

Aus dem Neurozentrum des  
Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf  
Klinik und Poliklinik für Neurologie  
Direktor: Prof. Dr. C. Gerloff

---

# **Visual Imagery bei simulierter Hemianopsie**

## Dissertation

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

vorgelegt von

Thomas Liman

aus Hannover

Hamburg, 2006

Angenommen vom Fachbereich Medizin  
der Universität Hamburg am 04.12.2006

Veröffentlicht mit Genehmigung des Fachbereichs  
Medizin der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. W.H. Zangemeister

Prüfungsausschuss: 2. Gutachter/in: Prof. Dr. Ch. Büchel

Prüfungsausschuss: 3. Gutachter/in: PD Dr. M. Jaehne

# **Inhaltsverzeichnis:**

<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
1.1 Allgemeine Einleitung	1
1.2 Neurophysiologie und Anatomie des humanen visuellen Systems	1
1.3 Hemianopsie und Rehabilitationsstrategien	4
1.4 Scanpath und Feature Ring Hypothese	6
1.5 Visual Mental Imagery und Kosslyn`s Theorie des „Visual Buffers“	8
1.6 Fragestellungen zur vorliegenden Arbeit	12
1.7 Zielsetzung der Arbeit	15
<b>2 PROBANDEN UND METHODEN</b>	<b>17</b>
2.1 Probandenkollektiv	17
2.2 Versuchsanordnung	17
2.3 Virtuelle Hemianopsie (VHH)	17
2.4 Visuelle Stimuli , Versuchsablauf und standardisierte Vorgaben	18
2.4.1 Konsultationen	18
2.4.2 Versuchsablauf der Durchgänge	18
2.4.3 Tasks	19
2.4.4 Bildbetrachtungen	19
2.5 Messverfahren und Datenanalyse	19
2.5.1 ROI- Definition	21
2.5.2 Auswertungsmethoden	23
2.5.3 Regional String Editing	23
2.5.4 Vector String Editing	24
2.5.5 Markov Analyse	25
2.5.6 Anschauliches Beispiel zur Markov-Analyse:	26
2.6 Statistik und Datenauswertung:	27
2.7 Global/Lokal- Index	28

## II

<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>29</b>
3.1	Analyse der Bildbetrachtung/ Imagery Similarities bei EASY LOOKING	29
3.2	Vergleich „a posteriori“/ „a priori“ – Auswertung	33
3.3	Similarities bei 5° - Extramaske	37
3.4	Similarities der verschiedenen Tasks	49
3.5	Sakkaden und Fixationen	63
<b>4</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>71</b>
4.1	Resultate der Analyse von String Similarity und den basalen Scanpath- Parametern	71
4.2	Simulierter Hemianopsie und Visual Imagery	71
4.2.1	Implikation für das visuelle mentale Modell	71
4.2.2	Auswirkung der simulierten Hemianopsie auf die Visual Imagery	72
4.3	Verfahren zur Auswertung von Bildbetrachtung und Imagery	76
4.3.1	Verschiedene Auswertungsmethoden der Scanpath- Vergleiche	76
4.3.2	Unterschiede der String Similarity bei „a posteriori“ und „a priori“ ROI- Definition	77
4.4	Einfluss der Extramaske auf den Imagery – Prozess	79
4.4.1	Wichtigkeit des fovealen Sehens für das postulierte visuelle Modell	79
4.4.2	Veränderung der String Similarity durch die 5° Extramaske	80
4.5	Visual Imagery unter den verschiedenen Aufgabenstellungen	81
4.6	Augenbewegung bei Visual Imagery und virtueller Hemianopsie	83
4.6.1	Basale Scanpath- Parameter bei Visual Imagery	83
4.6.2	Fixationsdauer	84
4.6.3	Einfluss der Tasks auf die basalen Parameter	85
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>87</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>89</b>
<b>7</b>	<b>APPENDIX</b>	<b>95</b>
7.1	Ausgewählte Scanpath Bildbetrachtung/ Imagery:	95
7.2	Restliche Signifikanztabellen und Abbildungen	97
<b>8</b>	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>104</b>
<b>9</b>	<b>LEBENS LAUF</b>	<b>105</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Allgemeine Einleitung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der quantitativen Auswertung von Bildbetrachtung und Bildvorstellung (Imagery) komplexer Bilder bei Normalprobanden unter Zuschalten einer virtuellen simulierten Hemianopsie. Des Weiteren wurde eine Analyse verschiedener Aspekte der Blicksteuerung durchgeführt.

Es wurde zunächst bei fixiertem Kopf eine Infrarot- Okulographische Ableitung der Augenbewegung von 20 Probanden nach Betrachtung und Visual Imagery verschiedener komplexer Stimuli auf einem Monitor gemacht. Die gemessenen Augenbewegungen wurden in einen Computer übernommen und die Fixationspunkte deckungsgleich auf die Bilder projiziert. Anschließend wurden die gewonnenen Daten nach unterschiedlichen Parametern wie Ähnlichkeit der Scanpaths zweier Betrachtungen (Similarity) und Okulomotorik (Fixationsanzahl und -dauer, Sakkadenamplitude usw.) ausgewertet. Für die Berechnung der Similarity zwischen Bildbetrachtung und Visual Imagery wurden die Bilder zunächst in geometrische (a priori) und intelligente (a posteriori) „Regions of interests“, so genannte ROI's eingeteilt.

Ziel der Untersuchung war es einerseits, etwas über die Beschaffenheit des mentalen Abbildes der präsentierten Bilder bei simulierter Hemianopsie im Allgemeinen und andererseits unter spezifischer Veränderung - wie unterschiedliche Aufgabenstellung und Vergrößerung des simulierten sensorischen Blickfelddefektes (5°-Extramaske) - herauszufinden. Insofern möchte diese Studie einen Beitrag zur gegenwärtigen Forschung über die Beschaffenheit des „High- Level-Vision“ mit besonderer Fokussierung auf die kognitiv-blickmotorischen Aspekte bei mentaler Visual Imagery leisten.

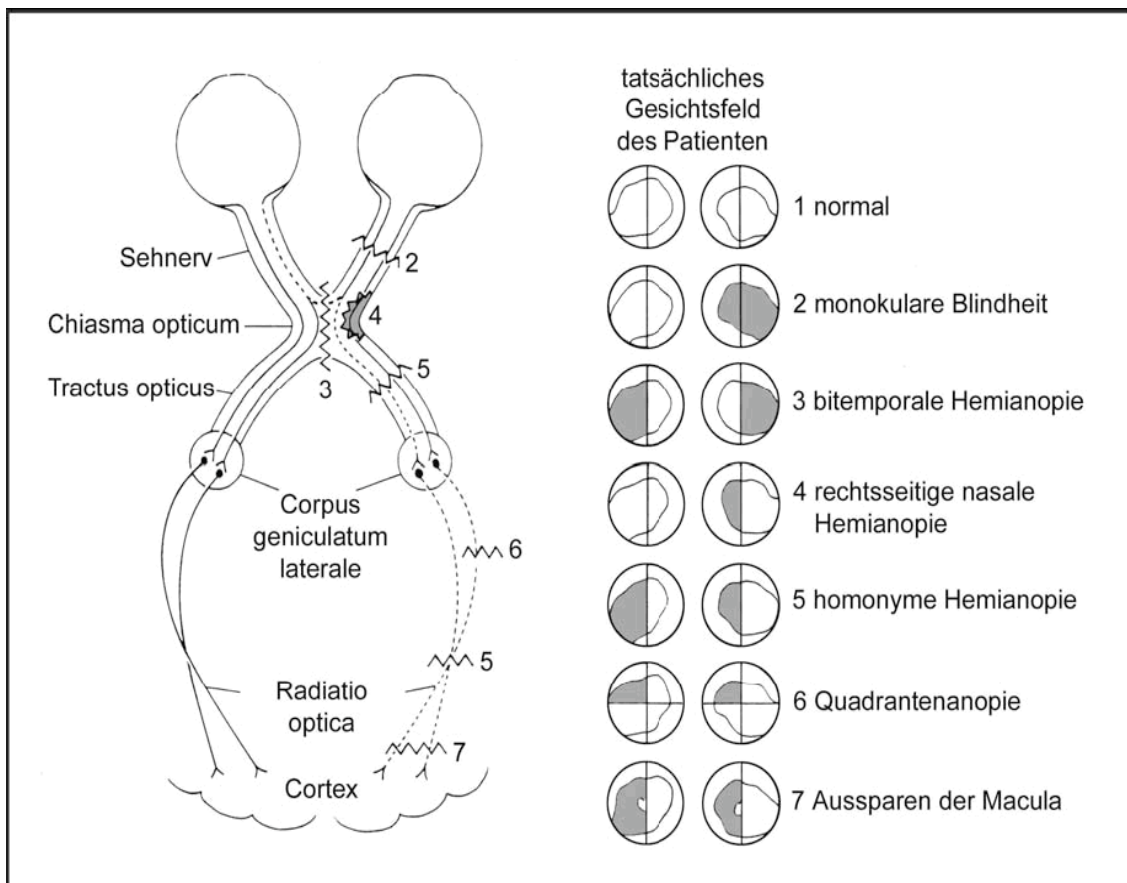
## 1.2 Neurophysiologie und Anatomie des humanen visuellen Systems

Durch das Zusammenlaufen der Axone aller retinalen Ganglienzellen entsteht in der Papilla nervi optici der myelinisierte Nervus opticus. Im Chiasma opticum treffen sich die Fasern beider Augen und kreuzen gemischt.

Die nasalen Anteile der Retinahälfte kreuzen dabei auf die kontralaterale Seite und bilden zusammen mit den ipsilateralen temporalen Retinaanteilen den Tractus opticus (siehe Abb. 1).

Dieser wiederum projiziert in drei subkortikale Regionen:

1. Das Corpus geniculatum laterale (CGL), welches etwas abgesondert an der ventrokaudalen Fläche des Thalamus liegt und zum thalamischen Kerngebiet gezählt wird. Die Aufgabe des CGL ist die primäre visuelle Verarbeitung der Sehipulse.
2. Die Area praetectalis des Hirnstammes dient der Regelung der Pupillenweite.
3. Der Colliculus superior, der Fasern u. a. zu den Augenmuskelkernen, zum Rückenmark und über die Pons zum Ncl. dentatus des Cerebellums entsendet. Hier findet die Steuerung der reflektorischen Blickmotorik durch Sakkaden und zielgerichtete Kopfbewegung statt.



**Abbildung 1:** Schema der Sehbahn mit eingezeichneten Schädigungsmustern und den zugehörigen Gesichtsfeldausfällen. Die blinden Areale entsprechen den grau unterlegten Regionen. (nach Curtis 1972)

Die Blindsight Theorie postuliert nach der so genannten „Two Visual System Hypothese“ das Vorhandensein zweier qualitativ verschiedener Bahnsystemen zu der primären Sehrinde der Okzipitalrinde (Campion et. al. 1983). Das „first visual system“ oder geniculostriatäre Bahnsystem leitet inhaltliche Information zur Sehrinde und die Mittelhirnbahn als „second visual system“ leitet hauptsächlich Bewegungswahrnehmungen an extrastriatäre kortikale Regionen.

*a) Geniculostriatäres System und Corpus geniculatum laterale*

Als Schaltstelle zwischen der primären Sehrinde V1 (area striata) liegt im Zwischenhirn das CGL, das in 6 Zellschichten gegliedert ist. Die vier oberen Schichten bezeichnet man als parvozelluläre, die zwei unteren als magnozelluläre Zellschicht. Hier findet die initiale subkortikale Transformation der visuellen Informationen statt. Die magnozellulären Zellen dienen in erster Linie der ersten Bewegungsanalyse und haben eine hohe Kontrast- und Zeitauflösung. Das parvozelluläre System hingegen ist eher auf die Verarbeitung von Farb- und Raumwahrnehmung spezialisiert (Kaas 1975, Zeki 1993). Durch diese Parallelverarbeitung verschiedener Modalitäten des visuellen Inputs und der topographischen Repräsentation der Retina in den primären Seharealen (V1) entsteht die Wahrnehmung von Bildern und Umwelt (Stone et al. 1997).

*b) Mittelhirnbahn*

Dieses Bahnsystem läuft über die Colliculi superiores, wo durch verschiedene Verbindungen mit anderen Kerngebieten visuelle Informationen mit anderen Reizen z.B. somatischen und auditorischen koordiniert werden. Die Axone der Colliculi superiores ziehen zu den Blickzentren des Hirnstammes, der Motoneurone und in die visuellen Areale des Pulvinars. Signale aus der Retina erreichen so unter Umgehung des CGL den parietalen prästriatären visuellen Assoziationskortex. So konnte man auch annähernd erklären, warum es zur so genannten „statokinetischen“ Dissoziation kommen kann. Hier gelingt es Patienten, trotz perimetrisch gesichertem, homonymen Gesichtsfeldausfall, Bewegung im blinden Gesichtsfeld zu registrieren. Dieses Erkennen ist den Patienten allerdings nicht bewusst (Weiskrantz 1986,1995).

*c) Primär visueller Kortex und höhere visuelle Areale*

Der okzipitale primäre visuelle Kortex besteht aus 6 retinotop organisierten Regionen, in denen unterschiedliche Verarbeitung des visuellen Inputs stattfindet: V1 – die primäre Sehrinde (Brodmann Area 17), V2 und V3 in Area 18 und drei in Area 19 (V3a, V4, V5). Zeki (1976, 1978, 1983, 1992) zeigte in Versuchen an Affen und in PET Studien auch am Menschen, dass vier parallel arbeitende Systeme für verschiedene Attribute des visuellen Reizes zuständig sind: zwei für Form, eines für Bewegung und eines für Farbe. In einer PET- Studie zeigte er, dass bei Probanden, denen unterschiedliche Bilder gezeigt wurden (ein farbiges Kunstwerk von Piet Mondrian und ein bewegtes schwarz-weißes Schachbrettmuster) jeweils unterschiedliche höhere visuelle Areale aktiv waren: V4 für Lokalisation des Farbsystems mit Input aus den parvozellulären Schichten des CGL und V5 als zuständige Verarbeitungsstelle für Bewegungsreize. Hier kommen die Afferenzen über die 4b Schicht von V1 von den magnozöllulären Schichten des CGL.

**1.3 Hemianopsie und Rehabilitationsstrategien**

Als Homonyme Hemianopsie (HH) bezeichnet man einen gleichseitigen Gesichtsfeldausfall, der durch eine Schädigung des Tractus opticus und/ oder des primären visuellen Kortex verursacht wird. Hierbei ist für beide Augen in gleichem Maße die eine Hälfte des Gesichtsfeldes blind (siehe Abb. 1). Die HH kann entweder komplett oder inkomplett, kongruent oder inkongruent, mit oder ohne Foveal Sparing sein. Als Foveal Sparing bezeichnet man die Aussparung der Makula densa, wahrscheinlich weil sie relativ weitläufig in der Sehrinde repräsentiert ist (Brybaert 1994, Gray 1997). Als häufigste Ursache im klinisch-neurologischen Alltag wären cerebrovaskuläre Infarkte (70%) neben Hämorrhagien (5%) und Tumoren (15%) zu nennen. 40% betreffen den okzipitalen Pol, 30% den parietalen und temporalen und 5% den Tractus Opticus samt CGL (Pambakian 1997, Kerkhoff 1999). Über 20-30% der Patienten, die sich nach solch einem vaskulären Ereignis in Rehabilitation befinden, leiden an einer homonymen Hemianopsie und/oder einem unilateralen Neglect (Rossi 1990). Zihl (1994) beschreibt, dass fast 80% der Patienten nach einem postchiasmalen unilateralen Gehirnschaden an einem homonymen Gesichtsfelddefekt leiden. Erschwerend kommt hinzu, dass die HH sehr oft mit einem unilateralem Neglect oder anderen kognitiven Störungen vergesellschaftet ist. Diese zusätzlichen kognitiven Störungen bringen Probleme in der Diagnosefindung mit sich.



Als Neglectsyndrom bezeichnet man das Nichtbeachten und Vernachlässigen von Reizen bei hirngeschädigten Patienten auf der zur Läsion contralateralen Seite, ohne das ein sensorischer oder motorischer Defekt dieses erklären würde (Chedru 1973). Je nach Ausmaß der Störung kann der Neglect eine bis alle Sinnesmodalitäten betreffen.

Gesichtsfelddefizite wie die homonyme Hemianopsie führen je nach Lokalisation und Größe der Läsion über Wahrnehmungs- und Funktionseinschränkungen zu Beschwerden. Patienten beklagen sich über ein eingeschränktes Gesichtsfeld und zudem darüber, öfter gegen Gegenstände und Menschen zu stoßen. Des Weiteren empfinden sie ihr Sehen als „zu langsam“ (Tant 2002). Zusätzlich kommt es zu Problemen bei der Exploration des blinden Halbfeldes. Die Sakkaden der Mehrheit der Hemianopikern fallen häufig zu kurz aus, sind zu langsam und haben eine zu kleine Amplitude. Die Hemianopiker müssen zum Bildverständnis mehr Fläche ihres blinden Halbfeldes absキャンen als normale Vergleichsgruppen, was mehr Zeit kostet (Pambakian 2000). Auch höhere kognitive Fähigkeiten wie Orientierung im Raum werden negativ beeinflusst. Damit lässt sich die bei vielen Patienten doch erhebliche Beeinträchtigung der Sicherheit im Alltag (Beruf, Verkehr) erklären.

Es hat sich gezeigt, dass der Verlauf und die Therapiechancen maßgeblich natürlich von der Schwere des sensorischen Defizits, aber auch vom Adaptationsgrad des Patienten abhängen, der individuell sehr verschieden sein kann. Mit einer Spontanrückbildung durch Restitution ist nach ca. 32 Wochen nicht mehr zu rechnen. Hierfür ist von Wichtigkeit, ob neben dem Ausmaß, Lokalisation und Ursache der hemianopischen Störung andere Hirnareale in der Lage sind, ausgefallene Funktionen zu übernehmen (Hier 1983).

Bis zu einem gewissen Grade kann das sensorische Defizit auch durch kompensatorische Augenbewegungsstrategien ausgeglichen werden (Gassel 1963, Meienberg 1981 & 83, Zangemeister 86, Schöpf 1993). Wichtig Suchmechanismen bei Hemianopikern, um die Fovea in gewünschte Regions of interests (ROI's) im blinden Halbfeld zu bekommen, sind bei der Mehrheit der Patienten die „stairstep“- Strategie. Mit einer Serie von langsamen, suchenden Sakkaden wird das Ziel ins sehende Feld gebracht. Die zweite, seltenere und effizientere Adaptation ist die so genannte „Overshoot“- Strategie. Hierbei wird das Ziel mit einer großen, das Objekt überschießenden Sakkade ins Sichtfeld gebracht und anschließend fokussiert (Pambakian 1997). Viele Rehabilitationsansätze setzen hier das Training durch kompensierende okulomotorische Strategien an.

Die spezifischen Sakkadentrainingmethoden mit systematischer Exploration des blinden Gesichtsfeldes können zu einer entscheidenden Verbesserung des visuell-räumlichen Verhaltens führen (Pommerenke 1989). Auch eine Kurzzeitadaptation bei homonymer Hemianopsie konnte als Effekt von Kurzzeittraining durch Optimierung von visuell-motorischen top- down Strategien bei Such- und Betrachtungsaufgaben (Search- und Scanpath) erreicht werden (Zangemeister 1995). Weiterhin wurde hier gezeigt, dass bei Hemianopikern mehr bottom- up gesteuertes als top- down gesteuertes Sehen stattfindet, da sie mehr um die Abfolge ihrer Augenbewegung als um die Gesamterfassung von Objekten bemüht sind.

Gbadamosi (2001) konnte allerdings in einer Studie über Visual Imagery bei Hemianopikern zeigen, dass trotz sensorischer Defizite ein mentales Modell wie bei Gesunden gebildet wird und dass es die Augenbewegung im Sinne von top- down Prozessen zu großen Teilen zu steuern scheint.

#### **1.4 Scanpath und Feature Ring Hypothese**

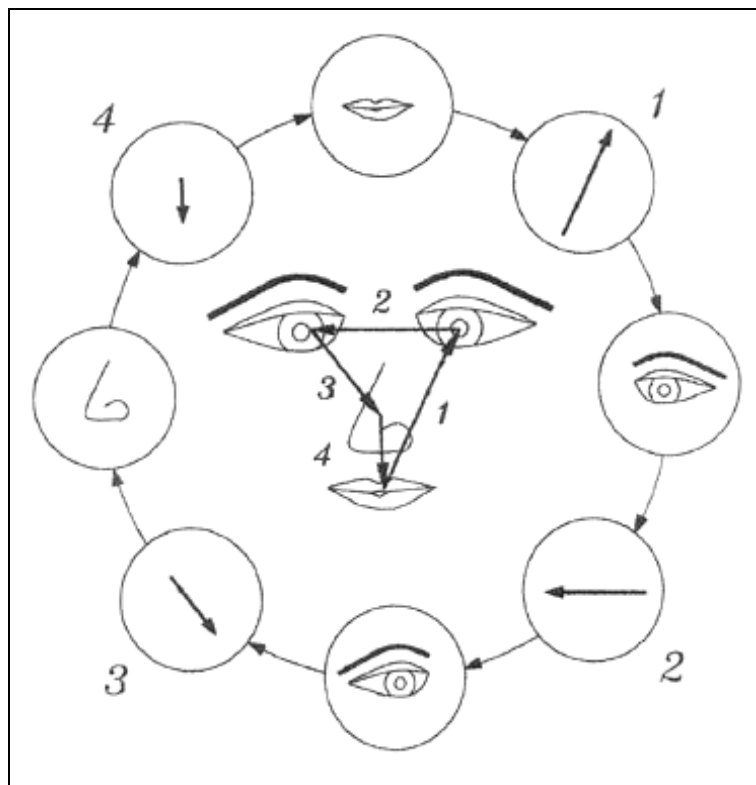
Wie schauen wir Bilder und Landschaftsszenen an? Wenn die Augenbewegung von offensichtlich interessanten Details des Bildes, so genannten „regions of interests“ (ROI's) gelenkt wird, entspricht diese Betrachtungsstrategie am ehesten einer bottom-up Kontrolle des Sehens. Das heißt, dass die äußeren Begebenheiten und Details eines Bildes die Augenbewegungen und die Fixationen bestimmen. Von einer top- down gesteuerten Blickkontrolle sprechen wir, wenn ein so genanntes „inneres kognitives Modell“ eines Bildes bzw. einer Szene vorhanden ist und anhand dieser „inneren Vorstellung“ die Blickbewegungen gesteuert werden (Mast 2002, Zangemeister 1996).

Noton und Stark stellten 1971 (Noton et al.) erstmals eine Theorie für das Zustandekommen fester Fixationspfade auf, die sie Scanpath- Hypothese nannten. In ihren Versuchen fanden sie heraus, dass sich bei mehrfacher Betrachtung bekannter Objekte die Sequenz von Augenbewegungen und Fixationen wiederholte. Daraus schlossen Sie, dass jedes Subjekt ein eigenes repetitives Muster von Augenbewegungen, den so genannten „Scanpath“ hat, um ein bekanntes Bild bzw. eine Szene zu betrachten. Bei längerer Betrachtung wiederholte sich dieser Scanpath.

Weitere Untersuchungen führten zur so genannten Feature –Ring Hypothese (Stark et al 1981), welche besagt, dass die Speicherung von Objekten im Gehirn repräsentiert wird durch

1. wichtige Merkmale („principle Feature“)
2. Augenbewegung (Sakkaden) zwischen zwei Features

Das Wiedererkennen von bekannten Bildern funktioniert nach dieser Theorie durch ein intern festgelegtes „Schritt für Schritt“ - Abtasten oder Abscannen des jeweiligen „Feature Rings“ (siehe Abb. 2). Die fovealen ROI's werden also durch eine intern gespeicherte Sequenz von Fixationen und Sakkaden aufgesucht und in höheren kognitiven Zentren wird mit Hilfe von top- down Prozessen simultan dazu ein passendes, hypothetisches Bild aufgebaut. Die Scanpath Theorie postuliert also, dass ein internes kognitives top- down Model dessen was wir „sehen“ nicht nur unser Wahrnehmen beeinflusst, sondern auch die Augenbewegungen (Fixationen und Sakkaden) steuert ( Stark 1996).



**Abbildung 2:** Noton & Stark's Feature Ring Hypothese postuliert, 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.

Das menschliche Auge nimmt nur etwa 1 Sehwinkelgrad um den jeweiligen Blick- oder Fixationspunkt mit hoher räumlicher Auflösung wahr. Man spricht hier vom fovealen Sehen, da hier das Licht auf die Fovea centralis der Retina fällt. Das unscharfe periphere Sehen gilt weniger dem Erkennen als mehr dem Wahrnehmen von Bewegungen und der Lokalisation von wichtigen Objekten. So muss nun beim Abscannen eines Bildes bzw. einer Szene die Fovea durch Sakkaden auf die jeweiligen Stimuli des Blickfeldes gerichtet werden. Nicht alle Objekte im Blickfeld können bei Alltagssituationen analysiert werden. Kognitive Verarbeitungsprozesse und Funktionen erzeugen auf höherer Ebenen den Eindruck eines geschlossenen und vollständigen Gesichtfeldes. Dazu wird nach kurzem Erkennen ein reales Objekt (z.B. Auto) durch ein inneres mentales Modell (kognitives Modell „Auto“) ersetzt (Stark et al 2001). Das unscharfe periphere Sehen unterstützt das mentale Sehen, indem es Informationen über die relative Lage der modellhaft wahrgenommenen Objekte liefert. Im Gegensatz zur guten räumlichen Auflösung des fovealen Sehens liegt hier die Stärke in einer guten zeitlichen Auflösung d. h. Änderungen im Blickfeld können besonders gut differenziert werden.

Im Gegensatz zu der Annahme, dass Bilder im Gehirn als Einheit von motorischen (Sakkaden) und inhaltlichen Elementen (Features) gespeichert werden (Stark et al 1971), geht man heute davon aus, dass die Langzeitspeicherung von Bildern für Erinnerung, Vorstellung und Wahrnehmung auch ohne die motorischen Elemente auskommt.

Laeng et al. (Laeng 2002) beschreiben, dass auch bei der Bildvorstellung (Visuelle Mentale Imagery) Augenbewegungen nicht nur auftreten, sondern bei Imagery Prozessen funktionell von Wichtigkeit sind. Andere Autoren (Brandt 1997) zeigen in ihren Arbeiten, dass Augenbewegungen samt Scanpath während visueller mentaler Imagery den Inhalt des vorgestellten Bildes widerspiegeln.

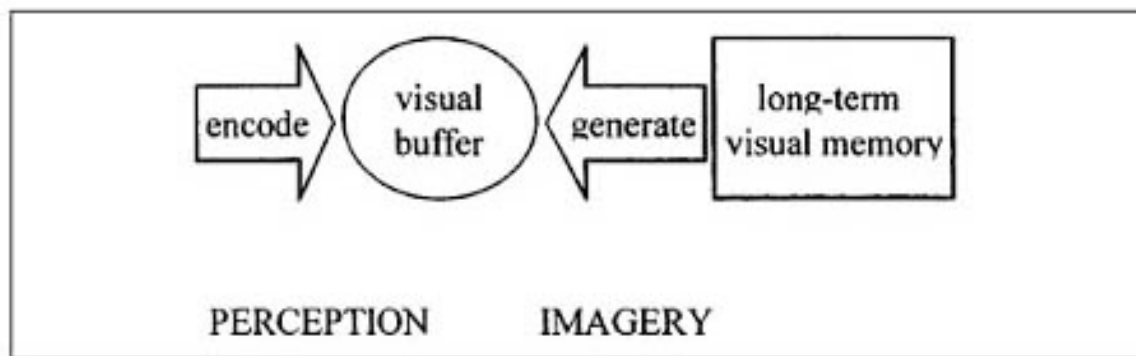
### **1.5 Visual Mental Imagery und Kosslyn`s Theorie des „Visual Buffers“**

High Level Vision beinhaltet den Gebrauch von vorher gespeicherten Informationen. Das gilt sowohl für die Wahrnehmung (visuelle Perzeption) von bekannten Szenen und Bildern mit Hilfe von kognitiven Modellen als auch für die Bildvorstellung, die visuelle mentale Imagery (Bartolomeo 2002).

In den letzten Jahren sind sehr viele Studien im Bereich neuropsychologischer Forschung entstanden, die die Bestätigung dafür liefern, dass Visual Imagery und Wahrnehmung auf den gleichen anatomischen Grundlagen und den gleichen High Level Vision Prozessen basieren. Mittels bildgebender Verfahren wie PET (Kosslyn 1993 und 1994, 2003) und funktioneller MRT (Mechelli et al 2004, Ganis et al 2004) konnte in diesem Bereich viel zur Aufklärung beigetragen werden.

So berichten Butter et al (1997) in einer Studie über 8 Patienten mit unilateralem okzipitalem visuellen Defekt, dass sie im Vergleich zu Normalprobanden schlechter bei der Lösung von Imagery- Aufgaben (z.B. beim Vorstellen von Punkten auf der Seite ipsilateral zu ihrer Läsion) abschnitten. Analog zu Kosslyn's Modell (Abb. 3) folgerten sie daraus, dass die okzipitale Sehrinde V1 essentiell ist für den Prozess der mentalen visuellen Imagery.

Dieses Modell der visuellen mentalen Imagery von Kosslyn mit der Idee der strikten Äquivalenz zwischen Wahrnehmung und Vorstellung scheint zur Zeit das führende und am weitläufigsten akzeptierte Modell im Bereich der kognitiven Neurowissenschaften zu sein. Allerdings liegen auch Studien vor ( Behrmann 1992 ), die entgegen Kosslyn's Annahme beschreiben, dass Patienten trotz visueller Defekte keine Ausfälle im Bereich der mentalen Imagery hatten.



**Abbildung 3.** Kosslyn's Modell der visuellen mentalen Imagery. Sowohl Imagery als auch Perzeption greifen zu auf den so genannten Visuellen „Buffer“.

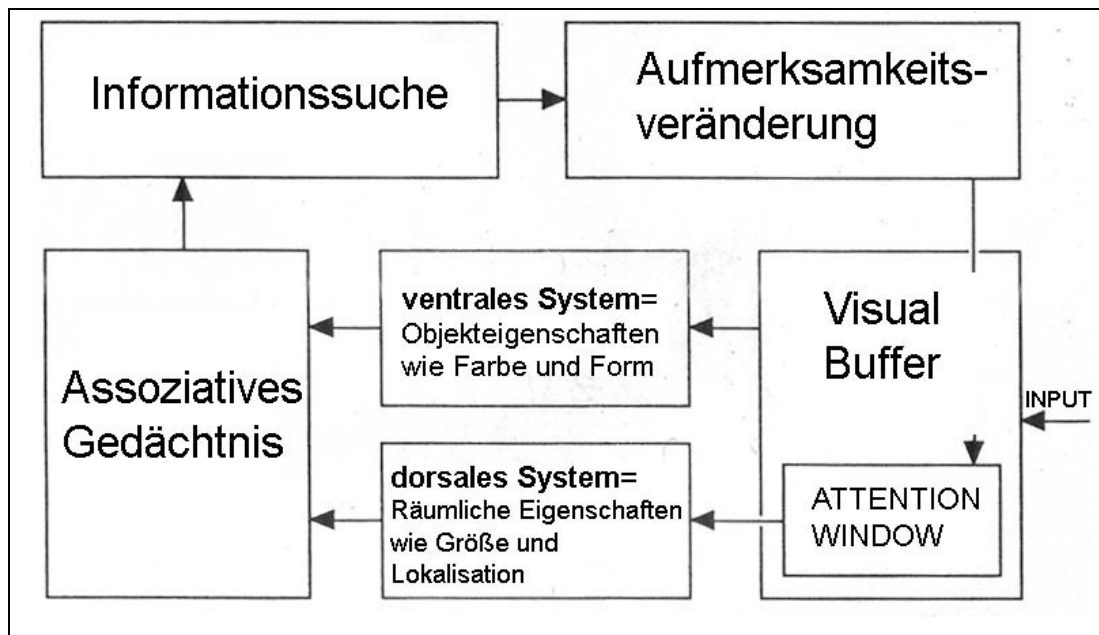
Kosslyn geht von einem visuellen Buffer, eine Art Zwischenspeicher im Bereich V1 und V2 aus, der für die Imagery top- down gesteuert Bildinhalte als quasi piktorielle Information zur Verfügung stellt und für die visuelle Perzeption Wahrgenommenes sozusagen bottom- up darstellt und für weitere kognitive Verarbeitung verfügbar macht (Kosslyn 1994, Gottschling 2003, Bartolomeo 2002).

Innerhalb dieses „Visual Buffers“ soll nach Kosslyn ein so genanntes „Aufmerksamkeitsfenster“ dafür zuständig sein, selektiv die subjektiv interessanten Submerkmale eines Bildes bzw. einer Szene fokussieren und genauer analysieren zu können.

Schon Treisman (1980) hatte das Vorhandensein eines solchen „Attention Window“ angenommen. Für die Visuelle mentale Imagery wird postuliert, dass die gleichen Subsysteme wie bei der Wahrnehmung und Analyse externer Bilder (z.B. Definition von Farbe, Form, Lage, Größe etc.) genutzt werden, um genauere Informationen über Bildinhalte zu erhalten.

In Abbildung 4 wurde versucht diese Theorie genauer zu veranschaulichen. Der im Aufmerksamkeitsfenster ausgewählte Bildausschnitt wird an 2 verschiedenen System weitergegeben, das ventrale [= WAS- System] und das dorsale System [= WO- System] (Levine 1985).

Während das ventrale System Eigenschaften wie Form und Farbe verarbeitet, werden im dorsalen System die sich aus der externen Bewegung und Handlung ergebenden Informationen sowie andere räumliche Eigenschaften verarbeitet. Der Output beider Systeme wird nun nach Kodierung an das assoziative Gedächtnis weitergeben, welches nach Meinung Kosslyns auch sensorielle Informationen erhält. Vermutlich liegt das anatomische Korrelat im posterioren inferioren Temporallappen. Hier werden die aktuellen visuellen Informationen mit gespeicherten perzeptiven Repräsentationen abgeglichen (Name, Muster etc.) und im Idealfall auch identifiziert. Bei Nicht-Identifikation wird nach Kosslyn nun zur Bereitstellung weiterer Information und Objekt-Identifikation nach passenden, gespeicherten Modellformen („matches“) gesucht. Bei dieser Suche kann bei fehlender Identifizierung über eine Aufmerksamkeitsveränderung das Aufmerksamkeitsfenster neu ausgerichtet werden, um neue oder genauere Details des Bildes bzw. der Szene zu bekommen.



**Abbildung 4 (frei nach „Image und Brain“ von S. Kosslyn):** Dargestellt sind sechs verschiedene Subgruppen des High Level Vision nach Kosslyn's Modell des Visuellen Buffers, die zusammen die Fähigkeit zur Imagery und Bildwahrnehmung erklären sollen. Visuelle Informationen erreichen den Visual Buffer und das Aufmerksamkeitsfenster (Attention Window) fokussiert die entsprechenden interessanten Details. Danach durchlaufen die gewonnenen Informationen verschiedene kognitive Funktionseinheiten. Durch Aktivierung und Vergleich von gespeicherten Bildinformationen wird entsprechend über top-down Prozesse das Attention Window neu ausgerichtet. Ventrales und dorsales System korrelieren mit anatomischen und funktionellen Informationsbahnen im Gehirn.

Für Kosslyn's Theorie ist von grundlegender Bedeutung, dass beim Generieren von Vorstellungsbildern aus dem Langzeitspeicher dieselben Prozesse wie für die gerade geschilderte visuelle Perzeption eine Rolle spielen. So muss nun bei gewünschter Vorstellung z.B. eines bekannten Gesichtes die gespeicherte visuelle Information erst einmal „entpackt“ und zurück in niedrigere Analyseebenen der Wahrnehmung, sprich in den visuellen Buffer der primären Sehrind gelangen, um dort vor dem „geistigen Auge“ inspiziert werden zu können.

Die von uns untersuchten Ähnlichkeiten (Similarity) zwischen den Scanpaths von Imagery und Wahrnehmung mit Hilfe von Auswertungsmethoden wie z.B. dem String Editing wurde von Brandt et al 1997 erstmals bei Normalprobanden und von Gbadamosi et al (2001) bei Hemianopikern untersucht. Für die Similarity- Berechnung bei simulierter Hemianopsie gibt es bis jetzt keine Untersuchungen.

## 1.6 Fragestellungen zur vorliegenden Arbeit

Bevor die Zielsetzung dieser Arbeit dargelegt wird, sollen noch ein paar generelle Fragen zum Verständnis dieser Untersuchung geklärt werden, auf die später noch näher eingegangen wird.

