändert sind (Abb. III-1.2.1.).

Als Versuchsdesign diente ein 4x3x4 Plan mit unabhängigen Gruppen (Rotation) und den Messwiederholungsfaktoren *Sehbedingung* und *Quadrant*. Der genaue Versuchsablauf wurde bereits bei den allgemeinen Methoden beschrieben.



a)



b)



c)



d)

Abb. III-1.2.1.1.: Stimulus „Kuh“: Die Abbildung a) zeigt den Stimulus „Kuh“ (KUH), b) zeigt die vertikal und horizontal gespiegelte Kuh (KUGR), c) die vertikal gespiegelte Kuh (KUGE) und d) die horizontal gespiegelte Kuh (KUGU).

Die untersuchten Variablen setzten sich wie folgt zusammen:

Unabhängige Variablen: UV1: Rotation (KUH, KUGR, KUGE, KUGU)

UV1.1: Kuh (n = 9, zufällig aus 19 Probanden ausgewählt)

UV1.2: Kuh gespiegelt vertikal (n = 9)

UV1.3: Kuh gespiegelt horizontal (n = 9)

UV1.4: Kuh gespiegelt vertikal und horizontal (n = 9)

UV2: Sehbedingung (Vorstellung vs. Betrachtung vs. Abruf)

UV3: Quadrant (OL, OR, UL, UR)

Abhängige Variablen: AV1: Richtung der ersten Sakkade

AV2: prozentuale Aufenthaltsdauer

AV3: betrachtete Fläche

Die inferenzstatistische Auswertung der Daten erfolgte mittels Multivariater Varianzanalyse.

III.1.2.3. Ergebnisse

Betrachtete Fläche: Die Ausdehnung der prozentual betrachteten Fläche innerhalb eines Quadranten variiert mit der Rotation des Stimulusbildes und der Sehbedingung ($F(18,36) = 2.148, p = 0.006$). Vergleicht man die Mittelwerte miteinander, fällt auf, dass in einem Quadranten immer dann mehr Fläche durchmustert wird, wenn dort das Objekt von Interesse liegt. Dieser Befund gilt nicht nur für die Betrachtung, sondern ebenso für beide Vorstellungsbedingungen. Eine einzige Ausnahme findet sich für die Betrachtungsbedingung beim oberen linken Quadranten.

Paarweise Vergleiche für die betrachteten Flächen innerhalb eines Quadranten zeigen zumeist auch dann signifikant verschiedene Ausdehnungen, wenn das Objekt von Interesse mit einem wenig wichtigen Bildanteil zusammenfällt, i.e. derjenige Quadrant, in dem sich die Vorderbeine des Tieres befinden (Abb. III-1.2.3.1. – III-1.2.3.4.).

Oberer linker Quadrant: Die Experimentalgruppe „Kuh“ betrachtet in zwei Sehbedingungen eine signifikant größere Fläche als die Experimentalgruppe „Kugu“: Vorstellung $t(16) = 3.129, p = 0.006$, Betrachtung $t(16) = 5.479, p < 0.001$ (Abb. III-1.2.3.1).

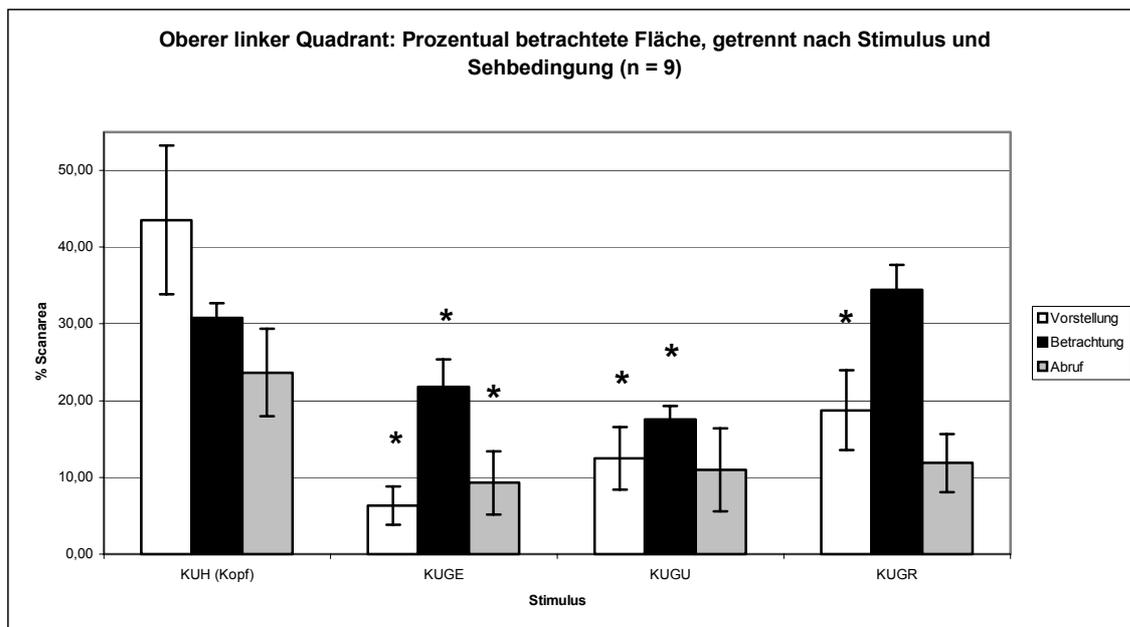


Abb. III-1.2.3.1.: Prozentual betrachtete Fläche (Mittelwert \pm SEM) bei Betrachtung der einzelnen Stimuli unter den verschiedenen Sehbedingungen für den oberen linken Quadranten, in dem sich unter der Bedingung Kuh der Kopf befindet. KUGE (= „Kuh gespiegelt vertikal“), KUGU (= „Kuh“ gespiegelt horizontal, KUGR (= „Kuh“ gespiegelt vertikal und horizontal); * $p \leq 0.05$ (t-Tests) für die post hoc Vergleiche des Stimulus KUH mit jeweils einem anderen Stimulus unter derselben Sehbedingung.

Unterer linker Quadrant: Die Experimentalgruppe „Kugu“ betrachtet in allen Sehbedingungen eine signifikant größere Fläche als die Experimentalgruppe „Kuh“: Vorstellung $t(16) = 2.570$, $p = 0.022$, Betrachtung $t(16) = 4.282$, $p = 0.001$, Abruf $t(16) = 2.605$, $p = 0.019$ (Abb. III-1.2.3.2.).

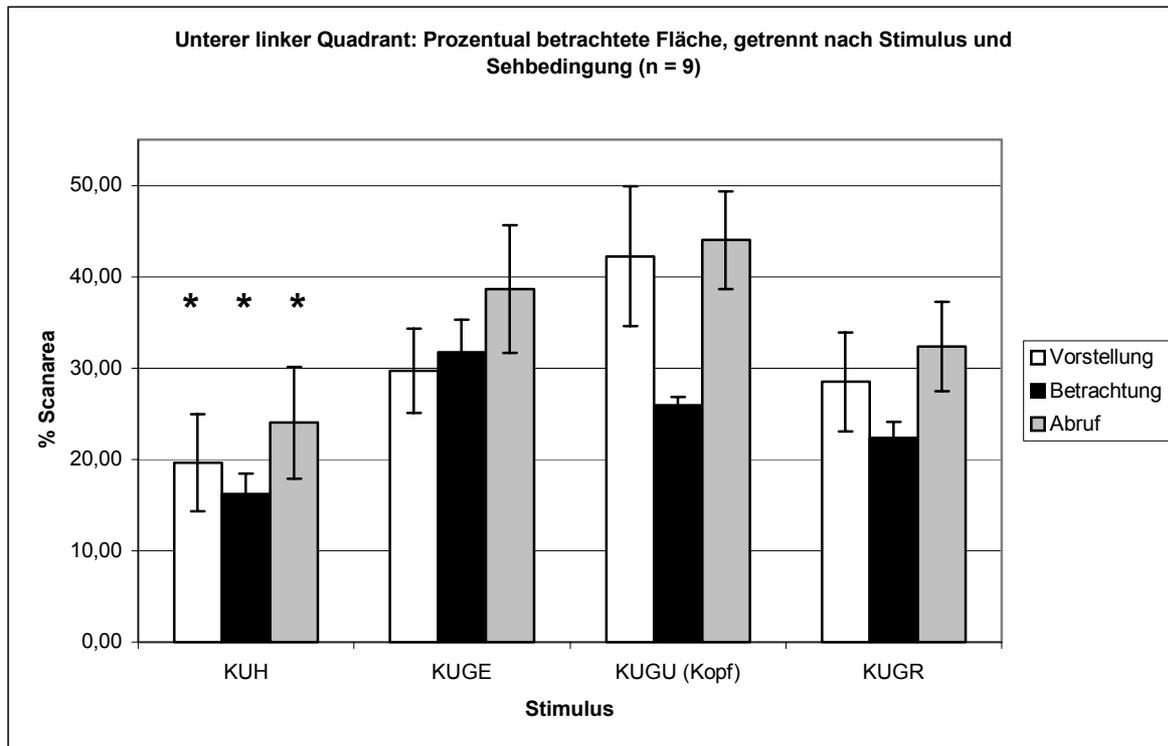


Abb. III-1.2.3.2.: Prozentual betrachtete Fläche (Mittelwert \pm SEM) bei Betrachtung der einzelnen Stimuli unter den verschiedenen Sehbedingungen für den unteren linken Quadranten, in dem sich unter der Bedingung Kugu der Kopf befindet. KUGE (= „Kuh gespiegelt vertikal“), KUGU (= „Kuh“ gespiegelt horizontal, KUGR (= „Kuh“ gespiegelt vertikal und horizontal);* $p \leq 0.05$ (t-Tests) für die post hoc Vergleiche des Stimulus KUGU mit jeweils einem anderen Stimulus unter derselben Sehbedingung.

Oberer rechter Quadrant: Die Experimentalgruppe „Kuge“ betrachtet in allen Sehbedingungen eine signifikant größere Fläche als die Experimentalgruppe „Kugr“: Vorstellung $t(16) = 2.486$, $p = 0.024$, Betrachtung $t(16) = 5.196$, $p < 0.001$, Abruf $t(16) = 3.109$, $p = 0.007$ (Abb. III-1.2.3.3.).

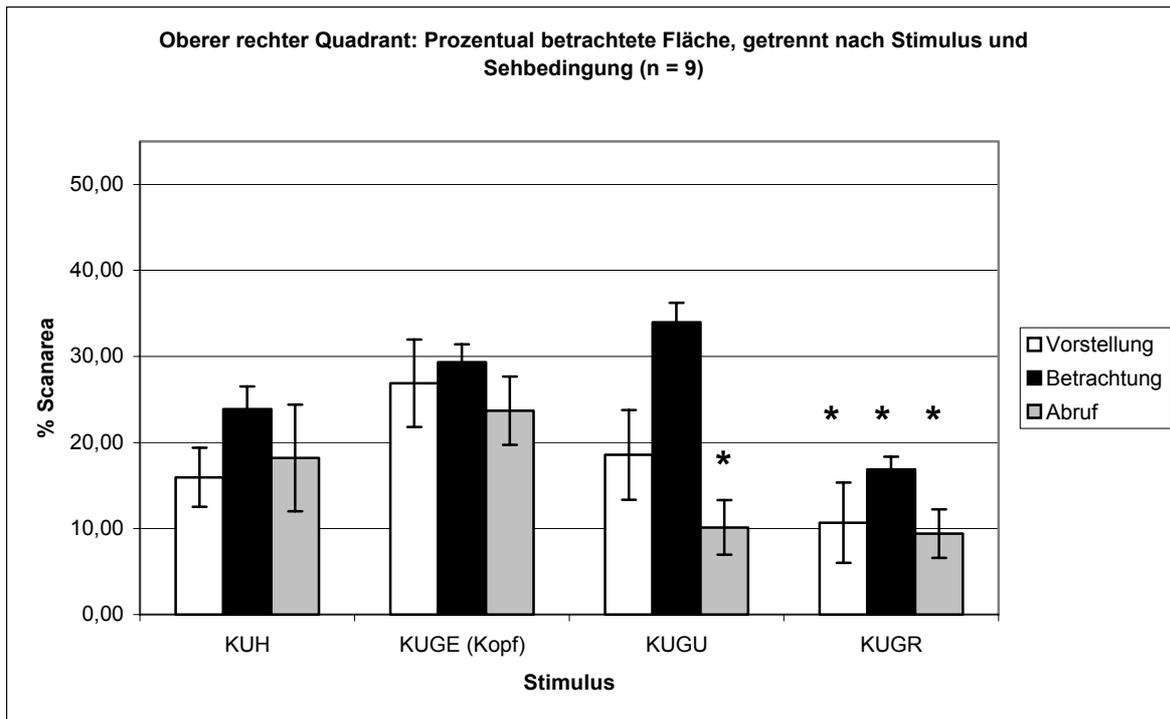


Abb. III-1.2.3.3.: Prozentual betrachtete Fläche (Mittelwert \pm SEM) bei Betrachtung der einzelnen Stimuli unter den verschiedenen Sehbedingungen für den oberen rechten Quadranten, in dem sich unter der Bedingung Kuge der Kopf befindet. KUGE (= „Kuh gespiegelt vertikal“), KUGU (= „Kuh“ gespiegelt horizontal, KUGR (= „Kuh“ gespiegelt vertikal und horizontal); * $p \leq 0.05$ (t-Tests) für die post hoc Vergleiche des Stimulus KUGE mit jeweils einem anderen Stimulus unter derselben Sehbedingung.

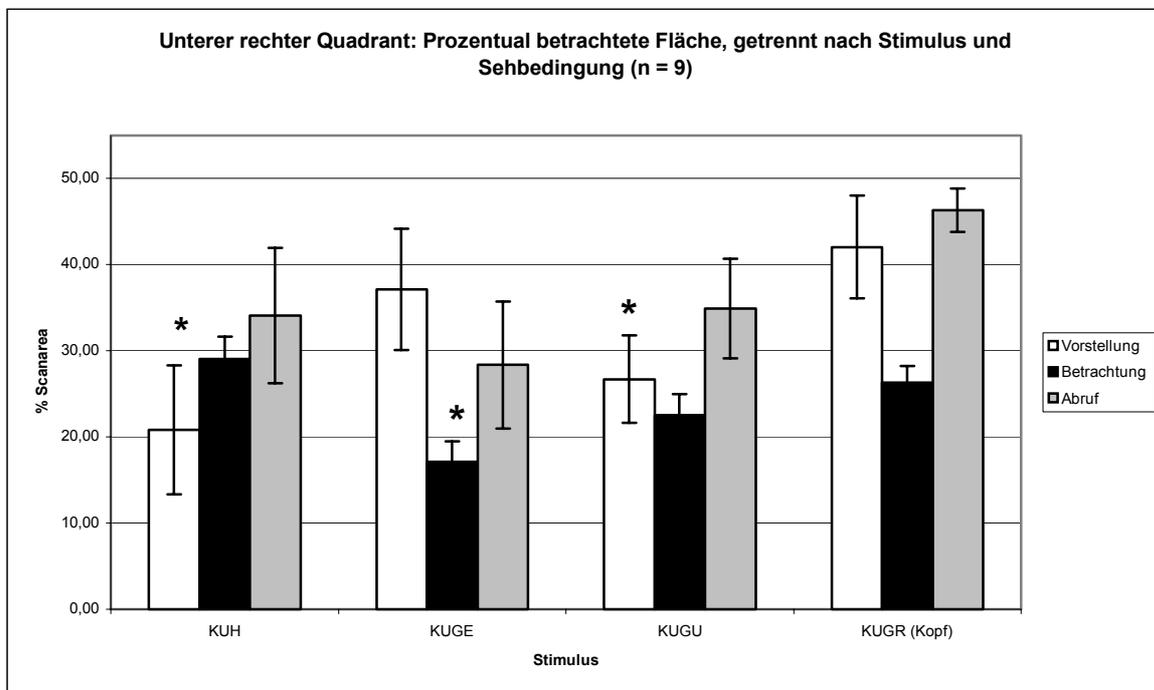


Abb. III-1.2.3.4.: Prozentual betrachtete Fläche (Mittelwert \pm SEM) bei Betrachtung der einzelnen Stimuli unter den verschiedenen Sehbedingungen für den unteren rechten Quadranten, in dem sich unter der Bedingung Kugr der Kopf befindet. KUGE (= „Kuh gespiegelt vertikal“), KUGU (= „Kuh“ gespiegelt horizontal, KUGR (= „Kuh“ gespiegelt vertikal und horizontal); * $p \leq 0.05$ (t-Tests) für die post hoc Vergleiche des Stimulus KUGR mit jeweils einem anderen Stimulus unter derselben Sehbedingung.

Unterer rechter Quadrant: Die Experimentalgruppe „Kugr“ betrachtet in zwei Sehbedingungen eine signifikant größere Fläche als die Experimentalgruppe „Kuge“: Betrachtung $t(16) = 3.216$, $p = 0.006$, Abruf $t(16) = 2.442$, $p = 0.027$ (Abb. III-1.2.3.4.).

Weiterhin zeigen sich für den oberen linken Quadranten (Abb. III-1.2.3.1.) beim Vergleich der Stimuli Kuh und Kuge signifikant verschieden betrachtete Flächen in allen Sehbedingungen (Vorstellung $t(16) = 3.940$, $p = 0.001$, Betrachtung $t(16) = 2.339$, $p = 0.037$, Abruf $t(16) = 2.168$, $p = 0.047$). Dieser Befund findet sich nicht für die entsprechenden Vergleiche (Kopf – Rücken) für die übrigen Quadranten, was auf Besonderheiten des oberen linken Quadranten hindeuten kann.

Schließlich fällt beim Vergleich der Mittelwerte für den Quadranten mit dem Objekt Interesse auf, dass in beiden Vorstellungsbedingungen tendenziell mehr Fläche durchmustert wird, wenn es sich um einen Quadranten des unteren Halbfeldes handelt.

Prozentuale Aufenthaltsdauer: Die prozentuale Aufenthaltsdauer in einem Quadranten ändert sich in Abhängigkeit von der Experimentalgruppe / dem präsentierten Stimulus und der Sehbedingung ($F(18,36) = 2.455$, $p = 0.001$). Paarweise Vergleiche zwischen den Bildern zeigen in fast allen Fällen signifikant längere Verweildauern innerhalb eines Quadranten, wenn sich dort das Objekt von Interesse, der Kopf des Tieres, befindet. Dieser Befund findet sich für alle Sehbedingungen (Abb. III-1.2.3.5. – III-1.5.3.8.). Auch in der Vorstellung wird also dort, wo das Objekt von Interesse positioniert ist länger exploriert. Hierbei gibt es vier Ausnahmen. Diese treten interessanterweise immer nur dann auf, wenn sich im Quadranten des Vergleichsbildes das zweite Objekt von Interesse, der Euter, befindet (Abb. III-1.5.3.6. und Abb. III-1.5.3.7.). Die prozentuale Aufenthaltsdauer in diesem Quadranten liegt dabei für den Kuhkopf im Mittel jedoch stets über dem für den Euter.

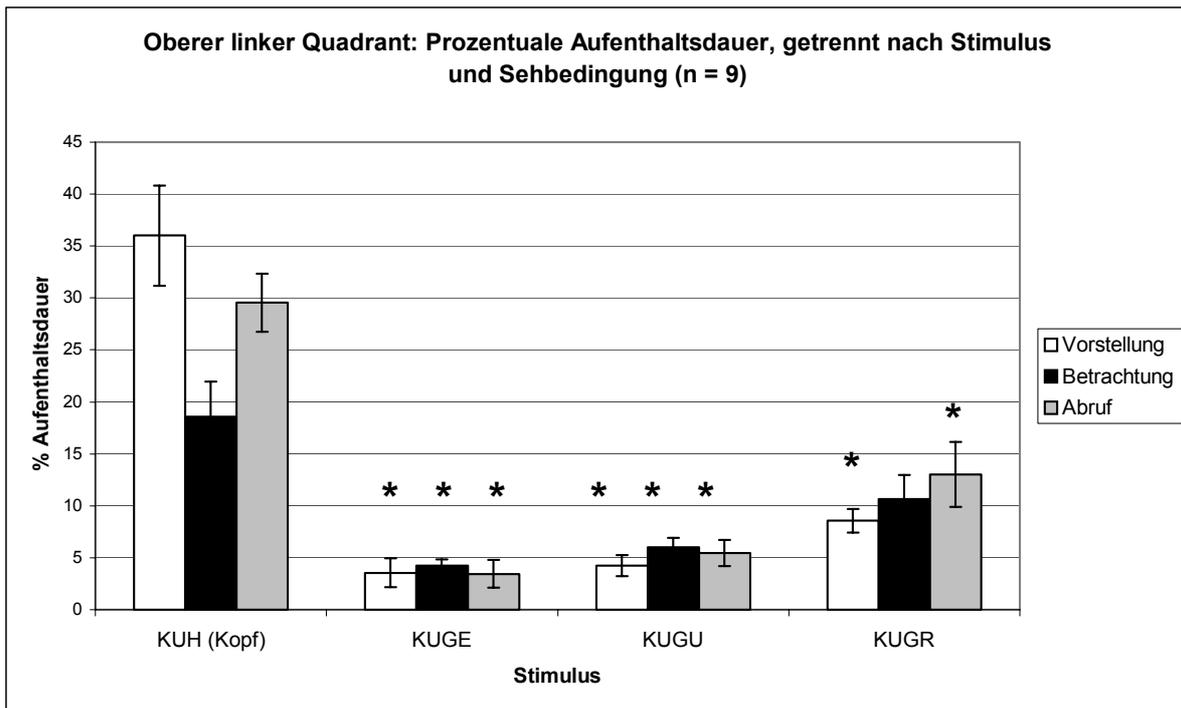


Abb. III-1.2.3.5.: Prozentuale Aufenthaltsdauer (Mittelwert \pm SEM) bei Betrachtung der einzelnen Stimuli unter den verschiedenen Sehbedingungen für den oberen linken Quadranten, in dem sich der Kopf des Tieres befindet. KUGE (= „Kuh gespiegelt vertikal“), KUGU (= „Kuh“ gespiegelt horizontal, KUGR (= „Kuh“ gespiegelt vertikal und horizontal); * $p \leq 0.05$ (t-Tests) für die post hoc Vergleiche des Stimulus KUH mit jeweils einem anderen Stimulus unter derselben Sehbedingung.

Oberer linker Quadrant: Mit einer Ausnahme gilt für alle Sehbedingungen, dass die Experimentalgruppe „Kuh“ signifikant häufiger in diesen Quadranten schaut als alle anderen Experimentalgruppen (Kuh vs. Kuge: Vorstellung $t(16) = 6.844$, $p < 0.001$, Betrachtung $t(16) = 4.389$, $p < 0.001$, Abruf $t(16) = 8.924$, $p < 0.001$; Kuh vs. Kugu: Vorstellung: $t(16) = 6.828$, $p < 0.001$, Betrachtung: $t(16) = 3.776$, $p = 0.002$, Abruf: $t(16) = 8.335$, $p < 0.001$; Kuh vs. Kugr: Vorstellung $t(16) = 5.866$, $p < 0.001$, Abruf $t(16) = 4.186$, $p = 0.001$, zweiseitig). Für den Vergleich von Kuh mit Kugr ergibt sich eine nur tendenziell erhöhte Aufenthaltsdauer (Betrachtung $t(16) = 2.037$, $p = 0.059$, zweiseitig, Abb. III-1.2.3.5.).

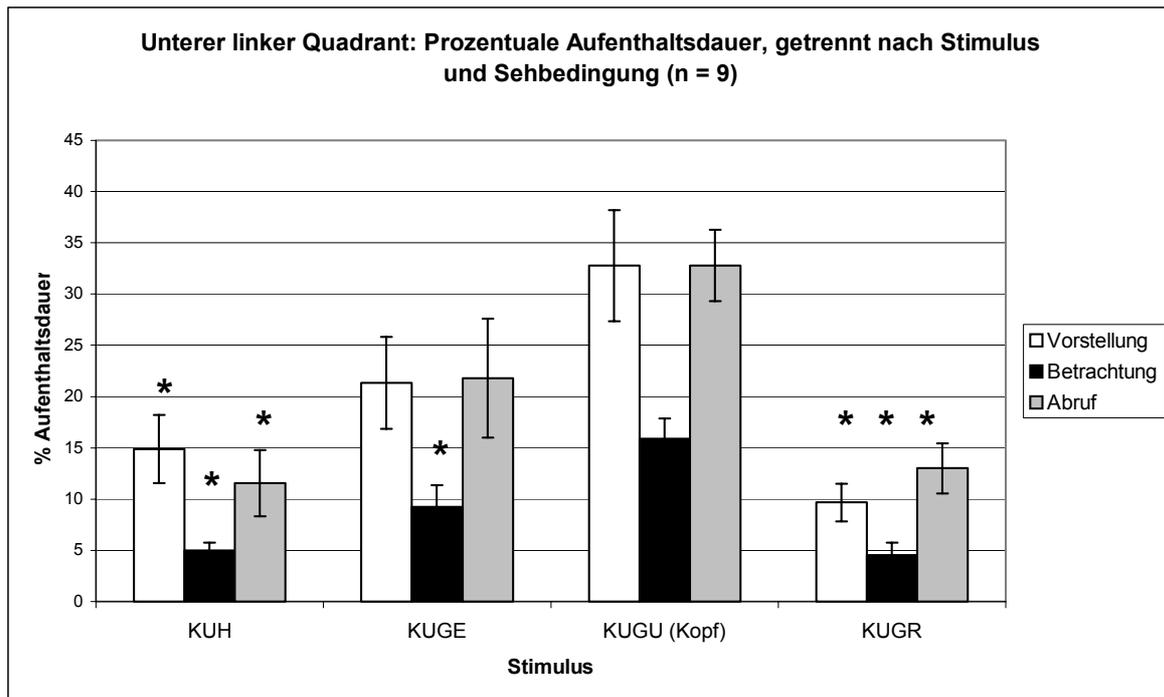


Abb. III-1.2.3.6.: Prozentuale Aufenthaltsdauer (Mittelwert \pm SEM) bei Betrachtung der einzelnen Stimuli unter den verschiedenen Sehbedingungen für den unteren linken Quadranten, in dem sich der Kopf des Tieres befindet. KUGE (= „Kuh gespiegelt vertikal“), KUGU (= „Kuh“ gespiegelt horizontal, KUGR (= „Kuh“ gespiegelt vertikal und horizontal);* $p \leq 0.05$ (t-Tests) für die post hoc Vergleiche des Stimulus KUGU mit jeweils einem anderen Stimulus unter derselben Sehbedingung.

Unterer linker Quadrant: Mit zwei Ausnahmen gilt für alle Sehbedingungen: Die Experimentalgruppe „Kugu“ schaut signifikant häufiger in diesen Quadranten als alle anderen Experimentalgruppen (Kugu vs. Kuh: Vorstellung $t(16) = 2.981$, $p = 0.010$, Betrachtung $t(16) = 5.474$, $p < 0.001$, Abruf $t(16) = 4.733$, $p < 0.001$; Kugu vs. Kuge: Betrachtung: $t(16) = 2.429$, $p = 0.027$; Kugu vs. Kugr: Vorstellung $t(16) = 4.278$, $p = 0.001$, Betrachtung $t(16) = 5.222$, $p < 0.001$, Abruf $t(16) = 4.937$, $p < 0.001$, zweiseitig). Für den Vergleich von Kugu mit Kuge ergeben sich zwei nicht signifikant erhöhte Aufenthaltsdauern: Vorstellung: $t(16) = 1.726$, $p = 0.104$, Abruf: $t(16) = 1.725$, $p = 0.104$, zweiseitig (Abb. III-1.2.3.6.).

Oberer rechter Quadrant: Mit einer Ausnahme gilt für alle Sehbedingungen: die Experimentalgruppe „Kuge“ schaut signifikant häufiger in diesen Quadranten als alle anderen Experimentalgruppen (Kuge vs. Kuh: Vorstellung $t(16) = 2.384$, $p = 0.032$, Betrachtung $t(16) = 5.481$, $p < 0.001$, Abruf $t(16) = 3.583$, $p = 0.003$; Kuge vs. Kugu: Betrachtung: $t(16) = 2.901$, $p = 0.013$, Abruf: $t(16) = 2.496$, $p = 0.023$; Kuge vs. Kugr: Vorstellung $t(16) = 3.599$, $p = 0.002$, Betrachtung $t(16) = 4.322$, $p = 0.001$, Abruf $t(16) = 4.598$, $p < 0.001$, zweiseitig). Für den Vergleich von Kuge mit Kugu ergibt sich eine

nicht signifikant erhöhte Aufenthaltsdauer: Vorstellung: $t(16) = 1.600$, $p = 0.129$, zweiseitig (Abb. III-1.2.3.7.).

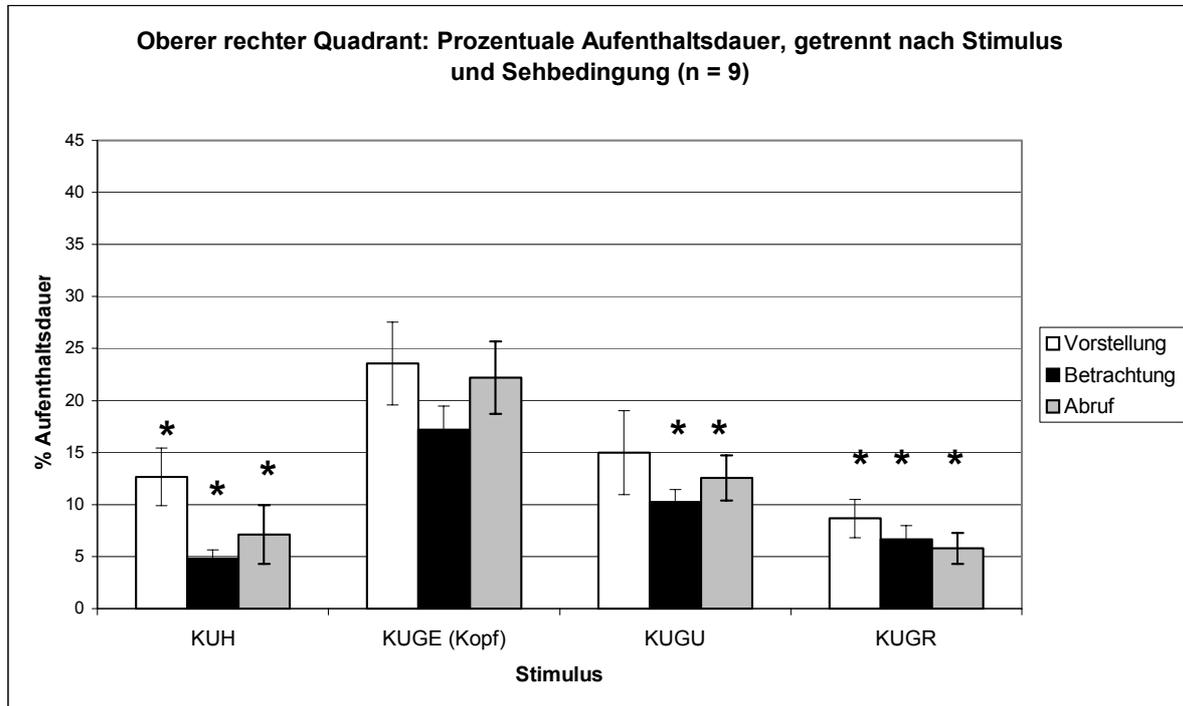


Abb. III-1.2.3.7.: Prozentuale Aufenthaltsdauer (Mittelwert \pm SEM) bei Betrachtung der einzelnen Stimuli unter den verschiedenen Sehbedingungen für den oberen rechten Quadranten, in dem sich der Kopf des Tieres befindet. KUGE (= „Kuh gespiegelt vertikal“), KUGU (= „Kuh“ gespiegelt horizontal, KUGR (= „Kuh“ gespiegelt vertikal und horizontal);* $p \leq 0.05$ (t-Tests) für die post hoc Vergleiche des Stimulus KUGE mit jeweils einem anderen Stimulus unter derselben Sehbedingung.

Unterer rechter Quadrant: Für alle Sehbedingungen gilt: Die Experimentalgruppe „Kugr“ schaut signifikant häufiger in diesen Quadranten als alle anderen Experimentalgruppen (Kugr vs. Kuh: Vorstellung $t(16) = 6.963$, $p < 0.001$, Betrachtung $t(16) = 3.900$, $p = 0.001$, Abruf $t(16) = 2.945$, $p = 0.013$; Kugr vs. Kuge: Vorstellung: $t(16) = 3.164$, $p = 0.007$, Betrachtung: $t(16) = 3.069$, $p = 0.007$, Abruf: $t(16) = 3.651$, $p = 0.002$; Kugr vs. Kugu: Vorstellung $t(16) = 7.189$, $p < 0.001$, Betrachtung: $t(16) = 5.947$, $p < 0.001$, Abruf $t(16) = 6.941$, $p < 0.001$, zweiseitig, Abb. III-1.2.3.8.).

