

Aus der Neurologischen Klinik des
Universitätskrankenhauses Hamburg-Eppendorf
Direktor: Prof. Dr. K. Kunze

**Visual Imagery und Mikro-Sakkaden
bei Hemianopsie-Patienten**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg
vorgelegt von

Joystone Gbadamosi
aus Hamburg

Hamburg, 1999

Angenommen von dem Fachbereich Medizin
der Universität Hamburg am: 04. Januar 2000

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der Universität Hamburg

Sprecher: Prof. Dr. H.-P. Leichtweiß

Referent: Prof. Dr. W. Zangemeister

Korreferent: Prof. Dr. K. Kunze

Inhaltsverzeichnis

<u>1. Einleitung</u>	1
1.1 Allgemeine Einführung	1
1.2 Neuroanatomie und -physiologie des visuellen Systems	1
1.3 Homonyme Hemianopsie und rehabilitative Aspekte	5
1.4 Scanpath und Feature-Ring-Hypothese des Sehens	6
1.5 Visual Imagery	9
1.6 Mikro-Sakkaden	11
1.7 Zielsetzung der Untersuchung	13
<u>2. Material und Methoden</u>	15
2.1 Patienten und Normalprobanden	15
2.2 Einschlußkriterien	16
2.3 Versuchsaufbau	16
2.3.1 Meßgeräte und experimenteller Aufbau	16
2.3.2 Visuelle Stimuli und standardisierte Vorgaben	18
2.4 Meßverfahren und Datenanalyse	21
2.4.1 Basale Auswertung	21
2.4.2 Verfahren zum Vergleich von Bildbetrachtungen	21
2.4.3 Statistische Auswertung	26
<u>3. Ergebnisse</u>	28
3.1 Basale Parameter	28
3.1.1 Blickfolgebewegungen und prädiktive Sakkaden - Main Sequence	28
3.1.2 Sakkaden/Fixationen-Merkmale der Bildbetrachtung	33
3.1.3 Sakkaden/Fixationen-Merkmale des Visual Imagery	40
3.2 Similarity-Analyse der Scanpaths beider Kollektive	42
3.2.1 Normalprobanden	45
3.2.2 Hemianopsie-Patienten	46
3.3 Mikro-Sakkaden Analyse - Verteilung	47

<u>4. Diskussion</u>	51
4.1 Basale Scanpathparameter- Analyse	51
4.1.1 Sakkaden- und Fixationen-Charakteristika der Bildbetrachtung	51
4.1.2 Bilaterale Verteilung d.Blickpositionen & ausgewählte kognitive Merkmale	52
4.1.3 Visual Imagery - Basale Parameter	53
4.1.4 Merkmale und Adaptationsgrad des Patientenkollektives	54
4.2 Visual Imagery	56
4.2.1 Vergleich der Scanpath-Similarities beider Kollektive	56
4.2.2 Bewertung der Vergleichsverfahren	57
4.2.3 Implikationen für das visuelle mentale Modell	58
4.3 Mikro-Sakkaden	60
4.4 Konklusion & Ausblick	62
<u>5. Zusammenfassung</u>	64
<u>6. Literaturverzeichnis</u>	65
<u>7. Anhang</u>	71
7.1 Patiententabelle/Kasuistiken	72
7.2 Ausgewählte apparative Befunde	73
7.2.1 Computertomographie, Einzelbeispiel 1	73
7.2.2 Computertomographie, Einzelbeispiel 2	74
7.2.3 Perimetrie, Einzelbeispiel 1	75
7.2.4 Perimetrie, Einzelbeispiel 2	76
7.3 ROI-Einteilung der Bilder	77
7.4 Ausgewählte veranschaulichende Messungen	80
7.4.1 Prädiktive Sakkaden	80
7.4.2 Scanpaths Bildbetrachtung/Imagery	81
7.4.3 Mikro-Sakkaden-Darstellung	85
7.5 Parsing	86
7.6 Mikro-Scanpath	89
<u>8. Danksagung</u>	93
<u>9. Lebenslauf/Publikationen</u>	94

1. Einleitung

1.1 Allgemeine Einführung

Die folgende Untersuchung befaßt sich mit der Analyse verschiedener Aspekte der Blicksteuerung zwischen Normalprobanden und Patienten mit sensorischen Defiziten, repräsentiert durch ein Kollektiv von Hemianopsie-Patienten.

Es wurde zunächst bei fixiertem Kopf eine Infrarot-Okulographische Ableitung der Augenbewegungen aller Probanden nach Betrachtung und Visual Imagery verschieden komplexer visueller Stimuli durchgeführt. Anschließend wurden die gewonnenen Daten einer quantitativen Analyse verschiedener Parameter wie basale Leistungsmerkmale/Okulomotorik, Mikro-Sakkaden und schwerpunktmäßig dem Visual Imagery unterzogen.

Ziel dieser Untersuchung war zum einen der Vergleich der Blicksteuerung zwischen den beiden Kollektiven, zum anderen Aufschluß über die Beschaffenheit des mentalen Abbildes visueller Stimuli an sich zu erhalten. Somit leistet diese Arbeit auch einen Beitrag zur Erforschung des „High-Level-Vision“ mit der Frage nach der Reproduzierbarkeit einer einmal erlernten Blicksequenz im Sinne des Nachweises von „Top-Down“-Kontrollprozessen des visuellen Systems.

1.2 Neuroanatomie und -physiologie des visuellen Systems

Die Axone der Ganglienzellen der Retina konvergieren in der Papilla n. optici und bilden beidseits den myelinisierten N. opticus (II. Hirnnerv). Im Chiasma opticum treffen dann die Sehnerven beider Augen aufeinander und teilen sich in der Folge zum bilateralen Tractus opticus auf. Dabei kreuzen die Axone der jeweiligen nasalen Retinaanteile auf die Gegenseite und verbinden sich im Tractus opticus mit den ipsilateralen temporalen Retinaanteilen, so daß postchiasmatal eine Aufteilung nach Gesichtsfeldern besteht. Der rechte Tractus opticus transportiert dabei Fasern des linken Gesichtsfeldes und umgekehrt (s. Abb. 1). Beide Tractus optici projizieren jeweils in folgende drei subkortikale Regionen:

1. Das Corpus geniculatum laterale, welches als thalamischer Anteil der primären visuellen Verarbeitung von Sehimpulsen auf dem Weg zum Kortex dient.
2. Die Area praetectalis, welche die Pupillomotorik steuert.
3. Der Colliculus superior, von dem aus Bahnen zu den Augenmuskelkernen, in das Rückenmark und über die Pons in den Ncl. dentatus des Cerebellums ziehen, wodurch

vermittels einer direkten Verbindung zum motorischen System Reflexe auf visuelle Reize hin ausgelöst werden können.

Es bestehen ferner Verbindungen über die Lamina terminalis zum Ncl. suprachiasmaticus des Hypothalamus, wodurch das visuelle System auf die zirkadiane vegetative Rhythmik Einfluß nimmt.

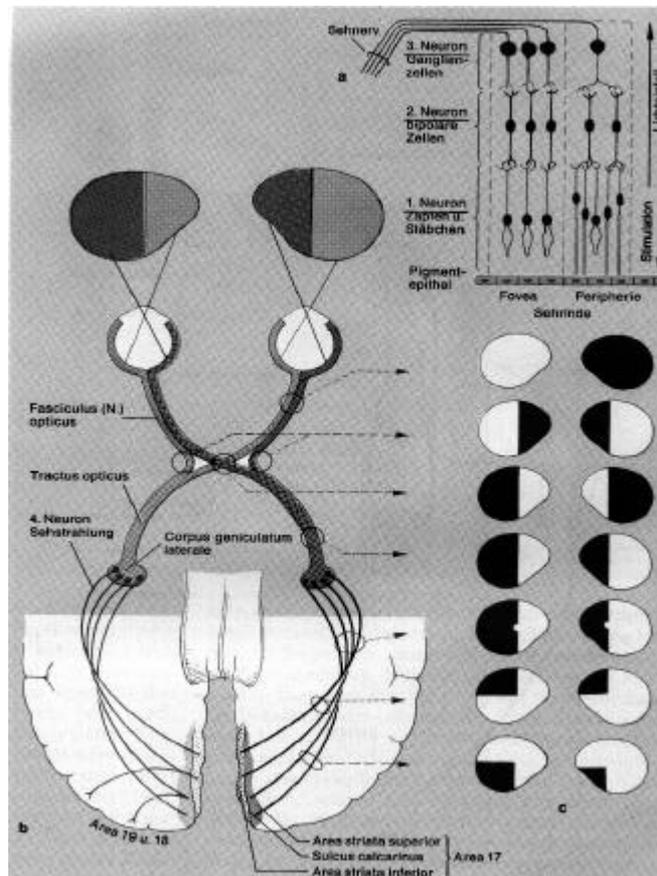


Abbildung 1: Schema der Sehbahn (nach K. Kunze „Lehrbuch der Neurologie“, Georg Thieme Verlag, 1992, S. 27)

Ausgehend von dem Phänomen der „Seelenblindheit“ entstand die „Blindsight“-Theorie. Sie postuliert mit der „Two Visual System“-Hypothese die Existenz zweier qualitativ unterschiedlicher Bahnsysteme zu den okzipitalen Rindenfeldern (Campion et al. 1983), die parallel Informationen an den Kortex leiten. Dabei transportiert das „First Visual System“, das genikulostriatäre Bahnsystem, bewußte visuelle Informationen („wie die Dinge erscheinen“) zunächst in die primäre Sehrinde, während das „Second Visual System“ über die Mittelhirnbahnen neben den genannten Projektionen primär Bewegungswahrnehmungen an extrastriatäre kortikale Regionen weiterleitet. Verbunden mit den sensorischen und assoziativen

Zentren des visuellen Systems ist zudem das sakkadische System, welches auf motorischer Ebene der Steuerung konjugierter Augenbewegungen dient.

a) Genikulostriatäres System

Das Prinzip der visuellen Verarbeitung von Sinnesreizen besteht sowohl in einer topographischen Repräsentation der Retinaanteile in den primären Sehzentren als auch in einer auf verschiedenen Ebenen durchgeführten Analyse der Stimuli nach diversen Modalitäten. Durch das parallele Zusammenwirken dieser beiden Faktoren entsteht die Wahrnehmung von Bildern bzw. der Umwelt (Hubel et al. 1979; Stone et al. 1979).

Die erste subkortikale Transformation von visuellen Reizen findet gestaffelt im Corpus geniculatum laterale statt. Dieses besteht histoanatomisch aus sechs Zellschichten: zwei kranialen magnozellularen und vier kaudalen parvozellularen Schichten. Das magnozellulare System dient bei hoher Kontrast- und zeitlicher Auflösung der initialen Bewegungsanalyse, das parvozellulare System hingegen der initialen Farben- und Raumwahrnehmung (Kaas et al., 1972; Breitmeyer et al., 1992; Zeki, 1993).

Vom Corpus geniculatum laterale besteht über die Radiatio optica eine direkte Verbindung zum primären Sehzentrum (V1, Area 17 nach Brodmann) im Sulcus calcarinus des okzipitalen Kortex. Von hier aus bestehen Verbindungen zum sogenannten sekundären (extrastriären) visuellen Assoziationskortex (Area 18, 19). Zunächst im Tierversuch und später auch durch SPECT und PET-Untersuchungen am Menschen konnten verschiedene Areale okzipito-temporo-parietal funktionell aufgegliedert werden. Nach Zeki (1976, 1978, 1983 und 1993) ließ sich anhand von Untersuchungen am Rhesusaffen eine Zuordnung der Areale V2-V5 für die Verarbeitung unterschiedlicher Modalitäten der visuellen Information, wie z.B. Farbe, Form und Bewegung finden. Zusätzlich dient V5a aus Teilen von Area 19, 39 und 37 = MST (Medial superior temporal area) an der vorderen Kurve des Sulcus temporalis superior und die Area 7a im posterioren parietalen Kortex der Prozessierung visueller Information (Stone et al. 1979; Kennard et al. 1989).

b) Mittelhirnbahnen über den Colliculus superior

Im Colliculus superior werden visuelle, somatische und auditorische Reize unbewußt koordiniert, indem Augen- und Kopfmotorik an die registrierten Reize angepaßt werden. Bei

Tieren ist dieser Anteil des visuellen Systems stärker ausgebildet als beim Menschen, außerdem existieren weitere Verbindungen zu höheren extrastriären Sehzentren (Weißkrantz, 1982).

Ein seltenes Phänomen bei Gesichtsfelddefekten ist das der statokinetischen Dissoziation. In diesen Fällen ist in der statischen Perimetrie ein Gesichtsfelddefekt nachweisbar, jedoch können dort vom Patienten weiterhin Bewegungen registriert werden (Riddoch, 1917). Hierfür werden bei Ausfall der entsprechenden primären Sehrinde über den Colliculus superior in extrastriäre Sehzentren projizierende Mittelhirnbahnen verantwortlich gemacht. Dieser von Riddoch geprägte Begriff ist als Vorläufer der „Blindsight“-Theorie zu sehen.

c) Augenbewegungs-Steuerung - Sakkadisches System

Aufgabe der sakkadischen Augenbewegungen, die physiologischerweise stets konjugiert auftreten ist es, die Fovea centralis schnellstmöglich von einem fixierten Objekt auf ein anderes, in der Gesichtsfeldperipherie gelegenes Objekt zu bringen um dieses genauer zu analysieren. Somit bestehen die Augenbewegungen beim Betrachten von Bildern üblicherweise aus Serien von Sakkaden mit dazwischenliegenden, wechselnd langen Fixationszeiten. Diese Sakkaden können sowohl willkürlich als auch reflektorisch (durch einen optischen, akustischen oder taktilen Reiz) ausgelöst werden. Generiert werden die Steuersignale für Sakkaden von der paramedianen pontinen retikulären Formation (PPRF) des Hirnstamms und laufen für die horizontalen Sakkaden über den Fasciculus longitudinalis medialis (FLM) zu den korrespondierenden Augenmuskelkernen. Die Signale für die vertikalen Sakkaden werden ausgehend von den medialen Anteilen der PPRF ipsilateral nahe dem FLM zum rostralen interstitiellen Kern des FLM im Prätektum weitergeleitet, von wo aus sie auf Neurone umgeschaltet werden, die zu den Okulomotorius- und Trochleariskernen projizieren. Dem pontinen Blickzentrum übergeordnet sind ein „frontales Augenfeld“ für die willkürliche und ein „okzipitales Augenfeld“ für die visuell-reflektorische Auslösung von Sakkaden. Das Cerebellum spielt für die Zielgenauigkeit der Sakkaden eine entscheidende Rolle. Bezüglich der Maximalgeschwindigkeit und Dauer von Sakkaden gilt, daß die Maximalgeschwindigkeit mit der Amplitude wächst, wobei diese Relation nur bis zu einer Amplitude von 15° linear ist. Bei größeren Amplituden wird in einem Geschwindigkeitsbereich von rund $700^\circ/\text{s}$ eine Sättigungsgrenze erreicht, die individuell jedoch sehr verschieden sein kann (Meienberg, 1988). Die maximale Sakkadendauer liegt zwischen 30 und 120 ms. Unter natürlichen Bedingungen sind Sakkaden bei großamplitudigen Zuwendebewegungen (auf über 15° zum fixierten Objekt entfernte Ziele) mit einer Kopfbewegung koordiniert. Die Koordination zwischen

okulomotorischen und Kopfbewegungsimpulsen mit den durch die Kopfbeschleunigung ausgelösten kompensatorischen Augenreflexbewegungen leistet der vestibulo-okuläre Reflex (VOR) (Brandt, 1983). Störungen der Feinabstimmung des VOR liegen unter anderem auch bei Patienten mit sensorischen Defiziten vor (Zangemeister et al., 1982, 1986).

Hinsichtlich des Zusammenwirkens von sensorischen und motorischen Anteilen des visuellen Systems konnte in einer Arbeit von Brandt et al. (1998) mittels repetitiver transkranieller Magnetstimulation (rTMS) das Modell eines parieto-präfrontales Netzwerkes für die Repräsentation visuell-räumlicher Information erhärtet werden. Durch Stimulation des dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC) und des posterioren parietalen Kortex (PPC) gelang es, die Zielgenauigkeit (Amplitude und Richtung) von „Memory-guided“ Sakkaden bei Normalprobanden herabzusetzen. Schon in früheren Untersuchungen war mittels TMS über dem frontalen und parietalen Kortex von einer konsekutiven Störung prädiktiver Sakkaden berichtet worden (Zangemeister et al., 1995).

1.3 Homonyme Hemianopsie und rehabilitative Aspekte

Die Hemianopsie ist als Ausfall ganzer Gesichtsfeldanteile, bedingt durch Läsionen der zentralen Sehbahn definiert. Je nach Ort der Läsion unterscheidet man verschiedene Formen, von denen die homonyme Hemianopsie vor der Quadrantenanopsie die häufigste ist, meist unter Aussparung der separat projizierenden Macula lutea. Neben Traumata, Blutungen und Tumoren stellt der ischämische cerebrovaskuläre Infarkt die weitaus häufigste Ursache für die homonyme Hemianopsie dar, eine Vergesellschaftung mit anderen kognitiven Störungen wie Aphasie und visuellem Hemineglect ist nicht selten. Dies kann zuweilen die Diagnosestellung der Hemianopsie erschweren, welche gängigerweise durch die statische Perimetrie gesichert wird.

Über 20-30% aller Patienten mit cerebrovaskulären Infarkten, die in Rehabilitationszentren therapiert werden, haben eine Hemianopsie (Rossi et al., 1990).

Durch das sensorische Defizit werden die Patienten je nach Größe und Lokalisation der Schädigung in der Wahrnehmung und Verarbeitung von visuellen Informationen unterschiedlich stark betroffen. Es kommt zu Problemen in der Exploration des blinden Gesichtsfeldes, häufig zu hypometrischen, langsamen und kleinamplitudigen Sakkaden sowie zu erheblichen Beeinträchtigungen in der Orientierung und Sicherheit im Alltag.

Der Verlauf und die Therapie der Hemianopsie hängt maßgeblich von der Schwere der Störung und dem Adaptationsgrad des Patienten ab. In prospektiven Untersuchungen des Spontanverlaufes vaskulär bedingter retrogenikulärer Gesichtsfeldausfälle zeigte sich, daß die spontanen Restitutionsvorgänge (Axon-Sprouting etc.) im blinden Gesichtsfeld meist innerhalb eines halben Jahres im wesentlichen abgeschlossen waren, wobei der durchschnittliche Gesichtsfeld-Gewinn bei homonymen Hemianopsie-Patienten perimetrisch bei ungefähr 16% lag (Hier et al., 1983; Messing et al., 1986). Bis zu einem gewissen Grade kann das sensorische Defizit durch kompensatorische Augenbewegungsstrategien ausgeglichen werden (Riddoch, 1917; Poppelreuter, 1917; Gassel et al., 1963; Meienberg et al., 1981 und 1983; Zihl et al., 1981 und 1988; Zangemeister et al., 1982 und 1986; Schöpf et al., 1992 und 1993). Kopfbewegungen kommen aufgrund einer gestörten Augen-Kopf-Koordination eine geringere Bedeutung zu (Zangemeister et al., 1982 und 1986; Schöpf et al., 1992 und 1993). Ein spezifisches und systematisches Explorationstraining im blinden Gesichtsfeld durch perimetrisches Sakkadentraining kann zu einer entscheidenden Verbesserung des visuell-räumlichen Verhaltens führen (Pommerenke et al., 1989). Zihl et al. (1988) beschreiben bei ihrem Patientenkollektiv Erweiterungen des Suchbereiches im blinden Gesichtsfeld durch gezieltes Explorationstraining nach Therapie um 20°. Bedeutsam erscheinen bei diesem Adaptationstraining nicht nur die „gelernten“ okulomotorischen Aspekte, sondern auf der sensorischen Ebene auch eine Bahnung bzw. Verstärkung der Restkapazitäten im blinden Gesichtsfeld gemäß der o.g. „Blindsight“-Theorie. In diversen Studien zu diesem Thema wurde deutlich, daß Patienten mit homonymer Hemianopsie über residuale, bewußte und unbewußte visuelle Restkapazitäten im blinden Gesichtsfeld verfügen, welche am ehesten über die Mittelhirnbahnen vermittelt werden und einen weiten Kreis umspannen (Weißkrantz, 1974 und 1982; Campion et al. 1983; Zihl et al., 1979, 1984, 1985 und 1988). Zangemeister et al. (1999) untersuchten erstmals auch den Einfluß kognitiver blickmotorischer Strategien auf die Gesichtsfeldrehabilitation an einem Patientenkollektiv und fanden signifikante Verbesserungen im Blickverhalten nach Absolvierung eines speziellen kognitiven Trainings der Augenbewegungen.

1.4 Scanpath und Feature-Ring-Hypothese des Sehens

Ausgehend von der Vorstellung der visuellen Wahrnehmung als aktivem, dynamischen Prozeß ergibt sich zunächst das grundlegende Problem des Zustandekommens und der Beschaffenheit des mentalen Abbildes. Die Ausgangsfrage besteht dabei darin, ob der Prozeß des visuellen

Erkennens von Objekten ein paralleler oder ein serieller ist. Lediglich etwa ein Sehinkelgrad um den jeweiligen Blick- oder Fixationspunkt wird mit hoher räumlicher Auflösung wahrgenommen, dieser Punkt des schärfsten Sehens tastet durch Sakkaden nur kleine Teile der im Blickfeld vorhandenen Stimuli genauer ab. Kognitive Funktionen erzeugen dabei den Eindruck eines geschlossenen, kopfzentrischen Gesichtsfeldes. Es werden nicht alle im Blickfeld vorhandenen Objekte genau abgetastet. In dynamischen Alltagssituationen (z.B. Straßenverkehr) genügt es häufig ein Objekt lediglich zu lokalisieren, ohne es genauer zu analysieren. Nach kurzem Blick auf dieses Objekt, z.B. einen Baum, vertritt das kognitive Modell „Baum“ das reale Objekt im erzeugten mentalen Gesichtsfeld. Das unscharfe periphere Sehen unterstützt das mentale Gesichtsfeld, indem es Informationen über die relative Lage der modellhaft wahrgenommenen Objekte liefert. Seine Hauptfunktion besteht jedoch im schnellen Erkennen von Änderungen der Umwelt, entsprechend haben die Randgebiete der Netzhaut zwar eine schlechte räumliche, jedoch eine gute zeitliche Auflösung im Gegensatz zur Fovea centralis.

Beim Erkennen von Bildern wird nun zunächst nur über grobe Kategorien wie z.B. Größe, Form und Oberflächenbeschaffenheit die Assoziation mit dem bereits vorhandenen internen Modell des jeweiligen Objektes ausgelöst. Treisman's „Feature integration theory“ (Treisman et al., 1980) beschreibt, daß einfache Merkmale relativ schnell parallel gesucht werden können. Komplexere Merkmalskombinationen benötigen einen seriellen Suchprozeß, der verborgene oder offene „Attentional shifts“ mit einschließt.

Das visuelle System des Menschen wird ständig mit großen Datenmengen und schnell veränderlichen komplexen Situationen konfrontiert. Dies erfordert eine zügige Verarbeitungs- und Entscheidungsfähigkeit, sowie eine Selektivität bezüglich relevanter visueller Information. Bereits Noton und Stark vermuteten 1971, daß mit einzelnen ausgewählten Elementen einer Szene durch Top-Down-Prozesse High-Level-Assoziationen verknüpft werden (Noton & Stark, 1971). Diese sind wiederum mit Lern- und Gedächtnisfunktionen verbunden. Geschwindigkeit und Effektivität der visuellen Exploration wird also dadurch erklärt, daß nicht jedes Element einer visuellen Szene genau durchgesehen wird. Es wurde im Folgenden postuliert, daß bei Entstehung der High-Level Assoziationen Form, räumliche sowie inhaltlich-kontextuelle Beziehungen der Elemente herangezogen werden (Ullmann, 1985). Daß Top-Down und Bottom-Up Aspekte des Sehens bereits in frühen Stadien visueller Informationsverarbeitung miteinander verbunden sind, zeigt sich dadurch daß die entsprechenden assoziativen Verbindungen sehr schnell auch für nur kurz dargebotene Stimuli gebildet werden konnten.

Dies spricht wiederum dafür, daß kortikale neuronale Verbindungen bereits vorhanden sein müssen, die dann die beschriebenen Interaktionen ermöglichen. Es stellt sich also die Frage nach den inneren Repräsentanzen, die das Gehirn für die zu erkennenden Muster besitzt.

Eine Sichtweise besteht darin, daß das mentale Modell aus Einzelkomponenten und Merkmalen besteht, die schrittweise in der Erkennungsphase mit dem gesehenen Objekt abgeglichen werden. Bildbetrachtungen bestehen in der Regel aus einer sequentiellen Abfolge von Sakkaden und Fixationen, wobei die Sakkaden zeitlich nur ca. 10 % dieser Sequenzen ausmachen. Die (auch von uns okulographisch abgeleiteten) Augenbewegungen der Probanden ergeben bei entsprechender graphischer Projektion dann ein bestimmtes Muster, den sogenannten Scanpath. Dieser wurde von Noton & Stark 1971 eingeführt. Sie fanden in ihren Studien mit der Ableitung von Augenbewegungen an verschiedenen Probanden zu diversen Bildern deutliche intrasubjektive Ähnlichkeiten der Scanpaths bei wiederholtem Ansehen desselben Bildes (Noton & Stark, 1971). Während längeren Betrachtens eines Objektes wurde der Scanpath mehrmals wiederholt. Hieraus entstand die „Feature Ring Hypothese“, die besagt daß die interne Repräsentation von Objekten in Form von zyklisch durchlaufenen sensorischen „Features“ gegeben ist, welche durch festgelegte motorische Abtastwege (Sakkaden) miteinander verbunden sind. (s. Abb. 2). Das Wiedererkennen von Bildern geschieht demnach durch ein festgelegtes schrittweises „Abscannen“ entsprechend des jeweiligen „Feature Rings“. Das von denselben Autoren vorgeschlagene Prinzip der „Attention shifts“ bei visuellen Stimuli, die (wie oft unter Alltagsbedingungen) ohne Augenbewegungen erfaßt werden, konnte in einer PET Studie (Mesulam, 1990) erhärtet und in Form eines groß angelegten neuronalen Systems morphologisch aufgezeigt werden. Husain und Kennard (1995) beschreiben visuelle Attention als einen Vorgang, der sich bereits vor der Augenbewegung dem Ziel der dann folgenden Sakkade zuwendet und beschreiben Kortex, Pulvinar und den Colliculus superior als das wesentliche anatomische Substrat für die Ausrichtung visueller Attention.

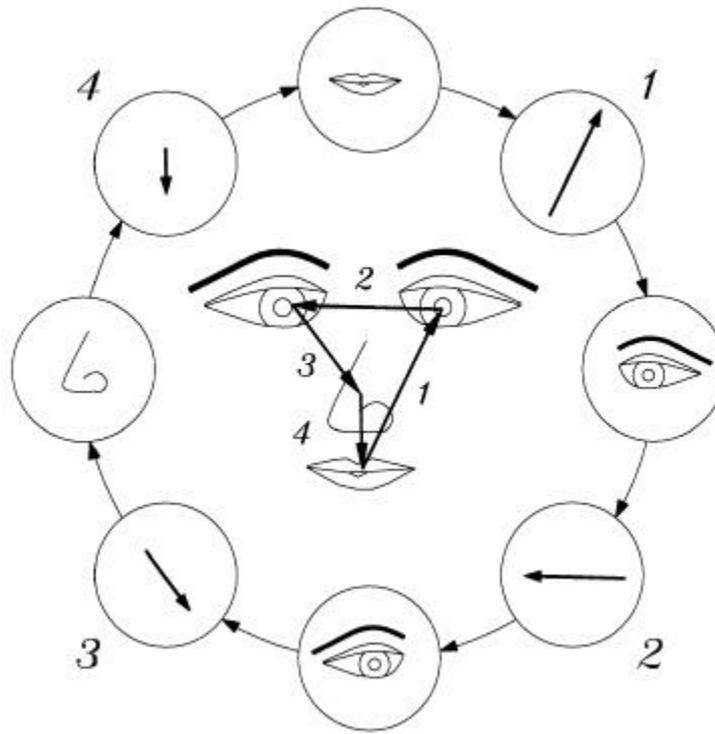


Abbildung 2: Noton & Stark's Feature-Ring Hypothese: Es wird angenommen, daß das betrachtete Objekt intern durch seine Hauptmerkmale (Features) und die Augenbewegungen, die nötig sind, um von einem Merkmal zum nächsten zu gelangen, repräsentiert wird. Der Prozeß des Wiedererkennens entspricht demnach dem zyklischen Durchlaufen des Feature-Rings.

1.5 Visual Imagery

Die moderne neuropsychologische Forschung erbrachte in diversen Studien Bestätigungen für die Hypothese, daß visuelle Perzeption („Sehen“) und Visual Imagery („Vorstellen“) gemeinsame anatomische Strukturen und Mechanismen auf der Ebene des High-Level-Vision teilen.

So konnten diese u.a. mittels PET (Kosslyn et al., 1993, 1994; Roland et al., 1994) funktionalem MRT (LeBihan et al., 1993) und regionaler Blutflußmessung (Goldenberg et al., 1989) im parieto- sowie temporo-okzipitalen Kortex nachgewiesen werden. Verschiedene andere über Einzelfallstudien hinausgehende Untersuchungen fokussierten auf unterschiedliche Aspekte des Visual Imagery. Bei der Untersuchung von Interferenzen des Visual Imagery auf die Perzeption stellte eine Gruppe zum Beispiel eine Speicherzeit-Komponente fest. Hiernach erschwert der Abruf von Langzeitgedächtnisinhalten die Ausführung von visuellen

Perzeptionsaufgaben, während Kurzzeitspeicheraktivierungen diese erleichterten (Ishai et al., 1997).

Insbesondere jedoch Kosslyn et al. (1994) sowie Farah et al., (1994) entwarfen auf der Basis der apparativen Befunde ein integriertes Modell des aktiven Sehens und des Visual Imagery.

Danach wird zunächst grundsätzlich von einem wechselseitigen Informationsaustausch der verschieden hoch differenzierten kortikalen Areale ausgegangen. Der Prozeß des Vorstellens von Bildern, des „Imagery“ geschieht modellhaft ähnlich wie das Erkennen von gesehenen Bildern (in Form des „Abgleichens“ mit dem mentalen Prototypen) durch Projektionen in ein gemeinsames Medium. Die Projektion der Information eines (extrastriären) „High-Level“-Areal in das retinotop organisierte V1-Areal, welches gleichzeitig als „Fenster“ für eingehende Retina-Bilder dient, entspricht danach der Visualisierung eines zuvor entworfenen Bildes und verkörpert das sogenannte „geistige Auge“. Das Striatum spielt hiernach die Rolle eines visuellen „Puffers“, innerhalb dessen ein sog. „Attention window“ (nach Treisman et al., 1980) selektiv auf die jeweils gerade interessanten Aspekte eines Gesamtbildes fokussiert. Analog zur Prozessierung wahrgenommener externer Bilder spielen bei der Analyse visueller Stimuli auch beim Imagery verschiedene Subsysteme eine entscheidende Rolle, welche die Objekte nach verschiedenen Kriterien wie Gestalt, Farbe, Lokalisation, Größe und Ausrichtung definieren und assoziieren.

In einer der wenigen Arbeiten zum Visual Imagery bei Hemianopsie-Patienten wurde in einer Studie von Butter et al. (1997) eine schlechtere Lösung von Imagery-Aufgaben bei vorheriger Präsentation und Wahrnehmung des Stimulus ipsilateral des Gesichtsfelddefektes bei diesen Patienten im Vergleich zu gesunden Kontrollen gefunden und als Hinweis auf eine Beeinträchtigung des Imagery bei okzipitalen Läsionen gesehen.

Zu der von uns untersuchten Fragestellung bezüglich der Augenbewegungen während Visual Imagery existieren ebenfalls nur sehr wenige Arbeiten. Bereits Hebb stellte 1968 in seiner Arbeit „Concerning Imagery“ die Frage, ob Augen eine visuelle Szene in der Vorstellung auf die gleiche Weise abtasten, wie sie es nach extern in der Realität tun. Er kam zu dem Schluß, daß die Augenbewegungen eine essentielle, organisatorische Funktion besitzen müssen, indem sie in beiden Fällen die Fragmente eines Gesamtbildes vervollständigen. Auch Neisser (1967) hielt die Involvierung von Augenbewegungen bei einem Top-Down-Prozeß wie dem Visual Imagery für unabdingbar. Frühe Studien wiesen bereits das Vorhandensein von erhöhter okulomotorischer Aktivität bei Visualisierungen und mentalen arithmetischen Operationen

nach (Jacobson, 1932; Lorens et al., 1962). Auch Korrelationen zwischen den REM's des Schlafes und den wahrgenommenen Traumbildern wurden gesucht, blieben jedoch auch aus methodischen Gründen widersprüchlich. Die von uns in dieser Arbeit gesuchte Ähnlichkeit von Scanpaths aus der Bildbetrachtung mit solchen aus den Imagery-Phasen wurde (allerdings nur anhand eines kleinen Kollektives von Normalprobanden) 1997 von Brandt et al. erstmals geprüft. Er wies dabei zunächst nach, daß nach „Lernen“ eines Stimulus und Aufforderung zum nachfolgenden Imagery von den Probanden in dieser Phase des Erinnerens Augenbewegungen gemacht werden. Ferner ließ sich mittels String Editing Auswertungsmethoden zeigen, daß die im Imagery durchgeführten Scanpaths signifikante Ähnlichkeiten mit denen während der Bildbetrachtung aufwiesen und nicht rein zufällig sind.