### *1. Worin besteht der Unterschied zwischen den beiden von uns vorgenommenen ROI („regions of interests“)- Definitionen?*

Der Unterschied der beiden ROI- Definitionen liegt in der Einteilung der Rasterung der Bilder, welche für die Errechnung der Similarities beim String Editing und der Markov Analyse notwendig ist. Die intelligente Einteilung oder „a posteriori“ rastert das Bild in für uns subjektiv wichtige Merkmale wie z.B. bei einem Gesicht die Augen, Nase, Mund etc. Die geometrische oder „a priori“ ROI - Definition teilt das betrachtete Bild in geometrisch gleichwertige Abschnitte ein, z.B. durch die Aufteilung eines Bildes in 12 Quadrate. Falls die postulierte „Feature Ring Hypothese“ auch für die Imagery-Scanpaths zutrifft, müssten bei der „a posteriori“ Definition höhere Similarities zwischen Bild und Bildvorstellung vorhanden sein, da hier die Rasterung oder ROI-Definition stärker die interessanten Details eines Bildes betont.

### *2. Warum werden drei verschiedene Aufgabenaufforderungen (TASKs) zu den Bildbetrachtungen gestellt? (EASY= normales Sehen , DETAILED= Einprägung von Details, RECOLLECTION= Beziehung der Bildmerkmalen zueinander)*

In verschiedenen anderen Arbeiten (z.B. Zangemeister et al. 1995) wurde herausgefunden, dass die Aufgabenstellung, unter der man sich ein Bild anschaut, die basalen Augenbewegungsparameter und somit die Art und Weise der Betrachtung verändert. Wir wollten herausfinden, ob dieses auch für die Similarity zwischen Betrachtung und Imagery der Fall ist, d.h. ob die Aufgabenstellung bei Bildbetrachtung auch die anschließende reproduzierte Bildvorstellung verändert, was sich über einen unterschiedlichen Similarity- Wert bei den verschiedenen TASKs zeigen könnte.



*3. Welcher Unterschied besteht zwischen den drei Berechnungsmethoden der Similarity und warum benutzen wir sie?*

Die drei verschiedenen Methoden (Vector String Editing, Regional String Editing, Markov Analyse) zur Berechnung der Similarity berücksichtigen jeweils unterschiedliche Aspekte von Scanpaths. Ob und in wiefern alle Methoden ihren Sinn und Zweck erfüllen und sie überhaupt sinnvolle Ergebnisse beim Vergleich von Scanpath liefern, wird sich erst nach Darstellung der Ergebnisse zeigen. RSE und Markov Analyse berechnen aus der Abfolge von Regions of interests (ROIs) die Similarity zweier Scanpath, die bei Bildbetrachtung fixiert werden. Bei der Markov Analyse wird die Übergangswahrscheinlichkeit berechnet, bei der auf einen Zustand A (Fixation in ROI A) ein Zustand B folgt (Fixation in ROI B). Die Similarity wird dann definiert als der Mittelwert der Übergangswahrscheinlichkeiten zweier Strings. Beim RSE werden Berechnungsmethoden aus dem Bereich von Wortkorrekturprogrammen verwendet. Das Vector String Editing stützt sich nicht auf die Definitionen von ROIs. Hier werden Strings von Vektoren der Augenbewegung verglichen.

Der Unterschied zu den anderen beiden Methoden liegt darin, dass beim VSE die Richtung der Augenbewegung in die Similarity- Berechnung eingeht, wo hingegen beim RSE nur die Ähnlichkeit zweier Strings codiert als Sequenz der fixierten ROIs bestimmt wird.

Allerdings stellten wir fest, dass von allen durchgeführten Versuchen die RSE-Vergleiche die brauchbarsten Ergebnisse lieferten.

*4. Warum haben wir unterschiedliche Bildarten ausgewählt? (realistic, abstract, search)*

Verschiedene Bildinhalte aktivieren verschiedene Muster von Bildverarbeitungsprozessen. So können abstrakte Bilder zum Beispiel vermehrt „top-down“ Prozesse aktivieren, wobei bei Search Bildern mit einfachen Suchaufgaben das „Sehen“ mehr „bottom- up“ gesteuert ist.

Außerdem wollten wir wissen, ob die TASKs oder Aufgabenstellungen sich auf die verschiedenen Bildarten unterschiedlich auswirken z.B. auf die mittlerer Fixationsdauer oder die Similarity zwischen Bild und Vorstellung etc.

### *5. Worin besteht der Sinn und Vorteil der 5°-Extramaske?*

Die eigentliche Idee hinter dem vergrößerten blinden Halbfeld war, durch den Extradefekt ein forciertes Training für Patienten- analog zu Arbeiten über Hemiplegie - zu entwickeln. Hier wurde zur Mobilisation von Restkapazitäten der gelähmten Seite die gesunde Seite arretiert.

Außerdem wollten wir durch den vergrößerten Gesichtsfelddefekt herausfinden, inwieweit das foveale Sehen, das hierbei ausgeschaltet ist, grundlegende Bedeutung für die Imagery nach einer Bildbetrachtung hat.

Dabei stellten wir fest, dass sich dieser Extradefekt negativ auf den Imagery Prozess auswirkt. In den Bildbetrachtungen unter simulierter Hemianopsie, die nach der Versuchsreihe mit dem Extradefekt durchgeführt wurden, war die Ähnlichkeit zwischen Scanpath der Bildbetrachtung und Scanpath der Imagery signifikant vermindert.

### *6. Was ist Sinn und Zweck einer simulierten Hemianopsie?*

In der Arbeit „Hemianopic visual field defects elicit hemianopic scanning“ von Tant et al. 2002 wurde beschrieben, dass simulierte HH und reale HH sehr viel Parallelen aufweisen bzw. sich die Gesichtsfelddefekte samt pathologischen Augenbewegungsmustern sehr ähneln. Viele Patienten leiden nach einem Schlaganfall an einer HH und es wird immer noch viel diskutiert, ob ein Gesichtsfelddefekt durch Rehabilitation verbessert werden kann bzw. welche Methoden am effektivsten sind (z.B. Sakkadentraining, Training von kognitiven Prozessen wie Top down Prozessen etc).

Mit einem wissenschaftlich geprüften Modell der HH -in unserem Fall eine online Simulation- kann man nun sehr einfach und effizient die Adaptation von Augenbewegung von normalen Probanden aufnehmen und analysieren, während sie mit diesem rein sensorischen Defekt konfrontiert werden.

### **1.6 Zielsetzung der Arbeit**

Wir haben in Experimenten mit Normalprobanden Augenbewegung bei der Betrachtung komplexer visueller Stimuli abgeleitet, um mit Hilfe dieser gewonnenen Daten Aussagen treffen zu können über den spontanen Adaptationsgrad und das Verhalten der Perzeption unter simulierter Hemianopsie.

Von besonderem Interesse waren für die vorliegende Studie aber die unter verschiedenen Konditionen erhaltenen Scanpath des Visual Mental Imagery, die wir mit den vorausgegangenen Bildbetrachtungen verglichen.

Wir erhofften anhand unserer Experimente etwas über die Beschaffenheit des mentalen Abbildes, seine Reproduzierbarkeit und das Verhalten der Bildvorstellung unter erschwerten Konditionen wie simulierter Hemianopsie (mit und ohne vergrößertem Gesichtsfelddefekt um  $5^\circ$ ), spezieller Aufgabenaufforderung, abstrakter Bildinhalte etc. zu erfahren. Dazu wurden jeweils zuerst die Scanpaths von Bild und mentalem Abbild dargestellt und anschließend das Ähnlichkeitsmaß (Similarity) von Bildbetrachtung und Imagery berechnet und verglichen.

Von essentieller Bedeutung im Hinblick auf unsere Arbeit war die Frage, ob Augenbewegungen und ihre Sequenz maßgebliche Bedeutung für die Visuelle Mentale Imagery haben bzw. konkret bei unseren Versuchen, ob die angestrebten Scanpath-Vergleiche zu brauchbaren Ergebnissen führen würden.

Des weiteren werteten wir auch die Sakkaden und Fixationsparameter wie Fixationsdauer, Sakkadenamplitude etc. als auch kognitive Aspekte der Blicksteuerung wie die Global-Lokal-Rate aus, um Information über die Konsistenz der mentalen und realen Bilder zu erhalten und um diese miteinander vergleichen zu können.

Dann stellte sich für uns natürlich die generelle Frage, ob simulierte Hemianopsie überhaupt wissenschaftlich fundiert eine reale Hemianopsie mit all den einhergehenden Defiziten ersetzen kann und sich als Modell für Experimente eignet.

Wir hofften außerdem mit den Versuchen unter simulierter Hemianopsie nicht nur Aussagen über Störungen im Bereich des High Level Sehens treffen zu können, sondern möglicherweise auch neue Ansätze für rehabilitative Maßnahmen, z.B. zur Verbesserung von Wahrnehmung durch Training kognitiver Mechanismen wie top-down Prozesse, zu finden.

Hierbei sollte in den 5° Extramasken Versuchen (wie oben beschrieben) herausgefunden werden, ob ein forciertes Beanspruchen von Restkapazitäten bei Vergrößerung des Gesichtsfelddefektes analog zu Arbeiten über Hemiplegie Patienten positive Langzeitauswirkung auf die visuelle mentale Imagery hat.

Konkret lassen sich fünf Fragen stellen, die es im Rahmen dieser Arbeit zu diskutieren und soweit es geht zu beantworten gilt.

1. Inwieweit wirkt sich die simulierte Hemianopsie auf die Visual Imagery aus?
2. Welche Auswertungsmethoden eignen sich am besten, um sinnvolle Aussagen über die Ähnlichkeit von Bildbetrachtung und Visual Imagery zu bekommen?
3. Welche Auswirkung hat die 5° Extramaske und inwieweit wirkt sie sich auf die Similarity von Bild/ mentalem Abbild im Vergleich zur Kontrollgruppe aus?
4. Welchen Einfluss haben in unseren Versuchen die spezifischen Aufgabenstellungen (Tasks) wie z.B. „Schauen Sie auf Details!“ oder „Schauen Sie auf die Beziehung der Bildmerkmale zueinander!“ auf die Visuelle Mentale Imagery oder kann man keinen Einfluss feststellen?
5. Wie sehen die Fixations- und Sakkadenparameter der Mentalen Abbilder bei simulierter Hemianopsie aus und lassen sich hier vielleicht Einflüsse von Aufgabenstellung oder Bildart wie z.B. Abstrakt und Realistisch feststellen?

## 2 Probanden und Methoden

### 2.1 Probandenkollektiv

Unsere Probandengruppe bestand aus 20 freiwilligen Personen aus der näheren Umgebung der am Projekt mitwirkenden Mitarbeiter der neurologischen Universitätsklinik Eppendorf. Die Versuchsteilnehmer wiesen weder visuelle noch neurologische Ausfallserscheinungen oder sonstige derartige Defizite auf.

Das Alter der Probanden lag zwischen 24 und 51 Jahren. Es nahmen genauso viele Frauen wie Männer am Versuch teil und die Auswahl erfolgte ohne Festlegung vorheriger Kriterien. Alle Teilnehmer gaben ihr erklärtes Einverständnis.

### 2.2 Versuchsanordnung

Die Probanden wurden bei den Versuchen in einem stabilisierten, vorpräparierten Stuhl so platziert, dass der Kopf durch eine mit dem Stuhl verbundene Haube fest fixiert war.

Vor dem jeweiligen Probanden positionierten wir in einem Abstand von 57 cm einen 22“ Monitor (75Hz), so dass Augenbewegung bis maximal zu einem Winkel von 15 Grad horizontal und 10 Grad vertikal bei Bildbetrachtung auf dem Bildschirm möglich waren. Die Augenbewegungsableitung erfolgte über einen Hochauflösenden Infrarot-Reflexions-Okulographen (Ober 1000). Die analogen Daten wurden von einem Analog-Digital Wandler mit einer Abtastfrequenz von 200 Hz in einen Rechner übernommen.

Vor und auch während der Gesamtmessung wurde eine basale Kalibrierung vorgenommen, ferner wurden zwischen den Einzelmessungen regelmäßig Kontroll-Kalibrierungen durchgeführt.

### 2.3 Virtuelle Hemianopsie (VHH)

Wir generierten einen Blickfelddefekt von 50% des Bildschirmes gesehen von der fovealen Augenposition aus, indem wir die horizontale Augenbewegung als Trigger nahmen. Die 50%-Maske reagierte mit einer Verspätung von 4 ms und maximal  $\pm 0,5$  Grad-Fehler.

Während eines der vier Versuchsdurchgänge wurde bei einer Probandengruppe ein zusätzlicher Gesichtsfelddefekt von 5 Grad zum virtuellen Blinden Halbfeld (BHF) hinzugefügt, den wir als Extramaske bezeichnen.

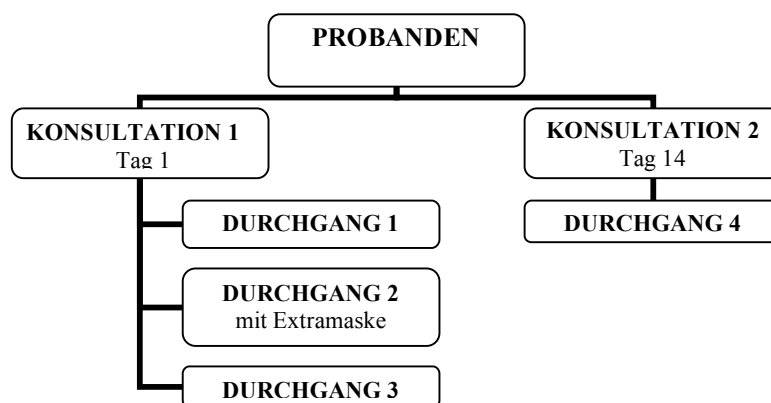
**2.4 Visuelle Stimuli , Versuchsablauf und standardisierte Vorgaben**

Nach Kalibration, bei der es kleine farbige Kreuze in der Bildschirmmitte zu fixieren und per Joystick zu bestätigen galt, wurden dem Probanden nun in drei Durchläufen Serien von 8 Bildern gezeigt. Jedes Bild einer Serie bestand aus der Sequenz 5 sec Bildbetrachtung, 2 sec Zwischenkalibration und 5 sec Bildvorstellung (Imagery) auf leerem Bildschirm.

Bei einer zweiten Konsultation im Abstand von 2 Wochen wurden die Probanden erneut einer Serie (oben beschriebenen) Bildbetrachtungen ausgesetzt, wobei in allen Versuchen das Virtuelle Blinde Halbfeld (vBHF) aktiv war.

**2.4.1 Konsultationen**

Der Versuchsablauf bestand aus 2 Konsultationen. Bei der ersten Konsultation wurden jeweils 3 Versuchsdurchgänge (Durchgang 1-3) hintereinander durchgeführt, bei der zweiten nur ein Durchgang (Durchgang 4).

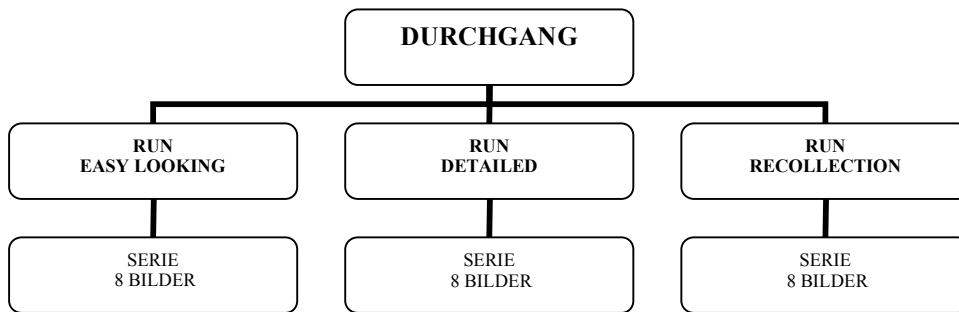


**Abbildung 1:** 2 Wochen lagen zwischen den beiden Konsultationen

**2.4.2 Versuchsablauf der Durchgänge**

Ein Durchgang bestand aus 3 RUNs: Easy Looking, Detailed, Recollection. Vor dem jeweiligen RUN wurden eine andere Arbeitsanweisungen gegeben, weswegen ein RUN im weiteren Verlauf auch als TASK bezeichnet wird.

Pro RUN sollte sich der Proband jeweils eine Serie von 8 Bildern anschauen. Die 5°-Extramaske wurde im Durchlauf 2 dazugeschaltet. Hiervon waren allerdings nicht alle Probanden betroffen, sondern nur die Hälfte der 20 Versuchsteilnehmer, um später eine Vergleichsgruppe zu haben.



**Abbildung 2:** Organigramm eines Durchganges. Eine Serie bestand aus 8 Bildern mit Zwischenkalibration und Imagery.

**2.4.3 Tasks**

Beim 1. Task *EASY LOOKING* sollte sich das ganze Bild angeschaut werden. Bei Task 2 *DETAILED* (Run detailed for memorizing) lautete die Arbeitsanweisung: „Bitte prägen Sie sich die Details ein!“. Beim letzten Task *RECOLLECTION* (Run relationships between items) wurde dem Probanden folgendes vorgelesen: „Bitte schauen Sie nach Beziehungen der einzelnen Dinge auf dem Bild zueinander!“

**2.4.4 Bildbetrachtungen**

Im Folgenden werden nun die Bilder der Bildbetrachtungen dargestellt. Die ersten drei Bilder waren realistische Kunstwerke (HOPPER, MONA LISA, MARILYN) gefolgt von 3 abstrakteren Bildern (GESICHT, HUND, BOTE), bei denen es auf höherer kognitiver Ebene versteckte Inhalte zu erkennen galt. Abschließend wurden noch zwei so genannte Searchpath dargeboten. Hier lag die Aufgabe darin, den im Bild enthaltenen Pfeil aufzufinden (siehe nächste Seite Abb. 3).

**2.5 Messverfahren und Datenanalyse**

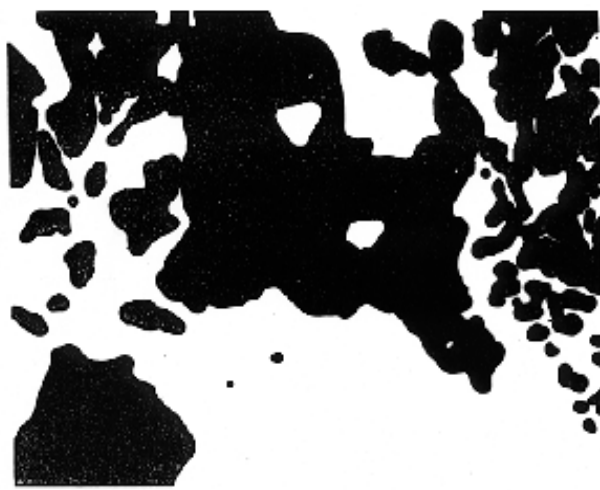
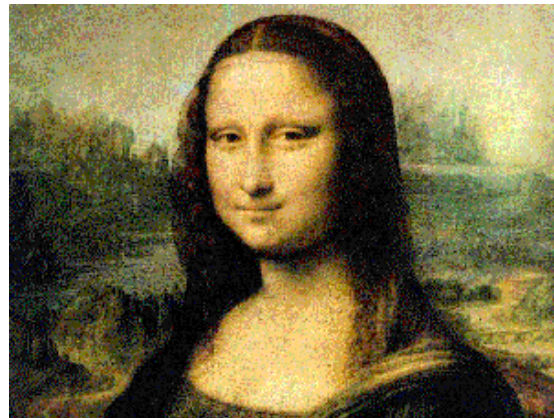
Zu Beginn der statistischen Auswertung der durch die Versuche erhobenen Daten wurden die zu betrachtenden Bilder zuerst in so genannte *Regions of interests* (ROI's) aufgeteilt. Diese Einteilung in ROI's ist ein häufig angewandtes Verfahren zur Bildbetrachtung (Stark et al 2001; Stark et Choi 1996).

Hierbei wird jedem ROI ein Label, in unserem Falle Buchstabe zugewiesen. Nun konnte jeder Fixation der Bildbetrachtung ein ROI zugeordnet werden und war somit auch eindeutig durch ein Label gekennzeichnet.

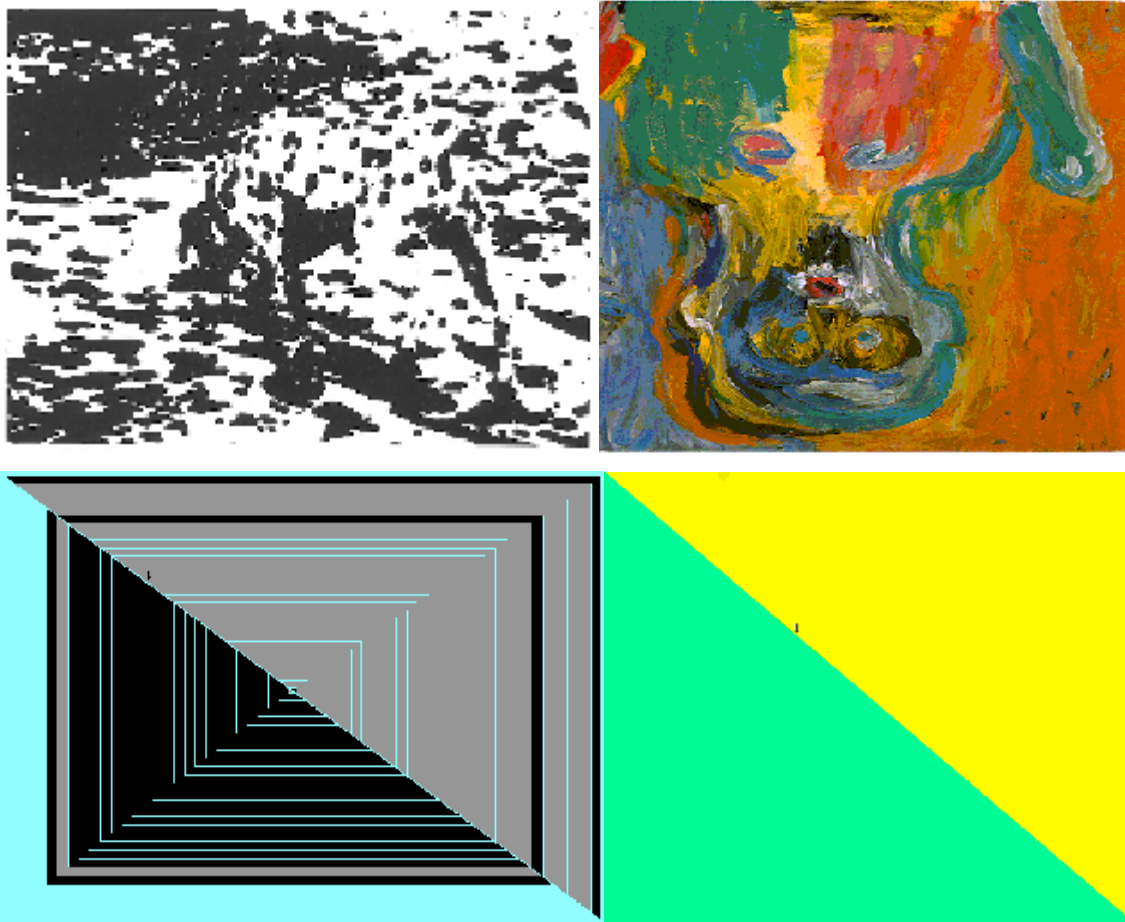
Die Anzahl der Fixationen einer mit dem Okulographen aufgezeichneten Bildbetrachtung wurde folglich codiert durch eine Sequenz von Labeln, dem so genannten String.

Nun konnten verschiedene Analyseverfahren wie das *String Editing* (Morgan 1970; Sankoff et Krusk 1983; Brandt et Stark 1997) und die *Markov Analyse* (Dynkin et Juschkewitsch 1969; Kemeny et Snell 1983; Rabiner 1986) - auf die später noch gesondert eingegangen werden soll - zum Vergleich von Strings, die wie oben beschrieben die Bildbetrachtung repräsentieren, herangezogen werden.

In dieser Arbeit wurden hauptsächlich Strings der Bildbetrachtung mit Strings der dazugehörigen Bildvorstellung (Imagery) verglichen, deren leerer Bildschirm dem Vorgängerbild entsprechend in jeweilige ROI' s unterteilt war.





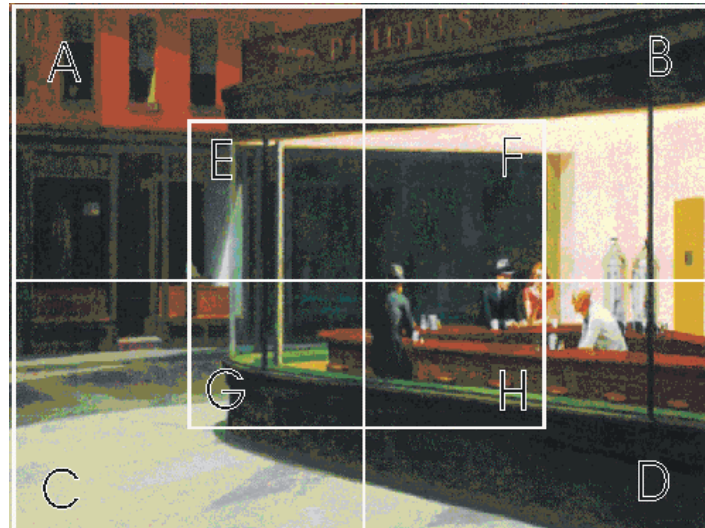


**Abbildung 3:** Die Bilder dienten in obiger Reihenfolge als visuelle Stimuli: *Realistic* (Hopper; Mona Lisa; Marilyn); *Abstract* (Gesicht; Hund; Bote); *Search* (Pfeil5, Pfeil3)

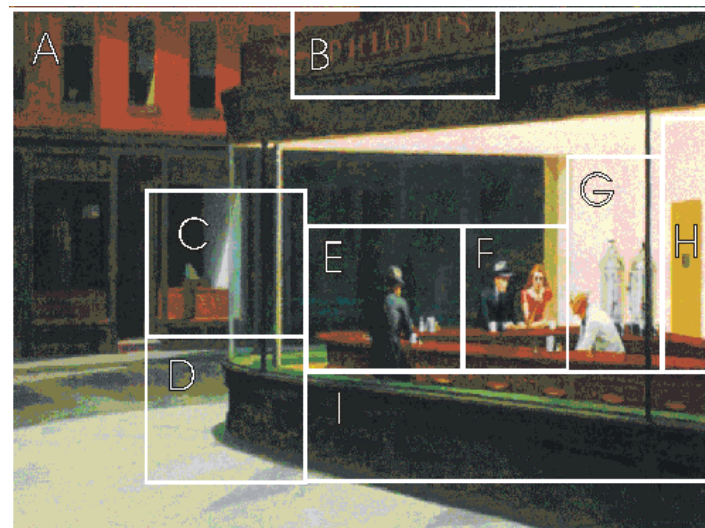
### 2.5.1 ROI- Definitionen

Es wurden zwei verschiedene Verfahren der Festlegung von ROI' s durchgeführt. Bei der ersten, *a priori* genannten ROI- Einteilung wurde das zu betrachtende Bild unabhängig von Inhalt und Szenerie in geometrisch gleichartige Abschnitte eingeteilt, die alphabetisch durch Buchstaben gekennzeichnet wurden (siehe Abb. 5).

Bei der zweiten, *a posteriori* genannten ROI- Einteilung wurden die Bilder jeweils subjektiv, nach ihrem für den Betrachter von Interesse angenommenen Inhalten und Subfeatures eingeteilt. Wir wählten die *a posteriori* ROI' s folglich so, dass die jeweils wesentlichen Merkmale der Bilder durch ROI' s gekennzeichnet waren (siehe Abb. 6).



**Abbildung 5:** ROI- Definition "a priori"



**Abbildung 6:** ROI- Definition "a posteriori"

### 2.5.2 Auswertungsmethoden

Im Folgenden werden die in dieser Arbeit angewandten Verfahren (Regional String Editing, Markov Analyse, Vektor String Editing) zum Vergleich von Bildbetrachtungen dargestellt. Die Auswertung bezog sich in unserem Falle besonders auf den Scanpath- Vergleich von Bildbetrachtung (Visual Perzeption) und Bildvorstellung (Visual Imagery). Dazu wurde für das String Editing und die Markov Analyse zuerst die oben beschriebene Regionalisierung (ROI- Definition) durchgeführt. Das Vector String Editing benötigt keine vorherige Regionalisierung.

Von jeder Auswertmethode wurde noch eine gewichtete (Vektor String Editing oder VSE) oder komprimierte Form (Markov Analyse oder MA; Regional String Editing oder RSE) zusätzlich angewandt, so dass man am Ende pro Scanpath- Vergleich 6 verschiedene Similarities (Ähnlichkeitsmaße) erhielt, die weiter ausgewertet wurden.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird folgende Beschriftung durchgeführt. Wenn z. B. eine RSE- Similarity zu D1 EASY LOOKING angegeben ist, bedeutet dies: Die Similarity bezieht sich auf den Vergleich des Strings D1 Bildbetrachtung zu dem String D1 Imagery.

### 2.5.3 Regional String Editing

String- Editing wurde ursprünglich von Computerprogrammen zur automatischen Wortkorrektur eingesetzt (Morgan 1970). Zwei Wörter werden hier miteinander verglichen, indem man die minimale Anzahl von Editier-Operationen errechnet, die nötig sind um Wort A in Wort B zu überführen. Den jeweiligen Operationen werden einzelne Gewichtungen zugeordnet. Editier-Operationen wären z.B. Löschen, Einfügen (Gewicht je =1) und Vertauschen (Gewicht=2). Die String-Distanz  $D_{ab}$  beim Vergleich der Wörter HAUS und KLAUS wäre z.B.  $D_{ab} = 3$ . Das „K“ muss eingefügt werden (Gewicht=2) und das „H“ muss in ein „L“ getauscht werden (Gewicht=1).

Bei dem Vergleich von Bildbetrachtung wird in gleicher Weise mit der Anzahl der ROI' s verfahren, den so genannten Strings.

Die maximale String-Distanz  $D_{\max}$  zweier Strings a und b mit n ROI's bei  $n_a < n_b$  errechnet sich mit:

[Gleichung 1] 
$$D_{\max}^{ab} = n_a \chi + (n_a - n_b) \delta$$

Dabei sind  $\chi$  die Kosten einer Vertauschung und  $\delta$  Kosten für eine Einfügung oder Löschung.

Die Similarity (Sim) als Maß für die Ähnlichkeit ist wie folgt definiert:

[Gleichung 2] 
$$sim = 1 - \frac{D_{ab}}{D_{\max}^{ab}}$$

In unserem Fall beim Vergleich von HAUS und KLAUS ergebe sich eine Similarity von 0,66.

#### 2.5.4 Vector String Editing

Um eine subjektive Regionalisierung durch ROI's zu umgehen, findet beim Vector String Editing eine Diskretisierung der die Fixation verbindenden Sakkaden statt.

Die Vektoren werden hinsichtlich ihrer Richtung (0 bis 360°) und ihrer Länge (0 bis maximale Länge des Gesichtsfeldes) beschrieben und es wird ein Vektoren-„Alphabet“ definiert (ein hexadezimal System mit 256 Vektoren). Der tatsächliche Sakkaden-Vektor wird nun durch den ihn am besten repräsentierenden Alphabet-Vektor ersetzt. So entsteht nun aus der Blickfolge der Bildbetrachtung so genannte Vektor-Strings, die mit dem oben beschriebenen String Editing Verfahren miteinander verglichen werden können.

Bei der gewichteten Form des Vector String Editing (wVSE für weighted VSE) wird als Kosten für die Editier-Operationen Löschen und Einfügen der Wert des gelöschten bzw. eingefügten Vektors anstatt dem String Editing Gewicht = 1 genommen, wobei beim Vertauschen der Betrag des Differenzvektors in Rechnung gestellt wird.

**2.5.5 Markov Analyse**

Eine Markov- Analyse 0. Ordnung berechnet die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter ROI fixiert wurde. Eine Markov- Analyse (MA) 1. Ordnung berechnet nun die Übergangswahrscheinlichkeit zwischen zwei Zuständen, in unserem Falle zum Beispiel die Wahrscheinlichkeit, dass ein ROI „B“ betrachtet wird, nachdem eine Fixation im ROI „A“ stattgefunden hat.

Diese Wahrscheinlichkeiten lassen sich nun in Matrizen darstellen, wobei  $p_{ij}$  die Wahrscheinlichkeit dafür ist, dass auf Fixation im ROI i eine Fixation im ROI j folgt.

**[Gleichung 3]**

$$M = \left\{ \begin{array}{c} p_{11} \dots p_{N1} \\ \downarrow \dots \downarrow \\ p_{N1} \dots p_{NN} \end{array} \right\}$$

N ist die Gesamtanzahl der ROI' s. Die Summe  $\sum_{j=1}^N p_{ij}$  von 1=j bis N ist für  $i \in [1, \dots, N]$  in jeder der Zeilen gleich 1 ( $\sum_{j=1}^N p_{ij} = 1$ ), d.h. also die Summe der Wahrscheinlichkeiten ist in jeder Zeile 1.

Hacisalihzade et al. (1992) entwickelten nun ein auf dieser Markov- Analyse 1.Ordnung beruhendes System der ROI- String- Vergleiche. Dabei wird die Markov- Distanz zwischen zwei Bildbetrachtungen definiert als mittlere betragsmäßige Differenz der Elemente der zugehörigen Markov- Matrizen.

Für zwei Bildbetrachtungen A und B mit N ROI' s gilt:

**[Gleichung 4]**

$$D_{MA}^{ab} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N | p_{ij}^a - p_{ij}^b |$$

Dabei ist die maximale Markov- Distanz zwischen A und B mit jeweils N ROI' s  $2N$ , womit die Markov- Similarity wie folgt berechnet wird:

**[Gleichung 5]**

$$S_{MA}^{ab} = 1 - \frac{D_{MA}^{ab}}{2N}, \quad S_{MA}^{ab} \in [0,1]$$

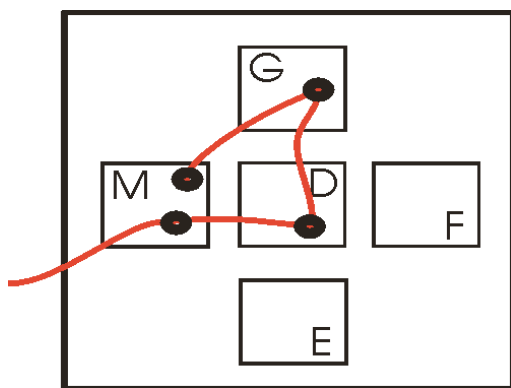
Identische Strings haben so eine Similarity von 1, komplett gegensätzliche Strings eine Similarity von 0.

Bei den Komprimierungsverfahren, sowohl beim Regional String Editing (compressed RSE) als auch bei der Markov Analyse (compressed MA) werden bei einer Wiederholung von ROI- Fixationen identische Zeichen solange gelöscht, bis es keine Mehrfachfixationen innerhalb eines Strings mehr gibt (Choi et al 1995).

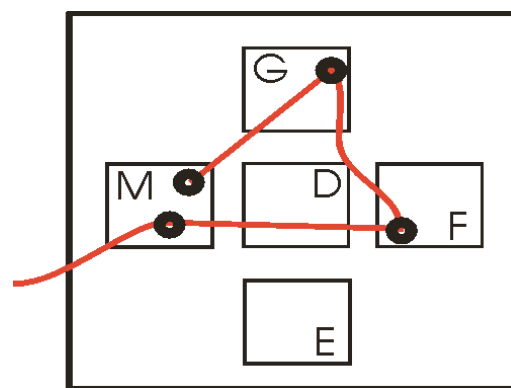
Beispiel: Aus dem String AFDDDDGE wird AFDGE

**2.5.6 Anschauliches Beispiel zur Markov- Analyse:**

Vergleich zweier Strings A und B mittels Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeiten in Form von Matrizen. Die Markov- Distanz (siehe oben) resultiert aus der mittleren betragsmäßigen Differenz der Matrixelemente.



**String A= “-MDGM”**



**String B= “-MFGM**

**String A= “-MDGM”**

**String B= “-MFGM**

-	M
M	D
D	G
G	M

-	M
M	F
F	G
G	M

Matrix A:

	-	M	D	F	E	G
-	0	1	0	0	0	0
M	0	0	1	0	0	0
D	0	0	0	0	0	1
F	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0
G	0	1	0	0	0	0

Matrix B:

	-	M	D	F	E	G
-	0	1	0	0	0	0
M	0	0	0	1	0	0
D	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	1
E	0	0	0	0	0	0
G	0	1	0	0	0	0

In diesem Beispiel wäre die *Mittlere Markov -Distanz*:  **$D_{MA} = 4/36$**

**2.6 Statistik und Datenauswertung:**

Zuerst wurden bei den aufgezeichneten Augenbewegungen der Bildbetrachtungen die Fixationen berechnet. (Fixation: > 150 msec, 0/5 °, ±1° area) Für weitere Analysen wurden außerdem Fixationsanzahl und Dauer, sowie die mediane bzw. mittlere Sakkadenamplitude und der Global/Lokal-Index (siehe unten) durch die spezielle Software EyeTrack 1.24 by Oechsner et Zangemeister (Stark et Choi 1996; Zangemeister et al. 1995, 1999, 2002) gewonnen und die Daten zum Sortieren in ein Tabellenkalkulationsprogramm übertragen.

