

Aus der
Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde
Klinikdirektor: Professor Dr. med. G. Richard

Universitätsklinikum Hamburg - Eppendorf

**Untersuchung zum optimalen Blickbewegungsmuster im
Automobilsport und der Transfermöglichkeit auf ungeübte Fahrer**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg vorgelegt
von

Benedikt große Darrelmann
aus Cloppenburg

Hamburg 2009

Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Hamburg: 06.07.2009

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen
Fakultät der Universität Hamburg

Klinikdirektor: Professor Dr. med. Gisbert Richard

Betreuer der Arbeit: Dr. med. Rüdiger Schwartz

Prüfungsausschuss, der Vorsitzende: Prof. Dr. G. Richard

Prüfungsausschuss: 2. Gutachter: Prof. Dr. W. Zangemeister

Prüfungsausschuss: 3. Gutachter: Prof. Dr. B. Andresen

Gewidmet meinen lieben Eltern

Zusammenfassung

Hintergrund / Ziel: Zur Analyse der Informationsaufnahme von Fahrern in einem Automobilfahrzeug nimmt das visuelle System eine besondere Stellung ein. In dieser Untersuchung wurden erfahrene Fahrer (EF) und unerfahrene Fahrer (UF) bei der Fahrt auf einer Teststrecke bezüglich des scanpath verglichen. Es sollte die Fragestellung beantwortet werden, ob innerhalb der einzelnen Probandengruppen Gemeinsamkeiten und/oder Unterschiede in der Betrachtung einer komplexen und dynamisch visuellen Szene bestand. Weiterhin wurde analysiert, ob es Übereinstimmungen in der Durchmusterung der visuellen Szene im Vergleich der beiden Probandengruppen gab und ob ein Lernprozess der unerfahrenen Gruppe zu verifizieren war.

Methode: Die Augen- und Blickbewegungsregistrierung der 8 Probanden (4 EF und 4 UF) erfolgte mit einem Eye tracking System, das auf dem Prinzip der Cornealreflexmethode basiert. Auf der Teststrecke wurden die Blickbewegungen von jedem Probanden aufgezeichnet und mit einer speziellen Software ausgewertet. Dabei wurden die möglichen zu betrachtenden Objekte in area of interests (AOI) eingeteilt.

Ergebnisse: Die fixation duration der UF ergab gegenüber den EF eine um 15,95% kürzere Fixationszeit. Die relative Häufigkeit der Blickbewegungen der 4 wichtigsten AOI in Kurve 1 der Rennstrecke war mit 78,85% der EF signifikant besser als die der UF (30,25%). Die EF hatten in der Übergangsmatrix in 75,00%, die UF nur in 30,56% der Zellen eine Null. Die Kosten im string editing für die Umwandlung des Vergleichsstring in den Referenzstring fielen bei den EF (12,5 Kosten im Durchschnitt) wesentlich geringer aus als bei den UF (50 Kosten im Durchschnitt). Der Lernprozess der UF wurde mithilfe der Übergangsmatrix (Anstieg der Zellen mit einer Null von Runde 1 zu Runde 3 um 72,72%) und der relativen Häufigkeit (Anstieg der Betrachtung der 4 wichtigen AOI von 20,76% auf 34,76%) dargestellt.

Schlussfolgerung: Die Auswertung der Ergebnisse lässt auf eine gelernte Blickbewegungsstrategie der erfahrenen Probandengruppe deuten. Somit konnte ein optimaler scanpath abgeleitet werden, mit dem ein Lernprozess der UF verdeutlicht werden konnte.

<u>1. EINLEITUNG</u>	7
1.1 Einführende Vorbemerkung	7
1.2 Physiologische Grundlagen	7
1.2.1 Anatomie des Auges	7
1.2.2 Augenbewegungen	11
1.2.3 Blickbewegungen.....	15
1.2.4 Blickbewegungsstrategie (scanpath).....	15
1.2.5 Aufmerksamkeitsleistungen bei Blickbewegungen.....	17
<u>2. FRAGESTELLUNG</u>	19
<u>3. PROBANDEN, MATERIAL UND METHODEN</u>	20
3.1 Probandenevaluation.....	20
3.2 Versuchsablauf.....	21
3.2.1 Messung der Blickbewegungen mit dem iView - System.....	21
3.2.2 iView - System	21
3.2.3 Blickbewegungsregistrierung.....	23
3.2.4 Durchführung des Versuches	24
3.3 Auswertung der erhobenen Daten.....	26
3.4 Statistik	28
<u>4. ERGEBNISSE</u>	29
4.1 Blickbewegungsdauer	29
4.1.1 Fixationszeiten aller Szenen	29
4.1.2 Absolute Häufigkeit der Fixationszeiten	30
4.2 Blickbewegungsstrategie	32
4.2.1 Relative Häufigkeit der Blickbewegung aller Szenen	32
4.2.2 Optimale Zeitfolge der Blickbewegung	33
4.2.3 Übergangshäufigkeit / Übergangsdichte	36
4.3 String editing	37
4.3.1 Theoretische Grundlagen.....	37
4.3.2 Anwendung des <i>string editing</i> Verfahrens	38
4.4 Lernprozess	42
4.4.1 Änderung der relativen Häufigkeit.....	42
4.4.2 Verlauf der Übergangsdichte / Übergangshäufigkeit	43