1.6 Mikro-Sakkaden

Über die kleinsten willkürlichen Sakkaden, die sog. Mikro-Sakkaden (auch Mini-Sakkaden genannt) ist bisher wenig bekannt. Noch unsicherer ist die Hypothese der Existenz eines Mikro-Scanpaths und dessen mögliche Relationen zu Probanden oder sensorischen Defiziten. Aus diesem Grunde ist auch nach Zugrundelegung der verfügbaren Literatur zu diesem Thema die definitorische Abgrenzung uneindeutig. Gemeint sind nach dem Einverständnis der meisten Autoren kleinste Sakkaden innerhalb von Fixationen bzw. während stationärer Blickausrichtung. Diese spielen sich in einem sehr kleinen Bereich von unter zwei Sehwinkelgrad, zumeist sogar unter einem Sehwinkelgrad ab.

Carpenter (1988) beschreibt in einer Zusammenfassung die wesentlichen Charakteristiken von „Miniature movements“ der Augen wie folgt: In der Analyse der kleinsten Augenbewegungen unterscheidet man zwischen drei grundsätzlichen Komponenten: Tremor, Drifts und Mikro-Sakkaden.

Der **Tremor** ist dabei das Element mit der geringsten Amplitude (unter 1°) mit Geschwindigkeiten um ca. $10^\circ/\text{sec}$ und größer, bei einer reziprok zur abnehmenden Amplitude zunehmenden Frequenz mit einer Bandbreite von 90 Hz. Bei ca. 150-200 Hz wird schließlich das Niveau des Hintergrundrauschens erreicht. Im binokularen Vergleich des Tremors zeigt sich keinerlei Korrelation, was einen eher peripheren Ursprung dieses Phänomens annehmen läßt. Es gibt weder Hinweise für eine willkürliche Beeinflussbarkeit des Tremors noch für relevante Einflüsse der visuellen Umstände.

Drifts sind vergleichsweise große und langsame Bewegungen mit Geschwindigkeiten im Bereich von 4°/sec und einer medianen Amplitude von ca. 2-5° beim Menschen. Unter normalen Fixationsbedingungen wird jede Drift-Bewegung durch eine Mikro-Sakkade terminiert. Durch Untersuchungen von Drifts in dunkler und heller Umgebung und im Vergleich mit anderen Spezies ergaben sich beim Menschen zwei Formen von Drifts: Die einen, als „antikorrekтив“ bezeichnet bewegen die Fovea vom Fixationspunkt weg und müssen durch Mikro-Sakkaden korrigiert werden. Eine andere Subklasse wiederum verhält sich „korrekтив“ und bringt die Fovea auf das ursprüngliche Ziel zurück. Über ihren Ursprung ist gegenwärtig wenig bekannt.

Mikro-Sakkaden haben grundsätzlich die gleiche Funktion wie Makro-Sakkaden, nämlich den visuellen Zielpunkt auf das Zentrum der Fovea zu navigieren. Diese Tatsache führte zu der Annahme, daß den beiden gleiche Kontrollmechanismen zugrunde liegen. Ein Beleg dafür findet sich bei der Auftragung der Amplitude gegen die Sakkaden-Spitzengeschwindigkeit, welche sowohl für Mikro- als auch Makro-Sakkaden ein gleiches Profil zeigte (Zuber et al., 1965). Dies impliziert, daß in den Augenmuskeln dasselbe zeitliche Aktivierungsmuster für beide Arten von Sakkaden generiert wird. Die kleinsten möglichen Mikro-Sakkaden liegen bei ca. 1-2°, die medianen Sakkaden-Amplituden zeigen große interindividuelle Variabilität und reichen von 1° bis 23°, wobei die mittleren intersakkadischen Intervalle sich zwischen 300 ms bis 5 sec oder mehr bewegen. In erster Linie haben sie korrektive Funktionen und ihr Auftreten wird um so wahrscheinlicher, je weiter der Zielpunkt sich von der Fovea entfernt. Die darüberhinausgehenden Funktionen der Mikro-Sakkaden sind jedoch umstritten, zudem wurde festgestellt daß andere Spezies nur mit Drifts auskommen, welche folglich für die Funktion der Stabilisierung eines Zielpunktes auf der Fovea ausreichend erscheinen. Es konnte in Experimenten zur entscheidenden Frage der Willkür von solchen Mikro-Sakkaden gezeigt werden, daß diese tatsächlich ohne funktionelle Einbußen vom Probanden nach Aufforderung supprimiert werden können (Steinman et al., 1967). Steinman et al. (1973) analysierten in weiteren Untersuchungen die Mikro-Sakkaden von Probanden unter der Kondition der gehaltenen Fixation. Sie stellten unter verschiedenen Versuchsanordnungen fest, daß Mikro-Sakkaden weder für die Aufrechterhaltung der Fixation oder die Sichtbarkeit des Zielpunktes, noch in visuell-motorischen oder kognitiven Aufgaben von essentieller Bedeutung sind. In einem größeren Übersichtsartikel kamen sie dabei auch unter dem Verweis auf den Einfluß der künstlichen Labor-Situation, denen ihre Probanden ausgesetzt waren zu der Konklusion, daß Mikro-Sakkaden möglicherweise funktionslos seien und lediglich eine okulomotorische

Gewohnheit bzw. Variante darstellen. Haddad et al. (1973) fanden ergänzend, daß Probanden spontane Sakkaden während der Fixation größtenteils supprimieren konnten und eher in der Lage waren, die Richtung und Verschiebung des Sehobjektes während einer Zielpunkt-Fixation zu erkennen und zu identifizieren, als die ihrer eigenen spontanen Sakkaden. Daraus schlossen sie, daß Mikro-Sakkaden während gehaltener Fixation der Funktion eines „Visual Search“, also des Abtastens der unmittelbaren Umgebung dienen.

Ditchburn (1980) bemerkt in einem Artikel, daß wie schon früher vorgeschlagen (Rattle et al., 1968) Sakkaden mit der Unterbrechung von Informationsverarbeitung im visuellen System assoziiert sein könnten und folglich ein „Überladen“ des Informationsspeichers verhindern.

Im Hinblick auf unsere Pilot-Untersuchungen ist anzumerken, daß in der Literatur bisher weder über Mikro-Sakkaden von Patienten mit Gesichtsfelddefekten noch definierte Mikro-Scanpaths beschrieben sind.

1.7 Zielsetzung der Untersuchung

Bei unseren experimentellen Ableitungen von Augenbewegungen bei Normalprobanden und Patienten mit hemianopischen Störungen unter Präsentation verschieden komplexer visueller Stimuli sowie deren wiederholten Visual Imagery erwarteten wir zunächst Aufschluß über den basalen Spontan-Adaptationsgrad unseres Patientenkollektives zu erhalten. Wir werteten die Messungen sowohl hinsichtlich grundlegender Sakkaden/Fixationen-Parameter als auch kognitiver Aspekte der Blicksteuerung aus. Von essentiellstem Interesse war für uns dann in den unter verschiedenen Konditionen erhaltenen Scanpaths die Ähnlichkeit dieser im Vergleich Bildbetrachtung/Visual Imagery in beiden Kollektiven. Hieraus erhofften wir uns zunächst anhand der Normalprobanden generellen Aufschluß über die Beschaffenheit und Konsistenz des mentalen Abbildes eines gesehenen Bildes und dessen Reproduzierbarkeit über die infrarotokulographisch abgeleiteten Augenbewegungssequenzen (Scanpaths), sowie deren allgemeine Bedeutung im Kontext des aktiven Sehens („High-Level-Vision“). Bei der Messung des Patientenkollektives interessierte uns im Vergleich mit den Ergebnissen der Normalprobanden, ob trotz vorhandenem (meist kortikalen) visuell-sensorischen Defekt Hinweise auf die Intaktheit des visuellen mentalen Abbildes zu erhalten sind. Dies würde unter rehabilitativem Aspekt eine Einbeziehung intakter kognitiv-blickmotorischer Strategien (auf dem Top-Down Weg) in das kompensatorische Therapieprogramm solcher Patienten ermöglichen.

In der Analyse der intrafixationalen Mikro-Sakkaden analysierten wir deren Verteilung um den Schwerpunkt der Fixation und mögliche Korrelationen mit dem sensorischen Defizit der Patienten. Zusätzliche Analysen der gesammelten Daten betrafen den intra- und intersubjektiven Vergleich der Ähnlichkeiten der Bildbetrachtungs-Scanpaths („Parsing“) und die als Mikro-Scanpaths aufgefaßten Mikro-Sakkaden-Sequenzen, in denen ebenfalls die Suche nach Top-Down Steuerungsprozessen im Vordergrund stand.

2. Material und Methoden

2.1 Patienten und Normalprobanden

Es nahmen 14 Patienten mit vorwiegend homonymen Hemianopsien aus der Neurologischen Klinik sowie der Augenklinik des Universitätskrankenhauses Hamburg-Eppendorf an der folgenden Untersuchung teil. Die in Hinblick auf Ätiologie und Adaptationsgrad recht heterogene Patientengruppe zeigte eine Altersspanne von 20-77 Jahren (Median 53 Jahre). Es fanden sich perimetrisch 7 linksseitige, 6 rechtsseitige, sowie 1 bitemporale Hemianopsie. Dabei war bei 8 Patienten eine komplette Hemianopsie zu verzeichnen, 5 waren inkomplett (zumeist Quadrantenanopsien), ein Patient zeigte eine monokuläre Störung.

Ätiopathogenetisch war folgende Verteilung zu konstatieren : 7 thrombembolische cerebrovaskuläre Infarkte, 1 hämorrhagisches Ereignis, 4 Schädel-Hirn-Traumata und 2 Zustände nach paraventriculärer Meningeom-Extirpation.

Die Adaptationszeiten der Patienten wiesen größere Unterschiede auf und lagen zwischen 5 Tagen und 16 Jahren (Median 8 Monate).

Eine genauere Aufgliederung zeigte 2 Patienten mit einer Dauer von unter 10 Tagen zwischen Auftreten der Gesichtsfeldstörung und der Messung mit nur sehr kurzer Adaptationszeit. Ebenfalls als kurzzeitadaptiert sahen wir die 4 Patienten mit einer Dauer von 2 Monaten zwischen Beginn des Defektes und Messung an. 3 Patienten lagen in der Zeitspanne größer als 2 Monate und kleiner als 1 Jahr und galten als mittel- bis langzeitadaptiert. 5 Patienten mit Störungen über einem Jahr Dauer waren der Kategorie langzeitadaptiert zuzuordnen. Nur ein Patient hatte an einem spezielleren Augenbewegungstraining teilgenommen.

Die Perimetrien zeigten bei allen Patienten ein sogenanntes „Foveal sparing“, also eine Aussparung der Macula von der Gesichtsfeldstörung.

Kognitive Defizite zeigten nur wenige Patienten, bei 2 Patienten waren mnestiche Störungen geringer Ausprägung in der Anamnese zu eruieren, 1 Patient war in Form einer geringgradigen konstruktiven Apraxie und sensorischen Aphasie stärker betroffen. Dieser Patient war jedoch in der Lage, die Anforderungen der Untersuchung zu erfüllen. Die Kliniktafel im Anhang (s. 7.1) gibt eine detailliertere Übersicht über die einzelnen Kasuistiken, ferner finden sich dort ausgewählte Perimetrien und computertomographische Befunde (s. 7.2).

Das Kollektiv der Normalprobanden bestand aus 20 gesunden Personen ohne vorangehende oder aktuelle neurologische Erkrankungen. Das Alter umfaßte eine Spanne von 19-58 Jahren und lag im Median bei 26 Jahren.

2.2 Einschlußkriterien

Um bei den Messungen interferierende, unerwünschte zusätzliche Defizite auszuschließen, mußten alle Versuchspersonen folgende Einschlußkriterien erfüllen:

- a) Ausreichender binokularer Nahvisus (unkorrigiert oder Kontaktlinsen) ermittelt anhand einer wiederholten Pfeilrichtungsbestimmung (Aufgabe des Übungsbildes) direkt am Monitor.
- b) Ausschluß einer assoziierten, klinisch wirksamen okulomotorischen Störung sowohl in der neurologischen Untersuchung als auch anhand der Auftragung in die Main Sequence (Auswertung des ersten Meßdurchgangs basaler Sakkaden-Parameter).
- c) Ausschluß eines assoziierten Neglect-Syndroms. Dieses geschah durch den Behavioural Inattention Test (Wilson, Cockburn & Halligan, 1987).

Zur Anwendung kamen neben der neurologischen Exploration auf etwaige intra- oder extrapersonale Halbseitenvernachlässigungen Durchstreichtests, der Line Bisection Test (Linienhalbierung) und das Abzeichnen von dreidimensionalen Figuren (Blume, Würfel, Stern).

2.3 Versuchsaufbau

2.3.1 Meßgeräte und experimenteller Aufbau

Den Versuchspersonen wurden die visuellen Stimuli auf einem 21" Monitor dargeboten. Sie saßen dabei auf einem stabilisierten Stuhl. Der Kopf der Probanden wurde durch Einspannen in eine mit dem Stuhl fest verbundene Haube fixiert. Der Abstand zwischen Glabella und Monitor betrug 56 cm, die wirksame Bildschirmfläche lag bei 44 Sehwinkelgraden horizontal und 34° vertikal.

Die Augenbewegungsableitung erfolgte mittels Infrarot-Reflexions-Okulographie (IROG). Die Ableitungsvorrichtung wurde vor den Augen der Probanden so plaziert, daß während der separaten Registrierung beider Augen freie Sicht zum Betrachten der Stimuli bestand. Bei der Registrierung der 2 Kanäle diente das rechte Auge der Ableitung der horizontalen und das linke der vertikalen (konjugierten) Augenbewegungen. Das photoelektrische Signal wurde online analog über einer A/D-Wandlerkarte mit einer Abtastfrequenz von 200 Hz in den Rechner übernommen. Bei dem Meßgerät handelte es sich um den Infrarot-Reflexions-Okulographen ASL 210 der Firma Applied Science Laboratories (s. Abb. 3). Vor der

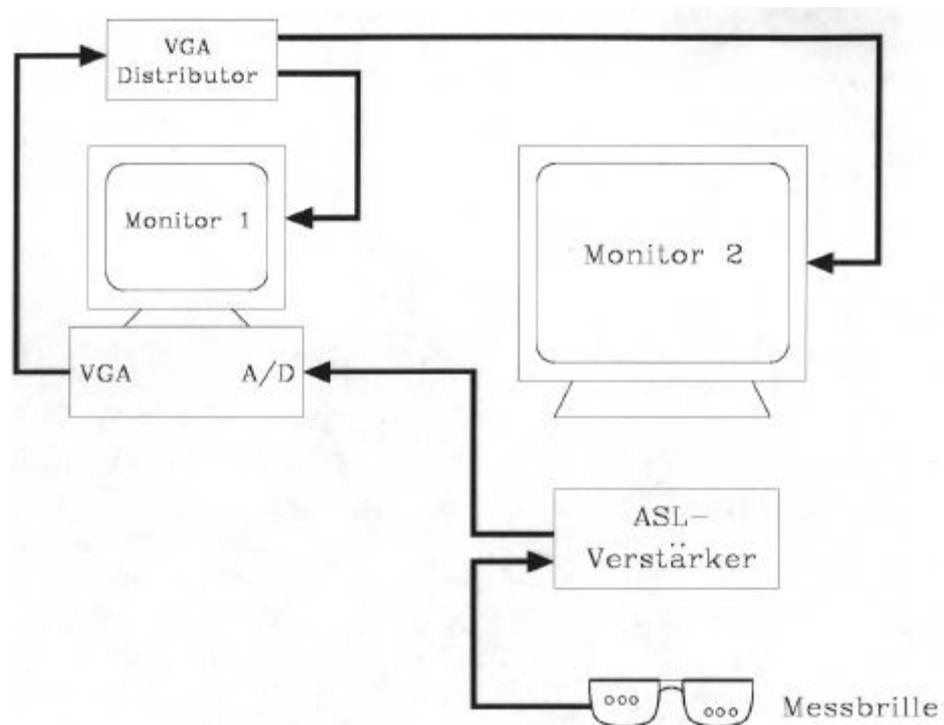


Abbildung 3: Meßaufbau - Die Stimulusdarbietung und Meßdatenerfassung fanden durch einen PC (486DX/66) statt. Das Bildschirmsignal (VGA) des Rechners wurde über einen Verteiler an zwei Monitore geschickt, die als Kontrollmonitor (Monitor 1 mit 14" Bildschirmdiagonale) bzw. Patientenmonitor (Monitor 2 mit 21" Bildschirmdiagonale) dienen. Das vom Eye-Track 200 der Firma ASL kommende Signal wurde verstärkt und über eine A/D-Wandlerkarte mit einer Abtastrate von 200 Hz in den Rechner übernommen

Gesamtmessung wurde eine basale Kalibrierung der Augenbewegungen vorgenommen, ferner wurden auch zwischen den Einzelmessungen regelmäßige Kontroll-Kalibrierungen durchgeführt.

2.3.2 Visuelle Stimuli und standardisierte Vorgaben

Im ersten Meßdurchgang kamen visuelle Stimuli zur Ermittlung der basalen Sakkaden-Parameter zum Einsatz. Die Patienten wurden zu Beginn der Messungen instruiert, ruhig und möglichst ohne Lidblinken dem in Form von Kreuzen präsentierten Stimuli mit den Augen zu folgen und den angespannten Kopf nicht zu bewegen. Durch ein spezielles Sakkaden-Programm gesteuert wurden den Probanden zunächst sinusförmig bewegte Kreuze bei verschiedenen Frequenzen jeweils für 10 Sekunden dargeboten, welche der Bestimmung der Blickfolgebewegungen dienten. Nachfolgend wurden sogenannte prädiktive Sakkaden bestimmt, durch Rechteckimpulse gesteuerte vorhersagbare Stimuluspositionen unterschiedlicher Amplitude, sowie nicht vorhersagbare (Random) Sakkaden. In den insgesamt 21 verschiedenen frequenten Einzeldarbietungen wurden nach den genannten Kriterien auch Mikro-Sakkaden im Amplitudenbereich von $0.5-2^\circ$ bestimmt.

Nach einer durch repetitive Pfeilrichtungsbestimmungen festgelegten Visustestung folgte dann die Hauptuntersuchung. Es wurden in einer standardisierten Abfolge vom Komplexitätsgrad verschieden gestufte Stimuli mit jeweils drei Imagery Phasen präsentiert. Es handelte sich dabei um insgesamt sechs visuelle Stimuli, die von einem Referenzrahmen umgeben waren. Diese sollten von den Probanden im ersten Schritt, der Bildbetrachtung, nach verschiedenen Anweisungen durchgesehen werden, wofür 10 Sekunden Betrachtungszeit zur Verfügung stand. Nach einer Pause von 5 Sekunden bei leerem Bildschirm erschien für die erste Imagery-Phase lediglich der Referenzrahmen des gezeigten Bildes für 10 Sekunden auf dem Monitor. Nach Verschwinden des Rahmens blieb der Monitor erneut leer, nach 30 und 60 Sekunden fanden die zweite und dritte Imagery-Phase (ebenfalls durch Pausen getrennt) unter Vorgabe des Referenzrahmens für jeweils 10 Sekunden statt. Die standardisierte Instruktion, die zusätzlich zu den Anweisungen für die Bildbetrachtungsphase zu Beginn jeden Durchlaufes an die Probanden gerichtet wurde, lautete: „Nachdem Sie das Bild gesehen haben, wird Ihnen in der Folge dreimal lediglich der Rahmen des Bildes gezeigt. Bitte stellen Sie sich das Bild dann wieder vor und sehen es sich aus Ihrer Vorstellung noch einmal auf dem Monitor an. Zwischendurch haben Sie kurze Pausen“.

Die ersten beiden Bilder betrafen den sogenannten „Searchpath“. Wir verstehen hierunter Suchaufgaben, bei denen der Proband aufgefordert wird, im Gesamtbild versteckte Ziele (Targets) z.B. eines in variabler Richtung dargestellten Pfeiles zu finden. Diese Pfeilsuche auf

einer farblich abgestuften schiefen Ebene war Aufgabe des ersten Bildes. Der Proband wurde aufgefordert, den Pfeil zunächst aufzufinden, seine Richtung zu erkennen und schließlich in diese Richtung bis zum Bildschirmrand zu schauen und dort zu verweilen. Wir benutzten dieses erste Bild als Übungsbild für die Probanden zur Erfassung der Ablaufroutine mit den nachfolgenden Imageryphasen und nahmen es nicht in die Auswertung auf.

Eine kognitiv etwas komplexere Ebene des Searchpaths wurde im zweiten Bild angesprochen, eine pseudo-3-dimensionale Darstellung einer skizzierten Berglandschaft (Berge-Bild). Auf diesem befanden sich mehrere Bäume mit entweder roten oder blauen Früchten. Die Anweisung lautete, die blauen (Pflaumen-) Bäume, von den insgesamt 8 Stück vorhanden waren, zu finden und zu zählen.

Die Bilder 3 bis 6 betrafen schließlich die höchste kognitive Ebene, den sogenannten „Scanpath“. Bild 3 (Checker-Bild) zeigte eine abstrakte Darstellung. Ein irreguläres Schachbrettmuster (4 x 4 Felder, weiß und rot) sollte von den Probanden angesehen und im Muster erinnert werden. Aus der Kategorie trivalentes Kippbild entstammte Bild 4 (Trivalent-Bild). Hierbei wurde dem Probanden zuvor mitgeteilt, daß das nachfolgende Bild mehrdeutig sei, und er wurde aufgefordert die 3 versteckten Gesichter zu erkennen und zwischen den verschiedenen Möglichkeiten hin und her zu wechseln. Bild 5 (Lichtenstein-Bild) und Bild 6 (Pool-Player-Bild) zeigten schließlich realistische Darstellungen. Hier wurden die Probanden lediglich instruiert, das Bild genau zu betrachten und sich Einzelheiten und Details ihrer Wahl zu merken. Allen Bildbetrachtungen folgten die 3 beschriebenen Imagery-Phasen, jedes Bild wurde nur einmal gezeigt. (s. Tabelle1, Abb. 4).

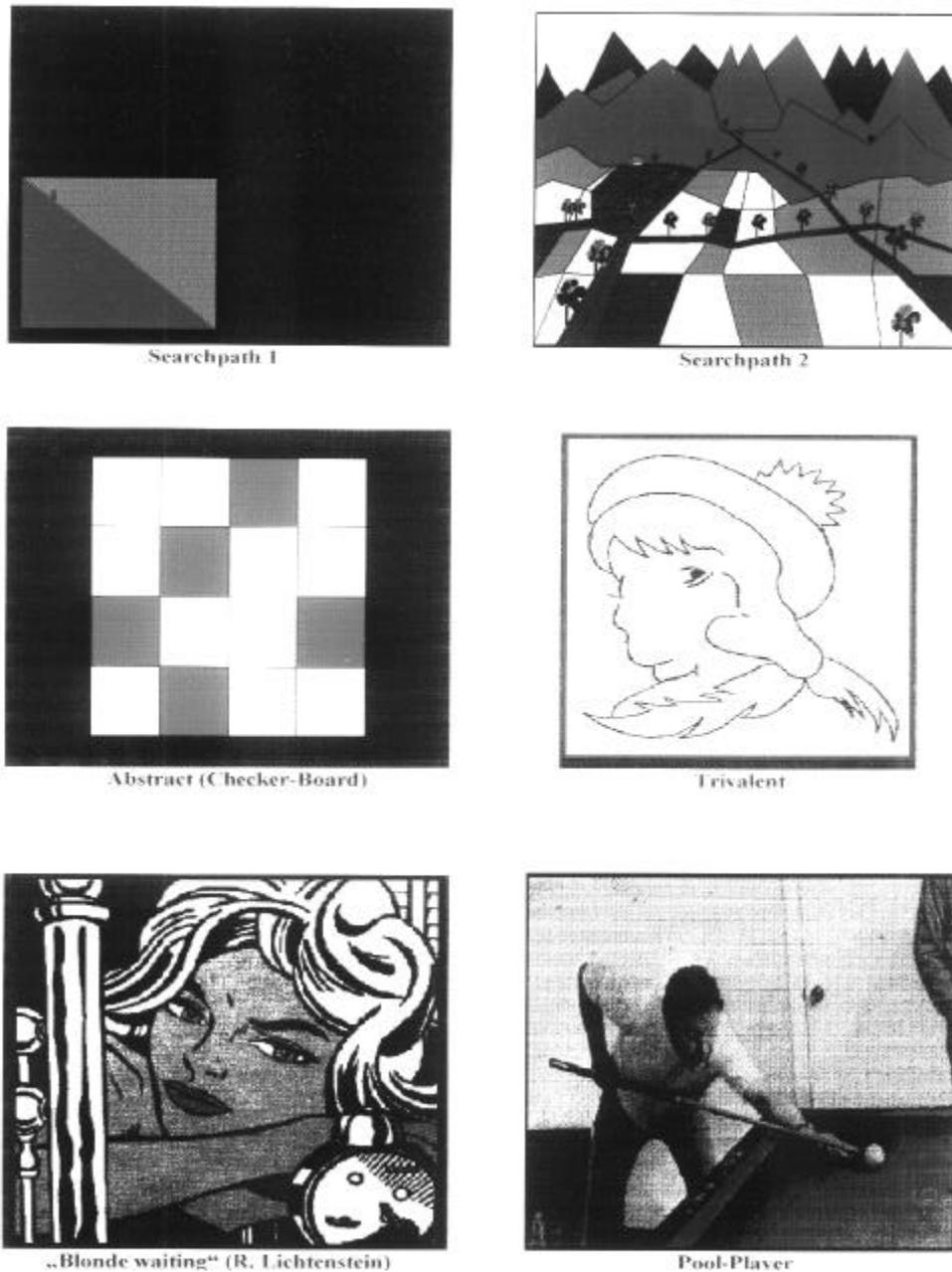


Abbildung 4: Bilder - Die folgenden 6 Bilder dienten als visuelle Stimuli für die Bildbetrachtung. (Bild 1: Pfeilsuchaufgabe/Searchpath 1, Bild 2: Pseudo-3D-Bergebild/Searchpath 2, Bild 3: Schachbrettmuster/Scanpath, Bild 4: Trivalent/Scanpath, Bild 5: Lichtenstein-Bild/Scanpath, Bild 6: Pool-Player/Scanpath)

Titel	Aufgabe
Trainingsbild	Suche eines Pfeils
Landschaft	Suche der Pflaumenbäume
4x4 "Schachbrett"	Betrachten
Trivalentes Bild	Interpretation wechseln
Gesicht	Betrachten
Pool Player	Betrachten

Tabelle 1: Die gezeigten Motive und die damit verbundenen Aufgaben (zusätzlich zum Imagery).

2.4 Meßverfahren und Datenanalyse

2.4.1 Basale Auswertung

Die manuelle und automatisierte Analyse der Augenbewegungsmessungen teilte sich in verschiedene Bereiche auf. Mit Hilfe standardisierter Auswertungsprogramme erfolgte zunächst die Analyse der basalen Sakkaden-Parameter sowie bestimmter kognitiver Variablen der Bildbetrachtungen. Zudem wurde die Verteilung der Fixationspositionen für die Mikro-Sakkaden berechnet. Im Anhang finden sich weiterhin Anmerkungen zu der ergänzend durchgeführten Parsing-Analyse der Bildbetrachtungen und zum Region String Editing der Mikro-Scanpaths.

Im Folgenden wird unser Vorgehen bezüglich des Vergleichs von Scanpaths insbesondere für die Visual Imagery-Auswertung erläutert.

2.4.2 Verfahren zum Vergleich von Bildbetrachtungen

Verfahren mit vorausgehender Regionalisierung: Markov-Analyse und String Editing

Die am häufigsten angewendeten Verfahren zum Vergleich von Bildbetrachtungen (Stark & Ellis, 1981; Hacisalihzade, Stark & Allen, 1992; Zangemeister et al, 1995; Zangemeister & Oechsner, 1996; Choi, Mosley & Stark, 1995; Stark & Choi, 1996) beginnen damit, das

betrachtete Bild in Regionen (ROI, Region of Interest) aufzuteilen und jeder Region ein eindeutiges Label (z.B. einen Buchstaben) zuzuordnen. Wir wählten für die Zuweisung von ROI's ein sog. „a priori“ Regionalisierungsverfahren, daß heißt wir teilten die Bilder subjektiv von vornherein anhand der interessantesten „Features“ (Merkmale) in verschiedene ROI's ein (s. Anhang 7.3, ROI-Einteilung der Bilder).

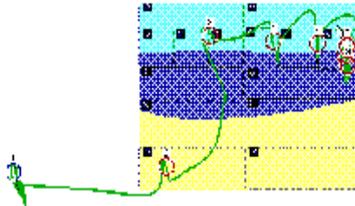
Indem anschließend jede Fixation durch das Label des ROI's in dem sie auftritt ersetzt wird, gelangt man von der Fixations-Sequenz zu einer Sequenz der ROI's bzw. deren Labels. Diese die Bildbetrachtungen repräsentierenden Sequenzen (Strings) können anschließend durch eine Markov-Analyse (Dynkin & Juschkewitsch, 1969; Kemeny & Snell, 1983; Rabiner, 1986) oder mittels String Editing (Morgan, 1970; Wagner & Fischer, 1974; Sankoff & Kruskal, 1983) miteinander verglichen werden.

Markov Analyse. Eine Markov-Analyse (MA) 1. Ordnung berechnet die Übergangswahrscheinlichkeit zwischen zwei Zuständen, z.B. die Wahrscheinlichkeit dafür daß ROI „C“ fixiert wird, nachdem zuvor ROI „A“ fixiert wurde. Diese Übergangswahrscheinlichkeiten lassen sich geeignet durch Matrizen darstellen, wobei ein Matrixelement p_{ij} die Wahrscheinlichkeit dafür angibt, daß auf Zustand (ROI) „i“ der Zustand (ROI) „j“ folgt. Hacısalihzade et al. (1992) entwarfen ein auf einer Markov-Analyse beruhendes Verfahren zum Vergleich von ROI-Strings. Die Markov-Distanz zwischen zwei Bildbetrachtungen wurde definiert als die mittlere betragsmäßige Differenz der Elemente der zugehörigen Markov-Matrizen (s. Abb. 5).

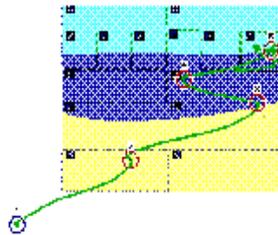
String Editing (RSE) heißt „compressed“ RSE (cRSE), die der Markov-Analyse „compressed“ Markov Analyse (cMA).

Scanpath-Vergleich durch String-Editing

Frühphase : "-MDEFGGGG"



Spätphase : "-MLJG"



Editier-Operationen :

-MDEFGGGG Zeichen 9 löschen (G) =>

-MDEFGGG Zeichen 8 löschen (G) =>

-MDEFGG Zeichen 7 löschen (G) =>

-MDEFG Zeichen 5 löschen (F) =>

-MDEG Zeichen 4 ersetzen (E->J) =>

-MDJG Zeichen 3 ersetzen (D->L) =>

-M LJG

6 Editier-Operationen

=> **String-Distanz = 6**

Abbildung 6: Beispiel String Editing (1): Veranschaulicht wird hier der Vergleich zweier Strings mittels konventionellem Region String Editing. Die Buchstabensequenzen ergeben sich jeweils aus den sukzessiven Fixationspositionen innerhalb der Scanpaths. Gezeigt wird die Überführung des resultierenden 1. Strings in den zweiten. Die für das Editieren notwendigen Kosten bezeichnen ebenfalls die String-Distanz der beiden zu vergleichenden Strings.

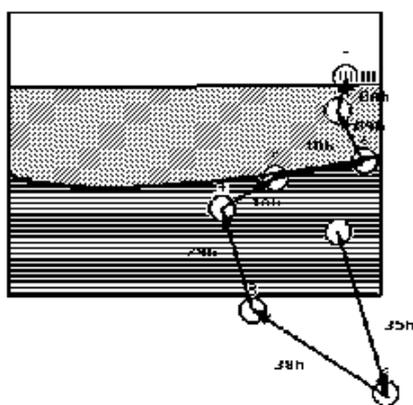
Verfahren ohne Regionalisierung: Vector-String Editing

Zur Umgehung der subjektiven Regionalisierung der betrachteten Szene findet beim Vector-String Editing (VSE) eine Diskretisierung der die Fixationen verbindenden Sakkaden statt. Die Sakkaden werden durch die die Fixationen verbindenden Vektoren angenähert. Durch die Aufteilung des Winkelbereichs in „n“ Richtungsintervalle und der Vektorbeträge in „m“ Längenintervalle wird ein Vektoren-Alphabet definiert. Der tatsächliche Sakkaden-Vektor wird durch den ähnlichsten Vektor aus dem Alphabet ersetzt, wodurch eine Repräsentation der Blickfolge durch einen "Vector-String" erreicht wird.

Es wurden zwei Varianten des Verfahrens getestet. In der ersten Variante werden auf den Vector-String die gleichen String Editing Methoden angewendet wie auf die Region-Strings. Die zweite Variante, von uns als Weighted Vector-String Editing (wVSE) bezeichnet, ordnet den Editing-Operationen Einfügen oder Löschen als Kosten den Betrag des eingefügten bzw. gelöschten Vektors zu, bei Vertauschungen wird der Betrag des Differenzvektors verwendet (s. Abb. 7).

Vector String Editing

Verwendung interfixationaler Vektoren anstatt ROIs



Jeder Vektor wird durch eine Byte-Nummer klassifiziert:

Obere 4 Bits : Richtung (0..15)

Untere 4 Bits : Länge (0..15)

Vector String:

35h 38h 29h 1Ah 1B 09h 0Ah

Vergleich der Vector Strings durch String Editing

---> Vector String Editing

Weighted Vector String Editing :

Die Länge eines insertierten oder deletierten Vektors oder die Länge des Differenzvektors im Falle der Umwandlung zweier Vektoren wird als Kosten der Editier-Operation verwendet.

Abbildung 7: Beispiel Vector String Editing: Darstellung des Vector String Editing und Weighted Editing mit der Verwendung von längen- und richtungsdefinierten Vektoren an Stelle von Region-Strings. Folgt die Ermittlung der „Similarity“ als Ähnlichkeitsmaß der verglichenen Vector Strings (s. 2.4.2).