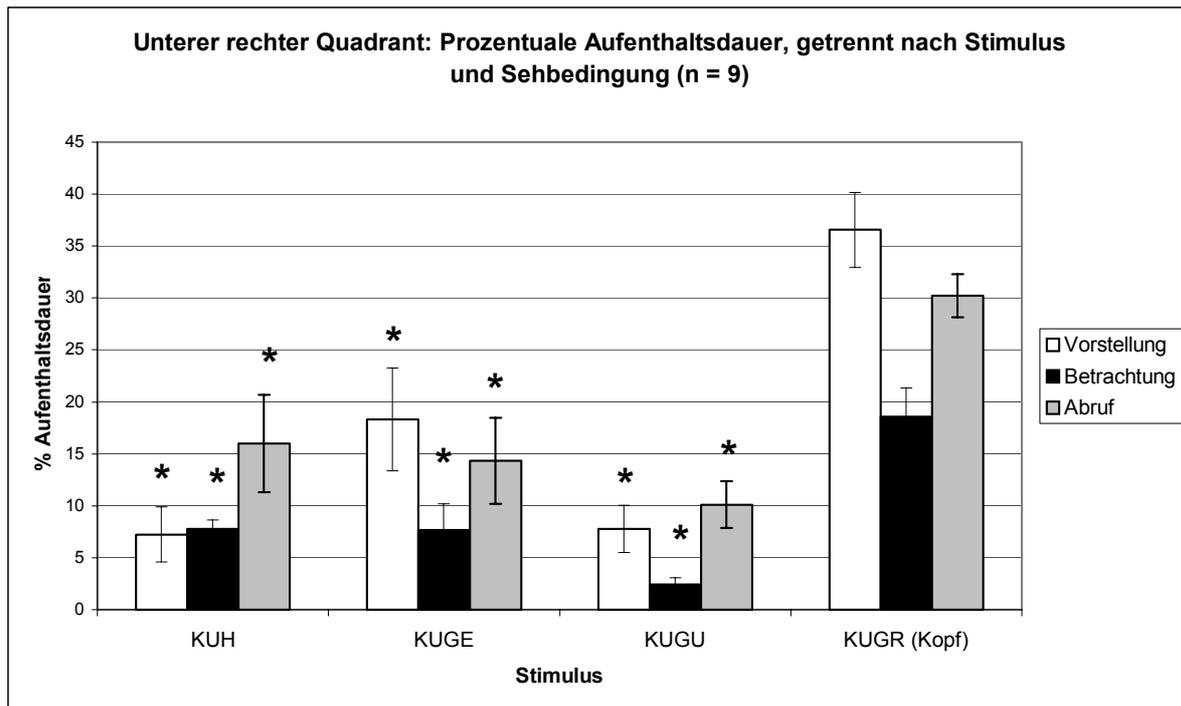


Abb. III-1.2.3.8.: Prozentuale Aufenthaltssdauer (Mittelwert \pm SEM) bei Betrachtung der einzelnen Stimuli unter den verschiedenen Sehbedingungen für den unteren rechten Quadranten, in dem sich der Kopf des Tieres befindet. KUGE (= „Kuh gespiegelt vertikal“), KUGU (= „Kuh“ gespiegelt horizontal, KUGR (= „Kuh“ gespiegelt vertikal und horizontal); * $p \leq 0.05$ (t-Tests) für die post hoc Vergleiche des Stimulus KUGR mit jeweils einem anderen Stimulus unter derselben Sehbedingung.

Richtung der ersten Sakkade: Unabhängig von der Sehbedingung wird die erste Sakkade abhängig vom Stimulusbild signifikant häufiger in einen spezifischen Quadranten gerichtet ($F(9,36) = 23.443$, $p < 0.001$). Paarweise Vergleiche zeigen wie bei der prozentualen Aufenthaltssdauer jeweils signifikante Unterschiede für den Quadranten, in dem sich das Objekt von Interesse, der Kopf befindet (Tab. III-1.2.3.1.).

Für die einzelnen Quadranten zeigen sich folgende Ergebnisse (alle paarweise Vergleiche zweiseitig):

Die Experimentalgruppe „Kuh“ richtet die erste Sakkade signifikant häufiger in den oberen linken Quadranten als alle anderen Experimentalgruppen (Kuh vs. Kuge: $t(16) = 8.758$, $p < 0.001$, Kuh vs. Kugu: $t(16) = 6.247$, $p < 0.001$, Kuh vs. Kugr: $t(16) = 4.523$, $p < 0.001$). Demgegenüber richtet die Experimentalgruppe „Kugu“ die erste Sakkade signifikant häufiger in unteren linken Quadranten als alle anderen Experimentalgruppen (Kugu vs. Kuh: $t(16) = 7.600$, $p < 0.001$, Kugu vs. Kuge: $t(16) = 5.590$, $p < 0.001$, Kugu vs. Kugr: $t(16) = 9.899$, $p < 0.001$). Die Experimentalgruppe „Kuge“ richtet die erste Sakkade signifikant häufiger in den oberen rechten Quadranten als alle anderen Experimentalgruppen (Kuge vs. Kuh: $t(16) = 6.100$, $p <$

0.001, Kuge vs. Kugu: $t(16) = 4.715$, $p < 0.001$, Kuge vs. Kugr: $t(16) = 5.091$, $p < 0.001$). Die Experimentalgruppe „Kugr“ schließlich richtet die erste Sakkade signifikant häufiger in den unteren rechten Quadranten als alle anderen Experimentalgruppen: Kugr vs. Kuh: $t(16) = 4.472$, $p < 0.001$, Kugr vs. Kuge: $t(16) = 4.880$, $p < 0.001$, Kugr vs. Kugu: $t(16) = 6.928$, $p < 0.001$.

Tab. III-1.2.3.1.: Summenwerte für die Richtung der ersten Sakkade, getrennt nach Stimuli und Quadrant: „oben links (OL), „unten links“ (UL), „oben rechts“ (OR) und „unten rechts“ (UR); * $p \leq 0.05$.

	Vorstellung				Betrachtung				Abruf				Summe			
	OL	UL	OR	UR	OL	UL	OR	UR	OL	UL	OR	UR	OL	UL	OR	UR
Kuh (n = 9)	8	1	0	0	7	1	0	1	7	0	0	2	* 22	2	0	3
Kuh gespiegelt vertikal (n = 9)	0	1	7	1	0	2	7	0	1	1	6	1	1	4	* 20	2
Kuh gespiegelt horizontal (n = 9)	1	7	1	0	1	6	2	0	1	8	0	0	3	* 21	3	0
Kuh gespiegelt und horizontal (n = 9)	1	0	0	8	3	0	2	4	3	0	0	6	7	0	2	* 18

Neben den über die Sehbedingungen aufsummierten Werten zeigt Tabelle III-1.2.3.1. die Anzahl der ersten Sakkaden getrennt für Experimentalgruppe, Sehbedingung und Quadrant. Diese Häufigkeitswerte zeigen zusätzlich, dass in jeder der drei Sehbedingungen überwiegend dann ein Quadrant als erstes aufgesucht wird, wenn dieser das Objekt von Interesse beinhaltet.

III.1.2.4. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse für Experiment A2

Die vorliegenden Befunde sprechen insgesamt für primär inhaltsgeleitetes und aufmerksamkeitsgesteuertes Betrachten und Vorstellen der ausgewählten komplexen visuellen Szenen. Diese Überlegung basiert darauf, dass sich bei Rotation des Stimulus auch die Blickbewegungen entsprechend verhalten. Die Bilddurchmusterung folgt nicht nur während der Betrachtung, sondern auch während

der Vorstellung und dem freien Abruf der Rotation des Stimulus. Dabei bekommt das inhaltlich saliente Objekt von Interesse eine besondere Bedeutung: Ist innerhalb eines Quadranten das Objekt von Interesse positioniert, dann wird dorthin während Betrachtung und Vorstellungsbedingungen die erste Sakkade gerichtet, dort wird eine größere Fläche durchmustert und es wird länger verweilt als wenn sich das saliente Objekt nicht in diesem Quadranten befindet. Abbildung III-1.2.4. zeigt die Durchmusterungen der Probanden VP 6 und VP 45. Neben den weniger ausgedehnt durchmusterten Arealen in beiden Vorstellungsbedingungen gegenüber den Betrachtungsbedingungen lassen sich deutlich die Durchmusterungsschwerpunkte im Bereich des Tierkopfes erkennen, unabhängig davon, ob dieser im oberen linken oder im unteren rechten Bildquadranten positioniert ist.

Eine höhere prozentuale Aufenthaltsdauer spricht für erhöhte Fixationszeiten in diesem Bildbereich und diese wiederum lassen einen Aufmerksamkeitsfokus über die Zeit vermuten. Ein weiterer Rotationseffekt deutet sich in zweiter Instanz auch für den Euter des Tieres an. Die Aufenthaltsdauern sind in diesem Quadranten nahezu regelmäßig gegenüber denjenigen Bedingungen, in denen er kein Objekt von Interesse beinhaltet, erhöht. Dabei führt eine ungewohnte Perspektive (KUGU, KUGR) gegenüber einer natürlichen Perspektive (KUH, KUGE) für die Aufenthaltsdauer zu weniger eindeutigen Ergebnissen. Für die betrachtete Fläche verhält sich dies tendenziell umgekehrt. Dies könnte auf eine primär, jedoch nicht ausschließliche aufmerksamkeitsgeleitete Durchmusterung hindeuten. Das Blickverhalten könnte sich demnach nach folgendem hierarchischen Muster gestalten: erst Inhalt und inhaltliche Bedeutung, dann Bildstruktur /-aufbau.

Die Befunde für die Richtung der ersten Sakkade stützen diese Ergebnisse: Sie folgt initial nicht nur bei der Betrachtung, sondern auch bei Vorstellung und freiem Abruf dem primären inhaltlichen Objekt von Interesse und damit der (imaginären) Rotation der primär salienten Inhalte des Bildes. Informationsrelevante Bildbereiche werden also sowohl bei der Betrachtung, als auch während visueller Vorstellung stets zuerst aufgesucht.

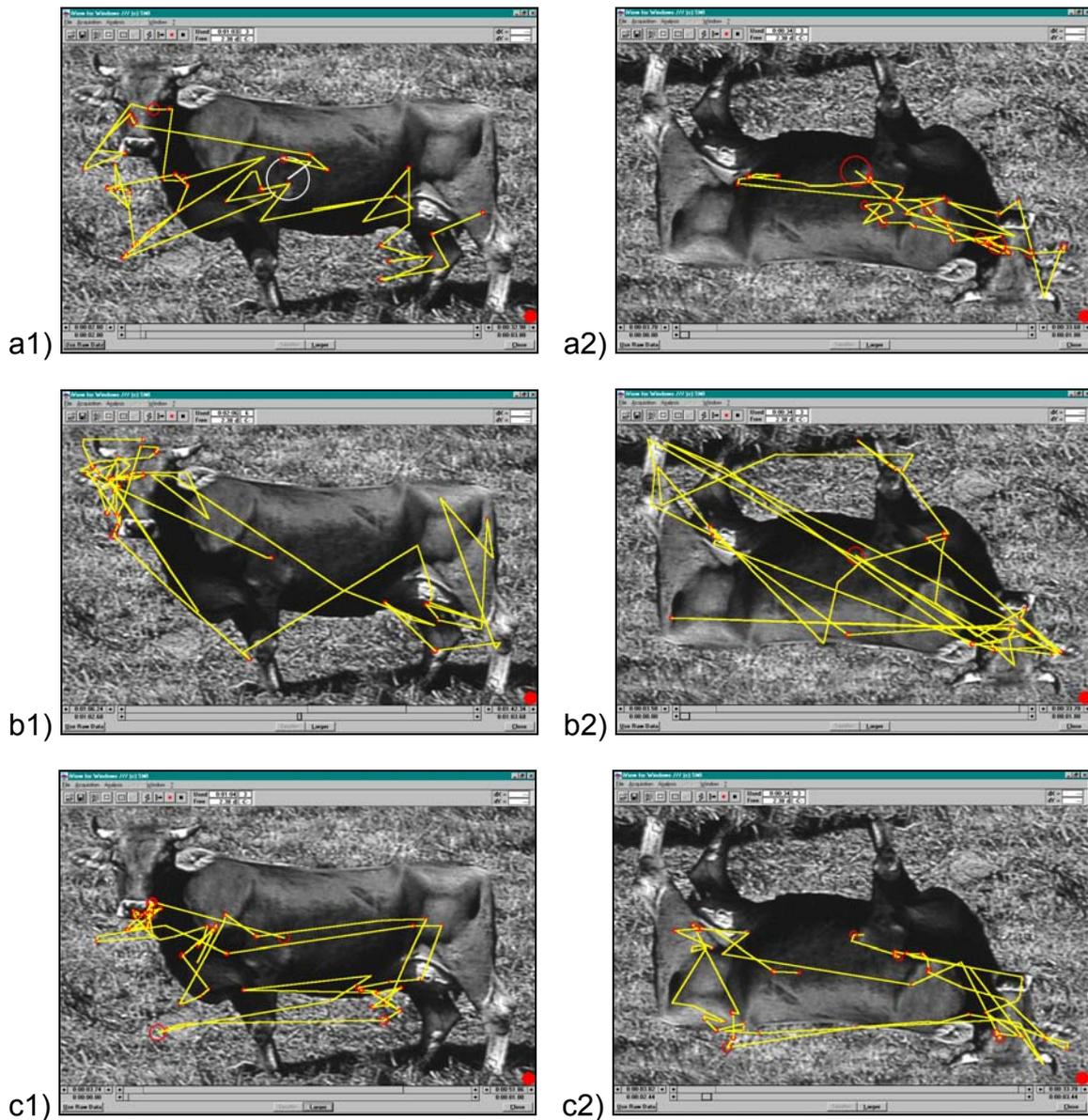


Abb. III-1.2.4.: Durchmusterungen der Probanden VP 6 (Kuh) und VP 45 (Kuh gespiegelt vertikal und horizontal) unter den Sehbedingungen Vorstellung (a1, a2), Betrachtung (b1, b2) und freier Abruf (c1, c2). Zur besseren Anschauung wurden für alle Sehbedingungen die Reizbilder unterlegt und die Durchmusterungen wurden unter Zuhilfenahme des Selektionskriteriums Fixationsdauer (>120 ms) und Fixationsstabilität (1° Sehwinkel) dargestellt. Erläuterungen siehe Text.

Für den Betrachter scheinen somit inhaltlich saliente Bildbereiche in der Vorstellung und beim Betrachten Priorität zu besitzen. Erst in zweiter Instanz hat dann der Bildaufbau der komplexen visuellen Szene Bedeutung. Möglicherweise liegt hier eine Hierarchie der Bildbetrachtung zugrunde, vom Inhalt hin zur formalen Gestaltung, die dann sowohl für die Betrachtung, als auch für visuelle Vorstellung gilt.

Die in der Vorstellung und beim freien Abruf durchmustertere Fläche ist für komplexe visuelle Szenen kleiner als bei der Betrachtung derselben Szenen. Vorstellung und

Abruf unterscheiden sich dabei nicht (Experiment A1). Bei der Quadrantenanalyse der prozentual betrachteten Fläche im vorliegenden Rotationsexperiment fällt zusätzlich auf, dass im Bereich des Objekts von Interesse, dem Kuhkopf, bei drei der vier Stimuli in der Vorstellungsbedingung im Mittel eine größere Fläche durchmustert wird als in der Betrachtungsbedingung (Kuh, Kugu, Kugr), für den Abruf gilt dies in zwei Fällen (Kugu, Kugr). Nimmt man diese Flächenbefunde mit denen aus Experiment A1 zusammen, lässt sich vermuten, dass in der Vorstellung der betrachtete Gesichtsfeldbereich nicht allein kleiner ist, sondern zusätzlich eine weitere Dimension bekommt: In der Vorstellung verkleinert sich der betrachtete Gesichtsfeldbereich in Richtung Objekt von Interesse.

Das bedeutet, im Vergleich von Vorstellung und Betrachtung spielen formale (Ausdehnung) und inhaltliche (Richtung) Aspekte eine Rolle. Möglicherweise sieht man in der Vorstellung nicht allein ein insgesamt „kleineres“ Bild, sondern auch aufmerksamkeitsabhängig ein vom Original „verschieden“ dimensioniertes Bild.

III.1.3. Experiment A3: Alterseffekte

Die vorausgegangene Untersuchung zeigt, dass über bei der Bildbetrachtung und bei der Vorstellung die durchmusterten Areale räumlich und zeitlich dem Bildinhalt folgen. Die bisher untersuchte Altersgruppe war weitestgehend homogen. Jüngste Studien finden jedoch Unterschiede zwischen verschiedenen Altersgruppen bei visuell-räumlichen Fähigkeiten (Chen et al. 2002, auch: Grady et al. 1994, Hainline 1988). Das folgende Experiment sollte die Frage klären, ob die in Experiment A2 verwendete Parametrisierung der Augenbewegungsmaße auch bei einer älteren Probandengruppe vergleichbare Ergebnisse liefern kann. Zum anderen sollten dann erste Hinweise darauf gefunden werden, ob mit den vorliegenden Methoden überhaupt unabhängig vom Alter auch Patienten gemessen werden können.

III.1.3.1. Spezifische Fragestellung und Hypothesen

In Anlehnung an die in der Literatur beschriebenen Alterseffekte bei visuell-räumlichen Fähigkeiten (vgl. I.2.2.1.) soll Experiment A3 überprüfen, ob die im vorangegangenen Experiment A2 aufgedeckten Beziehungen zwischen

Blickbewegungsparametern, Durchmusterungsstrategien und Sehbedingungen auch für ältere Probanden gelten. Sollten sich bedeutsame Unterschiede zur Gruppe junger Probanden ergeben, müsste der Faktor Alter dann auch in Bezug auf Patientenstudien besonders berücksichtigt werden. Zur Klärung der Alterseffekte stellte sich damit folgende Frage:

Lassen sich die Rotationseffekte auch für eine ältere Probandengruppe (>50 Jahre) zeigen?

Falls es für einen spezifischen salienten Bereich innerhalb eines komplexen visuellen Stimulus eine Interaktion zwischen den Sehbedingungen Vorstellung, Betrachtung und freier Abruf gibt, wenn man dasselbe Bild in vier verschiedenen Varianten (Rotationseffekte) betrachtet, so sollten sich in jeder Sehbedingung die Blickbewegungsparameter eines Bildquadranten von den übrigen Bildquadranten unterscheiden, wenn dieser ein inhaltlich salientes Objekt von Interesse beinhaltet.

III.1.3.2. Methoden und Statistische Auswertung

Die in den vorausgegangenen Experimenten erhobenen Befunde sollten im vorliegenden Experiment auch für eine Gruppe älterer Probanden (n = 9) überprüft werden. Das Alter der VP betrug durchschnittlich 62.56 Jahre. Das experimentelle Vorgehen glich dem Vorgehen bei Experiment A2, wobei im vorliegenden Experiment alle Probanden jeweils jeden Stimulus betrachtet haben. Als Versuchsdesign wurde daher ein 3x4x4 Plan mit abhängigen Gruppen (n = 9) und Messwiederholungsfaktor zugrunde gelegt. Der genaue Versuchsablauf wurde bereits bei den allgemeinen Methoden (II.4.2.1.2.2. Experimenteller Ablauf) beschrieben.

Die ausgewerteten Variablen setzten sich wie folgt zusammen:

Unabhängige Variablen: UV1: Rotation (KUH, KUGR, KUGE, KUGU)

UV1.1: Kuh

UV1.2: Kuh gespiegelt vertikal

UV1.3: Kuh gespiegelt horizontal

UV1.4: Kuh gespiegelt vertikal und horizontal

UV2: Sehbedingung (Vorstellung vs. Betrachtung vs. Abruf)

UV3: Quadranten (OL, OR, UL, UR)

Abhängige Variablen: AV1: Richtung der ersten Sakkade
AV2: prozentuale Aufenthaltsdauer
AV3: betrachtete Fläche

Die inferenzstatistische Auswertung der Daten erfolgte mittels Multivariater Varianzanalyse.

III.1.3.3. Ergebnisse

Prozentuale Aufenthaltsdauer: Vergleicht man die prozentual verbrachte Zeit innerhalb eines Quadranten zwischen den vier Stimuli, fällt auf, dass die höchste mittlere Aufenthaltsdauer in einem Quadranten jeweils dann auftritt, wenn in diesem Quadranten das Objekt von Interesse, der Kopf des Tieres, positioniert ist. Dies trifft für alle drei Sehbedingungen zu, also sowohl bei der Betrachtung der komplexen visuellen Szene, als auch bei deren Vorstellung. Diese prozentuale zeitliche Präferenz entspricht den Befunden bei den jüngeren Probanden aus Experiment A2.

Unter den Sehbedingungen unterscheiden sich beide Vorstellungsbedingungen von der Betrachtung ($F(2,36) = 7.463$, $p = 0.006$, ohne Abb.). Darüber hinaus unterscheidet sich die prozentuale Aufenthaltsdauer in demjenigen Quadranten, in dem sich jeweils der Kopf des Tieres befindet, mit einer einzigen Ausnahme (KUGU: UL vs. OR) von den jeweils anderen Quadranten des präsentierten Stimulus ($F(9,36) = 14.477$, $p < 0.001$, Abb. III-1.3.3.1.).

Im Einzelnen ergeben sich die folgenden Signifikanzen (alle paarweise Vergleiche zweiseitig): Beim Stimulus Kuh unterscheidet sich die prozentuale Aufenthaltsdauer im oberen linken Quadranten von der in allen anderen Quadranten: OL vs. UL $t(8) = 2.455$, $p = 0,040$; OL vs. OR $t(8) = 2.333$, $p = 0.048$; OL vs. UR $t(8) = 4.601$, $p = 0.002$. Die Aufenthaltsdauer ist hierbei in allen Fällen im oberen linken Quadranten erhöht.

Beim Stimulus Kuh gespiegelt vertikal unterscheidet sich die prozentuale Aufenthaltsdauer im oberen rechten Quadranten von der Aufenthaltsdauer in allen anderen Quadranten: OR vs. OL $t(8) = 6.618$, $p < 0.001$; OR vs. UL $t(8) = 4.518$, $p = 0.002$; OR vs. UR $t(8) = 4.633$, $p = 0.002$. Die Aufenthaltsdauer ist hierbei in allen Fällen im oberen rechten Quadranten erhöht.

Beim Stimulus Kuh gespiegelt horizontal unterscheidet sich die Aufenthaltsdauer im unteren linken Quadranten von derjenigen im oberen linken und unteren rechten Quadranten (UL vs. OL $t(8) = 4.915$, $p = 0.001$; UL vs. OR $t(8) = 2.126$, $p = 0.066$; UL vs. UR $t(8) = 4.579$, $p = 0.002$). Der Vergleich des unteren linken mit dem oberen rechten Quadranten wird nicht signifikant. Der Vergleich beider Mittelwerte zeigt in jedoch zumindest eine Tendenz, in erstgenanntem Quadranten mehr Zeit zu verbringen als im letztgenannten (Aufenthaltsdauer UL 22 % vs. OR 13 %).

Beim Stimulus Kuh gespiegelt vertikal und horizontal finden sich wiederum erhöhte Aufenthaltszeiten für den unteren rechten Quadranten im Vergleich zu allen anderen Quadranten (UR vs. OL $t(8) = 3.988$, $p = 0.004$; UR vs. UL $t(8) = 2.510$, $p = 0.036$; UR vs. OR $t(8) = 4.541$, $p = 0.002$).

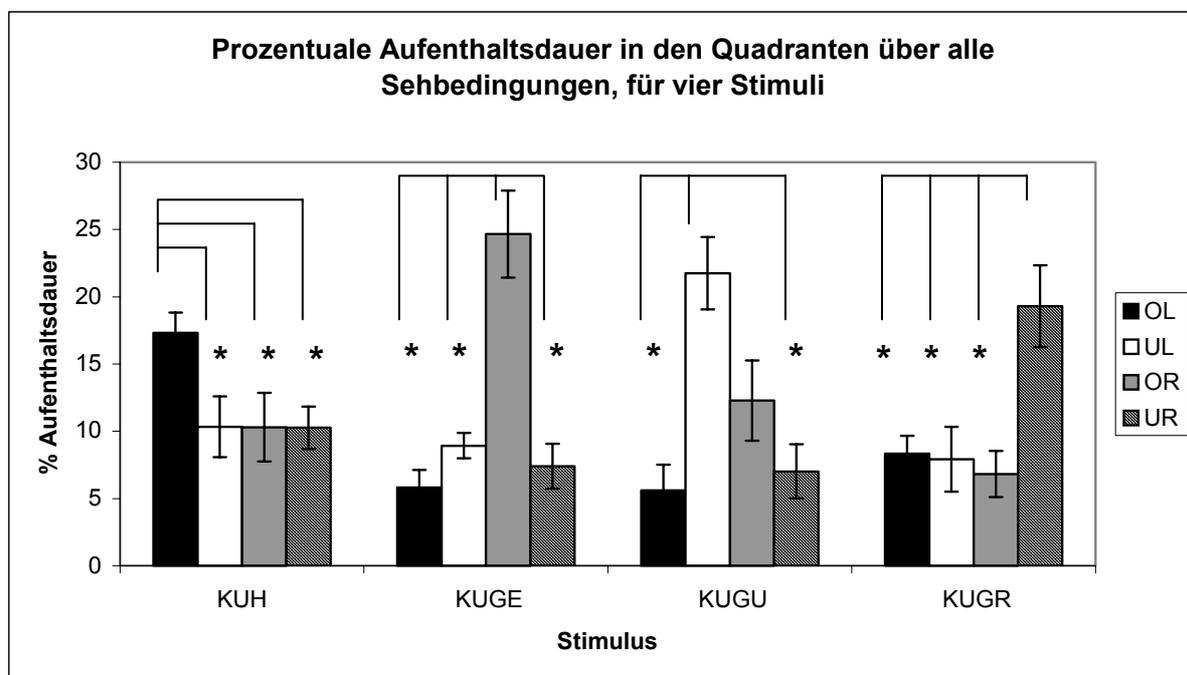


Abb. III-1.3.3.1.: Prozentuale Aufenthaltsdauer (Mittelwert \pm SEM) in den vier Quadranten „oben links (OL), „unten links“ (UL), „oben rechts“ (OR) und „unten rechts“ (UR) bei Betrachtung der einzelnen Stimuli über alle Sehbedingungen. KUGE (= „Kuh gespiegelt vertikal“), KUGU (= „Kuh“ gespiegelt horizontal, KUGR (= „Kuh gespiegelt vertikal und horizontal“); * $p \leq 0.05$ (t-Tests) post hoc Vergleiche für die Quadranten, jeweils für einen Stimulus.

Die Tabelle III-1.3.3.1.A zeigt die Mittelwerte und Standardfehler für die prozentuale Aufenthaltsdauer in den Quadranten, getrennt nach Stimulus und Sehbedingung. In fast allen Fällen wird vergleichbar den Befunden aus Experiment A2 unter jeder Sehbedingung mehr Zeit im jeweiligen Quadranten mit dem Objekt von Interesse verbracht, d.h. die zeitliche Verteilung bei der Durchmusterung folgt bei Rotation dem inhaltlich salienten Bereich. Die einzelnen Werte für die Quadranten liegen dabei

aber näher beieinander als bei den jungen Probanden, was auf erhöhtes Fixationsverhalten schließen lässt.

Richtung der ersten Sakkade: Auch für die Richtung der ersten Sakkade in einen Quadranten findet sich über alle Sehbedingung eine signifikante Interaktion zwischen Bild und Quadrant ($F(9,36) = 31.976, p < 0.001$). Derjenige Quadrant, in dem sich der Kopf des Tieres befindet, unterscheidet sich innerhalb eines Stimulus jeweils von den anderen Quadranten (alle paarweise Vergleiche zweiseitig, siehe auch Tab. III-1.3.3.1.B). Er wird von den Probanden bevorzugt als erstes aufgesucht. Dies gilt für den Stimulus Kuh (OL vs. UL $t(8) = 16.000, p < 0.001$; OL vs. OR $t(8) = 8.315, p < 0.001$; OL vs. UR $t(8) = 10.553, p < 0.001$), für den Stimulus Kuh gespiegelt (OR vs. OL $t(8) = 5.376, p = 0.001$; OR vs. UL $t(8) = 3.825, p = 0.005$; OR vs. UR $t(8) = 5.488, p = 0.001$), für den Stimulus Kuh gespiegelt horizontal (UL vs. OL $t(8) = 10.094, p < 0.001$; UL vs. OR $t(8) = 4.899, p = 0.001$; UL vs. UR $t(8) = 7.000, p < 0.001$) und ebenfalls für den Stimulus Kuh gespiegelt horizontal und vertikal (UR vs. OL $t(8) = 6.107, p < 0.001$; UR vs. UL $t(8) = 4.464, p = 0.002$; UR vs. OR $t(8) = 3.780, p = 0.005$).

Tabelle III-1.3.3.1.B zeigt darüber hinaus die Summenwerte für die Richtung der ersten Sakkade in einen Quadranten, getrennt nach Stimulus und Sehbedingung. Vergleicht man die Summenwerte für einen Quadranten zwischen den vier Stimuli, so ist dieser bei der Betrachtung, bei der Vorstellung und beim freien Abruf dann am höchsten, wenn in diesem Quadranten das Objekt von Interesse präsentiert wird. Dieser Befund deckt sich zum einen mit den Befunden zur prozentualen Aufenthaltsdauer für die älteren Probanden und zum anderen mit den Befunden für die jüngeren Probanden.

Betrachtete Fläche: Vergleicht man die Gruppenmittelwerte für jeden einzelnen Quadranten miteinander (Abb.III-1.3.3.1. – Abb.III.1.3.3.4.), zeigt sich für beide Vorstellungsbedingungen, dass in allen Fällen eine ausgedehntere Fläche durchmustert wird, wenn im jeweiligen Quadranten das primäre Objekt von Interesse –der Kopf des Tieres- liegt. Dieser Befund ist vergleichbar den Ergebnissen für die jüngeren Probanden aus Experiment A2. Für die Betrachtungsbedingung gilt diese Regelmäßigkeit nicht. Hier wird in jedem Quadranten immer dann am meisten Fläche durchmustert, wenn darin der Euter positioniert ist.

Tab. III-1.3.3.1.: Prozentuale Aufenthaltsdauer (A) und Richtung der ersten Sakkade (Anzahl, B) für vier Stimuli, getrennt nach Sehbedingung und Quadranten (n = 9). Unterstrichene Zahlen sind die Werte für denjenigen Quadranten, in dem sich der Kuhkopf befindet. * $p \leq 0.05$

A		Vorstellung				Betrachtung				Abruf			
Stimulus		OL	UL	OR	UR	OL	UL	OR	UR	OL	UL	OR	UR
Kuh	Mittelw.	<u>14</u>	15	13	12	<u>15</u>	5	5	10	<u>22</u>	11	12	9
	SEM	4,12	5,54	5,62	3,20	1,26	0,77	1,26	1,70	4,55	3,14	4,35	3,07
Kuge	Mittelw.	9	9	<u>28</u>	8	2	10	<u>25</u>	6	6	8	<u>21</u>	8
	SEM	3,03	2,55	3,81	2,44	0,70	1,81	3,18	2,16	2,20	3,17	6,11	2,36
Kugu	Mittelw.	5	<u>22</u>	12	9	7	<u>14</u>	13	3	4	<u>30</u>	13	9
	SEM	1,78	3,04	3,24	3,20	1,88	2,15	1,20	0,58	3,18	8,77	5,82	4,69
Kugr	Mittelw.	7	10	9	<u>21</u>	11	2	6	<u>14</u>	7	12	5	<u>23</u>
	SEM	2,31	3,12	4,37	4,34	1,48	0,55	1,58	2,80	1,85	6,11	1,91	4,82

B		Vorstellung				Betrachtung				Abruf				Summe			
Stimulus		OL	UL	OR	UR	OL	UL	OR	UR	OL	UL	OR	UR	OL	UL	OR	UR
Kuh		<u>7</u>	0	1	1	<u>9</u>	0	0	0	<u>8</u>	0	1	0	*	0	2	1
														<u>24</u>			
Kuge		1	1	<u>7</u>	0	0	1	<u>7</u>	1	1	1	<u>5</u>	2	2	3	*	3
																	<u>19</u>
Kugu		0	<u>9</u>	0	0	0	<u>5</u>	4	0	0	<u>7</u>	0	1	0	*	4	1
																	<u>21</u>
Kugr		1	1	1	<u>6</u>	1	0	1	<u>7</u>	0	1	2	<u>6</u>	2	2	4	*
																	<u>19</u>

Über alle Sehbedingungen und alle Stimuli finden sich Unterschiede für die prozentual betrachtete Fläche in den Quadranten ($F(3,36) = 6.406$, $p = 0.002$). Dabei zeigen sich in Abhängigkeit von Sehbedingung und Stimulus ($F(18,36) = 2.449$, $p = 0.002$, Abb. III-1.3.3.2. – III-1.3.3.5.) drei signifikante Ergebnisse für denjenigen Quadranten, in dem sich das Objekt von Interesse befindet. Im Einzelnen:

Bei der Vorstellung wird im unteren linken Quadranten signifikant mehr Fläche betrachtet als bei der Betrachtung, wenn der Stimulus „Kuh gespiegelt horizontal“ präsentiert wurde ($t(8) = 2.434$, $p = 0.041$). Ebenso wird hier unter der Abrufbedingung mehr Fläche betrachtet als bei der Betrachtung ($t(8) = 2.479$, $p = 0.038$, Abb. III-1.3.3.3.). Im oberen rechten Quadranten wird bei Präsentation des Stimulus Kuh gespiegelt vertikal unter der Vorstellungsbedingung signifikant mehr Fläche betrachtet als bei der Bedingung Abruf ($t(8) = 2.580$, $p = 0.033$, Abb. III-1.3.3.4.). Für den oberen linken Quadranten und den unteren rechten Quadranten bleibt der prozentuale Anteil der betrachteten Fläche unter allen Sehbedingungen und bei allen Stimuli vergleichbar (Abb. III-1.3.3.2. und III-1.3.3.4.).

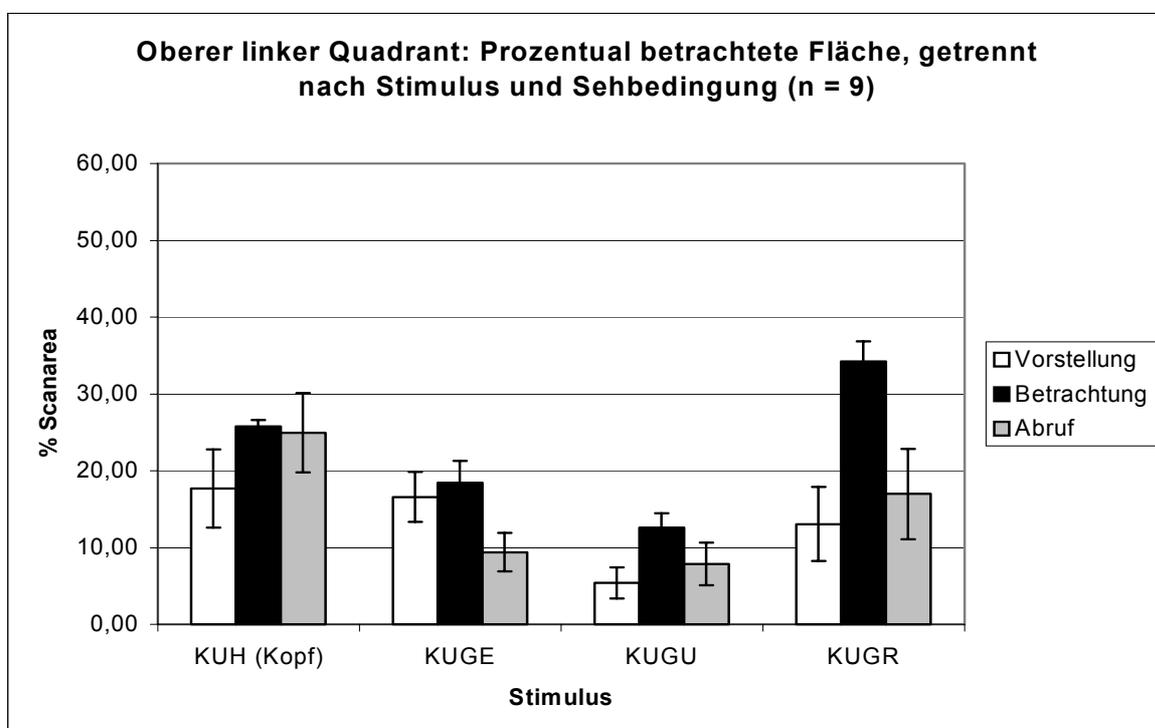


Abb. III-1.3.3.2.: Prozentual betrachtete Fläche (Mittelwert \pm SEM) im oberen linken Quadranten bei Betrachtung der einzelnen Stimuli, getrennt für die Sehbedingungen. KUGE (= „Kuh gespiegelt vertikal“), KUGU (= „Kuh“ gespiegelt horizontal), KUGR (= „Kuh“ gespiegelt vertikal und horizontal).