Die statistische Analyse wurde mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS 12 durchgeführt.

Die Bildbetrachtung/ Imagery Vergleiche und die Imagery/ Imagery Vergleiche wurden ebenfalls mit EyeTrack errechnet und in SPSS übernommen. Es ergab sich hierbei durch die 20 Probanden, den oben erklärten Versuchsaufbau und den oben dargestellten Auswertungsmethoden eine Anzahl von 7680 Similarities, die es statistisch auszuwerten galt.

Die erhobenen Daten wurden mit dem F-Test (Levene) und Kolmogorov- Smirnov-Anpassungstest auf Normalverteilung geprüft. Im Falle einer Normalverteilung wurde der zweiseitige Student' s t-Test mit einer Signifikanzschwelle von  $p < 0,05$  verwendet. Bei Nichtvorliegen kam der U -Test von Mann – Whitney mit gleicher Signifikanzschwelle zum Einsatz. Das Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  wurde gewählt um die Ergebnisse mit anderen Arbeiten, die größtenteils die gleiche Signifikanzschwelle verwenden, vergleichen zu können.

Zur statistischen Evaluation der Gruppenunterschiede in Bezug auf Gruppe, Task (Detailed, Easy Looking, Recollection) und Bildbeschaffenheit (realistic, abstract, search) wurde zusätzlich die Nichtparametrische Varianzanalyse (ANOVA ) eingesetzt.

Die so erhobenen Ergebnisse wurden in verschiedenen Diagrammen wie Boxplots, Linien und Balken dargestellt.

## **2.7 Global/ Lokal- Index**

Der Global/ Lokal-Index errechnet sich aus dem Quotienten von einer Anzahl von Sakkaden über einer gesetzten Schwelle und der Anzahl unter dieser Schwelle. Anhand dieser Parameter kann man nun annähernde Aussagen über Raumgreifendes versus Detailorientiertes Sehen machen. In unserem Falle betrug die Schwelle  $1^\circ$ . Das heißt folglich, dass ein hoher Index für eher Globales, Raumgreifendes steht und ein niedriger für eher lokale Augenbewegung.



## 3 Ergebnisse

### 3.1. Analyse der Bildbetrachtung/ Imagery Similarities bei EASY LOOKING

Die Darstellung der Ergebnisse ist wie folgt gegliedert:

Zuerst werden die Similarity- Vergleiche des *Easy Looking* für die Verfahren Region String Editing, Vector String Editing und Markov- Analyse dargestellt.

Dann folgt die Gegenüberstellung der „a posteriori“ und „a priori“ - Ergebnisse der erhobenen Daten. Weiterhin werden die Similarities bei den Probanden mit der 5° - Extramaske mit denen ohne erweitertes blindes Halbfeld verglichen.

Danach werden die Ergebnisse der Similarity unter Berücksichtigung der Aufgabenstellung, den so genannten TASKs dargestellt. Abschließend werden die Ergebnisse der Fixationsparameter bei Visual Imagery wie mittlere Sakkadenamplitude, Fixationsanzahl und Dauer sowie Global/ Lokal-Index präsentiert.

Zur Erläuterung der Beschriftung:

Die Bezeichnung D1 steht z.B. für den Vergleich Bildbetrachtung zu Imagery des gesamten Probandenkollektivs für die Bildbetrachtung EASY LOOKING im ersten Durchgang. (siehe Probanden und Methoden)

Des Weiteren werden für die Auswertungsverfahren folgenden Abkürzungen benutzt:

RSE und cRSE für Region String Editing und seiner komprimierten Form, MA und cMA für die Markov- Analyse samt seiner komprimierten Form und VSE und wVSE für Vector String Editing und seiner gewichteten Form.

Im Appendix sind einige der Scanpaths der EASY LOOKING Versuche für ausgewählte Probanden und Bildbetrachtungen mit bereits berechneten Fixationen zur besseren Veranschaulichung der nun aufgeführten Ergebnisse dargestellt. (siehe Abbildung A1-A3)

### **Darstellung der Similarities bei EASY LOOKING**

Hinsichtlich der Vergleiche der Similarities für Easy Looking mit Hilfe der „a priori“ - Auswertung ergaben sich kaum nennenswerten Differenzen innerhalb der einzelnen Verfahren für die verschiedenen Durchgänge. Allerdings unterschied sich das Wertenniveau zwischen den Verfahren beträchtlich voneinander. So wurde bei dem Vector String Editing Verfahren kaum Similarities oberhalb von 0,1 erhoben, wobei das gewichtete wVSE –Verfahren kaum Werte unter 0,7 ergab.

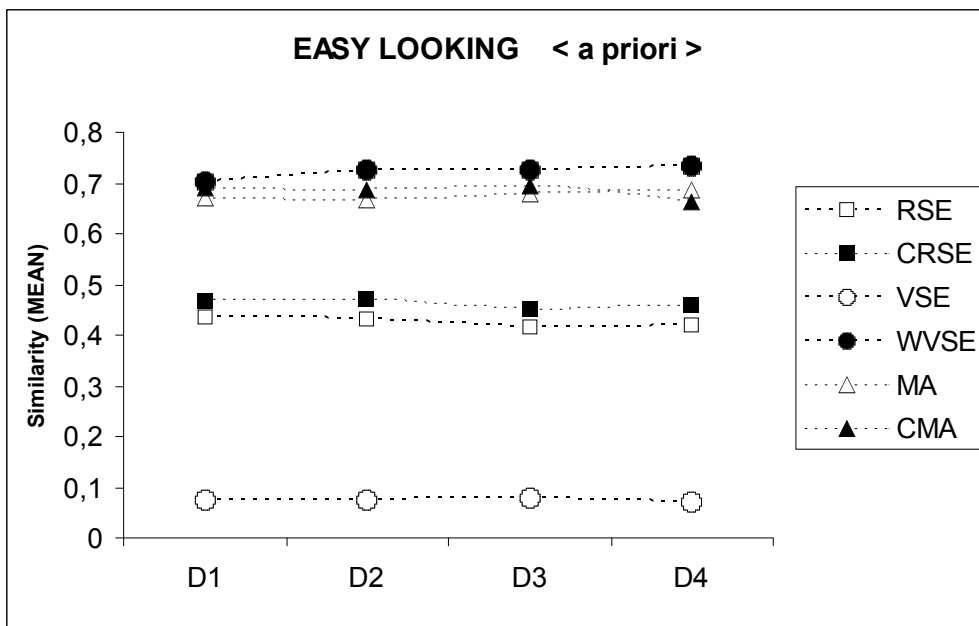
Bei der „a priori“ ROI- Definition für Easy Looking ergab also der Vergleich der Betrachtungen D1 bis D4 keine signifikanten Unterschiede ( $p < 0,05$ ).

Auch für die „a posteriori“ - Auswertung gab es für die Similarities innerhalb eines Verfahrens für alle 4 Durchgänge kaum signifikante Unterschiede.

Es folgt die Darstellung der Daten in Liniendiagrammen und die Beschreibung zu den einzelnen Verfahren. Genauere Darstellung wie Boxplots und Signifikanztabellen für alle Vergleiche sowie ihre Standardabweichung finden sich überwiegend im Appendix. Boxplots sind Diagramme auf der Grundlage des Median, der Quartile und Extremwerte. Die Box stellt den Interquartilbereich mit 50% der Werte dar. Die von der Box ausgehenden Linien führen jeweils bis zum höchsten und niedrigsten Wert, ohne Ausreißer zu berücksichtigen. Die quer über die Box gelegte Linie gibt die Lage des Median wieder.

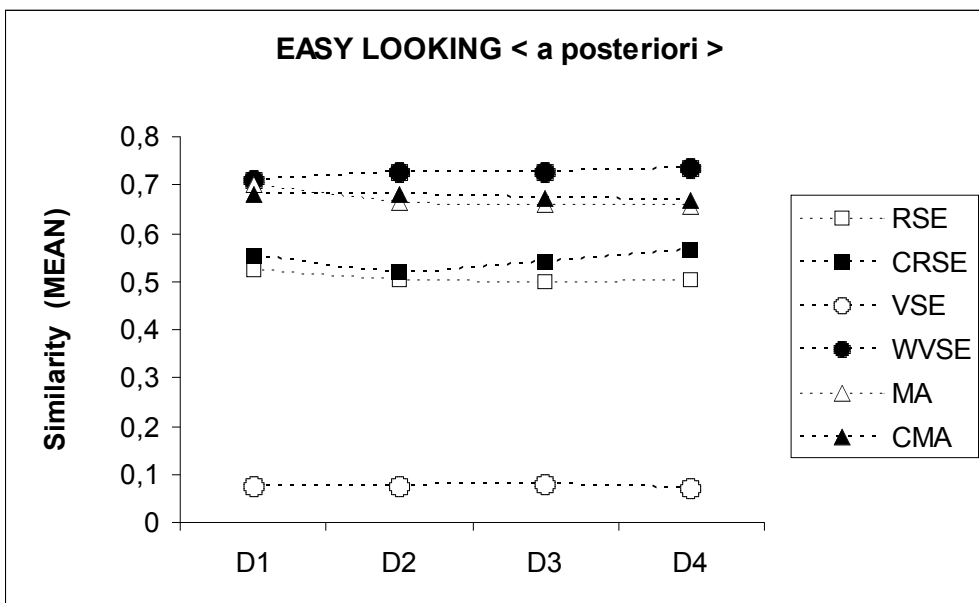
Für die Signifikanztabellen wurde als Schwelle signifikante Unterschiede bei Similarity -Vergleichen  $p < 0,05$  gewählt.

Anhand dieser oft gewählten Signifikanzschwelle lassen sich die dargestellten Ergebnisse mit anderen Arbeiten gleicher oder ähnlicher Thematik besser vergleichen.



**Abbildung 1:** Similarity der „A PRIORI“ – Auswertung für die verschiedenen Durchgänge und Verfahren. Gegenüberstellung der durch die Verfahren berechneten Similarities für alle 4 Durchgänge. Dargestellt ist der Mittelwert der gemessenen Verteilung für die Vergleiche Bildbetrachtung/ Imagery D1 bis D4. Es liegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Durchgängen innerhalb eines Verfahrens vor.

□ RSE=Regional String Editing, ■ cRSE= komprimiertes RSE, ○ VSE= Vektor String Editing, ● wVSE= gewichtetes VSE, △ MA= Markov Analyse, ▲ cMA= komprimierte MA.



**Abbildung 2:** Similarity der „A POSTERIORI“ – Auswertung für die verschiedenen Durchgänge und Verfahren. Gegenüberstellung der durch die Verfahren berechneten Similarities (Bild zu Imagery) für alle 4 Durchgänge. Dargestellt ist der Mittelwert der gemessenen Verteilung für die Vergleiche Bildbetrachtung/ Imagery D1 bis D4. Signifikant mit  $p=0,03$  ist der Vergleich cRSE D2 zu D4 (Abkürzung siehe Abb.1).

**Zusammenfassung der Verfahren:****Regional String Editing:**

Die beiden Verfahren RSE und cRSE kamen annähernd zu den gleichen Ergebnissen, wobei die komprimierte Form sowohl bei „a priori“ als auch bei „a posteriori“ immer mit der Similarity über der normalen Form lag. Bei „a priori“ gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuch D1 bis D4. Die Similarity lag ziemlich konstant im Bereich von ca. 0,45. Bei der „a posteriori“ - Auswertung fällt auf, dass es bei dem Verfahren mit String-Kompression bei D2 zu einer Art Senke kommt und dann die Werte bis D4 ansteigen, wobei die normale Form ähnlich wie bei „a priori“ relativ konstant bleibt. Der Vergleich zwischen D2 und D4 ist mit  $p < 0,05$  signifikant ( $p = 0,03$ ) und auch D1 zu D2 mit  $p = 0,1$  ist annähernd signifikant. Hier wäre der Einfluss der Extramaske bei der Hälfte der Probanden möglicherweise als Ursache der Senke mit nachfolgendem Anstieg (Trainingseffekt) zu diskutieren.

**Vector String Editing:**

Beim Vector String Editing gab es keinerlei Signifikanzen oder Tendenzen. Die Werte blieben auf niedrigem Wertenniveau unter 0,1. Die gewichtete Form wVSE blieb annähernd konstant für alle Vergleiche mit ihrer Similarity um 0,7. Die Ergebnisse beim vektorialen String-Editing änderten sich also durch alle Versuche und Aufgaben kaum, so dass für unsere Fragestellungen hier keine Aussagen getroffen werden können. Auch der Vergleich einzelner Werte von Einzelprobanden oder sogar Einzelbetrachtungen bestätigte, dass durch das Vector String Verfahren immer annähernd gleiche Similarities berechnet werden. Diese Tendenz, die allerdings auch bei den anderen Verfahren im EASY LOOKING von D1 bis D4 zu beobachten war, kam hier am deutlichsten zum Vorschein.

Bei der Boxplot-Darstellung Abb. 1&2 im Appendix sieht man am besten, dass die Streuung der Einzelwerte wesentlich geringer ausfällt als bei den anderen Verfahren.

Da dieses Verfahren ohne Regionalisierung – also ROI- Definitionen – arbeitet, kam es bei „a priori“ und „a posteriori“ zu gleichen Ergebnissen.

**Markov Analyse:**

Bei der Markov- Analyse wurden insgesamt die höchsten Similarity- Werte gefunden, wobei die komprimierte Form im Großteil der Fälle immer über der normalen, unkomprimierten Form lag. Ansonsten ist bei der „a priori“ ROI - Definition die relative Lage der Mediane und Mittelwerte von D1 bis D4 immer ähnlich zueinander und es gibt weder signifikante Unterschiede noch Tendenzen (siehe Signifikanztabellen Appendix Abb. 3).

Bei den Medianen der „a posteriori“ Similarities (siehe Boxplots Appendix Abb. 2) der normalen Form und der komprimierten Form fällt auf, dass die Werte von D1 bis D3 fallen, um dann bei D4 (nach 2 Wochen) wieder etwas zu steigen. Beim Mittelwertsvergleich der normalen Form allerdings fällt die Similarity von D1 bis D4 (siehe Abb.2). Die Unterschiede der Similarities mit  $p=0,16$  beim Vergleich D1 zu D4 und  $p=0,19$  beim Vergleich D1 zu D3 sind zwar nicht signifikant, aber lassen die Tendenz vermuten, dass die Similarity im Verlauf der Durchgänge abnimmt.

**3.2 Vergleich „a posteriori“/ „a priori“ – Auswertung**

Es folgt die Darstellung der Gegenüberstellung der beiden ROI- Definitionen als Grundlage für die von uns gewählten Auswertverfahren (String Editing und Markov Analyse). Auf die statistische Auswertung des Vector String Editing wurde verzichtet, da die Similarities bei diesem Verfahren nicht mit den hier zu vergleichende Regionalisierungsdefinitionen berechnet werden.

Die erhobenen Daten werden anschließend dargestellt in Balkendiagrammen. Signifikanztabellen und Boxplots für die Region String Editing Vergleiche finden sich im Appendix Abb. 5, 6 und 9. Für die Signifikanztabellen wurde als Schwelle signifikante Unterschiede bei Similarity- Vergleichen  $p<0,05$  gewählt.

**Regional String Editing**

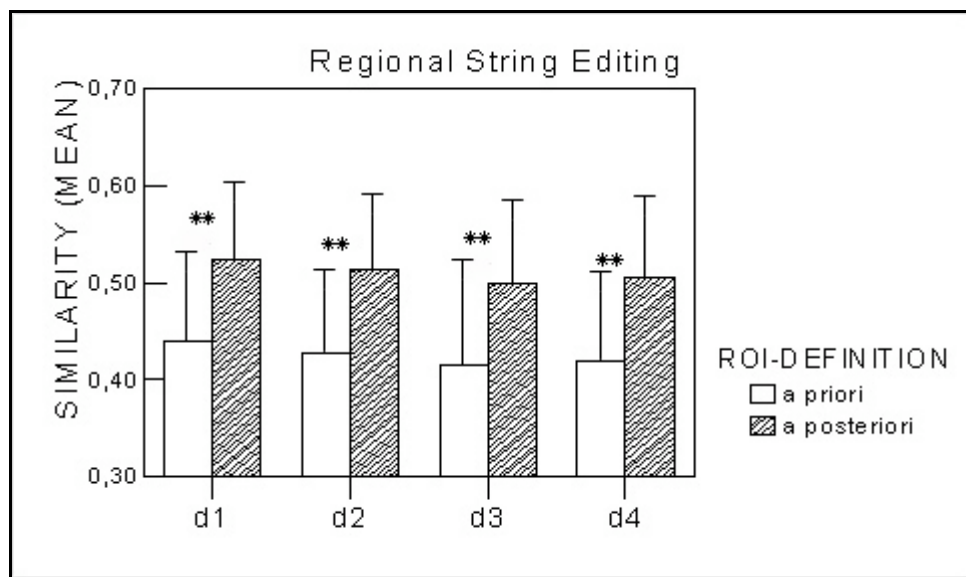
Bei dem Vergleich „a priori“ – Auswertung eines Durchganges zur „a posteriori“ – Auswertung kommt es für das Region String Editing (RSE) für alle Versuche zu hochsignifikanten Unterschieden ( $p<0,001$ ).

Bei der komprimierte Form (cRSE) sind ebenfalls erwartungsgemäß alle Vergleich bis auf D2 a priori / D2 a posteriori hochsignifikant. Der D2 – Vergleich mit  $p=0,014$  ist trotz seiner Signifikanz der Vergleich mit der niedrigsten Unterschiedlichkeit.

In dem weiter unten aufgeführte Balkendiagramm lässt sich auch neben der relativ niedrigen Signifikanz für D2 auch die in 3.1 erwähnte „Senke“ bei D2 erkennen und das Ansteigen der „a posteriori“ Werte von D2 bis D4.

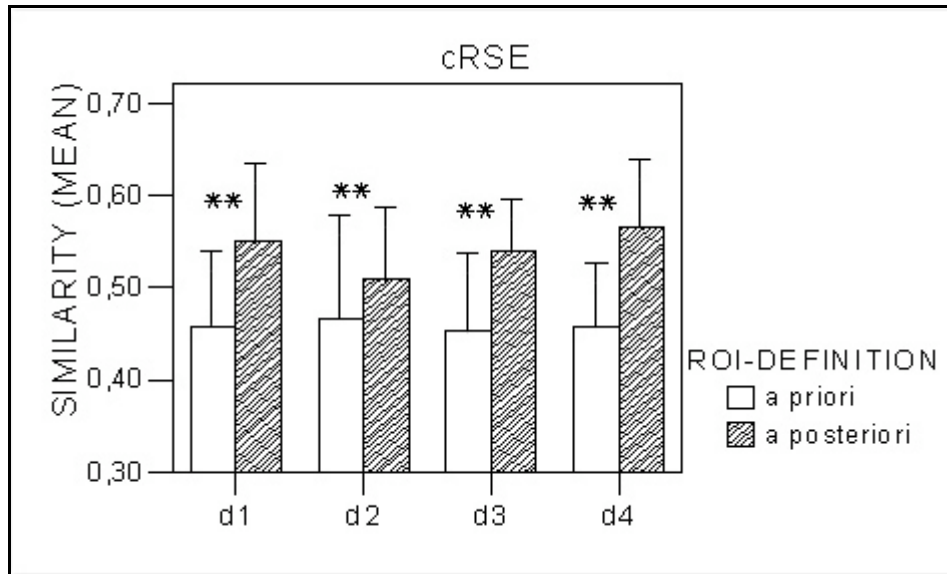
Beim Betrachten der p-Werte des Regional String Editing „a priori“/ „a posteriori“ – Vergleichs ist die Tendenz zu erkennen, dass die Signifikanz von D1 zu D3 ansteigt, um bei D4 wieder etwas zu sinken. Bei der komprimierten liegt bei D4 der niedrigste p-Wert von  $p=0,00032$  vor (siehe Appendix Signifikanztabelle Abb.9).

Bis auf D2 sinken auch hier die p-Werte von D1 bis D4, was einem Ansteigen der Unterschiedlichkeit entspricht.



**Abbildung 3:** Similarity der „A PRIORI“ und „A POSTERIORI“ – Auswertung für RSE im Vergleich. Die Gruppenaufteilung für den jeweiligen Durchgang erfolgt nach ROI- Definition („a priori“ und „a posteriori“). Der Unterschied der Similarities für „a priori“ und „a posteriori“ der einzelnen Durchgänge ist durchgehend hochsignifikant.

[ $p<0,05$  signifikant,  $p<0,01$  hochsignifikant]



**Abbildung 4:** Similarity der „A PRIORI“ und „A POSTERIORI“ – Auswertung für cRSE im Vergleich. Die Gruppeneinteilung für den jeweiligen Durchgang erfolgt nach ROI- Definition („a priori“ und „a posteriori“). Die Similarities der „a priori“ und „a posteriori“ – Auswertung sind für D1, D3+D4 hochsignifikant unterschiedlich. Für den Vergleich D2 liegt mit  $p=0,014$  ein annähernd hochsignifikanter Unterschied vor.

[ $p<0,05$  signifikant,  $p<0,01$  hochsignifikant]

### Markov Analyse

Bei der Markov – Analyse zeigten sich wider Erwarten keine signifikanten Unterschiede. Die hohen p-Werte bei D1 cMA von  $p=0.9$  zeigen die Ähnlichkeit der Similarities beider ROI- Definitionen („a priori“ und „a posteriori“) auf. Im Gegensatz zur Region String Auswertung scheint hier die ROI – Definition wenig Einfluss auf die Similarity der Bildbetrachtungen zu haben (siehe Abb. 5+6).

Die Similarities der „a posteriori“ Auswertung liegen zwar im Gegensatz zum String Editing in den meisten Fällen unter denen der „a priori“ - Auswertung, aber die Signifikanzschwelle wird nie erreicht.

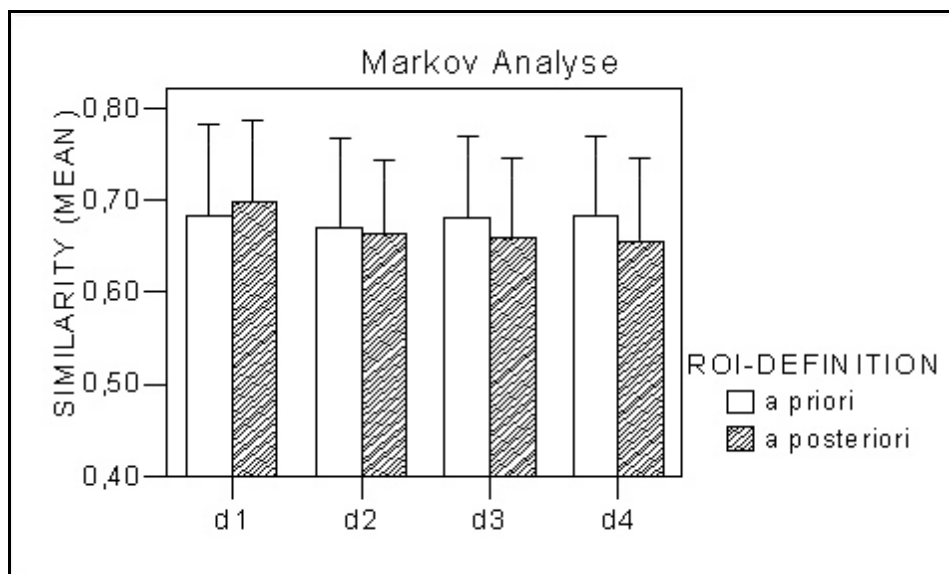
In den unten aufgeführten Balkendiagrammen kann man das – in 3.1 erwähnte – Absinken der Similarity- Werte von D1 nach D4 der normalen Form gut erkennen. Bei der komprimierten Markov Analyse ist die Tendenz zwar auch zu erkennen, aber deutlich weniger ausgeprägt als bei der nicht- komprimierten Form.

Boxplots und Signifikanztabellen für die Vergleiche der Markov Analyse finden sich im Appendix Abb.7-9.

**Zusammenfassung des „a priori“/ „a posteriori“ - Vergleiches:**

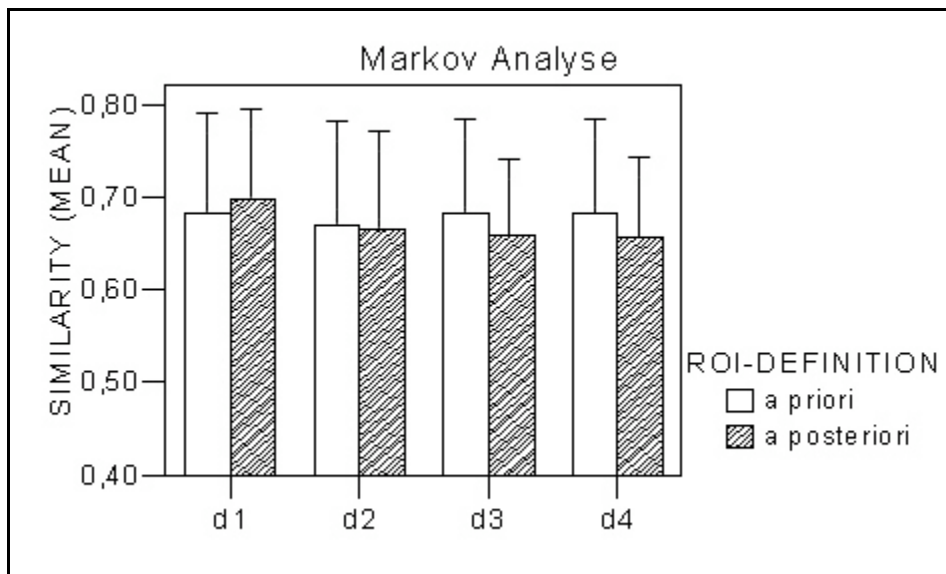
Beim Regional String Editing Verfahren sind die Similarity Vergleiche der beiden verschiedenen ROI Auswertungen „a priori“ und „a posteriori“ nahezu durchgängig hoch signifikant ( $p < 0,001$ ) unterschiedlich. Bei der Markov'schen analytischen Auswertung scheint beim „a posteriori“ die Similarity von D1 nach D4 zu sinken, also mit zunehmender Wiederholung der Bildbetrachtung, wobei sie bei der „a priori“ - Auswertung relativ konstant bleibt.

Ein signifikanter Unterschied der Vergleiche beider ROI - Definitionen liegt allerdings nicht vor.



**Abbildung 5:** Similarity der „A PRIORI“ und „A POSTERIORI“ – Auswertung für die Markov Analyse im Vergleich. Die Gruppeneinteilung für den jeweiligen Durchgang erfolgt nach ROI- Definition („a priori“ und „a posteriori“). Bei der Markov Analyse wird der Similarity- Verlust von D1 nach D4 bei der „a posteriori“ ROI- Definition deutlich, wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den ROI- Definitionen für die jeweiligen Durchgänge vorliegen. (Signifikanz siehe Appendix Abb.9)





**Abbildung 6:** Similarity der „A PRIORI“ und „A POSTERIORI“ – Auswertung für die komprimierte Markov Analyse im Vergleich. Die Gruppeneinteilung für den jeweiligen Durchgang erfolgt nach ROI- Definition („a priori“ und „a posteriori“). Auch bei der cMA wird der Similarity – Verlust von D1 nach D4 bei der „a posteriori“ ROI- Definition deutlich, wobei auch hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den ROI- Definitionen für die jeweiligen Durchgänge vorliegen. (Signifikanz siehe Appendix Abb.9)

### 3.3 Similarities bei 5° - Extramaske

Im Folgenden werden nun die Ergebnisse bei der Gegenüberstellung Probanden *mit* versus Probanden *ohne* 5° - Extramaske dargestellt.

Wie unter PROBANDEN UND METHODEN schon erwähnt, wurde das Probandenkollektiv in zwei Gruppen unterteilt. Der einen Gruppe wurde zum versuchsbegleitend vorhandenem virtuellen blinden Halbfeld (vBHF) in Durchlauf 2 eine 5° - Extramaske hinzugefügt (vergrößertes vBHF). Dieses geschah unter der Fragestellung, ob ein zusätzlich geschaltetes Gesichtsfelddefizit die motorischen (z.B. Sakkaden und Fixationen) und kognitiven (z.B. Imagery) Aspekte des „Sehens“ nachhaltig und zum auftretenden Zeitpunkt in irgendeiner Weise beeinflusst.

Die erhobenen Daten werden nun anschließend in Balkendiagrammen, Signifikanztabellen und Boxplots dargestellt. Boxplots sind Diagramme auf der Grundlage des Median, der Quartile und Extremwerte. Die Box stellt den Interquartilbereich mit 50% der Werte dar. Die von der Box ausgehenden Linien führen jeweils bis zum höchsten und niedrigsten Wert, ohne Ausreißer zu berücksichtigen.

Die quer über die Box gelegte Linie gibt die Lage des Median wieder. Für die Signifikanztabellen wurde als Schwelle signifikante Unterschiede bei Similarity-Vergleichen  $p < 0,05$  gewählt. Anhand dieser oft gewählten Signifikanzschwelle lassen sich die dargestellten Ergebnisse mit anderen Arbeiten gleicher Thematik besser vergleichen.

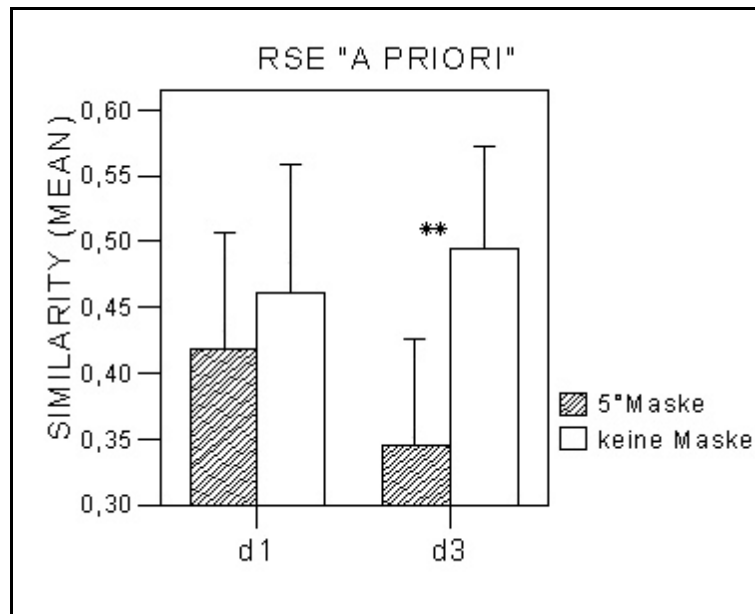
Die Ergebnissen werden nach den Auswertungsmethoden (Region String Editing, Vektor String Editing und Markov Analyse) gruppiert besprochen. Es erfolgt zuerst die Gegenüberstellung von D1 und D3, um die Auswirkungen der Extramaske in D2 zu veranschaulichen.

Die „a priori“ ROI- Auswertung wird zuerst dargestellt. Dann folgen die „a posteriori“ - Ergebnisse. Die Präsentation der Ergebnisse in Boxplot- Diagrammen findet sich am Schluss der Darstellungen im Appendix.

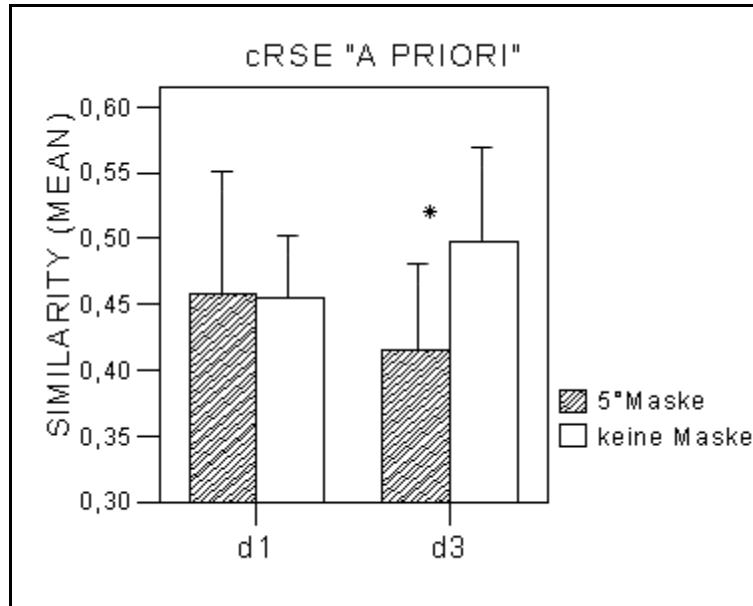
#### **Regional String Editing der „a priori“ – Auswertung bei 5° - Extramaske:**

Beim Region String Editing der „a priori“ - Definition ist der Similarity- Vergleich der Probandengruppe *mit* und der Probandengruppe ohne 5°- Extramaske im Durchlauf 3 mit  $p = 0,0008$  *hochsignifikant* ( $p < 0,001$ ) unterschiedlich. Bei D1 liegt - wie zu erwarten war - noch kein signifikanter Unterschied vor. Besonders auffällig ist, dass die Similarity der Probandengruppe mit Extramaske von D1 nach D3 von 0,42 auf 0,344 fällt und die Similarity der Probandengruppe ohne Extramaske von 0,46 auf 0,49 steigt. Diese auffälligen Beobachtungen sind statistisch allerdings nicht signifikant (siehe Balkendiagramm Abb. 7 und Signifikanztabelle Abb.9).

Bei der komprimierten Form liegen ähnliche Ergebnisse vor, wobei der D3- Vergleich [Maske/ keine Maske] mit  $p = 0,028$  *nur signifikant* ( $p < 0,05$ ) ist. Die Similarity der Extramaskengruppe sinkt von 0,485 auf 0,41 und steigt bei der Gruppe ohne Extramaske von 0,456 auf 0,5. Beim D1-Vergleich liegt keine Signifikanz vor. Die Bildbetrachtungen sind sich mit  $p = 0,945$  sogar erwartungsgemäß sehr ähnlich (siehe Abb.8).



**Abbildung 7:** Darstellung des Similarity- Mittelwerte bei RSE für den Vergleich Maske/ keine Maske D1 und D3 der „a priori“ - Auswertung. Bei D3 liegt ein hochsignifikanter Unterscheid vor ( $p=0,0008$ ). Die Extramaske führt also dazu, dass die Similarity zwischen Imagery und Bildbetrachtung stark abfällt.



**Abbildung 8:** Darstellung des Similarity –Mittelwerte bei cRSE für den Vergleich Maske/ keine Maske D1 und D3 der „a priori“ – Auswertung. Bei D3 liegt ein signifikanter Unterscheid ( $p=0,028$ ) vor. Das Balkendiagramm zeigt auch bei der komprimierten Form, dass die Similarity zwischen Imagery und Bildbetrachtung bei Probandengruppe mit Extramaske abfällt.

[ $p<0,05$  signifikant,  $p<0,01$  hochsignifikant]

**Signifikanztabellen für RSE, cRSE der „a priori“ - Definition:**

RSE	MW	STAB	p
D1mask	0,42	0,09	
D1nomask	0,46	0,111	0,38685765
D3mask	0,344	0,076	
D3nomask	0,49	0,084	0,00080192

cRSE	MW	STAB	p
D1mask	0,458	0,1	
D1nomask	0,456	0,05	0,94546495
D3mask	0,41	0,07	
D3nomask	0,5	0,08	0,02835887

RSE	MW	STAB	p
D1mask	0,42	0,09	
D3mask	0,344	0,076	0,065
D1nomask	0,46	0,111	
D3nomask	0,49	0,084	0,47

cRSE	MW	STAB	p
D1mask	0,458	0,1	
D3mask	0,41	0,07	0,28
D1nomask	0,456	0,52	
D3nomask	0,5	0,08	0,2

**Abbildung 9:** Signifikanztabellen für RSE, cRSE der „a priori“ – Auswertung.  
 Es sind dargestellt die Similarity- Vergleiche der Probandengruppen [ Maske / keine Maske ] für D1 und D3, sowie die Vergleiche [Maske / Maske] D1 zu D3 und [ keine Maske / keine Maske] D1 zu D3. Hochsignifikant unterschiedlich ist der Vergleich [Maske / keine Maske] D3; RSE ( $p < 0,001$ ) und signifikant ( $p < 0,05$ ) der Vergleich [Maske / keine Maske] D3; cRSE.  
 Der Vergleich RSE D1 zu D3 [Maske / Maske] ist mit 0,065 annähernd signifikant.