Ähnlichkeitsmaße für Bildbetrachtungen

Zu einem als "Similarity" (S) bezeichneten Ähnlichkeitsmaß

$$S = 1 - D / D_{\max}$$

gelangt man durch Normierung mit der aktuellen String-Distanz (D) und der maximalen Distanz (D_{\max}) zwischen zwei zu vergleichenden Strings. Die so definierte Similarity kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei der Wert 1 ein identisches Vergleichsergebnis

beschreibt und 0 eine maximale Verschiedenheit der Strings angibt. Wegen der beim Weighted Vector String Editing vorhandenen Richtungsinformation wurde die Similarity dort definiert als

$$S = 1 - 2 * D / D_{\max}.$$

Identische Vector-Strings haben dann die Similarity $S = 1$, entgegengesetzt verlaufende die Similarity $S = -1$.

Als Bezugsmaß wurden für alle Verfahren mittels Zufallsgenerator erzeugte, sogenannte Random-Strings berechnet.

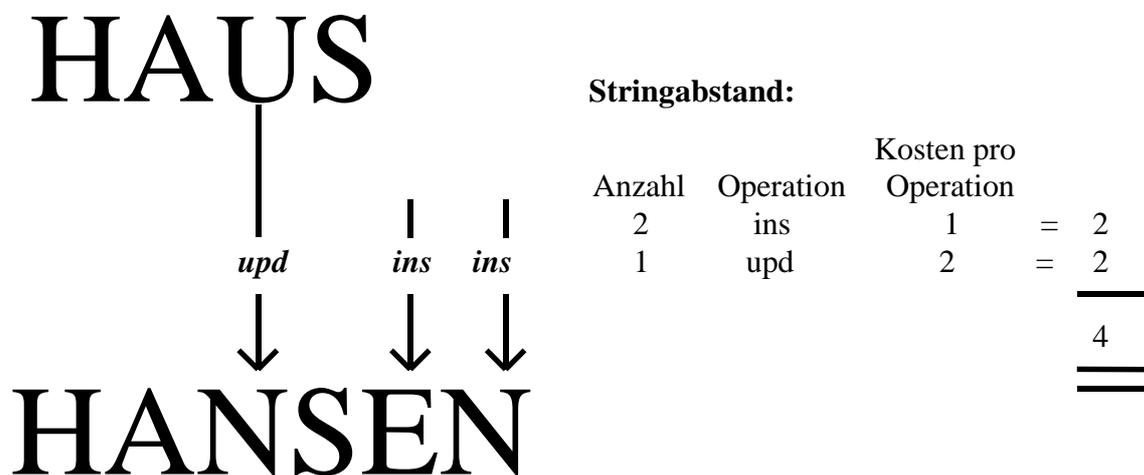


Abbildung 8: Beispiel String Editing (2): Darstellung der Stringdistanz beim Vergleich zweier Beispiel-Strings. Die verwendeten Operationen zur Überführung von „HAUS,“ nach „HANSEN“ bestehen im Einfügen (ins) und Wechseln (upd) mit den entsprechenden „Gesamtkosten“ 4 aus denen sich im nächsten Schritt die „Similarity“ als Ähnlichkeitsmaß (s. 2.4.2) errechnet.

2.4.3 Statistische Auswertung

Folgende statistische Tests kamen für die Prüfung unabhängiger Stichproben der basalen Parameter im numerischen Wertebereich zur Anwendung:

- Anwendung des F-Testes zur Prüfung einer Normalverteilung

- b) Im Falle einer Normalverteilung: Vergleich der jeweiligen Mediane auf signifikante Unterschiede mittels des Student's t-Testes bei einer Signifikanzschwelle von $p < 0.05$ (Symbol: *).
- c) Bei Nichtvorliegen einer Normalverteilung: Vergleich der jeweiligen Mediane auf signifikante Unterschiede mittels des Mann-Whitney-Rangsummen-Testes bei einer Signifikanzschwelle von $p < 0.05$ (Symbol: *).
- d) Zum Vergleich der Similarities zwischen den berechneten Strings (Random, Bildbetrachtung, Imagery) im „Visual Imagery“ fand eine Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis (Kruskal et al., 1952) statt, auch hier wurde als Signifikanzschwelle $p < 0.05$ gewählt.

3. Ergebnisse

3.1 Basale Parameter

3.1.1 Blickfolgebewegungen und prädiktive Sakkaden - Main Sequence

Der Begriff „Main Sequence“ stammt von Bahill, Clark und Stark (Bahill et al., 1975) und bezeichnet bei Sakkaden den doppelt-logarithmisch gegen die Sakkaden-Amplitude aufgetragenen Maximalwert der Sakkaden-Geschwindigkeit (Peak Velocity). Hiermit zusammen wird im allgemeinen - ebenfalls doppelt-logarithmisch gegen die Sakkaden-Amplitude - die Dauer einer Sakkade dargestellt. Diese beiden Graphen wurden von uns um Darstellungen des Spitzenwertes der Beschleunigung (Peak Acceleration) in der Beschleunigungsphase sowie des Spitzenwertes der negativen Beschleunigung in der Bremsphase der Sakkade erweitert, erneut unter doppelt-logarithmischer Auftragung gegen die Sakkaden-Amplitude.

Diese gewählte Art der Darstellung der Sakkadendynamik läßt Motilitätsstörungen deutlich erkennen und ermöglicht ferner zwischen verschiedenen Störungsarten zu differenzieren. Wir erstellten zunächst anhand unserer 20 gesunden Normalprobanden eine Normkurve für die genannten Parameter. Abbildung 9-12 zeigt die Auftragung unseres Patientenkollektives in diese Normkurve für horizontale und vertikale Makro- und Mikro-Sakkaden. Die Patienten lagen überwiegend innerhalb des 95% Konfidenzintervalls (markiert durch die Normkurven) und konnten somit (wie auch im klinischen Befund bestätigt) als okulomotorisch gesund angesehen werden. Wie in der Literatur beschrieben (Meienberg, 1988) fanden wir für beide Kollektive maximale Sakkadengeschwindigkeiten bei Amplituden größer 15° um $700^\circ/s$. Dies gilt ebenfalls für die durchschnittlichen Sakkadendauern, die bei uns im Bereich 25-100 ms variierten.

Horizontale Sakkaden Hemianopiker (n=14)

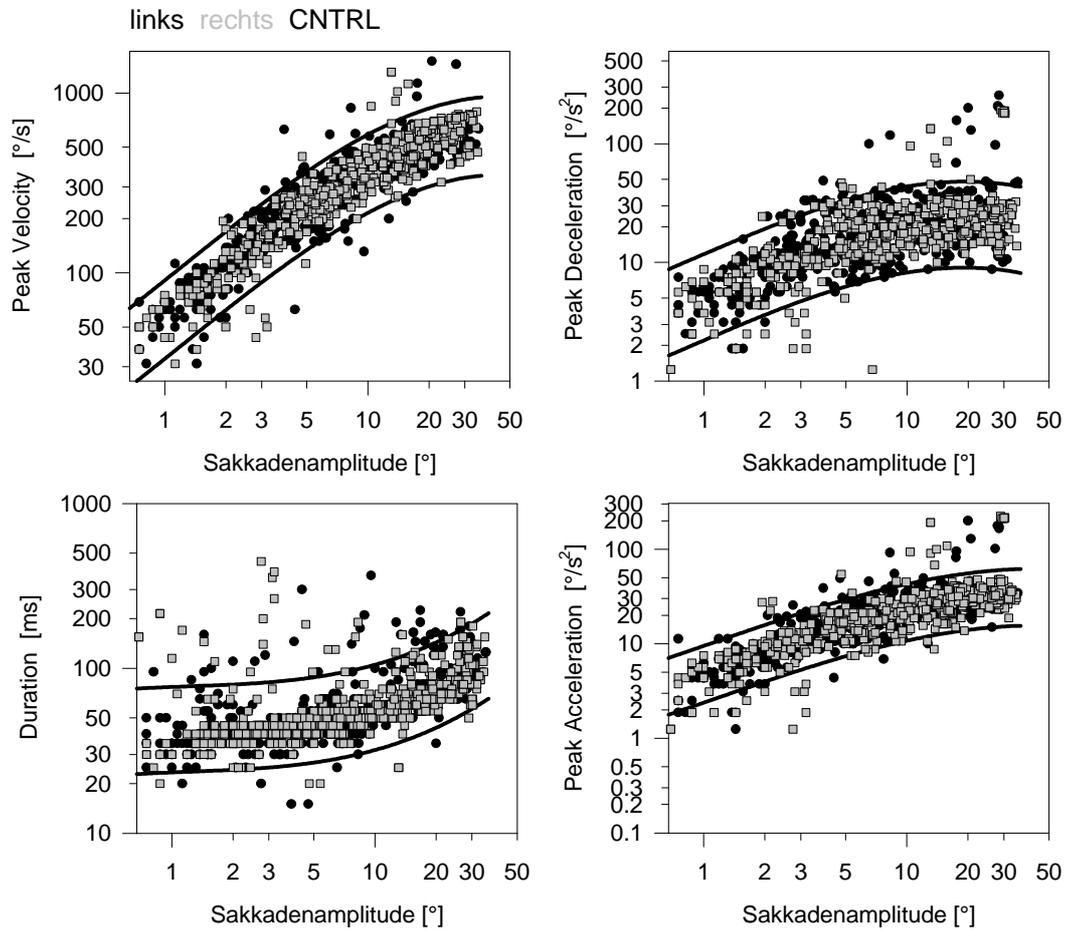
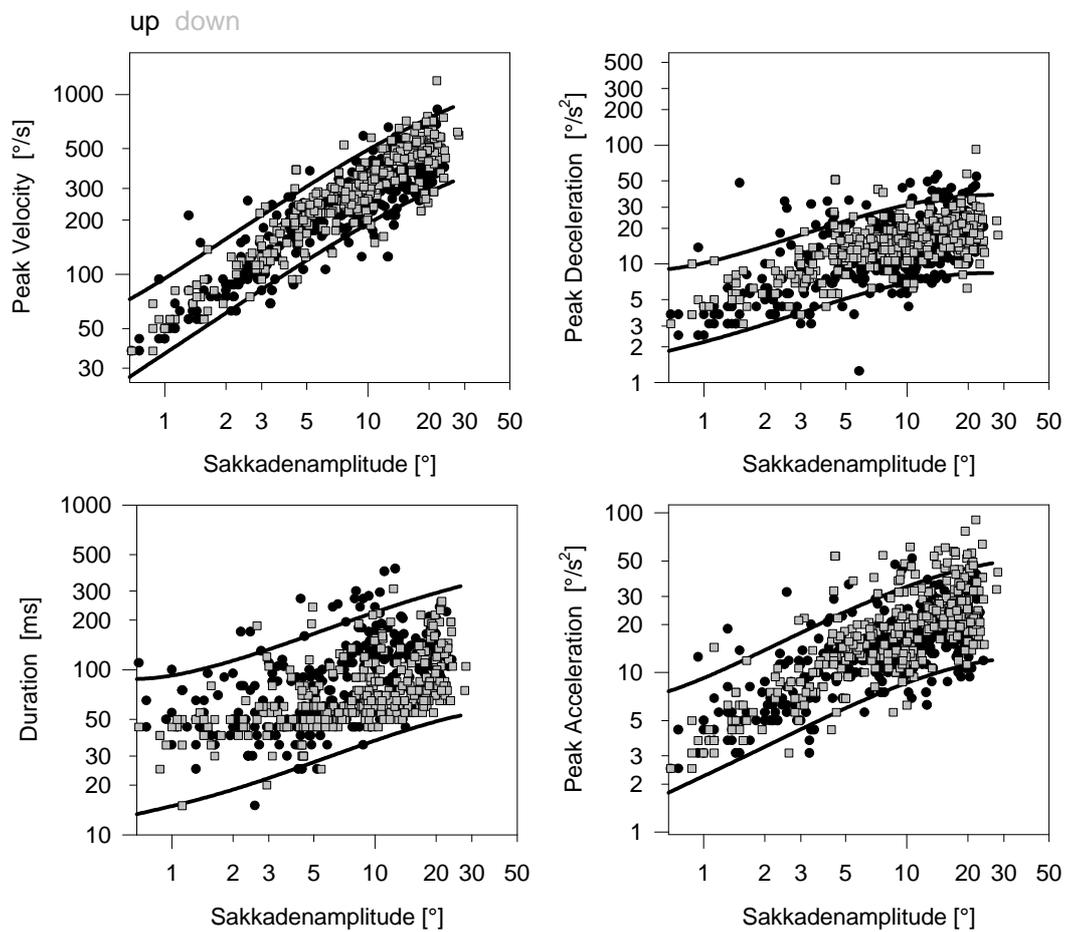


Abbildung 9: Main Sequence der horizontalen Makro-Sakkaden für das Hemianopiker-Kollektiv. Spitzengeschwindigkeit, Dauer, Spitzen-Akzeleration und Dezeleration der Sakkaden sind jeweils gegen die Sakkaden-Amplitude aufgetragen. Über 80% der Messungen befinden sich innerhalb des Normbereiches (95% Konfidenzintervall).

Vertikale Sakkaden Hemianopiker (n=14)



lung 10: Main Sequence der vertikalen Makro-Sakkaden für das Hemianopiker-Kollektiv. igschwindigkeit, Dauer, Spitzen-Akzeleration und Dezeleration der Sakkaden sind jeweils gegen die Sakkaden-Amplitude aufgetragen. Um die 90% der Messungen befinden sich innerhalb des Normbereiches (95% Konfidenzintervall).

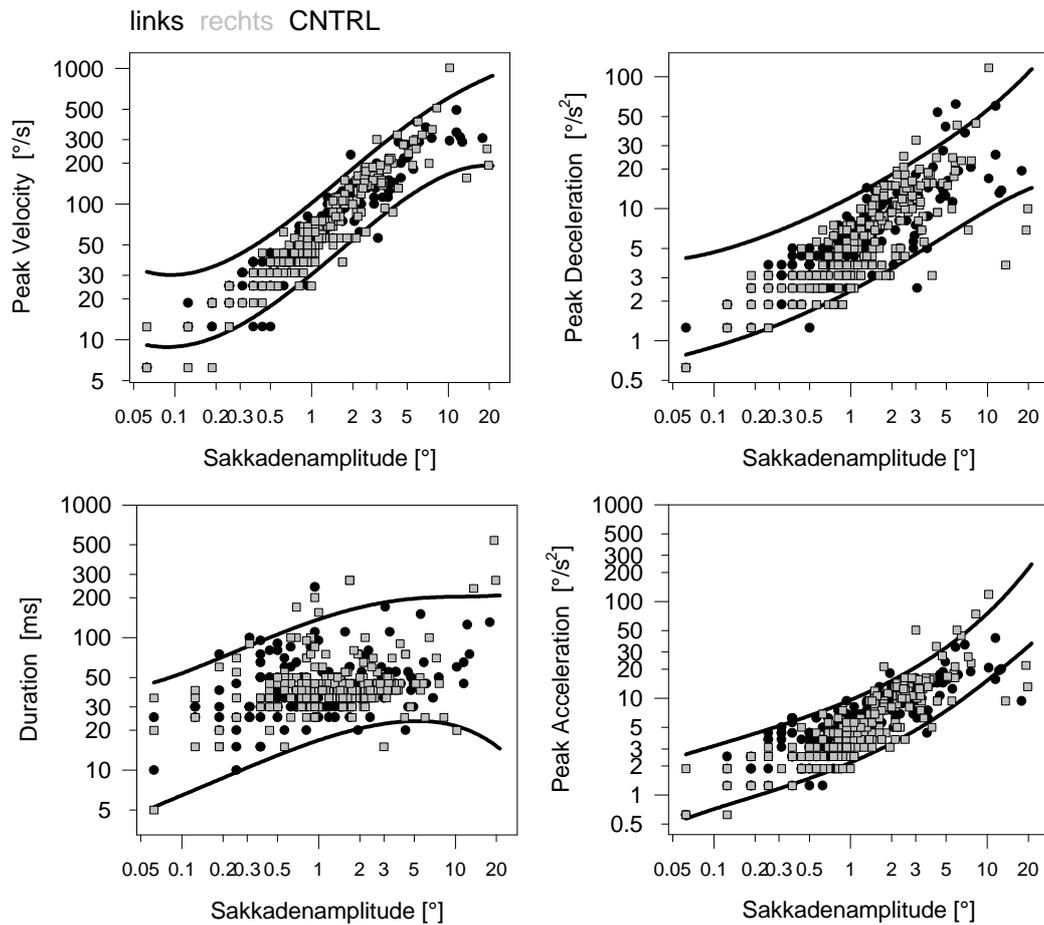
Mikro-Sakkaden horizontal Hemianopiker (n=14)

Abbildung 11: Main Sequence der horizontalen Mikro-Sakkaden für das Hemianopiker-Kollektiv. Spitzengeschwindigkeit, Dauer, Spitzen-Akzeleration und Dezeleration der Sakkaden sind jeweils gegen die Sakkaden-Amplitude aufgetragen. Über 90% der Messungen befinden sich innerhalb des Normbereiches (95% Konfidenzintervall).

Microsakkaden vertikal Hemianopiker (n=14)

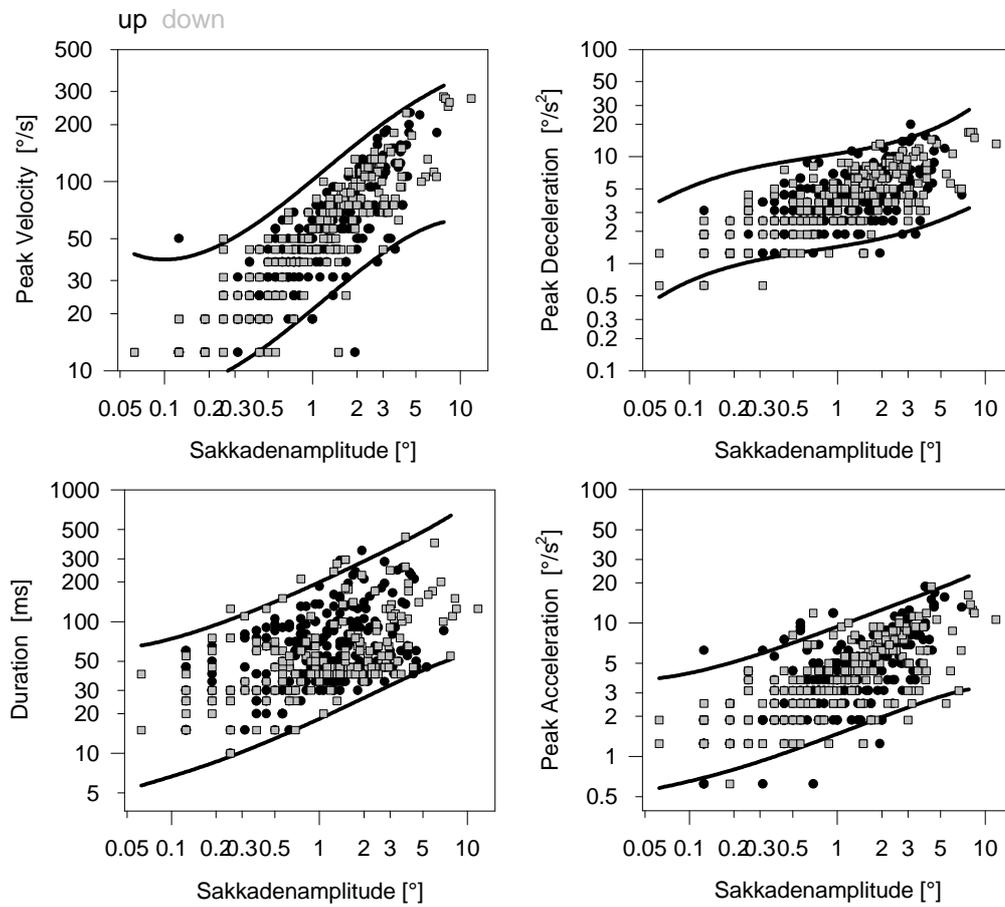


Abbildung 12: Main Sequence der vertikalen Mikro-Sakkaden für das Hemianopiker-Kollektiv. Spitzengeschwindigkeit, Dauer, Spitzen-Akzeleration und Dezeleration der Sakkaden sind jeweils gegen die Sakkaden-Amplitude aufgetragen. 80-90% der Messungen befinden sich innerhalb des Normbereiches (95% Konfidenzintervall).

3.1.2 Sakkaden/Fixationen-Merkmale der Bildbetrachtung

Die von uns erfaßten und nach Gruppen getrennten basalen Parameter für die Bildbetrachtung enthielten verschiedene Merkmale hinsichtlich der Sakkaden und Fixationen in den Search- und Scanpaths von Bild 2-6 (Searchpath Bild 1 wurde als Trainingsbild von der Auswertung ausgenommen). Für jedes betrachtete Merkmal führten wir Analysen sowohl für einzelne Probanden als auch nach den jeweiligen Bildern getrennt durch. Sofern in den dargestellten Diagrammen keine Aufschlüsselung nach einzelnen Bildern besteht, liegt eine homogene Verteilung des betrachteten Wertes über alle Bilder und die entsprechende Probandengruppe vor.

Wir bestimmten zunächst die mediane Sakkaden-Amplitude beider Kollektive als Maß für die Größe der durchgeführten Sakkaden. Diese zeigten nur geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen und Bildern. Zusätzlich zu diesem Parameter, der tendenzielle Aussagen zum raumgreifenden oder eher detailorientierten Sehen machen kann, ermittelten wir zur genaueren Bestimmung dieses Blickverhaltens den sog. Global/Local-Index (s. Abb. 13 & 14). Dieser Quotient ermittelt sich aus der Zahl der Sakkaden über einer gesetzten Schwelle und der Anzahl der Sakkaden unter dieser Schwelle. Die Schwelle wurde von uns auf 1° gesetzt, ein hoher Index spricht deshalb für eher weitgreifende, globale ein niedriger G/L-Index für eher lokale Augenbewegungen bei der Exploration des Gesichtsfeldes. Es erfolgte eine Aufschlüsselung nach Kollektiven und Bildern, welche tendenziell globaleres Sehen bei den Normalprobanden zeigte, sowie der Bildbeschaffenheit zuzuordnende Differenzen des G/L-Index. So war die Relation zugunsten des globalen Sehens besonders in Bild 3 (Schachbrett) aufgrund des neu zu erlernenden und zu merkenden Gesamtmusters ausgeprägt, weniger in den realistischen Darstellungen (Bild 5 & 6), bei denen die Detailbetrachtung der interessanten Merkmale eines bekannten und leichter zuzuordnenden Ganzen im Vordergrund stand. Weitere Merkmale, die sich im wesentlichen homogen über Bilder und Kollektive verteilten, waren der Median der Fixations-Anzahl, sowie der Median der Fixationsdauer (s. Abb. 15 & 16).

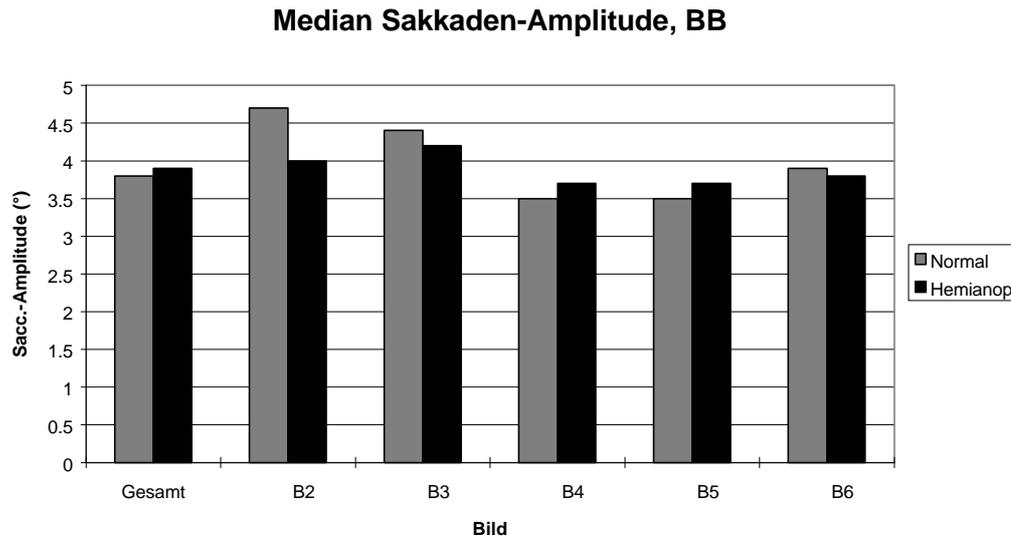


Abbildung 13: Zur Darstellung kommt die mediane Sakkaden-Amplitude der Bildbetrachtungen für Hemianopiker und Normalprobanden. Die Auftragung erfolgte nach Bildern getrennt (B2-B6) sowie in der Zusammenfassung aller Bildbetrachtungen (Gesamt). Trotz geringer Differenzen über den einzelnen Bildern finden sich insgesamt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Probandengruppen.

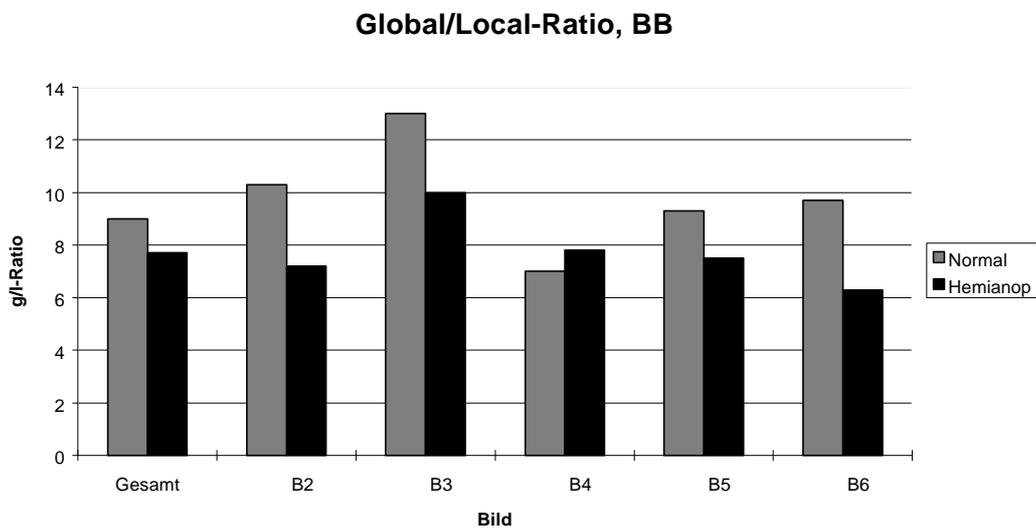
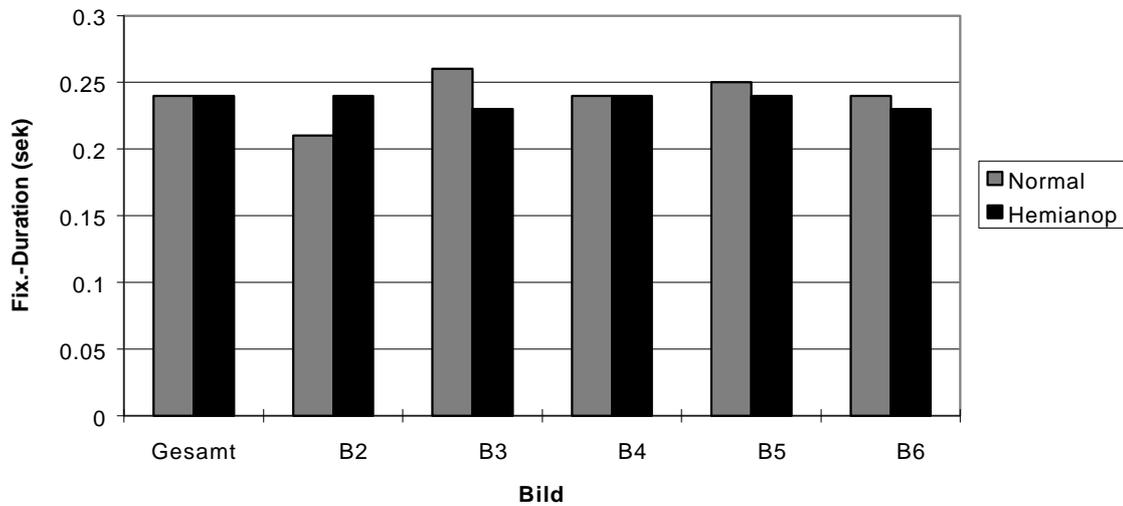


Abbildung 14: Es wird die G/L-Ratio (G/L-Index) bei einer Schwelle von 1° für beide Probandengruppen und über alle Bilder (B2-6) sowie in der Zusammenfassung (Gesamt) dargestellt. Es zeigt sich eine deutliches Überwiegen des globalen Sehens mit medianen G/L-Indices > 1 für alle Probanden. Dieses ist tendenziell bei den Normalprobanden stärker ausgeprägt, jedoch in der Gesamt-Verteilung sowie auch trotz größerer Differenzen der Mediane über die einzelnen Bilder nicht signifikant. Besonders hohe Werte für globales Sehen zeigten sich für beide Gruppen im Schachbrettmuster (B3).

Median Fixationen-Dauer, BB



Median Fixationen-Anzahl, BB

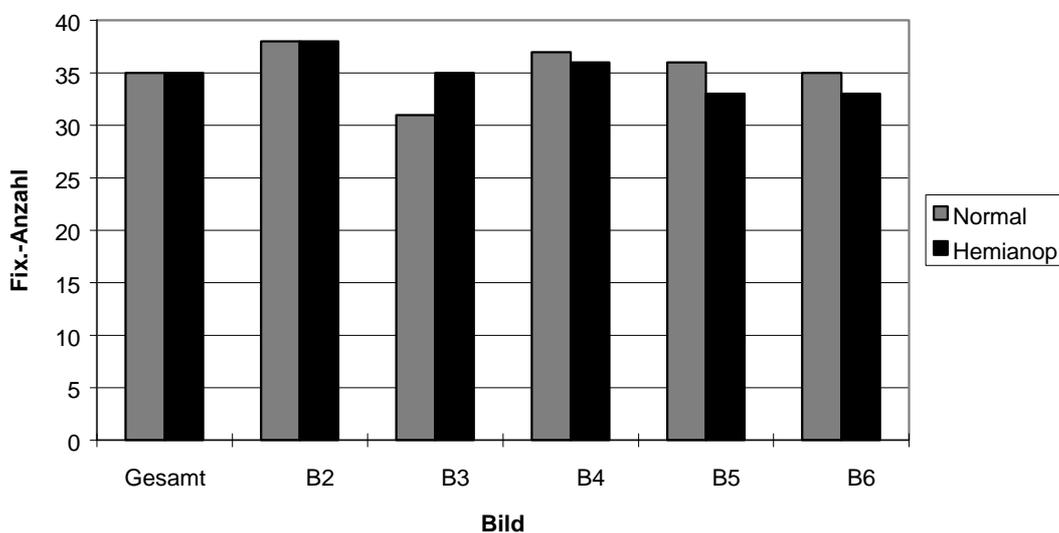


Abbildung 15 & 16 : Dargestellt wird die mediane Fixationen-Dauer (oben) und Fixationsanzahl (unten) der Bildbetrachtungen (BB) getrennt nach Probandengruppen und Bildern. Diese Parameter sind im wesentlichen homogen über Bilder und Probandengruppen verteilt, es fanden sich keine signifikanten Unterschiede.

Die bilaterale Verteilung (Links/Rechts-Verteilung) der Fixationen auf den jeweiligen Bildbetrachtungen teilten wir nach den Kollektiven mit vorwiegender Gesichtsfeldstörung nach links, rechts sowie Normalprobanden auf (s. Abb. 17 & 18). Wir untersuchten die Parameter Fixationszeit und Fixations-Anzahl als Maße für die laterale Schwerpunktsetzung bei der Bildbetrachtung. Es ergab sich im Kollektiv der Normalprobanden ein über alle Bilder konstant vorhandenes, signifikantes Ungleichgewicht im Sinne einer Bevorzugung der linken Bildhälfte bei den Fixationen. Beide Hemianopsie-Gruppen zeigten ein gleichmäßiges Blickverhalten ohne signifikante Differenzen in der links/rechts Fixationsverteilung. Lediglich ein kurzadaptierter Patient zeigte in der intraindividuellen Analyse eine Bevorzugung seines nicht geschädigten Gesichtsfeldes. Wir faßten diese ungewöhnliche Verteilung bei im wesentlichen hinsichtlich der interessanten Merkmale bilateral symmetrisch aufgebauten Bilder als Effekt der Rechtshändigkeit des Normalkollektives mit Bevorzugung der Exploration des linken Gesichtsfeldes auf. Die ausgewogene Fixationsverteilung der meisten Hemianopsie-Patienten mit guter Exploration auch des defizienten Gesichtsfeldes führten wir auf einen guten Adaptationszustand an die Störung zurück.