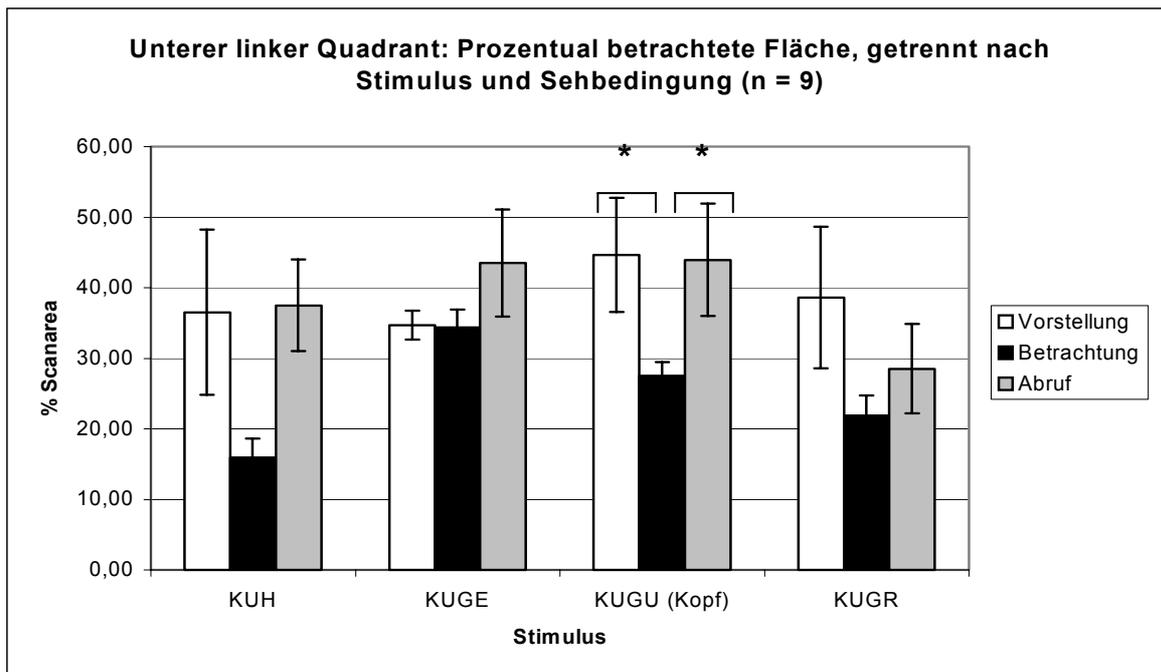


Abb. III-1.3.3.3.: Prozentual betrachtete Fläche (Mittelwert \pm SEM) im unteren linken Quadranten bei Betrachtung der einzelnen Stimuli für alle Sehbedingungen. KUGE (= „Kuh gespiegelt vertikal“), KUGU (= „Kuh“ gespiegelt horizontal), KUGR (= „Kuh“ gespiegelt vertikal und horizontal); * $p \leq 0.05$ (t-Tests) post hoc Vergleiche für die Betrachtungsbedingung mit Vorstellung bzw. Abruf.

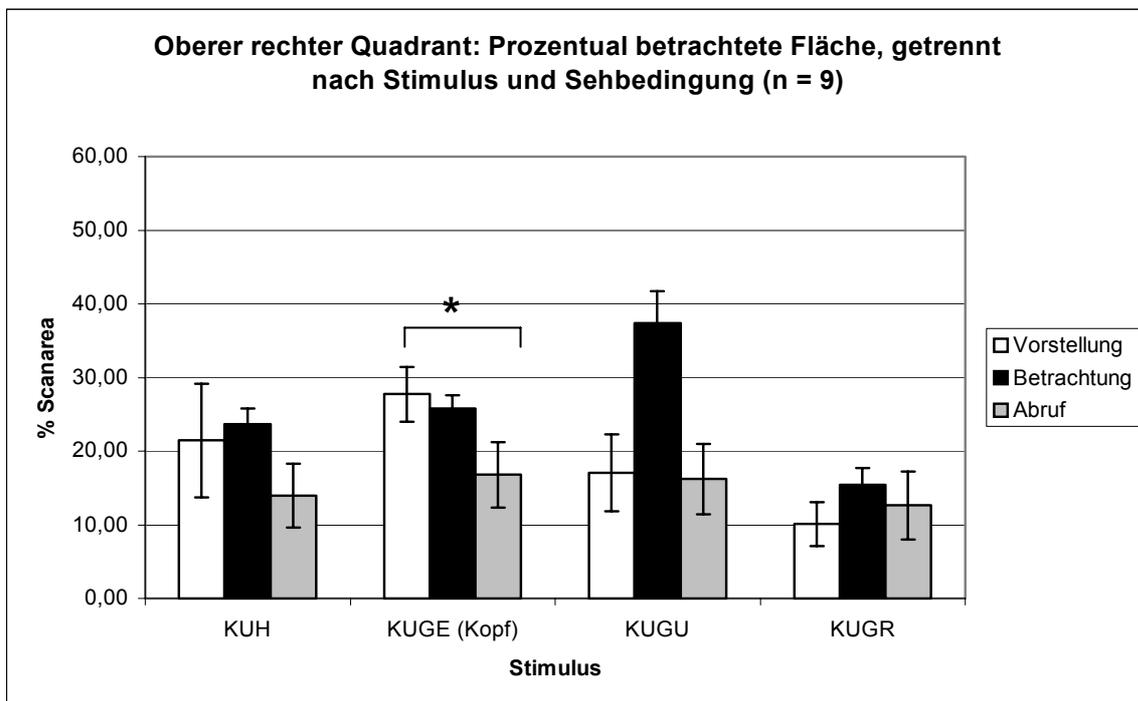


Abb. III-1.3.3.4.: Prozentual betrachtete Fläche (Mittelwert \pm SEM) im oberen rechten Quadranten bei Betrachtung der einzelnen Stimuli über alle Sehbedingungen. KUGE (= „Kuh gespiegelt vertikal“), KUGU (= „Kuh“ gespiegelt horizontal), KUGR (= „Kuh“ gespiegelt vertikal und horizontal); * $p \leq 0.05$ (t-Test) post hoc Vergleich für Vorstellung und Abruf.

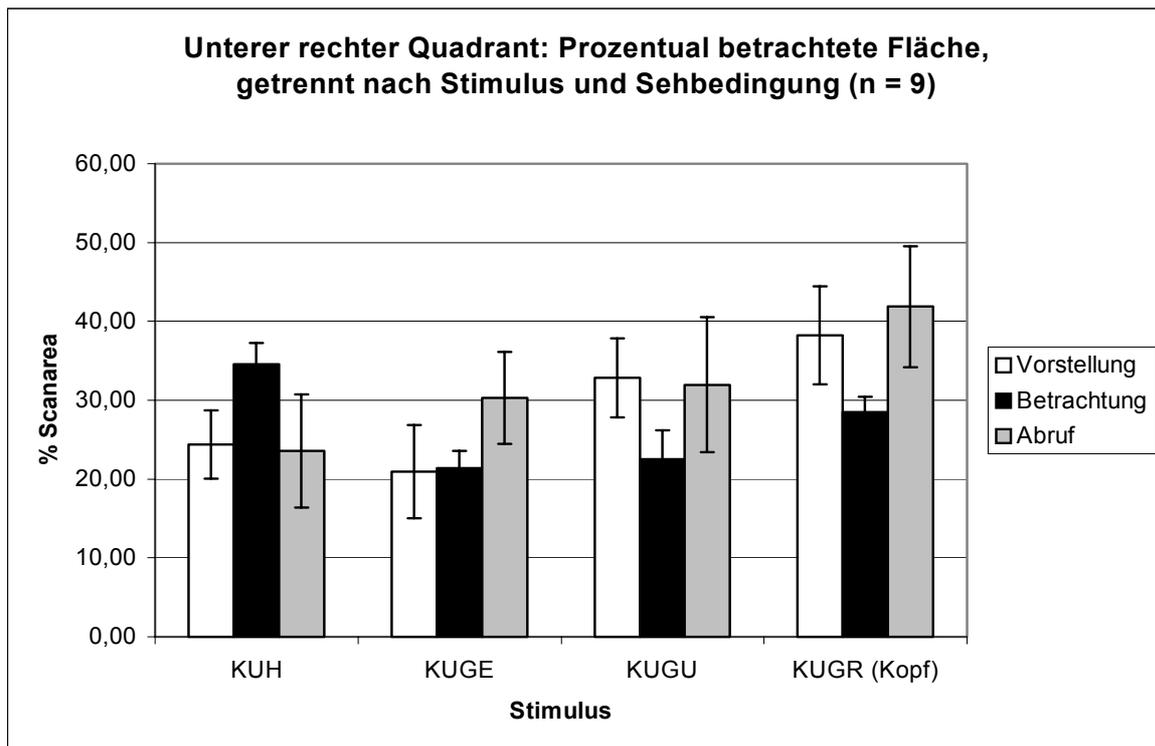


Abb. III-1.3.3.5.: Prozentual betrachtete Fläche (Mittelwert \pm SEM) im unteren rechten Quadranten bei Betrachtung der einzelnen Stimuli über alle Sehbedingungen. KUGE (= „Kuh gespiegelt vertikal“), KUGU (= „Kuh“ gespiegelt horizontal), KUGR (= „Kuh“ gespiegelt vertikal und horizontal).

Darüber hinaus gilt: Befindet sich das saliente Objekt von Interesse in einem der unteren Quadranten (Abb. III-1.3.3.3. bzw. Abb. III-1.3.3.5.), wird in der Vorstellungs- und in der Abrufbedingung dort zumindest tendenziell mehr Fläche betrachtet als in der Betrachtungsbedingung. Für die oberen Quadranten (Abb. III-1.3.3.2. und Abb. III-1.3.3.4.) trifft dies nicht in gleicher Weise zu (alle $p > 0.05$).

III.1.3.4. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse für Experiment A3

Die vorliegende Analyse des Blickverhaltens und der Blicksteuerung lässt insgesamt darauf schließen, dass bei der Durchmusterung komplexer visueller Szenen das Verhalten älterer Probanden grundsätzlich ähnlich demjenigen jüngerer Probanden ist. Sowohl bei der Betrachtung, als auch bei der Vorstellung und dem freien Abruf einer komplexen visuellen Szene fallen die höchste prozentuale Aufenthaltsdauer und die Richtung der ersten Sakkade in den Quadranten, in dem das Objekt von Interesse positioniert ist. Die Richtung der ersten Sakkade und die zeitliche Präferenz folgen also der Rotation des Stimulus. Diese Befunde decken sich mit den Befunden für die jüngeren Probanden.

Beide Probandenkollektive durchmustern in den Vorstellungsbedingungen eine ausgedehntere Fläche innerhalb des Quadranten mit dem Objekt von Interesse, doch gibt es in der Betrachtungsbedingung einen Unterschied zwischen ihnen: Während junge Probanden auch hier im Quadranten mit dem primären Objekt von Interesse anteilig mehr Fläche durchmustern, präferieren ältere Probanden den jeweiligen Quadranten mit dem zweiten Objekt von Interesse, dem Euter des Tieres. Nimmt man die Befunde – von der erwähnten Ausnahme abgesehen – zusammen, lässt sich vermuten, dass wie bei den jungen Probanden in der Vorstellung der betrachtete Gesichtsfeldbereich nicht allein schrumpft, sondern sich in der Vorstellung in Richtung des Objekts von Interesse, dem Kopf, verkleinert. Auch hier scheinen Prozesse der Aufmerksamkeitssteuerung Einfluss zu nehmen.

Vergleicht man die Mittelwerte für die prozentual betrachtete Fläche in den Quadranten für die Gruppen junger Probanden mit denen der Gruppe älter als 50 Jahre wird deutlich, dass bei beiden Gruppen unabhängig von der Art der Rotation in der Vorstellungs- und in der Abrufbedingung tendenziell mehr Fläche in den beiden unteren Quadranten abgedeckt wird als in den oberen. Dies trifft um so mehr zu, falls sich in einem unteren Quadranten das Objekt von Interesse befindet. Für die Betrachtungsbedingung ist ein solcher Effekt zwischen oberem und unterem Halbfeld nicht so deutlich zu erkennen. Die Probanden durchmustern hier zusätzlich zum Tierkopf große Anteile im Bereich des Euters. Das inhaltsbezogene Betrachten dominiert somit die in der Vorstellung auftretende Lateralisierungstendenz.

III.2. Experimenteller Teil B: Augenbewegungsmessungen bei Patienten

Der experimentelle Teil A der vorliegenden Untersuchungen konnte bei Betrachtung komplexer visueller Szenen Beziehungen zwischen dem Blickverhalten normalsichtiger Probanden unter verschiedenen Sehbedingungen aufdecken. Auch lässt die vorliegende Analyse des Blickverhaltens und der Blicksteuerung insgesamt darauf schließen, dass bei der Durchmusterung komplexer visueller Szenen das Verhalten älterer Probanden grundsätzlich ähnlich demjenigen jüngerer Probanden ist. Im Folgenden experimentellen Teil B soll untersucht werden, ob Läsionen innerhalb des visuellen Systems diese systematischen Beziehungen beeinflussen.

Grundlage für die folgenden Untersuchungen war ein Teil des schon im Teil A verwendeten Stimulusmaterials, das bei Normalgesunden die eindeutigsten Befunde liefern konnte. Wenn visuelle Einschränkungen von Patienten Einfluss haben auf die Sehbedingungen Vorstellung, Betrachtung und freier Abruf, dann sollte ihr Blickverhalten und damit das Durchmustern komplexer visueller Szenen läsionsbedingt verändert sein (vgl. I.1.7.). Über den Vergleich der Durchmusterungen in den Sehbedingungen soll herausgefunden werden, ob visuelle Vorstellung und Betrachtung in unterschiedlicher Weise betroffen sind. Möglicherweise lassen sich auf Basis verschiedener Blickbewegungsmuster in unterschiedlichen Sehbedingungen dann auch Rückschlüsse auf neuronal-anatomische Funktionsbereiche vermuten. In Experiment B1 wird anhand der durchmusterten Fläche untersucht, ob Patienten unter den Sehbedingungen innerhalb ihres tatsächlich betroffenen Gesichtsfeldbereichs explorieren. Der experimentelle Exkurs B2 vergleicht die für Experiment B1 erhobenen Blickbewegungsdaten einzelner Patientengruppen im Hinblick auf eine Differenzierung zwischen verschiedenen Sehbedingungen miteinander und der experimentelle Exkurs B3 vergleicht die Durchmusterungen einzelner Patienten in Relation zu einer Gruppe Normalsichtiger im Hinblick auf läsionstypisches Blickverhalten.

III.2.1. Experiment B1: Exploration von betroffenen Gesichtsfeldanteilen bei Patienten

Nach einer unilateralen Läsion des visuellen Kortex muss nicht notwendigerweise ein vollständiges Halbfeld betroffen sein (vgl. Einleitung). Der tatsächlich blinde Gesichtsfeldanteil variiert interindividuell. Das Experiment B1 möchte Aufschluss

darüber geben, ob Patienten beim Vorstellen bzw. Betrachten komplexer visueller Szenen tatsächlich auch in den betroffenen Bereich des Gesichtsfeldes schauen.

III.2.1.1. Spezifische Fragestellungen und Hypothesen

Schauen Patienten mit Läsionen des visuellen Systems unter verschiedenen Sehbedingungen in den von der Läsion betroffenen Gesichtsfeldbereich (zu welchem prozentualen Anteil schauen sie in den betroffenen Bereich)? Gibt es Anzeichen für einen systematischen Zusammenhang zwischen funktionellem Ausfall und Blickverhalten in den Sehbedingungen und lassen sich so deskriptiv verschiedene Patientengruppen unterscheiden?

Falls Patienten in der Vorstellung, der Betrachtung und dem freien Abruf den jeweils blinden Bereich ihres Gesichtsfeldes explorieren, dann sollte sich dies in der anteilig betrachteten Fläche in diesem Bereich zeigen.

III.2.1.2. Methoden und Statistische Auswertung

Das vorliegende Experiment soll mit Hilfe individueller Ausfallschablonen Auskunft darüber geben, ob Patienten in den verschiedenen Sehbedingungen tatsächlich auch in den betroffenen Anteil des Gesichtsfelds schauen und ob sich abhängig von der Sehbedingung die Relationen der bei der Durchmusterung betrachtete Fläche möglicherweise durch einen inhaltlich salienten Bereiches verändern.

Zu diesem Zweck wurden individuell für jeden Patienten Ausfallschablonen hergestellt, die die Auswertung des jeweils betroffenen Gesichtsfeldanteils in Relation zur Gesamtdurchmusterung messbar werden lassen (vgl. Abb. III-2.1.1.1.). Für Neglekt-Patienten wurde jeweils das gesamte linke Halbfeld als Läsionsbereich angesehen (vgl. Einleitung). Abbildungen der Ausfallschablonen und schematische Darstellungen der Gesichtsfeldperimetrie für die „hemianopen“ Patienten finden sich gesondert im Anhang der vorliegenden Arbeit.

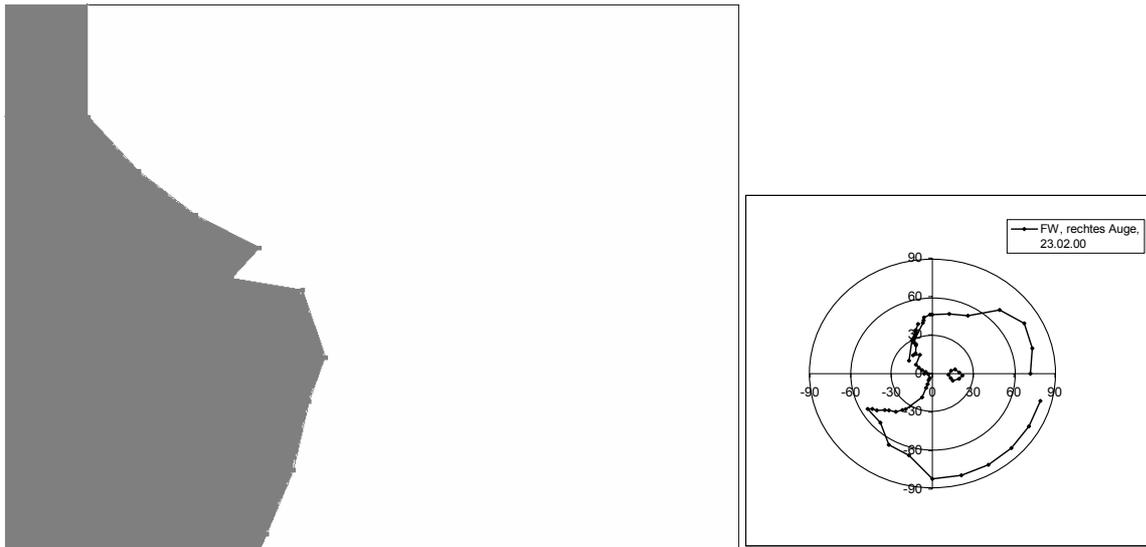


Abb. III-2.1.1.1.: Schematische Darstellung einer Ausfallschablone und des Perimetriebildes für den Probanden FW_a/FW_c mit linksseitigem Ausfall zur anteiligen Berechnung der betrachteten Fläche (Ausfallbereich grau; Erläuterung siehe Text).

Grundlage einer Ausfallschablone ist einerseits der durch die Stimulusgröße und die Sehentfernung vorgegebene Gesichtsfeldbereich mit 15.7° bzw. 11.9° Exzentrizität bei zentraler Fixation, und sind andererseits diejenigen bereits im Vorfeld ermittelten individuellen perimetrischen Datenpunkte des jeweils aufgenommenen Auges (Tabelle im Anhang), die in den Bereich von 15.7° bzw. 11.9° Exzentrizität fallen. Die zu diesem Zweck in gfa-basic geschriebene neue Auswerterroutine stellt in sofern eine Vereinfachung dar, dass die vorgegebenen perimetrischen Referenzdaten mit einfachen geraden Linien verknüpft werden, die dann den Gesichtsfeldbereich teilen. So ergeben sich für jeden Patienten im Rahmen der Stimulusmaße zwei Felder, von denen eines den blinden Bereich und das andere den gesunden Sehbereich umfasst und denen die Auswerterroutine beim Einlesen die Scanpathanteile zuordnen kann. Die notwendige Trennung der Auswerteprogramme erlaubt zum gegenwärtigen Zeitpunkt die gleichzeitig übereinander projizierte Darstellung von Durchmusterungspfad, Ausfallschablone und Stimulus nicht, so dass nur annäherungsweise Aussagen darüber getroffen werden können, welche exakten Anteile des Stimulus im Ausfallbereich liegen.

Die ausgewerteten Variablen setzten sich wie folgt zusammen:

Unabhängige Variablen: UV1: Läsionsseite (linke vs. rechte Hemisphäre)

UV2: Patientengruppe: Hemianopie, Neglekt

UV3: Zustand: akut, chronisch

UV4: Sehbedingung (Vorstellung, Betrachtung, Abruf)

UV5: Bild (Kuh, Kuh gespiegelt vertikal, Portrait)

Abhängige Variable: AV: betrachtete Fläche

AV: *Prozentual betrachtete Fläche* im Läsionsbereich an der vom jeweiligen Patienten gesamt betrachteten Fläche (vgl. II.6. Auswertung).

Als Versuchsdesign lag ein 2x2x2x3x3 Plan zugrunde.

III.2.1.3. Ergebnisse

Die Tabelle III-2.1.3.1 gibt Auskunft über die von jedem einzelnen Probanden prozentual betrachtete Fläche im Läsionsbereich an der von ihm gesamt betrachteten Fläche für drei verschiedene komplexe visuelle Szenen (Kuh, Kuh gespiegelt vertikal und Portrait), jeweils nach Sehbedingung getrennt.

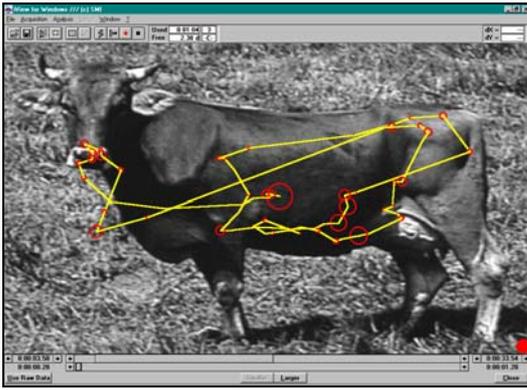
Über alle Versuchspersonen und alle experimentellen Bedingungen gilt: kein Proband schaut gar nicht in den betroffenen Gesichtsfeldbereich! Das bedeutet, es wird bei Vorstellung und Betrachtung im betroffenen Bereich exploriert, nicht allein im gesunden Anteil des betroffenen Gesichtsfelds.

In der Vorstellung wird anteilig überwiegend mehr Fläche im betroffenen Bereich durchmustert als bei der Betrachtung. Grundsätzlich kann man dabei nicht sagen, dass diejenigen Patienten, die bei der Vorstellung anteilig viel explorieren generell viel explorieren bzw. dass diejenigen, die anteilig wenig explorieren, generell wenig explorieren. Die Patienten tendieren somit dazu, in der Vorstellung gegenüber der Betrachtung anteilig mehr Fläche im betroffenen Gesichtsfeldbereich zu explorieren, unabhängig von der individuell absolut durchmusterten Fläche. Dieser Befund tritt mit zwei Ausnahmen unabhängig von Erkrankungsstadium, betroffener Hemisphäre und Läsionsort auf. Die oben beschriebene Regelmäßigkeit ist für den Vergleich von Betrachtung und freiem Abruf tendenziell auch vorhanden, jedoch in deutlich weniger Fällen (vgl. Tab. III-2-1-3-1.).

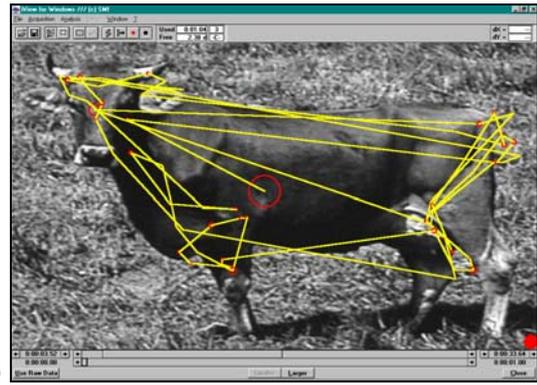
Tab. III-2.1.3.1.: Stimuli „Kuh“, „Kuh gespiegelt vertikal“ und „Portrait“: Prozentualer Anteil der betrachteten Fläche im Läsionsbereich an der gesamt betrachteten Fläche für 14 Patienten.

Prozentualer Anteil der betrachteten Fläche im Läsionsbereich an der gesamt betrachteten Fläche										
VP	Läsion	Stimulus								
		Kuh			Kuh gespiegelt vertikal			Portrait		
		Vorstellung %	Betrachtung %	Abruf %	Vorstellung %	Betrachtung %	Abruf %	Vorstellung %	Betrachtung %	Abruf %
FS	chr.H, re.GF	60,10	43,87	42,68	53,76	42,33	44,86	98,41	68,44	72,86
GY	chr.H, re.GF	56,75	49,80	38,48	62,77	44,53	38,85	56,54	47,73	26,62
WE_C	chr.H, re.GF	26,09	22,88	71,41	51,20	39,30	48,10	40,92	19,99	20,62
KH_C	chr.H, li.GF	99,61	27,27	67,07	1,58	38,23	7,72	32,41	18,70	68,27
PR	chr.H, li.GF	60,13	38,16	45,75	-	-	-	-	-	-
FW_C	chr.H, li.GF	40,37	16,50	58,26	24,57	36,34	29,06	16,81	14,69	16,92
WE_A	ak.H, re.GF	38,09	43,05	32,17	-	-	-	17,58	22,13	29,38
FW_A	ak.H, li.GF	45,54	21,60	18,60	-	-	-	18,50	23,18	24,05
KH_A	ak.H, li.GF	88,34	24,47	63,47	-	-	-	29,21	49,74	27,99
LJ	ak.H, li.GF	59,63	27,79	70,82	-	-	-	84,42	49,45	87,41
KP	chr.N.	65,31	42,02	57,91	89,51	58,08	65,90	98,65	46,84	83,78
MI	chr.N.	87,25	41,36	90,64	-	-	-	94,84	22,66	-
JK	ak.N.	34,41	37,08	58,00	-	-	-	24,57	9,72	34,50
CP	ak.N.	59,82	48,15	44,54	98,62	43,25	31,78	11,69	10,53	45,45

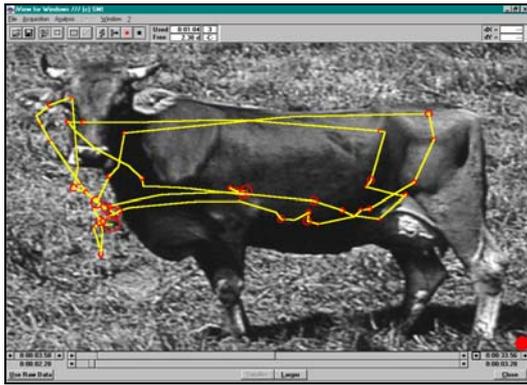
Abbildung III-2.1.3.1.A-C/E-G zeigt beispielhaft die scanpaths für zwei Patienten. Der chronische Patient FS mit durchmustert wie Normalsichtige während der Vorstellung (A) und dem Abruf (C) des Stimulus Kuh insgesamt eine geringere Fläche als bei der Betrachtung (B). Die einzelnen Sakkaden sind zudem in den Vorstellungsbedingungen kleiner als bei der Betrachtung. Dabei ist anteilig der durchmusterte Bereich innerhalb des Ausfalls während der Vorstellung gegenüber der Betrachtung erhöht (siehe Ausfallschablone Abb. III-2.1.3.1.D grauer Bereich). Der Ausfall müsste hierbei den Hinterleib der Kuh umfassen. Auch CP mit akutem rechtshemisphärischem Neglekt - im Beispiel für den Stimulus Portrait (Abb. III-2.1.3.1. E-G) – schaut in jeder Sehbedingung auch in den betroffenen Bereich. Dieser Explorationsanteil, der die linke Hälfte des Reizbildes betrifft, ist beim Abruf (G) ausgeprägter als in den beiden anderen Sehbedingungen (E, F). Proband CP durchmustert während der Vorstellung und dem Abruf (Abb. III-2.1.3.1. E, G) absolut eine ausgedehntere Fläche als bei der Betrachtung des Stimulus. Dies trifft auch für den zweiten akuten Neglekt-Patienten JK und den chronischen Neglekt-Patienten MI zu (o. Abb., siehe Rohdaten im Anhang).



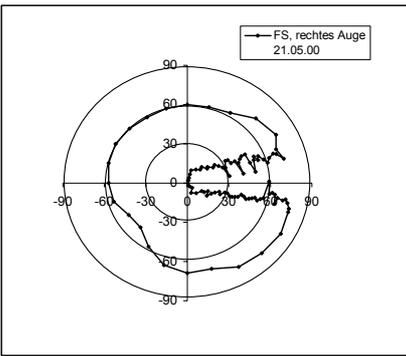
A)



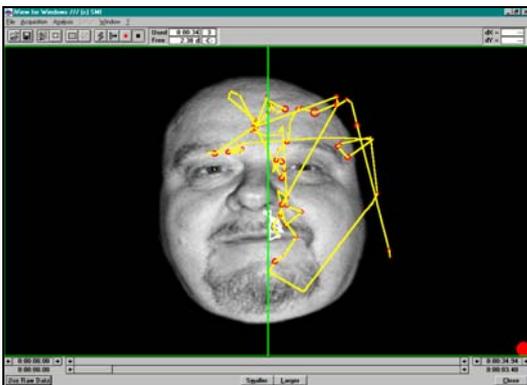
B)



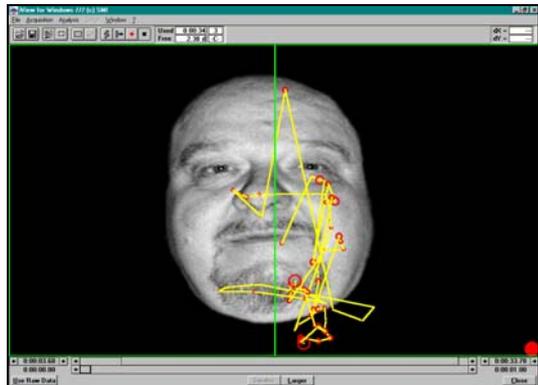
C)



D)

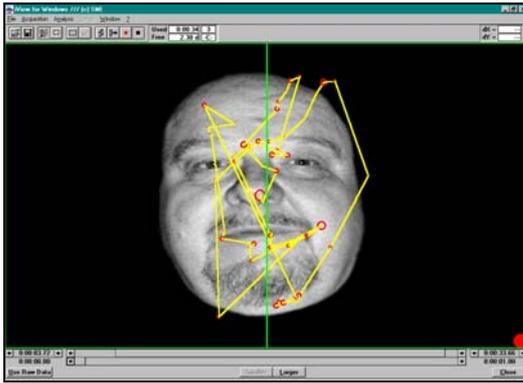


E)



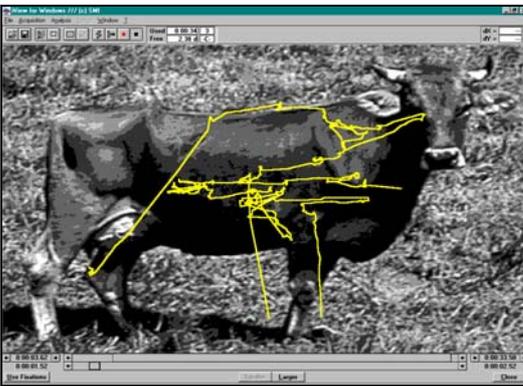
F)

Fortsetzung folgende Seite!

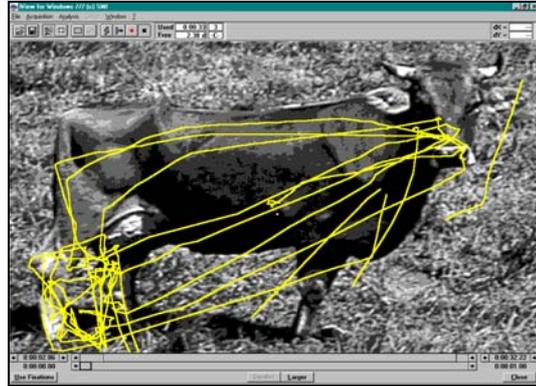


G)

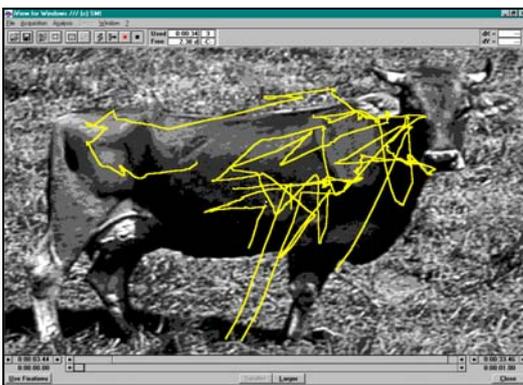
Abb. III.2.1.3.1: Schematische Darstellung der Durchmusterungen zweier Patienten hier dargestellt unter Zuhilfenahme des Selektionskriteriums Fixationsdauer (>120 ms) und –stabilität (1° Sehwinkel). A), B) und C) zeigen die scanpaths von FS mit chronischer okzipitaler Schädigung während Vorstellung (A), Betrachtung (B) und Abruf (C) des Stimulus Kuh. E), F) und G) zeigen die scanpaths von CP mit akutem Neglekt während Vorstellung (E) und Betrachtung (F) und Abruf (G) des Stimulus Portrait). Zur besseren Anschauung wurden hier die Stimuli unterlegt. D) Schematische Darstellung des Ausfalls für FS: Perimetrie und Ausfallsschablone (Ausfallbereich grau unterlegt).