[ STAB= Standartabweichung, MW= Mittelwert ]

**Regional String Editing der „a posteriori“ – Auswertung bei 5° - Extramaske:**

Entsprechend der Ergebnisse der „a priori“ – Auswertung liegt auch beim Vergleich D3 [Maske/ keine Maske] der „a posteriori“ ROI – Definition mit  $p=0,03$  ein signifikanter Unterschied der beiden Probandengruppen vor. Allerdings ist die Signifikanz niedriger als bei der „a priori“ -Auswertung (siehe Signifikanztabelle Abb. 11).

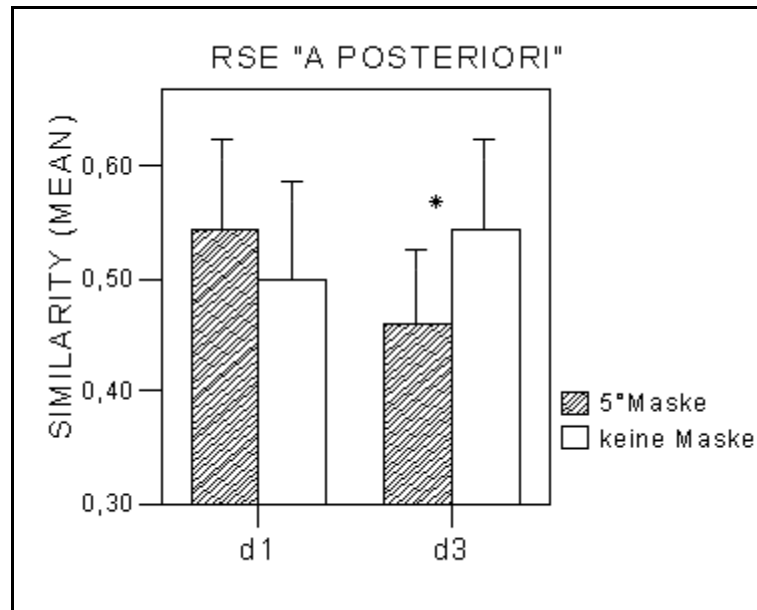
Für die Probanden mit 5° - Extramaske fällt die Similarity von D1 nach D3 von 0,544 auf 0,46. Dieser Vergleich D1 zu D3 [Maske/ Maske] zeigt mit  $p=0,024$  einen signifikanten Unterschied auf. Die Similarity der „normalen“ virtuellen Hemianopiker steigt von D1 mit 0,499 auf D3 mit 0,544 (siehe Abb. 10).

Des Weiteren fällt auf, dass bei den „a posteriori“ - Vergleichen der Unterschied RSE D3 [Maske/ keine Maske] mit ca. 0,09 Similarity- Unterschied [Maske:  $\text{sim}=0,46$ ; keine Maske:  $\text{sim}=0,544$ ] deutlich unter dem entsprechenden „a priori“ -Vergleichen mit ca. 0,15 Similarity - Unterschied liegt [Maske:  $\text{sim}=0,344$ ; keine Maske:  $\text{sim}=0,49$ ].

Hier liegt wohl eine - bei der „a priori“ Definition - erhöhte Auswirkung der Extramaske auf das Abfallen der Similarity vor. Auch die erhöhte Signifikanz des D3 Vergleiche bei „a priori“ legt diese Schlussfolgerung nahe.

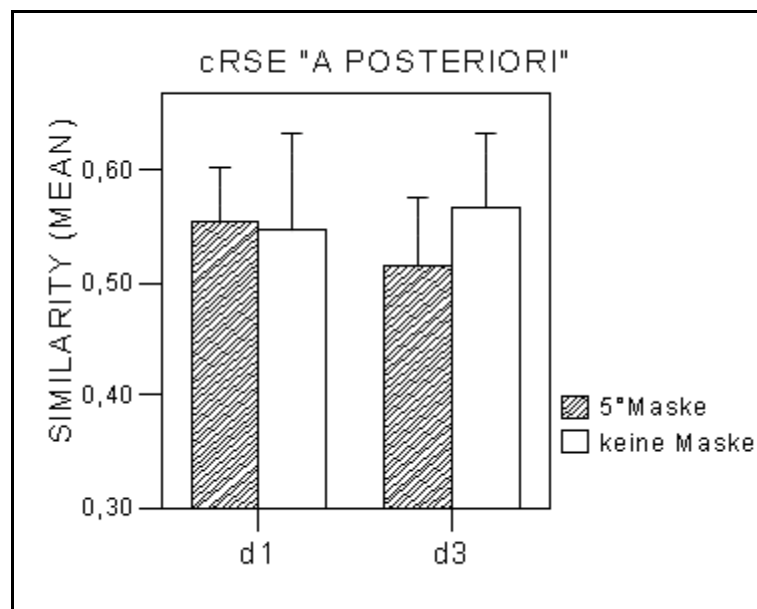
Der geringere Einfluss der Extramaske bei „a posteriori“ wird daran liegen, dass diese Definition mehr Rücksicht auf Bildinhalte nimmt und damit die kognitiven Aspekte der Bildvorstellung respektiert. Man könnte hieraus schlussfolgern, dass sich die 5° Extragesichtfeldeinschränkung weniger auf „top down“ - Prozesse des Sehens auswirkt (siehe Balkendiagramm Abb. 9 und Signifikanztabelle Abb.11).

Bei der komprimierten Form des Regional String Editing sind die Unterschiede des D3-Vergleiches [Maske/ kein Maske] der „a priori“ ROI - Definition nicht so ausgeprägt wie bei der normalen Form. Bei dem Vergleich D3 [Maske/ keine Maske] liegt mit  $p=0,09$  nur ein annähernd signifikanter Unterschied vor. Die D1 Similarities sind mit  $p=0,84$  erwartungsgemäß sehr ähnlich (siehe Balkendiagramm Abb. 10 und Signifikanztabelle Abb.11).



**Abbildung 9: Balkendiagramm:** Darstellung des Similarity-Mittelwerte bei RSE für den Vergleich Maske/ keine Maske D1 und D3 der „a posteriori“-Auswertung. Bei D3 liegt ein signifikanter Unterschied vor ( $p=0,03$ ). Die Similarities für Probandengruppe mit 5° -Maske fällt von D1 nach D3. Dieses ist mit  $p=0,024$  ein signifikantes Ergebnis. (siehe Abb. 11)

[ $p<0,05$  signifikant,  $p<0,01$  hochsignifikant]



**Abbildung 10: Balkendiagramm:** Darstellung des Similarity-Mittelwerte bei komprimiertem RSE für den Vergleich Maske/ keine Maske D1 und D3 der „a posteriori“-Auswertung. Der D3 – Vergleich Maske / kein Extramaske ist mit  $p=0,09$  annähernd signifikant unterschiedlich.

**Signifikanztabellen für RSE, cRSE der „a posteriori“ - Definition:**

RSE	MW	STAB	p
D1mask	0,544	0,085	
D1nomask	0,499	0,096	0,29
D3mask	0,46	0,07	
D3nomask	0,544	0,088	0,03

cRSE	MW	STAB	p
D1mask	0,554	0,056	
D1nomask	0,547	0,097	0,84
D3mask	0,51	0,06	
D3nomask	0,566	0,066	0,09

RSE	MW	STAB	p
D1mask	0,544	0,085	
D3mask	0,46	0,07	0,024
D1nomask	0,499	0,096	
D3nomask	0,544	0,088	0,32

cRSE	MW	STAB	p
D1mask	0,554	0,056	
D3mask	0,51	0,06	0,14
D1nomask	0,547	0,097	
D3nomask	0,566	0,066	0,62

**Abbildung 11:** Signifikanztabellen für RSE, cRSE der „a posteriori“ - Auswertung

Es sind dargestellt die Similarity - Vergleiche der Probandengruppen [ Maske / keine Maske ] für D1 und D3, sowie die Vergleiche [Maske / Maske] D1 zu D3 und [ keine Maske / keine Maske] D1 zu D3. Signifikant unterschiedlich ist der Vergleich [Maske / keine Maske] D3 RSE ( $p < 0,05$ ) und annähernd signifikant ( $p=0,09$ ) der Vergleich [Maske / keine Maske] D3 cRSE. Auch der Vergleich D1 zu D3 [Maske/ Maske] ist signifikant.

[ STAB= Standardabweichung, MW= Mittelwert ]

**Vektor String Editing bei 5° - Extramaske:**

Beim Vektor String Editing gibt es, wie in den vorherigen Abschnitten schon erwähnt, keine Unterteilung in „a priori“ und „a posteriori“, da die Rechenoperationen dieses Verfahrens zur Similarity- Berechnung ohne ROI - Regionalisierung durchgeführt werden.

Die Similarity Werte bleiben bei allen durchgeführten Versuchen relativ konstant, so dass es fraglich ist, in wie weit Unterschiede zwischen den beiden Probandengruppen (Maske/ kein Maske) bei der vektoriellen String Editing Methode eine Aussage erlauben.

Weiterhin scheint diese Methode der Similarity- Berechnung für alle von uns durchgeführten Versuche ungeeignet, Antworten auf Fragen nach z.B. Veränderung der Similarity durch vergrößertes vBHF zu geben.

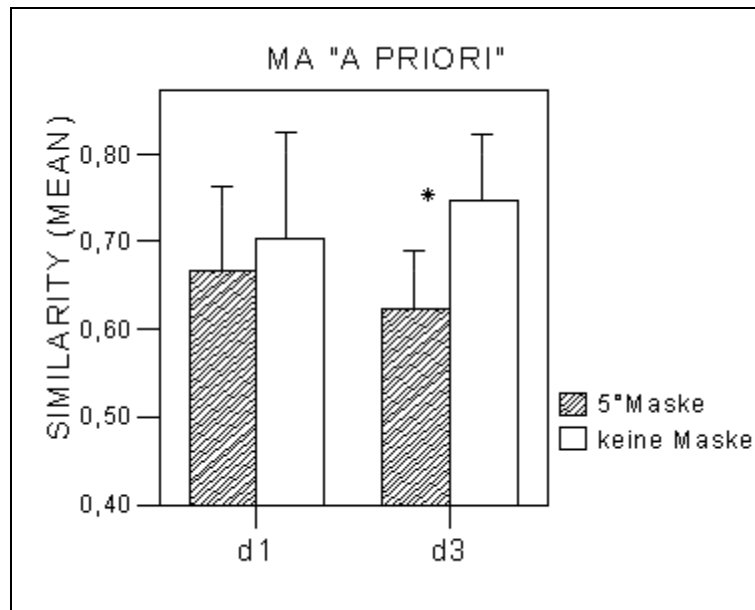
Aus diesem Grunde werden die gefunden Ergebnisse des VSE nicht weiter mit aufgeführt.

**Markov Analyse der „a priori“ ROI – Auswertung bei 5° - Extramaske:**

Bei der Markov Analyse der „a priori“ - Definition ist der Similarity - Vergleich ähnlich der Region String Editing Auswertung zwischen Extramaskengruppe und Probandengruppe ohne Extramaske im Durchlauf 3 mit  $p=0,002$  annähernd hochsignifikant ( $p<0,001$ ) unterschiedlich. Bei D1 liegt - wie zu erwarten war - noch kein signifikanter Unterschied vor. Bei den Probanden mit 5° - Extramaske in D2 sinkt die Similarity von D1 nach D3 von 0,67 auf 0,62 und die der Gruppe ohne Extramaske steigt von 0,7 auf ca. 0,75. Diese Beobachtungen, die denen beim RSE sehr ähnlich sind, weisen jedoch keine statistische Signifikanz auf (siehe Balkendiagramm Abb. 12 und Signifikanztabelle Abb.14).

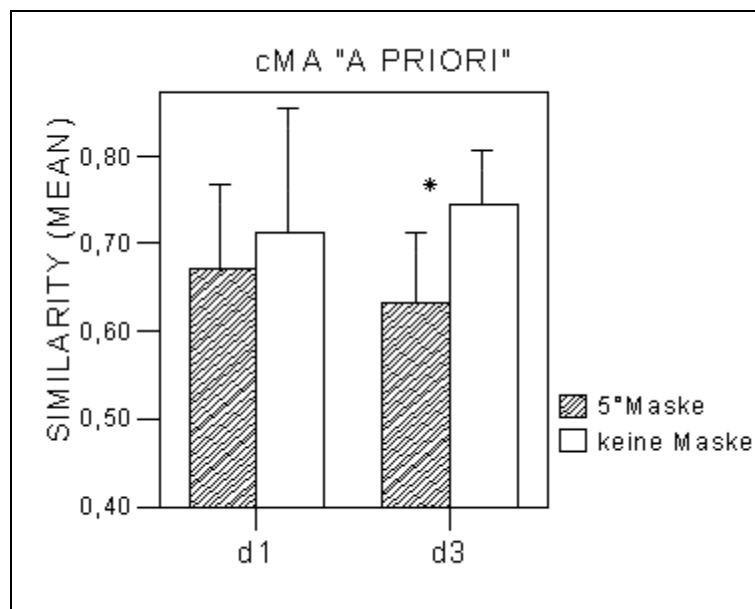
Bei der komprimierten Form liegen ähnliche Ergebnisse vor. Der D3- Vergleich [5° Maske/ keine Maske] mit  $p=0,02$  ist signifikant ( $p<0,05$ ). Die Similarity der Extramaskengruppe sinkt von 0,7 auf 0,63 und steigt bei der Gruppe ohne Extramaske von 0,71 auf 0,745. Beim D1- Vergleich liegt wiederum keine Signifikanz vor (siehe Abbildung 13).





**Abbildung 12:** Darstellung des Similarity- Mittelwerte bei der Markov Analyse für den Vergleich Maske/ keine Maske D1 und D3 der „a priori“ - Auswertung. Der Vergleich D3 [Maske/ keine Maske] ist mit  $p=0,002$  signifikant unterschiedlich.

[ $p<0,05$  signifikant,  $p<0,01$  hochsignifikant]



**Abbildung 13:** Darstellung des Similarity- Mittelwerte bei cMA für den Vergleich Maske/ keine Maske D1 und D3 der „a priori“ - Auswertung. Der Vergleich D3 [Maske/ keine Maske] ist mit  $p=0,01$  signifikant unterschiedlich.

[ $p<0,05$  signifikant,  $p<0,01$  hochsignifikant]

**Signifikanztabellen für MA, cMA der „a priori“ - Definition:**

MA	MW	STAB	p
D1mask	0,67	0,095	
D1nomask	0,702	0,123	0,47598964
D3mask	0,623	0,065	
D3nomask	0,748	0,084	0,00202971

cMA	MW	STAB	p
D1mask	0,671	0,1	
D1nomask	0,712	0,144	0,47969419
D3mask	0,63	0,087	
D3nomask	0,745	0,078	0,01003725

MA	MW	STAB	p
D1mask	0,67	0,095	
D3mask	0,623	0,065	0,25
D1nomask	0,702	0,123	
D3nomask	0,748	0,084	0,37

cMA	MW	STAB	p
D1mask	0,671	0,1	
D3mask	0,63	0,087	0,4
D1nomask	0,712	0,144	
D3nomask	0,745	0,078	0,56

**Abbildung 14:** Signifikanztabellen für MA, cMA für den Vergleich Maske/ keine Maske D1 und D3 der „a priori“ - Auswertung: Es sind dargestellt die Similarity - Vergleiche der Probandengruppen [ Maske / keine Maske ] für D1 und D3, sowie die Vergleiche [Maske / Maske] D1 zu D3 und [keine Maske / keine Maske] D1 zu D3. Annähernd hoch signifikant unterschiedlich ist der Vergleich [Maske / keine Maske] D3 MA ( $p < 0,001$ ) und signifikant ( $p < 0,05$ ) der Vergleich [Maske / keine Maske] D3 cMA. [ STAB= Standardabweichung, MW= Mittelwert ]

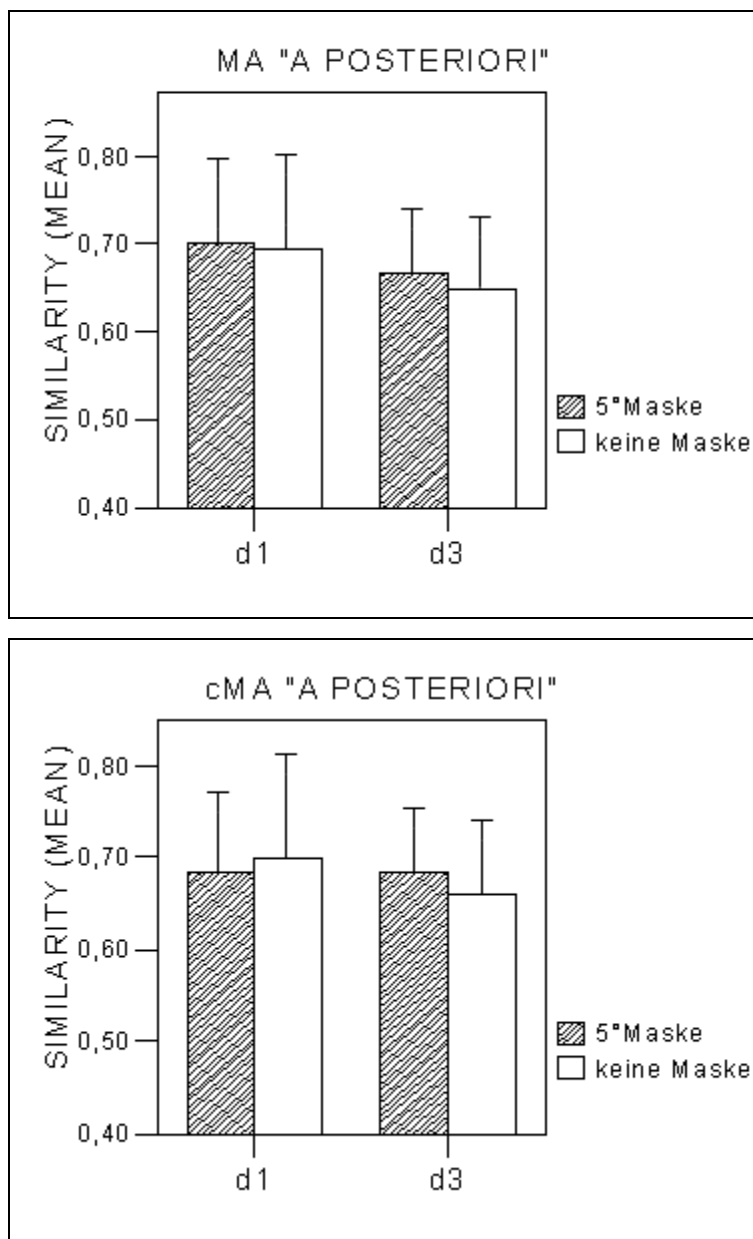
**Markov Analyse der „a posteriori“ ROI -Auswertung bei 5° - Extramaske:**

Beim Vergleich der „a posteriori“ - Auswertung zeigen sich bei allen Vergleichen keine signifikanten Unterschiede der Similarities (siehe Signifikanztabelle Abb. 17).

Im Gegensatz zu den Ergebnissen des Regional String Editing und der Markov Analyse der „a priori“ - Auswertung fällt bei MA „a posteriori“ die Similarity auch bei der Probandengruppe ohne 5° - Extramaske. Bei den anderen, oben aufgelisteten Verfahren kommt es eher zu einem Anstieg der Similarity von D1 nach D3. Allerdings ist dieses Abfallen der Similarity bei MA „a posteriori“ schon bei dem Vergleich beider ROI - Definitionen in 3.2 beschrieben worden.

Die Unterschiede der beiden hier besprochenen Gruppen (Extramaske/ keine Extramaske) sind dabei deutlich geringer ausgeprägt als bei MA „a priori“, wo teilweise bei D3 Werte bis 0,74 (Probandengruppe ohne Extramaske) vorkommen. Hier liegt die Similarity dieser Gruppe in D3 bei ca. 0,65. Unerwartet ist auch, dass die Werte der Probanden ohne Extramaske bei MA „a posteriori“ stärker fallen als die der Extramaskengruppe (siehe Balkendiagramm Abb. 15).

Diese beschriebene Tendenz der Similarity tritt auch bei der komprimierten Form auf, wobei hier die Wertekonstanz der Gruppe mit Extramaske besonders auffällt (siehe Abb. 16).



**Abbildung 15+16:** Darstellung des Similarity – Mittelwerte bei MA und cMA für den Vergleich Maske/ keine Maske D1 und D3 der „a posteriori“ – Auswertung. Der Vergleich D3 [Maske/ keine Maske] zeigt keine Signifikanz.

**Signifikanztabellen für MA, cMA der „a posteriori“ - Definition:**

MA	MW	STAB	p
D1mask	0,7	0,097	
D1nomask	0,695	0,11	0,88
D3mask	0,668	0,084	
D3nomask	0,649	0,089	0,64

cMA	MW	STAB	p
D1mask	0,68	0,09	
D1nomask	0,699	0,11	0,77
D3mask	0,683	0,077	
D3nomask	0,661	0,09	0,58

MA	MW	STAB	p
D1mask	0,7	0,097	
D3mask	0,668	0,084	0,41
D1nomask	0,695	0,11	
D3nomask	0,649	0,089	0,34

cMA	MW	STAB	p
D1mask	0,68	0,09	
D3mask	0,683	0,077	0,96
D1nomask	0,699	0,11	
D3nomask	0,661	0,09	0,45

**Abbildung 17:** Signifikanztabellen für MA, cMA der „a posteriori“ - Auswertung für den Vergleich Maske/ keine Maske D1 und D3. Es sind dargestellt die Similarity - Vergleiche der Probandengruppen [ Maske / keine Maske ] für D1 und D3, sowie die Vergleiche [Maske / Maske] D1 zu D3 und [keine Maske / keine Maske] D1 zu D3. Es liegen keine Signifikanzen vor. Die D1 Bildbetrachtungen beider Verfahren sind sich jeweils sehr ähnlich. (RSE, p=0,88; cRSE p=0,77)

[ STAB= Standartabweichung, MW= Mittelwert ]

**Zusammenfassung:**

Bei den meisten Verfahren wirkt sich die in D2 zugeschaltete 5° - Extramaske folgendermaßen auf die Similarity in D3 aus: Die Werte sind erstens meist signifikant niedriger als in D1 und zweitens niedriger als die entsprechenden Werte ihrer Vergleichsgruppe ohne Extramaske in D3.

Hinzu kommt, dass sich diese Unterschiede ausgelöst durch die Extramaske stärker bei der „a priori“ ROI - Definition manifestieren als bei der „a posteriori“ ROI - Definition. Das Regional String Editing und die Markov Analyse „a priori“ ohne ROI - Kompression sind hierfür am anfälligsten bzw. weisen die höchste Signifikanz der Unterschied auf.

Bei der Markov Analyse „a posteriori“ lässt sich eine wie oben beschriebene Auswirkung der Extramaske auf die Similarity der Imagery nicht beobachtet.

**3.4 Similarities der verschiedenen Tasks**

Des Weiteren werden nun die Ergebnisse der TASK -Vergleiche dargestellt.

Wie unter dem Versuchsaufbau in PROBANDEN UND METHODEN beschrieben ist (siehe Abb. 2 in Probanden und Methoden), wurden in jedem Durchgang die Bilderserien jeweils unter drei verschiedenen Aufgabenstellungen betrachtet. Diese Aufgabenstellungen werden hier auch als TASKs bezeichnet und lauteten für den Run EASY LOOKING ( „easy“ ) „Schauen Sie sich das ganze Bild an!“, für DETAILED FOR MEMORIZING ( „detailed“ ) „Prägen Sie sich die Details ein!“ und für den letzten Run RELATIONSSHIP BETWEEN ITEMS ( „recollection“ ) „Bitte schauen Sie nach Beziehungen der einzelnen Dinge auf dem Bild zueinander!“.

Die Fragestellung hinter diesen einzelnen TASKs war, inwieweit eine spezifische Aufforderung vor den Bildbetrachtungen einen Einfluss auf die motorischen (z.B. Sakkaden und Fixationen) und kognitiven (Ähnlichkeit Imagery / Bild) Aspekte des „Sehens“ hat.

In diesem Abschnitt werden eine Auswahl der in den TASK- Versuchen gewonnenen Daten in verschiedenen Diagrammen wie Balken- bzw. Liniendiagrammen, Signifikanztabellen dargestellt. Für die Signifikanztabellen der String- Similarity (Imagery String mit Bildbetrachtungsstring) wurde als Schwelle für einen signifikanten Unterschied  $p < 0,05$  gewählt.

Aufgrund der Fülle von Daten und um anschaulichere Ergebnisse zu präsentieren, werden im Folgenden nicht beide ROI- Definition durchgängig besprochen, sondern nur ausgewählte Diagramme und Ergebnisse zu den einzelnen Versuchen dargestellt. Des Weiteren werden nur die Durchgänge D1 und D3 aufgeführt, um auf mögliche Auswirkung der D2- Extramaske auf die Similarity im Versuch D3 eingehen zu können. Auch auf die Darstellung der Ergebnisse des Vektor String Editing wurde verzichtet, da die Aussagekraft dieses Verfahrens aufgrund der Ähnlichkeit der Mittelwerte in allen Versuchen fraglich zu sein scheint bzw. für unsere Auswertung der Versuchsdaten ungeeignet ist.

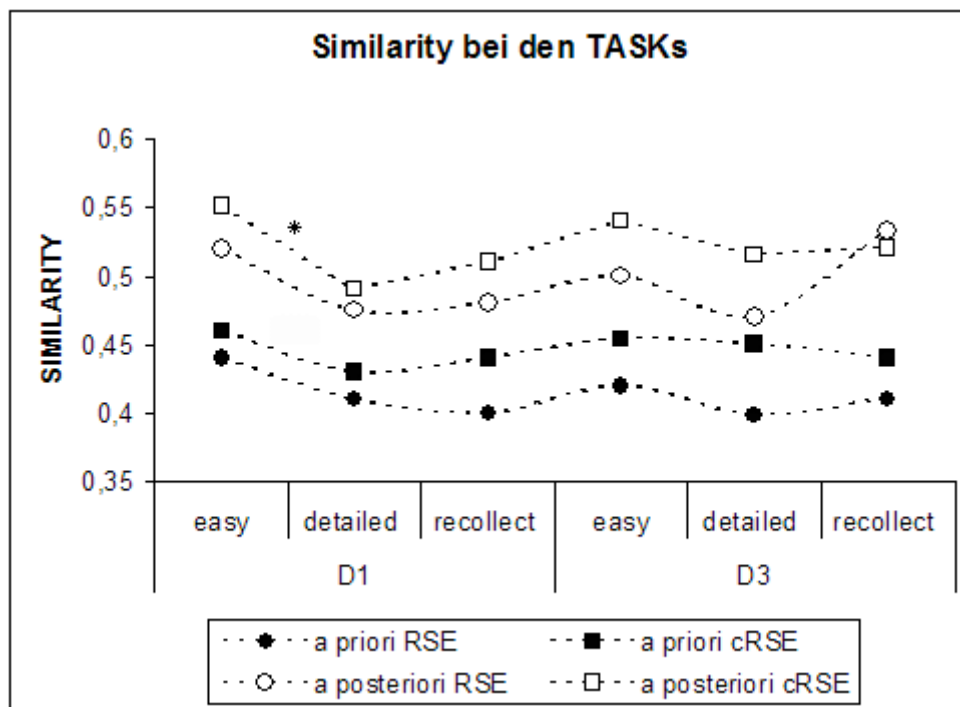
Bei den Ergebnissen, die durch die Markov Analyse errechnet worden sind, werden nur die wirklich anschaulichen präsentiert. Sie sollen im Wesentlichen die durch das String Editing gewonnenen Aussagen unterstützen.

Die Reihenfolge der Darstellung erfolgt gruppiert nach den Auswertungsverfahren Regional String Editing und Markov Analyse, jeweils mit normaler und komprimierter Form.

Die in den vorherigen Abschnitten besprochenen Versuche wie z. B. die 5° - Extramaske oder der „a priori“/ „a posteriori“ -Vergleich werden hier bei den TASKs gleichermaßen in Hinblick auf Unterschiede zwischen den verschiedenen Aufgabenstellungen untersucht.

**Region String Editing**

Bei dem Vergleich der Similarities unter den verschiedenen Aufgabenstellungen ergeben sich beim Region String Editing zwei Auffälligkeiten. Wie schon bei dem Vergleich „a posteriori“/ „a priori“ für das EASY LOOKING ( siehe 3.2 ) wird deutlich, dass die Similarities der „a posteriori“ - Auswertungen durchgängig signifikant über denen der „a priori“ - Auswertung liegen (siehe Abb. 3+4 und Appendix Tabelle 9). Dann fällt weiterhin auf, dass die Auswirkungen der TASKs (Aufgabenstellung) mehr die „a posteriori“ ROI- Definition als die „a priori“ - Auswertung betreffen. Dieses wird zum Einen an der größeren Schwankungsbreite der „a posteriori“ Similarities in Abb. 26 deutlich und zum Anderen liegen bei sämtlichen Vergleichen der Similarities verschiedener TASKs bei „a priori“ keine auch nur im Entferntesten signifikanten Unterschiede vor, wobei bei „a posteriori“ zum Teil Signifikanzen bzw. annähernd signifikante Unterschiede vorhanden sind ( siehe Tabelle Abb. 27 ).



**Abbildung 26:** String Similarity der TASK – Vergleich für D1 und D3 bei „a priori“ und „a posteriori“: Darstellung der TASK – Vergleiche jeweils für die „a priori“ und die „a posteriori“ ROI – Definition beim EASY LOOKING, DETAILED und RECOLLECTION. Die Unterschiede sind für „a priori“ nicht signifikant. Bei „a posteriori“ liegt ein signifikanter Unterschied zwischen cRSE D1 [easy/ detailed] vor und ein annähernder für RSE D3 [detailed/ recollection]. Die Unterschiede zwischen den ROI – Definitionen sind fast durchgängig hochsignifikant (p<0,001).

[p<0,05 signifikant, p<0,01 hochsignifikant]

**Signifikanztabellen der TASKs bei RSE/ cRSE**

Aus den folgenden Signifikanztabellen geht hervor, dass kaum Unterschiede zwischen den Similarities bei „a priori“ sowohl für RSE als auch für seine komprimierte Form vorliegen. Das heißt also, dass die Aufgabenstellung unter der man sich ein Bild anzuschauen hat, kaum Effekte auf die Similarity unter „a priori“ - Definition aufweist. Bei den „a posteriori“- Ergebnissen finden sich allerdings ein paar solcher Auswirkungen. Beim Region String Editing in D1 beispielsweise liegt annähernd ein signifikanter Unterschied mit  $p=0,08$  bei dem Similarity - Vergleich [detailed/ recollection] vor (siehe Abb. 26/27). Auch bei der komprimierten Form gibt es einen signifikanten Unterschied mit  $p=0,02$  in D1 für den Vergleich [easy/ detailed] (siehe Abb. 26/27).

Hier findet sich also ein (schwacher) statistischer Hinweis dafür, dass die Aufforderung vor einer Bildbetrachtung eine Auswirkung auf die Imagery und damit auf die Ähnlichkeit Bild / Bildvorstellung (Imagery) hat.

**RSE „a priori“**

RSE D1	MW	p
d1 easy	0,44	
d1 detailed	0,41	<b>0,37</b>
d1 easy	0,44	
d1 recollect	0,4	<b>0,30</b>
d1 detailed	0,41	
d1 recollect	0,4	<b>0,90</b>

RSE D3	MW	p
d3 easy	0,42	
d3 detailed	0,399	<b>0,60</b>
d3 easy	0,42	
d3 recollect	0,41	<b>0,90</b>
d3 detailed	0,399	
d3 recollect	0,41	<b>0,71</b>

**RSE „a posteriori“**

RSE D1	MW	p
d1 easy	0,52	
d1 detailed	0,475	<b>0,19</b>
d1 easy	0,52	
d1 recollect	0,48	<b>0,20</b>
d1 detailed	0,475	
d1 recollect	0,48	<b>0,98</b>

RSE D3	MW	p
d3 easy	0,5	
d3 detailed	0,47	<b>0,30</b>
d3 easy	0,5	
d3 recollect	0,533	<b>0,43</b>
d3 detailed	0,47	
d3 recollect	0,533	<b>0,08</b>

**Abbildung 27:** Signifikanzvergleiche für die TASKs des Regional String Editing: Darstellung der Similarity – Vergleiche bei RSE jeweils für die „a priori“ und die „a posteriori“ ROI - Definition in D1 und D3 bei EASY LOOKING, DETAILED und RECOLLECTION. Die Unterschiede sind für „a priori“ nicht signifikant und liegen in ihrer Unterschiedlichkeit unter denen der „a posteriori“-Vergleiche. Bei „a posteriori“ liegt ein annähernd signifikanter Unterschied ( $p=0,08$ ) für RSE D3 [detailed/ recollection] vor.

[recollect = RECOLLECTION]



**cRSE „a priori“**

cRSE D1	MW	p
d1 easy	0,46	
d1 detailed	0,43	<b>0,32</b>
d1 easy	0,46	
d1 recollect	0,44	<b>0,50</b>
d1 detailed	0,43	
d1 recollect	0,44	<b>0,71</b>

cRSE D3	MW	p
d3 easy	0,454	
d3 detailed	0,45	<b>0,87</b>
d3 easy	0,454	
d3 recollect	0,44	<b>0,60</b>
d3 detailed	0,45	
d3 recollect	0,44	<b>0,74</b>

**cRSE „a posteriori“**

cRSE D1	MW	p
d1 easy	0,551	
d1 detailed	0,49	<b>0,02</b>
d1 easy	0,551	
d1 recollect	0,51	<b>0,14</b>
d1 detailed	0,49	
d1 recollect	0,51	<b>0,46</b>

cRSE D3	MW	p
d3 easy	0,54	
d3 detailed	0,515	<b>0,38</b>
d3 easy	0,54	
d3 recollect	0,52	<b>0,45</b>
d3 detailed	0,515	
d3 recollect	0,52	<b>0,88</b>

**Abbildung 28:** Signifikanzvergleiche für die TASKs des komprimierten Regional String Editing: Darstellung der Vergleiche bei RSE jeweils für die „a priori“ und die „a posteriori“ ROI – Definition in D1 und D3 bei EASY LOOKING, DETAILED und RECOLLECTION( in der Tab.: recollect). Die Unterschiede sind für „a priori“ nicht signifikant und liegen in ihrer Unterschiedlichkeit meistens unter denen der „a posteriori“ - Vergleiche. Bei „a posteriori“ liegt ein signifikanter Unterschied mit  $p=0,02$  bei cRSE D1 [easy/ detailed] vor.

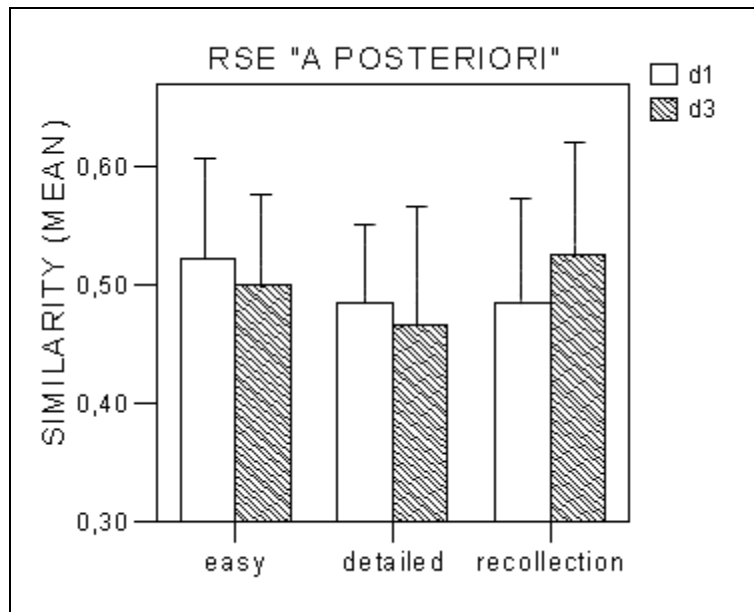
[recollect = RECOLLECTION]

**Balkendiagramme zu den TASK -Vergleichen**

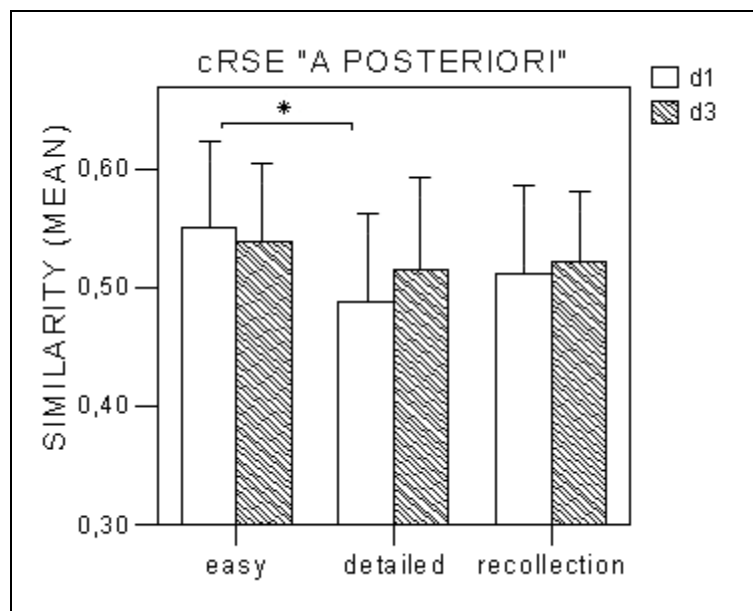
Bei den Balkendiagrammen Abb. 29 und 30 fällt eine weitere Besonderheit auf, die auch schon ansatzweise in dem Liniendiagramm Abb. 26 zu erkennen war. Die „a posteriori“ - Similarities scheinen betragsmäßig von EASY zu DETAILED zu sinken, um dann wieder bei RECOLLECTION anzusteigen. Dieses ist sowohl im Durchlauf 1 als auch D3 der Fall. Besonders deutlich wird diese Beobachtung nun wenn man die Daten von D1 und D3 zusammenfasst (siehe Abb. 31).