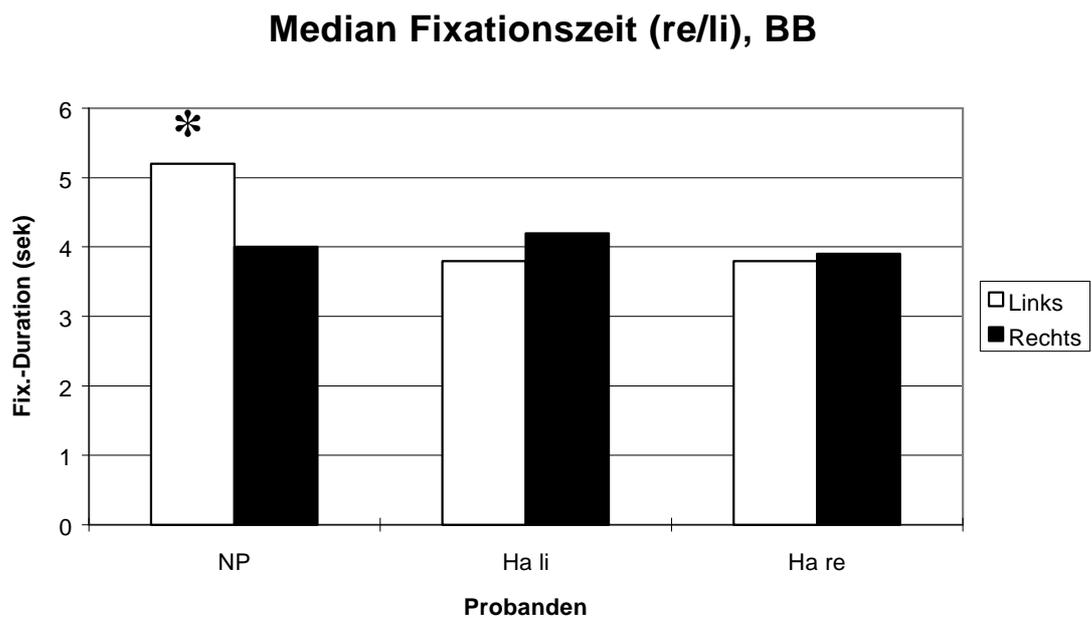
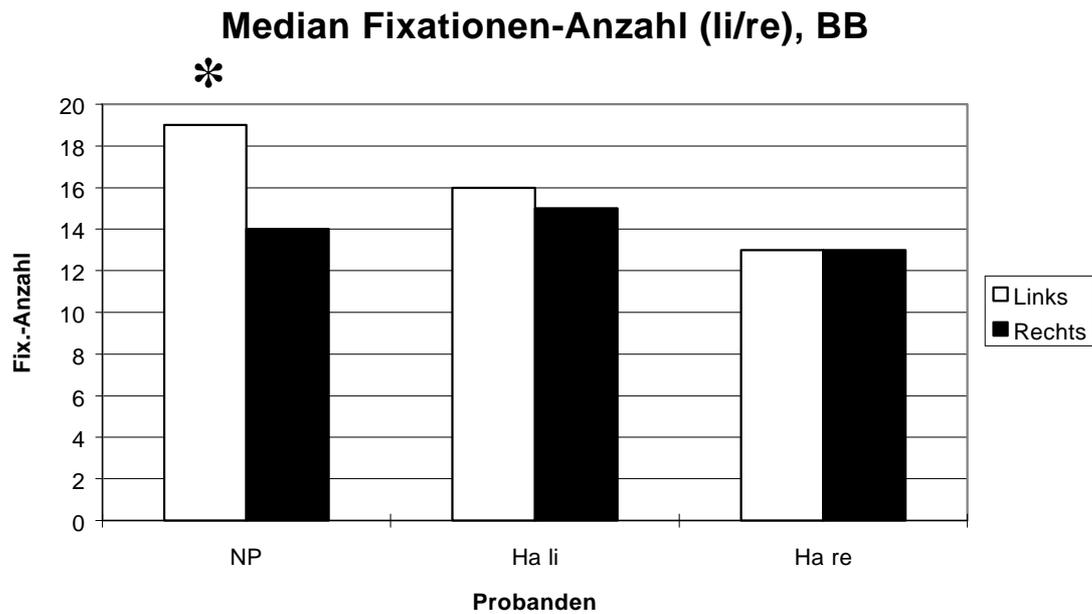
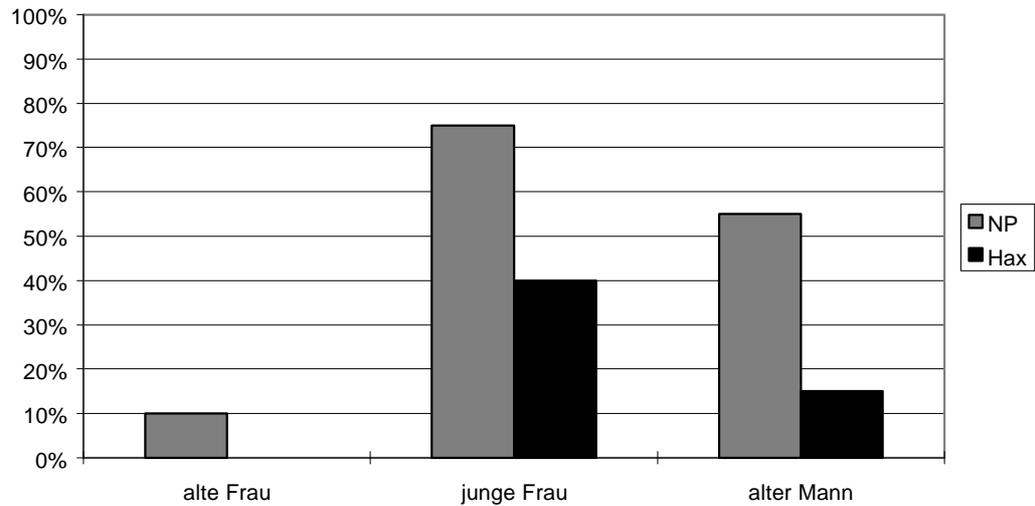


Abbildung 17 & 18: Diese Graphiken geben Aufschluß über die bilaterale Verteilung (Links/rechts-Verteilung) der Fixationen hinsichtlich Anzahl (oben) und Dauer (unten) der Fixationen in den Bildbetrachtungen (BB). Aufgetragen wurden Normalprobanden (n=20) sowie Patienten mit vorwiegendem Gesichtsfelddefekt nach rechts (n=7) bzw. nach links (n=6) über alle Bilder. Während bei den Patienten eine ausgewogene Fixations-Verteilung vorherrscht, zeigt sich bei den Normalprobanden eine Präferenz der linken Seite, die signifikant ist (*).

Als kognitiv beeinflusste Variable verglichen wir die prozentuale Erfassung (von den Patienten nach der Messung berichtet) der 3 verschiedenen Interpretationsmöglichkeiten des trivalenten Bildes zwischen Normalprobanden und Hemianopsie-Patienten. Hier ergaben sich für alle Interpretationen höhere Auffindungswerte für die Normalprobanden, was zum einen einer besseren und effizienteren visuellen Exploration, zum anderen aber auch einer höheren kognitiven Leistungsfähigkeit der Normalprobanden bezüglich einer zügigen Modellbildung und Aufschlüsselung des trivalenten Stimulus entspricht. Dieser Effekt war in Bild 2 (Aufsuchen der Bäume) weniger stark ausgeprägt, die mittlere Anzahl der gefundenen Bäume lag bei den Normalprobanden bei dieser Searchpath-Aufgabe von niedrigerem kognitiven Niveau nur gering über der der Hemianopsie-Patienten (s. Abb. 19 & 20).

Trivalentes Bild, gefundene Interpretationen



Berge-Bild, Mittelwert der gefundenen Items (von 8)

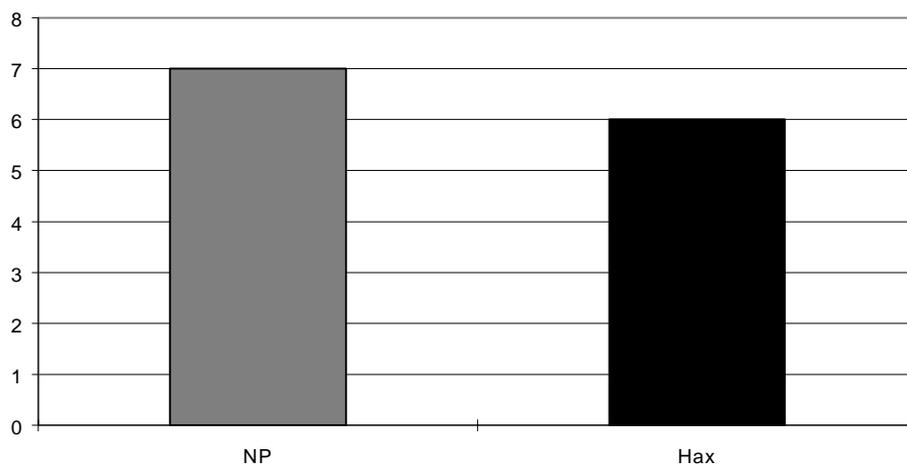


Abbildung 19 & 20: Kognitive Parameter - In der ersten der beiden Abbildungen ist die Fähigkeit zur Auflösung der kognitiven Aufgabe des Trivalent-Bildes (Bild 4) nach Probandengruppen und prozentualem Erkennen der polar angeordneten Stimuli (alte Frau, junge Frau & alter Mann) getrennt dargestellt. Hier zeigen sich deutlich höhere Werte für die Normalprobanden (NP) als für die Patienten (HAX). Die Interpretation „alte Frau“ erwies sich als die schwierigste Interpretationsmöglichkeit und wurde von keinem der Hemianopiker und nur 10% der Normalprobanden gefunden. Im Berge-Bild (Bild 3)-Searchpath zeigte sich auf einem niedrigeren kognitiven Niveau (Auffinden der Pflaumenbäume) nur ein kleiner Unterschied zwischen den beiden Kollektiven. Von den 8 möglichen Items wurden von den Normalprobanden im Mittel 7, von den Hemianopikern 6 gefunden.

3.1.3 Sakkaden/Fixationen-Merkmale des Visual Imagery

Die bereits für die Bildbetrachtung bestimmten basalen Leistungsmerkmale Sakkaden-Amplitude, Fixations-Anzahl und Fixationsdauer verglichen wir für die Kollektive Hemianopsie-Patienten und Normalprobanden schließlich auch mit den für die Imagery-Scanpaths ermittelten Werte. Hierbei zeigten sich durchweg signifikante Ergebnisse, die in beiden Gruppen gleichsinnig ausfielen.

Die mediane Sakkadenamplitude und die mediane Fixations-Anzahl waren im Vergleich zur Bildbetrachtungsphase während der Imagery-Phasen signifikant vermindert. Die Fixationsdauer zeigte im Median einen signifikant höheren Wert als während der Betrachtung. Dieses Ergebnis war über alle Bilder konstant zu beobachten, die zusammengefaßten Daten zeigen Abbildung 21-23. Hier findet die Reduktion und Zeitintensität der Reproduktion des kürzlich gebildeten mentalen Modells im Imagery-Scanpath in beiden Kollektiven seinen Niederschlag. Da die Ergebnisse der Hemianopiker denen der Normalprobanden entsprachen, sind die differenzierten Graphiken exemplarisch nur für das Normalprobanden-Kollektiv dargestellt.

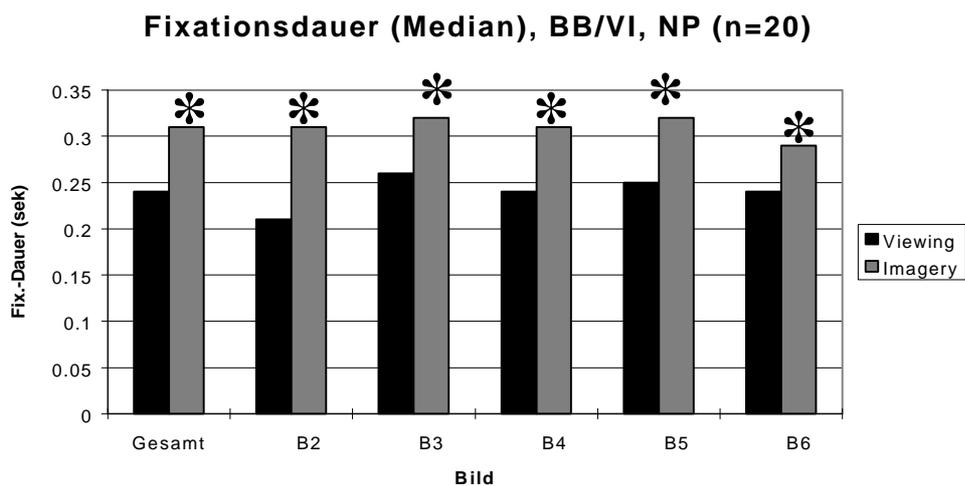
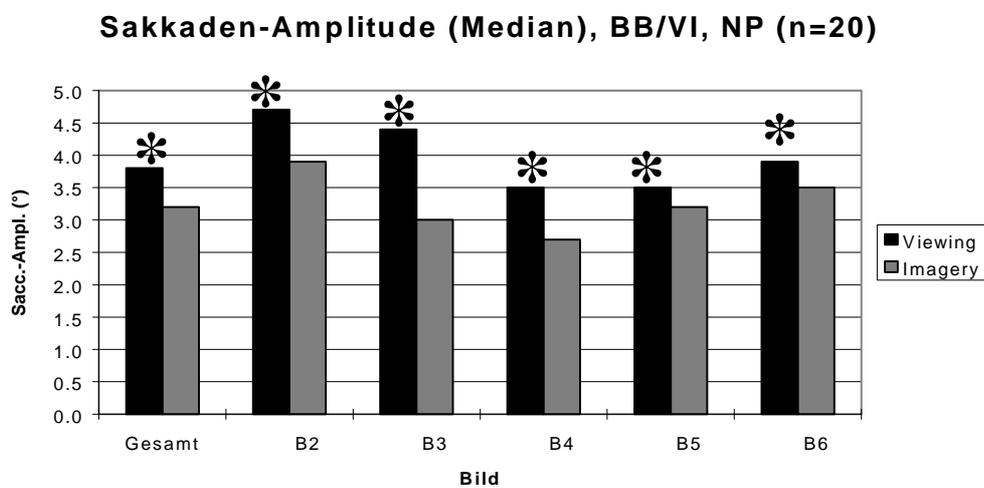
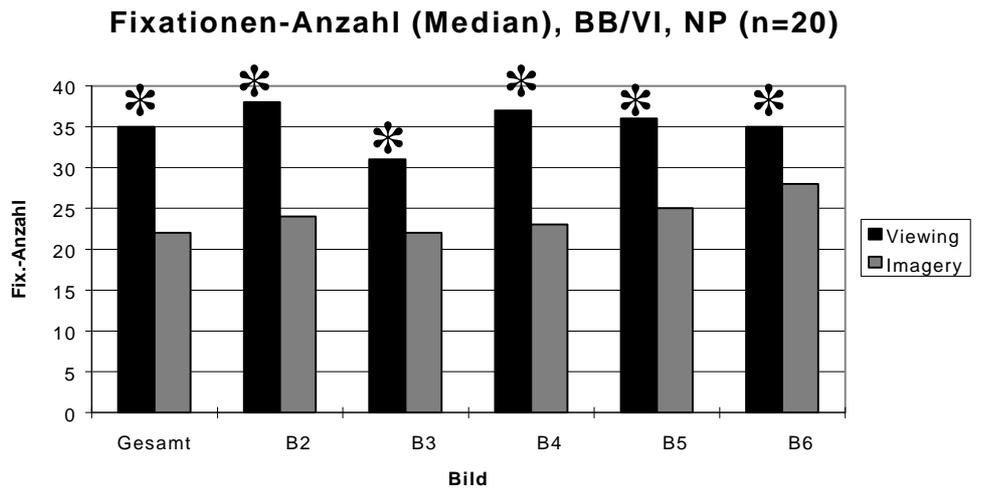


Abbildung 21-23: Vergleich der medianen Fixations-Anzahl (oben), Sakkaden-Amplitude (Mitte) und Fixationsdauer (unten) zwischen Bildbetrachtung (BB, Viewing) und Visual Imagery (VI, Imagery)-Phasen der Scanpaths der Normalprobanden über alle Bilder (B2-6) und in der Gesamtdarstellung. Die Unterschiede sind durchgehend hochsignifikant (*).

3.2 Similarity-Analyse der Scanpaths beider Kollektive

Bei der Gegenüberstellung der für die Bildbetrachtung (im Folgenden mit „0“ bezeichnet) und die Imageries (im Folgenden mit „1“, „2“ und „3“ bezeichnet) berechneten Similarities zeigte sich bei allen verwendeten Verfahren, daß innerhalb der Gruppen der Bildbetrachtung-Imagery Vergleiche (0-1, 0-2, 0-3 in Abb. 24-28) und der Imagery-Imagery Vergleiche (1-2, 1-3, 2-3 in Abb. 24-28) wesentlich geringere Unterschiede vorhanden waren als zwischen den Gruppen. Dieses Ergebnis war über die einzelnen Bilder sowie in der Einzelprobanden-Analyse weitgehend konsistent. Wir wählten deshalb für Normalprobanden und Hemianopiker eine übersichtliche, nach Vergleichsmethode getrennte Darstellung der Daten. In der Abbildung 24 & 25 sind die mit den Verfahren aus Abschnitt 2.4.2 berechneten Similarities dargestellt. Die Boxplots markieren den Mittelwert sowie die 5%, 10%, 25%, 50% (Median), 75%, 90% und 95% Perzentile der gemessenen Verteilungen. Zum Vergleich sind die zu den verschiedenen Verfahren gehörenden Mediane aus Abbildung 24 & 25 in der Abbildung 26 & 27 gemeinsam dargestellt. Abbildung 28 präsentiert schließlich die Ergebnisse der Rangvarianzanalyse, mit der geprüft wurde ob sich die Mediane aus den Abbildungen 26 & 27 signifikant voneinander unterscheiden.

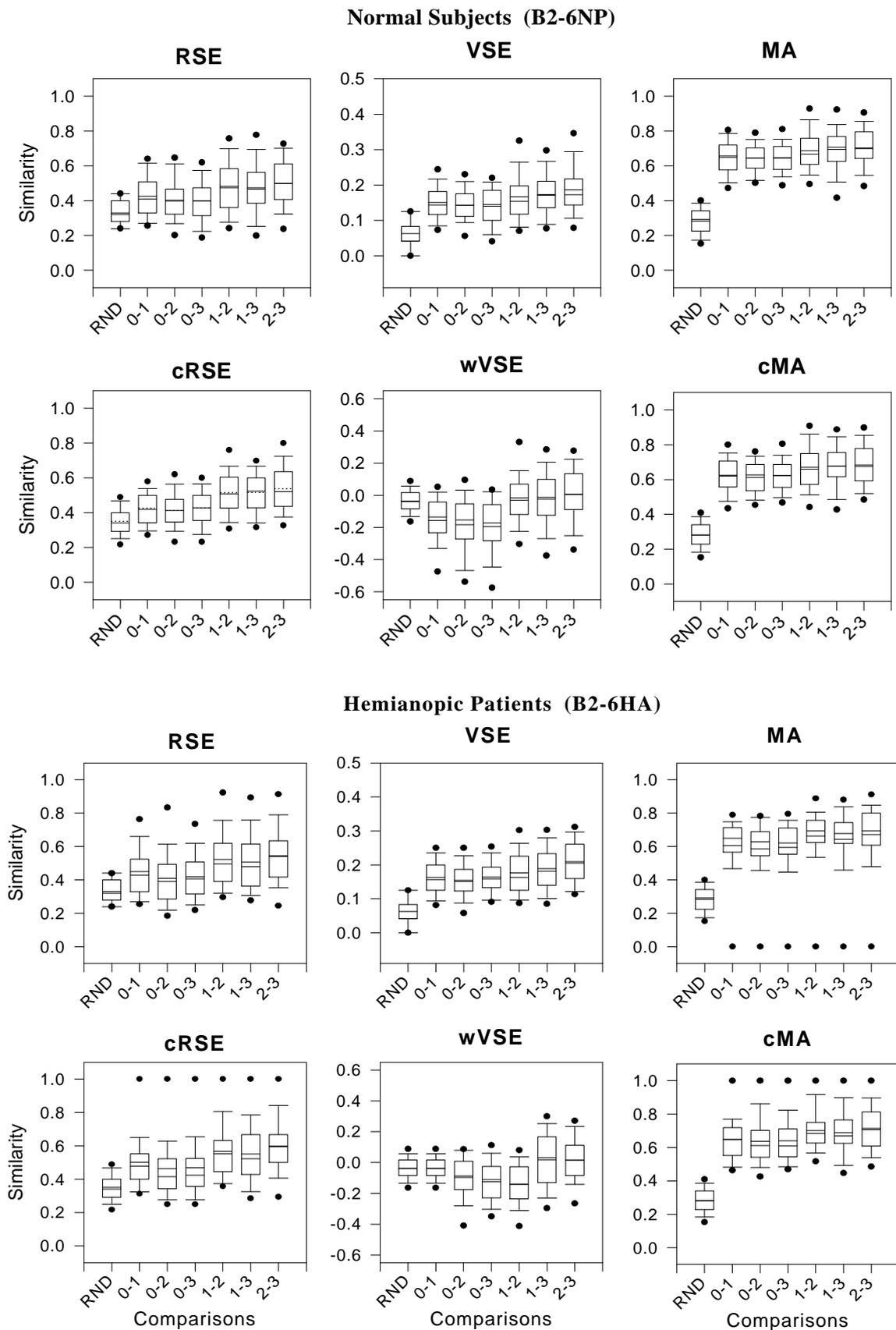


Abbildung 24 & 25: Die für Normalprobanden und Hemianopiker mit den Verfahren aus Abschnitt 2.4.2 berechneten Similarities (RSE: Region-String Editing, VSE: Vector-String Editing, MA: Markov Analyse, c: compressed, w: weighted). Die Boxplots markieren die 5% (Punkt), 10% (horizontaler Strich), 25% (untere Grenze der Box), 50% (durchgezeichnete Linie in der Box), 75% (obere Grenze der Box), 90% (horizontaler Strich) und 95% (Punkt) Perzentile sowie den Mittelwert (gestrichelte Linie) der gemessenen Verteilungen. Verglichen wurden Random-Strings (RND), die Bildbetrachtung mit den drei Imageries (0-1, 0-2 und 0-3) sowie die Imageries untereinander (1-2, 1-3, 2-3).

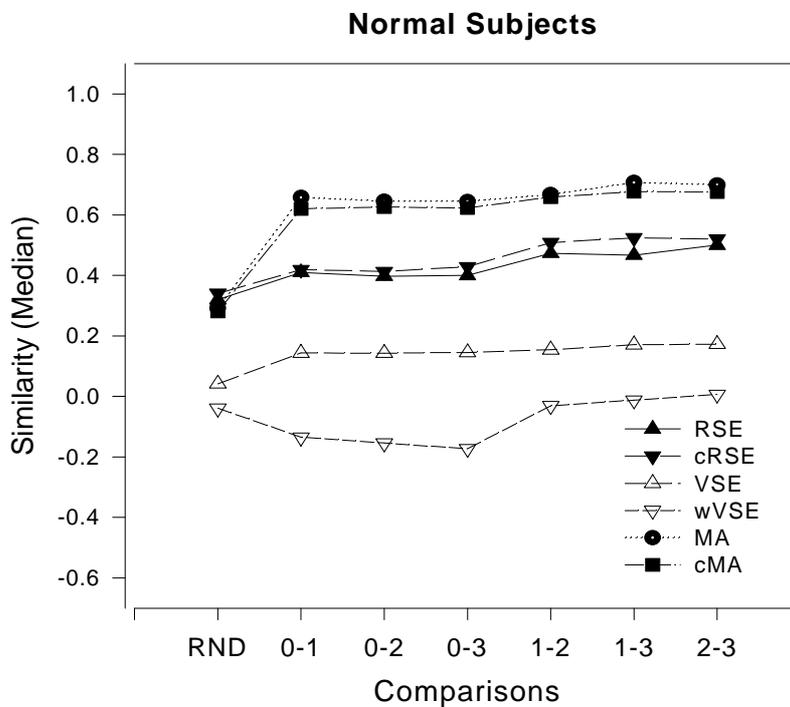
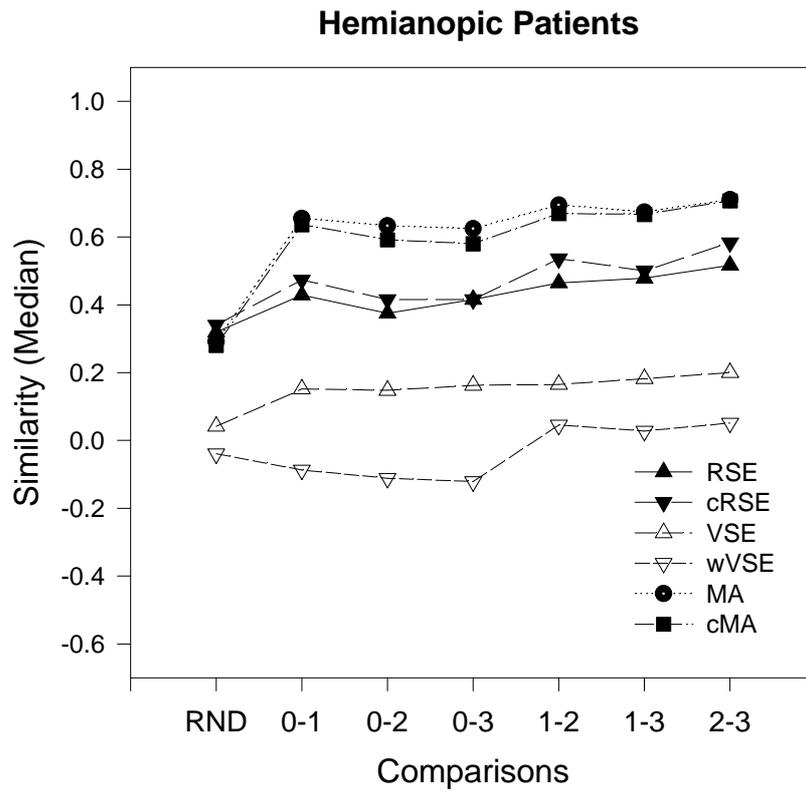


Abbildung 26 & 27: Gegenüberstellung der durch die verwendeten Verfahren berechneten Similarities. Dargestellt ist jeweils der Median der gemessenen Verteilungen. Symbole wie in Abbildung 28, Vergleiche zwischen Random (RND), Bildbetrachtung (0) und Imagery 1-3 (1,2,3) Strings.

3.2.1 Normalprobanden

Region-String Verfahren

Die beiden Varianten mit (cRSE) und ohne (RSE) vorherige String-Kompression führten zu annähernd den gleichen Ergebnissen. Sowohl die Vergleiche von Bildbetrachtung-Imagery als auch die von Imagery-Imagery hatten gegenüber den Random-Strings signifikant erhöhte Similarities. Zwischen den Bildbetrachtung-Imagery Vergleichen wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden. Bei den Imagery-Imagery Vergleichen wiesen die letzten beiden Imageries (2-3) die insgesamt höchste Similarity auf, aber auch hier waren die Unterschiede zwischen den Imagery-Imagery Vergleichen nicht signifikant. Die Gruppe der Imagery-Imagery Vergleiche hatte gegenüber der Gruppe der Bildbetrachtung-Imagery Vergleiche erhöhte Similarities. Mit zwei Ausnahmen (0-1 gegen 1-2, 0-1 gegen 1-3, jeweils beim RSE) waren diese Unterschiede signifikant.

Vector-String Verfahren

Beim Vector-String Editing (VSE) gab es wiederum für alle Vergleiche einen signifikanten Unterschied zu den mit Random-Strings bestimmten Similarities. Der "Kurvenverlauf" ähnelt demjenigen bei den Region-String Verfahren, allerdings fallen die mit VSE bestimmten Similarities wesentlich geringer aus. Lediglich zwischen den Vergleichen 0-3 und 2-3 wurden signifikant unterschiedliche Similarities gefunden.

Beim Weighted Vector-String Editing (wVSE) wurde für die Bildbetrachtung-Imagery Vergleiche negative Similarities gefunden, d.h. die Similarity liegt unterhalb der bei Random-Strings zu erwartenden. Die Bildbetrachtung-Imagery Vergleiche und die Imagery-Imagery Vergleiche unterscheiden sich von allen Verfahren beim wVSE am stärksten voneinander. Nach dem Anstieg aus dem Negativen befinden sich Imagery-Imagery Vergleiche allerdings im Bereich der Random-Strings.

Markov Analyse

Wie beim RSE und cRSE gab es bei den Markov Verfahren keinen wesentlichen Unterschied zwischen den komprimierten (cMA) und den unkomprimierten (MA) Varianten. Bei den Markov Verfahren gab es für alle Vergleiche eine gegenüber Random-Strings besonders stark erhöhte Similarity. Ansonsten ist die relative Lage der Mediane zueinander ähnlich wie bei den anderen Verfahren. Die geringen Unterschiede weisen allerdings keine Signifikanz auf.

3.2.2 Hemianopiker

Die bei Hemianopikern gefundenen Mediane stimmen mit den bei Normalprobanden bestimmten Werten fast überein (s. Abb. 26 & 27), die geringen Unterschiede weisen keine Signifikanz auf. Allerdings sind die Schwankungsbreiten der gemessenen Verteilungen größer (vgl. Abb. 24 & 25) was dazu führt, daß bei Hemianopikern bei der Gegenüberstellung der Bildbetrachtung-Imagery Vergleiche und der Imagery-Imagery Vergleiche weniger signifikante Unterschiede gefunden wurden (s. Abb. 28). Am "robustesten" erwies sich dabei das Weighted Vector-String Editing.

		<i>N o r m a l p r o b a n d e n</i>							
		RND	0-1	0-2	0-3	1-2	1-3	2-3	
<i>H e m i a n o p i k e r</i>	RND		▲ ▲ ● ▼ ▼ ■	▲ ▲ ● ▼ ▼ ■	▲ ▲ ● ▼ ▼ ■	▲ ▲ ● ▼ - ■	▲ ▲ ● ▼ - ■	▲ ▲ ● ▼ - ■	<i>N o r m a l p r o b a n d e n</i>
	0-1	▲ ▲ ● ▼ - ■		- - - - - -	- - - - - -	- - - ▼ ▼ -	- - - ▼ ▼ -	▲ - - ▼ ▼ -	
	0-2	- ▲ ● ▼ ▼ ■	- - - - - -		- - - - - -	▲ - - ▼ ▼ -	▲ - - ▼ ▼ -	▲ - - ▼ ▼ -	
	0-3	▲ ▲ ● ▼ ▼ ■	- - - - - -	- - - - - -		▲ - - ▼ ▼ -	▲ - - ▼ ▼ -	▲ ▲ - ▼ ▼ -	
	1-2	▲ ▲ ● ▼ - ■	- - - - ▼ -	▲ - - - ▼ -	- - - - ▼ -		- - - - - -	- - - - - -	
	1-3	▲ ▲ ● ▼ - ■	- - - - ▼ -	▲ - - - ▼ -	- - - - ▼ -	- - - - - -		- - - - - -	
	2-3	▲ ▲ ● ▼ - ■	- - - - ▼ -	▲ - - ▼ ▼ -	- - - ▼ ▼ -	- - - - - -	- - - - - -		
		<i>H e m i a n o p i k e r</i>							

Abbildung 28: Ergebnisse der Rangvarianzanalyse nach Kruskal & Wallis. Sind die durch das jeweilige Verfahren bestimmten Mediane signifikant unterschiedlich ($p < 0.05$), so ist das Symbol des Verfahrens dargestellt (▲ Region-String Editing, ▼ compressed Region-String Editing, △ Vector-String Editing, ▽ Weighted Vector-String Editing, ● Markov Analyse, ■ compressed Markov Analyse), andernfalls "-". Oberhalb der Hauptdiagonalen befinden sich die Ergebnisse für Normalprobanden, unterhalb die für Hemianopiker.

3.3 Mikro-Sakkaden Analyse - Verteilung

Unsere Analyse der Mikro-Sakkaden beschränkte sich im ersten Schritt auf die während der Fixationen gemessenen Positionen der Augenbewegungen. Wir führten die Definition der Fixationen mittels standardisierter Zeit-, Ort- und Geschwindigkeitskriterien durch. Als Ort der Fixation galt der Medianschwerpunkt der während der Fixation durchgeführten Augenbewegungen, wobei die maximale Größe des Areal, in welchem eine Fixation stattfand, auf 1° limitiert war. Veranschaulichungen dieser mittels verbundener Linien schematisierten Mikro-Augenbewegungen finden sich im Anhang unter 7.4.3. Unter Punkt 7.6 finden sich dort ebenfalls beispielhaft einige String Editing Analysen für die in einem zweiten Schritt als Mikro-Scanpaths aufgefaßten Mikro-Sakkaden.

Das 1° große Areal jeder Fixation wurde von uns zunächst in ein Raster aus 20×20 Positionsfeldern horizontal und vertikal unterteilt. Nachfolgend ermittelten wir für jede Fixation die absolute Häufigkeit des Aufenthaltes von Mikro-Augenbewegungen in jedem Areal und faßten diese schließlich pro Proband und Bild in den 2 Ebenen zusammen. Aufgrund der horizontalen Gesichtsfelddefekte im Patientenkollektiv interessierten uns vornehmlich die Ergebnisse der Verteilung von Mikro-Augenbewegungspositionen in dieser Ebene. Der Übersichtlichkeit halber reduzierten wir die zunächst in 0.05° -Schritten berechneten Werte auf 10 Positionen in 6 Bogenminuten-Schritten, aufgetragen um den als Nullpunkt definierten Schwerpunkt der Fixation. Wir betrachteten die Mittelwerte der Fixationspositionen für alle Bildbetrachtungen zusammengefaßt in den Kollektiven Normalprobanden, Hemianopsie links und Hemianopsie rechts. Es fand sich bei allen Kollektiven ungeachtet der Intaktheit des Gesichtsfeldes eine homogene Verteilung der Fixationen um den Mittelpunkt. Diese wird in den Abbildungen 29-31 illustriert. Anhand der Kruskal-Wallis Rangvarianzanalyse zeigten sich innerhalb der Probandengruppen signifikant unterschiedliche Mittelwerte für die einzelnen Fixationspositionen mit einem zu erwartenden Maximum in der Fixationsmitte (Nullpunkt) und einem Absinken der Fixationshäufigkeit zur Peripherie des definierten Fixationsareals hin. Im zusammengefaßten bilateralen Vergleich der rechts/links Verteilung der Fixationspositionen ergab sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Kollektiven, so daß keine Seitenpräferenz der Hemianopiker gegenüber den Normalprobanden bezüglich Ihrer Ausführung von Mikro-Sakkaden zu konstatieren war.