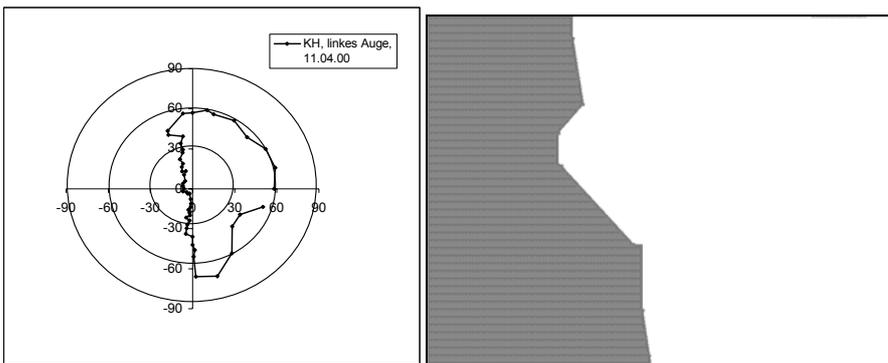
A)



B)



C)



D)

Fortsetzung folgende Seite!

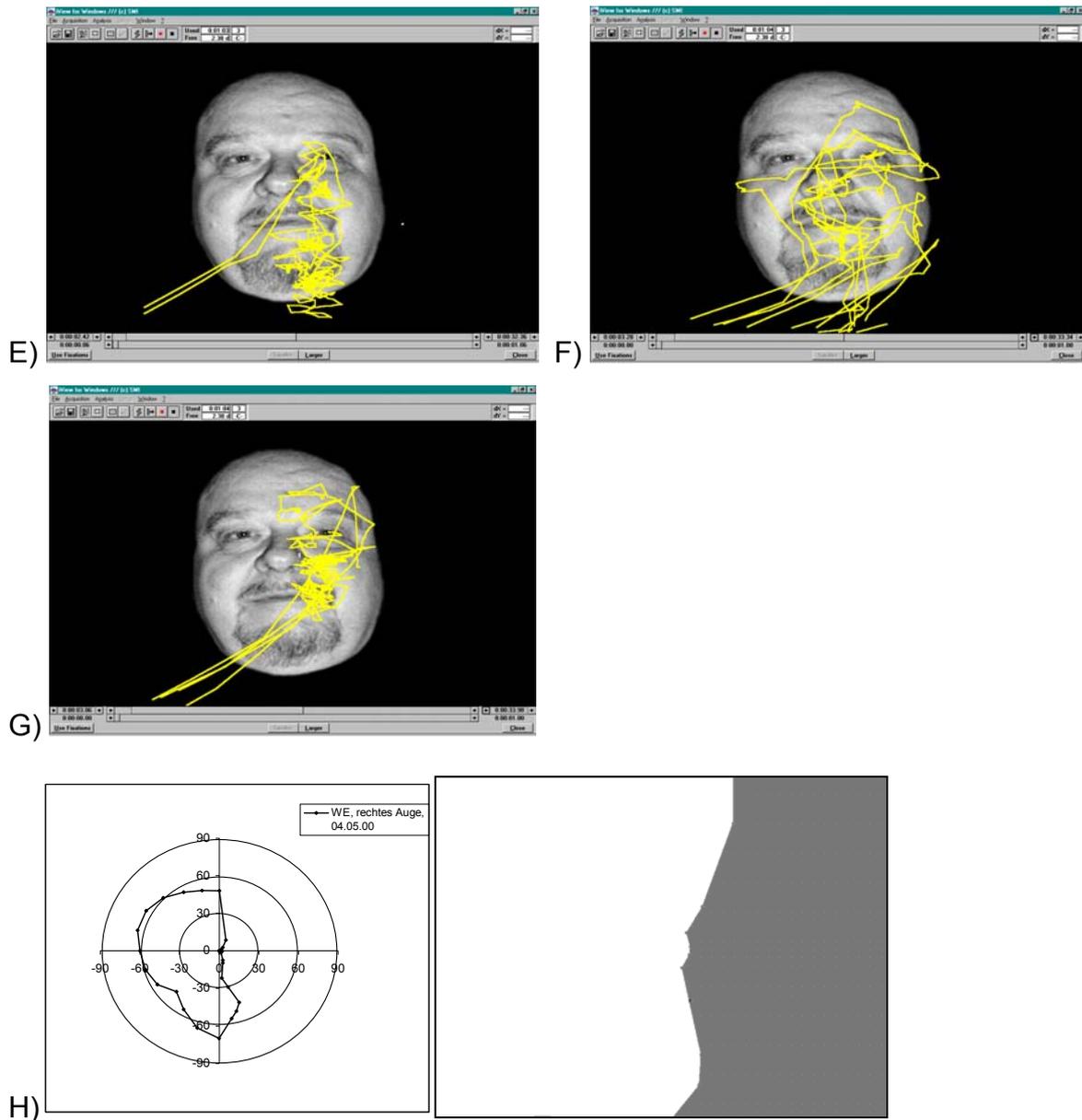


Abb. III.2.1.3.2: Schematische Darstellung der Durchmusterungen zweier Patienten als Rohdatensätze. A), B) und C) zeigen die scanpaths von KH_c während Vorstellung (A), Betrachtung (B) und Abruf (C) des Stimulus Kuh gespiegelt entlang der vertikalen Achse. E), F) und G) zeigen die scanpaths von WE_a während Vorstellung (D), Betrachtung (E) und Abruf (G) des Stimulus Portrait. Zur besseren Anschauung wurden die Stimulusbilder unterlegt. Blinzler während der Durchmusterung – in den Abbildungen der Rohdatensätze noch sichtbar – wurden vor der Flächenanalyse eliminiert. D), H) Schematische Darstellung des Ausfalls für KH_c (D) und WE_a (H): Perimetrie und Ausfallsschablone (Ausfallbereich grau unterlegt). Erläuterungen siehe Text.

In systematischer Weise weichen von der oben beschriebenen Regelmäßigkeit anteilig ausgedehnterer Durchmusterung innerhalb des Ausfalls in der Vorstellung chronisch hemianope Patienten mit Einschränkungen des linken Halbfeldes (KH_C, FW_C) und Proband WE_a mit akuter Hemianopie innerhalb des rechten Gesichtsfeldes ab.

Diese durchmustern während Vorstellung und Abruf dann anteilig eine geringere Fläche im Läsionsbereich als unter der Betrachtungsbedingung, wenn der präsentierte Stimulus einen inhaltlichen Saliensbereich im gesunden Halbfeld aufweist (Kuh gespiegelt vertikal; Beispiel Abb.III-2.1.3.2.A-C). Für WE_a trifft dies zusätzlich auch für den Stimulus Portrait zu (Abb.III-2-1-3-2.E-G), wobei der Ausfall des Probanden im Reizbild etwa einem Bereich in der rechten Bildhälfte entspricht, dessen Grenze zum gesunden Sehfeld das rechte Portraitauge und Teile der rechten Mundhälfte umfasst, die Portraitrnase aber ausspart. Derselbe Proband verhält sich im chronischen Stadium (WE_C) interessanterweise entgegengesetzt und somit wie die beiden anderen hemianopen Patienten mit linksseitiger Schädigung (vgl. Tab. III-2.1.3.1.).

III.2.1.4. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse für Experiment B1

Innerhalb des untersuchten Gesichtsfeldbereichs explorieren alle Patienten auch in demjenigen Anteil, der jeweils von ihrer Läsion betroffen ist. Dieses Explorationsverhalten zeigt sich bei der Betrachtung und bei den Vorstellungsbedingungen. Grundsätzlich können Patienten also in den Ausfallsbereich schauen.

Analysiert wurde jeweils die anteilig an der Gesamtdurchmusterung betrachtete Fläche im Läsionsbereich. Für den Großteil der Probanden zeigt sich zum einen, dass in der Vorstellung im Läsionsbereich anteilig mehr Fläche durchmustert wird als unter der Betrachtungsbedingung, und zum anderen, dass Unterschiede in der Durchmusterung zwischen auf verbaler Information beruhender Vorstellung und dem feien Abruf des bereits gesehenen Stimulusbildes bestehen.

Zwar lässt sich so keine Aussage über die Ausdehnung der absolut durchmusterten Flächen treffen, aber die Durchsicht der einzelnen scanpaths deutet an, dass für Patienten mit okzipitaler Schädigung wie bei Normalsichtigen die gesamt durchmusterte Fläche in der Vorstellung weniger ausgedehnt ist als bei der Bildbetrachtung (siehe als Beispiele Abb. III-2.3.1.A-C und Abb.III-2.3.2.A-C,E-G).

Auf Basis dieser Befunde lassen sich folgende hypothetische Überlegungen formulieren: Für die Ausdehnung der betrachteten Flächen entsprechen die Relationen zwischen Vorstellung und Betrachtung bei Patienten mit okzipitalen Schädigungen überwiegend denen Normalsichtiger und sind somit nicht von der

Schädigung betroffen. Dieses Durchmusterungsprinzip sollte darum auf höherer kortikaler Ebene organisiert sein. Gleichzeitig beeinflusst ein solches „*Durchmusterungsprinzip höherer Ordnung*“ läsionsbedingtes Blickverhalten, indem es das Scannen des Ausfallbereiches während der Vorstellung erleichtert: Prinzipbedingt wird in der Vorstellung ein kleinerer Gesichtsfeldbereich durchmustert, der dann einen gesunden und einen betroffenen Anteil umfasst. Da das Vorstellungsbild ausschließlich intern generiert wird, entfallen zusätzlich externe visuelle Einflüsse des Reizbildes im gesunden Gesichtsfeldbereich. Konsequenz könnte dann das vermehrte Durchmustern innerhalb des Ausfalls sein.

Diese Überlegungen können im Weiteren auch die Unterschiede zwischen den anteiligen Durchmusterungen in Vorstellung und Abruf erklären, wenn man die für beide Bedingungen zugrunde liegenden Gedächtnisleistungen hinzuzieht. Die verbale Instruktion für ein Reizbild bei der Vorstellung bindet den Probanden nicht an exogene Positionsmarken, es müssen „nur“ Objektteile zur Gesamtgestalt des Objektes zusammengeführt werden. Für den freien Abruf des gesehenen Stimulus dagegen wurden Positionsmarken des Bildes bereits vorgegeben und diese müssen zusätzlich erinnert und aufgesucht werden. Die Patienten müssten im Fall des freien Abrufs dann ein zusätzliches räumliches Koordinatensystem nutzen, das die exakte Positionierung von Objektteilen im Raum ermöglicht.

Darüber hinaus deuten sich über den Vergleich der Sehbedingungen Unterschiede zwischen Patientengruppen an.

Drei der vier Neglekt-Patienten durchmustern bei der Vorstellung des Stimulusbildes Portrait absolut eine größere Fläche als bei der Betrachtung und unterscheiden sich somit vom Verhalten der meisten anderen Patienten und dem Normalsichtiger. Bei Durchsicht ihrer Gesamtdurchmusterungen fiel auf, dass sie in der Betrachtung mehr im gesunden Gesichtsfeldbereich verbleiben (s.o.). Möglicherweise können die Neglekt-Patienten sich in der Vorstellung leichter vom gesunden Anteil ihres Gesichtsfelds „lösen“ und ihr Explorationsverhalten deutlich in das betroffene Halbfeld hinein ausdehnen.

Schließlich können inhaltlich saliente Objekte von Interesse als cue für das anteilige Blickverhalten unter verschiedenen Sehbedingungen Bedeutung erlangen, wie die erläuterten Ausnahmen zeigen. Im Fall des Probanden WE_a/WE_c liegt

wahrscheinlich gar eine Entwicklung vom Akut- zum chronischen Stadium vor. Möglicherweise können angeeignete kompensatorische Blickstrategien im chronischen Stadium externe Reize/Saliensbereiche dominieren, während dies im akuten Stadium noch nicht gelingt.

Die in dieser Untersuchung aufgezeigten Hinweise auf Unterschiede zwischen verschiedenen Patientengruppen lassen umfassende, eindeutige Aussagen zu Unterschieden zwischen Erkrankungsdauer, -zustand und Läsionsort wünschenswert werden. Ein Aufstocken der verschiedenen Experimentalgruppen mit Analyse der innerhalb der von Gruppen durchmusterten absoluten Fläche ist aufgrund der vorliegenden Befunde im Hinblick auf eine weitere Differenzierung sinnvoll und notwendig. Wie die viel versprechenden Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, ist die gleichzeitige Weiterentwicklung der gfa-Auswerteroutine im Sinne eines parallelen Abgleichs von Durchmusterung, Ausfallschablone und Reizbildanteilen für diese zukünftigen Experimente dringend angeraten.

Die Analyse der Blickbewegungen in Experiment B1 legt nahe, dass einzelne Patienten mit Gesichtsfeldeinschränkungen befähigt sind, sich in ihrem betroffenen Halbfeld Anteile einer statischen komplexen visuellen Szene vorzustellen. Dabei diene die Analyse dieses Experiments vornehmlich der Frage, ob die Probanden in den verschiedenen Sehbedingungen tatsächlich in den von der Schädigung betroffenen Gesichtsfeldanteil schauen. In den folgenden beiden Exkursen B2 und B3 soll anhand desselben Datensatzes untersucht werden, ob man über die Befunde hinaus mit Hilfe der gemessenen Parameter eine Differenzierung von verschiedenen Patientengruppen in Relation zueinander und zu einer normalsichtigen Kontrollgruppe herbeiführen kann. Zur Vergleichbarkeit der Personen wird hier die vereinfachte Auswertung nach Halbfeldern gewählt, wie sie sich aus der homonymen Repräsentation des Gesichtsfelds ergibt (Zihl 2003; vgl. I.1.7.). Beide Exkurse sind dabei als erste Maßnahme für eine zukünftige Weiterführung von eigenständigen Experimenten unter diagnostischen und rehabilitativen Aspekten zu verstehen.

III.2.2. Experimenteller Exkurs B2: Untersuchung von Blickbewegungen verschiedener Patientengruppen bei der Vorstellung, der Betrachtung und dem freien Abruf einer komplexen visuellen Szene

Blickverhalten und Blicksteuerung insbesondere der durchmusterten Fläche und speziell bei Betrachtung komplexer visueller Szenen (z.B. Buswell 1935, Antes 1974, Zangemeister et al. 1999) wurden in Patientenstudien bisher kaum untersucht. Bei Betrachtung einfacher stationärer Szenen und einem kurzen Präsentationsintervall von acht Sekunden finden beispielsweise Jahnke und Mitarbeiter (1995) für die Gegenüberstellung der Daten beider Halbfelder bei hemianopen- und Neglekt-Patienten Veränderungen der Bewegungsparameter und der Explorationsdauer, nicht jedoch bei gemittelten und aufsummierten Fixationsparametern. Ausnahme stellt die bereits in der Einleitung erwähnte Lateralisierungsasymmetrie dar, die auch hier gefunden wurde.

Eine detaillierte Analyse hinsichtlich des durchmusterten Areal bei Betrachtung und Vorstellung komplexer visueller Szenen über längere Zeitintervalle steht derzeit aus und soll mit dem vorliegenden experimentellen Exkurs untersucht werden.

III.2.2.1. Spezifische Fragestellungen und Hypothesen

Wie oben erläutert, soll an der vorliegenden kleinen Gruppe von Patienten mit okzipitalen bzw. parietalen Läsionen überprüft werden, ob deren Verhalten in Relation zur Sehbedingung variiert. Wie in den Abschnitten zu beiden Erkrankungsbildern ausgeführt, gilt es nicht allein zwischen dem Faktor Läsionsort zu unterscheiden, sondern des weiteren zwischen dem Faktor Läsionsdauer, der zu verschiedenen Blickstrategien führen kann und zusätzlich zwischen dem Faktor Läsionsseite, der in engem Zusammenhang zum präsentierten Stimulus und dessen Salienzbereichen steht.

Unterscheiden sich die Blickbewegungen verschiedener Patientengruppen bei der Betrachtung der komplexen visuellen Szene „Kuh“ in den verschiedenen Sehbedingungen Vorstellung, Betrachtung und Abruf?

Wenn die Patientencharakteristika Läsionsort, Läsionsseite und Läsionsdauer einen Einfluss auf Vorstellung, Betrachtung bzw. freien Abruf haben, dann sollten sich bei der Durchmusterung die Verteilungen der Blickbewegungsparameter zwischen verschiedenen Patientengruppen unterscheiden.

III.2.2.2. Methoden

Für das Blickverhalten normalsichtiger Probanden ließen sich sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede zwischen den Sehbedingungen Vorstellung, Betrachtung und freier Abruf nachweisen. Das durchmusterte Areal war in seiner Ausdehnung in den Vorstellungsbedingungen kleiner als bei der Betrachtung, wobei in Vorstellung und Betrachtungsbedingungen eine anteilig größere Fläche dort exploriert wurde, wo sich ein salientes Objekt von Interesse befand. Dort waren auch die Aufenthaltsdauern erhöht und die Saliensbereiche waren Ziel der ersten Sakkade (vgl. Experiment A1). Daher soll im vorliegenden Experiment das Patientenverhalten hinsichtlich dieser drei Sehbedingungen und dieser drei Parameter untersucht werden. Die oben benannten Effekte ließen sich besonders deutlich für den Stimulus Kuh nachweisen. Darum wurde dieser Stimulus für das hier beschriebene Experiment ausgewählt.

Bezogen auf das betroffene Halbfeld, also ipsiläsional, contraläsional werden für jeden Patienten die Asymmetrieindizes über die beiden Halbfelder zugrunde gelegt.

Deskriptiv betrachtet werden für jeden Probanden individuell die Asymmetrieindices in Relation zum betroffenen Halbfeld „(betroffen / (betroffen + nicht betroffen)) x 100“ für die erste Sakkade, die Aufenthaltsdauer und die betrachtete Fläche (vgl. II.6.) . Die Mittelwerte dieser Parameter für die Sehbedingungen (+ 1 Standardfehler) werden zugrunde gelegt. Die inferenzstatistische Auswertung der Daten erfolgt mittels Multivariater Varianzanalyse. Als Versuchsdesign liegt ein 2x2x2x3 Plan zugrunde.

Die ausgewerteten Variablen setzten sich wie folgt zusammen:

Unabhängige Variablen: UV1: Läsionsseite (linke vs. rechte Hemisphäre)

UV2: Patientengruppe (Hemianopie vs. Neglekt)

UV3: Zustand (akut vs. chronisch)

UV4: Sehbedingung (Vorstellung vs. Betrachtung vs. Abruf)

Abhängige Variablen: AV1: Richtung der ersten Sakkade

AV2: prozentuale Aufenthaltsdauer

AV3: betrachtete Fläche

III.2.2.3. Ergebnisse

Richtung der ersten Sakkade: Aus Gründen der geringen Gruppengrößen beschränkt sich die vorliegende Analyse auf die abhängigen Variablen Sehbedingung, Läsionsort, Zustand und Gesichtsfeld sowie auf die Interaktion von Sehbedingung mit jeweils einer der anderen AVn.

Die Patienten scheinen sich als Kollektiv betrachtet zunächst nicht wie normalsichtige Kontrollprobanden zu verhalten, die unter allen Sehbedingungen primär in dieselbe Richtung zum Objekt von Interesse schauten. Die Richtung der ersten Sakkade verändert sich systematisch unter den Sehbedingungen ($F(2,14) = 10.867$, $p = 0.001$). Über alle Patienten unterscheidet sich die Betrachtungs- von der Vorstellungsbedingung ($p = 0.005$) und von der Abrufbedingung ($p = 0.002$; post hoc paarweise Vergleiche). Vorstellung und freier Abruf unterscheiden sich hingegen nicht.

Beim Vergleich der Richtung der ersten Sakkade unter den verschiedenen Sehbedingungen ergab sich für die chronischen Patienten eine andere Verteilung als für die akuten Patienten ($F(2,14) = 9.800$, $p = 0.002$). Im Gegensatz zu den chronischen Patienten hatten nämlich bei den akuten Patienten die Vorstellungs- und die Abrufbedingung andere Effekte auf die Richtung der ersten Sakkade als die Betrachtungsbedingung (jeweils $t(5) = 5.000$, $p = 0.004$). Alle sechs akut erkrankten Patienten schauen unter der Betrachtungsbedingung im Gegensatz zu Vorstellung und Abruf zuerst in das nicht betroffene Halbfeld, unbeeinflusst davon, ob sich im individuellen Fall dort das Objekt von Interesse befindet oder nicht. Chronische Patienten verhalten sich nicht derart uniform, nur drei von acht Patienten schauen in der Betrachtungsbedingung in das nicht betroffene Halbfeld. Während der

Vorstellungsbedingungen schaut der überwiegende Anteil beider Gruppen zuerst in das betroffene Halbfeld (Tab. III-2.2.3.1.).

Tab. III-2.2.3.1.: Stimulus "Kuh", chronische versus akute Patienten: Summenwerte für die Richtung der ersten Sakkade in ein Halbfeld (HF) für drei Sehbedingungen

Gruppe	Vorstellung		Betrachtung		Abruf	
	Betroffenes HF	Nicht betroffenes HF	Betroffenes HF	Nicht betroffenes HF	Betroffenes HF	Nicht betroffenes HF
Chronisch (n = 8)	6	2	5	3	5	3
Akut (n = 6)	5	1	0	6	5	1

Zusätzlich unterscheiden sich in der Vorstellungsbedingung Patienten mit Läsionen der rechten Hemisphäre signifikant von Patienten mit linkshemisphärischen Läsionen (Haupteffekt Gesichtsfeld $F(1,14) = 33.333$, $p < 0.001$, post hoc zweiseitig $t(12) = 5.071$, $p < 0.001$).

Das bedeutet, Patienten, bei denen das linke Gesichtsfeld betroffen ist, schauen nach links in das Halbfeld mit dem Objekt von Interesse, aber auch drei der vier Patienten bei denen das rechte Gesichtsfeld betroffen ist, schauen (von der geschädigten Seite weg) hin in das linke Halbfeld mit dem Objekt von Interesse (Tab. III.2.2.3.2.). Dies lässt den Schluss zu, dass die erste Sakkade inhaltsgeleitet zum Objekt von Interesse gerichtet wird und beide Gruppen somit auf Ebene dieses Blickverhaltens nicht unterscheidbar werden. Bei Betrachtung der Einzeldaten (Tab. III-2.2.3.2.) fällt zusätzlich ein weiteres interessantes Ergebnis auf: Während alle Neglekt-Patienten bei der Vorstellung und beim Abruf in den vernachlässigten Bereich – in das Halbfeld mit dem Objekt von Interesse – schauen, frequentieren nur die beiden akuten Neglekt-Patienten diesen in der Betrachtungsbedingung nicht zuerst (Abb. III.2.2.3.1.).

Tab. III-2.2.3.2.: Stimulus "Kuh": Asymmetrieindices der einzelnen Patienten für drei Verhaltensmaße und drei Sehbedingungen sowie Mittelwerte und Standardfehler für die einzelnen Untergruppen (* p ≤ 0.05; Erläuterungen vgl. Text).

VP	Läsion	n	Vorstellung Betrachtung Abruf Prozentuale Aufenthalts- Dauer			Vorstellung Betrachtung Abruf Richtung der ersten Sakkade			Vorstellung Betrachtung Abruf betrachtete Fläche (% von Reizhalbfeld)		
			betr./((betr.+n.betr.)x100			betr./((betr.+n.betr.)x100			betr./((betr.+n.betr.)x100		
FS	chr.H,re.GF		97	60	54	0	0	0	68,03	54,97	49,49
GY	chr.H,re.GF		48	46	41	0	0	0	71,71	67,84	53,33
KH_c	chr.H,li.GF		100	58	88	100	100	100	100,00	56,26	77,69
PR	chr.H,li.GF		56	66	56	100	100	100	84,18	54,99	69,56
WE_c	chr.H,re.GF		81	13	58	100	0	0	35,05	31,50	74,74
FW_c	chr.H,li.GF		60	45	46	100	100	100	58,03	44,54	62,71
FW_a	ak.H, li.GF		96	86	69	100	0	100	85,88	51,86	39,91
KH_a	ak.H, li.GF		100	41	84	100	0	100	87,58	26,91	65,90
WE_a	ak.H,re.GF		29	29	47	0	0	100	41,03	54,82	41,42
LJ	ak.H, li.GF		50	28	92	100	0	0	62,91	30,65	75,14
KP	chr.N.		43	64	74	100	100	100	65,31	42,02	57,91
MI	chr.N.		90	63	100	100	100	100	87,25	41,36	90,64
JK	ak.N.		42	42	81	100	0	100	34,41	37,08	58,00
CP	ak.N.		52	55	67	100	0	100	59,82	48,15	44,54
Mittelw. Chron.		8	72	52	64	75,00	62,50	62,50	71,19	49,19	67,01
SEM chronisch			8,66	6,58	7,88	17,50	19,56	21,13	8,14	4,31	5,22
Anzahl Richtung in das betr. HF						6	5	5			
Mittelw. Akut		6	62	47	73	83,33 *	0,00 *	83,33	61,94	41,58	54,15
SEM akut			13,12	9,57	7,29	18,26	0,00	18,26	11,03	5,21	6,48
Anzahl Richtung in das betr. HF						5	0	5			
Mittelw. Hemianopie		10	72	47	63	70,00	30,00	60,00	69,44	47,43	60,99
SEM Hemianopie			8,72	7,01	6,28	16,10	16,10	17,21	7,38	4,51	4,70
Anzahl Richtung in das betr. HF						7	3	6			
Mittelw. Neglekt		4	57	56	80	100,00	50,00	100,00	61,70	42,15	62,77
SEM Neglekt			13,10	5,63	8,31	0,00	33,33	0,00	15,35	2,63	11,33
Anzahl betr. HF						4	2	4			
Mittelw. Läsion linke Hemisph.		4	64	37	50	25,00	0,00	25,00	53,95	52,28	54,75
SEM			17,82	11,66	4,40	28,87	0,00	28,87	10,74	8,74	8,21
Anzahl Richtung in das betr. HF						1	0	1			
Mittelw. Läsion rechte Hemisph.		10	68	56	74	* 100,00	54,55	90,91	73,60	44,44	64,69
SEM			8,17	5,41	5,61	0,00	17,57	10,54	6,56	3,29	5,08
Anzahl Richtung in das betr. HF						10	5	9			

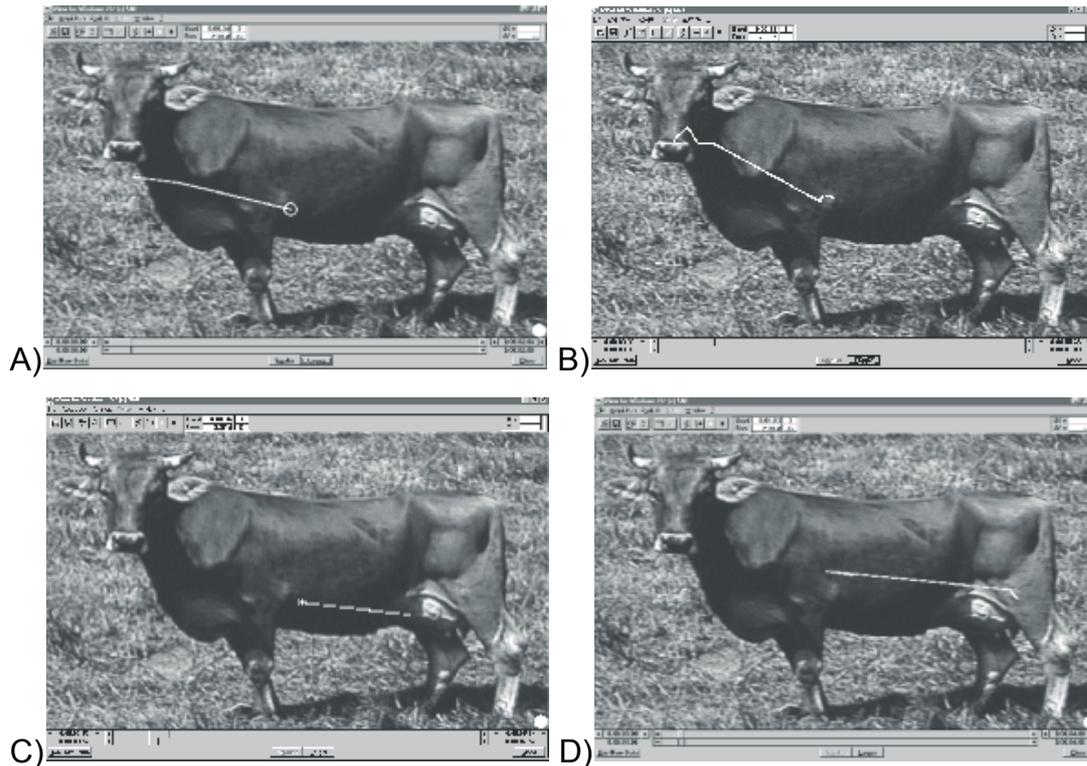


Abb. III-2.2.3.1.A-D: Schematische Darstellung für die Richtung der ersten Sakkade bei der Betrachtung des Stimulus "Kuh": chronische Neglekt-Patienten MI (A) und KP (B), akute Neglekt-Patienten CP (C) und JK (D)

Es ergeben sich keine inferenzstatistischen Effekte für die verschiedenen Patientengruppen und zwischen den Sehbedingungen für die abhängigen Variablen „**prozentuale Aufenthaltsdauer**“ und „**betrachtete Fläche**“ (siehe zum Vergleich Tabelle III-2.2.3.1.). Auf Basis der verschiedenen Sehbedingungen lassen sich so die untersuchten Patientengruppen also weder im Hinblick auf die zugrunde liegende Erkrankung, noch der geschädigten Hemisphäre oder des zeitlichen Erkrankungsstadiums unterscheiden. Beim Vergleich der Mittelwerte fällt jedoch auf, dass für jede mögliche Patientengruppierung in beiden Vorstellungsbedingungen anteilig mehr Fläche innerhalb des betroffenen Halbfeldes exploriert wird als unter der Betrachtungsbedingung. Dabei verweilen alle Untergruppen unter beiden Vorstellungsbedingungen länger im betroffenen Halbfeld als während der Betrachtung.

III.2.2.4. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse für den Experimentellen Exkurs B2

Die Analyse der Patientendaten per se liefert zusammenfassend in einem der drei ausgewählten Augenbewegungsparameter inferenzstatistisch Ergebnisse, die über den Vergleich der Sehbedingungen eine Differenzierung zwischen Untergruppen der Patienten ermöglichen. Über die Richtung der ersten Sakkade lassen sich unabhängig von Läsionsseite und –ort chronische von akuten Patienten trennen: nur die Gruppe akut erkrankter Patienten schaut bei der Betrachtung überhaupt nicht in das betroffene Halbfeld, obwohl gleichzeitig in einer der Vorstellungsbedingungen durchaus in das betroffene Halbfeld geschaut wird. Somit lässt sich durch den Vergleich verschiedener Sehbedingungen bestimmen, ob ein Patient sich im akuten oder bereits im chronischen Stadium seiner Erkrankung befindet. Dieser Befund für die Gruppe akuter Patienten deutet gleichzeitig darauf hin, dass der Wegfall eines externen cues in Form des inhaltlichen Objekts von Interesse im gesunden Halbfeld auch initial das Durchmustern im betroffenen Halbfeld erleichtert. Damit zeigt sich eine deutliche Parallele zum Effekt der Interaktion von Salienzbereichen und kompensatorischem Blickverhalten auf die Durchmusterung der Fläche über die Zeit in Experiment B1. Vor allem in der reinen Vorstellung kann eine solche inhaltliche Salienz blickkompensatorisches Verhalten initial auch steuern: links- und rechtshemisphärisch betroffene Patienten schauen überwiegend zuerst in das Halbfeld mit dem Objekt von Interesse, eben auch dann, wenn es sich um ihr betroffenes Halbfeld handelt.

Bei Betrachtung der Einzeldaten (Tab. III-2.2.3.1.) fallen unter den in den Ergebnissen beschriebenen Trends zusätzliche Unterschiede auf: Während alle Neglekt-Patienten bei der Vorstellung und beim Abruf die erste Sakkade in den vernachlässigten Bereich – in das Halbfeld mit dem Objekt von Interesse – richten, frequentieren nur die beiden akuten Neglekt-Patienten diesen in der Betrachtungsbedingung nicht zuerst. Diese Patienten fielen schon in Experiment B1 auf. Entgegen den meisten anderen Patienten durchmusterten sie dort während der Vorstellung gesamt eine ausgedehntere Fläche als während der Betrachtung (vgl. Experiment B1).

Es finden sich keine inferenzstatistisch signifikanten Unterschiede zwischen chronischen und akuten Patienten bezüglich der prozentualen Aufenthaltsdauer und der betrachteten Fläche, sondern nur für die Richtung der ersten Sakkade. Das spezifische Blickverhalten akuter Patienten beim Vergleich mit chronischen Patienten scheint also auf Basis dieser Ergebnisse zunächst initial bei der Bildbetrachtung vorhanden zu sein, nicht jedoch über die Zeit und zusätzlich nur bei der Betrachtung, nicht bei der Vorstellung.

Jede mögliche in diesem ersten Exkurs untersuchte Patientengruppierung exploriert in beiden Vorstellungsbedingungen tendenziell aber anteilig mehr Fläche innerhalb des betroffenen Halbfeldes als unter der Betrachtungsbedingung. Und alle Untergruppen verweilen tendenziell während der Vorstellungsbedingungen länger im betroffenen Halbfeld als während der Betrachtung. Auch hier spiegeln sich also die Befunde aus Experiment B1 wieder, wobei sich anteilig durchmusterte Fläche und zeitliche Präferenz zu ergänzen scheinen.