5. DISKUSSION	45
5.1 Blickbewegungsdauer	46
5.2 Blickbewegungsstrategie	47
5.3 Lernprozess	50
5.4 Ausblick	51
6. CONCLUSION	52
7. LITERATURVERZEICHNIS.....	56
8. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	61
9. TABELLENVERZEICHNIS	63
10. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	65
11. DANKSAGUNG	66
12. LEBENSLAUF	68
13. ANHANG.....	70
13.1 Risiko- und Haftungsausschluss.....	70
13.2 Fragebogen.....	71
13.3 Einteilung und Auswertung der Video Daten mit Interact.....	73
13.4 C++ Source Code – String editing Verfahren	75

1. Einleitung

1.1 Einführende Vorbemerkung

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, den Einfluss von Blickbewegungsmustern (scanpath) bei der Fahrt auf einer Rennstrecke bei erfahrenen Fahrern (EF) und unerfahrenen Fahrern (UF) zu untersuchen. Darauf aufbauend soll ein eventueller Lernprozess der Bewegungsmuster der UF, gemessen an der optimalen Blickbewegungsstrategie, dargestellt werden.

Im Folgenden werden zunächst physiologische und neurophysiologische Grundlagen des Auges, sowie die Verschaltung des Gesehenen mit der Blickmotorik und den höheren visuellen Zentren, dargestellt. Es werden die strukturellen und funktionellen Aspekte von Augen- und Blickbewegungen erläutert und Ansätze ihrer Parametrisierung beschrieben.

Es folgt eine Beschreibung des scanpath für die Darstellung der Interaktion von Kognition und Aufmerksamkeitsleistung.

Auf dieser Basis werden schließlich die Fragestellungen und Ziele hergeleitet, die zu den experimentellen Untersuchungen der vorliegenden Arbeit geführt haben.

1.2 Physiologische Grundlagen

1.2.1 Anatomie des Auges

Die Bulbuslänge in axialer Richtung beträgt bei einem Erwachsenen im Durchschnitt 24 mm. Der Aufbau des Augapfels wird in einen äußeren und einen inneren Teil gegliedert.

Der äußere Teil des Auges wird von der Sklera (Lederhaut), der Cornea (Hornhaut), der Chorioidea (Aderhaut) und der Retina (Netzhaut) gebildet. Der innere Bereich enthält die Iris (Regenbogenhaut), das Corpus ciliare (Ziliarkörper), die Lens cristalina (Linse) und das Corpus vitreum (Glaskörper) (Schmidt RF, Thews G, 2000).

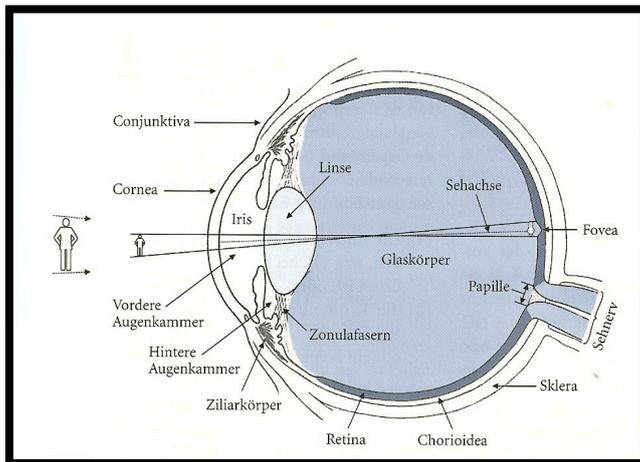


Abb.1: Anatomie des Auges (Schmidt RF, Schaibel HG, 2000)

Die Brechkraft eines optischen Systems, in Dioptrien angegeben, ist der reziproke Wert der Brennweite in Metern. Die Hornhaut, das Kammerwasser, die Linse und der Glaskörper ergeben zusammen eine Gesamtbrechkraft von 58 – 65

dpt (Dioptrien) (Grehn F, 2002). Dies gewährleistet, dass das einfallende Licht gebündelt im Bereich der Fovea centralis, dem Bereich des schärfsten Sehens, auf der Retina abgebildet wird. Nur die zentralen fünf Sehinkelgrade des Gesichtsfeldes fallen in den Bereich der Fovea centralis.