Mikro-Sakkaden, Normalprobanden: Fix.-Positionen-Verteilung horizontal

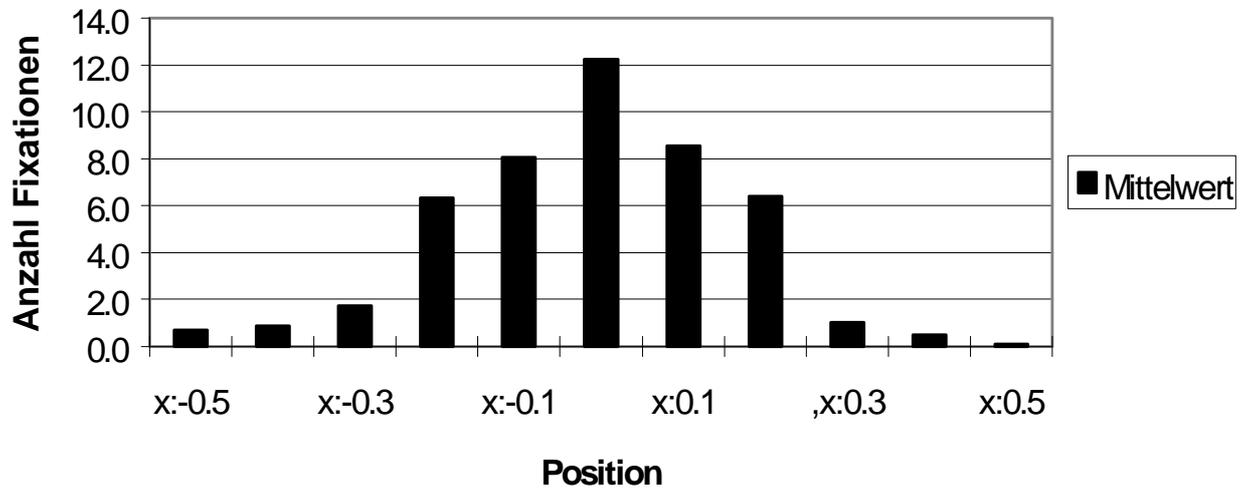


Abbildung 29: Mikro-Sakkaden: Zur Darstellung kommt die mittlere Verteilung der Mikro-Fixationspositionen der Augenbewegungen innerhalb der 1^o-Fixationen aller Bildbetrachtungen für die Normalprobanden (n=20). Die Auftragung erfolgte in 10 Positionsintervallen um die Nullposition.

Mikro-Sakkaden, Hemianopiker li: Fix.-Positionen Verteilung horizontal

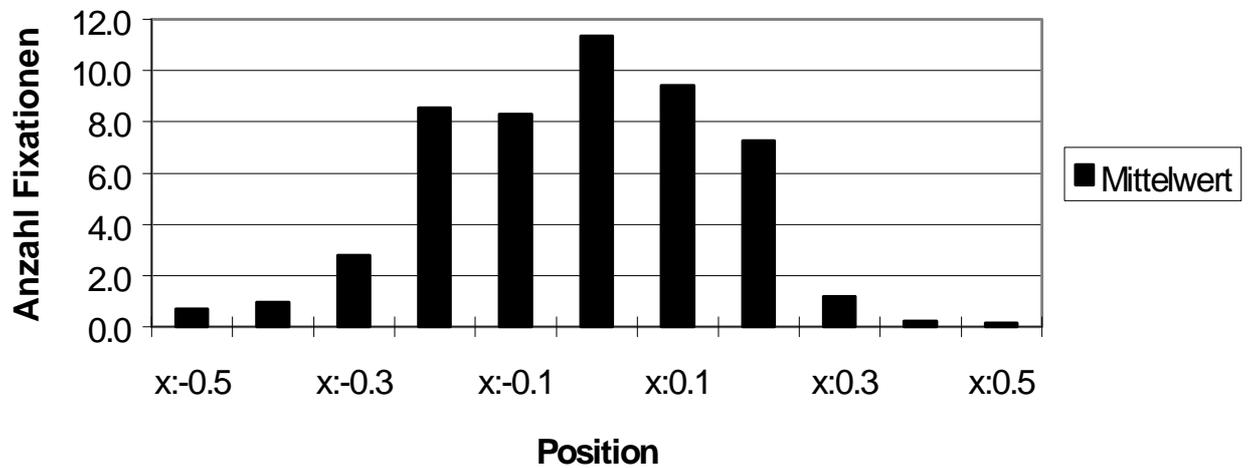


Abbildung 30: Mikro-Sakkaden: Zur Darstellung kommt die mittlere Verteilung der Mikro-Fixationspositionen der Augenbewegungen innerhalb der 1°-Fixationen aller Bildbetrachtungen für die Hemianopiker (links, n=7). Die Auftragung erfolgte in 10 Positionsintervallen um die Nullposition.

Mikro-Sakkaden Hemianopiker re: Fix.-Positionen Verteilung horizontal

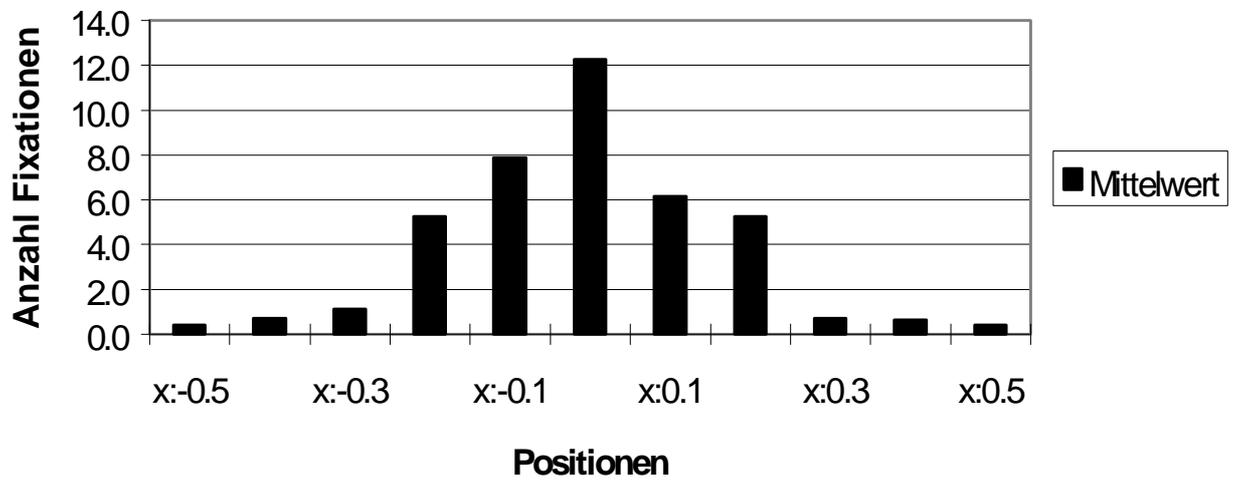


Abbildung 31: Mikro-Sakkaden: Zur Darstellung kommt die mittlere Verteilung der Mikro-Fixationspositionen der Augenbewegungen innerhalb der 1°-Fixationen aller Bildbetrachtungen für die Hemianopiker (rechts, n=6). Die Auftragung erfolgte in 10 Positionsintervallen um die Nullposition.

4. Diskussion

4.1 Basale Scanpathparameter-Analyse

Wir untersuchten zunächst basale Scanpath-Parameter der Bildbetrachtung und des Visual Imagery, um Rückschluß auf Differenzen und Gemeinsamkeiten zwischen unserem Normalprobanden- und Patientenkollektiv auf einer niedrigeren blickmotorischen Ebene zu erhalten. Wir bezogen ferner nach Gesichtsfelddefekten getrennte Subgruppenanalysen innerhalb des Patientenkollektivs hinsichtlich des bilateralen Blickverhaltens sowie auf einer höheren kognitiven Ebene Aufgabenlösungen zweier Bilder mit ein, um auch hier eventuell bedeutsame und z.T. in der Literatur besonders bei kurzzeitadaptierten Hemianopikern beschriebene Charakteristika der Blicksteuerung zu erfassen. Die nachfolgend diskutierten Resultate sprechen für eine günstige Adaptationslage unserer Patientengruppe.

4.1.1 Sakkaden- und Fixationen-Charakteristika der Bildbetrachtung

Als Parameter für das globale, raumgreifende bzw. das lokale, eher detailorientierte Sehen dienten uns die Sakkaden-Amplitude und die Global/Lokal-Rate der auf den Bildbetrachtungen ausgeführten Sakkaden. Entsprechend des Bildaufbaus mit Searchpath und abstraktem Schachbrettmuster fanden sich in beiden Gruppen die im Median größten Sakkaden in Bild 2 und 3. Hier waren auch entsprechend der im Vordergrund stehenden großen Sakkaden zum Erfassen des Bildes mit Absuchen bzw. Registrieren eines Musters die G/L-Indices entsprechend hoch. Die nur geringen Differenzen zwischen den Kollektiven waren jedoch nicht signifikant, offensichtlich war unser Patientenkollektiv genauso wie die Normalprobanden zu raumgreifendem Sehen mit vorwiegend großamplitudigen Sakkaden in der Lage. Die Anzahl der Fixationen als Maß für die Aufnahme von Bilddetails während der Bildbetrachtung sowie die hierzu in reziproker Relation stehende Fixationsdauer waren über Probanden und Bilder annähernd gleich verteilt. Diese Ergebnisse ergaben erste Hinweise auf dem Normalen weitgehend angeglichenes Blickverhalten unserer Patienten, welches innerhalb des Kollektivs ohne größere Schwankungen festzustellen war.

4.1.2 Bilaterale Verteilung der Blickpositionen und ausgewählte kognitive Merkmale

Die Analyse der bilateralen Verteilung der Fixationen ergab ein zunächst überraschendes Ergebnis. Die Links/rechts-Fixationsverteilung (Anzahl, Dauer) war bei den Patienten mit vorwiegenden Gesichtsfeldstörungen nach links bzw. rechts gleichmäßig ohne Präferenz des jeweilig gesunden Gesichtsfeldes verteilt. Diese Verteilung bestand über alle Bilder und mit nur geringen Abweichungen einzelner Probanden (so zeigte einer der sehr kurz adaptierten Hemianopiker erwartungsgemäß eine Prädominanz seines gesunden Gesichtsfeldes). Die Normalprobanden hingegen wiesen eine ausgesprochene und hinsichtlich der Fixations-Anzahl und -dauer signifikante Bevorzugung des linken Gesichtsfeldes respektive Monitorhalbfeldes bei den Bildbetrachtungen auf. Asymmetrien innerhalb der Bilder konnten als Erklärung ausgeschlossen werden, da diese hinsichtlich der interessanten Merkmale bilateral symmetrisch aufgebaut waren und sich dieses Phänomen über alle Bilder hinweg beobachten ließ. Eine mögliche Erklärung sehen wir in der Rechtshändigkeit unserer Normalprobanden. In der Literatur findet die Hypothese der funktionellen Asymmetrie der Hemisphären stützende Abhandlungen. So berichten Bracewell et. al. (1990) von einer Spezialisierung der rechten Hirnhemisphäre bei untersuchten rechtshändigen Probanden für die visuo-motorische Kontrolle. Es zeigte sich bei diesen Rechtshändern eine präzisere Blicksteuerung im linken als im rechten Gesichtsfeld. In einer anderen Untersuchung von Hutton et. al. (1986) wurde die Hypothese der hemisphärischen Asymmetrie lateraler Augenbewegungen an Links- und Rechtshändern mittels Messungen der lateralen Sakkaden-Latenzen untersucht. Da in der Gruppe der Rechtshänder signifikant kürzere Latenzen beim Links-Rechts als beim Rechts-Links-Blick gefunden wurden, wurden auch hier zentral integrative Mechanismen der funktionellen Asymmetrie beider Hirnhemisphären postuliert.

Wir nehmen die Wirksamkeit der zentralen Asymmetrie mit Präferenz des linken Gesichtsfeldes auch im Falle unserer Normalprobanden an und verstehen dieses Verhalten im Rahmen der individuellen Top-Down-Blicksteuerung der Probanden. Die gleichmäßige Verteilung der Fixationen bei den ebenfalls rechtshändigen Hemianopikern wäre durch eine stärkere Bottom-Up-Komponente in diesem Kollektiv erklärbar. So stellen sich die Hemianopiker zwar einerseits in ihrer basalen Blicksteuerung als gut kompensiert und mit nur wenigen Ausnahmen (kurzadaptierte Patienten) bilateral symmetrisch fixierend dar, scheinen jedoch im Gegensatz zu den Normalprobanden eine solche auf eine Top-Down-Steuerung hinweisende, defektunabhängige Seitenpräferenz nicht aufzuweisen. Wir sehen diesen Aspekt allerdings unter dem Vorbehalt einer fehlenden linkshändigen Kontrollgruppe nur als

schwaches Argument für eine eingeschränkte Fähigkeit der Top-Down Prozessierung und visuellen Modellbildung unseres Hemianopiker-Kollektives.

Ein weiterer grundsätzlicher Erklärungsansatz für die Präferenz des linken Gesichtsfeldes durch Normalsichtige ist durch das gelernte Leseverhalten denkbar. Da im okzidental Kulturkreis das Lesen von Texten von links nach rechts erfolgt und zudem eine kardinale Rolle in der alltäglichen visuellen Stimulusanalyse darstellt, erscheint eine generelle linksseitige Grundausrichtung der Blicksteuerung auch in diesem Zusammenhang plausibel.

Indirekte Hinweise auf das zügige Erkennen (anhand des Vergleiches mit mentalen Modellen) komplexer Figuren gab uns die Analyse des Trivalent-Bildes (Bild 3). Hier stellte sich auf einem kognitiv sehr anspruchsvollen Niveau die Aufgabe, zwischen 3 möglichen Betrachtungs-/Interpretationsweisen zu alternieren. Wir fanden deutliche Vorteile in der Erfassung und Interpretation dieser kognitiven Aufgabe für die Normalprobanden. Diese waren in dem hierarchisch auf etwas niedrigerem kognitiven Niveau angesiedelten Searchpath aus Bild 2 (Suchen von Bäumen) etwas geringer ausgeprägt. Wir werten diese Ergebnisse als Hinweis auf eine einerseits schnellere Verarbeitungsgeschwindigkeit der Normalprobanden bei Perzeption der Stimuli aufgrund der intakten Gesichtsfelder sowie einer konsekutiv genaueren Modellbildung mit Aufnahme wesentlicher Bildmerkmale und dementsprechend erfolgreicherer Stimulusanalyse. Zwar läßt sich hieraus nicht folgern, daß die Hemianopiker auf höheren abstrakten Ebenen unfähig zur Modellbildung sind, offensichtlich fällt Ihnen dieses jedoch erheblich schwerer, wenn die Stimuli (deutlich in Bild 4) erstmalig präsentiert, komplex und unbekannt sind, und das Abgleichen mit einem mentalen Prototypen (hier die Gesichter) gefordert wird.

4.1.3 Visual Imagery - Basale Parameter

Als basale Parameter des Visual Imagery bestimmten wir die Mediane von Sakkaden-Amplitude, Fixations-Anzahl und -dauer der Scanpaths in den Imagery-Phasen unserer Messungen. Diese verglichen wir mit den während der Bildbetrachtung erhobenen Werten für beide Probandengruppen. Es ergaben sich in beiden Kollektiven hochsignifikante und über alle Bilder reproduzierbare Differenzen in der Charakteristik der Scanpaths. Es fand sich eine „Miniaturisierung“ der Scanpathsequenzen mit verkleinerten Sakkadenamplituden, geringerer Fixationsanzahl und erhöhter Fixationsdauer während des Visual Imagery. Dies geschah trotz

expliziter Vorgabe eines Referenzrahmens beim Imagery, welcher den Probanden die Dimension des zuvor gesehenen Bildes angab. Dieselbe Entdeckung machten bereits Brandt und Stark (1997) in Ihrer Ableitung von Augenbewegungen bei Normalprobanden während Visual Imagery. Sie fanden bei Ihren Messungen ebenfalls eine erhöhte Fixationsdauer und größere Sakkaden-Amplituden bei einer herabgesetzten Fixations-Anzahl während der Visual Imagery Phasen. Hieraus wurde gefolgert, daß die räumlichen und zeitlichen Charakteristiken der Scanpaths, die während des Visual Imagery produziert werden andere sein müssen, als die bei der Bildbetrachtung. Aus der niedrigeren Fixationszahl ergibt sich zwangsläufig eine längere Dauer der einzelnen Fixationen. Die „Miniaturisierung“ des zuvor gesehenen Bildes in Form der kleineren Sakkaden-Amplituden findet trotz der Aufforderung (anhand des Referenzrahmens), sich das Bild in Originalgröße anzusehen bei allen Probanden statt. Offenbar erfordert das mentale Modell des Gesehenen keine Sakkaden in Originalgröße, sondern besitzt seine eigene räumliche Dimension. Nach der Feature Ring Hypothese verbinden im mentalen Modell die motorischen Schritte die kardinalen „Subfeatures“ des visualisierten Objektes. Die räumliche Dimension spielt hierbei nicht dieselbe Rolle wie bei der Bildbetrachtung, bei der der visuelle Stimulus zur Erfassung aller entscheidenden Merkmale entsprechend große Sakkaden erfordert. Das Verhalten der Patienten mit Gesichtsfelddefekten ist hierbei aufgrund eines postulierten erhaltenen mentalen Modells identisch mit dem der Normalprobanden. Ähnliches gilt auch für die Fixationsdauer und Anzahl. Hier kommt die bereits für die Mikro-Sakkaden als bedeutsam erwähnte Hypothese von Ditchburn (1980) zum Tragen. Die längere Verweilzeit könnte das „Überladen des visuellen Informationsspeichers“ verhindern. Die Feature Ring Hypothese beinhaltet das Reproduzieren des Scanpaths aus dem Gedächtnis als seriellen Prozess mit korrekter Positionierung der interessanten „Subfeatures“ eines Bildes. Dieser Top-Down-Prozeß nimmt offensichtlich mehr Zeit und Kapazität in Anspruch als das einfache Abtasten eines Bildes. Der kognitive Prozeß während des Imagery beeinflusst offenbar die Fixationen in der genannten Weise und läßt sich für alle Probanden gut mit der von uns postulierten Top-Down Sehstrategie bzw. Ausführung eines mentalen Modells beim Visual Imagery vereinbaren.

4.1.4 Merkmale und Adaptationsgrad des Patientenkollektives

Bereits aus dem weitgehend den Normalprobanden angeglichenen Ausfall der basalen Leistungsmerkmale unseres sensorisch defizienten Patientenkollektives, welcher sich in der

Scanpath Similarity und Mikro-Sakkaden Analyse fortsetzt, lassen sich einige erste Schlüsse ziehen.

Die 14 untersuchten Patienten hatten, wie aus den Kasuistiken (Kliniktabelle) ersichtlich, durchaus heterogene Voraussetzungen. Sie unterschieden sich einerseits in Ätiologie sowie Ausmaß und Ausrichtung des Gesichtsfelddefektes, zum anderen durch die große Streuung des Zeitfaktors zwischen Eintritt der Gesichtsfeldstörung und Messung. Dementsprechend muß von unterschiedlichen Adaptationszeiten und -graden ausgegangen werden. Die am häufigsten geforderte Leistung im Alltag der Patienten stellt das Auffinden von Details bei der Betrachtung von realen Umweltszenen, z.B. Straßenverkehr oder beim Lesen etc. dar. Dementsprechend entsteht nach Eintritt der Gesichtsfeldstörung der weiter im Alltagsleben aktiven Patienten ein entsprechender Übungs- und Adaptationsdruck. Unsere insbesondere auf basalem Niveau sich ausgesprochen gut kompensiert zeigenden Patienten sehen wir unter diesem Aspekt als selektiert an, nur wenige der Patienten zeigten Charakteristiken der frühen und schweren sensorischen Defizienz. Zihl (1986) behauptet sogar, daß zur Verhinderung einer Maladaptation von Hemianopikern mit konsekutiv schweren Alltagseinschränkungen zusätzliche adaptive Augenbewegungs- und kopfmotorische Strategien entwickelt werden müssen. Verschiedene Autoren beschreiben, daß Patienten ohne spezifisches Training auch Monate und Jahre nach dem Gesichtsfeldausfall nicht in der Lage sind, großamplitudige Sakkaden in das blinde Gesichtsfeld zu machen (Zihl et al. 1988, Chedru 1973, Ishai 1987, Meienberg 1981). Zihl und von Cramon (1985 & 1986) zeigten durch perimetrische Sakkadentraining einen dauerhaften Rückgang der Größe des Gesichtsfeldausfalls, was in anderen Studien jedoch nicht reproduzierbar war (Campion et al 1983, Kerkhoff et al. 1992). Zangemeister und Poppensieker (1999) stellten schließlich fest, daß mittels kognitivem Training der Blickmotorik quasi sekundär auf die Blicksteuerung von Hemianopikern Einfluß genommen werden kann und insbesondere kognitive visuelle Aufgaben strategien-koordiniert besser gelöst werden.

Unser Kollektiv mag als Beleg dafür dienen, daß auch ohne spezifisches Training zumindest auf basalem Niveau eine gute Exploration des blinden Gesichtsfeldes durch kompensierende Augenbewegungen erreicht werden kann. Dabei ähnelten die basalen Leistungsmerkmale bis auf geringe Unterschiede denen der Normalprobanden. Raumgreifendes Sehen, Detailaufnahme und eine gleichmäßige bilaterale Verteilung der Blickpositionen zeigen einen insgesamt hohen Adaptationsgrad mit nur wenigen Ausnahmen bei den kurzadaptierten Patienten. Auch die Searchpaths wurden nur wenig schlechter als von den Normalprobanden gelöst, deutliche

Unterschiede fanden sich auf höherem kognitivem Niveau beim Erkennen des trivalenten Bildes. Hier erst zeigen sich die trotz Adaptation bestehenden Defizite des Kollektives. Das Erkennen komplexerer Bilder scheint einerseits auf sensorischer Ebene durch eine langsamere respektive mühsamere Orientierung und Integration der Einzelkomponenten des Bildes (welches sich in unseren basalen Leistungsmerkmalen nicht widerspiegelt) andererseits in einer konsekutiv eingeschränkten Modellbildung auf höherem kognitiven Niveau erschwert. Diese Erkenntnis ist sicherlich ein bedeutsames Argument für die angeführte Methode der kognitiven Rehabilitation von Hemianopsie-Patienten nach Zangemeister und Poppensieker (1999). Dies gilt sowohl für Hemianopiker die schlecht, als auch für solche die spontan oder durch konventionelle Rehabilitation auf basaler Ebene (wie bei uns) bereits gut adaptiert sind.

Auf der Ebene des „High-Level Vision“ belegt dieses Ergebnis die These der Relevanz kognitiv beeinflusster Kompensationsstrategien für Patienten mit Gesichtsfelddefekten.

4.2 Visual Imagery

4.2.1 Vergleich der Scanpath-Similarities beider Kollektive

Beim Imagery werden ähnliche Augenbewegungen durchgeführt wie bei der vorausgegangenen Bildbetrachtung. Wesentlich ähnlicher zueinander fallen allerdings die Augenbewegungen mehrfach aufeinander folgender Imageries aus, wobei die letzten beiden einander am ähnlichsten sind. Es findet eine schnelle "Konvergenz der Vorstellung" statt: während der Bildbetrachtung wird ein mentales Abbild erzeugt, das anschließend nur wenig verändert wird. Gemäß der Beschreibung des Zustandekommens von mentalen Abbildern wird also aus den zunächst im visuellen "Puffer" bei der Bildbetrachtung eingehenden und analysierten Bildern im nächsten Schritt von den "High-level" Arealen ein Prototyp des Gesehenen erstellt, welches während der nachfolgenden Imageries nach Einlesen zurück in den "Puffer" dann die entsprechenden Augenbewegungen generiert. Die beschriebene hohe Ähnlichkeit der resultierenden Scanpaths läßt uns somit auf die Konstanz des mentalen Abbildes, des Prototypen rückschließen.

Die bei den Hemianopikern gefundenen Similarities stimmen mit denen der Normalprobanden überein. Die geringere Signifikanz des Unterschiedes zwischen den Vergleichen von Bildbetrachtung-Imagery und Imagery-Imagery läßt sich durch die erhöhte Schwankungsbreite bei Messungen mit Patienten erklären. Obwohl die Patienten während

der Bildbetrachtung nur das halbe Gesichtsfeld zur Verfügung haben, unterscheiden sich ihre Augenbewegungen dort nicht stärker von den Bewegungen bei den Imageries als bei Personen mit intaktem Gesichtsfeld. Dieses Resultat läßt uns die Aussage ableiten, daß das von den Hemianopikern beim Imagery "betrachtete" mentale Abbild intakt ist, also keine Defekte wie auf perzeptueller Ebene im Sinne von "Gesichtsfeldstörungen" aufweist. Dies deutet auch in dem Hemianopiker-Kollektiv auf eine starke Top-Down Komponente bei der Bildbetrachtung hin: sehr früh entsteht ein mentales Modell des Betrachteten, das die Augenbewegungen wesentlich mitbestimmt.

4.2.2 Bewertung der Vergleichsverfahren

Die durch die unterschiedlichen Verfahren berechneten Similarities sind nicht direkt miteinander vergleichbar, vielmehr beschreiben sie unterschiedliche Aspekte. Während die Markov-Analyse nur die Übergänge zwischen zwei Zuständen berücksichtigt, kommt bei den String Editing Verfahren der sequentielle Charakter der Bildbetrachtungen und des Visual Imagery zur Geltung. Interessant am gewichteten Vector String Editing (wVSE) ist hinsichtlich der Analyse des Visual Imagery, daß die berechneten Similarities Translationen oder Skalierungsänderungen gegenüber weitgehend unbeeinflußt bleiben.

Die Similarities für Random-Strings hängen von der Anzahl der Fixationen bzw. Sakkaden und bei den Verfahren mit Regionalisierung zusätzlich von der Zahl der im Bild vorhandenen ROIs ab, was wir beim Vergleich unserer Messungen berücksichtigten.

Da sich die Ergebnisse für die komprimierten (cRSE, cMA) und die unkomprimierten (RSE, MA) Varianten kaum unterscheiden, kann der Anstieg der Similarities nicht durch einen Wegfall von Mehrfachfixationen beim Imagery erklärt werden. Hinweise auf den Unterschied zwischen Bildbetrachtung und Imagery liefert das einzige richtungssensitive Verfahren (wVSE). Die dort auftretenden negativen Similarities weisen auf stückweise entgegengesetzt verlaufende Scanpaths hin, vermutlich hervorgerufen durch häufige Regressionen bei der Bildbetrachtung. Wie die beiden Markov-Verfahren zeigen, sind die Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen zwei ROIs bei der Bildbetrachtung und bei den Imageries fast gleich. Die Unterschiede zwischen Bildbetrachtung und Imagery müssen sich also vor allen in Teilstrings mit einer Länge größer 2 manifestieren.

Im Hinblick auf die zum Vergleich der Scanpaths verwendeten Verfahren bestätigte sich das Ergebnis vorangegangener numerischer Simulationen (Oechsner & Zangemeister, 1994; Zangemeister & Oechsner, 1996), nach dem das Weighted Vector-String Editing zum Vergleich von Blickfolgen geeigneter war als das ungewichtete Vector-String Editing. Bedeutsam ist dabei allerdings auch, daß bei ausgedehnten ROI's die vektoriellen Verfahren nur geeignet sind, wenn die Start- und Endpunkte der Sakkaden nicht gleichförmig über die Fläche des ROI verteilt sind, sondern sich in kleineren Teilbereichen der ROI's häufen. Eine solche Verteilung mit Bildung von sog. „Clustern“ an den Stellen der jeweils interessanten Merkmale eines Bildes war auch für die meisten der von uns in beiden Kollektiven registrierten Scanpaths zu beobachten. Diese Sakkadenhäufung in kleineren Teilbereichen der ROI's weist darauf hin, daß die Sakkaden, wie von der Feature-Ring Hypothese (Noton und Stark, 1971) postuliert, tatsächlich Bestandteil der gespeicherten Objektrepräsentation sind. Die experimentelle Überprüfung des Vector-String Editing Verfahrens läßt deshalb einen Umkehrschluß auf die Gültigkeit der Feature-Ring Hypothese zu.

In unseren Messungen wurde deutlich, daß alle verwendeten Verfahren ihre Berechtigung haben. Ihre parallele Anwendung erscheint sinnvoll, da sie zum Teil komplementäre Informationen liefern.

4.2.3 Implikationen für das visuelle mentale Modell

Wie bereits in der Einleitung unter 1.5 ausgeführt, stellen sich hinsichtlich der funktionellen und morphologischen Aspekte des Sehens in der aktuellen Diskussion die zwei Hauptfragen ob einerseits visueller Wahrnehmung und Visual Imagery ähnliche Mechanismen zugrunde liegen und ob andererseits Augenbewegungen im Sinne der Feature Ring Hypothese bei der Objektrepräsentation im visuellen Kortex eine entscheidende Rolle spielen.

Gestützt durch verschiedenste Studien konnten vor allem Kosslyn et al. (1994) und Farah et al. (1994) ein Modell entwerfen, welches der auch morphologischen Grundgemeinsamkeiten dieser Prozesse Rechnung trägt. Der beschriebene visuelle „Puffer“ für eingehende (Perzeption) und ausgehende (Imagery) Informationen liegt hiernach im medialen occipitalen Kortex, dem Striatum. Abgesehen von den genannten PET-Studien an Normalprobanden (z.B. Roland & Guylas, 1995) besteht eine weitere Möglichkeit der experimentellen Suche nach Erkenntnissen über relevante involvierte Areale darin, entsprechend unserer Untersuchungen Patienten zu messen bei denen aufgrund einer unilateralen occipitalen Läsion die o.g. Struktur defizient ist. Bei unseren Patienten handelte es sich größtenteils um kortikale Läsionen, deren Ausmaß

computertomographisch zumindest begrenzt beurteilbar ist (s. Abb. 32 & 33, Anhang 7.2). Wir konnten anhand unserer Messungen zeigen, daß das mentale Modell des Betrachteten bei den Hemianopikern ähnlich wie bei unseren Normalprobanden konsistent reproduzierbar ist und schließen daraus auf trotz occipitaler Läsion erhaltener Fähigkeit zur Modellbildung. Worüber wir dagegen keine Aussage erhalten, ist die Komplexität und Detailtreue dieses Modells. Wie bereits bei der Analyse der kognitiven Parameter dargelegt, muß von einer Beeinträchtigung in der Perzeption bei komplexen visuellen Stimuli bei Hemianopikern ausgegangen werden, die folglich Einschränkungen in der Beschaffenheit des mentalen Prototypen der betrachteten Szene nach sich zieht. Da bei den meisten Patienten das kontralateral der Gesichtsfeldstörung gelegene Striatum ausgefallen ist, wäre denkbar, daß durch Assoziationsfasern über den Corpus callosum die extrastriär generierte visuelle Information in das noch intakte Striatum der Gegenseite eingelesen wird. Eine Funktionsübernahme temporo-parietal erhaltener Strukturen auf der geschädigten Seite wäre nach dieser Vorstellung nicht plausibel, da es sich dabei um komplexere und nicht retinotop gegliederte Strukturen handelt, die folglich nicht als „Puffer“ dienen könnten.

Die Literatur zeigt kontroverse Studienergebnisse zu der Frage des Visual Imagery bei Patienten mit sensorischen Defekten. So existieren Fallberichte über den Verlust von Visual Imagery im Bezug auf Objekte, Gesichter und räumlichen Sehen nach extensiven, bilateralen occipitalen Verletzungen, während andere dieses nicht feststellen konnten (Goldenberg, 1993). Butter et al. (1997) untersuchten anhand einer auf niedrigem kognitiven Niveau angesiedelten Pfeilrichtungs-Aufgabe Hemianopiker auf die Frage hin, ob diese auf ihrer Gesichtsfelddefekten Seite eine Einschränkung des Visual Imagery für visuelle Stimuli aufweisen. Dabei sollte durch die Versuchsanordnung ausgeschlossen werden, daß eine solche Einschränkung durch andere, nicht-Imagery gebundene Defizite bedingt sein könnte. Es zeigte sich in dieser Studie (in der jedoch wie bei uns genauere, über eine Computertomographie hinausgehende topographische Informationen nicht verfügbar waren), daß die Hemianopsie-Patienten signifikant mehr Fehler in den gestellten Imagery-Aufgaben (Pfeilrichtungserkennung) machten, in denen sie Aussagen über die im geschädigten Gesichtsfeld präsentierten Stimuli machen mußten. Die daraus abgeleitete Hypothese, daß das Visual Imagery bei diesen Patienten geschädigt ist, ist nur scheinbar inkompatibel mit unseren Ergebnissen. Abgesehen von den verschiedenen Versuchsanordnungen und der Einbeziehung von Augenbewegungen als wesentliches Zielkriterium wurde in unserer Untersuchung lediglich die Existenz und Konsistenz des mentalen Modells bei Hemianopikern im Sinne eines Top-Down-Prozesses nachgewiesen.

Somit ist eine Schädigung dieser Funktion, wie Butter et al. es im Bezug auf eine bestimmte Aufgabe fanden durchaus möglich. Unsere Studie betont demgegenüber die Präsenz und die Reproduzierbarkeit von Visual Imagery mittels abgeleiteter Scanpaths bei diesen Patienten im Vergleich mit unseren Normalprobanden. Die Auswertung der basalen Parameter zeigte uns jedoch (wie bereits ausgeführt), daß auf komplexerem Niveau, z.B. dem trivalenten Bild, Probleme in der Modellbildung bereits bei der Bildbetrachtung auftreten und man so auch eine Einschränkung des mentalen Modells (welches aber konsistent ist) annehmen kann. Die von uns formulierte Hypothese der „Konvergenz der Vorstellung“ in unseren beiden Kollektiven steht im Einklang mit der These der Involvierung identischer Strukturen für die Prozesse des Wahrnehmens und Erinnerns.