Wertet man Abb. 31 statistisch aus, findet sich allerdings für RSE [easy/ detailed] mit  $p= 0,098$  und für [detailed/ recollect] mit  $p=0,2$  keine wirklich signifikanten Unterschiede. Bei cRSE liegt beim Vergleich [easy/ detailed] mit  $p=0,026$  allerdings eine Signifikanz vor.

Hiermit scheint eine der aufgestellten Vermutungen, nämlich dass zwischen EASY LOOKING und DETAILED FOR MEMORIZING ein betragsmäßiger Abfall der Similarity stattgefunden hat, bestätigt.

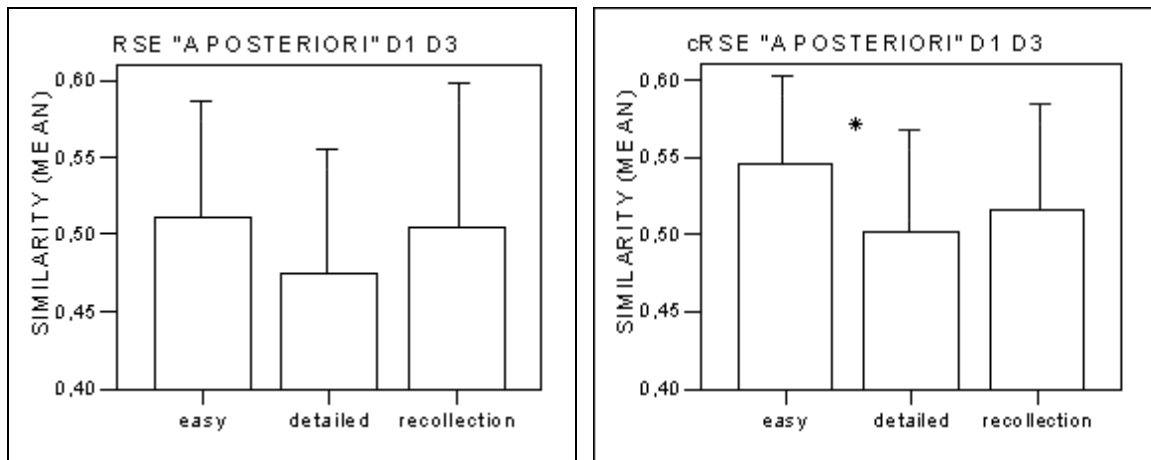


**Abbildung 29;** Darstellung der Similarity –Mittelwerte der verschiedenen TASKs bei RSE der „a posteriori“ – Auswertung für die VERSUCHE D1 und D3. Die Werte fallen in beiden Durchgängen von „Easy“ zu „Detailed“ und steigen zu „Recollection“ wieder an. Zwischen D3 [detailed/recollection] besteht mit  $p=0,08$  ein annähernd signifikanter Unterschied.



**Abbildung 30:** Darstellung der Similarity - Mittelwerte der verschiedenen TASKs bei CRSE der „a posteriori“ - Auswertung für die VERSUCHE D1 und D3. Wie bei der normalen Form fallen die Similarity - Werte von „easy“ zu „detailed“. Statistisch signifikant mit  $p= 0,02$  sind die Mittelwertunterschiede im Vergleich D1 [easy/ detailed].

[ $p<0,05$  signifikant,  $p<0,01$  hochsignifikant]



**Abbildung 31:** Darstellung der Similarity- Mittelwerte der verschiedenen TASKs bei RSE und cRSE der „a posteriori“- Auswertung. Die Ergebnisse von D1 und D3 werden hier zusammengefasst für die verschiedenen Aufgabenaufforderungen ausgewertet. Besonders auffällig ist das Abfallen der Similarity von „easy“ nach „detailed“. Beim RSE ist dieser Vergleich mit einer Signifikanz von RSE  $p=0,098$  annähernd bei cRSE mit  $p=0,026$  deutlich signifikant. Der Vergleich RSE [detailed/ recollection] ist mit  $p=0,2$  nicht signifikant.

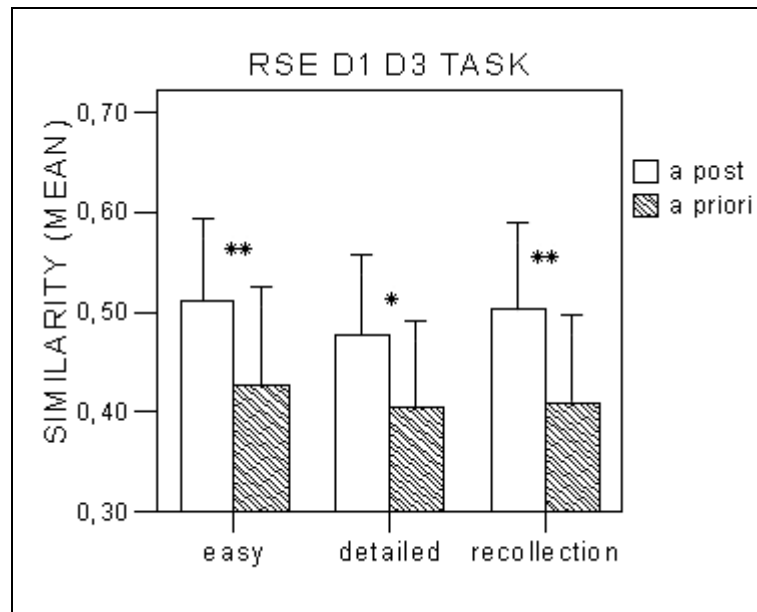
[ $p<0,05$  signifikant,  $p<0,01$  hochsignifikant]

### TASK - Vergleich und ROI - Definition

Zur Vereinfachung der Darstellung sind die Similarity - Werte der Durchgänge D1 und D3 zusammengefasst. Es besteht durchgängig ein hochsignifikanter Unterschied zwischen der „a priori“ ROI- Definition und der „a posteriori“ - Auswertung für „easy“ und „recollection“ ( $p<0,001$ ). Bei den „detailed“ - Similarities liegen die Werte mit RSE  $p=0,003$  und cRSE  $p=0,006$  zwar im signifikanten Bereich, aber doch deutlich unter den der anderen beiden Tasks (siehe Signifikanztabelle 34).

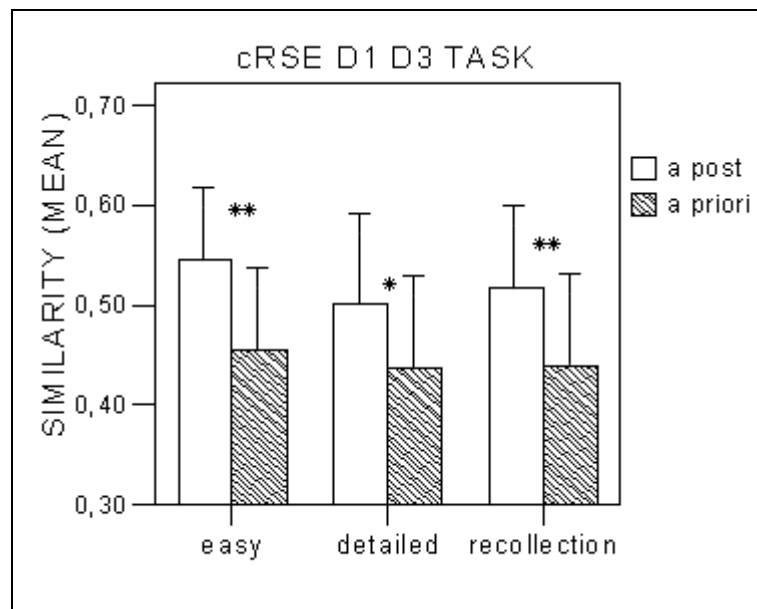
In Balkendiagramm 32 und 33 sieht man zusätzlich zum Unterschied der ROI - Definition, dass auch die „a priori“ -Similarity wie bei „a posteriori“ von „easy“ nach „detailed“ sinkt.

Wie schon in 3.2 für „EASY LOOKING“ dargestellt, liegt auch bei den anderen beiden Aufgabenstellungen ein sehr deutlicher Unterschied zwischen den beiden ROI - Auswertung.



**Abbildung 32;** Darstellung der Similarity –Mittelwerte der verschiedenen TASKs unter den beiden ROI- Definitionen bei RSE. Die Werte fallen in beiden Durchgängen von „Easy“ zu „Detailed“ und steigen zu „Recollection“ wieder an. Die Unterschiede zwischen der „a posteriori“ - Auswertung und der „a priori“ sind bei „easy“ und „recollection“ hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) und bei „detailed“ mit  $p = 0,003$  signifikant. Es sind die Ergebnisse der Versuche D1 und D3 zusammengefasst dargestellt.

□



**Abbildung 33:** Darstellung der Similarity- Mittelwerte der verschiedenen TASKs unter den beiden ROI- Definitionen bei cRSE. Die Werte fallen in beiden Durchgängen von „easy“ zu „detailed“. Die Unterschiede zwischen der „a posteriori“ - Auswertung und der „a priori“ sind bei „easy“ und „recollection“ hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) und bei „detailed“ mit  $p = 0,006$  signifikant.

[ $p < 0,05$  signifikant,  $p < 0,01$  hochsignifikant]

**Region String Editing EASY**

RSE	MW	STAB	p
a priori	0,43	0,104	
a posteriori	0,51	0,088	0,0003
cRSE	MW	STAB	p
a priori	0,46	0,08	
a posteriori	0,54	0,07	0,0000027

**Region String Editing DETAILED**

RSE	MW	STAB	p
a priori	0,4	0,092	
a posteriori	0,48	0,088	0,003
cRSE	MW	STAB	p
a priori	0,44	0,094	
a posteriori	0,5	0,086	0,006

**Region String Editing RECOLLECTION**

RSE	MW	STAB	p
a priori	0,41	0,092	
a posteriori	0,5	0,089	0,00012
cRSE	MW	STAB	p
a priori	0,43	0,076	
a posteriori	0,52	0,068	0,0001

**Abbildung 34; Signifikanzvergleiche für die TASKs des Regional String Editing:** Die statistischen Auswertungen beziehen sich auf die zusammengefassten Similarities von D1 und D3. Durchgängig besteht eine signifikante Unterschiedlichkeit zwischen „a priori“ und „a posteriori“. Bei „easy“ und „recollection“ ist sie mit  $p < 0,001$  hochsignifikant.

**TASK – Vergleiche und 5° - Extramaske**

Nun werden die erhobenen Daten zu den verschiedenen TASKs auch bei dem Vergleich Probanden *mit-* versus Probanden *ohne* Extramaske dargestellt.

Wie unter 3.3 schon für das EASY LOOKING dargestellt, ist das Probandenkollektiv in Durchlauf 2 in zwei Gruppen unterteilt worden, wobei der einen Gruppe zum virtuellen blinden Halbfeld (vBHF) noch eine 5° - Extramaske hinzugefügt wurde. Diese Extramaske war während aller drei Aufgabenaufforderungen in D2( *easy, detailed, recollection* ) aktiv.

Im Folgenden werden nun für das Region String Editing und die Markov Analyse die Ergebnisse der Extramaske dargestellt. Da es sich wie schon bei den vorherigen Ausführungen gezeigt hat, dass durch die „a posteriori“ Regionalisierung die Unterschiede der TASKs deutlicher zum Vorschein kommen, verzichten wir an dieser Stelle auf die Darstellung der „a priori“ ROI - Definition.

Beim Region String Editing und seiner komprimierten Form liegen durchgängig signifikante Unterschiede zwischen der Versuchsgruppe mit 5° - Extramaske und der Normalgruppe vor. Wie schon unter 3.3 schon für „EASY LOOKING“ dargestellt, wiederholen sich die erbrachten Ergebnisse auch in den anderen beiden Aufforderungen „detailed“ und „recollection“.

Das heißt, dass die Similarity der Probanden mit Maske betragsmäßig von D1 nach D3 fällt und die Similarity- Mittelwerte der Normalprobanden ansteigen (siehe Abb. 36).

In D1 liegt im Gegensatz zu D3 noch kein nennenswerter Unterschied zwischen den Gruppen vor (siehe Balkendiagramm Abb.35).

Es zeigte sich weiterhin, dass der „Effekt“ der Extramaske in D2 bei „recollection“ und „detailed“ deutlichere Auswirkungen hinterlässt als beim EASY LOOKING.

Die Signifikanzen sind hier (bei EASY LOOKING) für RSE und cRSE deutlich geringer als bei den anderen beiden Aufgabenstellungen.

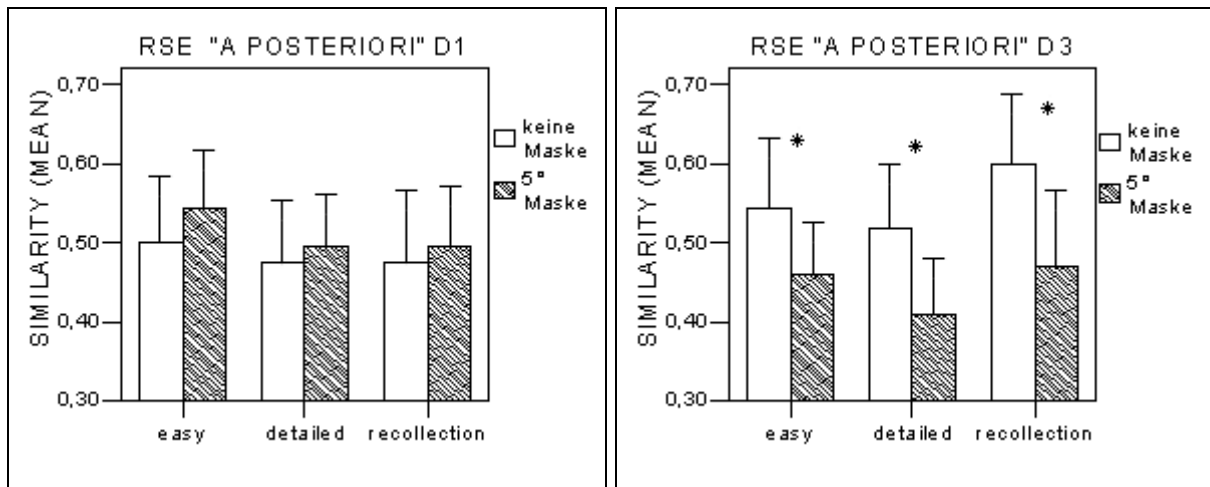
Der Einfluss der 5° - Maske macht sich also bei „gezielter“ Bildbetrachtung (d.h. nach Details oder Beziehungen der Bildinhalte schauen) intensiver bemerkbar als bei „normaler“ Bildbetrachtung (siehe Signifikanztabelle 37).

Bei RECOLLECTION ist die Similarity - Differenz mit 0,47 D3 [Maske] und 0,59 D3 [keine Maske] samt einer Signifikanz von  $p=0,007$  am größten (siehe Abb.35).

Bei der komprimierten Form des String Editing liegt bei DETAILED mit  $p=0,02$  die größte Differenz der Similarities bei dem Vergleich Extramaske versus Normalgruppe D3 vor.

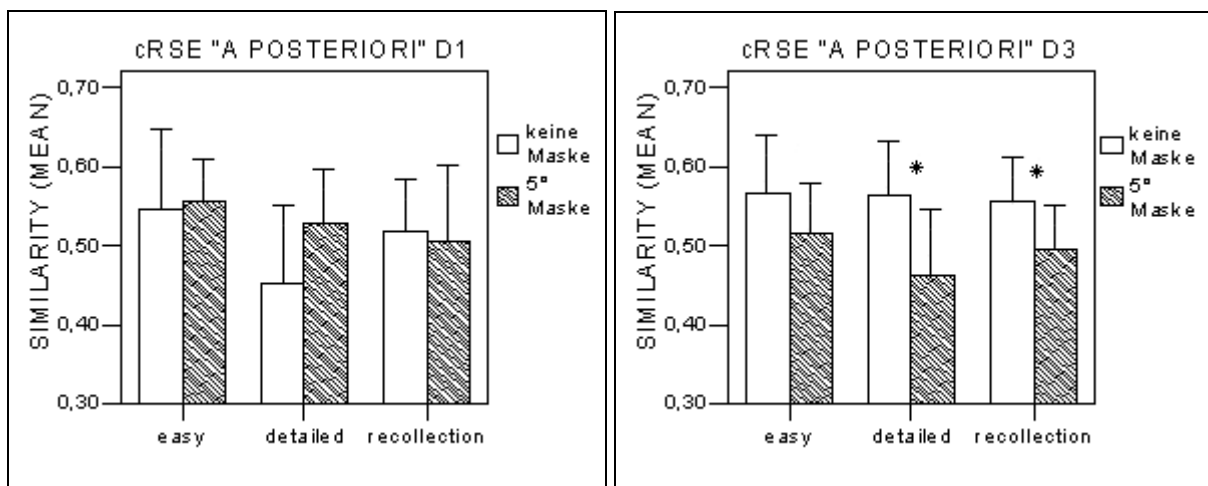
Dies könnte dadurch erklärt werden, dass bei DETAILED foveale Fixationen von besonderer Wichtigkeit sind und ja gerade das foveale Sehen durch die 5°-Extramaske ausgeschaltet wird.

Der Wert der Probandengruppe mit Maske beträgt 0,46. Die der Kontrollgruppe 0,56.



**Abbildung 35:** Darstellung der Similarities des Region String Editing der verschiedenen Aufgabenaufforderungen (TASK) bei dem Vergleich 5°-Extramaske. Die Werte fallen bei Extramaske von D1 nach D3 und steigen für die Normalgruppe an. Die Vergleiche D3 [Maske/ keine Maske] sind durchgängig signifikant unterschiedlich. Beim Vergleich D3 [Maske/ keine Maske] RECOLLECTION („Beziehung der Bildinhalte zueinander“) ist der Unterschied mit  $p=0,007$  am deutlichsten.

[ $p<0,05$  signifikant,  $p<0,01$  hochsignifikant]



**Abbildung 36:** Darstellung der Similarities des komprimierten Region String Editing der verschiedenen Aufgabenaufforderungen (TASK) bei dem Vergleich Extramaske. Wie bei der normalen Form fallen die Werte von D1 zu D3 für die Extramaskengruppe und steigen bei der Kontrollgruppe [keine Maske] an. Am deutlichsten erkennt man bei DETAILED die Entwicklung. In D1 liegt die Extramaskengruppe noch deutlich über der Kontrollgruppe, während in D3 sich das Verhältnis umkehrt und mit  $p=0,02$  den signifikantesten Vergleich D3 [Maske/ keine Maske] bei cRSE darstellt.

[ $p<0,05$  signifikant,  $p<0,01$  hochsignifikant]

<b>RSE</b>			
<b>easy</b>	<b>MW</b>	<b>STAB</b>	<b>p</b>
d3 mask	0,46	0,07	
d3 no mask	0,54	0,09	0,03
<b>detailed</b>	<b>MW</b>	<b>STAB</b>	<b>p</b>
d3 mask	0,41	0,077	
d3 no mask	0,52	0,96	0,023
<b>recollection</b>	<b>MW</b>	<b>STAB</b>	<b>p</b>
d3 mask	0,47	0,101	
d3 no mask	0,59	0,05	0,007

<b>cRSE</b>			
<b>easy</b>	<b>MW</b>	<b>STAB</b>	<b>p</b>
d3 mask	0,51	0,06	
d3 no mask	0,57	0,07	0,09
<b>detailed</b>	<b>MW</b>	<b>STAB</b>	<b>p</b>
d3 mask	0,46	0,09	
d3 no mask	0,56	0,06	0,02
<b>recollection</b>	<b>MW</b>	<b>STAB</b>	<b>p</b>
d3 mask	0,49	0,045	
d3 no mask	0,56	0,062	0,034

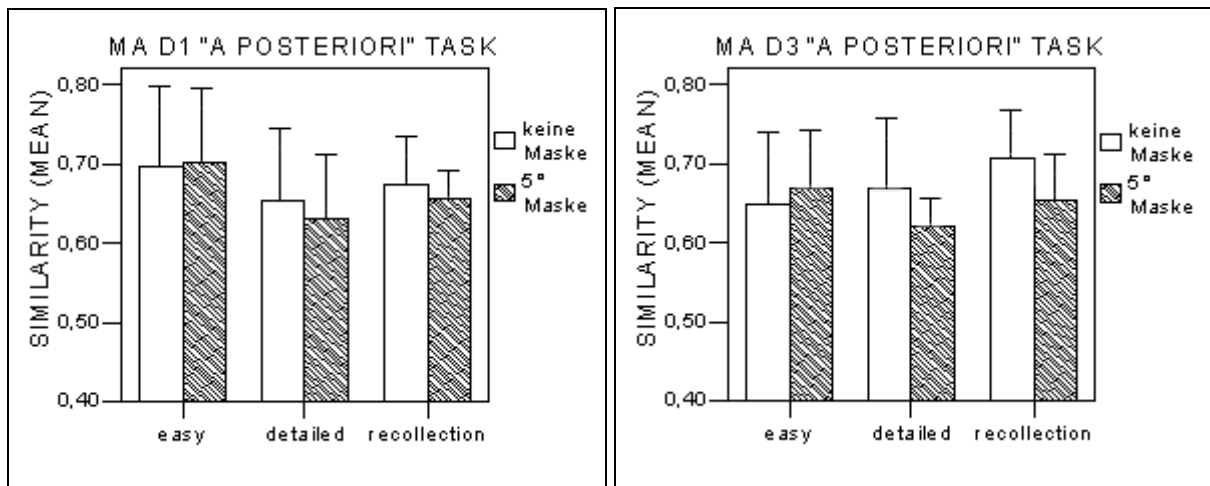
**Abbildung 37;** *Signifikanzvergleiche für die TASKs des Regional String Editing bei dem Vergleich 5°-Extramaske:* Die statistischen Auswertungen zeigen eine durchgehend signifikante Unterschiedlichkeit des Vergleiches D3 [Maske/ keine Maske] sowohl für die komprimierte als auch für die normale Form des Regional String Editing. Nur bei cRSE „easy“ liegt mit p=0,09 nur eine annähernde Signifikanz vor.

Bei der Markov Analyse liegen keine signifikanten Unterschiede bei dem Vergleich [Maske/ keine Maske] vor. Allerdings fällt auch hier wie beim Region String Editing auf, dass die Similarities der Tasks „detailed“ und „recollection“ stärker auf die Extramaske zu reagieren scheinen als bei „easy“. Die p- Werte liegen deutlich unter denen vom EASY LOOKING und der MA Vergleich D3 [Maske/ keine Maske] ist mit p= 0,08 annähernd signifikant unterschiedlich (siehe Signifikanztabelle Abb. 40).



Auch sieht man in Abb. 38 D3, dass die Mittelwerte der Similarities [Maske/ keine Maske] eine größere Differenz aufweisen als in D1. Bei „easy“ fällt bei beiden Gruppen die Similarity von D1 zu D3. Bei der komprimierten Form (siehe Abb. 39) lassen sich die gleichen Ergebnisse beobachten. Besonders auffällig ist hier, dass die Werte der Probandengruppe ohne Maske für „detailed“ und „recollection“ von D1 zu D3 ansteigen.

Insgesamt zeigt sich auch hier, dass die Art der Aufgabenstellung („detailed“, „recollection“) Auswirkung auf den Imagery Prozess zu haben scheint, wobei die Extramaske diesen Effekt der höheren Ähnlichkeit Bild/ Image abschwächt. Allerdings sind die Ergebnisse bei der Markov Analyse nicht so eindeutig wie beim Region String Editing, wo durchgängig signifikante Unterschiede bestehen zwischen Extramaskengruppe und Kontrollgruppe für D3 bestehen.



**Abbildung 38:** Darstellung der Similarities der Markov Analyse der verschiedenen Aufgabenaufforderungen (TASK) bei dem Vergleich 5°-Extramaske. Die Werte fallen für die Maskengruppe von D1 nach D3. Für RECOLLECTION und DETAILED steigen die Werte der Normalprobanden (keine Maske) in D3 an. Bei EASY sinkt die Similarity für beide Probandenkollektive. Bis auf eine annähernde Signifikanz für MA D3 RECOLLECTION mit  $p=0,08$  liegen keine weiteren Signifikanzen vor.

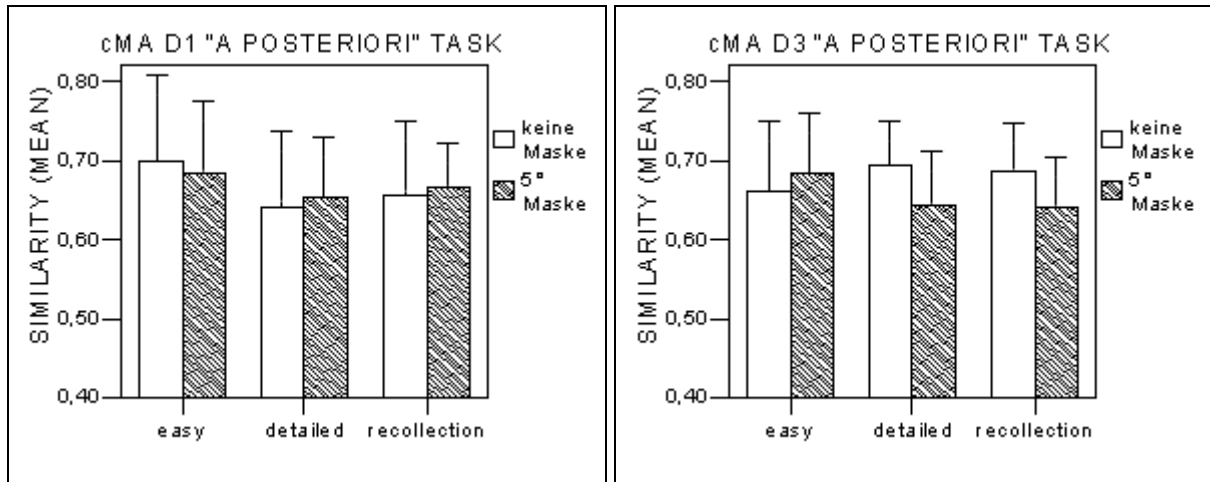


Abbildung 39; Darstellung der Similarities der komprimierten Markov Analyse der verschiedenen Aufgabenaufforderungen (TASK) bei dem Vergleich 5°- Extramaske. Für RECOLLECTION und DETAILED fallen die Werte für die Maskengruppe von D1 nach D3 und steigen für die Normalprobanden (keine Maske). Es besteht in D3 DETAILED zwischen Maske und keine Maske eine Differenz von ca. 0,64 zu 0,69. Bei EASY sinkt die Similarity für die Gruppe ohne Extramaske. Es liegen keine signifikanten Unterschiede für die Vergleich D3 [Maske/ keine Maske] vor.

MA			
easy	MW	STAB	p
d3 mask	0,67	0,08	
d3 no mask	0,65	0,09	0,64
detailed	MW	STAB	p
d3 mask	0,62	0,03	
d3 no mask	0,67	0,1	0,23
recollection	MW	STAB	p
d3 mask	0,65	0,06	
d3 no mask	0,7	0,05	0,08

cMA			
easy	MW	STAB	p
d3 mask	0,68	0,077	
d3 no mask	0,66	0,09	0,58
detailed	MW	STAB	p
d3 mask	0,64	0,075	
d3 no mask	0,69	0,06	0,15
recollection	MW	STAB	p
d3 mask	0,64	0,07	
d3 no mask	0,69	0,07	0,2

Abbildung 40: Signifikanzvergleiche für die TASKs der Markov Analyse bei dem Vergleich 5°-Extramaske. Die statistischen Auswertungen beziehen sich auf die Vergleiche D3 [Maske/ keine Maske] für die verschiedenen Tasks bei komprimierter Markov Analyse. Es liegen keine Signifikanzen vor. Allerdings sind die Unterschiede für DETAILED und RECOLLECTION stärker ausgeprägt als bei EASY LOOKING. Bei MA RECOLLECTION [Maske/ keine Maske] liegt mit p=0,08 eine annähernde Signifikanz vor.

### **3.5 Sakkaden und Fixationen**

Abschließend werden nun die von uns erfassten basalen Parameter der Bildbetrachtungen und Bildvorstellungen - nach Versuchen und Tasks geordnet - dargestellt. Hierbei war von besonderem Interesse, inwieweit Differenzen oder Gemeinsamkeiten zwischen Bildbetrachtung und Visual Imagery vorliegen.

Die gewonnenen Daten wurden in Hinblick auf Fixationsanzahl, Fixationsdauer, Sakkadenamplitude und dem Global/ Lokal - Index untersucht. Um ein Maß für die Größe der durchgeführten Sakkaden der jeweiligen Bildbetrachtung zu haben, wurde zuerst die mediane Sakkaden – Amplitude ermittelt. Zusätzlich dazu berechneten wir den Global/ Lokal – Index, um annähernd Aussagen machen zu können, ob eine Bildbetrachtung eher raumübergreifend oder eher detailorientiert ist. Dieser Quotient wird bestimmt aus der Anzahl der Sakkaden über einer gesetzten Schwelle durch Anzahl der Sakkaden unter dieser Schwelle. Als Schwelle wählten wir  $1^\circ$ . Das heißt, ein großer Global/ Lokal – Index spricht am ehesten für eine globale, weit reichende Exploration und ein niedriger Index für eine eher lokale Bildbetrachtungsweise (siehe auch Probanden und Methoden).

Aufgrund der Fülle von Daten und um anschaulichere Ergebnisse zu präsentieren, werden im folgenden nur ausgewählte Diagramme und Ergebnisse zu den einzelnen Versuchen dargestellt. Des Weiteren werden nur die Durchgänge D1 und D3 aufgeführt, um auf mögliche Auswirkung der D2-Extramaske auf die Fixationsparameter im Versuch D3 eingehen zu können.

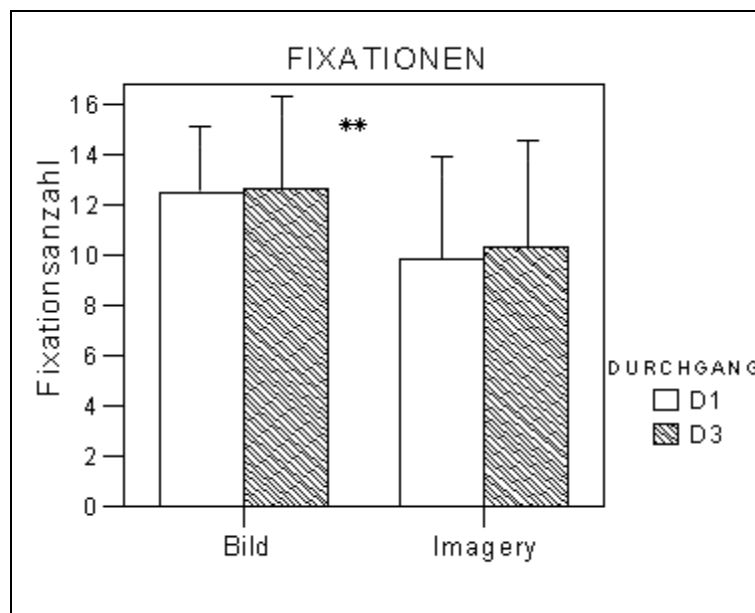
#### **Fixationsanzahl:**

Wie erwartet liegt beim Vergleich der Fixationsanzahl zwischen Bildbetrachtung und Imagery in beiden Durchgängen ein hochsignifikanter Unterschied vor (siehe Abb.41). Zwischen D1 und D3 liegt ein allerdings nicht signifikanter Anstieg der Fixationsanzahl vor. Bei Imagery ist er deutlicher ausgeprägt als bei Bildbetrachtung.

Beim Vergleich der Fixationsanzahl für die verschiedenen TASKs stellt man fest, dass bei EASY LOOKING wesentlich weniger Fixationen gemacht worden sind als bei den anderen beiden Aufgabenstellungen. Zusätzlich zu der hochsignifikant geringeren Fixationsanzahl bei Imagery sind auch die Unterschiede zwischen EASY und RECOLLECTION und EASY und DETAILED mit  $p < 0,001$  hochsignifikant unterschiedlich. Der Vergleich DETAILED zu RECOLLECTION ist mit  $p = 0,047$  auch signifikant (siehe Abb. 42).

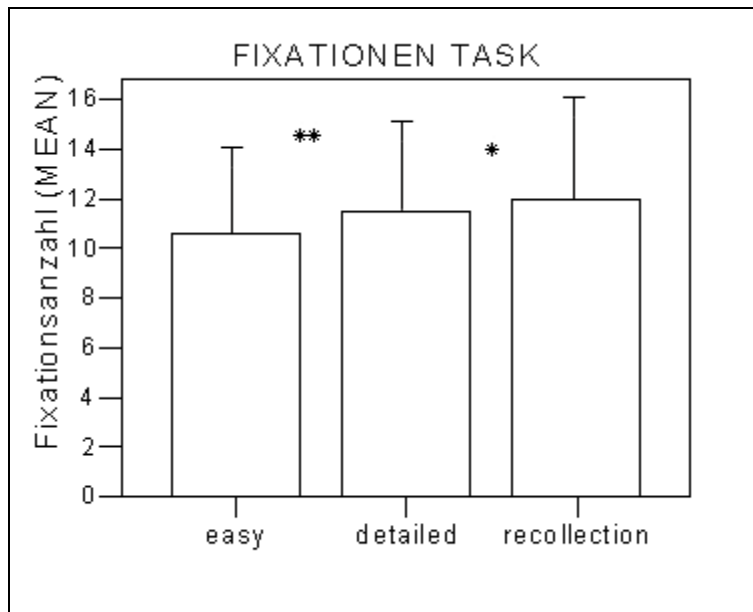
In Abbildung 43 ist noch einmal die hochsignifikant geringere Fixationsanzahl bei Imagery auch bei DETAILED und RECOLLECTION dargestellt.

Auch hier ein Zeichen für die Miniaturisierung des Imagery - Abbildes.



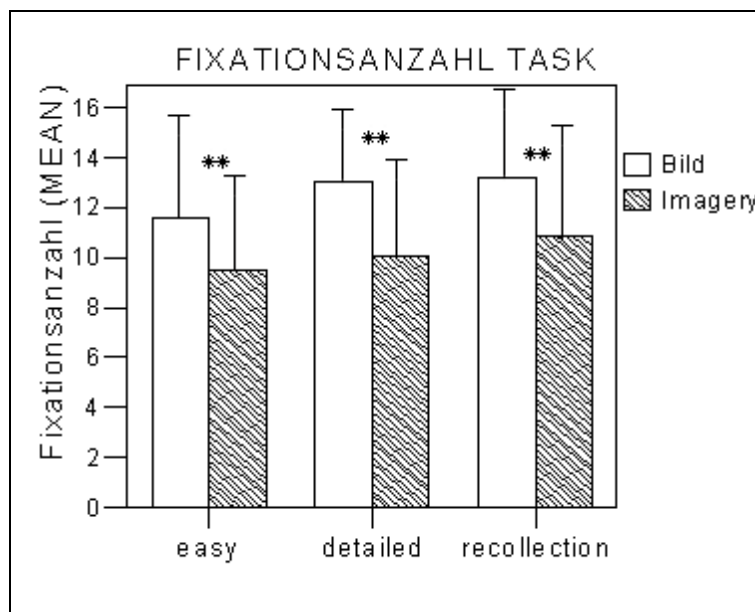
**Abbildung 41:** Darstellung der Fixationsanzahl bei Bildbetrachtung und Imagery. (Mittelwert für Bild 1-8 des gesamten Probandenkollektives) Die geringere Fixationsanzahl von Imagery im Gegensatz zu der höheren Fixationsanzahl bei Bildbetrachtung ist sowohl für D1 als auch für D3 durchgängig hochsignifikant. Die Zunahme der Fixationen bei Imagery von D1 nach D3 ist mit  $p = 0.132$  nicht signifikant.