Somit liegen für alle untersuchten Parameter dieses methodischen Exkurses Daten vor, die zumindest tendenziell darauf hindeuten, dass Patientengruppen in Vorstellungsbedingungen eher innerhalb des betroffenen Bereiches explorieren als während der Betrachtung. Über diese Unterschiede deutet sich dann, wie beschrieben, auch eine Differenzierung zwischen verschiedenen Patientengruppen an, wie sie sich auch für die Einzelanalysen in Experiment B1 zeigten. Zur Erhärtung der Befunde ist es jedoch notwendig, ein größeres Patientenkontingent zu untersuchen. Möglicherweise können die hier gefundenen Ergebnisse dann eine einfache Testung anhand der Halbfeldanalyse ermöglichen, die eine Individualanalyse anhand von Ausfallschablonen in weniger Fällen notwendig werden lässt.

III.2.3. Experimenteller Exkurs B3: Blickverhalten einzelner Patienten in Relation zu normalsichtigen Probanden bei Betrachtung und Vorstellung komplexer visueller Szenen

Eine Möglichkeit klinischer Einschätzung ist der Vergleich von Patientendaten mit denen einer normalgesunden Kontrollgruppe, wobei als einfaches klinisches Maß der

Mittelwert der Normalsichtigen +/- zwei Standardabweichungen zugrunde gelegt wird. Auf diese Weise sollen in der folgenden Untersuchung die Blickbewegungsmuster einzelner Patienten in Beziehung zu den Durchmusterungen Normalsichtiger gesetzt werden. Auch in diesem Experimentellen Exkurs B3 soll über den Vergleich zwischen der Betrachtung komplexer visueller Szenen mit der Vorstellung und dem freien Abruf dieser Szenen Information darüber erhalten werden, wie Patienten solche Stimuli durchmustern und ob sich über den Vergleich der Durchmusterungen in Vorstellung und Betrachtung verschiedene Patientengruppen differenzieren lassen.

III.2.3.1. Spezifische Fragestellungen und Hypothesen

Unterscheiden sich die durchmusterten Flächen verschiedener Patientengruppen bei der Betrachtung der komplexen visuellen Szenen „Kuh“ und „Portrait“ in den verschiedenen Sehbedingungen Vorstellung, Betrachtung und Abruf deskriptiv in Relation zu einer normalsichtigen Kontrollgruppe?

Falls die visuellen Einschränkungen von Patienten Einfluss auf die Vorstellung, die Betrachtung bzw. den freien Abruf von komplexen visuellen Szenen haben, dann sollte sich ihr Blickverhalten hinsichtlich der Durchmusterungen von demjenigen Normalsichtiger unterscheiden.

III.2.3.2. Methoden

Als Grundlage für den folgenden Exkurs dienen die gemessenen Augenbewegungsparameter für normalsichtige Probanden, die die Stimuli „Kuh“ und „Portrait“ in drei Sehbedingungen betrachtet haben (n = 19 bzw. Portrait-Abruf: n = 18, vgl. II.5.2.). Da sowohl Experiment B1, als auch Exkurs B2 auf die Bedeutung von Salienzbereichen innerhalb der Stimuli hinwiesen, wurden hier die Stimuli Kuh mit und der Stimulus Portrait ohne besonders lateralisiertes Objekt von Interesse hinzugenommen. Deskriptiv betrachtet werden die Asymmetrieindices in Relation zum linken Halbfeld $„(li / (li + re)) \times 100“$ für die Aufenthaltsdauer und die anteilig

am Stimulushalbfeld betrachtete Fläche (vgl. II.7). Ein Wert von 50 % bedeutet, dass der Proband seitengleich betrachtet hat, ein Wert größer 50 % bedeutet, dass der Proband mehr innerhalb des linken Halbfelds exploriert hat. Für die Kontrollgruppe wurde über die erhaltenen Werte gemittelt und dieser Mittelwert liegt zusammen mit einer Standardabweichung als Maß für den Vergleich mit den einzelnen Patienten zugrunde. Zusätzlich deskriptiv betrachtet werden die Summenwerte für die Richtung der ersten Sakkade in ein Halbfeld. Als Versuchsdesign lag ein 2x2x2x2x3 Plan zugrunde.

Die ausgewerteten Variablen setzten sich wie folgt zusammen:

Unabhängige Variablen: UV1: Läsionsseite (linke vs. rechte Hemisphäre)

UV2: Patientengruppe: Hemianopie, Neglekt

UV3: Zustand: akut, chronisch

UV4: Sehbedingung (Vorstellung, Betrachtung, Abruf)

UV5: Bild (Kuh, Portrait)

Abhängige Variablen: AV1: Richtung der ersten Sakkade

AV2: prozentuale Aufenthaltsdauer

AV3: betrachtete Fläche

Überlegungen zum Blickverhalten normalsichtiger Probanden bei Vorstellung, Betrachtung und freiem Abruf unter der Bedingung einer Halbfeldanalyse werden im folgenden Abschnitt durchgeführt.

III.2.3.3. Separate Analyse für den Stimulus „Kuh“ und den Stimulus „Portrait“ für die normalsichtigen Probanden mit der unabhängigen Variable Sehbedingung

Kann man auf Grundlage einer Halbfeldanalyse für den Stimulus Kuh und den Stimulus Portrait die Durchmusterungen deskriptiv zwischen Vorstellungsbedingungen und Betrachtung differenzieren?

Die folgende Tabelle III-2.3.3.1. zeigt einen Überblick über die Ergebnisse der normalsichtigen Populationen für die einzelnen Blickbewegungsparameter.

Tab. III-2.3.3.1.: Mittelwerte und Standardabweichungen der normalsichtigen Populationen für die Blickbewegungsparameter prozentuale Aufenthaltsdauer, prozentual betrachtete Fläche und Richtung der ersten Sakkade, jeweils getrennt für die Sehbedingungen Vorstellung, Betrachtung und freier Abruf (n = 19, Portrait-Abruf n = 18).

	Vorstellung		Betrachtung		Abruf	
	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>SD</i>
Aufenthaltsdauer %:						
„Kuh“	62	23	65	13	64	24
„Portrait“	62	30	66	13	60	33
Fläche %:						
„Kuh“	64.37	21.32	45.40	7.68	48.88	24.76
„Portrait“	51.00	27.56	55.31	13.64	50.69	34.24
	<i>Linkes HF</i>	<i>Rechtes HF</i>	<i>Linkes HF</i>	<i>Rechtes HF</i>	<i>Linkes HF</i>	<i>Rechtes HF</i>
1. Sakkade Σ :						
„Kuh“	17	2	17	2	16	3
„Portrait“	10	8	13	5	9	9

Die normalsichtigen Probanden zeigen mit ihren ersten Sakkaden eine klare Ausrichtung in das Halbfeld mit dem Objekt von Interesse (Stimulus „Kuh“). Beim Stimulus „Portrait“ würde man nur in der Betrachtungsbedingung eine Präferenz für das linke Halbfeld vermuten. Diese Ergebnisse sind vergleichbar den Befunden aus Experiment A1.

Entgegen den Befunden zur Quadrantenanalyse (Experiment A1) unterscheiden sich im Vergleich der Sehbedingungen miteinander bei der Halbfeldanalyse die prozentualen Werte für die Aufenthaltsdauer kaum und für die betrachtete Fläche nur tendenziell voneinander. Es findet sich für die anteilig durchmusterte Fläche eine tendenzielle, leichte Asymmetrie zugunsten des linken Halbfeldes in der Vorstellungsbedingung beim Stimulus Kuh (64.37 %), während für Betrachtung und freien Abruf nahezu symmetrisches Blickverhalten ermittelt wurde (45.40 % bzw. 48.88 %). Für beide Stimuli und unter allen Sehbedingungen sieht man bei der prozentualen Aufenthaltsdauer eine leichte Asymmetrie zugunsten des linken Halbfeldes (Asymmetrieindices zwischen 60 und 66 %). Die Standardfehler sind für beide Verhaltensmaße hoch (vgl. Tab. III-2.3.3.1.), so dass für die Einschätzung der Patientendaten nur jeweils +/- eine Standardabweichung herangezogen werden kann. Obwohl die Halbfeldanalyse hier somit insgesamt weniger Information über das Blickverhalten liefert, dient sie wegen der Vergleichbarkeit mit anderen Verhaltensstudien (vgl. Einleitung und III.2.2.) als eine mögliche methodische

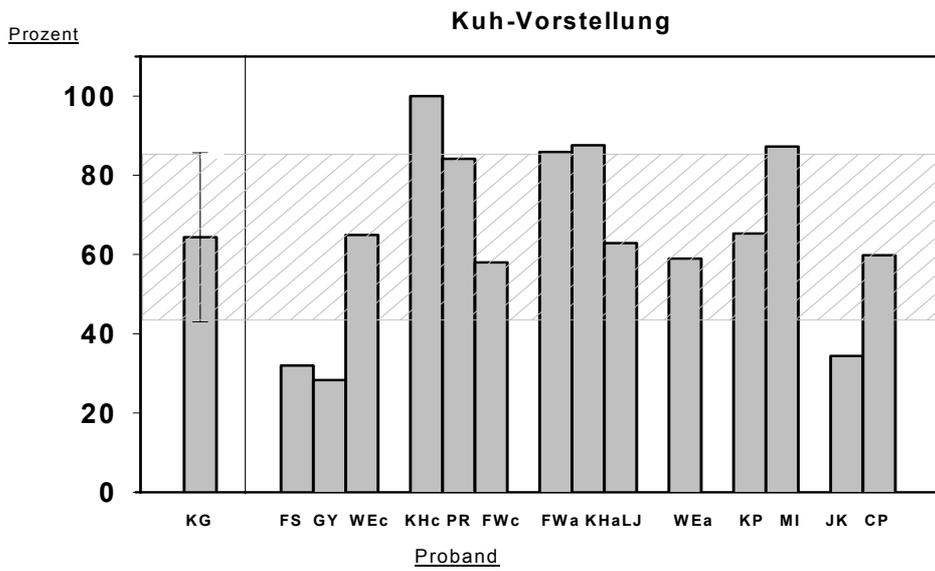
Maßnahme, hemianope- und Neglekt-Patienten zu untersuchen und gegebenenfalls zur Weiterführung umfangreicher Studien im Hinblick auf Diagnostik und Rehabilitation.

III.2.3.4. Ergebnisse

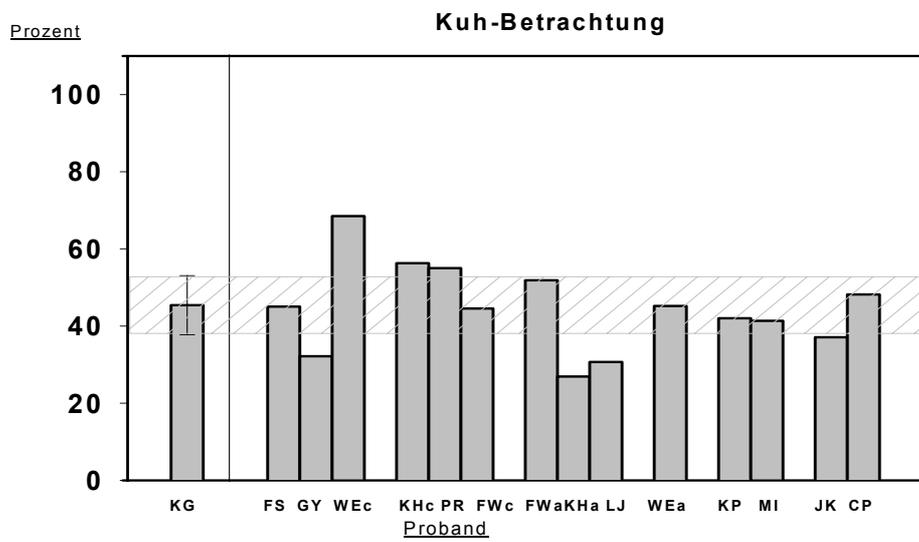
Die Abbildungen III-2.3.4.1.A-C und III.2.3.4.2.A-C zeigen die Asymmetrieindices für die anteilig durchmusterte Fläche bei den Stimuli Kuh und Portrait für die 14 Patienten in Relation zu dem Probandenkollektiv normalsichtiger Personen. Jede Sehbedingung wurde getrennt dargestellt. Die Tabelle III.2.3.4.1. liefert eine Zusammenfassung dieser Werte und eine Vereinfachung in Form von *größer-kleiner* Relationen. Ein nicht ausgefülltes Feld bedeutet, dass der Patient sich innerhalb von einer Standardabweichung der Normalsichtigen befindet und damit vor dem Hintergrund dieser Methode nicht von diesen unterscheidbar ist.

Für den Stimulus Kuh (Abb. III-2.3.4.1.) finden sich in der Vorstellungs- (A) und in der Betrachtungsbedingung (B) jeweils sieben Patienten, deren Werte ober- oder unterhalb einer Standardabweichung des Asymmetrieindex der Normalsichtigen liegen. Demgegenüber liegen beim freien Abruf (C) nur drei Patienten außerhalb dieses Maßes. Die Abbildungen III-2.3.4.2.A-C zeigen die Asymmetrieindices für die anteilig betrachtete Fläche beim Durchmustern des Stimulus Portrait für die Kontrollgruppe und die einzelnen Patienten. In der Vorstellungsbedingung (A) finden sich acht Patienten und in der Betrachtungsbedingung (B) sogar neun Patienten, deren Werte ober- oder unterhalb einer Standardabweichung des Asymmetrieindex der Kontrollgruppe liegen. Demgegenüber liegen beim freien Abruf (C) sieben Patienten außerhalb des Maßes der Gruppe Normalsichtiger.

A)



B)



Fortsetzung folgende Seite!

C)

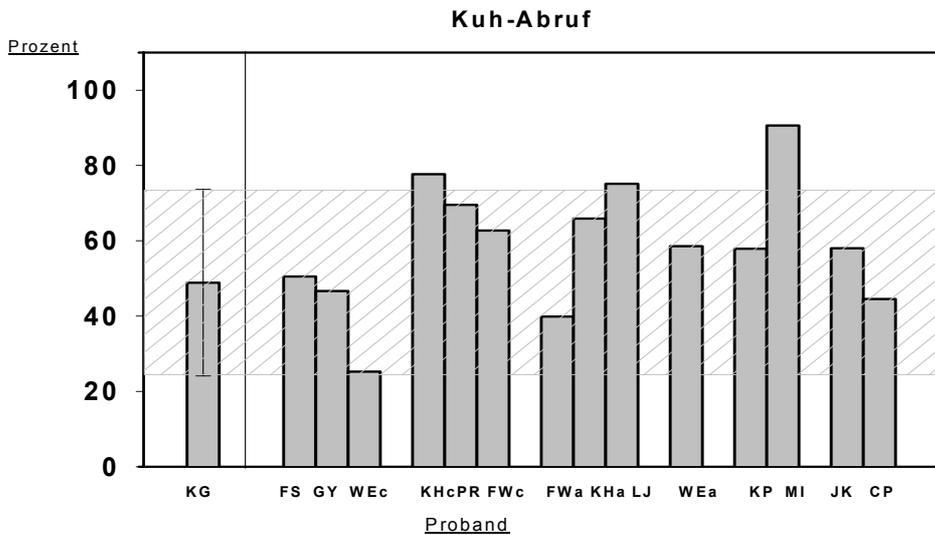
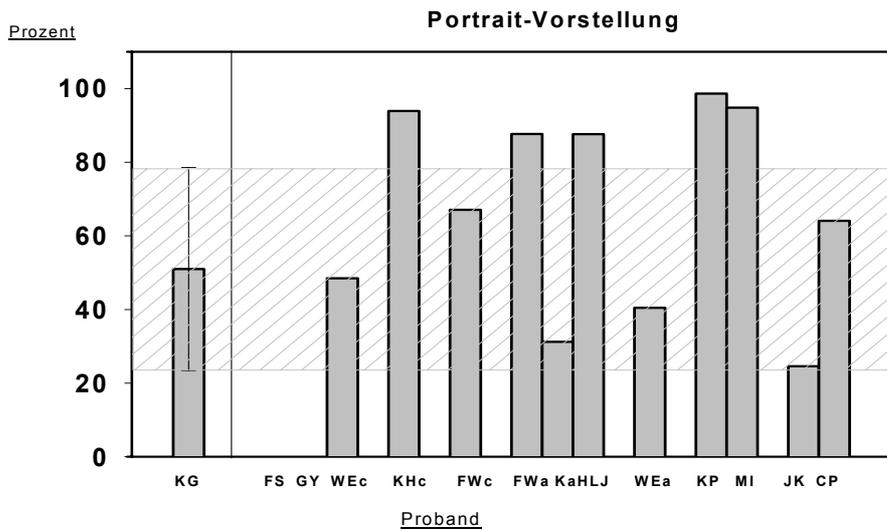


Abb. III-2.3.4.1.: Abbildungen zum Stimulus „Kuh“: Fläche

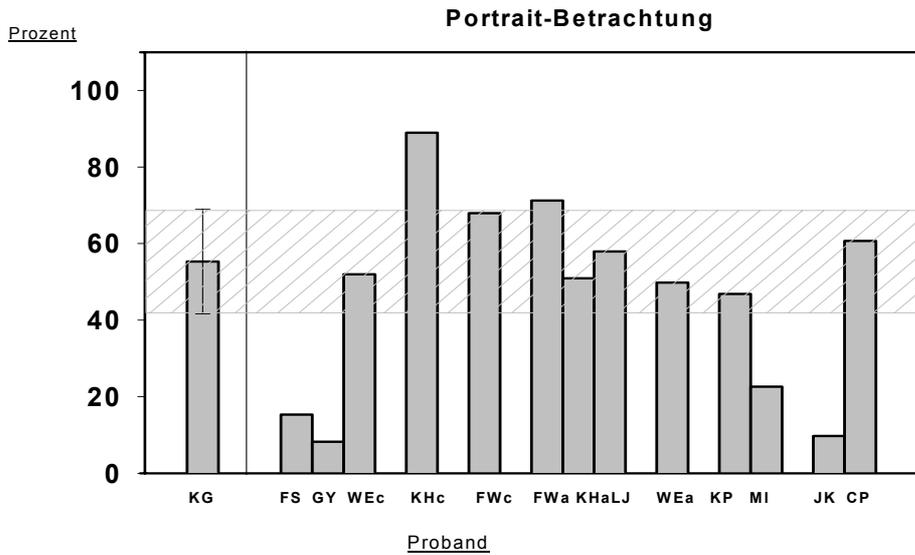
Darstellung der anteilig betrachteten Fläche (Asymmetrieindex) im linken Halbfeld in Prozent (Mittelwert \pm SEM bei der Kontrollgruppe KG) für die einzelnen Patienten für den Stimulus „Kuh“ unter den Sehbedingungen Vorstellung (A), Betrachtung (B) und Abruf (C). Die schraffierte Fläche bezeichnet den Bereich eines Standardfehlers der Kontrollgruppe. Patienten liegen entweder über dem Maß der KG (= schauen mehr in den Bereich mit dem Objekt von Interesse), unter dem Maß der KG (= schauen weniger in den Bereich mit dem Objekt von Interesse), oder liegen im Maß der KG (= unterscheiden sich in ihrer Aufenthaltsdauer nicht von der KG).

A)



Fortsetzung folgende Seite!

B)



C)

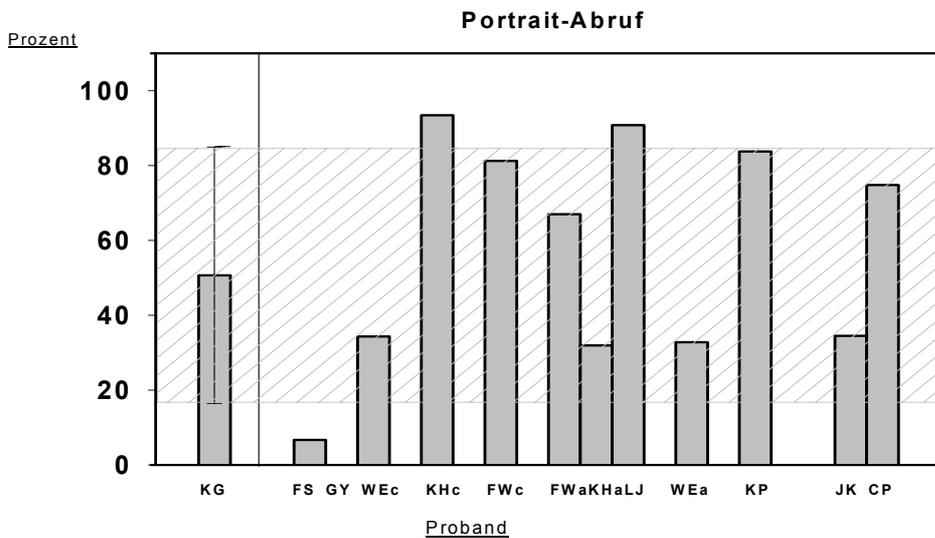


Abb. III-2.3.4.2.: Abbildungen zum Stimulus „Portrait“: Fläche

Darstellung der anteilig betrachteten Fläche (Asymmetrieindex) im linken Halbfeld (Mittelwert \pm SEM bei der Kontrollgruppe KG) für die einzelnen Patienten für den Stimulus „Portrait“ unter den Sehbedingungen Vorstellung (A), Betrachtung (B) und Abruf (C). Die schraffierte Fläche bezeichnet den Bereich eines Standardfehlers der Kontrollgruppe. Patienten liegen entweder über dem Maß der KG (= schauen mehr in das linke Halbfeld), unter dem Maß der KG (= schauen weniger in das linke Halbfeld), oder liegen im Maß der KG (= unterscheiden sich in ihrer Aufenthaltsdauer nicht von der KG).

Trotz der zum Teil hohen Varianz in den Durchmusterungen der Normalsichtigenpopulation findet sich somit eine große Zahl Patienten, die von diesen Werten abweicht. Nur drei Patienten weisen unter allen Bedingungen Werte auf, die innerhalb des Normalsichtigen-Maßes liegen, darunter FW_c mit rechtshemisphärischer chronischer Hemianopie, WE_a mit linkshemisphärischer akuter Hemianopie und CP mit akutem Neglekt (vgl. Tabelle III-2.3.1).

Tab. III-2.3.4.1.: Stimuli „Kuh“ und „Portrait“: Asymmetrieindices der prozentual betrachteten Fläche für 14 Patienten in Relation zu dem Probandenkollektiv normalsichtiger Personen in Form von *größer-kleiner Relationen* (< = unterhalb, > = oberhalb des Maßes der Normalsichtigen).

VP	Kuh			Portrait		
	Vorstellung	Betrachtung	Abruf	Vorstellung	Betrachtung	Abruf
Chronische Hem., rechtes HF betroffen						
FS	<			<	<	<
GY	<	<		<	<	<
WE_c		>				
Chronische Hem., linkes HF betroffen						
KH_c	>	>	>	>	>	>
PR		>		o.W.	o.W.	o.W.
FW_c						
Akute Hem., linkes HF betroffen						
FW_a	>			>	>	
KH_a	>	<				
LJ		<	>	>		>
Akute Hem., rechtes HF betroffen						
WE_a						
Neglekt, chronisch						
KP				>		
MI	>		>	>	<	o.W.
Neglekt, akut						
JK	<	<			<	
CP						

Das Durchmusteren einzelner Patienten-Untergruppen weist nicht uniform Verhaltensasymmetrien zugunsten des rechten oder linken Halbfelds auf. Obwohl einige Werte innerhalb der Blickpräferenzen der Normalsichtigen liegen, lassen sich dennoch für alle Untergruppen Trends nachweisen. Interessanterweise liegen diese Trends im Wesentlichen auch für die prozentuale Aufenthaltsdauer vor (Tabelle III-2.3.4.2.). Darum werden in der folgenden Beschreibung beide Verhaltensmaße gemeinsam betrachtet.

Tabelle III-2.3.4.2. zeigt die Asymmetrieindices der einzelnen Patienten für die prozentuale Aufenthaltsdauer bei den Stimuli „Kuh“ und „Portrait“. Jede Sehbedingung wurde getrennt dargestellt. Die Tabelle III-2.3.4.2. liefert dazu wie für das Flächenmaß eine Zusammenfassung der Werte und eine Vereinfachung in Form von *größer-kleiner* Relationen. Ein nicht ausgefülltes Feld bedeutet wiederum, dass der Patient sich innerhalb des Maßes von einer Standardabweichung der Gruppe Normalsichtiger befindet (vgl. Tab-2.3.3.1.).

Hemianope Patienten, deren rechtes Halbfeld betroffen ist, durchmustern unter den Sehbedingungen anteilig überwiegend weniger oder gleich viel Fläche und verweilen weniger oder gleich lang im linken Halbfeld als die Gruppe Normalsichtiger. Dies spricht für tendenziell vermehrtes Durchmustern des rechten, betroffenen Halbfeldes, unabhängig vom Erkrankungsstadium.

Tab. III-2.3.4.2.: Stimuli „Kuh“ und „Portrait“: Asymmetrieindices der prozentualen Aufenthaltsdauer für 14 Patienten (in Prozent) und Relation zu dem Probandenkollektiv normalsichtiger Personen in Form von *größer-kleiner Relationen* (< = unterhalb, > = oberhalb des Maßes der Normalsichtigen).

VP	Kuh			Portrait		
	Vorstellung	Betrachtung	Abruf	Vorstellung	Betrachtung	Abruf
Chronische Hem., rechtes HF betroffen						
FS	3 <	40 <	46	10 <	12 <	16 <
GY	52	54	59	1 <	14 <	0 <
WE_c	19 <	87 >	42	20 <	43 <	42
Chronische Hem., linkes HF betroffen						
KH_c	100 >	58	88	97 >	85 >	98 >
PR	56	66	56	o.W.	o.W.	o.W.
FW_c	60	45 <	46	60	38 <	74
Akute Hem., linkes HF betroffen						
FW_a	96 >	86 >	69	76	69	58
KH_a	100 >	41 <	84	88	97 >	64
LJ	50	28 <	92 >	90	63	100 >
Akute Hem., rechtes HF betroffen						
WE_a	71	71	53	5 <	17 <	0 <
Neglekt, chronisch						
KP	43	64	74	96 >	56	92
MI	90 >	63	100 >	88	0 <	o.W.
Neglekt, akut						
JK	42	42 <	81	2 <	6 <	2 <
CP	52	55	67	21 <	9 <	18 <

In umgekehrter Weise durchmustern Hemianopie-Patienten, deren linkes Halbfeld betroffen ist, anteilig überwiegend mehr Fläche und verweilen länger im linken Halbfeld als die normalsichtigen Probanden. Unabhängig vom Stadium ihrer Erkrankung zeigen Hemianopie-Patienten somit tendenziell entsprechend der Läsionsseite typisches Verhalten, i.e. ein vermehrtes Durchmustern des von der Läsion betroffenen Halbfeldes. Dieses Verhalten kann in jeder Sehbedingung auftreten. Abbildung III.2.3.4.3. zeigt drei Beispiele für die Durchmusterungen des Stimulus Portrait in der Betrachtungsbedingung. Man sieht deutlich das gegenüber der normalsichtigen Person BA (A) in das rechte Halbfeld verlagerte Durchmusterungen des chronisch hemianopen Patienten FS mit linkshemisphärischer Läsion (B) und das zugunsten des linken Halbfelds lateralisierte Durchmusterungen des rechtshemisphärisch betroffenen chronisch hemianopen Patienten KH_c (C).



Abb.III-2.3.4.3.A-C: Schematische Darstellung der Durchmusterungen des Stimulus Portrait in der Betrachtungsbedingung für den normalsichtigen Probanden BA (A) und zwei hemianope Patienten. (B) Patient FS mit linkshemisphärischer Läsion. (C) Patient KH_c mit rechtshemisphärischer Läsion. Gegenüber dem normalsichtigen Probanden zeigen beide Patienten vermehrtes Durchmusterung des jeweils betroffenen Halbfelds. Perimetrische Daten und Ausfallsschablonen der Patienten zum Vergleich befinden sich im Anhang der Arbeit. Die Abbildungen zeigen jeweils die scanpaths entsprechend der Auswahlkriterien Fixationszeiten >120 ms, Fixationsstabilität 1° Sehwinkel.

Beim Vergleich der Werte für beide Stimuli fallen für die hemianopen Patienten zwei Besonderheiten auf. Zum einen ist der beschriebene Trend für die Patienten, deren rechtes Halbfeld betroffen ist (FS, GY, WE_a, WE_c) für den Stimulus Portrait deutlicher ausgeprägter als für den Stimulus Kuh. Zum anderen fällt auf, dass KH_a und LJ, beides Patienten mit akuter Hemianopie im linken Halbfeld, sich ausschließlich während der Betrachtung des Stimulus Kuh in den Blickbewegungsmaßen entgegen dem beschriebenen Trend verhalten. Sie zeigen hier eine anteilig weniger ausgedehnt durchmusterter Fläche und geringere Aufenthaltsdauern als die Normalsichtigen.

Treten Unterschiede zur Gruppe der Normalsichtigen für die Neglekt-Patienten auf, so tendieren chronische Neglekt-Patienten in den Vorstellungsbedingungen zu vermehrtem Durchmusterern des betroffenen Halbfeldes, akute Neglekt-Patienten durchmusterern zeitlich und räumlich entweder ein Areal innerhalb des Maßes der Normalsichtigen oder darunter (Tab.III.2.3.4.2.). Je ein Beispiel für dieses Verhalten findet sich in Abb.III-2.3.4.4.

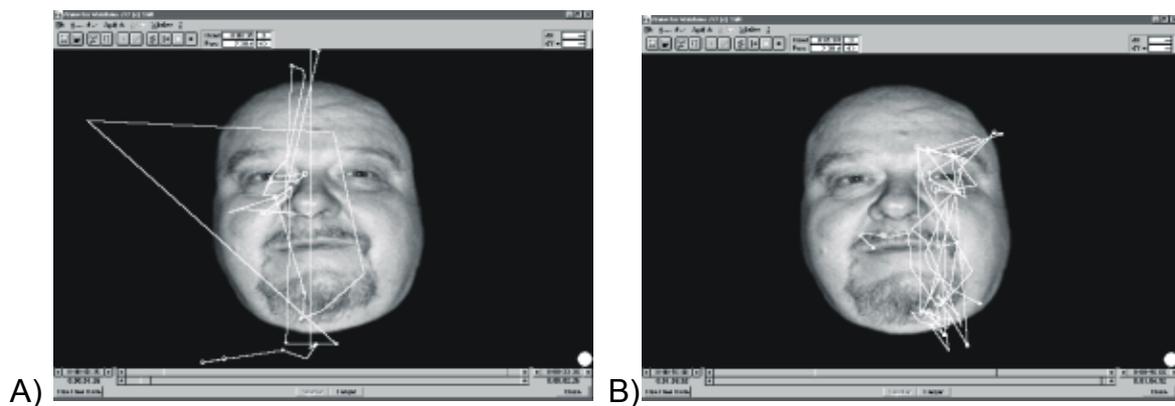


Abb.III-2.3.4.4.A-B: Schematische Darstellung der Durchmusterungen des Stimulus Portrait in der Vorstellungsbedingung bei zwei Neglekt-Patienten. (A) Patient KP mit chronischem Neglekt. (B) Patient JK mit akutem Neglekt. Gegenüber den normalsichtigen Probanden zeigt KP vermehrtes Durchmusterern des betroffenen Halbfeldes und JK kaum Blickverhalten in das betroffene Halbfeld. Die Abbildungen zeigen jeweils die scanpaths entsprechend der Auswahlkriterien Fixationszeiten >120 ms, Fixationsstabilität 1° Sehwinkel.

Für die beiden akuten Neglekt-Patienten ist dabei die zeitliche Asymmetrie für den Stimulus Portrait wesentlich deutlicher ausgeprägt als für den Stimulus Kuh. Die akuten Neglekt-Patienten verweilen hier länger im rechten Halbfeld, somit aber in ihrem gesunden Gesichtsfeldbereich. Die beschriebenen Verhaltensweisen betreffen wiederum alle drei Sehbedingungen. Vorstellung und Betrachtung scheinen also in gleicher Weise beeinflusst zu werden.

Über den Vergleich der Patienten mit den Normalsichtigen für die Richtung der ersten Sakkade werden die Befunde aus dem experimentellen Exkurs B2 bestätigt und ergänzt. Mit der Ausnahme zweier Untergruppen schaut die überwiegende Anzahl der Patienten beim Stimulus Kuh in allen Sehbedingungen in das linke Halbfeld zum Objekt von Interesse. Damit verhalten sich diese Patienten wie Normalsichtige (Tabelle III-2.3.3.). In systematischer Weise weichen hiervon akute Patienten ab, deren linkes Halbfeld betroffen ist. Unabhängig von ihrem Läsionsort schauen diese in der Betrachtung zuerst in das gesunde Halbfeld.

Tab. III-2.3.3.: Stimuli „Kuh“ und „Portrait“: Richtung der ersten Sakkade für 14 Patienten in Relation zu dem Probandenkollektiv normalsichtiger Personen. Angegeben ist jeweils das Zielhalbfeld (li = linkes Halbfeld; re = rechtes Halbfeld).

VP	Kuh			Portrait		
	Vorstellung	Betrachtung	Abruf	Vorstellung	Betrachtung	Abruf
KG (li:re)	17:2	17:2	17:2	10:8	13:5	9:9
Chronische Hem., rechtes HF betroffen						
FS	li.	li.	li.	re.	li.	re.
GY	li.	li.	li.	re.	re.	re.
WE_c	re.	li.	li.	re.	re.	re.
Chronische Hem., linkes HF betroffen						
KH_c	li.	li.	li.	li.	li.	li.
PR	li.	li.	li.	o.W.	o.W.	o.W.
FW_c	li.	li.	li.	li.	li.	li.
Akute Hem., linkes HF betroffen						
FW_a	li.	re.	li.	re.	li.	li.
KH_a	li.	re.	li.	li.	li.	li.
LJ	li.	re.	re.	li.	li.	li.
Akute Hem., rechtes HF betroffen						
WE_a	li.	li.	re.	re.	re.	re.
Neglekt, chronisch						
KP	li.	li.	li.	li.	li.	li.
MI	li.	li.	li.	li.	re.	o.W.
Neglekt, akut						
JK	li.	re.	li.	re.	re.	re.
CP	li.	re.	li.	re.	re.	re.