Unter dem Paradigma der Feature Ring Hypothese nach Noton & Stark (1971) sehen wir die von uns abgeleiteten Augenbewegungen als wesentlichen Teil der Repräsentation von Objekten im visuellen Kortex. Es zeigte sich anhand unserer Ergebnisse, daß bei beiden Kollektiven ungeachtet von Einschränkungen bei der Exploration gleiche Mechanismen zugrunde liegen. Beginnend mit einer tendenziell mehr Bottom-Up betonten Sehstrategie bei Ansicht eines unbekanntes Bildes, folgten nach der Modellbildung ähnlich ausgeführte, Top-Down gesteuerte Scanpaths in den Imagery-Durchläufen. Die Ähnlichkeiten der Bildbetrachtung-Imagery Scanpaths zeigen, daß der Inhalt der gesehenen Szene in den Sakkaden-Fixationen-Sequenzen gespeichert ist.

Brandt und Stark (1997) beobachteten in ihrer Ableitung von Augenbewegungen bei Normalprobanden während Visual Imagery eines abstrakten visuellen Stimulus zunächst die Existenz von Scanpaths ohne spezifische Aufforderung. Auch sie konnten anhand von String Editing Methoden nachweisen, daß während Visual Imagery ähnliche Augenbewegungen gemacht werden, wie bei der vorherigen Bildbetrachtung. In Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen wurde von einem Top-Down Prozess beim Visual Imagery ausgegangen unter dem Verweis, daß bei Imagery der periphere „Input“ zum Ausführen eines Scanpaths fehlt und somit nur das mentale Modell hierzu maßgeblich ist. Wie bereits erwähnt fand sich ebenfalls eine Übereinstimmung der „basalen“ Charakteristiken des Imagery-Scanpaths, die wir als „Miniaturisierung“ beschrieben.

4.3 Mikro-Sakkaden

Im Gegensatz zu den vorangehenden Untersuchungen (Steinman et al, 1967, 1973) untersuchten wir die Mikro-Sakkaden nicht unter der Vorgabe von dauerhaft gehaltenen Fixationen auf einen bestimmten uniformen Stimulus mit der Maßgabe der Blickstabilisierung. Unter der Vorstellung, daß diese Sakkaden eine möglicherweise weitergehende Funktion haben, untersuchten wir die Fixationen innerhalb der Gesamt-Scanpaths aus den Bildbetrachtungen aller Probanden zunächst auf basaler Ebene auf die Verteilung der Blickpositionen. Wir waren in der Lage, die während der Fixationen auftretenden Mikro-Sakkaden aufgrund der genannten unterschiedlichen Profile (Amplitude, Dauer) in einem ersten Schritt zu isolieren und von Drifts und Tremor zu trennen. In einem zweiten Schritt gelang es uns, die Mikro-Sakkaden als schematisierte Mikro-Scanpaths aufzutragen und auf einer kognitiv höheren Ebene mit der Frage nach Korrelationen zu den Makro-Scanpaths eine vorläufige Region String Editing Analyse an einzelnen Probanden durchzuführen (s. Anhang 7.6). Die bei der Auswertung durchgeführte Trennung nach horizontaler Gesichtsfeldstörung erfolgte auf dem Hintergrund der Frage, ob generelle Charakteristiken dieser gesammelten Mikro-Sakkaden in Beziehung zur Hemianopsie zu setzen sind. So wäre denkbar, daß sich der unilaterale „makroskopische“ Gesichtsfelddefekt auch auf „mikroskopischer“ Ebene widerspiegelt. Aufgrund des guten basalen Adaptationszustandes unserer Patienten war allerdings für die bilaterale Aufteilung der Blickpositionen eine gleichmäßige Verteilung wie bei unseren Makro-Scanpaths wahrscheinlicher, was sich schließlich in unserer Auswertung auch bestätigte. Ferner zeigte sich für die Normalprobanden entgegen der makroskopisch gefundenen (und u.a. auf die links-hemisphärielle Dominanz bei Rechtshändern zurückgeführte) eine ähnlich ausgeglichene bilaterale Verteilung der Blickpositionen. Diese Befunde werteten wir eher als Gegenargumente eines Probandengruppen-assozierten Blickverhaltens auf diesem Niveau. Die auch über einzelne Probanden nicht stark variierende Verteilungsweise stützt die von Steinman et al. (1973) favorisierte Sichtweise einer ausschließlichen Bottom-Up Steuerung dieser kleinsten willkürlichen Sakkaden, die sich demzufolge bilateral homogen zur Peripherie hin abnehmend um den Mittelpunkt der Fixation gruppieren. Die nach dieser Theorie bestehende Tendenz, durch die Mikro-Sakkaden immer wieder diesen Punkt aufzusuchen um das retinale Bild stabil zu halten ist mit unseren Ergebnissen gut vereinbar. Auch die These von Ditchburn (1980), daß die Sakkaden einer Überladung des visuellen Informationsspeichers entgegenwirken könnten, würde diesen nur ein „Low-Level“-

Aktivierungsmuster zuschreiben und erscheint angesichts unserer Daten plausibel. Dennoch sind sicherlich weitere Untersuchungen (Korrelationen zu Bildanteil/Umgebung, expliziter Aufforderung an die Probanden) nötig, um diesen Sachverhalt erschöpfend zu klären.

Ein gewichtiges Argument für eine mögliche „High-Level Vision“-Komponente ist die Übereinstimmung des Amplituden-Sakkadenspitzenengeschwindigkeits-Profiles zwischen den Mikro- und den Makro-Sakkaden, wie schon bei Zuber et al. (1965) gezeigt und in unseren Untersuchungen sowohl für Normalprobanden als auch für Hemianopiker in der Main Sequence bestätigt. Aufgrund der essentiellen Funktion von Makro-Sakkaden für die Feature Ring Hypothese liegt deshalb die Vermutung nach einer solchen auch für die Mikro-Sakkaden nahe, die unter dieser Betrachtungsweise innerhalb einer Top-Down Blicksteuerung zu bewerten wären.

Eines der wesentlichen Ergebnisse besteht allerdings darin, daß die Gesichtsfelddefekte keinen Einfluß auf die Ausführung dieser Mikro-Sakkaden haben, wie zuvor von uns vermutet. Dabei mag auch bedeutsam sein, daß alle unsere Probanden ein „Foveal sparing“ hatten, also in den Fixationsarealen selbst nicht eingeschränkt waren. Trotzdem extrafoveal auf der geschädigten Seite nur begrenzter oder gar kein sensorischer „Input“ vorhanden war, verhielten sich die Hemianopiker in der Verteilung der Blickpositionen während der Fixation wie die Normalprobanden.

4.4 Konklusion & Ausblick

In der Zusammenschau der Untersuchungen zu basalen Parametern, Visual Imagery und Mikro-Sakkaden bei Hemianopikern im Gegensatz zu Normalprobanden zeigten sich erstaunlich wenige Differenzen zwischen unseren Kollektiven. Die in früheren Studien (Zangemeister et al., 1995) nachgewiesenen defizitären Blicksteuerungs-Strategien mit Vernachlässigung des blinden Gesichtsfeldes auf basaler Ebene, erratischen Suchsakkaden und Vorwiegen von Bottom-Up Mechanismen bei der Bildbetrachtung waren bei unseren Patienten kaum zu beobachten und schlugen sich in den Analysen als analoge Ergebnisse zu den Normalprobanden-Parametern nieder. Wir führten dies auf die durchschnittlich relativ lange Adaptationszeit der Patienten in unserem selektierten, aktiven Kollektiv zurück. Unterschiede in der Lösung der kognitiv anspruchsvolleren Aufgaben sahen wir als Nachweis einer Einschränkung auf höherer kognitiver Ebene. Unter Einbeziehung der hochsignifikanten Ergebnisse für die basalen Imagery-Scanpath-Parameter und deren

definierte Ähnlichkeit mit den Bildbetrachtungen konnte der Nachweis der Fähigkeit unserer Hemianopiker zur mentalen Modellbildung postuliert werden. Maßgebliche Erkenntnis für alle Probanden war der Nachweis einer „Konvergenz“ der visuellen Vorstellung unter Stützung der Feature Ring Hypothese und des Postulats eines gemeinsamen morphologischen Korrelats sowie einer funktionellen Übereinstimmung der Funktionen visuelle Perzeption und Visual Imagery. Auch wenn die Beschaffenheit der mentalen Abbilder abhängig von Schwere der Läsion, Adaptationsgrad und damit verbundener eingeschränkter Bildbetrachtung bei Gesichtsfeldstörungen eine andere zu sein scheint als die von Normalprobanden, so zeigt unsere Studie, daß der Mechanismus der Top-Down Steuerung ungeachtet dessen bei beiden Kollektiven vorliegt und mittels der Augenbewegungen auch nachzuweisen ist.

Mikro-Sakkaden scheinen nach unseren Pilot-Untersuchungen bei Überwiegen einer Bottom-Up-Komponente nicht durch sensorische Einbußen beeinflusst zu werden, es fanden keine bilateralen Inkongruenzen bei der Auftragung der Blickpositionen um die Fixationsmitte. In unserem Kollektiv konnten wir zum einen den hohen Spontan-Adaptationszustand auf niedrigem und mittlerem kognitiven Niveau nachweisen, und sehen deshalb die vielversprechendsten Rehabilitations- und Trainingsmöglichkeiten dieser Patienten auf einem höheren kognitiven Niveau mit Training der Top-Down Blicksteuerungs-Strategien unter Einbeziehung und Optimierung des in dieser Arbeit nachgewiesenen mentalen Modells.

Weitere Studien sind sicherlich notwendig, um einige Ergebnisse und Konklusionen unserer Messungen an Folgekollektiven zu erhärten. So erfordert die im Normalkollektiv gefundene Seitenpräferenz bei bisher nur sehr dürftiger Literatur zu diesem Phänomen eine Kontrolle mit Probanden anderen Leseverhaltens bzw. Händigkeit. Zur erweiterten Analyse der Mikro-Sakkaden und des Visual Imagery scheinen Untersuchungen über die ganz frühen, nicht-adaptierten Phasen der Gesichtsfeldstörung unter den genannten Aspekten sinnvoll. Zum Parsing sowie Micro-Scanpath siehe Anhang 7.5 und 7.6.

5. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird eine experimentelle Untersuchung zu verschiedenen Aspekten der Blicksteuerung im Vergleich zwischen Normalprobanden und Hemianopsie-Patienten dargelegt. Als visuelle Stimuli dienten uns vom Komplexitätsgrad her abgestufte Bilder, die wir den Probanden auf einem Monitor darboten. Wir führten zunächst infrarot-okulographische Ableitungen der Bildbetrachtungsphasen durch. Nachfolgend registrierten wir die Augenbewegungsfolgen (als sog. Scanpaths von uns über die Stimuli projiziert) in 3 definierten Visual Imagery Phasen bei fehlendem Stimulus. Hinsichtlich der basalen Sakkaden/Fixationen-Parameter zeigten sich für die Hemianopiker im wesentlichen den Normalprobanden angegliche Ergebnisse. Die erweiterte Auswertung der Blickfolgen mittels verschiedener implementierter Ähnlichkeitsmaße zeigte für beide Kollektive signifikant höhere Ähnlichkeiten der Scanpaths von Bildbetrachtung und nachfolgenden Imageries der jeweiligen Bilder im Vergleich zu den für Zufallsfolgen ermittelten. Zudem zeigte sich, daß die größten Ähnlichkeiten innerhalb der Imagery-Blickfolgen untereinander bestanden. Diese Ergebnisse weisen auf eine „Konvergenz der Vorstellung“ bei den Probanden hin. Es entsteht frühzeitig nach der Bildbetrachtung ein mentales Modell des Betrachteten, welches in der Folge die Augenbewegungen wesentlich mitbestimmt und auf eine ausgeprägte Top-Down-Komponente des Sehens hinweist. Die Analyse der horizontalen Verteilung der kleinsten Sakkaden, sog. Mikro-Sakkaden, innerhalb der Fixationen in den Bildbetrachtungen ergab ebenfalls angegliche Resultate in den einzelnen Kollektiven ohne mit den sensorischen Defiziten korrelierbaren Unterschieden. Die weitgehend den Normalprobanden angeglichenen Ergebnisse wiesen auf eine erhaltene Fähigkeit zur Bildung mentaler Modelle im Sinne des Visual Imagery sowie eines insgesamt hohen Adaptationsgrades unseres Hemianopiker-Kollektives hin.

6. Literaturverzeichnis

- Bahill, A.T., Clark, M.R., Stark, L. (1975). The Main Sequence: A tool for studying human eye movements. *Math. Biosci.*, 24: 191-204.
- Brandt, S., Ploner, C., Meyer, B.-U., Leistner, S., Villringer, A. (1998). Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation over dorsolateral prefrontal and posterior parietal cortex on memory-guided saccades., *Exp Brain Res* 118: 197-204
- Brandt, S. & Stark, L. W. (1997). Spontaneous Eye Movements During Visual Imagery Reflect the Content of the Visual Scene, *Journal of Cognitive Neuroscience*, Volume 9, 1, p. 27-38
- Brandt, T. (1983). *Augenbewegungsstörungen*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart New York.
- Breitmeyer, B.G. (1992). Parallel processing in human vision: History, review and critique. In J.R. Brannan (Ed.). *Applications of parallel processing in vision*. Amsterdam, Elsevier: 37-78
- Butter, C.M., Kosslyn, S., Mijovic-Prelec, D., Riffle, A. (1997). Field-specific deficits in visual imagery following hemianopia due to unilateral occipital infarcts, *Brain*, 120, p. 217-228
- Campion, J., Latto, R., Smith, Y.M. (1983). Is blindsight an effect of scattered light, spared cortex, and near threshold vision ? *Behavioral Brain Science* 6: 423-486
- Carpenter, R.H.S (1988). *Movement of the eyes*. 2nd edition. London 1988.
- Choi, Y. S., Mosley, A. D. & Stark, L. W. (1995). String editing analysis of human visual search. *Optom. Vis. Sci.*, 72, 439-451.
- Ditchburn, R.W. (1980). The function of small saccades. *Vision Research*. Vol. 20: 271-272.
- Dynkin, E. B. & Juschkevitch, A. A. (1969). *Sätze und Aufgaben über Markoffsche Prozesse*. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Farah, M. & Ratcliff, G. (1994) *The Neuropsychology of High-Level Vision*, Collected Tutorial Essays.
- Gassel, M.M., Williams, D. (1963). Visual function in patients with homonymous hemianopia. Part 2. Oculomotor mechanisms. *Brain*, 86: 1-36

- Goldenberg, G., Poderka, I., Steiner, M., Suess, E., Deecke, L. (1989). Regional cerebral blood flow patterns in visual imagery. *Neuropsychologia* 1989b; 27: 641-664
- Goldenberg, G. (1993). The neural basis of mental imagery. Review. *Baillieres Clin Neurol* 1993; 2: 265-286.
- Hacisalihzade, S. S., Stark, L. W. & Allen, J. S. (1992). Visual perception and sequences of eye movement fixations: A stochastic modeling approach. *IEEE Trans. Systems, Man, Cyb.*, 22, 474-481.
- Haddad, G.M., Steinman, R.M. (1973). The smallest voluntary saccade: Implications for fixation. *Vision Res.*, Vol. 13: 1075-1086.
- Hebb, D.O. (1968). Concerning Imagery. *Psychological Review*. Vol. 75, No. 6: 466-477
- Hier, D.B., Mondlock, J., Caplan, L.R. (1983). Recovery of behavioural abnormalities after right hemisphere stroke. *Neurology* 33: 345-350.
- Hubel, D.H., Wiesel, T.N. (1979). Brain mechanisms of vision. *Sci Am.*, 241 (33): 152-162
- Husain, Kennard, C. (1995). Visual Attention and Cognition in Neglect. In W.H. Zangemeister et al. *Vis. Attention & Cognition* Elsevier 1996.
- Ishai, A., Sagi, D. (1997). Visual Imagery: Effects of Short- and Long-Term Memory. *J Cogn Neurosci* 9;6: 734-742
- Jacobson, E. (1932). Electrophysiology of mental activities. *American Journal of Psychology*, 44: 677-694.
- Kaas, J.H., Guillery, R.W., Allman, J.M. (1972). Some principles of organization in the dorsal lateral geniculate nucleus. *Brain Behav Evol*, 6: 253-299.
- Kemeny, J. G. & Snell, J. L. (1983). *Finite Markov Chains*. Springer, New York.
- Kennard, C. (1989). Hierarchies and the Visual System. In: *Hierarchies in Neurology. A Reappraisal of a Jacksonian Concept*. Springer Verlag. Berlin Heidelberg 1989.
- Kerkhoff, G., Münßinger, U., Haaf, E., Eberle-Strauss, G. & Stögerer, E. (1992) Rehabilitation of homonymous scotomata in patients with postgeniculate damage of the visual system: saccadic compensation training. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 4, pp. 245-254.
- Kosslyn, S.M., Alpert, L.M., Thopson, W.L., Maljkovic, V., Weise, S.B., Chabris, C.F. et al. (1993). Visual mental imagery activates topographically organized visual cortex: PET investigations. *J Cogn Neurosci*, 5: 263-287
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and Brain*. MIT Press, Cambridge, Mass.

- Kosslyn, S. M., Shin, L. M. (1994). Visual Mental Images in the Brain: Current Issues. The Neuropsychology of High-Level Vision, Collected Tutorial Essays edited by M. Farah & G. Ratcliff, p. 269-296
- Kruskal, W. H. & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. J. Amer. Statst. Assoc., 47, 583-621.
- LeBihan, D., Turner, R., Zeffiro TA., Cunod CA., Jezzard, P., Bonnerot, V. (1993). In LeBihan, D., Turner, R., Mosley, M., Hyde, J., editors. Functional MRI of the brain: a workshop presented by the Society of Magnetic Resonance in Medicine and the Society for Magnetic Resonance Imaging. Society of Magnetic Resonance in Medicine, 1993: 183-190.
- Lorens, S.A., Darrow, C.W. (1962). Eye movements, EEG, GSR and EKG during mental multiplication. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 14: 739-746.
- Meienberg, O., Zangemeister, W. H., Rosenberg, M., Hoyt, W. F. & Stark, L. W. (1981). Saccadic eye movement strategies in patients with homonymous hemianopia. Ann. Neurol., 9, 537 - 544.
- Meienberg, O. (1983). Clinical examination of saccadic eye movements in hemianopia. Neurology 33: 1311-1315
- Meienberg, O. (1988). Sakkadische Augenbewegungen in der neurologischen und ophthalmologischen Diagnostik. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Messing, B, Gänshirt, H. (1986). Spontanverlauf vaskulärer, retrogenikulärer Gesichtsfeldstörungen. Verh dt. Gesell Neurol 1986: 228-236
- Mesulam, M.M. (1990). Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language and memory. Ann. Neurol. 28: 597-613.
- Morgan, H. L. (1970). Spelling correction in system programs. Comm. ACM, 13, 90-94.
- Neisser, U. (1967). Cognitive psychology. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Noton, D. & Stark, L.W. (1971). Eye movements and visual perception. Scientific American, Vol. 224: 34-43.
- Noton, D. & Stark, L. W. (1971). Scanpaths in eye movements during pattern perception. Science, 171, 308-311.
- Oechsner, U. & Zangemeister, W. H. (1994). Verification of short- and long-term adaptation of eye movements in patients with visual hemifield defects. Ocular Motor Symposium, San Francisco, October 9, 1994.

- Pommerenke, K., Markowitsch, H.J. (1989): Rehabilitation training of homonymous visual field defects in patients with postgeniculate damage of the visual system. *Restor. Neurol. Neurosci.* 1: 47-63
- Poppelreuter, W. (1917): Die psychischen Schädigungen durch Kopfschuß im Kriege Vol. 1: Die Störungen der niederen und höheren Sehleistungen durch Verletzungen des Okzipitalhirns. Voss. Leipzig, 1917
- Rabiner, L. R. (1986). A tutorial on hidden markov models and selected applications in speech recognition.. Vol. 77 of *Proc. IEEE*, pp. 257-286.
- Rattle, J.D., Foley-Fisher, J.A. (1968). A relationship between vernier acuity and intersaccadic interval. *Optica Acta* 15: 617-620.
- Riddoch, G. (1917). Dissociation in visual perception due to occipital injuries, with special reference to appreciation of movement. *Brain*, 40: 15-57.
- Roland, P.E., Gulyas, B. (1994). Visual representations of scenes and objects: retinotopical or non-retinotopical ? *Trends Neurosci*, 17: 294-297.
- Roland, P. E. & Gulyas, B. (1994). Visual imagery and visual representation. *Trends Neuroscience*, 17(7), 281-287.
- Rossi, P.W., Kheyfets, S, Reding, M.J. (1990). Fresnel prisms improve visual perception in stroke patients with homonymous hemianopia or unilateral visual neglect. *Neurology* 40: 1597-1599.
- Sankoff, D. & Kruskal, J. B. (1983). *Time Warps, String Edits, and Macromolecules: The Theory and Practice of Sequence Comparison*. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Schoepf, D. & Zangemeister, W. H. (1992). Eye and head reading path in hemianopic patients. In Wright, S. F. & Groner, R. (Eds.), *Facets of Dyslexia and its Remediation*, *Stud. Vis. Inform. Proc.*, pp. 267- 291 Amsterdam - New York.
- Schoepf, D. & Zangemeister, W. H. (1993). Correlation of coordinated gaze strategies to the status of adaptation in patients with hemianopic visual field defects. *Ann. NY Acad. Sci.*, 682, 404-409.
- Stark, L. W. & Choi, Y. S. (1996). Experimental metaphysics: The scanpath as an epistemological mechanism. In Zangemeister, W. H., Stiehl, H. S. & Freksa, C. (Eds.), *Visual Attention and Cognition*, pp. 3-69. Elsevier Publishers, Amsterdam.
- Stark, L. W. & Ellis, S. (1981). Scanpaths revisited: Cognitive models in active looking. In Fisher, B., Monty, C. & Sanders, M. (Eds.), *Eye Movements, Cognition and Visual Perception*, pp. 193-226. Erlbaum Press, New Jersey.

- Steinman, R.M., Cunitz, R.J., Timberlake, G.T. (1967). Voluntary Control of Microsaccades during Maintained Monocular Fixation. *Science*, Vol. 155: 1577-1579.
- Steinman, R.M., Haddad, G.M., Skavenski, A.A., Wyman, D. (1973). Miniature Eye Movement. *Science*, Vol. 181: 810-818.
- Stone, J., Dreher, B., Leventhal, A. (1979). Hierarchical and parallel mechanisms in the organization of visual cortex. *Brain Res Rev*, 1: 345-394.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature integration theory of attention, *Cognitive Psychology*, 12, p. 97
- Ullmann, S. (1985). *Visual Cognition, Visual Routines*. Cambridge, MA, MIT Press.
- Wagner, R. A. & Fischer, M. J. (1974). The string-to-string correction problem. *J. ACM*, 21, 168-173.
- Weißkrantz, L. (1974). The interaction between occipital and temporal cortex in vision: An overview. In F.O. Schmitt & F.G. Worden (Eds.). *The neurosciences. Third study program*, MIT press: 189-204.
- Weißkrantz, L. (1982). A follow up study of blindsight. Fifth INS European Conference, Deauville, France, June 16-18.
- Wilson, B., Cockburn, J. & Halligan, P. W. (1987). *Behavioural Inattention test*. Thames Valley Test Company, Titchfield, Hants.
- Zangemeister, W.H., Meienberg, O., Stark, L., Hoydt, W.F. (1982): Eye-Head Coordination in Homonymous Hemianopia. *J.Neurol.* 225: 243-254.
- Zangemeister, W.H., Dannheim, F., Kunze, K. (1986). Adaption of gaze to eccentric fixation in homonymous hemianopia. In E.L. Keller and D.S. Zee (Eds.): *Adaptive processes in visual and oculomotor systems*. Pergamon Press.
- Zangemeister, W.H., Canavan, A.G.M., Hoemberg, V., (1995). Frontal and parietal transcranial magnetic stimulation (TMS) disturbs programming of saccadic eye movements. *J Neurol Sci* 133: 42-52.
- Zangemeister, W. H., Oechsner, U. & Freksa, C. (1995). Short-term adaptation of eye movements in patients with visual hemifield defects indicates high level control of human scanpath. *Optom. Vis. Sci.*, 72, 467-477.
- Zangemeister, W. H., Egner, S. & Oechsner, U. (1996). Visual search in hemineglect compared with hemianopic defect.. *NCM-Neural control of movement*, pp. BII-7 (4).
- Zangemeister, W. H. & Oechsner, U. (1996). Evidence for scanpaths in hemianopic patients shown through string editing methods. In Zangemeister, W. H., Stiehl, H. S. & Freksa, C. (Eds.), *Visual Attention and Cognition*, pp. 197-221. Elsevier Publishers, Amsterdam.

- Zangemeister, W.H., Poppensieker, K., Hoekendorf, H. (1999). Kognitive Gesichtsfeldrehabilitation mittels Strategien-koordinierter Blickmotorik. Shaker Verlag. Aachen 1999.
- Zeki, S. (1976). The functional organization of projections from striate to prestriate visual cortex in the rhesus monkey. *Cold Spring Harbor Symp Quant Biol*, 40:591-600
- Zeki, S. (1978). Uniformity and diversity of structure and function in rhesus monkey prestriate cortex. *J Physiol (Lond)*, 277: 273-290.
- Zeki, S. (1983). The distribution of wavelength and orientation selective cells in different areas of monkey visual cortex. *Proc R Soc Lond (Biol)*, 217: 449-470
- Zeki, S. (1993). *A vision of the brain..* Blackwell Scientific Publications. Oxford 1993. S. 22-32
- Zihl, J. & v. Cramon, D. (1979). Restitution of visual functions in patients with cerebral blindness. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 42: 312-322.
- Zihl, J. (1981): Recovery of visual functions in patients with cerebral blindness: Effect of specific practice with saccadic localization. *Experimental Brain Research*, 44: 159-169
- Zihl, J., Krischer, C., Meißer, R. (1984). Die hemianopische Lesestörung und ihre Behandlung. *Nervenarzt* 55: 317-323.
- Zihl, J. & v. Cramon, D. (1985). Visual field recovery from scotoma in patients with postgeniculate damage. *Brain* 108: 439-469.
- Zihl, J. & v. Cramon, D. (1988). *Neuropsychologische Rehabilitation*, 105-131.
- Zuber, B.L., Stark, L. (1965). Microsaccades and the Velocity-Amplitude Relationship for Saccadic Eye Movements. *Science*, Vol. 150: 1459-1460

7. Anhang

7.1 Patiententabelle/Kasuistiken - Tabelle 2

7.2 Ausgewählte apparative Befunde

7.2.1 Computertomographie, Einzelbeispiel 1 - Abbildung 32

7.2.2 Computertomographie, Einzelbeispiel 2 - Abbildung 33

7.2.3 Perimetrie, Einzelbeispiel 1 - Abbildung 34

7.2.4 Perimetrie, Einzelbeispiel 2 - Abbildung 35

7.3 ROI-Einteilung der Bilder - Abbildung 36-38

7.4 Ausgewählte veranschaulichende Messungen

7.4.1 Prädiktive Sakkaden - Abbildung 39

7.4.2 Scanpaths Bildbetrachtung/Imagery - Abbildung 40-43

7.4.3 Mikro-Sakkaden-Darstellung - Abbildung 44

7.5 Parsing

7.6 Mikro-Scanpath

Pat.-Nr.	Init.	Alter	Perimetrie	Defekt-Klass.	Ätiologie/Pathologie	tAdapt	Kogn. Defizit
1	J-T	24	HH re	HH re	TGA-Vitium, 3/95 HA re unklarer Genese	2 Monate	Ø Neglect
2	M-L	20	HH re inkomplett	HH re	SHT 10/92, HA unklarer Genese	2 Monate	Ø Neglect
3	R-S	67	QHH li unten	HH li	KHK, HA li nach PTCA LAD 6/95	ca. 5 Tage	Ø Neglect
4	A-E	75	QHH li oben	HH li	SAE, Vertigo und HA li 7/95	2 Monate	Ø Neglect
5	J-O	49	HH re	HH re	SHT '79, seitdem HA re	16 Jahre	Ø Neglect
6	E-R	41	HA li monokular li	HH li	SHT 7/95, seitdem HA li monokular li	4 Monate	Ø Neglect
7	A-B	58	QHH re oben	HH re	ACP-Infarkt li 3/96 bei TAA/VSD, seitdem HA re	2 Monate	Ø Neglect, mnest. Defizit
8	A-R	69	HH re	HH re	li parieto-occipit. Blutung 11/93, SAE, seitdem HA re	3 Jahre	Ø Neglect, Dyspraxie, Dysphasie
9	M-S	38	HH li inkomplett	HH li	Z.n. Meningeom-Extirpation re 4/95, seitdem HA li	1 Jahr	Ø Neglect
10	D-A	37	HA bitemporal	bitemp. HA	SHT '92, M. Meniere, seitdem bitemporale HA	4 Jahre	Ø Neglect
11	K-T	29	HH re	HH re	Z.n. Meningeom-Extirpation li, 9/95, seitdem HA re	1 Jahr	Ø Neglect
12	H-W	57	HH re	HH re	Z.n. ACP-Infarkt bds. 5/95, seitdem HA re, M. Parkinson	17 Monate	Ø Neglect
13	M-K	58	HH li	HH li	Z.n. ACP-Infarkt re '92, seitdem HA li	4 Jahre	Ø Neglect
14	H-M	77	HH li	HH li	Z.n. ACP-Infarkt re 1/98, seitdem HA li, Colon-Ca '96, DM II	8 Tage	Ø Neglect

Tabelle 2: Kliniktafel: Aufgetragen findet sich hier das gemessene Patientenkollektiv der Hemianopiker. Zu entnehmen ist dieser kurzen Zusammenstellung die Seite und Form der klinisch faßbaren horizontalen Gesichtsfeldstörung (Defekt.-Klass.), ihr Korrelat in der perimetrischen Messung (Perimetrie), eine kurze auf Ätiologie und aktuelles Syndrom fokussierte Anamnese, Adaptationszeit (tAdapt) sowie eventuelle andere relevante kognitive Defizite. HH/HA=Hemianopsie, QHH= Quadranten-Hemianopsie.

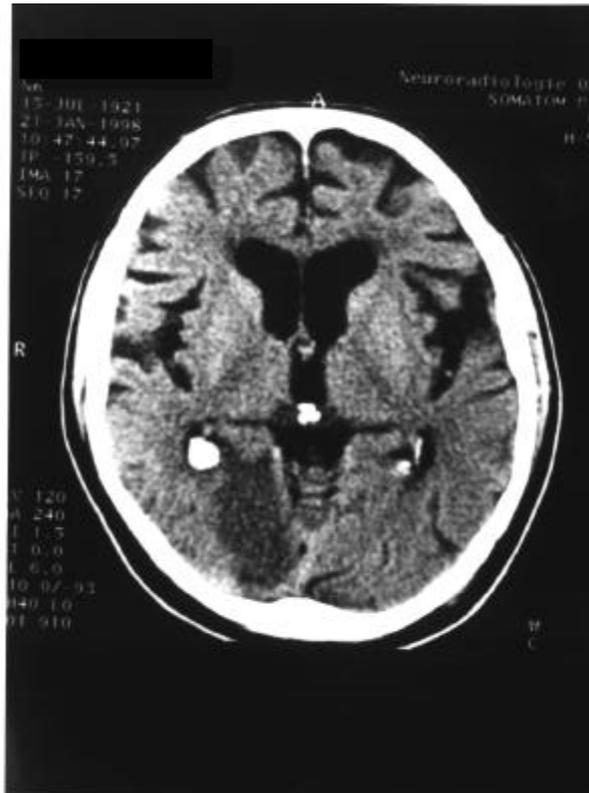


Abbildung 32: Einzelbeispiel CT: Computertomographie des Patienten HM. Sich deutlich hypodens demarkierender frischer Territorialinfarkt im Stromgebiet A. cerebri posterior rechtsseitig, ca. 2 Tage nach Beginn einer homonymen Hemianopsie nach links.

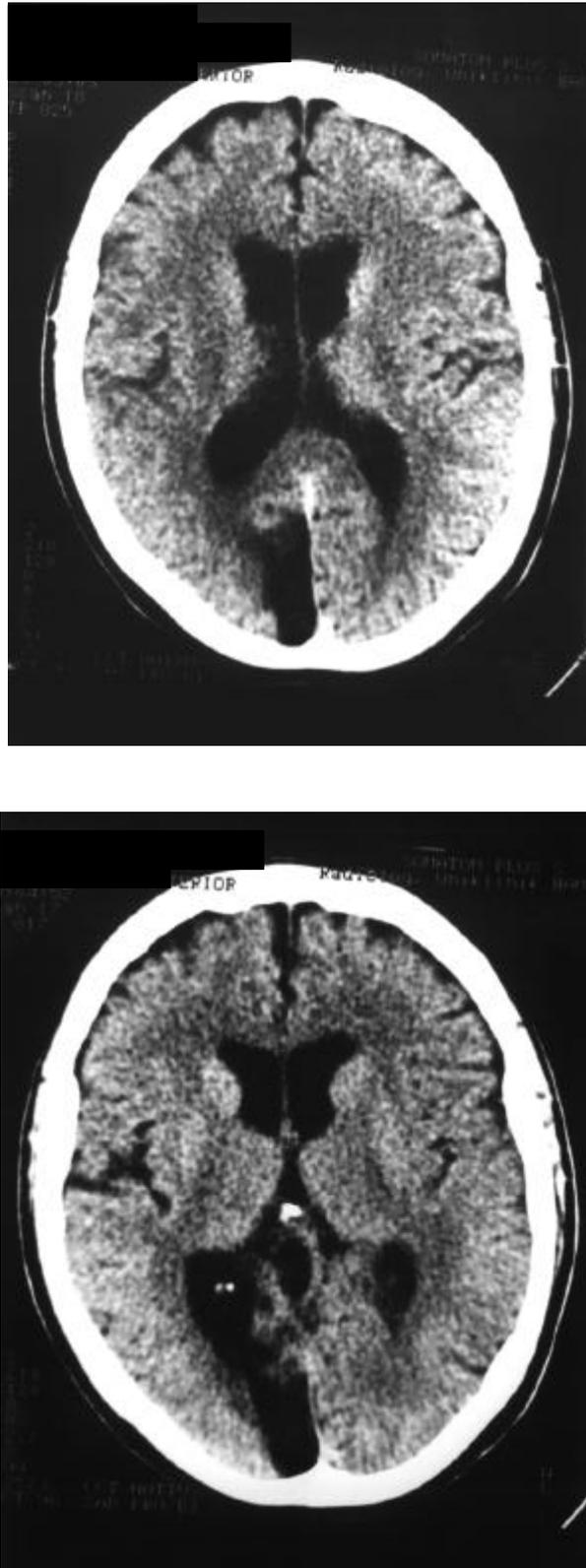


Abbildung 33: Einzelbeispiel CT: Computertomographie der Patientin MK. Residuum eines ca. 4 Jahre alten A. cerebri posterior Infarktes rechtsseitig mit Ausziehung des rechten Seitenventrikel-Hinterhorns. Klinisch imponierte eine entsprechend lang bestehende homonyme Hemianopsie nach links.