[ $p < 0,05$  signifikant,  $p < 0,01$  hochsignifikant]



**Abbildung 42 :** Darstellung der Fixationsanzahl bei Bild und Imagery Betrachtungen bei den verschiedenen TASKs. Zwischen der Anzahl an Fixationen für die einzelnen Aufgabenstellungen besteht durchgängig ein signifikanter Unterschied. Zwischen EASY+DETAILED und EASY+RECOLLECTION besteht eine hohe Signifikanz mit  $p < 0,001$ , zwischen DETAILED+RECOLLECTION mit  $p = 0,047$  ein signifikanter Unterschied.

[ $p < 0,05$  signifikant,  $p < 0,01$  hochsignifikant]

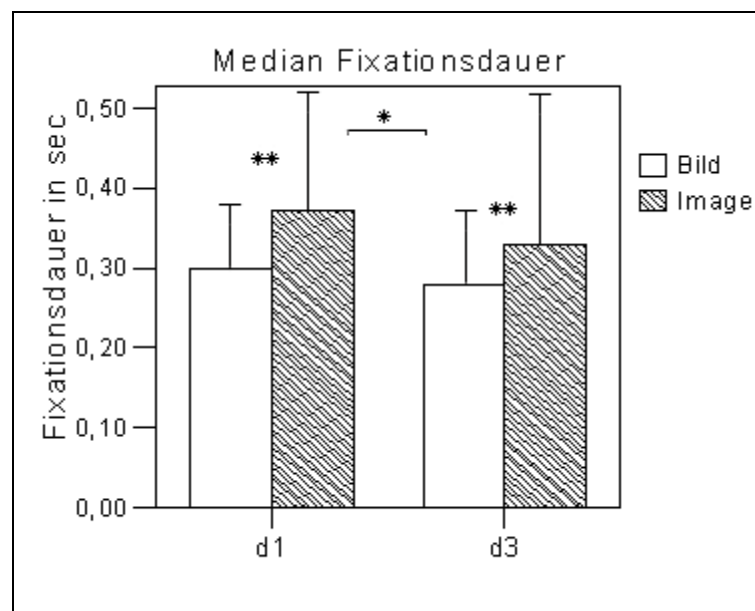


**Abbildung 43:** Darstellung der Fixationsanzahl bei Bildbetrachtung und Imagery der verschiedenen TASKs. Der Unterschied der Fixationsanzahl zwischen Imagery und Bildbetrachtung der einzelnen Aufgabenstellungen ist durchgängig hochsignifikant.

[ $p < 0,05$  signifikant,  $p < 0,01$  hochsignifikant]

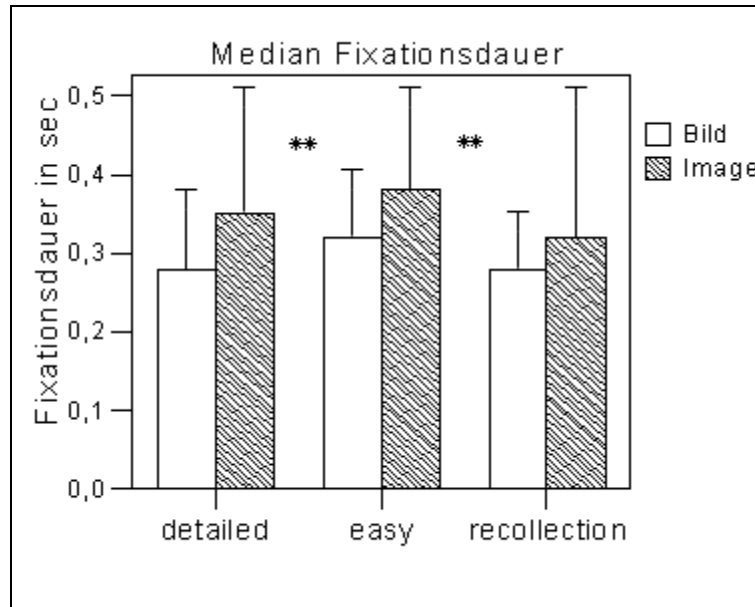
Bei der Fixationsdauer liegen wieder nur hochsignifikante Unterschiede zwischen Bildbetrachtung und Imagery vor. In beiden untersuchten Durchgängen ist die Dauer der einzelnen Fixationen bei der Bildvorstellung größer als beim normalen Betrachten. Im Verlauf von D1 nach D3 sinkt jedoch für Bild und Imagery die mediane Dauer der Fixationen. Auch hier liegt mit  $p=0,002$  im U- Test von Mann-Whitney eine statistische Belegung dieser Tendenz vor (siehe Abb. 44). Bei dem Vergleich der Fixationsdauer für die verschiedenen TASKs fällt zuerst auf, dass sie von EASY LOOKING nach RECOLLECTION fällt. (siehe Abb.45)

Die mediane Fixationsdauer für Imagery ist durchgehend für alle TASKs hochsignifikant länger. Der Unterschied zwischen der medianen Fixationsdauer bei Bild und Imagery ist bei DETAILED mit ca. 0,075 sec am stärksten ausgeprägt. Bei den Vergleichen zwischen den TASKs liegt bei EASY/ DETAILED und EASY/ RECOLLECTION ein statistisch signifikanter Unterschied vor. Der Vergleich DETAILED zu RECOLLECTION ist nicht signifikant unterschiedlich. Wie erwartet zeigt sich hier deutlich die Auswirkung der Aufgabenaufforderung „Bitte prägen Sie sich die Details ein!“ und „Bitte schauen Sie nach Beziehungen der einzelnen Dinge auf dem Bild zueinander!“ auf die Fixationsdauer.



**Abbildung 44:** Fixationsdauer bei Bildbetrachtung und Imagery für die Durchgänge 1 und 3. (Median für Bild 1-8 fürs gesamt Probandenkollektiv) Die mediane Fixationsdauer ist durchgehend für die Bildvorstellung hochsignifikant länger als für das Bildersehen. Von D1 nach D3 sinkt die Fixationsdauer. Auch dieser Vergleich ist mit  $p=0,02$  signifikant.

[ $p<0,05$  signifikant,  $p<0,01$  hochsignifikant]



**Abbildung 45:** Fixationsdauer bei Bildbetrachtung und Imagery bei den verschiedenen TASKs. Der Unterschied zwischen Bild und Imagery ist durchgehend hochsignifikant. Zwischen der Fixationsdauer EASY und DETAILED und EASY und RECOLLECTION besteht ein hochsignifikanter Unterschied mit  $p < 0,001$ . Der Unterschied zwischen DETAILED und RECOLLECTION ist mit  $p = 0,084$  nicht signifikant. Die mediane Fixationsdauer ist für EASY am längsten.

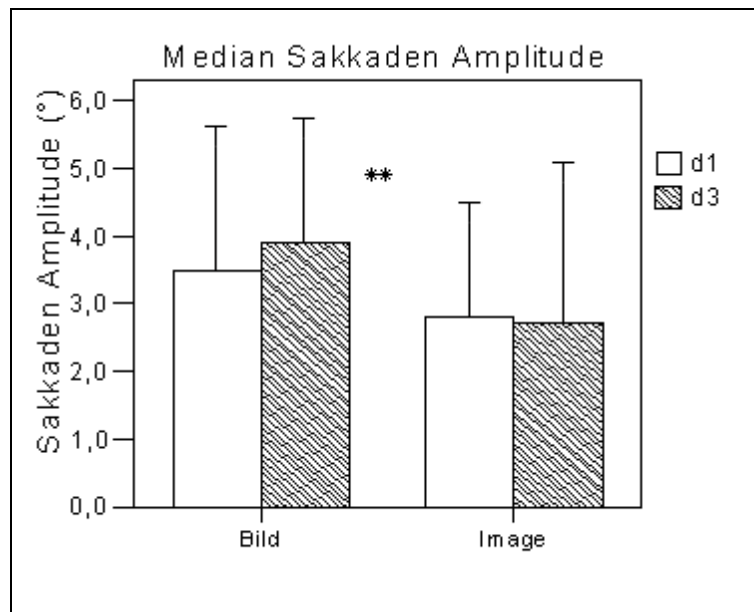
[ $p < 0,05$  signifikant,  $p < 0,01$  hochsignifikant]

### Sakkaden - Amplitude:

Die mediane Sakkaden -Amplitude als Maß der Sakkadengröße liegt - wie erwartet - für die Bilderbetrachtung über der für den Imagery - Vorgang. Von D1 nach D3 fällt die mediane Amplitude für die Bildvorstellung und steigt für die Bildbetrachtung an (siehe Abb. 46).

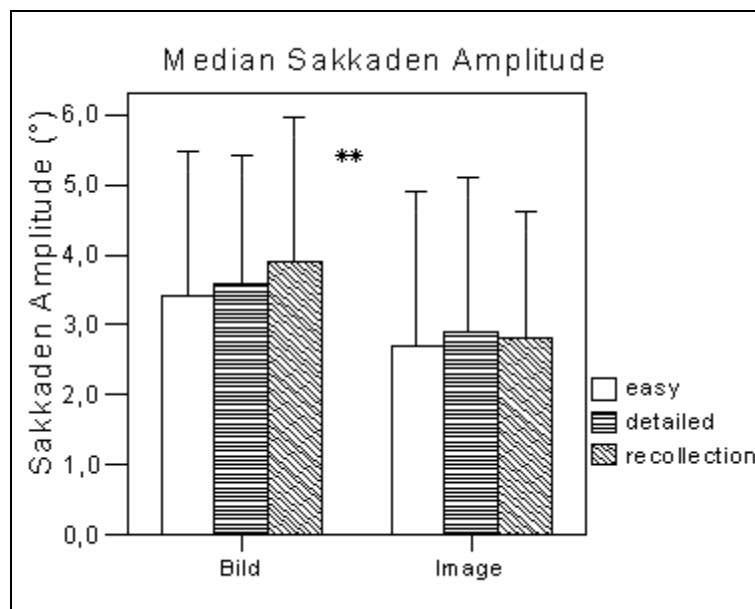
Dieses könnte man als Anzeichen von Lernprozessen angesichts der Exploration bei der von uns generierten virtuellen Halbfeldmaske interpretieren.

Allerdings sind diese Tendenzen statistisch nicht zu belegen, sondern nur der Vergleich Bildvorstellung zu Imagery ist mit  $p < 0,001$  hochsignifikant. Hier erklärt sich im Rahmen der Miniaturisierung des Images bei Bildvorstellung die geringere Sakkaden -Amplitude bei Imagery. Bei den TASKs liegt die mediane Amplitude der Sakkaden bei RECOLLECTION deutlich über der beim EASY LOOKING. Der Median bei DETAILED liegt zwischen den beiden anderen. Auch hier sind die Unterschiede der Mediane z. B. [„easy“/ „recollection“] mit  $p = 0,246$  nicht statistisch zu verifizieren.



**Abbildung 46:** Sakkaden -Amplitude (Median) bei Bildbetrachtung und Imagery für die Durchgänge 1 und 3. Die mediane Amplitude ist durchgehend hochsignifikant für die Bildvorstellung kleiner als für die Betrachtung der Bilder. Von D1 nach D3 scheint die Größe der Sakkaden bei den Bildbetrachtungen zuzunehmen und bei Imagery zu sinken. Hierfür liegt allerdings keine statistische Signifikanz vor.

[p<0,05 signifikant, p<0,01 hochsignifikant]



**Abbildung 47:** Sakkaden- Amplitude für Bildbetrachtung und Imagery bei den verschiedenen Tasks.

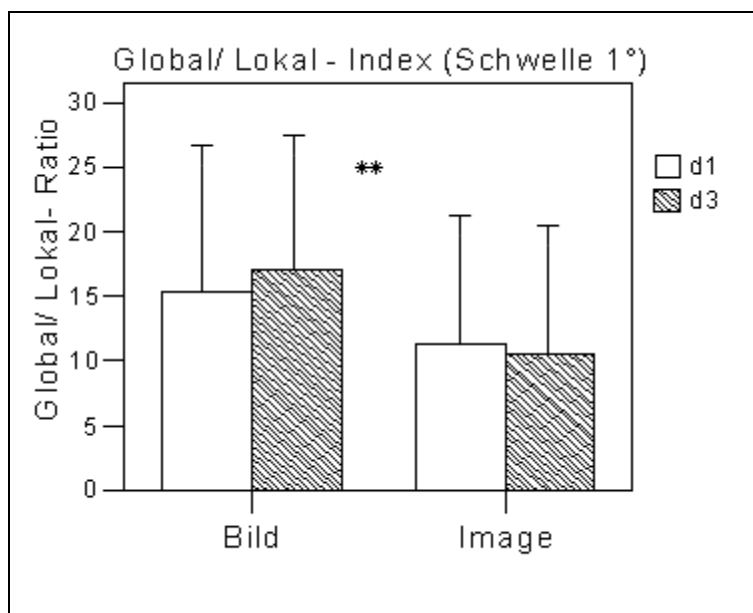
Die mediane Amplitude ist durchgehend hochsignifikant für die für die Bildbetrachtung größer als für die Imagery der Bilder. Die Unterschiede zwischen den Tasks konnten nicht durch Signifikanzen belegt werden.

[p<0,05 signifikant, p<0,01 hochsignifikant]

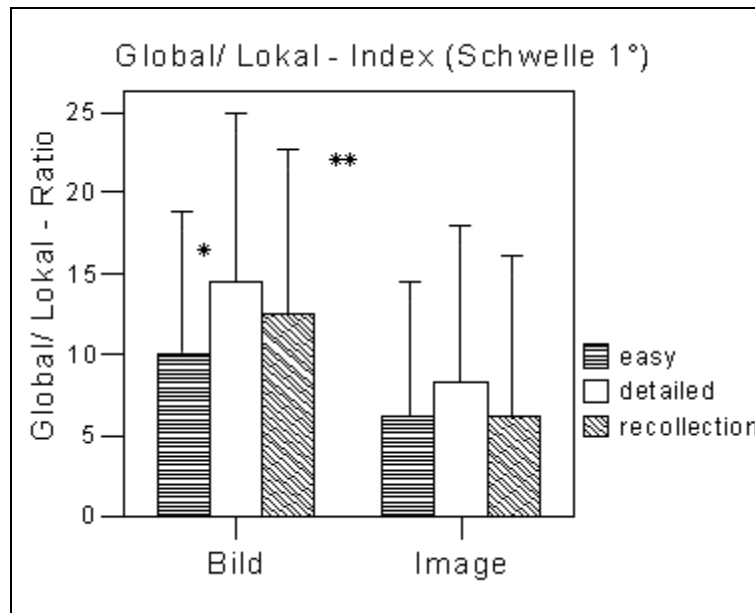


**Global/ Lokal - Index**

Wie schon in der Einführung beschrieben, wurde 1° als Schwelle für den Quotienten des Global/ Lokal -Index gewählt. In den ersten Auswertungen zeigt sich mit  $p < 0,001$ , dass der Index für die Bildbetrachtung beachtlich über dem der Bildvorstellung lag. Dies galt durchgehend für alle Gruppen und Versuche (siehe Abb. 48). Wie beim Median der Sakkaden - Amplitude steigt der Index von D1 nach D3 für das Sehen und sinkt für den Imagery - Vorgang. Allerdings ist der Unterschied nicht signifikant. Beim Vergleich der TASKs (siehe Abb. 49) ergab sich, dass bei DETAILED deutlich der höchste Global/ Lokal - Index berechnet wurde. Dies galt sowohl für die normale Bildbetrachtung als auch für die Imagery. Der Vergleich [„easy“/ „detailed“] ist mit  $p = 0,006$  deutlich im Signifikanzniveau. In einem letzten Diagramm (siehe Abb. 50) wurde der G/L - Index im Hinblick auf die verschiedenen Bildinhalte untersucht. Dazu wurden die 8 verschiedenen Bilder einer Betrachtungsreihe nach ihrem Inhalt in drei Subgruppen unterteilt: REALISTIC (Bild 1-3), ABSTRACT (Bild 4-6) und SEARCH (Bild 7+8). Hierbei ergab sich, dass die G/L - Indizes von REALISTIC und SEARCH sowie ABSTRACT zu SEARCH sich jeweils hochsignifikant unterscheiden. Der niedrige G/L - Index bei SEARCH zeigt, dass diese Bilder am wenigstens global angeschaut wurden. Die Exploration der abstrakteren Bilder war im Gegensatz dazu am weitläufigsten, da hier der Index über dem der anderen Bildinhalten lag.

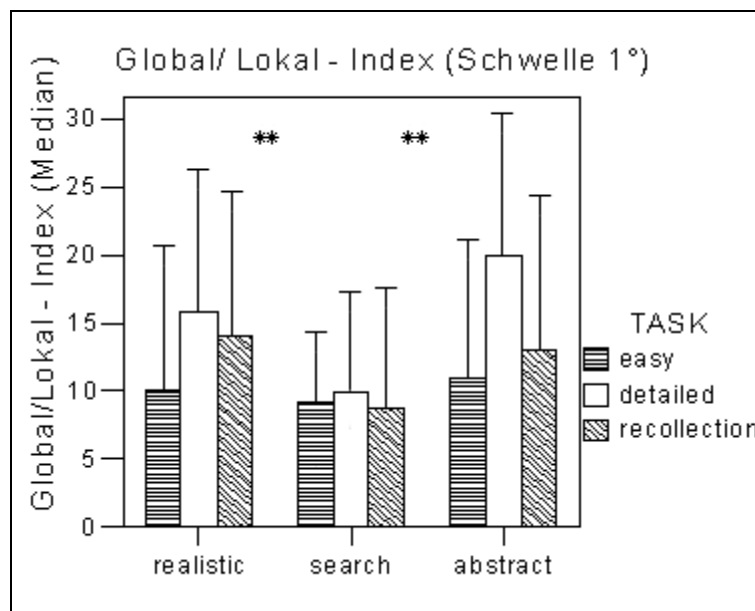


**Abbildung 48:** *Global/ Lokal - Index bei Bildbetrachtung und Imagery für die D1 und 3. Der Index ist erwartungsgemäß hochsignifikant größer für die Bildbetrachtung als für die Imagery.*



**Abbildung 49:** *Global/ Lokal - Index bei den verschiedenen TASKs.* Bei DETAILED ist der Index am Größten. Auch bei RECOLLECTION ist der G/L – Index höher als beim EASY LOOKING. Der Vergleich EASY zu DETAILED ist allerdings als einziger mit  $p=0,006$  signifikant unterschiedlich.

[ $p<0,05$  signifikant,  $p<0,01$  hochsignifikant]



**Abbildung 50 :** *Global/ Lokal - Index bei den verschiedenen Bildinhalten und den TASKs.* Wie schon in der vorherigen Abbildung ist das Niveau des Indexes bei DETAILED am höchsten. Der Index ist durchgehend für die SEARCH Bilder mit  $p<0,001$  hochsignifikant kleiner als für die anderen Bildarten. Der Unterschied REALISTIC zu ABSTRACT ist nicht signifikant.

[ $p<0,05$  signifikant,  $p<0,01$  hochsignifikant]

## 4 Diskussion

### 4.1 Resultate der Analyse von String Similarity und den basalen Scanpath-Parametern

Wir untersuchten zunächst die Scanpath- Similarities zwischen Visual Imagery und Bildbetrachtung des gesamten Probandenkollektivs. Anschließend analysierten wir die basalen Scanpath- Parameter der Blickbewegung (Fixationsanzahl und- zeit, Global/ Lokal- Index, Sakkadenamplitude etc.) bei Bildbetrachtung und Imagery.

Mit Hilfe von Variationen der Versuchsdurchführung (TASK, 5°- Extramaske) sowie der Auswertungsmethoden (ROI- Definition) erhofften wir uns, Einblicke in das Verhalten des Scanpaths bei Visual Imagery unter simulierter Hemianopsie zu erhalten. Es zeigte sich, dass bei den „a posteriori“ Auswertungen durchgehend eine höhere String Similarity als bei „a priori“ vorlag. Weiterhin fand sich ein deutliches Absinken der String Similarity- Werte bei den Probanden, die Bildbetrachtungen unter vergrößerter simulierter Hemianopsie von 5° (Extramaske) im Sinne einer Ausschaltung des fovealen Sehens durchführen mussten. Unter verschiedenen Aufgabenstellungen (TASKs) ergaben sich nur zum Teil signifikante Veränderungen der Scanpath- String Similarity. Dafür zeigte sich hier eine deutliche Auswirkung auf die basalen Blickbewegungsparameter.

Die Analyse der basalen Augenbewegungsparameter ergab trotz aller Ähnlichkeiten der Scanpaths über alle Bilder hochsignifikant reproduzierbare Differenzen der Charakteristik der Augenbewegungen zwischen Bildbetrachtung und Bildvorstellung.

Nachfolgend werden nun die gefundenen Ergebnisse im Einzelnen diskutiert.

### 4.2 Simulierte Hemianopsie und Visual Imagery

#### 4.2.1 Implikation für das visuelle mentale Modell

Bei dem Vorgang des Mental Visual Imagery, also der Bildvorstellung werden wie bei der Bildbetrachtung Augenbewegung durchgeführt. Nach einem Modell von Kosslyn, welches durch verschiedene Arbeiten anhand von fMRI und PET - Studien bei Visual Imagery (Ganis 2004, Kosslyn 1993) belegt und spezifiziert wurde, geht man davon

aus, dass Visual Imagery und Wahrnehmung auf den gleichen anatomischen Grundlagen und den gleichen High Level Vision Prozessen basieren.

Das heißt, dass für die Vorstellung von Bildern die gleichen Subsysteme wie bei der Wahrnehmung und Analyse externer Bilder (z.B. Definition von Farbe, Form, Lage, Größe etc.) genutzt werden.

Die daraus folgende Grundannahme, nämlich dass beim Imagery- Vorgang Scanpaths ähnlich denen bei normaler Bildbetrachtung durchgeführt werden (Laeng 2002) und diese dadurch sozusagen den Inhalt des bei der Perzeption wahrgenommenen Bildes widerspiegeln (Brandt 1997), konnte in unseren Versuchen bestätigt werden. Dieses zeigt sich z.B. in der durchgehend hohen Similarity beim Vergleich der Scanpaths von Bildbetrachtung und Imagery bei unterschiedlichsten Berechnungsmethoden.

Wie schon bei Brandt und Stark (1997) und Gbadamosi (2001) beschrieben, zeigte sich in unseren Versuchen allerdings auch, dass die Imagery Scanpaths trotz aller Ähnlichkeiten spezifische, eigene Charaktereigenschaften haben, auf die später noch näher eingegangen wird. Besonders bei den basalen Fixationsparametern wie Fixationsanzahl und Dauer etc. konnte hier ein signifikanter Unterschied zur normalen Bildbetrachtung festgestellt werden.

Im Gegensatz zu anderen Arbeiten, die mit Hemianopsie Patienten unterschiedlichster Ätiologie und mit Normalprobanden durchgeführt wurden, simulierten wir in unseren Versuchen eine Hemianopsie und führten die Untersuchungen an gesunden Probanden ohne Einschränkung des Gesichtsfeldes durch.

#### **4.2.2 Auswirkung der simulierten Hemianopsie auf die Visual Imagery**

2002 zeigte eine Arbeit von TANT et al., dass die simulierte Hemianopsie mit der realen Hemianopsie zu großen Teilen Parallelen aufweist z.B. bei den pathologischen Augenbewegungen aufgrund des Gesichtsfelddefizits.

Diese Simulation eines Gesichtsfelddefektes, also einem rein sensorischen Defizit ohne anatomisches Korrelat, wollten wir auf Veränderungen der kognitiven Aspekte des Sehens hin - wie in unserem Fall der Visual Mental Imagery - untersuchen.

Wie eine Arbeit von Zangemeister et al. (1999) verdeutlichte, sind es besonders die kognitiven Fähigkeiten des Sehens, die bei Hemianopikern eingeschränkt sind. Weiterführend zeigte sich, dass durch visuell-kognitives Training viel zur Verbesserung des alltäglichen Sehens und sekundär zur Blickmotorik beigetragen werden kann.

Insofern könnte mit diesem Modell einer Hemianopsie viel zur wissenschaftlichen Erforschung von Trainingsmethoden zur Verbesserung der visuellen Leistung bei Hemianopikern beigetragen werden.

Unsere Versuche ergaben nun, dass sich die mentale Visual Imagery bei Patienten mit Virtueller Hemianopsie (VHH), das heißt mit einem von uns generierten Blickfelddefekt von 50% des Bildschirmes (gesehen von der fovealen Augenposition aus mit der horizontalen Augenbewegung als Trigger) kaum von der Bildvorstellung bei realer Hemianopsie oder auch von der bei normalen Probanden ohne Gesichtsfelddefekt unterscheidet, solange die Maske 50% nicht überschreitet.

Dieses wird im Vergleich der String Similarity Ergebnisse unserer VHH - Versuche mit denen von Realen Hemianopikern (Zangemeister 1996, Gbadamosi 2001) und normalen Probanden z.B. in der Arbeit von Brandt et al (1997) deutlich.

Obwohl die Probanden mit VHH nur die Hälfte ihres Gesichtsfeldes zur Verfügung haben, unterscheiden sich ihre Scanpath bei Imagery und Bildbetrachtung nicht von denen bei Probanden mit vollständigem Gesichtsfeld.

Wir können also annehmen, dass das mentale Abbild bei VHH im Vergleich mit den bei Bildbetrachtung gewonnenen Informationen (sowie auch bei realer HH und bei Normalprobanden) intakt ist. Hier wird also für die VHH bestätigt, was in anderen Arbeiten schon für andere Probandengruppen beschrieben wurde:

Auch bei unseren Virtuellen Hemianopikern entsteht sehr früh ein mentales Modell beim Betrachten, welches die Augenbewegung bei Bildvorstellung und späteren Betrachtungen mitbestimmt (Scanpath –Ähnlichkeit) und folglich auf eine starke Top-Down Komponente beim Imagery Prozess hinweist.

Allerdings blieb die String Similarity zwischen den Betrachtungen im Verlauf unserer ersten Versuche (also von D1 zu D4 beim EASY LOOKING) relativ konstant zwischen 0,4 und 0,5 ohne signifikante Unterschiede. Die geringe Signifikanz der Bildbetrachtung/ Imagery Vergleiche untereinander lässt sich zu großen Teilen durch die hohe Schwankungsbreite der Messungen bei einzelnen Patienten erklären.

Außerdem wurde bei 20 Patienten mit jeweils 8 Bildbetrachtungen pro Durchgang eine relativ große Gruppe ausgewertet. Dazu kommt, dass in D2 bei der Hälfte der Probanden noch eine 5°-Extramaske zugeschaltet wurde, die die Heterogenität innerhalb der Gruppe zusätzlich verstärkt.

Im Gegensatz zu dieser Konstanz der Similarity beobachtete Gbadamosi 2001 bei seinen Versuchen zur Visual Imagery bei Hemianopikern „eine Konvergenz der Vorstellung“, das heißt eine Zunahme der Similarity bei wiederholter Bildbetrachtung mit nachfolgender Imagery.

Dieses konnte bei den EASY LOOKING Versuchen D1 bis D4 nicht betätigt werden, vermutlich aus den oben genannten Gründen.

Bei den Vergleichen der Patientengruppe *mit* versus *ohne* Extramaske in D2 hingegen zeigte sich, dass bei den Probanden ohne Maske von D1 zu D3 eine Zunahme der String Similarity stattfand, wobei die Similarity bei Probanden mit Maske signifikant abnahm.

Gemäß Kosslyn's High Level Vision Theorie des „Visual Buffers“ könnte man sich diese Zunahme der String Similarity wie folgt erklären:

Kosslyn geht von einem visuellen Buffer (Zwischenspeicher) aus, der für die Imagery ausgehende, top- down gesteuerte und bei der Perzeption eingehende Information zur Verfügung stellt und für weitere kognitive Verarbeitung verfügbar macht (Kosslyn 1994, Bartolomeo 2002).

Wie oben schon dargestellt, ist für Kosslyn Theorie von grundlegender Bedeutung, dass beim Generieren von Vorstellungsbildern aus dem Langzeitspeicher dieselben Prozesse wie für die gerade geschilderte visuelle Perzeption von bekannten Bildern eine Rolle spielen.

Die Vorstellung eines Bildes erfordert also das „Entpacken“ von gespeicherter visueller Information, um dann ein Image vor dem „geistigen Auge“ zu generieren.

Bei mehrfacher Bildbetrachtung existiert bereits nach der ersten Perzeption ein inneres mentales Modell bzw. ein mentaler Prototyp des gesehenen Bildes oder der gesehenen Szenerie. Je öfter die Prozedur nun wiederholt wird, desto effizienter und schneller funktioniert der Vorgang der Bildgenerierung samt Augenbewegungen (Scanpath) vor dem „geistigen Auge“ bei Imagery, was sich in einer höheren String Similarity und in einer geringeren Fixationsdauer (siehe 4.5 Augenbewegung bei Visual Imagery) ausdrückt.

Im Hinblick auf Kosslyn 's Theorie des Visual Buffers könnten man argumentieren, dass die Bereitstellung der Inhalte aus dem Langzeitspeicher und die Füllung des Visual Buffers mit visueller Information a) schneller erfolgt und b) die Informationen erleichtert freigegeben werden.

Abschließend können wir festhalten, dass in unseren Versuchen mit VHH ein mentales Modell ähnlich Normalprobanden und organischen Hemianopikern (anhand konstanter String Similarity) konsistent und reproduzierbar gebildet wurde.

Außerhalb dieses Ergebnisses, dass die Fähigkeit zur Modellbildung bei VHH erhalten ist, können wir (auch aufgrund fehlender topographischer Information durch bildgebende Verfahren von aktiven Hirnarealen wie PET/ fMRI) keine Aussage darüber treffen, inwieweit das „Modellbild“ vor dem „geistigen Auge“ durch die VHH in Bezug auf Detail und Komplexität gestört ist.

Auch bei realen Hemianopikern mit konkreten organischen Defekten des visuellen Kortex und seiner Assoziationsgebiete gibt es in der Literatur keine klare Einigung zur Visual Imagery. Es gibt derzeit Unstimmigkeiten zwischen verschiedenen Neuroimaging Studien in der Frage, ob und welche Rolle der primäre visuelle Kortex in der Okzipitalrinde bei der Mental Imagery spielt (Kosslyn 2000, 2003; Bartolomeo 2002).

Butter et al 1997 beschreiben beispielsweise eine solche Einschränkung der Visual Imagery für visuelle Stimuli bei Hemianopikern, wobei andere Autoren (Goldenberg 1993, Chatterjee 1995) keine Verluste der Imagery Fähigkeit bei Patienten mit sensorisch-organischen Defekten feststellen konnten.

### 4.3 Verfahren zur Auswertung von Bildbetrachtung und Imagery

#### 4.3.1 Verschiedene Auswertungsmethoden der Scanpath- Vergleiche

In unseren Auswertungen der Scanpaths von Bildbetrachtung und Imagery haben wir drei verschiedene Methoden zur Berechnung der Similarity benutzt: Regional String Editing und seine komprimierte Form, Vektor String Editing und seine gewichtete Form und die Markov Analyse samt komprimierter Form. Die so gewonnenen Similarities der einzelnen Methoden sind nicht direkt miteinander vergleichbar, sondern berücksichtigen vielmehr unterschiedliche Aspekte der untersuchten Augenbewegungen.

Wie schon in der Einleitung beschrieben, werden beim RSE und der MA aus der Sequenz von Fixationen in den „a priori“ und „a posteriori“ definierten REGIONS OF INTERESTS (ROI) die Similarity zweier Scanpath berechnet. Das geschieht beim String Editing analog zu Verfahren wie sie aus Wortkorrekturprogrammen bekannt sind (Wagner 1974) und bei der Markov Analyse anhand von Berechnungen der Übergangswahrscheinlichkeiten.

Das VSE berechnet die Similarity unabhängig von der ROI Matrix. Hier werden Strings von Vektoren der Augenbewegung verglichen. Der deutliche Unterschied zu den anderen Verfahren ist, dass bei dieser vektoriellen Auswertung die Richtung der Augenbewegung in die Similarity mit eingeht, also VSE ein richtungssensitives Verfahren darstellt.

Beim VSE und seiner gewichteten Form zeigte sich früh, dass hier keine Ergebnisse zu erwarten waren und diese Verfahren für unsere Fragestellungen ungeeignet sind. Durchgehend blieb die errechnete Similarity durch alle Gruppen und TASKs relativ konstant (für VSE auf einem relativ niedrigem Niveau  $Sim < 0,2$ ; bei wVSE auf einem höheren Niveau  $Sim > 0,7$ ), ohne sichtbare oder signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen und TASKs zu liefern. Die errechnete Similarity blieb also weitgehend unbeeinflusst von unterschiedlichen Versuchsabläufen und Aufgabenstellungen.

Die Markov Analyse mit den beiden differenten ROI- Definitionen ergab nur zum Teil signifikante Unterschiede. Allerdings unterstreichen die gewonnen Daten mit ihrer Tendenz bei den „a priori“ und „a posteriori“ -Vergleichen und auch mit Signifikanzen im Extramaskenvergleich die durch RSE gewonnenen Ergebnisse.



Als das sensitivste Verfahren für den Vergleich von Scanpath im Hinblick auf Änderungen im Versuchsaufbau (TASKs, ROI- Definition, Extramaske) zeigte sich das RSE und seine komprimierte Form. Im Gegensatz zu den anderen Auswertungsmethoden scheint nur das regionale String Editing durchgehend geeignet zu sein, sinnvolle Aussagen über die Ähnlichkeit von Bildbetrachtung und Visual Imagery zu erhalten, so dass wir im Laufe der Versuche nur noch dieses Verfahren zum Teil mit unterstützenden Ergebnissen der Markov Analyse zu Similarity Berechnung benutzt haben.

Das RSE ist in der Literatur beim Vergleich von Scanpaths ein anerkanntes und vielfach verwendetes Auswertungsverfahren (Brandt 1989+1997, Gbadamosi 2001, Zangemeister 1996, Stark 2001).

#### **4.3.2 Unterschiede der String Similarity bei „a posteriori“ und „a priori“ ROI-Definition**

Bei unseren Versuchen zeigte sich bei der Betrachtung von Bildern unterschiedlicher Bildart (Suchaufgabe, Abstrakt, Realistisch) und der nachfolgenden Visual Mental Imagery ein unterschiedliches Verhalten bei „a priori“ und bei „a posteriori“ ROI-Definition. Es ist offensichtlich, dass eine „a priori“ - Auswertung mit geometrischer Aufteilung der ROIs den Scanpath eher nach dem bottom- up Verhalten analysiert und bei „a posteriori“ ROI- Definition mit Aufteilung des Bildes nach Inhalt und wichtigen Merkmalen eher das top- down Verhalten im Vordergrund steht.

So fanden wir erwartungsgemäß eine fast durchgehend hochsignifikant höhere String Similarity bei „a posteriori“ im Vergleich zur „a priori“ - ROI- Definition.

Während bei „bottom- up“ Prozessen, wie beispielsweise die Exploration einer neuen Szenerie, die Augenbewegung durch externe Stimuli bestimmt werden, kontrollieren bei Top- down Prozessen höhergradige kognitive Zentren die Fixationen und Bildbetrachtungen.

Die Scanpath- Theorie von Norton und Stark beschreibt, dass bei Top- down gesteuertem Sehen ein inneres kognitives Modell von dem erstellt wird, was wir sehen und bei wiederholter Betrachtung anhand dieses Modells die Augenbewegungen durch repetitive Scanpath- Sequenzen gesteuert werden.

Weiterhin besagt die daraus entstandene Feature –Ring Hypothese (Stark et al 1981), dass die Speicherung von Objekten im Gehirn repräsentiert wird durch:

- a) wichtige Merkmale (ROIs)
- b) die dazwischen liegende Augenbewegung (Sakkade).

Die Wahrnehmung wird also überwiegend über foveale Fixationen bestimmt (enges Feld von ca. 1 ° mit hoher visueller Auflösung), die Top- down gesteuert die wichtigen „Regions of interests“ (interessante, gespeicherte Subfeatures) eines Bildes „abscannen“.

Da die intelligente Einteilung eines Bildes („a posteriori“) in unseren Versuchen eine hochsignifikant höhere Similarity zwischen Bild und mentalem Abbild zeigt, unterstützen unsere Ergebnisse die Feature Ring Hypothese. Zusätzlich wird durch dieses Ergebnis der hohen String Similarity die High Level Vision Theorie von Kosslyn weiter untermauert, nämlich dass bei mentaler Visual Imagery die gleichen Top- down- Prozesse wie bei der Wahrnehmung ablaufen.

Die „a posteriori“ ROI- Definition charakterisiert also exakt die Feature Ring Hypothese und führt deswegen zu einer höherer Ähnlichkeit zwischen Imagery- und Betrachtungs- Scanpath als die „a priori“ ROI- Definition.

Insgesamt bestätigen also unsere Versuche die oben genannte Theorie von Norton und Stark.