Vergleicht man die Patientenbefunde zu den Stimuli Kuh und Portrait miteinander, ergeben sich weitere Trends. Alle Hemianopie-Patienten, deren rechtes Halbfeld betroffen ist, schauen beim Stimulus Kuh in das linke Halbfeld mit dem Objekt von Interesse, beim Stimulus Portrait, der ja keinen besonderen inhaltlichen Salienzbereich besitzt, aber in das rechte, betroffene Halbfeld. Für Hemianopie-

Patienten mit Einschränkungen im linken Halbfeld zeigt sich ein solches einheitlich entgegengesetztes Verhalten nicht. Auch chronische Neglekt-Patienten richten die erste Sakkade tendenziell wie beim Stimulus Kuh in das linke Halbfeld. Demgegenüber richten akute Neglekt-Patienten beim Stimulus Portrait die erste Sakkade auch in der Vorstellung und beim freien Abruf uniform in das rechte Halbfeld.

Zusammenfassend kann man also auf Basis der ersten Sakkade links- und rechtshemisphärisch betroffene Hemianopie-Patienten unterscheiden, sowie akute Hemianopie-Patienten mit Einschränkungen im linken Halbfeld und akute Neglekt-Patienten von jeweils allen anderen Gruppen.

Darüber hinaus zeigen sich über die Patientengruppen Unterschiede zwischen Vorstellung und Betrachtung: die akuten Hemianopie-Patienten mit Einschränkungen im linken Halbfeld und akute Neglekt-Patienten schauen in der Vorstellung zum Objekt von Interesse in das betroffene Halbfeld, jedoch nicht in der Betrachtung. Sie zeigen dieses Verhalten nur, wenn dort ein Objekt von Interesse vorhanden ist.

III.2.3.5. Zusammenfassung und Deutung der Ergebnisse für den Experimentellen Exkurs B3 und Vergleich der Befunde des Experimentellen Teils B

Die Durchmusterungen komplexer visueller Szenen in Vorstellung und Betrachtung unterscheiden sich teilweise von demjenigen Normalsichtiger. Trotz hoher Varianz unter den Normalsichtigen weichen die Patienten in den Sehbedingungen über diese Werte hinaus zum Teil systematisch in ihrem Blickverhalten ab. Die kleinen Untergruppen verhalten sich dabei nicht uniform, so dass die Ergebnisse auch aus diesem Grund nur Tendenzen aufzeigen. In den meisten Fällen weisen die gefundenen Trends für die untersuchten Blickbewegungsparameter dennoch in dieselbe Richtung.

Hemianopie-Patienten zeigen in jeder Sehbedingung überwiegend blickkompensatorisches Verhalten in Form vermehrter zeitlicher und räumlicher Durchmusterung des betroffenen Halbfelds. Ist ein inhaltlich salientes Objekt im gesunden Halbfeld positioniert, ist dieser Trend weniger deutlich ausgeprägt. Zwei der drei akuten Hemianopie-Patienten, deren linkes Halbfeld betroffen ist, verbringen während der Betrachtung des Stimulus Kuh weniger Zeit und durchmustern eine

anteilig geringere Fläche im linken Halbfeld als die Normalsichtigen. Möglicherweise können diese noch kein blickkompensatorisches Verhalten in den betroffenen Bereich ausführen, während es ihnen aber in den Vorstellungsbedingungen gelingt. Während für alle anderen hemianopen Patienten auch der Trend vorliegt, die erste Sakkade in allen Sehbedingungen wie die Normalsichtigen zum salienten Objekt von Interesse zu richten, profitiert die oben benannte Untergruppe nicht von diesem cue. Auf die Bedeutung eines solchen externen cues, Blickverhalten auch bei Patienten steuern zu können, weist auch die Tendenz hin, dass Hemianopiker, deren rechtes Halbfeld betroffen ist, beim Stimulus Kuh zuerst nach links, hin zum Objekt von Interesse schauen, beim Stimulus Portrait jedoch in das rechte, betroffene Halbfeld hinein.

Während chronische Neglekt-Patienten in den Sehbedingungen tendenziell im betroffenen Halbfeld zeitlich und anteilig räumlich mehr Durchmustern als Normalsichtige, verhalten sich akute Neglekt-Patienten tendenziell entgegengesetzt. Auch dieses Verhalten scheint durch Saliensbereiche beeinflussbar zu sein. Dabei wiederholt sich zusätzlich noch einmal der Befund aus dem experimentellen Exkurs B2, dass chronische Neglekt-Patienten die erste Sakkade kompensatorisch in das betroffene Halbfeld hinein richten, teilweise auch dann, wenn dort kein besonderer Saliensbereich vorliegt. Dabei erhärtet sich zusätzlich der Trend, dass akute Neglekt-Patienten ausschließlich in den Vorstellungsbedingungen die initiale Sakkade in das betroffene Halbfeld richten, und ausschließlich dann, wenn ein cue in Form eines salienten Bereiches vorliegt. Die akuten Neglekt-Patienten zeigen somit eher eine läsionstypische Vernachlässigung des betroffenen Gesichtsfeldbereichs. Die Ausnahme der initialen Sakkade in der Vorstellung beim Stimulus Kuh könnte hier einem „verbalen cueing“ gleichkommen, einer Vorgabe zum Objekt von Interesse zu schauen, die von den Patienten aber über die Zeit nicht gehalten werden kann.

Mit zwei Ausnahmen weisen somit alle aufgezeigten Befunde für die Vorstellung und die Betrachtung jeweils immer in dieselbe Richtung. Insgesamt scheint es, dass beim Durchmustern komplexer Szenen sowohl die Ausdehnung der betrachteten Fläche, als auch die Verweildauer in gleicher Weise betroffen sind. Bei beiden Sehbedingungen greifen Kompensationsmechanismen und auch läsionsbedingtes Verhalten zeigt sich in Vorstellung und Betrachtung gleich. Ausnahme stellt die

initiale erste Sakkade dar. Damit zeigen sich deutliche Parallelen zum experimentellen Exkurs B2.

Die vorliegenden Ergebnisse der experimentellen Exkurse B2 und B3 zeigen in ersten Trends, dass man mit Hilfe verschiedener Sehbedingungen und mit Hilfe der ausgewählten Blickbewegungsparameter im Rahmen einer Halbfeldanalyse zwischen verschiedenen Patientengruppen unterscheiden kann. Ergänzend zu den Analysen über individuelle Ausfallschablonen (Experiment B1), in denen vor allem Aussagen über das Verhältnis zwischen den Ausdehnungen der durchmusterten Areale in den verschiedenen Sehbedingungen getroffen wurden, zeigt Exkurs B2, dass nicht allein die anteilig durchmusterte Fläche im betroffenen Halbfeld in den Vorstellungsbedingungen gegenüber der Betrachtung erhöht ist, sondern dass dies auch für das zeitliche Verweilen gilt. Zusätzlich können über die Richtung der ersten Sakkade chronische von akuten Patienten als Untergruppen unterschieden werden, wie Experiment B1 es in Einzelfällen andeutete. Es wurde gezeigt, dass ein solches initiales Blickverhalten akuter Patienten in das betroffene Halbfeld hinein ausschließlich in beiden Vorstellungsbedingungen durch inhaltlich saliente Objekte von Interesse gelenkt werden kann, jedoch bei der Bildbetrachtung nicht. Vorstellung scheint dabei initiales Schauen in das betroffene Halbfeld zu erleichtern. Exkurs B3 gibt über den Vergleich mit Normalsichtigen einige Hinweise auf die Möglichkeit der Differenzierung zwischen verschiedenen Patientengruppen über deren Blickbewegungen in verschiedenen Sehbedingungen. Herauszustellen ist, dass die gefundenen Trends sowohl für das durchmusterte Areal, als auch für die zeitlichen Präferenzen immer in die gleiche Richtung weisen. Insbesondere die Steuerung von Blickverhalten, hier verstanden als die Förderung oder Hemmung blickkompensatorischen Durchmusterens durch bildimmanente Salienzbereich wird deutlich. Tendenziell bestätigt diese „vereinfachte“ Halbfeldanalyse die Befunde von Experiment B1, obwohl für die Gruppe der Normalsichtigen hohe Varianzen vorliegen. Es wird aber auch deutlich, dass innerhalb jeder Untergruppe Patienten in einigen Sehbedingungen per se nicht von Normalsichtigen Probanden unterscheidbar sind. Die gefundenen Trends in den Durchmusterungen müssen darum in einem eigenständigen Experiment mit mehr Probanden und einer alterskorrelierten Kontrollgruppe überprüft werden.

IV. DISKUSSION

IV.1. Zusammenfassung der Ergebnisse

Experimenteller Teil A: Untersuchung Normalsichtiger

Die Ausdehnung der durchmusterten Fläche ist für die Vorstellung einer komplexen visuellen Szene kleiner als bei deren tatsächlicher Betrachtung. Dies trifft sowohl für die reine Vorstellung, als auch für den freien Abruf aus dem Gedächtnis zu. Vorstellung und freier Abruf unterscheiden sich dabei nicht (Experiment A1).

Bei der Analyse der prozentual betrachteten Fläche im Rotationsexperiment (Experiment A2) fällt zusätzlich auf, dass im Bereich des salienten Objekts von Interesse während der Vorstellungsbedingung und dem Abruf im Mittel überwiegend eine größere Fläche durchmustert wird als in der Betrachtungsbedingung. In ihrer Gesamtheit sprechen diese Befunde dafür, dass in der Vorstellung der betrachtete Gesichtsfeldbereich nicht allein kleiner ist, sondern sich verkleinert in Richtung Objekt von Interesse.

Zusätzlich variieren die prozentualen Aufenthaltsdauern mit der Sehbedingung. Während der Vorstellungsbedingungen verweilen die Probanden länger in den Quadranten als bei der Betrachtung. Zu den deutlichsten Unterschieden kommt es in denjenigen Quadranten, in denen sich ein inhaltlich salientes Objekt befindet: Ist ein salientes Objekt von Interesse vorhanden, wird dort in der Vorstellung noch einmal mehr verweilt als in der Betrachtung und auch mehr als beim freien Abruf.

Das bedeutet, im Vergleich von Vorstellung und Betrachtung spielen formale (Ausdehnung) und inhaltliche (Richtung) Aspekte eine Rolle. Möglicherweise sieht man in der Vorstellung nicht allein ein insgesamt „kleineres“ Bild, sondern auch aufmerksamkeitsabhängig ein vom Original „verschieden“ dimensioniertes Bild.

Neben diesen Unterschieden weisen die Durchmusterungen bei Betrachtung und Vorstellung auch eine Reihe Gemeinsamkeiten auf. Das Betrachten und Vorstellen komplexer visueller Szenen erfolgt primär inhaltsgeleitet. Die Richtung der ersten Sakkade folgt initial nicht nur bei der Betrachtung, sondern auch bei Vorstellung und freiem Abruf dem inhaltlich salienten Objekt von Interesse im Bild.

Informationsrelevante Bildbereiche werden also sowohl bei der Betrachtung, als auch während visueller Vorstellung stets zuerst aufgesucht.

Vermeehrt diese Bildanteile mit höchster inhaltlicher Salienz weisen in jeder Sehbedingung auch höhere Verweildauern auf. Dort, wo für die Versuchsperson kaum Informationsgehalt zu erwarten ist, verringert sich die Aufenthaltsdauer. Das Verweilen innerhalb einer Bildregion über die Zeit folgt damit unter jeder Sehbedingung aufmerksamkeitsgeleitet am Bildinhalt orientierten Strategien. Ist also innerhalb eines umschriebenen Bildbereichs das bildimmanente Objekt von Interesse positioniert, dann wird dorthin während Betrachtung und Vorstellungsbedingungen die erste Sakkade gerichtet, dort wird länger verweilt und es wird eine größere Fläche durchmustert als wenn sich das saliente Objekt nicht in diesem Bereich befindet.

Eine initiale und überdauernde Aufmerksamkeitsfokussierung mit Einfluss auf die Ausdehnung der Durchmusterung liegt somit nicht nur während der Bildbetrachtung, sondern auch bei visueller Vorstellung vor.

Blickverhalten und Blicksteuerung sind jedoch nicht ausschließlich vom Bildinhalt abhängig. Betrachtet man die Absolutzahlen für die Probanden, wird für die erste Sakkade in Vorstellungsbedingungen und Betrachtung unabhängig vom Stimulus eine Präferenz für die oberen beiden Quadranten gegenüber den unteren beiden Quadranten deutlich (Experiment A1). Vergleicht man die Mittelwerte für die prozentual betrachtete Fläche in den Quadranten (Experimente A2, A3) wird außerdem deutlich, dass bei beiden Gruppen unabhängig vom Inhalt der komplexen visuellen Szene (Art der Rotation) in der Vorstellungs- und in der Abrufbedingung tendenziell mehr Fläche in den beiden unteren Quadranten abgedeckt wird als in den oberen. Dies trifft um so mehr zu, falls sich in einem unteren Quadranten das Objekt von Interesse befindet. Für die Betrachtungsbedingung ist hier ein solcher Effekt zwischen oberem und unterem Halbfeld nicht so deutlich zu erkennen.

Dabei lässt die Analyse des Blickverhaltens und der Blicksteuerung bei der Gruppe älterer Probanden insgesamt darauf schließen, dass bei der Durchmusterung komplexer visueller Szenen das Verhalten älterer Probanden grundsätzlich ähnlich demjenigen jüngerer Probanden ist.

Experimenteller Teil B: Untersuchung von Patienten mit Hemianopie und Neglekt

Im experimentellen Teil B sollte untersucht werden, ob Läsionen innerhalb des visuellen Systems die im Teil A gefundenen Beziehungen zwischen Vorstellung und Betrachtung komplexer visueller Szenen beeinflussen.

Wenn visuelle Einschränkungen von Patienten Einfluss haben auf die Sehbedingungen Vorstellung, Betrachtung und freier Abruf, dann sollte sich dies entsprechend ihrer Erkrankung über ihr Blickverhalten und damit das Durchmustern der Bilder zeigen. Über den Vergleich der Durchmusterungen in den Sehbedingungen sollte dann herausgefunden werden, ob bei Patienten die durchmusterten Areale während visueller Vorstellung und freiem Abruf des Gesehenen wie bei Normalsichtigen kleiner sind als bei der Betrachtung, ob ebenfalls Abhängigkeiten der Durchmusterung vom Objekt des Interesses bestehen und ob die drei Sehbedingungen in unterschiedlicher Weise betroffen sind.

Innerhalb des untersuchten Gesichtsfeldbereichs durchmustern alle Patienten komplexe visuelle Szenen auch in demjenigen Anteil, der jeweils von ihrer Läsion betroffen ist (Experiment B1). Dieses Explorationsverhalten zeigt sich bei der Betrachtung und bei den Vorstellungsbedingungen.

Für den Großteil der Probanden zeigt sich zum einen, dass in der Vorstellung im Läsionsbereich anteilig zur Gesamtdurchmusterung mehr Fläche durchmustert wird als unter der Betrachtungsbedingung, und zum anderen, dass Unterschiede in der Durchmusterung zwischen auf verbaler Information beruhender Vorstellung und dem freien Abruf des bereits gesehenen Stimulusbildes bestehen. Dabei deutet die Durchsicht der einzelnen Durchmusterungspfade an, dass für Patienten mit okzipitaler Schädigung wie bei Normalsichtigen die gesamt durchmusterte Fläche in der Vorstellung weniger ausgedehnt ist als bei der Bildbetrachtung. Im Trend durchmustern Neglekt-Patienten bei der Bildbetrachtung deutlich mehr im gesunden Bereich, während sie in den Vorstellungen deutlich mehr in den Ausfallbereich schauen. Ergänzend finden sich erste Hinweise darauf, dass inhaltlich saliente Objekte von Interesse in Interaktion mit blickkompensatorischem Verhalten externe cue-Funktionen übernehmen können und so das Blickverhalten beeinflussen.

Die experimentellen Exkurse B2 und B3 bestätigen und ergänzen explorativ die Befunde des Experiments B1. In ersten Trends zeigen sie, dass man mit Hilfe verschiedener Sehbedingungen und mit Hilfe der ausgewählten Blickbewegungsparameter im Rahmen einer Halbfeldanalyse zwischen verschiedenen Patientengruppen unterscheiden kann. Exkurs B2 führt an, dass neben der anteilig durchmusterten Fläche im betroffenen Halbfeld in den Vorstellungsbedingungen auch das zeitliche Verweilen gegenüber der Betrachtung erhöht ist. Über die Richtung der ersten Sakkade können chronische von akuten Patienten als Untergruppen unterschieden werden. Es wurde gezeigt, dass ein initiales Blickverhalten akuter Hemianopie- und Neglekt-Patienten in das betroffene Halbfeld hinein ausschließlich in den Vorstellungsbedingungen durch inhaltlich saliente Objekte von Interesse gelenkt werden kann, jedoch bei der Bildbetrachtung nicht. Vorstellung scheint dabei initiales Schauen in das betroffene Halbfeld zu erleichtern. Chronische Patienten richten die erste Sakkade unter allen Sehbedingungen überwiegend zum Objekt von Interesse.

Exkurs B3 gibt über den Vergleich mit Normalsichtigen Hinweise auf die Möglichkeit der Differenzierung zwischen verschiedenen Patientengruppen über deren Blickbewegungen in verschiedenen Sehbedingungen. Herauszustellen ist, dass die gefundenen Trends sowohl für das durchmusterte Areal, als auch für die zeitlichen Präferenzen immer in die gleiche Richtung weisen. Für chronisch hemianope Patienten zeigen sich gegenüber Normalsichtigen erhöhte Durchmusterungsanteile im betroffenen Halbfeld in jeder Sehbedingung. Diese Durchmusterungen sind durch reizimmanente Saliensbereiche initial und über die Zeit beeinflussbar. Für die akuten Hemianopie-Patienten deutet sich eine Dissoziation zwischen Betrachtung und Vorstellung an. Sie zeigen bei der Reizbetrachtung über den Vergleich mit Normalsichtigen verminderte Durchmusterungsanteile in ihrem betroffenen Halbfeld und ihre initialen Augenbewegungen können nicht durch einen Saliensbereich beeinflusst werden. Während der Vorstellungsaufgaben verhalten sie sich wie die chronischen Hemianopie-Patienten. Eine ähnliche Trennung deutet sich für Neglekt-Patienten an. Die chronischen Neglekt-Patienten tendieren zu erhöhter räumlicher und zeitlicher Durchmusterung des betroffenen Halbfelds, akute Neglekt-Patienten verhalten sich eher entgegengesetzt. Nur in der Vorstellung profitieren letztere initial von einem Saliensbereich im betroffenen Halbfeld, nicht aber bei der Betrachtung. Dieses initiale Verhalten kann dann über die Zeit nicht gehalten werden.

Tendenziell bestätigt somit die Halbfeldanalyse die Befunde von Experiment B1, obwohl für die Gruppe der Normalsichtigen hohe Varianzen vorliegen. Es wird aber auch deutlich, dass innerhalb jeder Untergruppe Patienten in einigen Sehbedingungen per se nicht von Normalsichtigen Probanden unterscheidbar sind. Die gefundenen Trends in den Durchmusterungen müssen darum in einem eigenständigen Experiment mit mehr Probanden und einer alterskorrelierten Kontrollgruppe überprüft werden.

Wie für die Experimente des Teils A gilt es auch hier anzumerken, dass das Verhalten eines einzelnen Patienten unter den verschiedenen Sehbedingungen zwar wie beschrieben in dieselbe Richtung weist, dabei die absoluten Werte aber nicht identisch sind. Dabei darf nicht allein zwischen Vorstellungsbedingungen und Betrachtungsbedingung unterschieden werden, sondern es ist auch zwischen Vorstellung und freiem Abruf zu unterscheiden. Außerdem variiert das Blickbewegungsverhalten wie bei Normalsichtigen auch bei Patienten mit den Sehbedingungen und dem Inhalt der komplexen visuellen Szene in systematischer Weise. Trotz „Sehbehinderung“ kommt Salienzbereichen innerhalb eines Bildes die Bedeutung zu, Blickverhalten steuern zu können. Dies trifft für die tatsächliche Bildbetrachtung zu, aber auch für die Vorstellung, bei der auf verbale Information zurückgegriffen werden muss, und auf den freien Abruf, der überwiegend auf visuelle Gedächtnisinhalte abzielt.

IV.2. Methodische Aspekte der Messung durchmusterter Areale bei visueller Vorstellung und Betrachtung

Mit vorliegender Arbeit liegen für komplexe visuelle Szenen bei Vorstellung, Betrachtung und freiem Abruf vergleichbare Durchmusterungsprinzipien zugrunde wie in vorhergegangenen Untersuchungen, die einfachere Reizmuster zur Analyse von Durchmusterungen verwendeten (Kosslyn 1973, Cooper 1975, Brandt 1995). Dabei führen sowohl die ausgewählten Blickbewegungsparameter als auch die Analyseverfahren zu der Literatur vergleichbaren Ergebnissen: verschiedene komplexe visuelle Szenen werden unterschiedlich durchmustert (Brandt & Stark 1997). Dabei ähneln sich die Durchmusterungen derselben Szene unter verschiedenen Sehbedingungen mehr als die Durchmusterungen verschiedener Szenen unter derselben Sehbedingung.

Die vorangegangenen Untersuchungen untermauern für komplexe Reize die Befunde von Brandt und Stark (1997), dass spontane Augenbewegungen während visueller Vorstellung den Inhalt einer einfachen visuellen Szene reflektieren können. Auch für komplexe visuelle Bilder lässt sich dabei über das Messen von Augenbewegungen ermitteln, in wieweit sich die durchmusterten Areale bei bildlichem Vorstellen und tatsächlichem Sehen eines komplexen visuellen Bildes ähneln und unterscheiden.

Grundsätzlich kann die an Gesichtsfeldbereichen orientierte Auswerteform also neben den Reaktionszeitexperimenten (z.B. Finke & Pinker 1983) und String-Editing Scanpath-Analysen (z.B. Gbadamosi & Zangemeister 2001) gleichberechtigte Ergebnisse liefern.

Mit der Messung von Augenbewegungen wurde hier die Möglichkeit gegeben, mit physiologischen Meßmethoden und über den Vergleich physiologischer Maße Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Vorstellung und Betrachtung visueller Reize zu erfassen. Die erhobenen Verhaltensmaße sind zum einen unabhängig von Selbsteinschätzungen des Probanden zu visuell-piktoralen Denkgewohnheiten, wie sie beispielsweise der „Individual Differences Questionnaire“ (Paivio & Horstman 1983) fordert, und verlangen zum anderen nicht vielfach wechselnde aktive kognitive Komponenten wie die „Imagery Test Batterie“ (Nagel 1993).

Die Untersuchung der tatsächlich durchmusterten Areale bei Patienten hat weitere Möglichkeiten eröffnet. Die Durchmusterungen während Vorstellung und Betrachtung können direkt gegenübergestellt und quantifiziert werden. Gegenüber herkömmlicher Gesichtsfeldperimetrie, die auf exogene Reizgebung angewiesen ist (Straumann & Henn 1998), konnten die Probanden hier bei der Vorstellung auf interne Generierungsprozesse zurückgreifen. Die Probanden mussten somit keinen exakt vorgegebenen Zielpunkt aufsuchen, sie konnten innerhalb des Gesamtreizes frei explorieren. Zudem eröffnete die Verwendung komplexer, zusammenhängender visueller Szenen die Möglichkeit, in Vorstellung und Betrachtung anhand des Bildkontexts zu explorieren und nicht allein auf einen einzigen cue hin den Blick zu richten. Auf diese Weise konnte die Dynamik von Augenbewegungen im Wechselspiel von Sakkaden und Fixationen berücksichtigt werden. Wie in den weiteren Abschnitten diskutiert wird, können so initiale Durchmusterungsschritte von Blickverhalten über die Zeit unterschieden werden und es kann zusätzlich gezeigt

werden, dass Patienten auch in den perimetrisch bestimmten Ausfallbereich schauen.

IV.3. Bildliche Vorstellung und Betrachtung: Dissoziationen und Gemeinsamkeiten bei der Durchmusterung komplexer visueller Szenen

IV.3.1. Kompression visueller Vorstellungsbilder

Die durchmusterten Areale bei bildlichem Vorstellen und tatsächlichem Sehen eines komplexen visuellen Stimulus unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Ausdehnung. Die durchmusterte Fläche ist beim Vorstellen kleiner als bei der Betrachtung derselben Szene. Dies belegt die Vermutungen vorangegangener Studien zu Durchmusterungen bei visueller Vorstellung (Kosslyn 1978, Farah 1995). Ein komplementärer Befund findet sich für die Geschwindigkeit von Bewegungen bei motorischer Vorstellung (Sirigu et al. 1996, Sirigu & Duhamel 2001). Bei einer Aufgabe zum visuell-geleiteten Zeigen korrelierten Vorstellung und Durchführung sehr hoch, wobei der zeitliche Aufwand bei der Vorstellung der Aufgabe systematisch und regelmäßig unter dem der Durchführung lag.

Die durchmusterten Areale unterscheiden sich bei auf verbaler Information beruhender Vorstellung und freiem Abruf bereits gesehenen Bildmaterials nicht. Gbadamosi und Mitarbeiter (2001) fanden in ihrer Studie ebenfalls größere Ähnlichkeiten zwischen den „Imageries untereinander“ als zwischen „imagery und Stimulusbetrachtung“. Die Autoren zeichneten zunächst bei der Betrachtung eines Reizes die Durchmusterung auf und anschliessend konsekutiv mehrmals denselben Stimulus in Form freien Abrufs. Dabei wurde ein bildhaft organisiertes Gedächtnissystem angesprochen. Jetzt wurde gezeigt, dass auch allein auf verbaler Information beruhendes Vorstellen – ohne genaue Kenntnis des tatsächlichen Bildes – bei der Durchmusterung zu größerer Ähnlichkeit zwischen den Vorstellungsbildern führen kann als die Durchmusterungen zwischen einer Vorstellungsform und der Bildbetrachtung. Folgt man der Argumentationslinie der Arbeitsgruppe um Gbadamosi, dass ein extrastriäres „high-level“-Areal einen Prototypen des Gesehenen erstellt, der dann bei einer nachfolgenden Vorstellung in einen „visuellen Puffer“ eingelesen wird, so kann man jetzt annehmen, dass diesem „high-level“-Areal sowohl visuelle, als auch verbale Gedächtnissysteme beigeordnet sein müssen oder

das dieses Areal selbst visuelle und verbale Gedächtnisleistungen beinhaltet und integriert.

IV.3.2. Gemeinsame Durchmusterungsprinzipien in Vorstellung und Betrachtung

Den Durchmusterungen derselben Szenen unter den Sehbedingungen Vorstellung, Betrachtung und freier Abruf liegen innerhalb der Grenzen des durchmusterter Areal gemeinsame Prinzipien der Blickstrategien zugrunde. Die Bilddurchmusterung erfolgt erstens primär inhaltsgeleitet. Dies wird zweitens um so deutlicher, je eindeutiger ein salientes Objekt von Interesse innerhalb des Stimulus zuzuordnen ist. Inhaltlich saliente Objekte von Interesse werden bei Vorstellung, Betrachtung und freiem Abruf als erstes aufgesucht. Dieser Befund, der über die Richtung der ersten Sakkade erhalten werden konnte, stimmt mit den ursprünglichen Ergebnissen zur Feature-Ring-Hypothese überein, dass zu Beginn des Explorationsvorgangs aufmerksamkeitsbezogen charakteristische Merkmale eines Stimulus aufgesucht werden (Noton & Stark 1971a-c, neueste Version in Stark et al. 1999).

Der Befund, dass im Quadranten mit einem Objekt von Interesse mehr Zeit verbracht wird, bestätigt die Annahme erhöhter Fixationsdauern in diesem Bereich des Stimulus (vgl. Gbadamosi und Zangemeister 2001, Johnston 1988). Bereiche mit weniger Informationsgehalt werden demzufolge weniger lang betrachtet und es kommt zu einer charakteristischen Verteilung von salienzabhängigen, selektiven Aufmerksamkeitsfoki wie bei einfachen Reizmustern (Nothdurft 2002, Driver & Frackowiak 2001, Brandt & Stark 1997, Kolb & Wishaw 1993). Wie die vorliegenden Untersuchungen zeigen können gilt dabei für Betrachtung und Vorstellung: Je eindeutiger die Differenzierung zwischen inhaltlich bedeutsamen und weniger bedeutsamen Bildanteilen innerhalb eines Stimulus ist, desto deutlicher ist auch die Verteilung der Blickbewegungen örtlich gebunden bzw. lateralisiert. Die frühen Befunde zur Abhängigkeit der Verteilung von Fixationen vom Bildinhalt bei der Bildbetrachtung (Buswell 1935, Brandt 1940, vgl. Einleitung) lassen sich somit in vergleichbarer Weise für die visuelle Vorstellung zeigen. Gleichzeitig könnte man die Hypothese formulieren, dass die während der Vorstellung ausgeführten Blickbewegungen auch den Inhalt der komplexen visuellen Szenen widerspiegeln, so wie Brandt und Stark (1997) dies für einfache Muster zeigen konnten und wie es in der Theorie für mentale Prototypen postuliert wird (Stark et al. 1999).

IV.3.3. Dissoziation von Vorstellung und Betrachtung: Die Rolle bildimmanenter Salienzen und spezifischer Aufmerksamkeitsfokussierung

Das Verweilen innerhalb einer Bildregion folgt vorwiegend am Bildinhalt orientierten Strategien und nicht einem fixen formalen Scanningverhalten. Zusätzlich variieren die prozentualen Aufenthaltsdauern dann mit der Sehbedingung. Während der Vorstellungsbedingungen verweilen die Probanden länger in den Quadranten als bei der Betrachtung. In der Zusammenfassung für Experiment A1 konnte bereits hergeleitet werden, dass bei der Vorstellung komplexer visueller Szenen wahrscheinlich länger in bestimmten Bildbereichen fixiert wird und möglicherweise eine geringere sakkadische Durchmusterung erfolgt als bei der Betrachtung desselben komplexen Bildes. Bei der Bildbetrachtung setzt ein Proband demgegenüber dann vermehrt Fixationszeiten unter 120 ms zur Erfassung des Bildinhaltes ein, die dann aus dem aus der Literatur hergeleiteten Auswertungsrahmen fallen. Dies kann folgende Bedeutung für die visuelle Wahrnehmung besitzen: In der Vorstellung entsteht das aus dem Gedächtnis abzurufende Bild langsam, einzelne Bildfeatures und Salienzbereiche werden länger andauernd fixiert. Das Erkennen einzelner Bildanteile bei der Betrachtung erfolgt demgegenüber schneller, die Fixationszeiten sind dann kürzer und es werden möglicherweise vermehrt bewegte Blickbewegungsparameter zur Erfassung der Gesamtszene eingesetzt. Eine solche Verlagerung in den Anteilen statischer und bewegter Blickbewegungsparameter kann dann zu einer in der Vorstellung insgesamt weniger ausgedehnt durchmusterten Fläche führen als bei der Bildbetrachtung.

Weitere vorliegende Befunde stützen diese These. Die prozentuale Aufenthaltsdauer, deren bestimmender Faktor die „statischen“ Fixationen in der Zeit sind, und die anteilig betrachtete Fläche verändern sich bei unterschiedlichen Sehbedingungen nämlich zusätzlich gerade in den Quadranten, die das inhaltlich saliente Objekt von Interesse beinhalten. Hier wird in der Vorstellung noch einmal mehr durchmustert. Beide Blickbewegungsmaße liefern dabei Befunde, die in dieselbe Richtung weisen, eine noch ausgeprägtere Verlagerung von Aufmerksamkeitsfoki hin zu inhaltsrelevanten Bildanteilen. Diesen beiden Augenbewegungsmaßen gegenüber, die ein Verhalten über die Zeit messen, bleibt die Richtung der ersten Sakkade als initialer Durchmusterungsschritt gleich. Darüber hinaus wird bei reiner Vorstellung, d. h. nur auf verbaler Instruktion beruhender

Information mehr Zeit für inhaltliche Salienzbereiche aufgewendet als beim auf visuell-räumliche Gedächtnisinhalte zurückgreifenden freien Abruf. Je deutlicher Salienzbereiche innerhalb eines Stimulus abgrenzbar sind, desto deutlicher treten diese Unterschiede hervor. Gbadamosi und Zangemeister 2001 kommen mittels ihrer Scanpath-Analysen zu einem vergleichbaren Ergebnis, obwohl sie nur Abrufbedingungen durchgeführt haben, und schlagen „ein reduziertes Ausmaß des Vorstellungsbildes innerhalb der kognitiven Repräsentation“ vor. Die vorliegenden Befunde dieser Arbeit belegen eine in der Ausdehnung verminderte Durchmusterung und zusätzlich eine quantitative Verlagerung unterschiedlicher Blickbewegungsparameter, die am Bildinhalt orientiert ist. Ob dies letztendlich mit einer qualitativen Veränderung innerhalb der kognitiven Bildrepräsentation einhergeht, wie es die Autoren andeuten, bleibt zu diskutieren. Zur Unterscheidung der Durchmusterungen zwischen Vorstellung und Betrachtung besitzen in jedem Fall zwei Faktoren eine Bedeutung: Erstens ist die Ausdehnung des durchmusterten Bildbereichs in der Vorstellung insgesamt kleiner und zweitens ist der durchmusterte Bildbereich in Richtung bedeutsamer Bildinhalte verlagert.

IV.3.4. Stimulusunabhängige vertikale Augenbewegungen in Vorstellung und Betrachtung

Unabhängig von inhaltsgeleitetem Sehen und unabhängig vom zu bearbeitenden Stimulus konnten vertikale Asymmetrien in den Blickbewegungen gezeigt werden. In Betrachtung und Vorstellungsbedingungen wird für die gerichtete erste Sakkade das obere Halbfeld präferiert. Einen solchen initialen Bias der Augenbewegungen finden auch Schrauf & Stern (2001) in einem Reaktionszeitexperiment zur Orientierung von Landolt-C Optotypen verschiedener Auflösung. Der primäre visuelle Kortex repräsentiert jedoch das obere und untere Halbfeld nahezu zu gleichen Teilen (DeYoe & Van Essen 1988, Horton & Hoyt 1991), so dass die Autoren hier die Beteiligung höherer kortikaler Mechanismen vermuten. Der vorliegende Befund stützt diese Vermutung, da sich dieser Bias nicht nur während „bottom-up“ gesteuerter Betrachtung, sondern auch bei der „top-down“ Generierung visueller Vorstellungsbilder zeigt. Previc & Murphy (1997) finden einen Aufwärts-Bias der initialen Augenbewegung während arithmetischer und visuell-räumlicher Vorstellung. Sie vermuten einen Bias für das obere Halbfeld innerhalb des okzipitotemporalen Pfades.