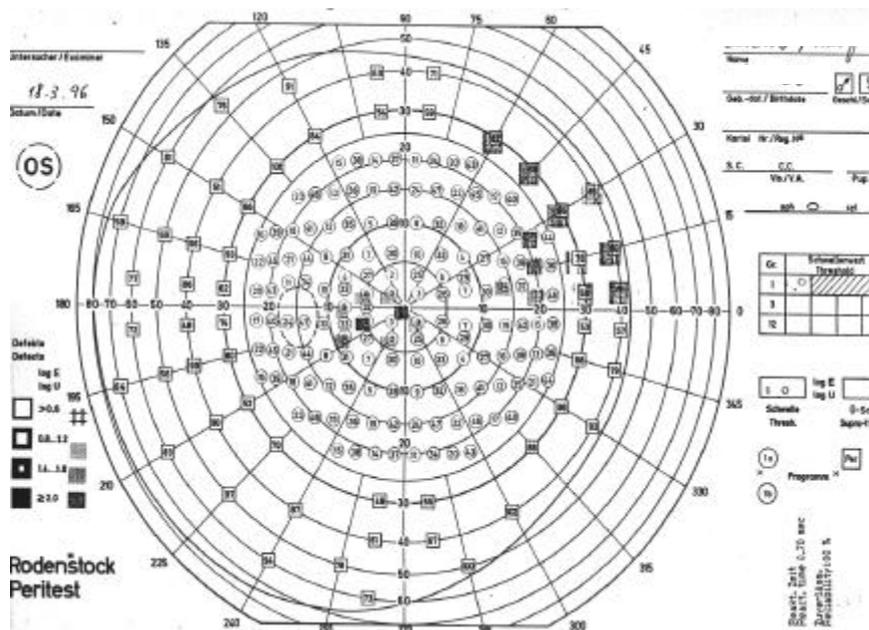
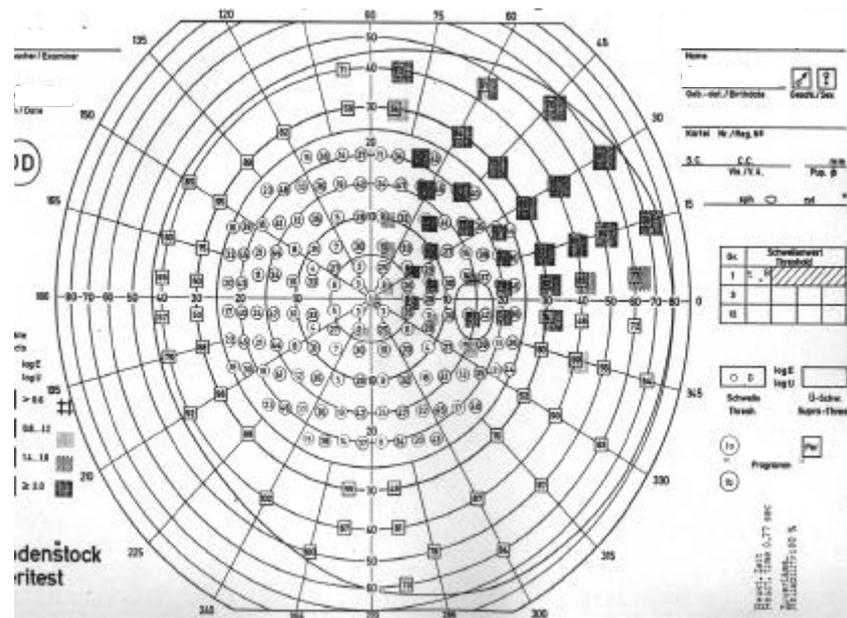


Abbildung 34: Einzelbeispiel Perimetrie: Perimetrischer Befund des Patienten AB. Es besteht wie in der Untersuchung des rechten (oberer Befund) als auch des linken (unterer Befund) Auges eine nach rechts oben wirksame homonyme Quadrantenanopsie unter Aussparung der Makula. Gerät: Rodenstock Peritest.

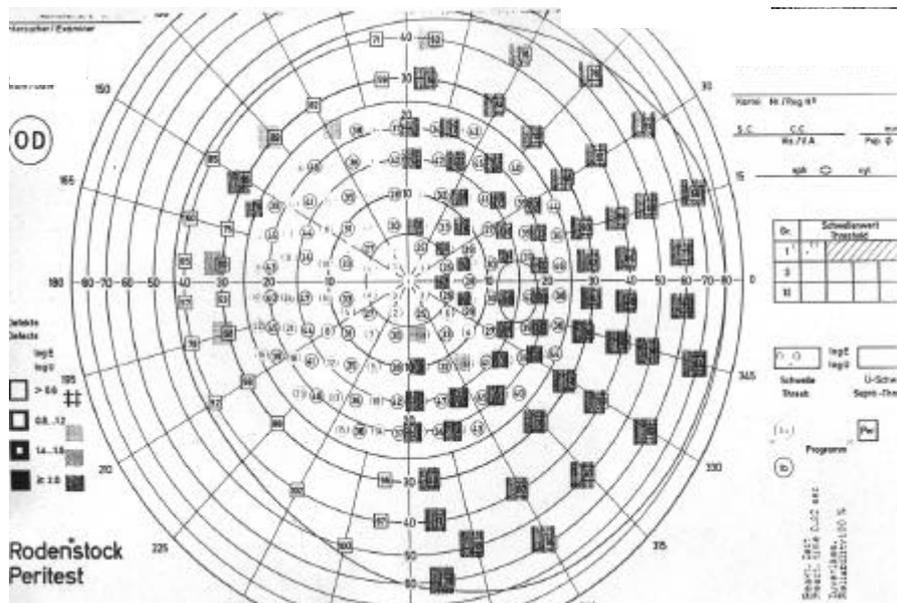
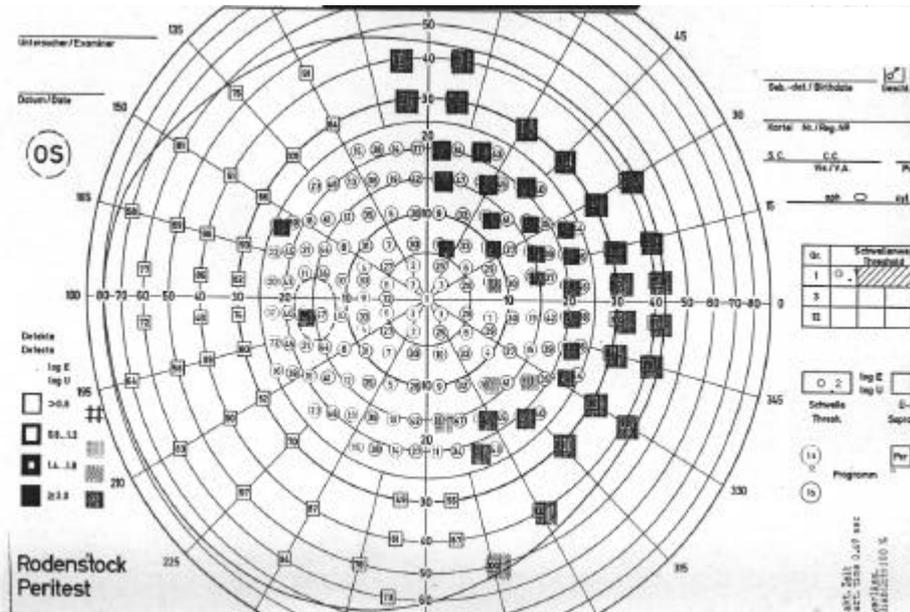


Abbildung 35: Einzelbeispiel Perimetrie: Perimetrischer Befund des Patienten JT. Es besteht wie in der Untersuchung des rechten (oberer Befund) als auch des linken (unterer Befund) Auges eine homonyme Hemianopsie nach rechts unter Aussparung der Makula. Gerät: Rodenstock Peritest.

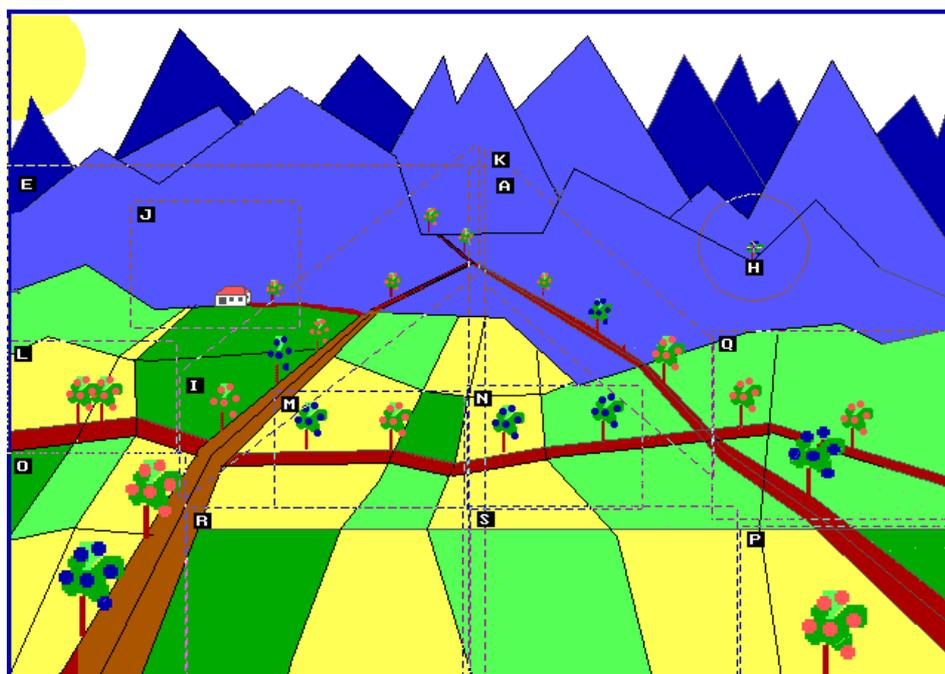
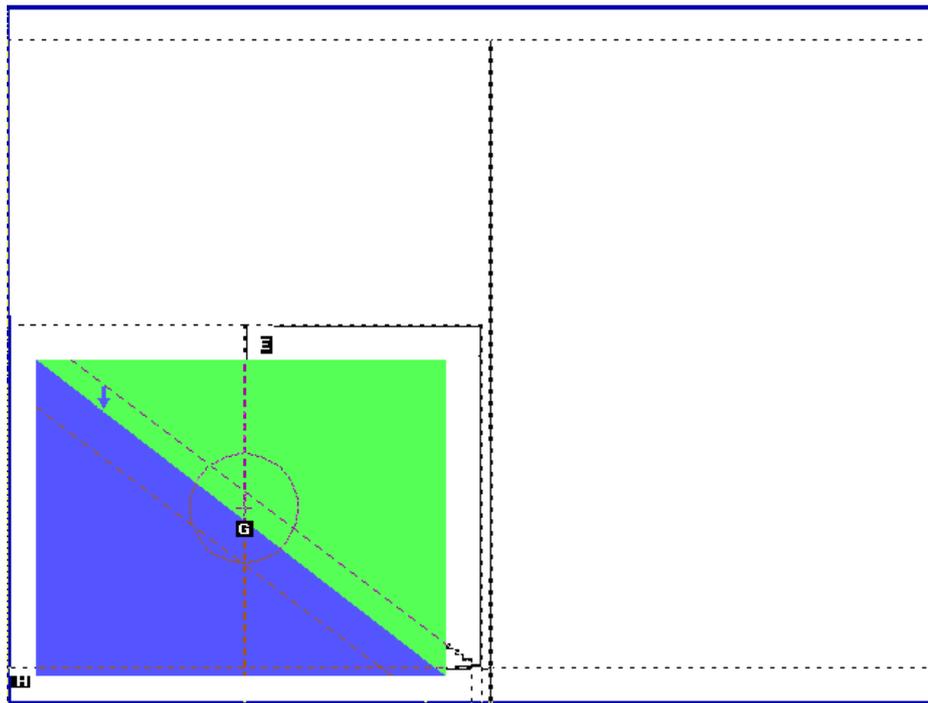


Abbildung 36: ROI-Einteilung der Bilder: A priori Regionalisierung der Searchpath-Bilder, Bild 1 - Pfeilsuche (Trainingsbild) und Bild 2 - Berge-Bild.

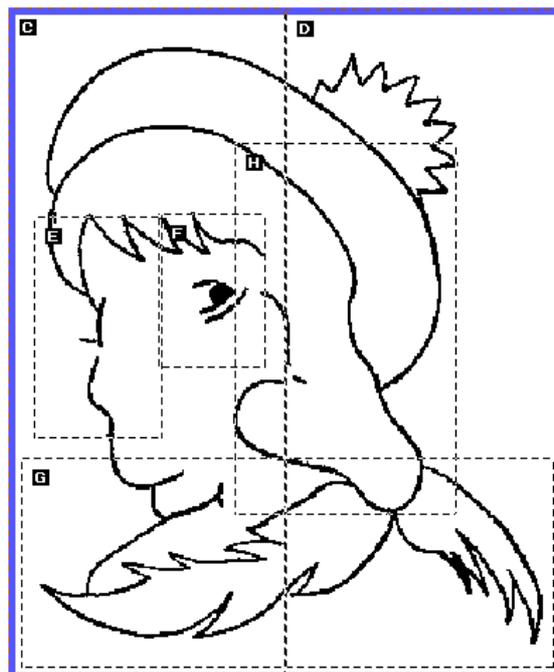
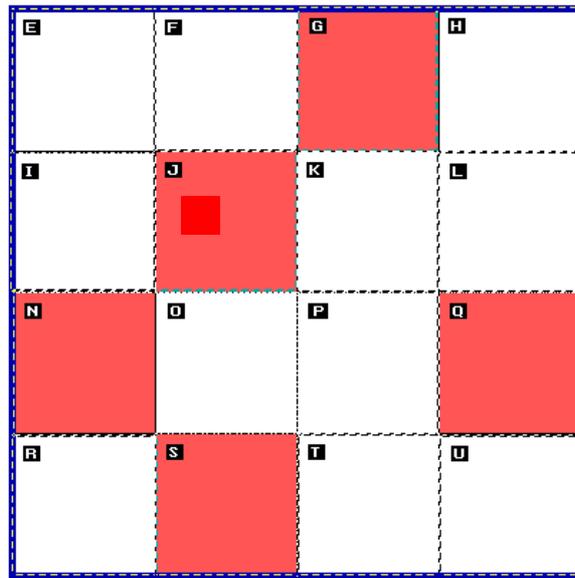


Abbildung 37: ROI-Einteilung der Bilder: A priori Regionalisierung der abstrakten Bilder, Bild 3 - Schachbrett-Muster und Bild 4 - Trivalentes Bild.

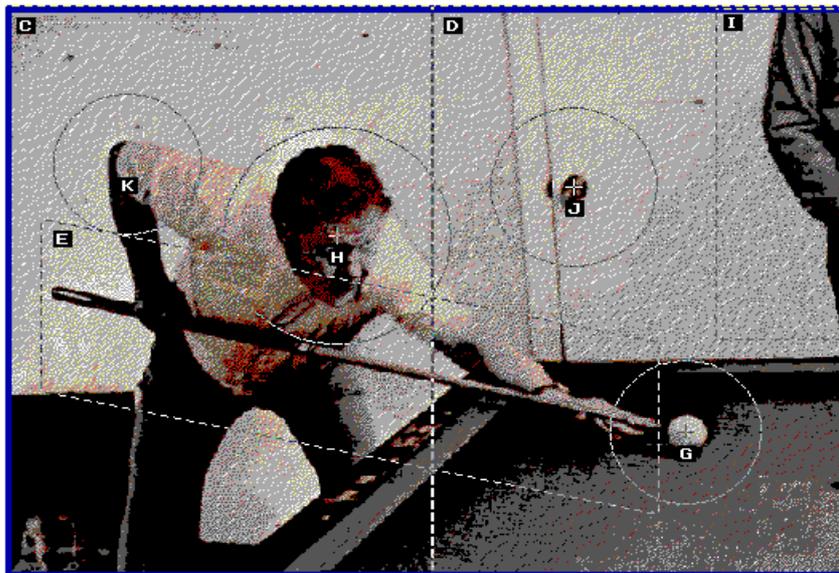


Abbildung 38: ROI-Einteilung der Bilder: A priori Regionalisierung der Bilder, Bild 5 - R. Lichtenstein-Bild und Bild 4 - Pool-Player.

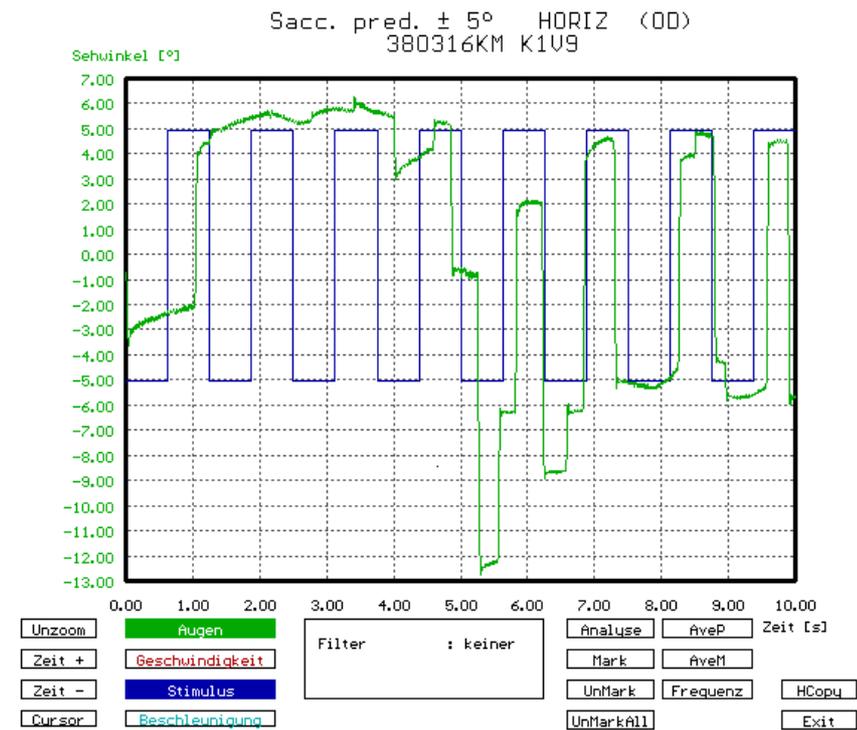
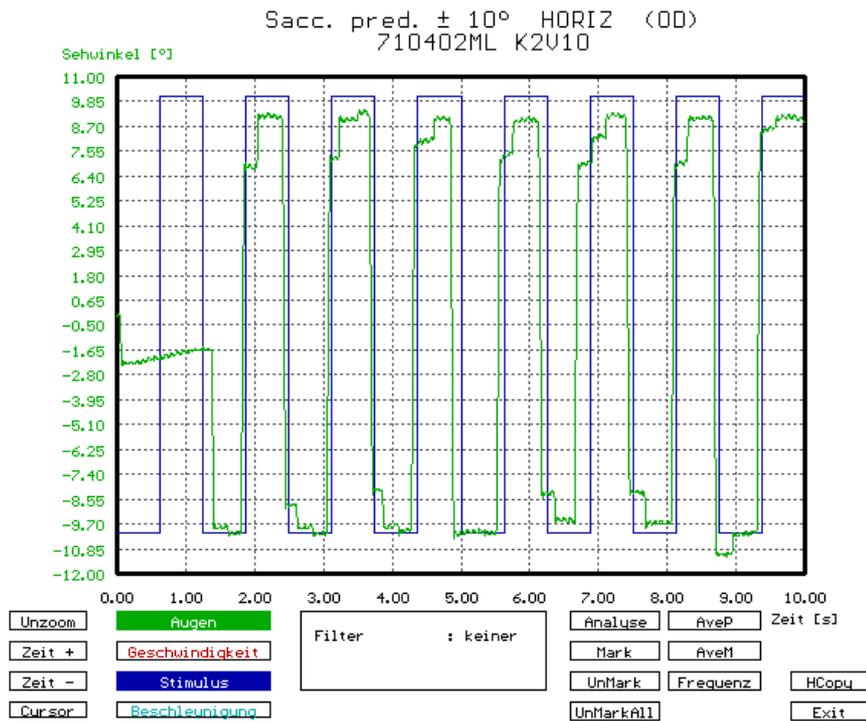


Abbildung 39: Einzelbeispiele - Prädiktive Sakkaden. Oben: Normalproband LM bei einer horizontalen prädiktiven Stimulusdarbietung mit einer Amplitude von 10° in regelmäßiger Abfolge. Der linear vorgegebene Stimulus wird im 2. Zyklus erfaßt und mit zunächst geringer Verzögerung verfolgt. Später wurde die prädiktive Natur der Vorgabe erfaßt und die Sakkaden eilen sichtbar dem Stimulus voraus. Unten: Patient MK mit Hemianopsie nach links verharrt zunächst in seinem gesunden Gesichtsfeld und „tastet“ sich erst zur Hälfte der Sequenz an den Stimulus im blinden, linken Gesichtsfeld heran. Es folgt ein „Overshoot“ über den Stimulus hinaus, so daß in der Folge die Positionen erkannt werden und die entsprechenden geforderten 5° horizontalen Sakkaden ausgeführt werden können.

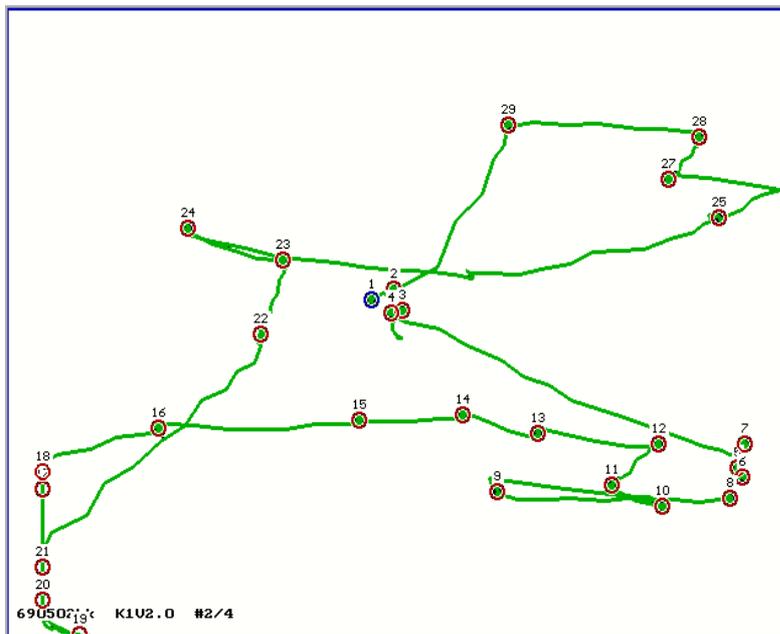
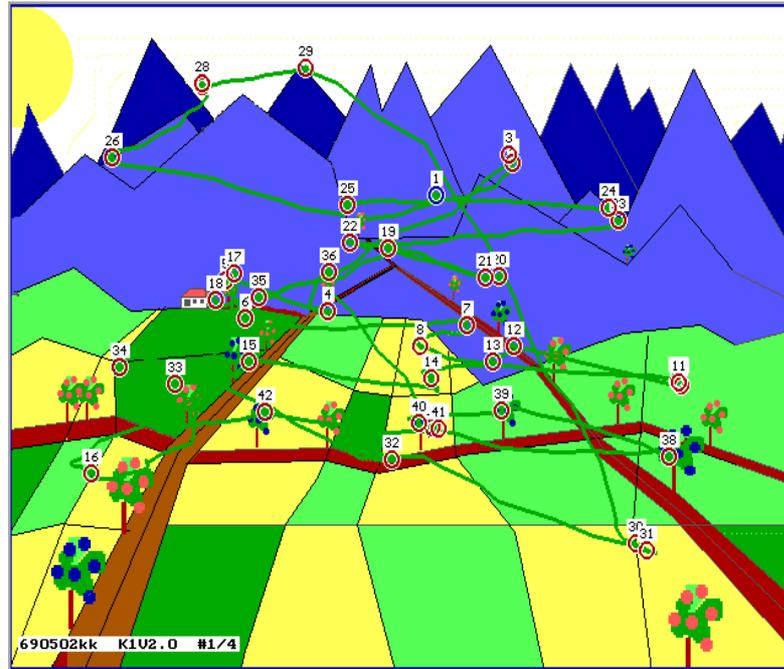


Abbildung 40: Bildbetrachtung/Visual Imagery Durchlauf - Einzelbeispiel (1), Normalproband. In diesem Beispiel betrachtet Normalproband KK zunächst das Berge-Bild (oben) und stellt es sich dann nach 5 Sekunden erneut vor (unten). Die während der Vorstellung produzierte Sakkaden-Fixationen-Sequenz (Scanpath) weist in der Ansicht einige Ähnlichkeiten auf. Die die Sakkaden begrenzenden Fixationen wurden in dieser Analyse-Darstellung berechnet, umkreist und nummeriert.

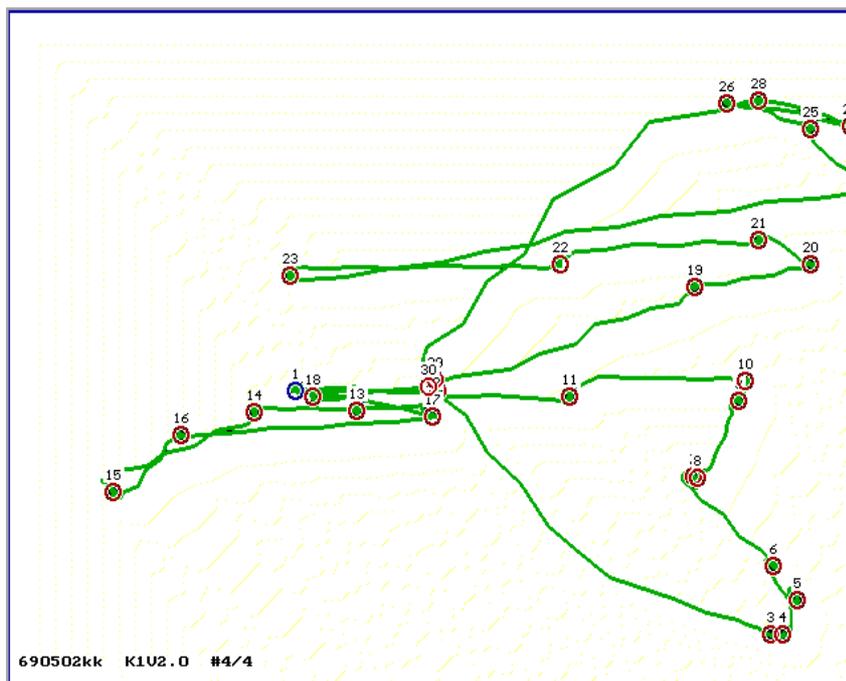
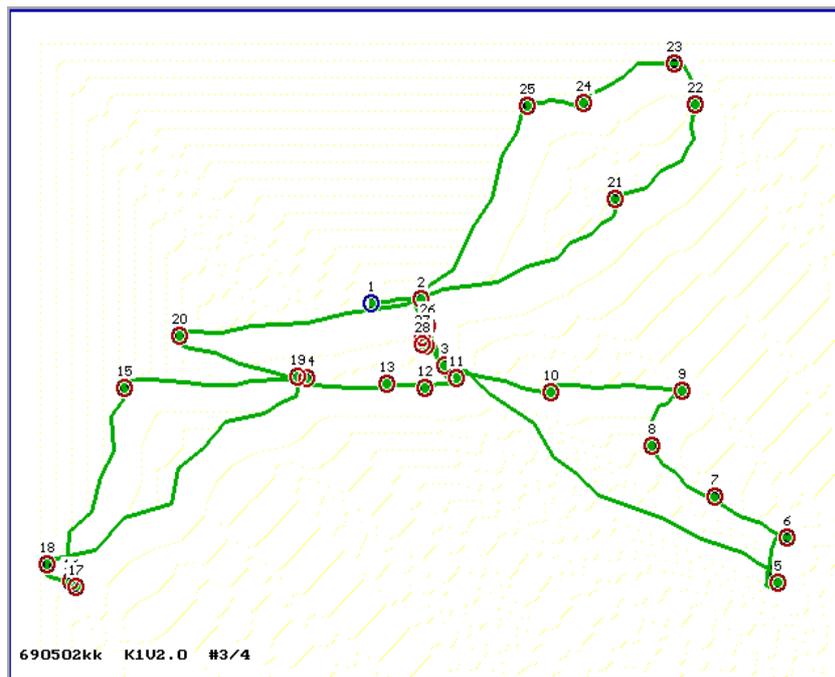


Abbildung 41: Bildbetrachtung/Visual Imagery Durchlauf - Einzelbeispiel (2), Normalproband. Anschließend an die in der Abbildung 40 aufgeführten Sequenzen kommen hier die Scanpaths der Imagery 2-Phase nach 30 Sekunden (oben) und der Imagery 3-Phase nach 60 Sekunden (unten) des Normalprobanden KK zur Darstellung. Bereits in der bloßen Ansicht zeigen sich erneut Ähnlichkeiten der Scanpaths des Imagery untereinander sowie mit dem der Bildbetrachtung.

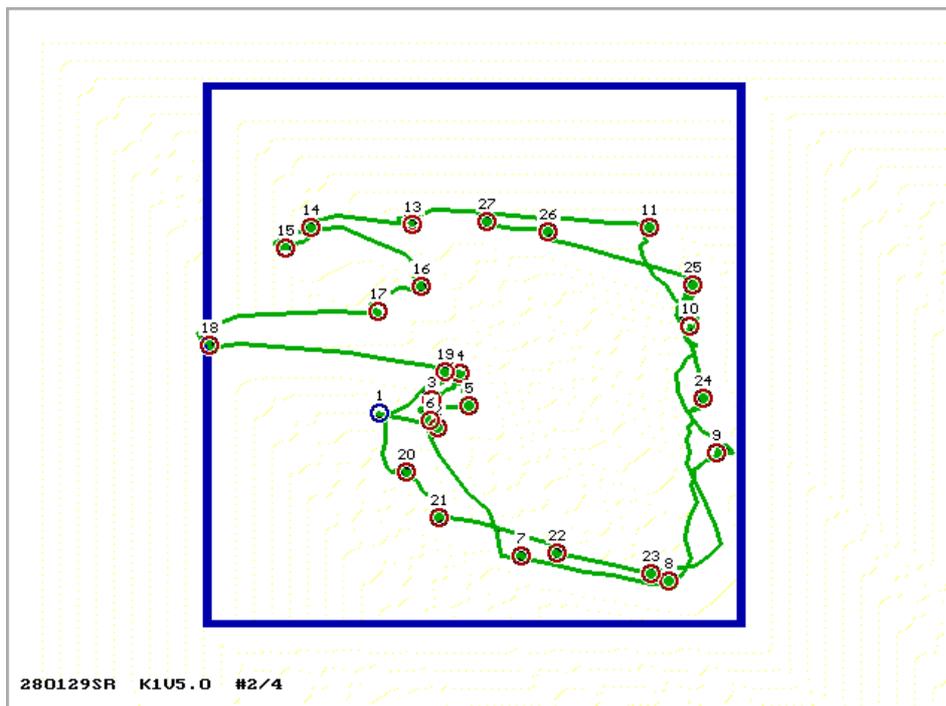
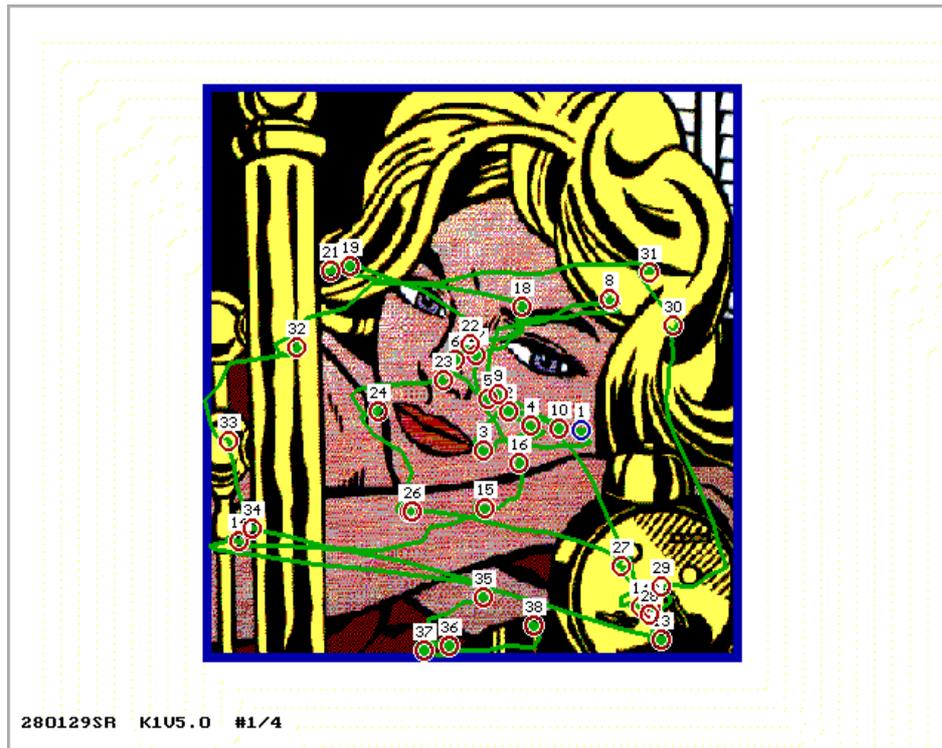


Abbildung 42: Bildbetrachtung/Visual Imagery Durchlauf - Einzelbeispiel (3), Hemianopiker. Dargestellt ist hier zunächst die Bildbetrachtung (oben), dann das nachfolgende 1. Imagery (unten) des Hemianopsie (links) Patienten RS anhand des R. Lichtenstein-Bildes. Analog zum Normalprobanden in Abbildung 40/41 weisen die Scanpaths bereits vom Aspekt her Ähnlichkeiten auf. Umkreist finden sich auch hier die berechneten Fixationen.