Auch Laeng et al. beschreiben in ihrer Arbeit 2002, dass bei Bildvorstellung Augenbewegungen funktionell von Wichtigkeit sind. Brandt zeigt mit seinen Versuchen 1997, dass Augenbewegungen samt Scanpath während visueller mentaler Imagery den Inhalt des vorgestellten Bildes widerspiegeln (Mast 2002).

Durch unsere Ergebnisse werden diese Aussagen unterstützt und zusätzlich gezeigt, dass auch bei VHH von 50° bei Visual Imagery sehr ähnliche Top- down Prozesse wie bei der Bildbetrachtung stattfinden müssen.

#### **4.4 Einfluss der Extramaske auf den Imagery – Prozess**

##### **4.4.1 Wichtigkeit des fovealen Sehens für das postulierte visuelle Modell**

Von besonderer Wichtigkeit für das oben beschriebene visuelle kognitive Modell des Sehens und der Visual Imagery sind foveale Fixationen, das heißt das Erfassen von interessanten „Subfeatures“ eines Bildes mit den ca. 2 ° des Gesichtsfeldes (Fovea) mit der höchsten Auflösung. Foveale Fixationen machen mit ca. neunzig Prozent den Großteil der Wahrnehmung aus, während Scanpath, also Reproduktion von seriellen Augenbewegungen zur korrekten Positionierung auf die spezifischen ROIs nur ca. 10 Prozent ausmachen.

Der periphere Anteil der Retina weist mit über 180° das größte Feld auf und ist bei relativ geringer visueller Auflösung hauptsächlich für Bewegung wie plötzliche Veränderungen der Szenerie oder Belichtungswechsel zuständig.

Inwieweit nun das extra- und parafoveale Sehen zu der Similarity von Scanpaths beiträgt und welche Rolle es im „High Level Vision“ spielt, ist noch relativ ungeklärt. In Arbeiten über Lese- Sakkaden bei einem Patienten mit einer linksseitigen so genannter „Macular Sparing“ Hemianopsie (Ausparung der Fovea vom Gesichtsfelddefekt) bei rechtsseitigem kompletten Ausfall („foveal split“) wurde festgestellt, dass foveales Sehen beim Vorgang des Lesens von enormer Wichtigkeit ist (Upton 2003). Bereits 1971 zeigten Rayner und Bertera, dass die Maskierung der Fovea die Lesefähigkeit stark einschränkt. (Rayner 1971)

Bei der Bildbetrachtung und besonders bei der Visual Imagery nahmen wir aufgrund der Feature Ring Theorie von Norton und Stark und der involvierten Top- down Prozesse einen überwiegend fovealen Anteil des Sehens an, da die Fixationen von ROIs eine essentielle Rolle spielen. Dass siebzig Prozent aller Hemianopsie Patienten eine Auslassung der Fovea, das „Macular Sparing“ aufweisen (Kerkhoff 1999), könnte ein Hauptgrund dafür sein, dass der Vorgang der Visual Imagery wie oben beschrieben im Vergleich zu Probanden mit intaktem Gesichtsfeld kaum gestört ist.

Zur Überprüfung dieser These schalteten wir im zweiten Durchgang der Versuche bei der Hälfte unserer VHH Probanden eine zusätzlich 5° Maske zu, die dieses „Macular Sparing“ vollständig beseitigen sollte.

#### 4.4.2 Veränderung der String Similarity durch die 5° Extramaske

Es stellte sich heraus, dass bei der Patientengruppe mit Extramaske die String Similarity im darauf folgenden Durchgang (D3) nun hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) abfiel, also die Generierung des mentalen Abbildes aufgrund einer zusätzlichen Gesichtsfeldeinschränkung vermehrt gestört sein musste, wobei im Gegensatz dazu die Similarity bei den übrigen VHH Probanden anstieg. Wir deuteten diese Ergebnisse als einen Zusammenbruch des Imagery Prozesses aufgrund eingeschränkter Fähigkeit zu fovealen Fixationen, die folglich essentiell für das von uns postulierte Imagery Modell im Sinne Kosslyn's sind.

Dass diese Extramaske nicht nur Einfluss auf den Bildbetrachtungs- Scanpath, sondern auch auf den Imagery Scanpath haben muss, zeigt die Tatsache, dass in Versuch D3 keine Extramaske mehr vorlag und hier der Bildungsprozess eines mentalen Abbildes theoretisch wieder wie in D1 hätte funktionieren müssen. (hohe Similarity für beide Gruppen)

Der Abfall der Similarity in D3 lässt also eine den Versuch überdauernde, tief greifende negative Auswirkung der D2 Extramaske auf die Top- down Prozesse des Imagery-Vorganges schließen.

Die Wichtigkeit der fovealen Fixationen für das Abtasten des Bildes nach interessanten Subfeatures und die Reproduktion dieses Vorganges beim Prozessieren eines mentalen Abbildes bei Visual Imagery werden durch unsere Ergebnisse der Extramaskenversuche also unterstützt.

Weiterhin ergab sich, dass sich diese Unterschiede ausgelöst durch die Extramaske stärker bei der „a priori“ ROI - Definition als bei der „a posteriori“ ROI - Definition manifestierten.

Der geringere Einfluss der Extramaske bei „a posteriori“ könnte darauf zurückzuführen sein, dass diese Definition mehr Rücksicht auf Bildinhalte nimmt und damit die kognitiven Aspekte der Bildvorstellung respektiert. Man könnte hieraus schlussfolgern, dass sich die zusätzliche 5° Gesichtsfeldeinschränkung vergleichsweise weniger als bei „a priori“ ROI- Definition auf die „Top down“ -Prozesse des Sehens auswirkt, obwohl aufgrund der signifikant niedrigeren Similarity der Extramaskengruppe auch bei „a posteriori“ die Störung kognitiver Prozesse im Vordergrund steht. Das Regional String Editing und die Markov Analyse „a priori“ ohne ROI - Kompression sind am anfälligsten auf Vergrößerung der VHH.

Die eigentliche Idee hinter der Extramaske, nämlich einen therapeutischen Effekt aufgrund von forciertem Training durch Maskierung der fovealen Region bei (virtueller, modellierter) Hemianopsie analog zu Arbeiten bei Patienten mit Hemiplegie zu erzielen, konnte somit nicht verifiziert werden, da genau die für die Rehabilitation wichtigen Top- down Prozesse durch die Extramaske vermehrt supprimiert werden.

Als ein inzwischen weithin mit Erfolg angewandtes Verfahren zur Therapie von Schlaganfallpatienten wird bei Hemiplegie die gesunde Seite zur Mobilisation von Restkapazitäten der gelähmten Seite arretiert und man erreicht so eine schneller Rehabilitation der Patienten (Taub 1993, Van der Lee 2000).

#### **4.5 Visual Imagery unter den verschiedenen Aufgabenstellungen**

In weiteren Experimenten untersuchten wir, welchen Einfluss spezifische Aufgabenstellungen (Tasks) wie z.B. „Schauen Sie auf Details!“ oder „Schauen Sie auf die Beziehung der Bildmerkmale zueinander!“ auf die Visuelle Mentale Imagery haben oder ob die kognitiven Prozesse der Scanpath- Bildung relativ unbeeinflusst bleiben.

Eine frühere Arbeit von Zangemeister und Stark (1995) hatte gezeigt, dass Bildinhalte und Anweisung zur Bildbetrachtung sowie Professionalität des Betrachters die Strategie von Scanpaths (lokale versus globale Scanpath- Strategie) verändern können.

Ellis und Stark stellten 1981 an mehrdeutigen und fragmentierten Bildern dar, inwieweit das internalisierte Kognitive Modell und nicht die peripheren Stimuli den Scanpath kontrollieren und steuern. Sie postulierten, dass die Generierung von Scanpaths abhängig ist vom Individuum und seiner kognitiven Verfassung und nicht von physikalischen Begebenheiten des Exterieurs.

In unseren Experimenten zeigte sich, dass erwartungsgemäß ein großer Einfluss der TASKs (Easy Viewing, Detailed und Recollection) auf die basalen Fixationsparameter sowie auf die Global/Lokal -Ratio besteht. Trotz der großen Gruppen und den in 4.1 dargestellten Problemen der Auswertung konnte allerdings auch ein gewisser Einfluss der Aufgabenaufforderungen auf die Similarity von Visual Imagery und Bildbetrachtung bestätigt werden.

Wir fanden heraus, dass bei der „a priori“ ROI- Definition kein Einfluss der TASKs auf die Similarity festzustellen ist. Bei „a posteriori“ hingegen ergaben sich signifikant niedrigere Similarity Werte für die DETAILED Betrachtungen im Vergleich zu EASY und RECOLLECTION.

Das heißt also, dass die Aufgabenstellung unter der man sich ein Bild anzuschauen hat, kaum Effekte auf die Similarity unter „a priori“ – Definition aufweist bzw. mit String Editing Methoden nicht nachzuweisen ist, während bei „a posteriori“ sehr wohl signifikante Unterschiede in der String Similarity festzustellen sind.

Wie in 4.2 schon dargestellt, findet sich hier eine weitere Bestätigung für die Auswertungsmethode RSE/ cRSE und der „a posteriori“ Bildaufteilung für Scanpath Vergleiche.

Da die „a posteriori“ Einteilung der ROIs mehr die Top- down Prozesse des Scanpath (wie in der „Feature Ring Hypothese“ dargestellt) repräsentiert (Becker 2000), ergibt sich hieraus die Schlussfolgerung, dass bei DETAILED Viewing mit der Aufgabenaufforderung, wichtige Merkmale des Bildes zu erkennen, weniger Top- down Verhalten bzw. kognitive Steuerung der Augenbewegung als bei RECOLLECTION und EASY von Bedeutung zu sein scheint. Dies könnte man damit erklären, dass schon in der Aufgabenstellung „Schauen sie nach Details“ mehr bottom- up Verhalten gefordert wird, d.h. die Steuerung der Augenbewegungen und Fixationen wird durch externe Stimuli wie interessante Subfeatures eines Bildes ausgelöst. Daraus folgt eine niedrigere Ähnlichkeit zwischen Bildbetrachtung und kognitiv induziertem mentalen Abbild bei DETAILED während des Visual Imagery Prozesses.

Ein weiteres interessantes Ergebnis liefern die Extramasken Versuche. Hier zeigt sich, dass besonders die DETAILED aber auch die RECOLLECTION Betrachtungen stärker als beim EASY Viewing durch die 5° -Extramaske beeinträchtigt werden. Der Einfluss der 5° - Maske macht sich also bei „gezielter“ Bildbetrachtung (d.h. nach Details oder Beziehungen der Bildinhalte schauen) intensiver bemerkbar als bei „normaler“ Bildbetrachtung.

Mithilfe der oben aufgestellten Hypothese zeigen diese Ergebnisse folglich, dass für spezifische Aufgabenstellungen zu Bildinhalten - wie in unserem Falle DETAILED und RECOLLECTION - foveale Fixationen von besonderer Wichtigkeit sind, da gerade das foveale Sehen durch die 5°-Extramaske negativ beeinflusst wird.

Bei EASY Viewing, wo para- und extrafoveales Sehen mehr zur Scanpath Bildung beitragen, wirkt sich der Einfluss der Extramaske signifikant weniger stark auf die Similarity aus als bei den anderen beiden TASKs.

## **4.6 Augenbewegung bei Visual Imagery und virtueller Hemianopsie**

### **4.6.1 Basale Scanpath- Parameter bei Visual Imagery**

LAENG zeigte mit seinen Versuchen zur Mental Visual Imagery 2002 basierend auf der Theorie von Norton und Stark (1971), dass Augenbewegungen nicht nur essentielle Wichtigkeit haben für die Generierung von mentalen Abbildern, sondern sogar funktionell involviert sind in die Prozessierungsvorgänge, indem er Probanden verbot, bei der Bildvorstellung Augenbewegung durchzuführen und die Ergebnisse mit Probanden verglich, die ihre Augenbewegung nicht einschränken mussten. In einem darauf folgenden Gedächtnistest (Spatial Memory Test) stellt sich heraus, dass die Probanden die frei explorieren durften, sehr viel besser abschnitten.

In unseren Versuchen bestimmten wir als basale Parameter der Mental Visual Imagery die mediane Sakkaden- Amplitude, die Fixationsdauer und Anzahl der Scanpaths sowie der Global/Lokal- Index (Quotienten von Sakkaden über einer gesetzten Schwelle z.B.  $1^\circ$  und der Anzahl unter dieser Schwelle). Die Auswertung erfolgte unter der Fragestellung, inwieweit sich simulierte Hemianopsie sowie die verschiedenen Aufgabenstellungen und Bildinhalte wie z.B. abstrakte und realistische Inhalte auf die Blickbewegungsparameter von Bildvorstellung und Bildbetrachtung auswirken.

Trotz der von uns bestätigten Ähnlichkeit der Bildbetrachtung/ Imagery Scanpaths, auf die wir schon eingegangen sind, ergab sich in unseren Auswertungen der basalen Fixationsparameter über alle Bilder reproduzierbare hochsignifikante Unterschiede in der Scanpath Charakteristik.

Wie schon in Arbeiten von Gbadamosi (2001) für hemianopische und Brandt (1997) und Körber (2003) für gesunde Probanden ergab sich bei VHH eine „Miniaturisierung“ der Scanpathsequenzen mit geringeren Sakkadenamplituden, geringerer Fixationsanzahl und längerer Fixationsdauer. Der Global/Lokal -Index stellte sich bei Imagery hochsignifikant niedriger dar als bei Bildbetrachtung.

Diese Ergebnisse zeigen also, dass der während der Bildvorstellung produzierte Scanpath des mentalen Abbildes andere zeitliche und räumliche Eigenschaften aufweisen muss als der Scanpath der Bildbetrachtung. Die Top- down Mechanismen zur Bildung des mentalen Abbildes nehmen offensichtlich mehr Zeit in Anspruch als bei visueller Exploration. Bei entsprechend längerer Fixationsdauer fällt damit auch die Anzahl von Fixationen bei Bildvorstellung geringer aus.

Nach der „Feature Ring Theorie“ verbinden beim Visual Imagery Vorgang motorische Augenbewegungen die Fixationen von wichtigen „Subfeatures“ des zur erinnernden Bildes. Diese Betrachtung des Bildes vor dem „geistigen Auge“ benötigt offensichtlich keine Sakkaden in Originalgröße, sondern hat seine eigene räumliche Dimension, die anscheinend für die Integrität des mentalen Abbildes ausreichend ist. Bei der Generierung des mentalen Abbildes liegen kognitiv also eine veränderte räumliche und zeitliche Dimension zugrunde im Vergleich zur Bildbetrachtung.

Auch andere vorangegangene Studien zu Durchmusterungen bei visueller Vorstellung (Kosslyn 1978, Farah 1995) zeigten, dass bildliches Vorstellen und tatsächliches Sehen eines komplexen visuellen Stimulus sich hinsichtlich ihrer Ausdehnung unterscheiden. Die durchmusterte Fläche ist beim Vorstellen kleiner als bei der Betrachtung desselben Bildes, dem „Original“ (Kosslyn 1998, Seth 2001).

Ein komplementärer Befund findet sich für die Geschwindigkeit von Bewegungen bei motorischer Imagery (Sirigu et al. 1996, Sirigu & Duhamel 2001). Bei Versuchen zum visuell- geleiteten Zeigen ähnelten sich Vorstellung und Durchführung sehr. Der zeitliche Aufwand der Vorstellung (Motor Imagery) der gestellten Bewegungsaufgabe lag allerdings regelmäßig und systematisch unter dem der wirklichen Durchführung. Analog zur visuellen Vorstellung wurde auch bei Motor Imagery festgestellt, dass die gleichen neuronalen Repräsentationen wie bei realer motorischer Aktivität (bzw. für die Visual Imagery bei visueller Perzeption) involviert sind.

#### **4.6.2 Fixationsdauer**

Bei weiteren Auswertungen der basalen Fixationsparameter stellte sich heraus, dass die mediane Dauer der Fixationen für D1 signifikant länger war als die Fixationsdauer in D3. Folglich muss durch Lernprozesse bzw. durch bereits Vorhandensein eines „Inneren Modells“ im dritten Betrachtungsdurchlauf die Generierung des Scanpaths schneller abgelaufen sein als noch im ersten Durchgang.

Nach Kosslyn' s Theorie des „Visual Buffers“ könnte man ein schnelleres Auffüllen des Zwischenspeichers bei bereits bekanntem Inhalt postulieren. Kosslyn vermutet eine Art retinotop angelegten Visual Buffer im Bereich V1 und V2, der für die Generierung mentaler Bilder top- down gesteuert Bildinhalte als quasi- piktorielle Information zur Verfügung stellt und für die visuelle Wahrnehmung eingehende Informationen sozusagen bottom- up darstellt und für weitere kognitive Verarbeitung zur Verfügung stellt (Kosslyn 1994).



Gemäß der Beschreibung des Zustandekommens von mentalen Abbildern wird also aus den im visuellen Buffer eingehenden und analysierten Bildinformationen im nächsten Schritt von den "High-level" Arealen ein Prototyp des Gesehenen erstellt, welcher während der darauf folgenden Bildvorstellungen nach Einlesen zurück in den Buffer dann die entsprechenden „miniaturisierten“ Augenbewegungen generiert. Bei mehrmaliger Betrachtung funktioniert dieser Mechanismus, also das Füllen des visuellen Buffers, schneller und effizienter (Becker 2000).

#### **4.6.3 Einfluss der Tasks auf die basalen Parameter**

Weiterhin zeigte sich deutlich der Einfluss der Aufgabenstellungen („Detailed“ und „Recollection Viewing“) auf die Fixationsparameter und den Global/Lokal- Index. So lag die Fixationsanzahl von RECOLLECTION und DETAILED mit hoher Signifikanz über der „normalen“ Anzahl von Fixationen bei freier EASY Bildbetrachtung. Gleichzeitig sank damit natürlich auch die Fixationsdauer bei den TASKs, was zusammengenommen für eine globalere Exploration bei den Aufforderungen wie „Schauen Sie auf Details!“ und „Schauen Sie auf die Beziehung der Bildmerkmale zueinander!“ spricht.

Diese Vermutung wird durch die Auswertungen des Global/Lokal -Indexes unterstützt, der bei den TASKs (als Maß für Globales versus Lokales Betrachten) und insbesondere bei DETAILED signifikant über dem Index bei EASY liegt. Schon Yarbus (1967) hatte beschrieben, dass klare Strukturunterschiede der Perzeption bestehen, wenn unterschiedliche TASKs instruiert werden.

Ähnlich einer Arbeit von Zangemeister et al. 1995, die den Global/Lokal- Index bei professionellen und nicht-professionellen Kunstbetrachtern untersuchte, ergaben sich beim Vergleich der Global/Lokal -Rate verschiedener Bildinhalte (in unseren Versuchen abstrakte und realistische sowie Suchaufgaben) signifikante Unterschiede.

Abstrakte Bilder wurden von unseren VHH Probanden mit der signifikant höchsten Global/Lokal- Rate, also mit den größeren Sakkaden und einem globaleren Explorationsverhalten angeschaut als realistische Bilder. Am geringsten stellte sich der Index bei Suchaufgaben dar. Hier bedarf es anscheinend keiner Erfassung einer gesamten Bildstruktur. Ein lokales „Scannen“ des Bildes nach dem Suchobjekt (in unserem Falle ein Pfeil) reicht aus, um die Aufgabe lösen zu können.

Der Task Effekt auf die Augenbewegung von VHH Probanden macht deutlich, dass sich die kognitive Ausgangslage sehr wohl auf den Scanpath und die basalen Blickbewegungsparameter auswirkt. Die virtuelle Hemianopsie scheint dabei, wie schon Gbadamosi (2001) bei Hemianopikern feststellte, keinen tief greifenden negativen Einfluss auf die Top- down Mechanismen zu bewirken. Unsere Ergebnisse bei VHH, nämlich dass unterschiedliche Aufgabenstellungen den perzeptuell-kognitiven Prozess des aktiven Sehens beeinflussen, sind denen von nicht visuell defizitären Probanden (Zangemeister 1995) sehr ähnlich.

Es konnte also gezeigt werden, dass auch bei simulierter Hemianopsie unterschiedliche Bildinhalte und unterschiedliche Aufgaben mit der eine Szene visualisiert werden soll, unterschiedliche Aktivierung von Top- down Strategien der Scanpaths zur Folge haben. Insgesamt lassen sich die von uns bei Bildvorstellung aufgezeichneten Sakkaden- und Fixationsparameter mit dem oben postulierten High- Level- Vision Modell des Sehens mit Top –down gesteuerter Ausführung eines mentalen Modells bei Visual Imagery vereinbaren.

Um genauere Aussagen über das Verhalten von Augenbewegungen bei Visual Mental Imagery und VHH bei verschiedenen Tasks und Bildinhalten machen zu können, müssten allerdings spezifischere Imagery- Versuche unter Zuhilfenahme von Informationen aus Neuroimaging Verfahren durchgeführt werden und diese Ergebnisse direkt mit einer Kontrollgruppe abgeglichen werden, was in der vorliegenden Arbeit nicht erfolgt ist.

## 5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird eine quantitative Auswertung von Bildbetrachtungen und Visual Imagery von 20 Probanden unter einer simulierten homonymen Hemianopsie (VHH) vorgestellt. 8 Bilder unterschiedlicher Komplexität wurden wiederholt in 4 Durchläufen auf einem Monitor dargeboten und die Augenbewegung während Bildbetrachtung und Imagery mittels eines Infrarot- Okulographen aufgezeichnet. Während der Betrachtungen wurde bei der Hälfte der Probanden im zweiten Durchlauf eine 5° -Extramaske zusätzlich zur simulierten Hemianopsie hinzugeschaltet. Pro Durchlauf erfolgten zwei Drittel der Betrachtungen unter spezifischen Aufgabenaufforderungen (TASK) wie „Schauen Sie nach Details!“ und „Schauen Sie nach Beziehungen der einzelnen Dinge auf dem Bild zueinander!“.

Mit Hilfe von String Editing Verfahren und Markov Analyse bestimmten wir nun die Ähnlichkeit (Similarity) von Augenbewegungsfolgen (so genannten Scanpath) zwischen Bildbetrachtung und der darauf folgenden Bildvorstellung ohne Stimulus. Die Berechnung erfolgte unter Aufteilung der Bilder in zwei unterschiedliche Raster: in geometrische „a priori“ Regions-of-Interests (ROI) und subjektive „a posteriori“ ROI's. Weiterhin führten wir eine Auswertung der basalen Sakkaden/ Fixationsparameter durch.

Ziel der Studie war es, Hinweise zu Fragestellungen der aktuellen Diskussion zu bekommen, inwieweit Augenbewegungen (insbesondere für die Visual Imagery) bei der Repräsentation von Bildern im visuellen Kortex eine Rolle spielen. Weiterhin sollte untersucht werden, ob diese Steuerung der Augenbewegungen mehr „top- down“ oder „bottom- up“ erfolgt und inwieweit eine simulierte Hemianopsie diese Prozesse stört.

Die Ergebnisse zeigen grundsätzlich eine hohe Ähnlichkeit der Scanpaths von Betrachtung und Imagery, was ein Indiz für die Wichtigkeit von Augenbewegungen bei der Bildvorstellung im Sinne einer Bildung eines „mental Modells“ ist. Die dargestellten Befunde unterstützen in weiten Teilen also die These einer engen Interaktion zwischen Okulomotorik und perzeptuellen Vorgängen.

Die simulierte Hemianopsie (VHH) scheint auf diese Prozesse kaum Auswirkung zu haben. Eine Erweiterung der VHH von 5° zeigt allerdings signifikante Veränderung der String Similarity zwischen Imagery und Bildbetrachtung, was dafür spricht, dass top-down Strategien nicht mehr ausgeführt werden können, wenn die foveale Region maskiert ist.

Des Weiteren stellten wir bei der Auswertung der basalen Sakkaden- und Fixationsparameter fest, dass bei Visual Imagery eine Miniaturisierung des Bildes mit längerer Fixationsdauer und geringerem Global/Lokal-Index generiert wird. Außerdem zeigte sich, dass die verschiedenen Aufforderungen zu den Bildbetrachtungen (Viewing TASKS) deutlichen Einfluss auf die basalen Fixationsparameter und die Global/Lokal-Ratio sowie z. T. auch auf die String Similarity zwischen den Scanpaths von Bildvorstellung und Bildbetrachtung haben.

Zusammenfassend unterstützen unsere Ergebnisse also die Theorie, dass Augenbewegungen eine essentiell wichtige, funktionelle Rolle bei der mentalen Visual Imagery spielen. Weiterhin zeigen unsere Versuche, dass eine Maskierung der Fovea tief greifenden Einfluss auf die Prozessierung von mentalen Abbildern bei Visual Imagery im Sinne einer Störung top-down gesteuerter Prozesse hat.

## 6 Literaturverzeichnis

- Bartolomeo P (2002)** – The Relationship between visual perception and visual mental imagery. CORTEX (2002) 38, 357-578
- Becker A (2000)** – Quantitative Bildbetrachtungsauswertung bei der neurovisuellen Rehabilitation von hemianopischen Patienten. Med. Dissertation. Universität Hamburg
- Behrmann M, Winocur G, Moscovitch M (1992)** – Dissociation between mental imagery and object recognition in a brain-damaged patient. NATURE 359 (1992) 636-637
- Brandt S, Stark LW (1989)** – Experimental evidence for scanpath eye movements during visual imagery. IEEE Biomed. Engin. Proc. 11<sup>th</sup> Ann., Seattle (1989) pp. A317-318
- Brandt S, Stark LW (1997)** – Spontaneous eye movements during visual imagery reflect the content of the visual scene. Journal of Cogn Neuroscience 9 (1997) 27-38
- Brybaert M (1994)** - Interhemispheric transfer and the processing of foveally presented stimuli. Behavioural Brain Research 64 (1994) 151-161
- Campion J, Latto R, Smith YM (1983)** – Is blindsight an effect of scattered light, spread cortex, and near threshold vision? Behavioral Brain Science 6 (1983) 423-486
- Chatterjee A., Southwood H. (1995)** – Cortical blindness and visual imagery. Neurology, 45: 2189-2195
- Chedru F, Leblanc M, Lhermitte F** – Visual searching in normal and brain-damaged subjects. Cortex 9 (1973) 94-111
- Dynkin EB, Juschkevitch AA (1969)** – Sätze und Aufgaben über Markov'sche Prozesse. Heidelberg, Germany, Springer Verlag.
- Farah, MJ (1995)** - Current issues in the neuropsychology of image generation. Neuropsychologia (1995) 33: 1455-1471.
- Ganis G, Thompson WL, Kosslyn SM (2004)** – Brain underlying visual mental imagery and visual perception: an fMRI study. Cognitive Brain Research 20(2004) 226-241
- Gray LG, Galetta SL, Siegal T, Schatz NJ (1997)** – The central visual field in homonymous hemianopia. Evidence for unilateral representation. Arch Neurology 54 (1997) 312-317

**Gassel MM, Williams D (1963)** – Visual function in patient with homonymous hemianopia. Part 2. Oculomotor mechanisms. *Brain* 86 (1963) 1-3

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

**Gbadamosi J, Zangemeister WH (2001)** – Visual Imagery in Hemianopic Patients. *Journal of Cogn Neuroscience* 13;7(2001) 855-866

**Gottschling, Verena (2003)** - Bilder im Geiste/ Imagery–Debatte. MENTIS Verlag Paderborn

**Goldenberg, G. (1993)** – The neural basis of mental imagery. Review. *Baillieres Clin Neurol* 2 (1993) 265-286

**Hier DB, Mondlock J, Caplan LR (1983)** - Recovery of behavioural abnormalities after right hemisphere stroke. *Neurology* 33 (1983) 345-50

**Ishiai, S., T. Furukawa & H. Tsukagoshi. (1987)** - Eye-fixation patterns in homonymous hemianopia and unilateral spatial neglect. *Neuropsychologia* 25: 675-679.155

**Ishai A, Sagi D (1995)** – Common mechanism of visual imagery and perception. *Science* 268 (1995) 1772-1774

**Kaas JH, Guillery RW, Allman JM (1972)** – Some Principles of organization in the dorsal lateral geniculate nucleus. *Brain Beha Evol* 6 (1972) 253-299

**Kemeny JG, Snell JL (1983)** – Finite Markov Chains. New York. Springer

**Kerkhoff G (1999)** – Restorative and compensatory therapy approaches in cerebral blindness. *Restorative Neurology and Neuroscience.* 15 (1999) 255-271

**Kosslyn SM (1978)** - Measuring the visual angle of mind's eye. *Cognitive Psychology* (1978) 10: 356-389.

**Kosslyn, Stephan M. (1980)** – Image and mind. Harvard university press

**Kosslyn SM, Alpert LM, Thompson WL, Maljkovic V, Weise SB, Chabris CF (1993)** – Visual mental imagery activates topographically organized visual cortex: PET investigations. *Journal of Cognitive Neuroscience* 5: 263-287

**Kosslyn Stephan M., Koenig (1992)** - Wet mind. NY free press

**Körber B (2003)** – Augenbewegungen bei der Betrachtung und Vorstellung komplexer visueller Szenen. Dissertation der mathematischen- naturwissenschaftlichen Fakultät Düsseldorf 2003

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

**Kosslyn SM, Thompson WL (2000)** – Shared mechanisms in visual imagery and visual perception: insights from cognitive neuroscience MIT PRESS p975-986

**Kosslyn SM, Thompson WL (2003)** - When is early visual cortex activated during visual mental imagery? *Psychol Bull* 129:723–746.

**Laeng B, Teodorescu DS (2002)** - Eye scanpaths during visual imagery reenact those of perception of the same visual scene. *Cognitive Science* 26 (2002) 207—231

**Leigh RJ, Zee DS (1991)** - The neurology of eye movements. F.A. Davis Company:Philadelphia (Ed.2nd). 1991.

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

**Morgan HL (1970)** – Spelling correction in system programs. *Comm ACM* 13 (1970) 90-94

**Mast F W, Kosslyn SM (2002)** – Eye movements during visual mental imagery. *Trends in Cognitive Sciences* Vol.6 No.7 July 2002

**Mechelli A, Ishai A** – Where bottom-up meets top-down: Neuronal Interactions during Perception and Imagery. *Cerebral Cortex* November 2004, V 14 N 11 1255- 1265

**Noton D, Stark L (1971)** – Scanpath in Eye Movements during Pattern Perception. *SCIENCE* 171( 1971) 308-311

**Meienberg O, Zangemeister WH, Rosenberg M, Hoyt WF, Stark L (1981)** – Saccadic eye movement strategies in patients with homonymous hemianopia. *Annals of Neurology* 9 (1981) 537-544

**Meienberg O (1983)** – Clinical examination of saccadic eye movement in hemianopia. *Neurology* 33 (1983) 1311-1315

**Pambakian A.L.M., Kennard C. (1997)** – Can visual function be restored in patients with homonymous hemianopia? *British J of Ophthalmology* (1997) 81, 324-328

**Pambakian A.L.M., Wooding D.S., Patel N., Morland A.B., Kennard C., Mannan S.K. (2000)** - Scanning the visual world: a study of patients with homonymous hemianopia. *J. Neurol Neurosurg Psychiatry* 2000;69:751-759.

**Pommerenke K, Markowisch HJ (1989)** – Rehabilitation training of homonymous visual field defects in patients with postgeniculate damage of the visual system. *Restor Neurol Neurosc* 1(1989)47-63

**Rabiner LR (1986)** – A tutorial on hidden markov models and selected applications in speech recognition. *IEEE* 77 (1986) 257-286

**Rayner K, Bertera JH (1979)** – Reading without a fovea. *Science* 1979 Oct 26;206(4417):468-9

**Rossi P, Kheyfets S, Reding MJ (1990)** – Fresnel prisms improve visual perception in stroke patients with homonymous hemianopia or unilateral visual neglect. *Neurology* 40; 1597-99

**Sankoff D, Kruskal JB (1983)** - Time Warps, String Edits and Macromolecules: Theory and Practice of Sequence Comparison. Addison-Wesley, Reading, Mass.

**Seth BR, Shimojo S (2001)** - Compression of space in visual memory. *Vis.Res.* (2001)41: 329-341.

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

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

**Stark LW, Ellis SR (1981)** – Scanpath revisited: Cognitive models direct active looking. In D.F. Fisher, R.A. Monty and W. Senders (Eds.) *Eye Movements: Cognition and Visual Perception*. Hillsdale NY : Lawrence Erlbaum.

**Stark LW, Choi SY (1996)** – Experimental metaphysics: The scanpath as an epistemological mechanism. In Zangemeister WH, Stiel HS, Freska C (Eds.). *Visual Attention and Cognition*. 3-69 Elsevier Publisher (1996)

**Stark LW, Choi SY, Yu Y (1996)** – Visual Imagery and virtual reality: *Visual Science: papers in Honor of J. Enoch*. Kluwer Academic Press Dordrecht

**Stark LW et al. (2001)** – Representation of human vision in the brain: How does human perception recognize images? *Journal of Electronic Imaging* 123-151 (2001)

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



**Stone J, Dreher B, Leventhal A (1979)** – Hierarchical and parallel mechanisms in the organization of visual cortex. *Brain Res Rev*1 (1979) 345-394

**Schoepf D, Zangemeister WH (1993)** – Correlation of ocular motor reading strategies to the status of adaptation in patients with hemianopic visual field defects. *Ann NY Acad Sci* 682 (1993) 404-408

**Taub E, Miller NE, Novack TA, Cook EW 3rd, Fleming WC, Nepomuceno CS, Connell**

**JS, Crago JE(1993)** – Technique to improve chronic motor deficit after stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 1993 Apr;74(4):347-54

**Tant M.L.M, Cornelissen F.W., Kooijman A.C., Brouwer W.H. (2002)** – Hemianopic visual field defects elicit hemianopic scanning. *Vision Research* 42 (2002) 1339-1348

(1998) – The central visual field in hemianopia. Foveal or macular representation? *Arch Neurology*

**Treisman A, Gelade G (1980)** - A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology* 12 p.97 1980

**Upton NJ, Hodgson TL, Plant GT, Wise RJ, Leff AP (2003)** - "Bottom-up" and "top-down" effects on reading saccades. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2003 Oct;74(10):1423-8.

**Van der Lee JH, Wagenaar RC, Lankhorst GJ, Vogelaar TW, Deville WL, Bouter LM (2000)** - Forced use of the upper extremity in chronic stroke patients: results from a single-blind randomized clinical trial. *Stroke.* 2000 Apr;31(4):986-8.

**Wagner RA, Fisher MJ (1974)** – The string-to-string correction problem. *Journal of Association of Computing Machinery*, 21 ,168-173.

**Weiskrantz L (1986)** – *Blindsight: A Case Study and Implications.* Oxford University Press

**Weiskrantz L (1995)** – Parameters affecting conscious vs. unconscious visual discrimination with damage to the visual cortex (V1). *Proc Natl Acad Sci USA* 92 (1995) 6122-6126

**Yarbus, A. L. (1967)** - *Eye movements and vision.* Plenum. New York. 1967.

**Zangemeister WH, Oechsner U, Freska C (1995)**- Short-term adaptation of eye movements in patients with visual hemifield defects indicates high level control of human scanpath. *Optom Vis Sci* 1995;72:467–7.