Zudem wird unabhängig vom Stimulus während visueller Vorstellung und freiem Abruf tendenziell ein größeres Areal in den unteren Quadranten durchmustert. Einen vergleichbaren Befund erhielten Previc und Intraub (1997). Bei dieser Arbeitsgruppe zeigte sich ein vertikaler Bias für visuelle Erinnerungsaufgaben. Referenzpunkte innerhalb eines aus der Erinnerung abzuzeichnenden Bildes wiesen einen deutlichen shift in das untere Halbfeld auf. Previc vermutet hier eine ökologische Beziehung zwischen dem oberen Halbfeld für die entferntere szenische Umgebung und dem unteren Halbfeld für das Nahfeld des Betrachters, das innerhalb des Handlungsbereichs des Individuums liegt. Dies soll sich dann bei den Durchmusterungen in der Vorstellung widerspiegeln. Interessanterweise konnten die Autoren ebenfalls eine Kompression der Gesamtszene zeigen. Die beiden Prozesse, Kompression und Lateralisierungsbias, ergänzen sich also und treten bei der Vorstellung komplexer visueller Reize parallel zu inhaltsgeleitetem Durchmustern auf.

IV.4. Implikationen für ein neurophysiologisches Erklärungsmodell

Die aufgezeigten Befunde unterstützen in weiten Teilen die These einer engen Interaktion zwischen Okulomotorik und perzeptuellen Vorgängen (vgl. Einleitung). Prozentuale Aufenthaltsdauer und durchmusterte Fläche könnten ein morphologisches und funktionelles Substrat in den zwei von Kosslyn (1987) postulierten Subsystemen des dorsolateralen visuellen Systems finden. Die prozentuale Aufenthaltsdauer könnte dabei mit den statischen Fixationen überwiegend Vorgänge einer topologischen Beziehung eines Objektteils zum Objekt abbilden, während die durchmusterte Fläche im Rahmen einer metrischen Repräsentation spezifische Koordinaten eines Objektteils zum Gesamtbild reflektieren könnte. Wie hier gezeigt werden konnte, laufen diese beiden Prozesse zeitgleich ab. Darum muss es ein aktiv integrierendes morphologisches Substrat geben, das unter allen Sehbedingungen einen vollständigen Seheindruck hervorruft. Dieses „Steuersystem“ integriert neben den Rauminformationen zusätzlich Objektinformationen über den ventralen Strom aus dem temporalen Kortex. Die erste Sakkade könnte dabei die Funktion einer initialen „memory guided saccade“ übernehmen und eine Art Referenzpunkt des Bildes innerhalb der Raumkoordinaten darstellen. Brandt (1995) geht davon aus, dass dieses Steuersystem durch eine einzige Struktur repräsentiert wird, deren Funktion ein selektives Aufmerksamkeitsfenster „ist“. Er vermutet als Substrat den dorsolateralen

präfrontalen Kortex. Seine Interpretation für eine einzige, übergeordnete und ebenfalls metrisch organisierte Regelstruktur beruht auf der Annahme, dass gleichzeitig die zusammengehörigen Informationen der dichotomen visuellen Repräsentation von Objekt und räumlicher Zuordnung aktiviert werden müssen und somit eine Dissoziation von Gestalt und Position des Objekts verhindert werden müsse. Die vorliegenden Befunde zeigen aber gerade, dass sich bei den durchmusterten Arealen zwischen den Sehbedingungen Veränderungen in den Relationen von Objektteilen zum Gesamtobjekt ergeben. Darum argumentiert der Verfasser, dass das für Vorstellen und Betrachten gültige postulierte Steuersystem entweder nicht metrisch organisiert ist oder keinen Einfluss auf die metrisch organisierten Anteile des dorsalen Stroms hat. Es ist aber topologisch organisiert, da die vorliegenden Befunde auch in der Vorstellung den Schluss auf ein zusammenhängendes Bild zulassen. Das Steuersystem selbst ist darüber hinaus keine souveräne Schaltzentrale, sondern unterliegt seinerseits den Einflüssen verschiedener gedächtnisrelevanter Strukturen, wie die Unterschiede in den Durchmusterungen zwischen Vorstellung und freiem Abruf zeigen, und interagiert mit nicht-inhaltsbezogener Blicksteuerung (vgl. IV.3.4.). Erst über die mnestischen Einflüsse, die Objektanteilen eine „Gewichtung“ geben, werden selektiv Aufmerksamkeitsfenster geöffnet. Somit stellt die benannte Steuerstruktur nicht das Aufmerksamkeitsfenster selbst dar, sondern fungiert als Mediator, gleichsam einer Schnittstelle zwischen Gedächtnisleistungen und resultierendem „Seheindruck“.

Die vorliegenden Befunde treffen nicht allein für jüngere Probanden, sondern im Wesentlichen, mit höherer Streuung auch für ältere Probandenkollektive zu. Auf eine deutliche Abnahme der funktionellen Unterscheidung zwischen dorsalen (wo?) und ventralen (was?) Anteilen des visuellen Systems (Ungerleider & Haxby 1994) bei älteren Probanden gegenüber jüngeren Probanden, die einige Autoren bei der Betrachtung finden (Chen et al. 2002, Grady et al. 1992) lässt sich für die vorliegenden Untersuchungen mit komplexen visuellen Szenen nicht schließen. Die vorliegenden Befunde zu Vorstellung und Betrachtung weisen für die Gruppen Normalsichtiger in dieselbe Richtung. Möglicherweise findet dies seine Begründung darin, dass Chen und Mitarbeiter (2002) Untertests verwendet haben, die selektiv entweder objektzentriertes oder räumliches Sehen forderten, während die vorliegenden komplexen Stimuli beides verlangten.

IV.5. Bedeutung für die visuelle Wahrnehmung: eine Hypothese

Diese Ergebnisse über gemeinsame und dissoziative Mechanismen bei Vorstellung und Betrachtung lassen in ihrer Gesamtheit die Diskussion aufkommen, ob Vorstellungsbilder ungenauer sind als die Betrachtung bzw. ob sie ungenauer durchmustert werden, oder ob sie in ihrer Gesamtgestalt und zum Teil in ihren Qualitäten verschieden sind - so wie in bildhaften Träumen (Überblick bei Hobson 1990) - mit der Konsequenz oder als Folge von Aufmerksamkeitsänderungen des inneren Aufmerksamkeitsfokus (Kolb & Wishaw 1993). Einige Autoren (Saariluoma 1991, Brandt 1995) gehen von einer „Degeneration“ des Scanpath aus, da oftmalige Wiederholung eines Reizes hier zu „Überlernen“ führen soll. Obwohl diese Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden kann, sprechen folgende Argumente dagegen: zum einen wurden hier keine einfachen Reizmuster verwendet wie in den benannten Studien, sondern komplexe Bilder, die eine deutlich höhere Anforderung an den Betrachter stellen und Überlernen somit erschweren. Zum anderen folgte der Bildbetrachtung nur jeweils ein Abrufdurchgang, also eine einzige Wiederholung, die spezifisch visuelle Gedächtnisleistungen (Yarbus 1967, Brandt 1995; vgl. I.1.5) ansprach. Schließlich wurde der Betrachtung die reine, auf verbaler Information beruhende Vorstellungsaufgabe vorangestellt. Das bedeutet, hier musste die Versuchsperson andere, auch verbale Gedächtnisstrategien anwenden und andere funktionell-anatomischen Schaltkreise rekrutieren als ausschließlich Anteile des visuellen Systems.

Dem Autor scheint es wahrscheinlicher, dass in der Vorstellung wie für die neurophysiologische Modellvorstellung bereits beschrieben ein vollständiges Bild durchmustert wird. Diese Bilddurchmusterung ist erstens in ihrer Ausdehnung gegenüber dem „Original“ kleiner. Dies zeigen die Befunde zur Analyse der Gesamtfläche, die auch durch bestehende Arbeiten gestützt werden (Kosslyn 1978, Seth & Shimojo 2001). Wie jetzt im Vergleich der Augenbewegungen gezeigt werden konnte, ist sie zweitens zum primären Objekt von Interesse hin verlagert, was durch die Quadrantenanalyse der Fläche belegt wird. Schließlich scheint das Vorstellungsbild in seiner Dimension verändert, da mit gezielten Aufmerksamkeitsfoki innerhalb des Bildes mehr Zeit für die Vorstellung inhaltlich salienter Objekte aufgewendet wird. Die Durchmusterung „schrumpft“ somit in der Vorstellung in Richtung eines salienten Objekts von Interesse. Möglicherweise sind diejenigen

dorsalen bzw. ventralen top-down Mechanismen (Mishkin & Ungerleider 1982, Hopfinger et al. 2001), die ein visuelles Vorstellungsbild initiieren können, den geforderten Aufmerksamkeitsleistungen untergeordnet und beeinflussen dann ihrerseits neuronale Schaltkreise in einem visuellen Puffer, möglicherweise der retinotop organisierten Area V1 (Treisman & Gelade 1980, Kosslyn et al. 1995, 1999, Klein et al. 2000, Kastner & Ungerleider 2001, siehe auch: Sereno et al. 1995, Überblick bei Kosslyn et al. 2001). Auf diese Art würden zum einen selektiv die einen oder anderen qualiabestimmenden Schaltkreise (Stoerig 1996, Kosslyn 1994, Zeki 1993) aktiviert, wie dies schon Gilbert und Mitarbeiter (2000) für perzeptuelles Lernen postulieren: „V1 als dynamischer und aktiver Prozessor“. Konsequenz wäre zweitens eine aufmerksamkeitsgesteuerte, systematische, doch zugleich inhomogene Verteilung von Sehqualitäten innerhalb der Vorstellung und schließlich ein vom Originalbild verschieden dimensioniertes, aber nicht notwendigerweise „verarmtes“ Vorstellungsbild. In jedem Fall zeigen diese Ausführungen in ihrer Gesamtheit, dass visuelle Vorstellung gleichsam anderen kognitiven Funktionen, nicht eine einzelne, undifferenzierte Fähigkeit ist. Visuelle Vorstellung ist wie beschrieben vielmehr das Zusammenwirken einer Ansammlung von kognitiven Leistungen und unterliegt neben inhaltlichen auch formalen Blickbewegungs- und Durchmusterungsstrategien.

IV.6. Das Blickverhalten von Patienten bei Vorstellung und Betrachtung komplexer visueller Szenen

IV.6.1. Vorstellung und Betrachtung: Gemeinsame Durchmusterungsprinzipien bei Patienten – Parallelen zu Normalsichtigen

Während Betrachtung und Vorstellung durchmustern Hemianopie- und Neglekt-Patienten Anteile innerhalb ihres tatsächlichen Ausfallbereiches. Dabei wird anteilig an der individuellen Gesamtdurchmusterung während der Vorstellung eine ausgedehntere Fläche exploriert als bei der Betrachtung, während die Gesamtdurchmusterung eines komplexen Reizes wie bei Normalsichtigen kleiner ist als bei der Bildbetrachtung. Wenn man davon ausgeht, dass die Blickbewegungsmuster den Inhalt des Gesehenen in beiden Bedingungen widerspiegeln (Brandt & Stark 1997), so sprechen diese Befunde dafür, dass die Patienten etwas in ihrem betroffenen Gesichtsfeldbereich vorstellen können. Dafür spricht zudem die Abhängigkeit der Aufenthaltsdauern und der ersten gerichteten Sakkade vom inhaltlich salienten Objekt von Interesse. Gerade für letztgenannten

Parameter gilt ja überwiegend, dass sie in den Vorstellungsbedingungen in das Halbfeld mit dem Objekt von Interesse gerichtet wird, auch wenn dieses im Ausfallbereich liegt, während bei Stimuli, die keinen herausragenden Saliensbereich besitzen, die erste Sakkade zumindest von den Hemianopie-Patienten blickkompensatorisch in das betroffene Halbfeld gerichtet wird. Akute Neglekt-Patienten richteten die erste Sakkade sogar nur in den Vorstellungsbedingungen zum Objekt von Interesse in den Ausfallbereich hinein, so dass man darüber hinaus vermuten könnte, parallel zur initialen Durchmusterung fiele ihnen die anfängliche Vorstellung leichter als die Betrachtung.

Zu dem Befund intakter visueller Vorstellung bei Hemianopikern kommen Chatterjee & Southwood (1995), die hemianopen Patienten einen Fragenkatalog zur visuellen Vorstellung vorlegten und Gbadamosi und Mitarbeiter (1997, 2001), die Patienten-scanpaths beim freien Abruf gemessen haben. Für eine solche Argumentation sprechen ebenfalls bildgebende Befunde, bei denen bei visueller Vorstellung eine Aktivierung okzipitoparietaler und temporoparietaler Areale gefunden wurde und nicht frühe Stadien visueller Verarbeitung, wie sie bei hemianopen Patienten betroffen sind (Roland & Gulyas 1994). Die vorliegende Arbeit kann nicht abschliessend klären, ob bei hemianopen Patienten die visuelle Vorstellungsfähigkeit vollständig gegeben ist. Sie ergänzt die benannten Untersuchungen dahingehend, dass die Patienten auch während reiner, auf verbaler Instruktion beruhender Vorstellung innerhalb des Ausfallbereiches durchmustern, und dass diese mit physiologischen Meßmethoden ermittelten Durchmusterungen in Bezug zum vorgegebenen Bildinhalt stehen. Interessanterweise deuten die Dissoziationen zwischen Vorstellung und Betrachtung unter den akuten Neglekt-Patienten in den vorliegenden Untersuchungen an, dass auch innerhalb der parietalen Strukturen zusätzlich zu differenzieren ist.

Die Befunde stützen somit die These, dass visuelle Vorstellungsfähigkeit eher dann beeinträchtigt ist, wenn höher organisierte Kortexbereiche innerhalb des visuellen oder verbalen Gedächtnis von einer Läsion betroffen wurde, unabhängig vom okzipitalen Kortex (Goldenberg & Artner 1991, Gbadamosi et al. 1997). Sie können nicht die Ergebnisse Farahs (1992, 1995, auch Butter et al. 1997) stützen, die bei Läsionen des okzipitalen Kortex als „räumlichem Repräsentationsmedium“ verminderte Vorstellungsfähigkeit vermutet. Die Möglichkeit einer Blicksteuerung durch inhaltlich saliente Objekte bei einem Teil der Hemianopiker lässt hier auch die

Frage aufkommen, ob die Area striata die alleinige Rolle des von Kosslyn und Shin (1994) postulierten theoretischen visuellen Puffers übernimmt, in den Aufmerksamkeitsaspekte während der Vorstellung direkt eingehen sollen.

Wie bereits benannt, trifft das Durchmustern innerhalb des Ausfallbereichs während visueller Vorstellung für beide Patientengruppen zu, also auch für Neglekt-Patienten mit parietalen Läsionen. Somit scheint diese Patientengruppe hier zumindest in der Blicksteuerung das betroffene Halbfeld nicht vollständig zu vernachlässigen. Harvey et al. (2002) finden dies ebenfalls für akute und chronische Neglekt-Patienten, und zwar immer dann, wenn ein Zielreiz präsentiert wird ohne einen weiteren Distraktoren. Sie untersuchten jedoch ausschließlich Betrachtungsbedingungen einfacher Stimuli, nicht auch wie vorliegend visuelle Vorstellung und keine komplexen Szenen.

Über die Verwendung von individuellen Ausfallschablonen in Experiment B1 über die anteilig betrachtete Fläche und in den Experimentellen Exkursen, die zur Auswertung der Durchmusterungen die Halbfeldanalyse verwendeten (B2 und B3), zusätzlich über die prozentualen Aufenthaltsdauern wurde gefunden, dass in Vorstellungsbedingungen tendenziell anteilig noch mehr im betroffenen Halbfeld durchmustert wird als bei der Betrachtung. Grundsätzlich sind dazu Gedächtnisstrategien, möglicherweise als Funktion temporaler kortikaler Areale (Hornak et al. 2002), und intern generierte Aufmerksamkeitslenkung notwendig. Letztere scheint auch für Neglekt-Patienten möglich, wenn sie auf endogene Hinweisreize zurückgreifen können, nicht jedoch bei exogenen Hinweisreizen (Bartolomeo et al. 2001). Die vorliegende Arbeit zeigte darüber hinaus, dass hierbei Neglekt-Patienten im chronischen Stadium und im akuten Stadium zu dissoziieren sind, da nur die akuten Patienten hier nicht von einem inhaltlich salienten Bereich als cue profitierten und dies auch ausschließlich bei der Betrachtung nicht konnten. Den oben erläuterten Ausführungen zufolge scheinen bei Patienten solche top-down Generierungen in visuellen Vorstellungsaufgaben erhalten oder mit verändertem Erkrankungsstadium über andere neuronale Mechanismen wiedererlangt zu sein, so dass die Durchmusterung einer komplexen Szene in der Vorstellung erleichtert wird, während bei Betrachtung die endogenen kognitiven Leistungen nicht oder weniger rekrutiert werden und es dann zu verminderter Exploration kommt.

IV.6.2. Die Unterscheidbarkeit von Patienten beim Vergleich von Vorstellung und Betrachtung

In weiten Teilen sind Vorstellung und Betrachtung bei den untersuchten Patienten im Vergleich zu Normalsichtigen in gleicher Weise von kompensatorischem Verhalten oder läSIONsbedingter Vernachlässigung betroffen. Dabei zeigen chronische Hemianopie- und Neglekt-Patienten im Vergleich zu Normalsichtigen anteilig ausgedehntere Durchmusterungen in ihrem betroffenen Halbfeld und verbringen teilweise mehr Zeit dort. Es findet sich hier also sowohl räumliches, als auch zeitliches Kompensationsverhalten in der Blicksteuerung in beiden Bedingungen. Diese Gruppen richten auch die initiale Blicksakkade in das betroffene Halbfeld, jedoch mit einer wichtigen Einschränkung: ist ein salientes Objekt von Interesse vorhanden, wird die erste Sakkade stets dorthin gerichtet, unabhängig von der Seite der Gesichtsfeldeinschränkung. Sie verhalten sich initial also wie Normalsichtige.

Akute Hemianopie-Patienten verhalten sich in den Vorstellungsaufgaben ähnlich den chronischen Patienten, jedoch sind ihre Durchmusterungen innerhalb des betroffenen Halbfeldes während der Betrachtung gegenüber Normalsichtigen vermindert und ihre initiale Sakkade kann nicht durch einen exogenen Salienzbereich gesteuert werden.

Diese Befunde haben weiterhin Implikationen im Hinblick auf die von der Läsion betroffene Hemisphäre. Ohne besonderen salienten Hinweisreiz im Stimulusbild zeigen die chronischen Patienten in allen Sehbedingungen eine typische kompensatorische Durchmusterungsaktivität zugunsten des betroffenen Halbfelds, d.h. im Fall der chronischen Patienten bei linkshemisphärischer Schädigung vermehrte Durchmusterung des rechten Halbfelds und bei rechtshemisphärischer Schädigung vermehrtes Durchmusterung des linken Halbfelds, was für die Vorstellung und den Abruf auch bereits für akute hemianope Patienten gelten kann. Dies bedeutet zum einen, dass die von der geschädigten Hemisphäre abhängigen Blicksteuerungen nicht allein bei der Bildbetrachtung auftreten (Zihl & von Cramon 1986, Kasten et al. 1994), sondern, wie jetzt gezeigt werden konnte auch bei visueller Vorstellung. Zum anderen legen die vorliegenden Befunde nahe, dass ein kompensatorisches, lateralisiertes Durchmusterung für akute Hemianopie-Patienten in der Vorstellung bereits möglich ist, nicht aber bei Reizbetrachtung. Dies bestätigt und ergänzt die Befunde von Meienberg und Mitarbeitern (1980). Die Arbeitsgruppe fand

im Hinblick auf lateralisiertes Durchmustern bei der Reizbetrachtung eine vergleichbare Dissoziation zwischen Patienten in der Frühphase nach Hirnverletzung und sieben Monate nach Eintritt der Schädigung. Sie untersuchten jedoch keine Durchmusterungsaktivität bei visueller Vorstellung, bei der diese Unterscheidung nicht vorliegt. Dabei wäre zukünftig zu untersuchen, ob die Patientengruppen das lateralisierte Explorationsverhalten in der Vorstellung unter Zuhilfenahme derselben Blickstrategien erreichen.

Eine Dissoziation zwischen chronischem und akutem Erkrankungsstadium findet sich neben den Hemianopie-Patienten auch für Neglekt-Patienten. Dabei fällt es akuten Patienten dann anscheinend leichter, in der Vorstellung zu einem Objekt von Interesse in das betroffene Halbfeld zu schauen als während der Betrachtung einer komplexen visuellen Szene. Dies bestätigt die bereits oben benannten Befunde von Bartolomeo und Mitarbeitern (2001). Beim Vorstellen und beim freien Abruf können die akuten Patienten in der vorliegenden Untersuchung auf endogene, verbal oder visuell kodierte, Hinweisreize zurückgreifen, während sie bei der Betrachtung auf exogene Reize reagieren müssen. Die an Neglekt-Patienten erhobenen Befunde bei Bartolomeo scheinen dabei teilweise auch für akute Hemianopiker zuzutreffen.

Die beiden untersuchten akuten Neglekt-Patienten durchmustern tendenziell in allen Sehbedingungen gegenüber normalsichtigen Probanden anteilig eine geringere Fläche und verbringen weniger Zeit im betroffenen Halbfeld. Damit zeigen diese Patienten die läsionstypische halbseitige Vernachlässigung (Schenkenberg et al. 1980) bei der Bildbetrachtung sowohl initial, als auch in allen Sehbedingungen über die Zeit. Nur in der Vorstellung ist endogen initiiertes cueing möglich. Dieser kompensatorische Ansatz einer zielgerichteten Aufmerksamkeitslenkung kann dann aber über die Zeit nicht gehalten werden.

Insgesamt scheint es, dass beim Durchmustern komplexer Szenen sowohl die Ausdehnung der betrachteten Fläche, als auch die Verweildauer in Relation zu Normalsichtigen in gleicher Weise betroffen sind. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kommen Jahnke und Mitarbeiter (1995), jedoch nur für bewegte Augenbewegungsparameter, nicht für das Fixationsverhalten. Im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung, die ja auch Veränderungen in den Aufenthaltsdauern

erfassen konnte, verwendeten sie aber zum einen einfache Strichzeichnungen mit weniger deutlichen Salienzen und zum anderen betrug ihr Präsentationsintervall nur acht Sekunden. Vermutlich können die Patienten im zeitlichen Verlauf ein anfängliches „Fixationsdefizit“ aufholen. Bartolomeo et al. (2001) fanden in ihrem Reaktionszeitexperiment ja auch gerade eine Verlängerung der Reaktionszeiten.

In jedem Fall greifen für chronische Patienten bei Vorstellung und Betrachtung Kompensationsmechanismen und auch läsionsbedingtes Verhalten zeigt sich in Vorstellung und Betrachtung gleich. Demgegenüber zeigen sich für akute Patienten Dissoziationen zwischen visueller Vorstellung und Bildbetrachtung, wobei visuelle Vorstellung das Durchmustern innerhalb des Ausfalls bzw. des betroffenen Halbfelds gegenüber der Betrachtung erleichtert.

IV.6.3. Implikationen für die neuropsychologische Rehabilitation

Nimmt man die obigen Erläuterungen zusammen, deutet sich eine Dissoziation zwischen initialem Blickverhalten und Durchmustern über die Zeit an. Dabei besitzen Saliensbereiche grundsätzlich eine besondere Bedeutung.

So lässt sich durch den Vergleich verschiedener Sehbedingungen „diagnostisch“ bestimmen, ob ein Patient sich im akuten oder bereits im chronischen Stadium seiner Erkrankung befindet und im Anschluss in einem konkreten Fall möglicherweise das Vorgehen innerhalb einer therapeutischen Intervention beeinflussen. Insbesondere für akute Neglekt-Patienten wird durch die vorliegenden Untersuchungen deutlich, wie sehr sie in ihrer Exploration bereits initial mit gezielten Vorstellungen zum Durchmustern des vernachlässigten Halbfelds angeregt werden können. Möglicherweise lässt sich hier über ein Vorstellungstraining und somit über endogene Ressourcen frühzeitig auch das Explorationsverhalten bei der Betrachtung exogener Reize beeinflussen.

Weitere Befunde können Bedeutung für rehabilitative Maßnahmen bekommen. Es wurde gezeigt, dass chronische Patienten und akut hemianope Patienten während Vorstellungsaufgaben zeitlich und räumlich ausgedehntere Areale innerhalb ihrer Ausfallbereiche durchmustern als während der Bildbetrachtung. Dieses durch mnestic Aspekte erweiterte Explorationsverhalten lässt sich möglicherweise gezielt für die neuropsychologische Rehabilitation nutzen, indem man einerseits gezielt Vorstellungsaufgaben im Explorationstraining etabliert und andererseits die

Patienten auch für den Alltag zu aktiver Vorstellung anhält. Ein solches aktives Nutzen von top-down generierten visuellen Vorstellungen wurde bisher in der Rehabilitation kaum eingesetzt. Neben allgemeinen Explorationsübungen und Lesetraining existiert hier keine mentale Therapieroutine, wie sie beispielsweise für das Wiedererlernen der Handmotorik etabliert wird (Bütefish et al. 2001, 2002, Übersicht bei Zihl & von Cramon 1986, Kerkhoff et al. 1992). Zudem ist es jetzt möglich, bereits während der klinischen Rehabilitation alltagsnahes Durchmustern zu erproben, indem man gerade komplexe visuelle Szenen als Übungsbilder einsetzt. Trotz „Sehbehinderung“ kommt Salienzbereichen innerhalb eines Bildes die Bedeutung zu, Blickverhalten steuern zu können. Dies trifft für die tatsächliche Bildbetrachtung zu, aber möglicherweise noch mehr für die Vorstellung, bei der auf verbale Information zurückgegriffen werden muss, und auf den freien Abruf, der überwiegend auf visuelle Gedächtnisinhalte abzielt. Diese Möglichkeit der Blicksteuerung sollte sich ebenfalls therapeutisch in der klinischen Praxis innerhalb des Explorationstrainings und im Alltag nutzen lassen, indem die Patienten lernen, aus dem Gedächtnis wesentliche Reize einer komplexen Situation abzurufen und über deren Vorstellung dort kompensatorisch gezielt hinzuschauen. Die Möglichkeit einer solchen top-down gesteuerten kognitiven Strategie müsste den vorliegenden Trends zufolge allen untersuchten Patienten zur Verfügung stehen.

IV.7. Ausblick

Die viel versprechenden Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen werfen eine Reihe weiterführender Fragen auf. Bei der Analyse der prozentualen Aufenthaltsdauern für die Normalsichtigen fiel auf, dass ein Teil der Messzeit nicht erfasst wurde. Die begründete Vermutung wurde hergeleitet, dass während der Betrachtung der komplexen visuellen Szenen von den Probanden vermehrt Fixationen kürzer als 120 ms eingesetzt wurden. In einer neuen Studie ist es darum sinnvoll, gezielt die Fixationsdauern bei Betrachtung und Vorstellung zu analysieren und deren Verteilungen zu vergleichen.

In den Experimenten wurde ein Gesichtsfeldausschnitt von $31.4^\circ \times 23.8^\circ$ Sehwinkel untersucht. Die Befunde lassen nun Messungen eines größeren

Gesichtsfeldbereiches wünschenswert werden. Dazu könnte man eine um 90 Grad gedrehte Hohlkehle einsetzen und dann möglicherweise komplexe visuelle Szenen in Originalgröße präsentieren. Mit einer solchen Maßnahme können dann auch Ausfallschablonen für Patienten hergestellt werden, die einen größeren Gesichtsfeldbereich erfassen.

Die Untersuchungen einer kleinen Gruppe Patienten hatten es sich zur Aufgabe gestellt, in einem ersten Experiment und explorativen Analysen herauszufinden, ob diese Probanden während Vorstellung und Betrachtung innerhalb ihres Gesichtsfeldausfalls explorieren, ob in der Vorstellung wie bei Normalsichtigen die Durchmusterungen in ihrer Ausdehnung kleiner sind als bei der Betrachtung und ob die durchmusterten Areale durch inhaltlich saliente Objekte von Interesse beeinflusst werden. Die gewonnenen positiven Befunde sprechen deutlich für weiterführende Forschungsarbeit. Zum einen müssen in einer langfristig angelegten Studienreihe größere homogene Patientengruppen untersucht werden, um nun die gefundenen Tendenzen mit größerer statistischer Power zu erhärten und schließlich ein spezifisches neuropsychologisches Modell von Durchmusterungen bei visueller Vorstellung bei kognitiven Störungen zu entwerfen. Wie wichtig hierbei die Berücksichtigung der Chronizität der Patienten ist, konnte bereits in der vorliegenden Untersuchung verdeutlicht werden. Dabei können im experimentellen Design jetzt zusätzlich gezielt Kontrollgruppen eingesetzt werden, wenn man weiterhin der Analyse mit Ausfallschablonen diejenige von Halbfeldern oder Quadranten zur Seite stellt.

Zum anderen ist es jetzt sinnvoll, die Analysemethoden selbst deutlich zu spezifizieren. Im konkreten Fall bedeutet das, es muss erstens ein Analyseprogramm entwickelt werden, das Reizbild, Durchmusterungspfad und Ausfallschablone gleichzeitig übereinander legen kann und so der visuellen Kontrolle noch einmal verbessert zugänglich macht. So kann auch noch einmal genauer untersucht werden, welche Anteile der Reize oder der Salienzbereiche innerhalb eines Reizes in den blinden Bereich fallen. Hierbei sollte dann neben der durchmusterten Fläche auch die Analyse der Aufenthaltsdauern ermöglicht werden. Es bedeutet zweitens, dass versucht werden muss, die individuellen Ausfallschablonen qualitativ zu präzisieren: Während für die vorliegenden ersten Untersuchungen einfache perimetrischen Daten verwendet werden konnten, macht die Befundlage es jetzt notwendig, in zukünftigen Experimenten spezifizierte Ausfallschablonen zur

feinmaschigeren Analyse einzusetzen. Dabei sollte dann den Perimetriebefunden beider Augen Rechnung getragen werden, und es sollte deutlich zwischen makularer Aussparung, blindem und amblyopen Ausfallbereich unterschieden werden können. Zusammengefasst liegt mit den Befunden der vorliegenden Arbeit in Kombination mit den bisher bekannten Methoden eine Meßmethode und ein Therapeutikum vor, dass es bereits jetzt ermöglichen sollte, gezielt Bilddurchmusterungen und die dabei eingesetzten Blickbewegungsparameter zu quantifizieren und in Kombination mit bildgebenden Verfahren Prognosen über die neuronalen Zusammenhänge zwischen visueller Vorstellung und Betrachtung komplexer visueller Szenen zu erstellen. Darüber hinaus sollte es in naher Zukunft möglich werden, diese Erkenntnisse in der Klinik für Personen mit Beeinträchtigungen innerhalb des visuellen Systems nutzbar zu machen. Somit wäre es durch den Einsatz ausgewählten komplexen Bildmaterials auch für die einzelnen Patienten gegeben, zukünftig frühzeitig und zielgerichtet alltags- und bedarfsorientiert Blickstrategien zu erlernen und einzusetzen.

Literatur

A

Albert, M.L. 1973. A simple test of visual neglect. *Neurology* 23: 658-64.

Antes, J. R. 1974. The time course of picture viewing. *J. Exp. Psychol.* 103: 62-70.

B

Bartolomeo, P., P. D'Erme & G. Gianotti. 1994. The relationship between visuospatial and representational neglect. *Neurology* 44: 1710-1714.

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

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

Beschin, N., G. Cocchini, S. Della Sala & R. H. Logie. 1997. What the eyes perceive, the brain ignores: a case of pure unilateral representational neglect. *Cortex* 33: 3-26.

Bisiach, E. & C. Luzatti. 1978. Unilateral neglect of representational space. *Cortex* 14: 129-133.

Boch, R. A. & M. E. Goldberg. 1989. Participation of prefrontal neurons in the preparation of visually guided eye movements in the rhesus monkey. *J. Neurophysiol.* 61: 1064-1084.

Brandt, H. F. 1940. Ocular patterns and their psychological implications. *Am.J.Psychol.* 53: 260-268.

Brandt, S. Visuelle Wahrnehmung und Vorstellung: Augenbewegungen als Meßparameter für visuelle und kognitive Prozesse. Dissertation. München. 1995.

Brandt, S. & L. W. Stark. 1997. Spontaneous eye movements during visual imagery reflect the content of the visual scene. *J.Cog.Neurosci.* 9: 27-38.

Broerse, J. & B. Crassini. 1984. Investigations of perception and imagery using CAEs: the role of experimental design and psychophysical method. *Percept.Psychophys.* 35: 155-164.

Bruce, C. J. & M. E. Goldberg. 1985. Primate eye fields. I. Single neurons discharging before saccades. *J.Neurophysiol.* 53: 603-635.

Buswell, G. T. *How people look at pictures.* University of Chicago Press. Chicago. 1935.

Bütefisch, C. M., B. Körber, J. Netz, R. J. Seitz & V. Hömberg. *Mental training of the hand improves motor function after stroke.* Posterbeitrag, Neuroreha, Düsseldorf 2001.

Bütefisch, C. M., R. Kleiser, B. Körber, J. Wittsack, J. Netz, R. J. Seitz & V. Hömberg. *Learning strategies after post ischemic recovery.* Posterbeitrag, Competence Net Stroke, MET-NET. Berlin 2002.

Butter, C. M., S. Kosslyn, D. Mijovic-Prelec & A. Riffle. 1997. Field-specific deficits in visual imagery following hemianopia due to unilateral occipital infarcts. *Brain* 120: 217-228.

C

Chatterjee, A. & M. Southwood. 1995. Cortical blindness and visual imagery. *Neurology* 45: 2189-2195.

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

Chen, J., J. Myerson & S. Hale. 2002. Age-related dedifferentiation of visuospatial abilities. *Neuropsychologia* 40: 2050-2056.

Chen, W., T. Kato, X. H. Zhu, S. Ogawa, D. W. Tank & K. Ugurbil. 1998. Human primary visual cortex and geniculate nucleus activation during visual imagery. *Neuroreport* 9: 3669-3647.

Cooper, L. A. 1975. Mental rotation of random two-dimensional shapes. *Cognit.Psychol.* 7: 20-43.