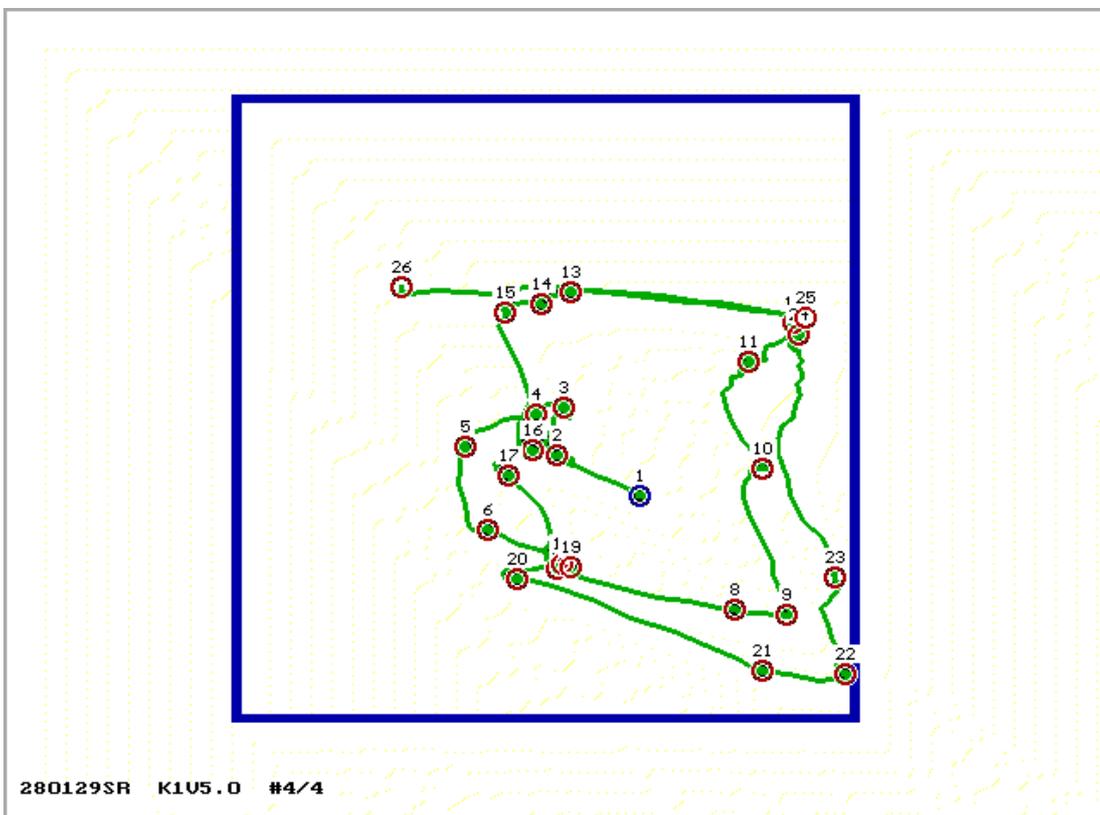
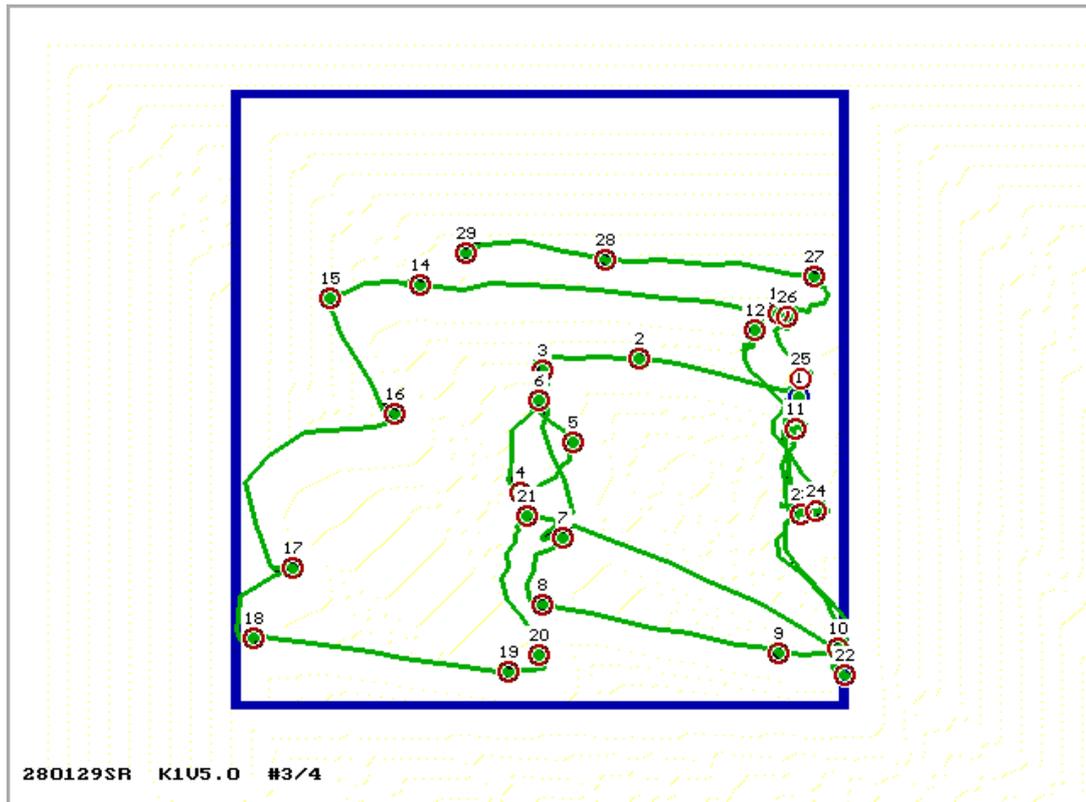


Abbildung 43: Bildbetrachtung/Visual Imagery Durchlauf - Einzelbeispiel (4), Hemianopiker. Analog zur Abbildung 41 des Normalprobanden sieht man hier zunächst den Scanpath der 2. Imagery-Phase des Hemianopikers RS (oben), anschließend den der 3. Imagery-Phase (unten). Die Scanpath-Muster weisen auch hier bei genauerer Ansicht Ähnlichkeiten auf, die in unseren Vergleichsberechnungen bestätigt werden konnten.

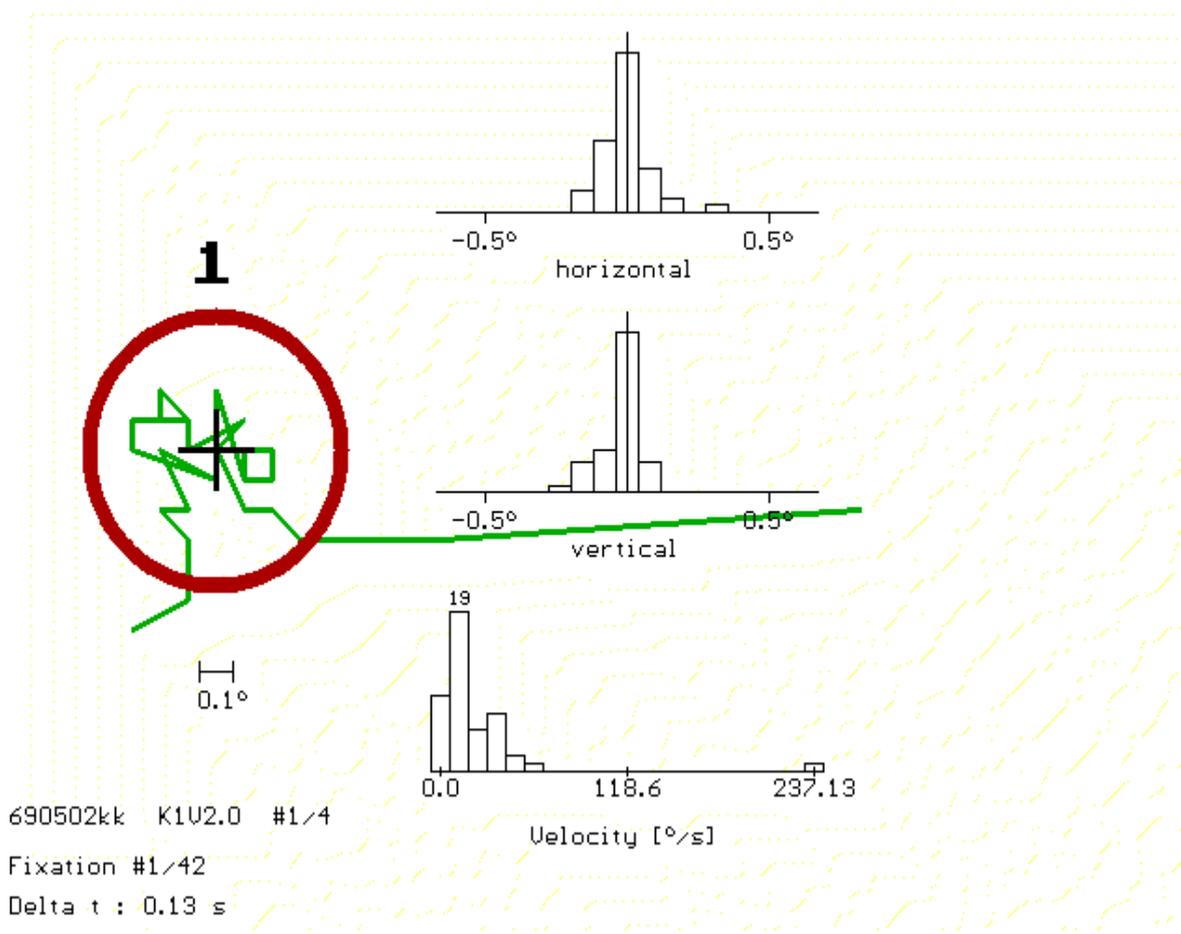


Abbildung 44: Mikro-Sakkaden Darstellung - Einzelbeispiel. Dargestellt finden sich hier in der gewählten 1° "Lupendarstellung" die Mikrosakkaden/Mikro-Scanpath des Normalprobanden KK aus der 1. Fixation der Bildbetrachtung des Berge-Bildes. Als Einzelfixationen-Analyse sind hier zudem Histogramme mit der absoluten Verteilung der Augenpositionen horizontal und vertikal, sowie den ermittelten Geschwindigkeiten der Mikro-Sakkaden innerhalb dieser Fixation angegeben.

7.5 Parsing

Parsing, ein ursprünglich aus der Computerlinguistik stammender Begriff, beschreibt als algorithmisches Verfahren die Abbildung einer natürlichsprachlichen Eingabekette auf einer strukturellen Beschreibung in eine formale Repräsentationssprache. Stark & Choi (1996) definieren in ihrer Übersicht über den Scanpath diesen Prozeß im Bezug auf die Ähnlichkeit von Scanpaths als schrittweisen Übergang von der „global“ zur „repetitive“ Strategie der Bildbetrachtung mit den Übergangsstufen „local“ und „idiosyncratic“. Die höchsten Similarity-Werte bei den Scanpath-Vergleichen wurden dabei erzielt, wenn die gleiche Person das gleiche Bild wiederholt („repetitive“) betrachtete. Weniger ähnlich waren Vergleiche bei Betrachtung zweier verschiedener Bilder durch den gleichen Probanden („idiosyncratic“) oder des gleichen Bildes durch zwei verschiedene Probanden („local“). Im Bereich der Similarity von zufälligen „Random“-Strings bewegte sich die Ähnlichkeit beim Vergleich von Scanpaths zweier verschiedener Probanden nach Betrachtung jeweils unterschiedlicher Bilder („global“).

Wir führten anhand unserer auch beim Visual Imagery eingesetzten Ähnlichkeitsmaße ein solches Parsing auch für die Bildbetrachtungen unserer Normalprobanden und Hemianopiker durch. Eine Darstellung der Similarity-Mediane über alle Bilder für die jeweilige Meßmethode in beiden Kollektiven findet sich in Abbildung 45 und 46. Dabei entsprechen die auf der Abszisse aufgetragenen Parsing-Stufen in folgender Weise den oben genannten Konditionen: Pars 1=„repetitive“, Pars 2=„idiosyncratic“, Pars 3=„local“ und Pars 4=„global“.

Einschränkend ist zu bemerken, daß für die „repetitive“ Kondition nur 1 Normalproband in zwei zeitlich getrennten Konsultationen die Bildbetrachtungen erneut durchführte und deshalb hierfür nur wenige Daten im Vergleich zu den anderen Konditionen zur Verfügung standen. Wir können diese vorläufigen Ergebnisse somit nur mit Einschränkungen werten. Danach ergibt sich für beide Probandengruppen ein untypischer Verlauf des Parsings. Es ist zwar unter den meisten Vergleichsmethoden ein Anstieg in der Similarity im Vergleich zu den Random-Strings zu beobachten, jedoch unterscheiden sich die einzelnen Parsing-Mediane in beiden Kollektiven nicht wesentlich. Dies ist insofern ungewöhnlich, als daß zumindest zwischen der „repetitive“ und „global“ Kondition ein deutlicher Unterschied zu erwarten wäre. Ein möglicher Grund für diese Verteilung mag in der Verschiedenheit der Bilder (Kondition „idiosyncratic“) sowie unterschiedlicher konzeptueller Top-Down Herangehensweisen unserer Probanden an die jeweiligen geprüften Bilder sein („local“), welcher zu derart verschiedenen, der Similarity in der „global“-Kondition angeglichenen Scanpaths

führt. Der fehlende Anstieg in der „repetitive“ Kondition ist sicherlich durch die unzulängliche Datenmenge erklärbar, so daß weitere Untersuchungen hierzu von Nutzen sein könnten.

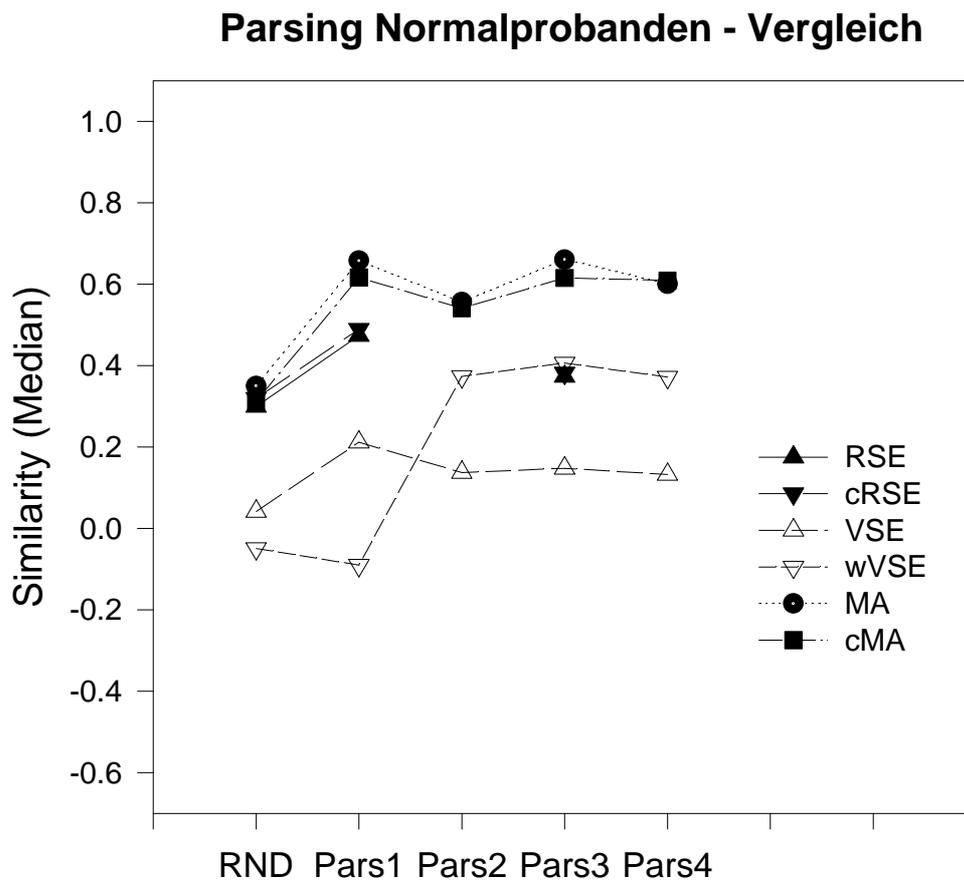


Abbildung 45: Parsing - Normalprobanden. Symbole der Vergleichsverfahren wie beim Visual Imagery (s. Abb. 26-28). Auf der Abszisse sind die verschiedenen Parsing Konditionen (wie in 7.5 beschrieben) aufgetragen.

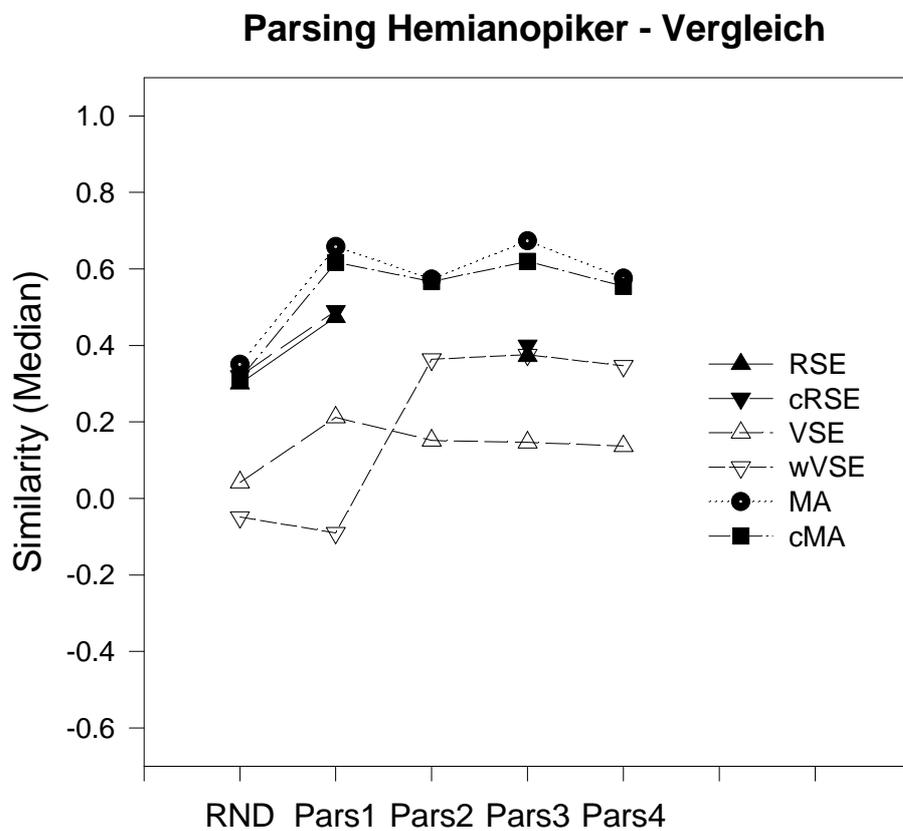
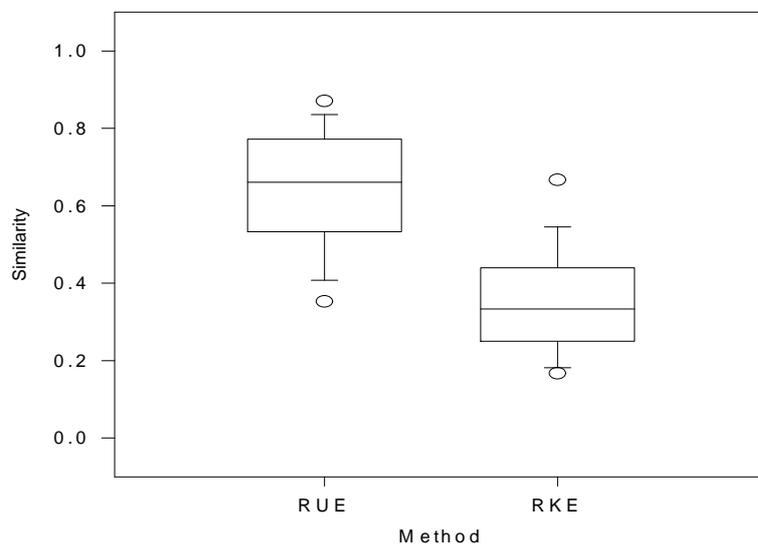


Abbildung 46: Parsing - Hemianopiker. Symbole der Vergleichsverfahren wie beim Visual Imagery (s. Abb. 26-28). Auf der Abszisse finden sich die verschiedenen Parsing Konditionen (wie in 7.5 beschrieben).

7.6 Mikro-Scanpath

Um von den aus Augenpositionen berechneten Mikro-Sakkaden zum Mikro-Scanpath zu gelangen, implementierten wir ein Verfahren zur Analyse von während der Fixationen abgeleiteten Augenbewegungssequenzen. Ziel war es, zu untersuchen inwieweit sich Fixationen bei unterschiedlichen Messungen im Bezug auf die räumliche und zeitliche Abfolge ähnelten. Als methodische Grundlage implementierten wir für diese Pilot-Analysen die beiden Region String Editing Methoden (RSE & cRSE). Ähnlich wie beim Vergleich der Bildbetrachtungen erfolgte a priori eine Regionalisierung, die jedoch für alle Fixationen standardisiert ein quadratisches Raster von 5 x 5 Regionen umfaßte und sich in seiner Ausdehnung auf die für die Berechnung der Fixation definierten Raum- und Zeitkriterien beschränkte. Grundlage der Analyse bildeten für uns die Fixationen der Bildbetrachtungen unserer Probanden. Aufgrund der Fülle der Daten (Fixationen) und einer zudem erheblichen Menge an Vergleichsmöglichkeiten sowohl intraindividuell als auch intersubjektiv mit 5 verschiedenen Bildern reduzierten wir die Anzahl der Vergleiche auf ein niedriges Maß. Wir wählten verschiedene Einzelbeispiele mit unterschiedlichen Normalprobanden sowie Hemianopikern und berechneten die medianen Mikro-Scanpath Similarities für das RSE und das cRSE. Als Trend aus den bisherigen Daten, von denen Abbildung 47-49 einige illustrieren ergaben sich keine verwertbaren intraindividuellen, bildbezogenen oder mit dem sensorischen Defizit korrelierbaren Hinweise auf signifikant ähnlichere Mikro-Scanpaths.

**Normalproband 8, Schachbrett,
Vergleich Micro-SP untereinander**



**Hemianopiker 14, Schachbrett,
Vergleich Micro-SP untereinander**

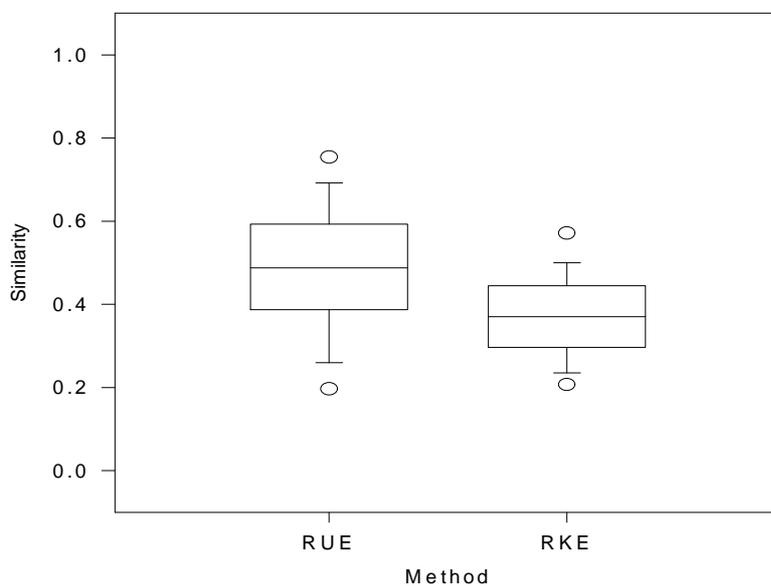
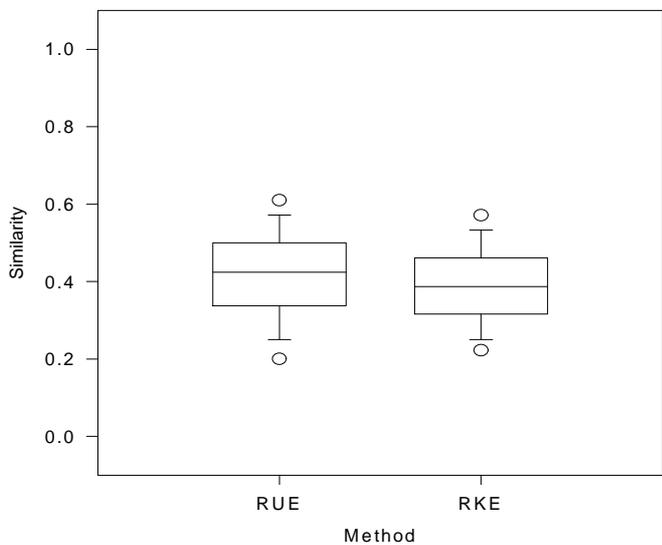


Abbildung 47: Mikro-Scanpath, Beispiele (1): Region String Editing (RSE) und compressed RSE (RKE) für den Vergleich der Fixationen-Mikro-Scanpath intrasubjektiv innerhalb einer Bildbetrachtung für einen Normalprobanden (oben) und einen Hemianopiker (unten). Boxplot-Darstellung s. Abb. 24/25.

Normalproband 12, Vergleich Micro-SP, Lichtenstein vs Pool-Player



Vergleich Micro-SP, Hemianopiker 14, Lichtenstein vs Pool-Player

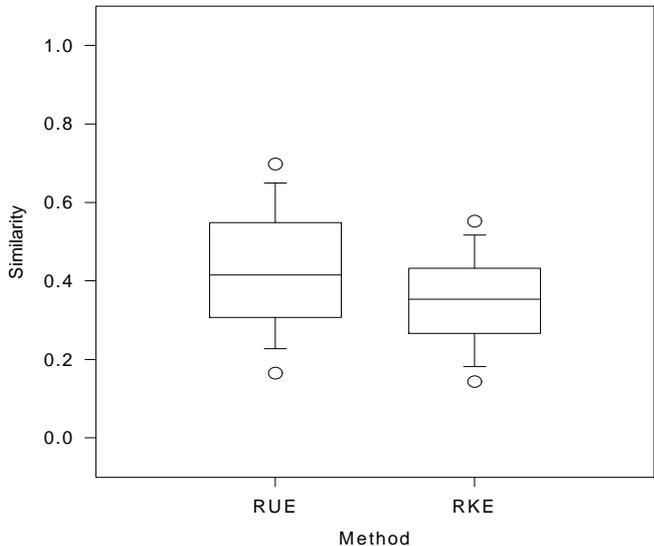
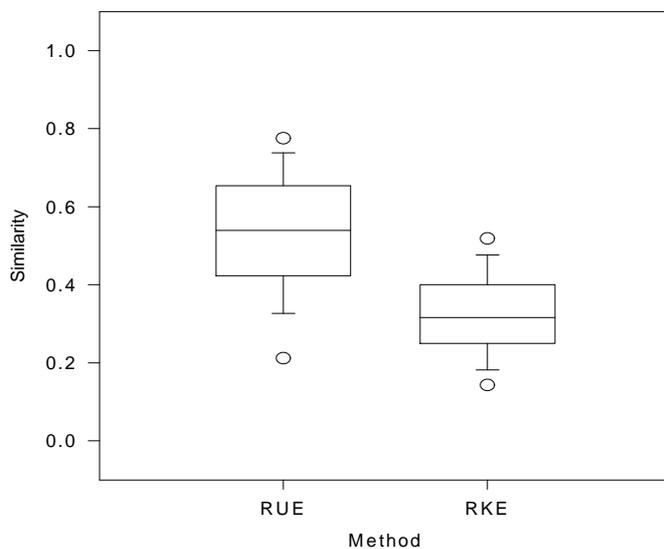


Abbildung 48: Mikro-Scanpath, Beispiele (2): Region String Editing (RSE) und compressed RSE (RKE) für den Vergleich der Fixationen-Mikro-Scanpaths intrasubjektiv im Vergleich von zweier verschiedener Bildbetrachtungen für einen Normalprobanden (oben) und einen Hemianopiker (unten). Boxplot-Darstellung s. Abb. 24/25.

**Vergleich Micro-SP, Schachbrett,
Normalproband 8 vs Hemianopiker 14**



**Vergleich Micro-SP, Pool-Player
Normalproband 8 vs Hemianopiker 1**

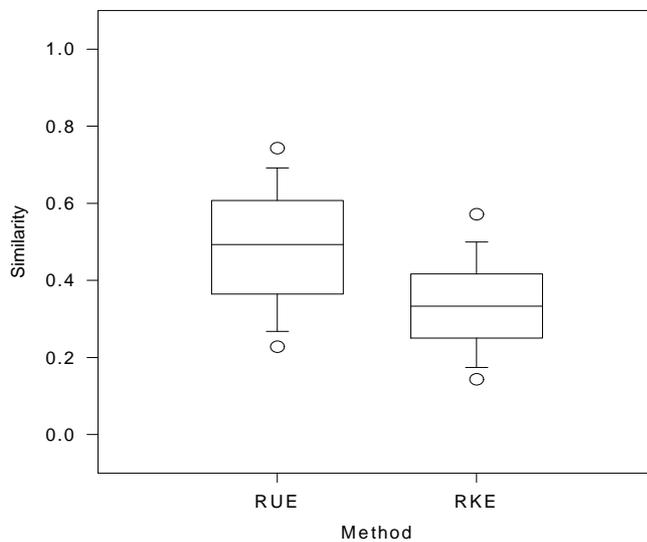


Abbildung 49: Mikro-Scanpath, Beispiele (3): Region String Editing (RSE) und compressed RSE (RKE) für den Vergleich der Fixationen-Mikro-Scanpath intersubjektiv im Vergleich eines Normalprobanden mit einem Hemianopiker für ein abstraktes Bild (oben) und ein realistisches Bild (unten). Boxplot-Darstellung s. Abb. 24/25.

8. Danksagung

In erster Linie bedanke ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. W.H. Zangemeister für die ausgesprochen gute Betreuung dieser Arbeit sowie den fruchtbaren und bereichernden Diskussionen zur Gesamthematik. Zu weiterem Dank bin ich insbesondere Dipl.-Phys. Dr.rer.nat. U. Oechsner verpflichtet, der großen Anteil an der Implementation der Auswertungsmethodik und Diskussion der Datenanalyse hatte.

Nicht vergessen möchte ich ebenfalls die kritischen und hilfreichen Anregungen der Mitglieder des Graduiertenkollegs Kognitionswissenschaften aus dem Informatikum Stellingen insbesondere durch Dipl.-Inf. Dr.rer.nat. S. Egner. Die interdisziplinäre Verbindung zwischen den modernen Erkenntnissen des aktiven Sehens in mikroelektronisch-technischen Systemen mit der neurokognitiven Erforschung der Blicksteuerung erwies sich für mich als sehr aufschlußreich.

Schließlich möchte ich mich auch bei allen Probanden bedanken, die an der Untersuchung teilgenommen haben sowie meiner Familie für Geduld und Unterstützung während des gesamten Zeitraumes der Erstellung dieser Arbeit.

Publikationen/Vorträge/Poster :

- (1) Gbadamosi, J., Oechsner, U., Zangemeister, W.H. (1997). Quantitative Untersuchung von Blickbewegungen während Visual Imagery bei Hemianopikern und Normalprobanden. Neurol Rehabil 3/97, S. 165-172
- (2) Oechsner, U., Gbadamosi, J., Zangemeister, W.H. (1996). Blickbewegungen während Visual Imagery untersucht mit String-Editing Verfahren. Workshop Aktives Sehen in technischen und biologischen Systemen, Fachbereich Informatik, Univ. Hamburg.
- (3) Gbadamosi, J., Oechsner, U., Zangemeister, W.H. (1996). Blickbewegungen während Visual Imagery untersucht mit String-Editing Verfahren. NEUROREHAB, Wien. Poster
- (4) Zangemeister, W.H., Gbadamosi, J., Hoekendorf, H. (1998). Rehabilitation von neuro-visuellen Störungen: Kognitives Training der Blickmotorik. 103. Kongreß der DGPMR, Hannover 1998. Kurzvortrag und Poster.
- (5) Heesen, C., Schulz, H., Schulz, K.H., Gbadamosi, J., Guder, U., Buhmann, C. (1998). Hamburg quality of life scale in Multiple Sclerosis (HAQUAMS). European Charcot Foundation Symposium 1998, Nizza. Poster
- (6) Gbadamosi, J. (1998). Schering Symposium „Diagnostische und therapeutische Konzepte bei Multipler Sklerose“, Hamburg. Vortrag: „Diagnostische Konzepte bei Multipler Sklerose“
- (7) Gbadamosi, J. (1999). Eppendorfer Neurologisches Kolloquium. Falldemonstrationen und -diskussionen, Vortrag: „Multiple Sklerose/M. Behcet - Differentialdiagnose“.