**Zangemeister WH, Sherman K, Stark L (1995)** – Evidence for a global scanpath strategy in viewing abstract compared with realistic images. *Neuropsychologia* 1995; 33, 8 pp.1009-1025

**Zangemeister WH, Oechsner U (1996)** – Evidence for Scanpaths in hemianopic patients shown through string editing methods. In Zangemeister WH, Stiel HS, Freska C (Eds.). *Visual Attention and Cognition*. 197-221 Elsevier Publisher (1996)

**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 rhesus monkey. *Cold Spring Harbor Symp Quant Biol* 40 (1976), 591-600

**Zeki S (1978)** – Functional Specialisation in the Visual Cortex of the Rhesus Monkey. *Nature* 274 (1978) 423-428

**Zeki S(1983)** – The distribution of wavelength and orientation selective cells in different areas of monkey visual cortex. *Proc R Soc Lond (Biol)* 217 (1983) 449-470

**Zeki S (1992)** – Das geistige Abbild der Welt. *Spektrum d. Wissenschaft* 11 (1992) 54-63

**Zeki S (1993)** – A vision of the brain. Black Scientific Publications Oxford 1993

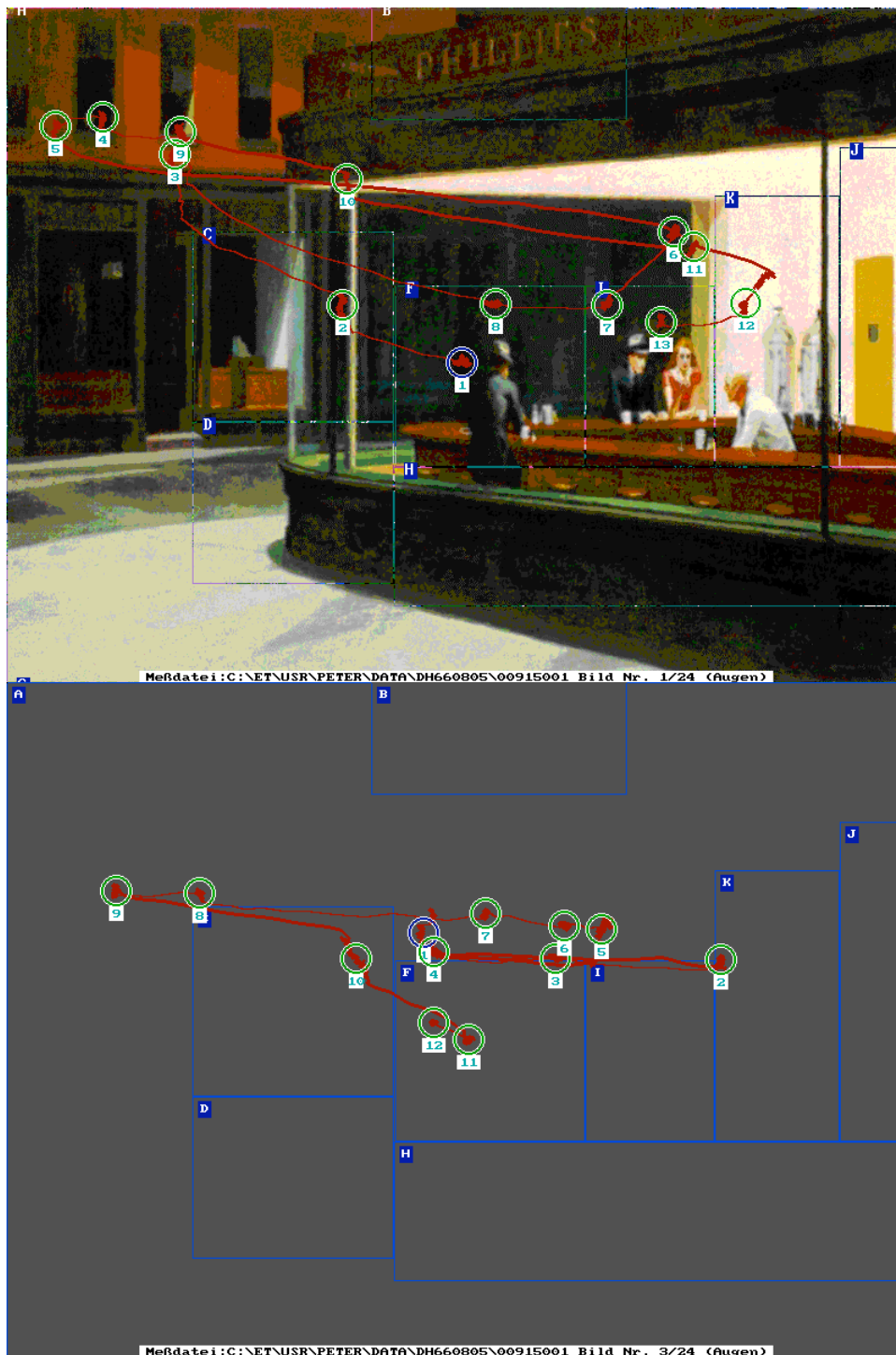
**Zihl J, Krischer C, Meißner R (1984)** – Die hemianopische Lesestörung und ihre Behandlung. *Nervenarzt* 55 (1984) 317-323

**Zihl (1994)** – Rehabilitation of visual impairments in patients with brain damage. In Koojman, Looijestijn, Welling & van der Wildt (Eds.) *Low Vision. Research and new development in rehabilitation*. amsterdam .IOS Press 287-295

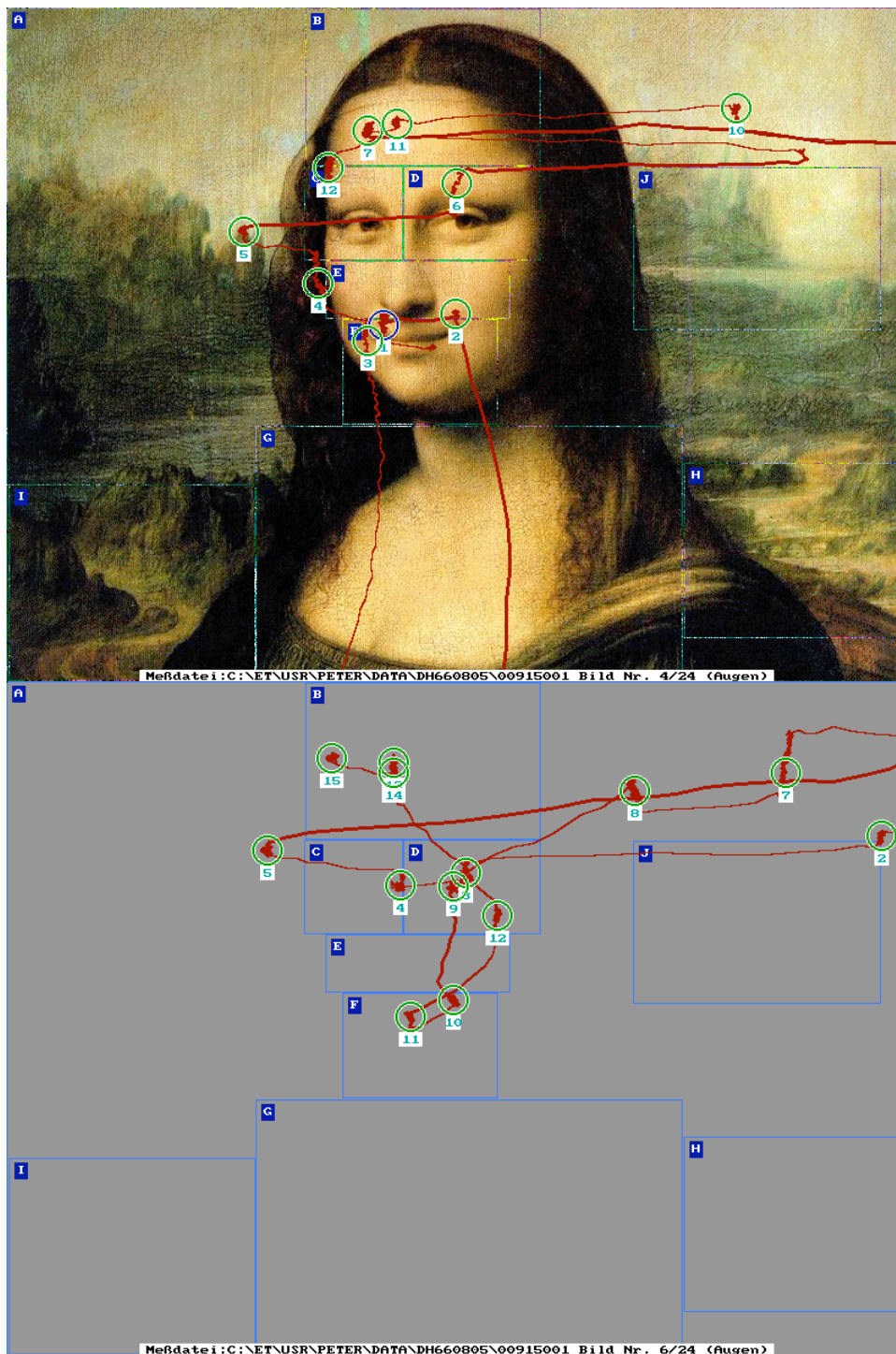
**Zihl (1999)** - Rehabilitation of visual disorders after brain injury. Psychology Press 2000

## 7 APPENDIX

### 7.1 Ausgewählte Scanpath Bildbetrachtung/ Imagery:



**Abbildung A1:** Scanpath Proband DM Durchgang 1 EASY Looking für Betrachtung und Bildvorstellung des visuellen Stimuli „Hopper“.



**Abbildung A2:** Scanpath Proband DM Durchgang 1 EASY Looking für Betrachtung und Bildvorstellung des visuellen Stimuli „Mona Lisa“.

7.2 Restliche Signifikanztabellen und Abbildungen

RSE	mw	stab	p
d1	0,44	0,098	
d2	0,43	0,084	<b>0,72</b>
d1	0,44	0,098	
d3	0,42	0,11	<b>0,46</b>
d2	0,43	0,084	
d3	0,42	0,11	<b>0,57</b>
d1	0,44	0,098	
d4	0,42	0,09	<b>0,44</b>
d2	0,43	0,084	
d4	0,42	0,09	<b>0,61</b>
d3	0,42	0,11	
d4	0,42	0,09	<b>0,92</b>

crSE	mw	stab	p
d1	0,46	0,078	
d2	0,47	0,083	<b>0,3</b>
d1	0,46	0,078	
d3	0,45	0,082	<b>0,91</b>
d2	0,47	0,083	
d3	0,45	0,082	<b>0,58</b>
d1	0,46	0,078	
d4	0,46	0,08	<b>0,93</b>
d2	0,47	0,083	
d4	0,46	0,08	<b>0,72</b>
d3	0,45	0,082	
d4	0,46	0,08	<b>0,85</b>

VSE	mw	stab	p
d1	0,074	0,1	
d2	0,072	0,03	<b>0,3</b>
d1	0,074	0,1	
d3	0,078	0,04	<b>0,42</b>
d2	0,072	0,03	
d3	0,078	0,04	<b>0,58</b>
d1	0,074	0,1	
d4	0,072	0,05	<b>0,37</b>
d2	0,072	0,03	
d4	0,072	0,05	<b>0,96</b>
d3	0,078	0,04	
d4	0,072	0,05	<b>0,63</b>

wVSE	mw	stab	p
d1	0,7	0,151	
d2	0,73	0,04	<b>0,4</b>
d1	0,7	0,151	
d3	0,73	0,04	<b>0,55</b>
d2	0,73	0,04	
d3	0,73	0,04	<b>0,3</b>
d1	0,7	0,151	
d4	0,73	0,05	<b>0,44</b>
d2	0,73	0,04	
d4	0,73	0,05	<b>0,98</b>
d3	0,73	0,04	
d4	0,73	0,05	<b>0,52</b>

MA	mw	stab	p
d1	0,68	0,1	
d2	0,67	0,09	<b>0,58</b>
d1	0,68	0,1	
d3	0,68	0,089	<b>0,97</b>
d2	0,67	0,09	
d3	0,68	0,09	<b>0,66</b>
d1	0,68	0,1	
d4	0,67	0,09	<b>0,78</b>
d2	0,67	0,09	
d4	0,67	0,09	<b>0,76</b>
d3	0,68	0,089	
d4	0,67	0,09	<b>0,8</b>

cMA	mw	stab	p
d1	0,69	0,12	
d2	0,68	0,11	<b>0,54</b>
d1	0,69	0,12	
d3	0,69	0,1	<b>0,88</b>
d2	0,68	0,11	
d3	0,69	0,1	<b>0,71</b>
d1	0,69	0,12	
d4	0,67	0,11	<b>0,5</b>
d2	0,68	0,11	
d4	0,67	0,11	<b>0,85</b>
d3	0,69	0,1	
d4	0,67	0,11	<b>0,57</b>

**Abbildung A3:** Dargestellt sind die statistischen Auswertung für die verschiedenen Bild-Betrachtungsvergleiche mit dem zweiseitigen Student´s t-Test. Pro Kasten ist jeweils ein Verfahren dargestellt. Die Signifikanzschwelle wurde generell auf  $p < 0,05$  gesetzt. Dargestellt sind hier Durchgang (D1 bis D4), Similarity-Mittelwert (MW), Standardabweichung (STAB) und der p-Werte (p). Signifikanzen bestehen bei den vorliegenden Vergleichen nicht.

## Signifikanztabellen der „a posteriori“ ROI- Definition:

RSE	mw	stab	$p$
d1	0,523	0,088	
d2	0,514	0,08	<b>0,7</b>
d1	0,523	0,088	
d3	0,4996	0,086	<b>0,4</b>
d2	0,514	0,08	
d3	0,4996	0,086	<b>0,62</b>
d1	0,523	0,088	
d4	0,504	0,08	<b>0,5</b>
d2	0,514	0,08	
d4	0,504	0,08	<b>0,7</b>
d3	0,4996	0,086	
d4	0,504	0,08	<b>0,88</b>

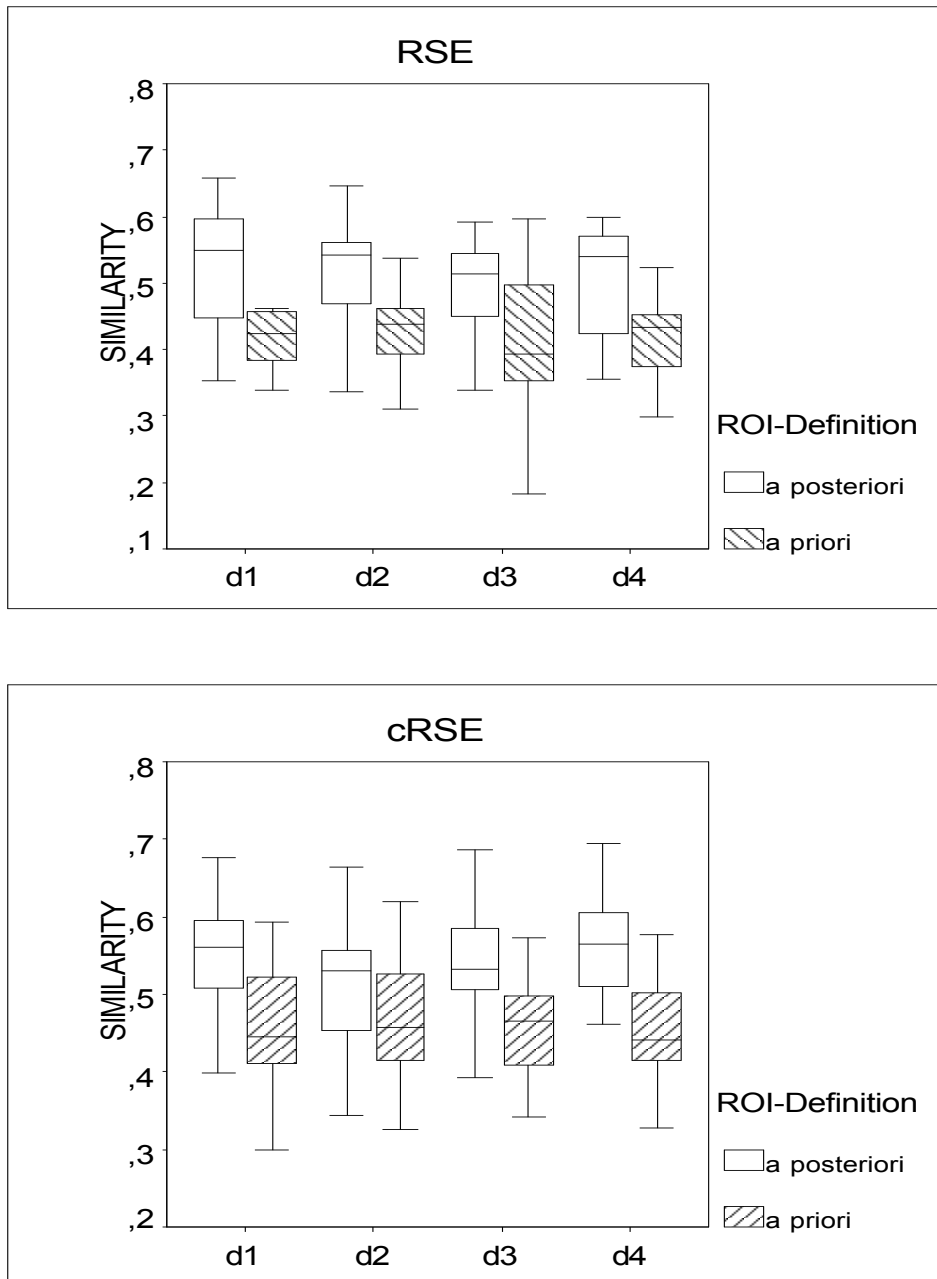
cRSE	mw	stab	$p$
d1	0,551	0,074	
d2	0,51	0,078	<b>0,1</b>
d1	0,551	0,074	
d3	0,54	0,066	<b>0,6</b>
d2	0,51	0,078	
d3	0,54	0,066	<b>0,23</b>
d1	0,551	0,074	
d4	0,57	0,074	<b>0,5</b>
d2	0,51	0,078	
d4	0,57	0,074	<b>0,03</b>
d3	0,54	0,066	
d4	0,57	0,074	<b>0,23</b>

MA	mw	stab	$p$
d1	0,698	0,1	
d2	0,664	0,077	<b>0,26</b>
d1	0,698	0,1	
d3	0,658	0,08	<b>0,19</b>
d2	0,664	0,077	
d3	0,658	0,08	<b>0,6</b>
d1	0,698	0,1	
d4	0,655	0,094	<b>0,16</b>
d2	0,664	0,077	
d4	0,655	0,094	<b>0,74</b>
d3	0,658	0,08	
d4	0,655	0,094	<b>0,9</b>

cMA	mw	stab	$p$
d1	0,69	0,1	
d2	0,68	0,087	<b>0,74</b>
d1	0,69	0,1	
d3	0,67	0,08	<b>0,5</b>
d2	0,68	0,087	
d3	0,67	0,08	<b>0,76</b>
d1	0,69	0,1	
d4	0,669	0,085	<b>0,45</b>
d2	0,68	0,087	
d4	0,669	0,085	<b>0,6</b>
d3	0,67	0,08	
d4	0,669	0,085	<b>0,8</b>

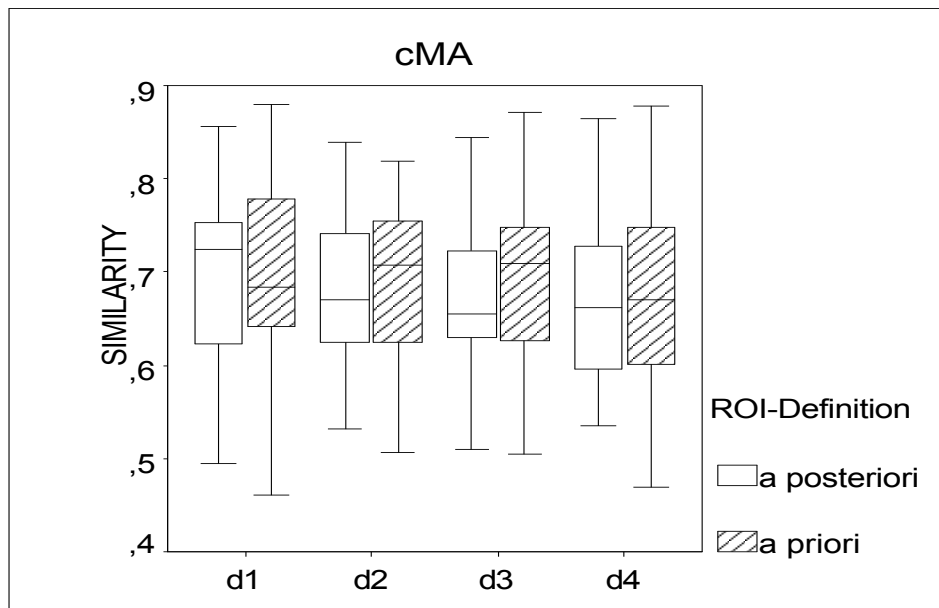
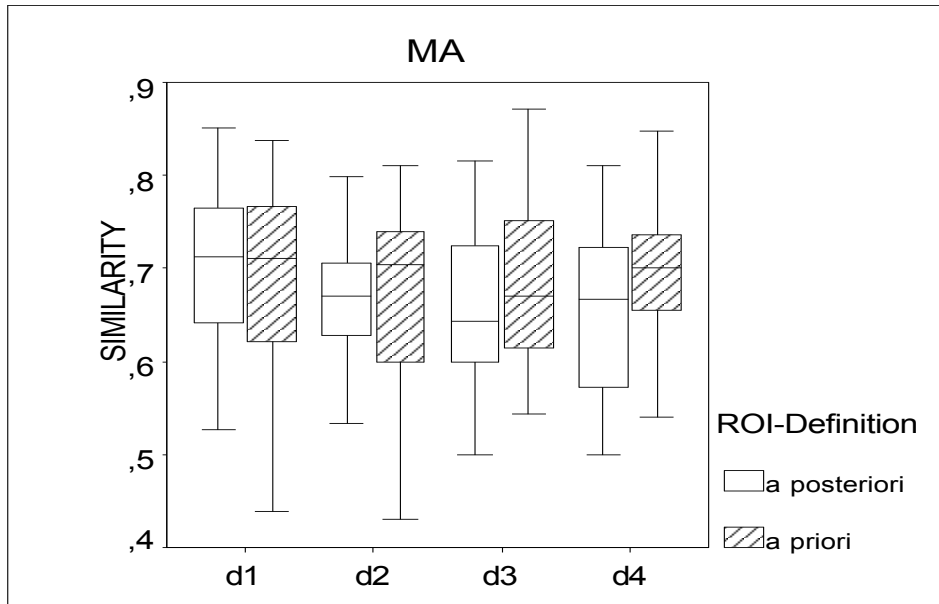
**Abbildung A4:** Dargestellt sind die statistischen Auswertung der verschiedenen Bild-betrachtungsvergleiche mit dem zweiseitigen Student's t-Test. Das Signifikanzniveau liegt bei  $p < 0,05$ . Signifikanzen sind grau gekennzeichnet. Damit ist nur der Vergleich des komprimierte Regional String Editing D2 zu D4 mit  $p = 0,03$  signifikant unterschiedlich. VSE und wVSE sind nicht aufgeführt.

## Boxplots des „a priori“/ „a posteriori“ – Vergleiches (RSE, cRSE)



**Abbildung A5+6; Boxplots:** Darstellung des „a priori“/ „a posteriori“ - Vergleiches beim EASY LOOKING. Die erhobenen Similarities für das Regional String Editing sind als Boxplots mit MEDIAN, Interquartilbereich (50% der Werte), Quartile und Extremwerte aufgeführt. Verglichen wurden die ROI-Definitionen pro Durchgang. Die Median unterscheiden sich in fast allen Durchgängen bis auf hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) voneinander. Nur der Vergleich D2 ist mit  $p = 0,014$  nur signifikant.

Boxplots des „a priori“/ „a posteriori“ – Vergleiches (MA, cMA)



**Abbildung A7+8; Boxplots:** Darstellung des „a priori“/ „a posteriori“ - Vergleiches beim EASY LOOKING. Die erhobenen Similarities für die Markov Analyse sind als Boxplots mit MEDIAN, Interquartilbereich (50% der Werte), Quartile und Extremwerte aufgeführt. Verglichen wurden die ROI- Definitionen pro Durchgang. Die Median unterscheiden sich in allen Durchgängen nicht signifikant voneinander.



## Signifikanztabellen des „a priori“ / „a posteriori“ – Vergleiches

RSE	MW	STAB	p
d1 apri	0,439	0,1	
d1 apost	0,523	0,09	<b>0,00028</b>
d2 apri	0,428	0,086	
d2 apost	0,514	0,084	<b>5,20E-06</b>
d3 apri	0,416	0,11	
d3 apost	0,5	0,088	<b>4,90E-06</b>
d4 apri	0,418	0,096	
d4 apost	0,504	0,083	<b>1,40E-04</b>

cRSE	MW	STAB	p
d1 apri	0,457	0,08	
d1 apost	0,551	0,08	<b>0,0006</b>
d2 apri	0,445	0,13	
d2 apost	0,51	0,081	<b>0,014</b>
d3 apri	0,454	0,085	
d3 apost	0,539	0,067	<b>5,40E-05</b>
d4 apri	0,459	0,083	
d4 apost	0,567	0,076	<b>3,20E-05</b>

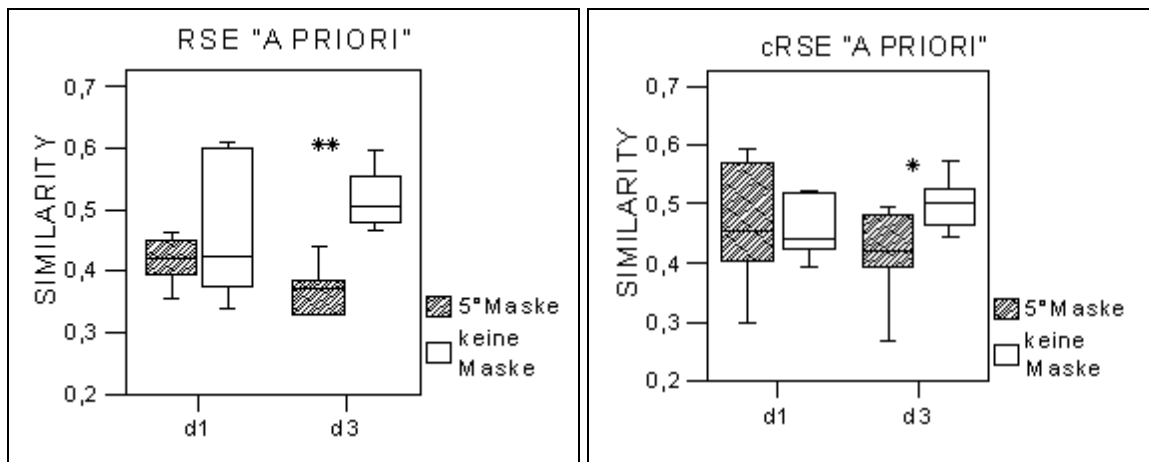
MA	MW	STAB	p
d1 apri	0,683	0,107	
d1 apost	0,7	0,0998	<b>0,38</b>
d2 apri	0,671	0,102	
d2 apost	0,665	0,08	<b>0,72</b>
d3 apri	0,682	0,096	
d3 apost	0,66	0,085	<b>0,36</b>
d4 apri	0,677	0,094	
d4 apost	0,655	0,097	<b>0,24</b>

cMA	MW	STAB	p
d1 apri	0,69	0,123	
d1 apost	0,69	0,101	<b>0,9</b>
d2 apri	0,677	0,111	
d2 apost	0,681	0,09	<b>0,82</b>
d3 apri	0,686	0,099	
d3 apost	0,673	0,084	<b>0,57</b>
d4 apri	0,672	0,112	
d4 apost	0,67	0,089	<b>0,88</b>

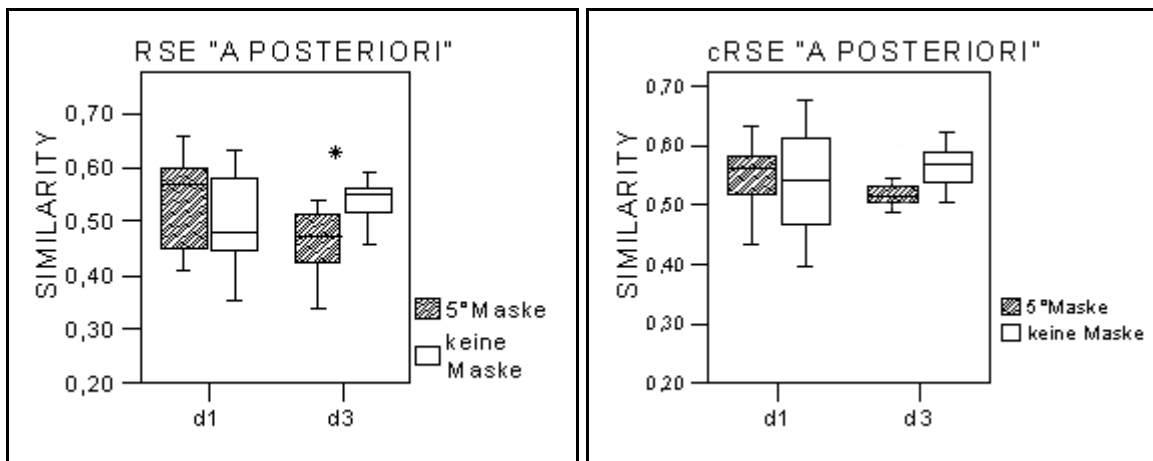
**Abbildung A9, Signifikanztabelle:** Betrachtungsvergleich für die Verfahren RSE, cRSE, MA und cMA für alle Durchgänge unter „a priori“ und „a posteriori“ ROI- Definition. Dargestellt sind Mittelwert (mw), Standardabweichung (stab) und p-Werte bei einer Signifikanzschwelle von  $p < 0,05$ . Signifikanzen sind grau gekennzeichnet. Vergleiche der Similarities beim Regional String Editing waren durchgängig hochsignifikant unterschiedlich und bei der Markov Analyse durchgehend nicht signifikant.

## Boxplots der Similarity bei 5° - Extramaske

## Region String Editing

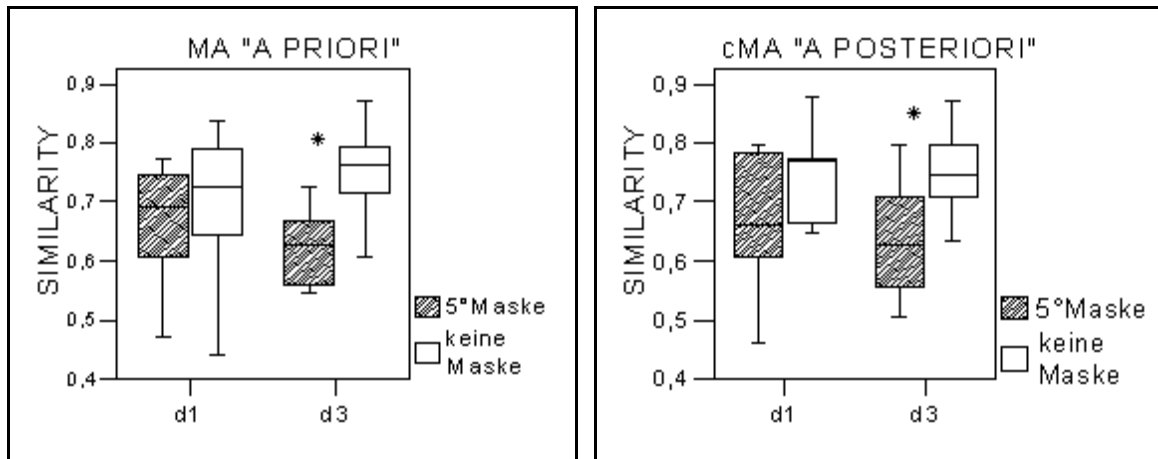


**Abbildung A10+11;** Boxplots der String Similarity der „a priori“ ROI- Definition für Maske/ keine Maske D1 und D3: Darstellung der Extramaske – Vergleiche für RSE/cRSE beim EASY LOOKING. Die erhobenen Similarities sind als Boxplots mit MEDIAN, Interquartilbereich (50% der Werte), Quartile und Extremwerte aufgeführt ohne Ausreißer zu berücksichtigen. Es sind jeweils Durchgang 1 vor und D3 nach Zuschaltung der 5° - Extramaske dargestellt. Die Unterschiede sind jeweils für D3 [Maske/ keine Maske] signifikant, wobei die Signifikanz bei „a priori“ mit  $p=0,00008$  deutlich höher als bei cRSE mit  $p=0,03$  liegt.

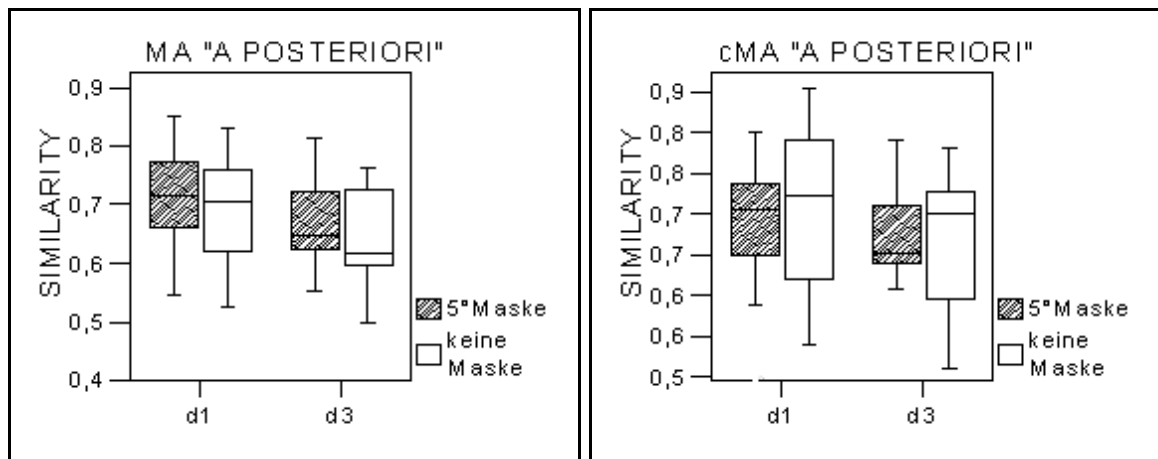


**Abbildung A12+13;** Boxplots der String Similarity der „a posteriori“ ROI- Definition für Maske/ keine Maske D1 und D3: Darstellung der Extramaske – Vergleiche jeweils für die „a priori“ und die „a posteriori“ ROI – Definition beim EASY LOOKING. Die Unterschiede sind nur für D3 „a priori“ signifikant. Der Vergleich D3 [Maske/ keine Maske] für die „a posteriori“ – Auswertung ist nur annähernd signifikant.

## Markov Analyse



**Abbildung A14+15;** Boxplots der Markov Analyse der „a priori“ ROI- Definition für Maske/ keine Maske D1 und D3: Darstellung der Extramaske – Vergleiche jeweils für die „a priori“ und die „a posteriori“ ROI – Definition beim EASY LOOKING. Die erhobenen Similarities sind als Boxplots mit MEDIAN, Interquartilbereich (50% der Werte), Quartile und Extremwerte aufgeführt ohne Ausreißer zu berücksichtigen. Es sind jeweils Durchgang 1 vor und D3 nach Zuschaltung der 5° - Extramaske dargestellt. Für den „a priori“ D3 Vergleich [Maske/ keine Maske] liegen mit  $p=0,002$  bei MA und  $p=0,01$  bei cMA signifikante Unterschiede vor.



**Abbildung A16+17;** Boxplots der Markov Analyse der „a posteriori“ ROI- Definition für Maske/ keine Maske D1 und D3: Darstellung der Extramaske – Vergleiche jeweils für die „a priori“ und die „a posteriori“ ROI – Definition beim EASY LOOKING. Die erhobenen Similarities sind als Boxplots mit MEDIAN, Interquartilbereich (50% der Werte), Quartile und Extremwerte aufgeführt ohne Ausreißer zu berücksichtigen. Es sind jeweils Durchgang D1 vor und D3 nach Zuschaltung der 5° - Extramaske dargestellt. Die dargestellten „a posteriori“ –Vergleiche sind in keinem Fall signifikant unterschiedlich

## **8 Danksagung**

Ich bedanke mich zuallererst bei meinem Doktorvater Prof. Dr. W. H. Zangemeister für die gute Betreuung dieser Arbeit und die ausgesprochen bereichernden und interessanten Diskussionen zur Gesamthematik.

Besonders möchte ich mich bei Peter Utz, Dr. Olaf Ziebell und Beate Kroma bedanken, sowohl für die inhaltliche und technische Einführung in die Thematik, als auch für die teilweise von Ihnen erhobenen Daten, die sie mir freundlicherweise zur Verfügung gestellt haben.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Sabrina Röstel und meiner Familie für ihre Geduld und Unterstützung.

## 9 Lebenslauf

### Persönliche Daten:

Name: Thomas Günter Gerhard Liman  
 Geburtsort/Datum: Hannover \* 02/12/1976  
 Wohnort: Flughafenstr.40, 12053 Berlin  
 Eltern: Dr. Matthias Liman, Gudrun Liman, geborene Haubold  
 Familienstand: ledig

### Ausbildungsdaten:

1983-1989 Grundschule/ Orientierungsstufe Lachendorf  
 1989-1996 Kaiserin-Auguste-Viktoria Gymnasium Celle  
 Okt. 1996-Sept. 1997 Zivildienst beim Arbeiter-Samariter-Bund in Heidelberg  
 Okt. 1997 – Juni 2000 Studium der Humanmedizin in Göttingen  
 Sept. 1999 Physikum  
 Sept. 1999– Nov. 2005 Medizinstudium an der Universität Hamburg  
 Sept.2000 – April 2001 Praktikum der Immunologie im Tropeninstitut BNI Hamburg  
 Oktober 2001 Erwerb des A- Diploms in Akupunktur  
 Okt. 2002 – Sept. 2003 Medizinstudium an der Universität Pierre& Marie Curie Paris VI  
 März 2004 2. Staatsexamen  
 2004/2005 Praktisches Jahr  
 Neurologie: Schlossparkklinik Berlin Prof. Lempert  
 Innere Medizin: St. Hedwig Klinik Berlin Prof. Derwahl  
 Chirurgie: Jüdisches Krankenhaus Berlin Dr. Geiger  
 Nov. 2005 3. Staatsexamen

**Eidesstattliche Versicherung:**

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Unterschrift: .....