Corbetta, M., F. Miezin, G. L. Shulman & S. E. Petersen. 1993. A PET study of visuospatial attention. *J.Neurosci.* 13(3):1202-1226.

Coslett, H. B. 1997. Neglect in vision and visual imagery: a double dissociation. *Brain* 120: 1163-1171.

Cowey, A. & L. Weiskrantz. 1967. A comparison of the effects of inferotemporal and striate lesions on the behavior of the resus monkeys. *J.Exp.Psychol.* 19: 246-253.

Curtis, C. T. 1972. National health insurance. *Nebr.Med.J.* 57: 482-485.

D

Damasio, A. R., H. Damasio & H. C. Chui. 1980. Neglect following damage to frontal lobe or basal ganglia. *Neuropsychologia* 18: 123-132.

DeRenzi, E. *Disorders of space exploration and cognition*. Chichester: Wiley. 1982.

D'Esposito, M., J. A. Detre, G. K. Aquirre, M. Stallcup, D. C. Asop, L. J. Tippet & M. J. Farah. 1997. A functional MRI study of mental image generation. *Neuropsychologia* 35: 725-730.

DeYoe, E. A. & D. C. Van Essen. 1988. Concurrent processing streams in monkey visual cortex. *Trends Neurosci.* 11: 219-226.

Ditchburn, R. W. & B. L. Ginsborg. 1953. Vision with a stabilized image. *Nature* 170: 36-37.

Dodge, R. 1907. An experimental study of visual fixation. *Psychological Rev.* 8: 1-95.

Driver, J. & S. J. Frackowiak. 2001. Neurobiological measures of human selective attention. *Neuropsychologia* 39: 1257-1262.

Duncan, J. 1984. Selective attention and the organisation of visual information. *J.Exp. Psychol.* 113: 501-517.

Duncan, J. & G. W. Humphreys. 1992. Beyond the search surface: visual search and attentional engagement. *J.Exp.Psychol: human perception and performance.* 18: 578-588.

E

Enquist, M. & A. Arak. 1994. Symmetrie, beauty and evolution. *Nature* 372: 169-172.

F

Farah, M. J. 1995. Current issues in the neuropsychology of image generation. *Neuropsychologia* 33: 1455-1471.

Farah, M. J., M. J. Soso & R. M. Dasheiff. 1992. Visual angle of the mind's eye before and after unilateral occipital lobectomy. *J.Exp.Psychol.* 18: 241-246.

Finke, R. A. & S. Pinker. 1983. Directional scanning of remembered visual patterns. *J.Exp.Psychol.* 9: 398-410.

Frith, C. 2001. A framework for studying the neural basis of attention. *Neuropsychologia* 39: 1367-1371.

Funahashi, S., C. J. Bruce & P. S. Goldman Rakic. 1993. Dorsolateral prefrontal lesions and oculomotor delayed-response performance. Evidence for mnemonic „scotomas“. *J. Neurosci.* 13: 1479-1497.

G

Gbadamosi, J., U. Oechsner & W. H. Zangemeister. 1997. Quantitative Untersuchung von Blickbewegungen während visual imagery bei Hemianopikern und Normalprobanden. *Neurol. Rehabil.* 3: 165-172.

Gbadamosi, J. & W. H. Zangemeister. 2001. Visual imagery in hemianopic patients. *J. Cog. Neurosci.* 7: 855-866.

Ghainotti, G., P. Messerli & R. Tissot. 1972. Qualitative analysis of unilateral spatial nerglect in relation to laterality Oof cerebral lesion. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 35: 545-550.

Gilbert, C., M. Ito, M. Kapadia & G. Westheimer. 2000. Interactions between attention, context and learning in primary visual cortex. *Vision Res.* 40:1217-1226.

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

Goebel, R., L. Muckli, F. E. Zanella, W. Singer & P. Stoerig. 2001. Sustained extrastriate cortical activation without visual awareness revealed by fmri studies of hemianopic patients. *Vision Res.* 41: 1459-1474.

Goldenberg, G. & C. Artner. 1991. Visual imagery and knowledge about the visual appearance of objects in patients with posterior cerebral artery lesions. *Brain Cognit.* 15: 160-186.

Goldstein, E., T. Katz, J. Kowalchuk & R. Saunders. 1986. Understanding and creating art: Book One. Dallas, TX. Garrard.

Grady, C. L., J. M. Maisog, B. Horwitz, L. G. Ungerleider, M. J. Mentis, J. A. Salerno, P. Pietrini, E. Wagner & J. V. Haxby. 1994. Age-related changes in cortical blood flow activation during visual processing of faces and location. *J. Neurosci.* 14: 1450-1462.

Green, C. D. 1995. All that glitters: a review of psychological research on the aesthetics of the golden section. *Perception* 24: 937-968.

Guariglia, C., A. Padovani, P. Pantano & L. Pizzamiglio. 1993. Unilateral neglect restricted to visual imagery. *Nature* 364: 235-237.

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

H

Hainline, L. *Normal lifespan developmental changes in saccadic and pursuit eye movements*. In: Neuropsychology of eye movements. C. W. Johnston & F. J. Pirozollo (Eds.). Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale. 1988.

Halligan, P. W., J. C. Marshall & D. T. Wade. 1990. Do visual field deficits exacerbate visuospatial neglect? *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* 53: 487-491.

Halligan, P. W. & I. H. Robertson. 1992. The assessment of unilateral neglect. In: J. R. Crawford (ed.). *A handbook of neuropsychological assessment*. Lawrence Erlbaum Ass., Hove: 151-175.

Harvey, M., B. Olk, K. Muir & I. D. Gilchrist. 2002. Manual responses and saccades in chronic and recovered hemispatial neglect: a study using visual search. *Neuropsychologia* 40: 705-717.

Heilman, K. M. & E. Valenstein. 1972. Frontal lobe neglect in man. *Neurology* 22: 660-664.

Heilman, K. M., D. Bowers, E. Valenstein & R. T. Watson. 1993. Disorders of visual attention. *Baillieres.Clin.Neurol.* 2: 389-413.

Henry, G. H. & T. R. Vidyasagar. *Evolution of mammalian visual pathways*. In: Evolution of the eye and visual system. In: J. R. Cronly-Dillon, R. L. Gregory (Eds.). McMillan Press, London. 1991.

Hobson, J. A. Schlaf: *Gehirnaktivität im Ruhezustand*. Kap. 7. Spektrum Verlag, Heidelberg. 1990.

Hoffman, D. D. & M. Singh. 1997. Saliency of visual parts. *Cognition*. 63: 29-78.

Holmes, G. 1918. Disturbances of visual orientation. *Brit.J.Ophthalmol.* 2: 449-456.

Hopfinger, J. B., M. G. Woldorff, E. M. Fletcher & G. R. Mangun. 2001. Dissociating top-down attentional control from selective perception and action. *Neuropsychologia* 39: 1277-1291.

Hornak, J., J. Duncan & D. Gaffan. 2002. The role of the vertical meridian in visual memory for objects. *Neuropsychologia* 40: 1873-1880.

Horton, J. C. & W. F. Hoyt. 1991. Quadrantic visual field defects. A hallmark of lesions in extrastriate (V2/V3) cortex. *Brain* 114: 1703-1718.

I

Ishiai, A., L. G. Ungerleider & J. V. Haxby. 2000. Distributed neural systems for the generation of visual images. *Neuron* 28: 979-990.

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

J

Jahnke, M. T., P. Denzler, B. Liebelt, H. Reichert & K.-H. Mauritz. 1995. Eye movements and fixation characteristics in perception of stationary scenes: normal subjects as compared to patients with visual neglect or hemianopia. *European J. Neurol.* 2: 275-295.

Jeannerod, G. M., P. Gerin & J. Pernier. 1968. Deplacements et fixation du regard dans l'exploration libre d'une scene visuelle. *Vision Res.* 8: 81-97.

Johnston, C. W. 1988. Eye movements in visual hemi-neglect. In: *Neuropsychology of eye movements*. C. W. Johnston & F. J. Pirozollo (Eds.). Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale: 235-263.

Johnston, C. W. *Visual hem-inattention and oculomotor impersistence*. In: A. Gale & F. Johnson (Eds.), *Theoretical and applied aspects of eye movement research*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, North-Holland. 1984.

Johnston, C. W. & L. Diller. 1986. Exploratory eye movements and visual hemi-neglect. *J. Clin. Exp. Neuropsychology* 8: 93-101.

Jung, R. 1973. *Visual perception and neurophysiology, VIII. Eye movements, motion detection and visuo-vestibular coordination: fixation, visual-pursuit and neuronal functions*. In: H. Autrum, R. Jung, W. R. Loewenstein, D. M. MacKay & H. L. Teuber (eds.): *Handbook of sensory physiology, Vol. II/3. Central processing of visual information A: integrative functions*. Springer. Berlin. 87-89.

K

Karnath, S. M. & M. Fetter. 1995. Ocular space exploration in the dark and its relation to subjective and objective body orientation in neglect patients with parietal lesions. *Neuropsychologia* 33: 371-377.

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

Kastner, S. & L. G. Ungerleider. 2001. The neural basis of biased competition in human visual cortex. *Neuropsychologia* 39: 1263-1276.

Kerkhoff, G. 2000. Multiple perceptual distortions and their modulation in leftsided visual neglect. *Neuropsychologia* 38: 1073-1086.

Kerkhoff, G. & I. Schindler. 1997. Hemineglect versus Hemianopsie. Hinweise zur Differentialdiagnose. *Fortschr.Neurol. Psychiat.* 65: 279-289.

Kerkhoff, G., U. Münßinger, E. Haaf, G. Eberle-Strauss & E. Strögerer. 1992. Rehabilitation of homonymous scotomata in patients with postgeniculate damage of the visual system: saccadic compensation training. *Restorative Neurology and Neuroscience* 4: 245-254.

Klein, I., A.-L. Paradis, J.-B. Poline, S. M. Kosslyn & D. Le Bihan. 2000. Transient activity in the human calcarine cortex during visual-mental imagery: an event-related fmri study. *J. Cognit.Neurosci.* 12: 15-23.

Kolb, B. & I. Q. Wishaw. *Neuropsychologie*. Spektrum Akad. Verlag. Heidelberg. 1993.

Kornhuber, H. H. 1978. Blickmotorik. In: O. H. Gauer, K. Kramer & K. Jung: *Physiologie des Menschen, Vol. 13*. Urban & Schwarzenberg. München. 357-426.

Kosslyn, S. M. 1973. Scanning visual images: Some structural implication. *Percept.Psychophys.* 14: 90-94.

Kosslyn, S. M. 1975. Informaton representation in visual images. *Cognit.Psychol.* 7: 341-370.

Kosslyn, S. M. 1978. Measuring the visual angle of mind's eye. *Cognit.Psychol.* 10: 356-389.

Kosslyn, S. M. 1987. Seeing and imaging in the cerebral hemispheres: A computational approach. *Psychol.Rev.* 94: 148-175.

Kosslyn, S. M. *Image and brain: the resolution of the imagery debate.* Cambridge (MA): MIT Press. 1994.

Kosslyn, S. M., P. F. Daly, R. M. McPeck, N. M. Alpert, D. N. Kennedy & V. S. Caviness. 1993. Using locations to store shape: an indirect effect of a lesion. *Cereb. Cortex* 3: 567-582.

Kosslyn, S. M. & L. M. Shin. 1994. Visual mental images in the brain: Current issues. In: M. Farah & G. Ratcliff (Eds.). *The neuropsychology of high-level vision, collected tutorial essays.* 269-296.

Kosslyn, S. M., W. L. Thompson, I. J. Kim & N. M. Alpert. 1995. Topographical representations of mental images in primary visual cortex. *Nature* 378: 496-498.

Kosslyn, S. M., A. Pascual-Leone, O. Felician, S. Camposano, J. P. Keenan, W. L. Thompson, G. Ganis, K. E. Sukel & N. M. Alpert. 1999. The role of area 17 in visual imagery: convergent evidence from PET and rTMS. *Science* 284: 167-170.

Kosslyn, S. M., G. Ganis & W. L. Thompson. 2001. Neural foundations of imagery. *Nature Rev.* 2: 635-642.

L

Leigh, R. J. & D. S. Zee. *The neurology of eye movements.* F.A. Davis Company: Philadelphia (Ed.2nd). 1991.

Levine, D. N., J. Warach & M. Farah. 1985. Two visual systems in mental imagery: dissociation of „what“ and „where“ in imagery disorders due to bilateral posterior cerebral lesions. *Neurology* 35: 1010-1018.

Luebke, A. E. & D. A. Robinson. 1988. Transition dynamics between pursuit and fixation suggests different systems. *Vision Res.* 28: 941-946.

Luria, A. R. *The working brain*. Copyright-Agentur der ehemaligen UDSSR. 1973.

M

Meienberg, O., W. H. Zangenmeister, M. Rosenberg, W.F. Hoyt & L. Stark. 1981. Saccadic eye movement strategies in patients with homonymous hemianopia. *Ann. Neurol.* 9: 531-544.

Meienberg, O., M. Harrer & C. Wehren. 1986. Oculographic diagnosis of hemineglect in patients with homonymous hemianopia. *J. Neurol.* 233: 97-101.

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

Metzler, J. & R. N. Shepard. *Transformational studies of internal representation of three-dimensional space*. In: Theories of cognitive psychology. W. Solso (ed.). Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale. 1974.

Michimata, C. 1997. Hemispheric processing of categorial and coordinate spatial relations in vision and visual imagery. *Brain and Cognition* 33: 370-387.

Mijovic-Prelec, D., L. M. Shin, C. F. Chabris & S. M. Kosslyn. 1994. When does „no“ really mean „yes“? A case study in unilateral visual neglect. *Neuropsychologia* 32: 151-158.

Milani, H., R. K. W. Schwarting, S. Kumpf, H. Steiner & J. P. Huston. 1990. Interaction between recovery from behavioral asymmetries induced by hemivibrissotomy in the rat and the effects of apomorphine and amphetamine. *Behav.Neurosci.* 104: 470-476.

Mishkin, M. & L. G. Ungerleider. 1982. Contribution of striate inputs to the visuospatial functions of parieto-preoccipital cortex in monkeys. *Behav.Brain.Res.* 6: 57-77.

Mishkin, M., L. G. Ungerleider & K. A. Macko. 1983. Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends.Neurosci.* 6: 414.

N

Nagel, D. *Der Einfluss eines aufgabenrelevanten Imagery-Trainings auf das Erlernen des Schreibens von Ideogrammen.* Diplomarbeit, HHU Düsseldorf. 1993.

Niemeier, M. & H. O. Karnath. 2000. Exploratory saccades show no direction specific deficit in neglect. *Neurology* 54: 515-518.

Nothdurft, H. C. 1993. The role of features in preattentive vision: comparison of orientation, motion and colour cues. *Vision Res.* 33: 1937-1958.

Nothdurft, H. C. 2002: Attention shifts to salient targets. *Vision Res.* 42: 1287-1306.

Noton, D. und L. W. Stark. 1971a. Scanpath in saccadic eye movements while viewing and recognizing patterns. *Vision Res.* 11: 929-942.

Noton, D. & L. W. Stark. 1971b. Scanpath in eye movements during perception. *Science* 171: 308-311.

Noton, D. & L. W. Stark. 1971c. Eye movements and visual perception. *Scientific American* 224: 34-43.

P

Paivio, C. & J. Horstman 1983. Factor analysis of a questionnaire on imagery and verbal habits. *Can.J.Psychol.* 37: 461-483.

Parkhurst, D., K. Law & E. Niebur. 2002. Modeling the role of salience in the allocation of overt visual attention. *Vision Res.* 42: 107-123.

Pierrot-Deseilligny, C., I. Israel, A. Berthoz, S. Rivaud & B. Gaymard. 1993. Role of the different frontal lobe areas in the control of the horizontal component of memory-guided saccades in man. *Exp.Brain.Res.* 95: 166-171.

Pinto, L. R., S. Saraiva & W. L. Sanvito. 1990. Unilateral neglect syndrome: clinical and topographic study of 20 subjects. *Arq.Neuropsiquiatr.* 48: 188-194.

Previc, F. H. & H. Intraub. 1997. Vertical biases in scene memory. *Neuropsychologia* 33: 1513-1517.

Previc, F. H. & S. J. Murphy. 1997. Vertical eye movements during mental tasks: a re-examination and hypothesis. *Perceptual and Motor Skills* 84: 835-847.

Prinzmetal, W. 1981. Principles of feature integration in visual perception. *Perception and Psychophysics.* 30: 330-340.

R

Rizzo, M. & R. Hurtig. 1992. Visual search in hemineglect: what stirs idle eyes? *Clin. Vision Sci.* 7: 39-52.

Robertson, L. C. & M. R. Lamb. 1991. Neuropsychological contributions to theories of part/whole organization. *Cognitive. Psychol.* 23: 299-330.

Roland, P. E. & B. Gulyás. 1994. Visual imagery and visual representation. *TINS* 17: 281-297.

S

Saariluoma, P. 1991. Aspects of skilled imagery in blindfold chess. *Acta Psychol. (Amst.)* 77: 65-89.

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

Schlag, J. & M. Schlag-Rey. 1987. Evidence for a supplementary eye field. *J.Neurophysiol.* 57: 179-200.

Schrauf, M. & C. Stern. 2001. The visual resolution of Landolt-C optotypes in human subjects depends on their orientation: the „gap-down“ effect. *Neurosci.Let.* 299: 185-188.

Sereno, M. I., A. M. Dale, J. B. Reppas, K. K. Kwong, T. J. Brady et al. 1995. Borders of multiple visual areas in humans revealed by functional magnetic resonance imaging. *Science* 268: 889-893.

Seth, B. R. & S. Shimojo. 2001. Compression of space in visual memory. *Vis.Res.* 41: 329-341.

Shepard, P. N. & J. Metzler. 1971. Mental rotation of three-dimensional objects. *Science* 171: 701-703.

Sirigu, A., J. R. Duhamel, I. Cohen, B. Pillon, B. Dubois & Y. Agid. 1996. The mental representation of hand movements after parietal cortex damage. *Science* 273: 1564-1568.

Sirigu, A. & J. R. Duhamel. 2001. Motor and visual imagery as two complementary but neurally dissociable mental processes. *J.Cognitive Neurosci.* 13: 910-919.

Slater, A. & R. Kirby. 1998. Innate and learned perceptual abilities in the newborn infant. *Exp. Brain Res.* 123: 90-94.

Solso, R. L. Cognition and the visual arts: *Developing and using an art scheme.* Massachusetts. MIT Press. 1994.

Springer, S. P. & G. Deutsch. *Linkes / Rechtes Gehirn*). Spektrum-Verlag. Heidelberg. 1998.

Stampe, D. M. 1993. Heuristic filtering and reliable calibration methods for video-based pupil-tracking systems. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers* 25: 137-142.

Stark, L. W., M. Azzariti, T. Blackmon, D. Chernyak, Y. F. Ho, C. M. Privitera & H. Yang. *Representation of human vision in the brain: how does human perception recognize images?* Memorandum No. UCB/ERL. M99/49. Berkley: Electronics Research Laboratory. 1999.

Steiner, H., A. E. Bonatz, J. P. Huston & R. K. W. Schwarting. 1988. Lateralized wall-facing versus turning as measures of behavioral asymmetries and recovery of function after injection of 6-hydroxydopamine into the substantia nigra. *Exp.Neurol.* 99: 556-566.

Stoerig, P. 1996. Varieties of vision: from blind response to conscious recognition. *TINS* 19: 401-406.

Stoerig, P. & S. Brandt. 1993. The visual system and levels of perception: properties of neuromental organization. *Theoretical Medicine* 14: 117-135.

Stoerig, P. & A. Cowey. 1995. Visual perception and phenomenal consciousness. *Behavioral Brain Research* 71: 147-156.

Stoerig, P. & A. Cowey. 1997. Blindsight in man and monkey. *Brain* 120:535-559.

Stoerig, P. & E. Barth. 2001. Phenomenal vision following unilateral destruction of primary visual cortex. *Conscious Cogn.* 10: 21-25.

Stoerig, P., A. Zontanou & A. Cowey. 2002. Aware or unaware: assessment of cortical blindness in four men and a monkey. *Cerebral Cortex* 12: 565-574.

Straumann, D. & V. Henn. *Das sakkadische System*. In: Klinische Neuroophthalmologie. A. Huber & D. Kömpf (eds.) Thieme. Stuttgart. 1998.

T

Treisman, A. M. & G. Gelade. 1980. A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychol.* 12: 97-136.

Turano, K. A., D. R. Gerasch & F. H. Baker. 2003. Oculomotor strategies for the direction of gaze tested with a real-world activity. *Vision Res.* 43: 333-346.

U

Ungerleider, L. G. & J. V. Haxby. 1994. „What“ and „where“ in the human brain. *Curr. Opinion Neurobiol.* 4: 157-165.

V

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

Vallar, G., P. Sandroni, M. L. Rusconi & S. Barbieri. 1991. Hemianopia, hemianesthesia, and spatial neglect: a study with evoked potentials. *Neurology* 41: 1918-1922.

W

Walls, G. L. 1962. The evolutionary history of eye movements. *Vision Res.* 2: 69-80.

Walker, R., J. M. Findlay, A. W. Young & J. Welch. 1991. Disentangling neglect and hemianopia. *Neuropsychologia* 29: 1019-1027.

Walker, R. & J. M. Findlay. 1995. Saccadic eye movement programming in unilateral neglect. *Neuropsychologia* 34: 493-508.

Watson, R. T., K. M. Heilman, B.D. Miller & F.A. King. 1973. Neglect after mesencephalic reticular formation lesions. *Neurology* 24: 294-298.

Watson, R. T. & K. M. Heilmann. 1979. Thalamic neglect. *Neurology* 29: 690-695.

Weintraub, S. & M. M. Mesulam. *Neglect: hemispheric specialization, behavioral components and anatomical correlates*. In: Handbook of Neurophysiology. F. Boller and J. Graftman (Eds.). Elsevier Science Publishers. Amsterdam. 1989.

Weintraub, S. & M. M. Mesulam. 1987. Right cerebral dominance in spatial attention: Further evidence based on ipsilateral neglect. *Arch.Neurol.* 44: 621-625.

Weiskrantz, L. 1990. Explicit methodologies for implicit processes. *Proc.R.Soc.Lond. (Biol)*. 239: 247-278.

Weiskrantz, L., A. Cowey & J. L. Barbour. 1999. Differential pupillary constriction and awareness in the absence of striate cortex. *Brain* 122: 1533-1538.

Werth, R., D. von Cramon & J. Zihl. 1986. Neglect: the phenomena of unilateral neglect following brain damage. *Fortschr.Neurol.Psychiatr.* 54: 21-32.

Werth, R. & E. Pöppel. 1988. Compression and lateral shift of mental coordinate systems in a line bisektion task. *Neuropsychologia* 26: 741-745.

Y

Yarbus, A. L. Eye movements and vision. Plenum. New York. 1967.

Z

Zangemeister, W. H., K. Sherman & L. Stark. 1999. Evidence for a global scanpath strategy in viewing abstract compared with realistic images. *Neuropsychologia* 33:1009-1025.

Zeki, S. *A vision of the brain*. Oxford: Blackwell Scientific. 1993.

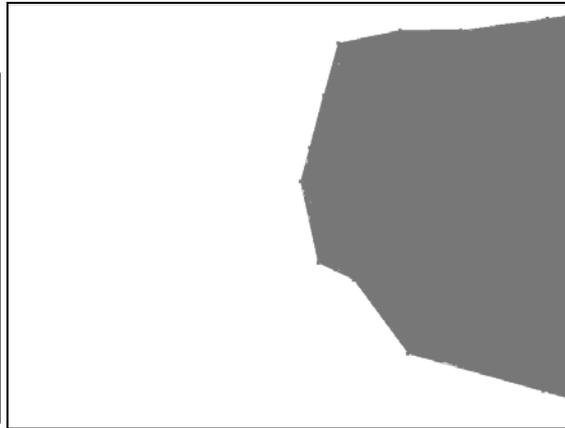
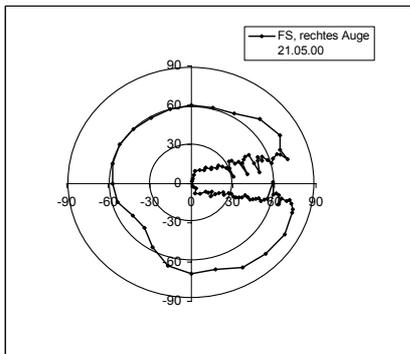
Zihl, J. & D. von Cramon. 1986. Visual field rehabilitation in the cortical blind? *J.Neurol.Neurosurgery.Psychiatr.* 49: 965-967.

Zihl, J. *Zerebrale Blindheit und Gesichtsfeldausfälle*. In: Neuropsychologie. H.O. Karnath & P. Their (Eds.). Springer Verlag, Berlin. 2003.

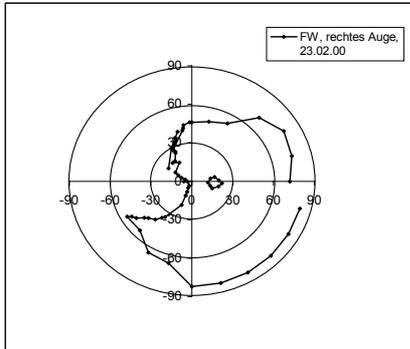
VI. Anhang

Schematische Darstellung der Gesichtsfeldperimetrie und der individuellen Ausfallschablonen für die hemianopen Patienten. Graue Flächen stellen den Ausfallbereich dar (ausführliche Beschreibung siehe Methodenteil).

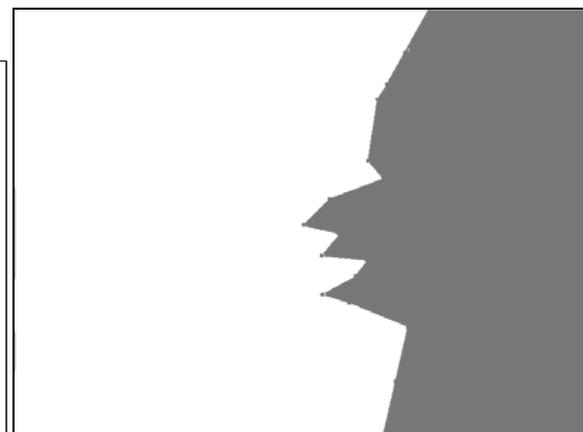
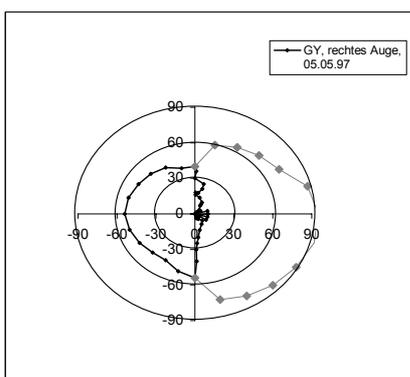
Patient FS



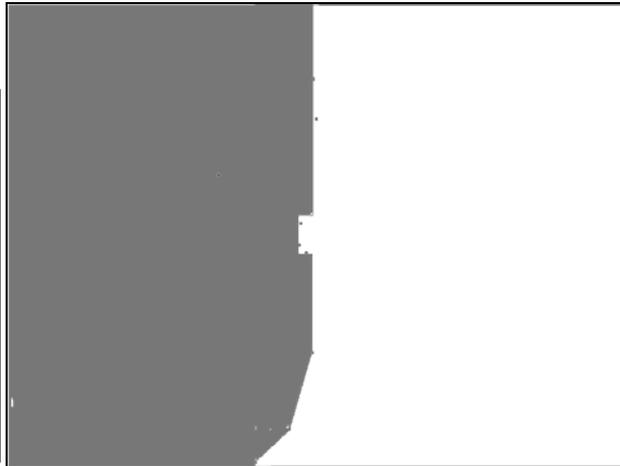
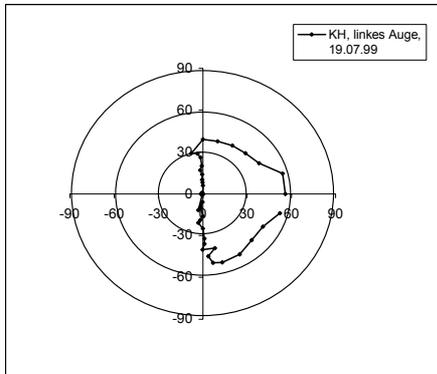
Patient FW a / FW c



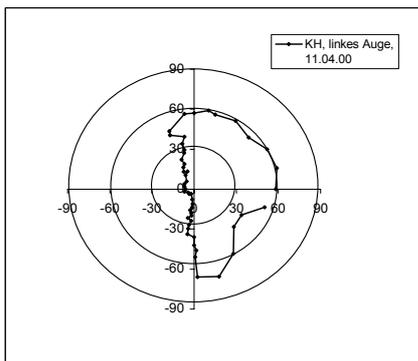
Patient GY



Patient KH a



Patient KH c

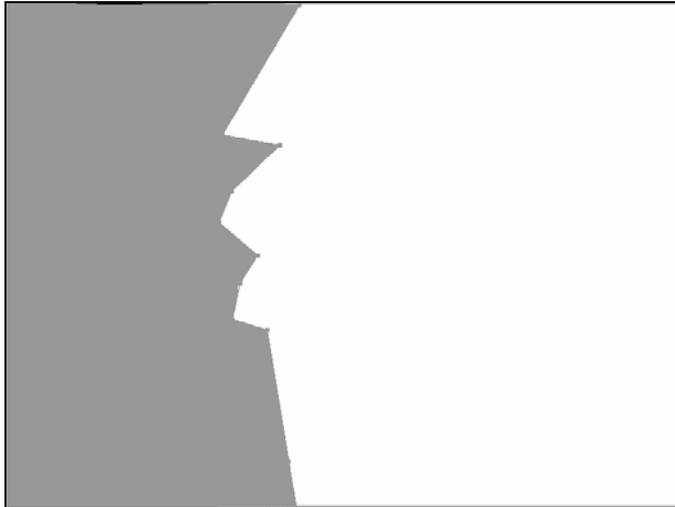
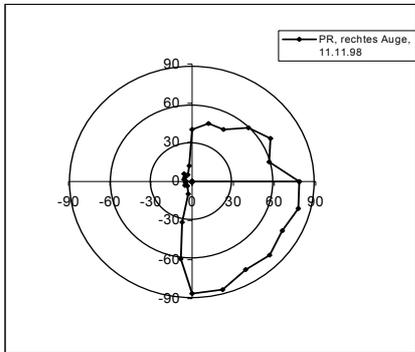


Patient LJ

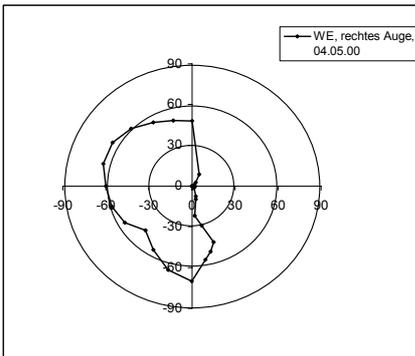


(keine Perimetrie-Abb. zugänglich)

Patient PR

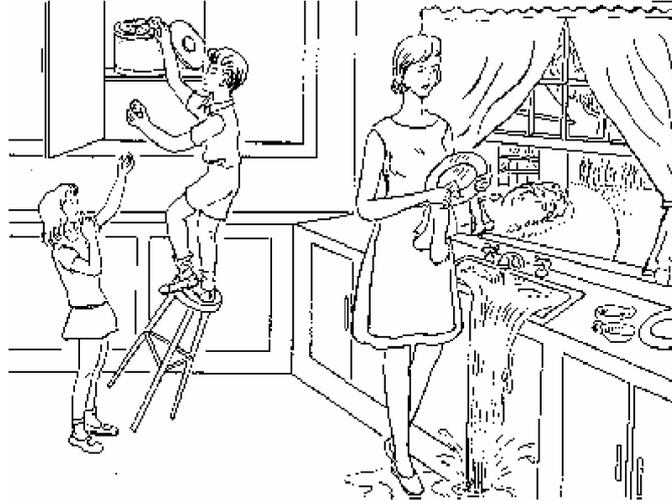


Patient WE a / WE c



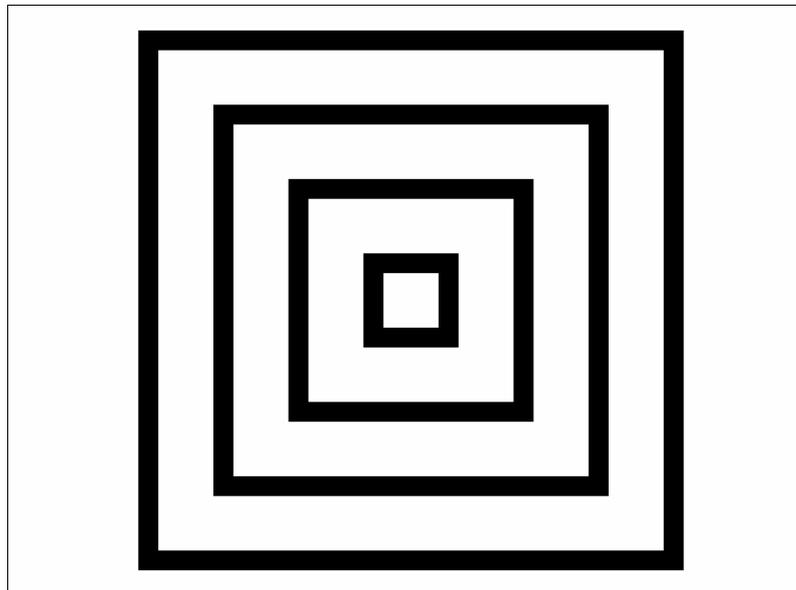
Stimuli, die nicht in die Analyse eingingen

Der Stimulus „Keks“



Schematische Darstellung des Stimulus „Keks“.

Der Stimulus „Opart“



Schematische Darstellung des Stimulus „Opart“

Der Stimulus „Rousseau“



a)



b)

Schematische Darstellung des Stimulus „Rousseau“. A) Rousseau seitenrichtig, b) Rousseau gespiegelt.

Danksagung

Mein Dank gilt der Gertrud-Reemtsma-Stiftung für neurologische Grundlagenforschung, Frau Prof. Petra Stoerig, Jan-Hendryk Dombrowski, PD Dr. Michael Schrauf und Dr. Raimund Kleiser. Besonderer Dank gilt weiterhin meinen akademischen Lehrern, den Professoren J.P. Huston, H.J. Krauth und E.W. Wist.