Die Retina, die der Innenseite der Chorioidea anliegt, ist aus einem komplexen neuronalen Netzwerk aufgebaut, das aus etwa 120 Millionen Stäbchen und 6 Millionen Zapfen besteht (siehe Abbildung 2). Die Zapfen haben ihre höchste Rezeptordichte in der Mitte der Fovea centralis und sind für das Erkennen von Farben und Hell-Dunkelwerten an Gegenständen, also für das photopische Sehen (Sehen bei Tageslicht) verantwortlich. Die Stäbchen kommen vor allem in der peripheren Netzhaut vor und arbeiten am Besten bei niedrigen Beleuchtungsbedingungen, wie zum Beispiel bei Dämmerung und Sternenlicht, und sind somit für das skotopische Sehen (Nachtsehen) verantwortlich.

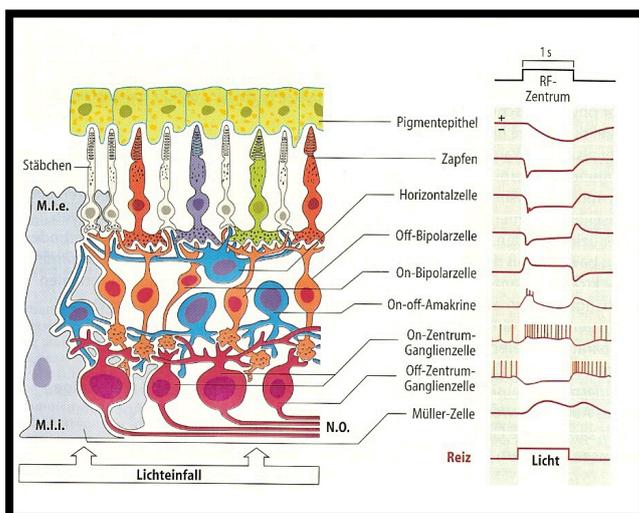


Abb.2: Aufbau der Primatennetzhaut (Schmidt RF, Thews G 2000)

Die Rezeptorschicht wandelt Photonenergie in „neuronal“ Energie um. Anschließend wird diese über den Sehnerv zum Gehirn und visuellen Kortex geleitet (Tischendorf FW et al., 2004).

Die Weiterleitung der Impulse aus den Zapfen und Stäbchen verläuft

über mehrere Nervenzellschichten zu den Ganglienzellen. Die ca. 1,1 Mio. Axone der retinalen Ganglienzellen bilden beim

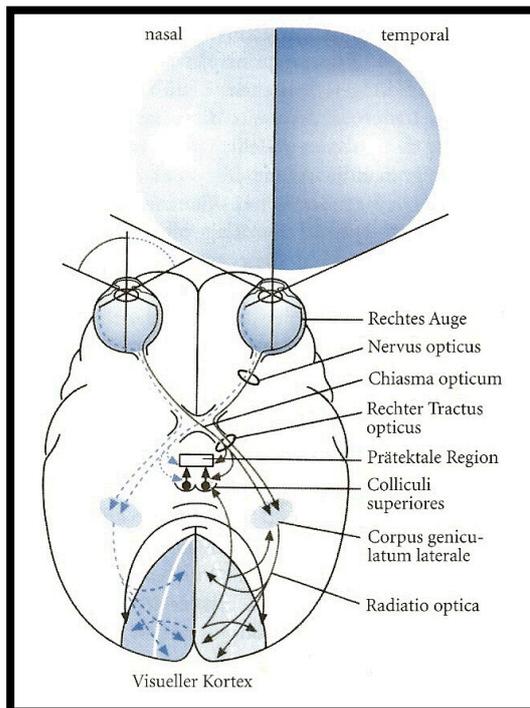


Abb.3: Schema der Sehbahnen im Gehirn des Menschen (Schmidt RF, Thews G.; 2000)

Eintritt in die Papilla nervi optici den Sehnerv, der an der Spitze der Orbita durch das Foramen opticum in das Schädelinnere eintritt. Über das Chiasma opticum (siehe Abb. 3), in der die Sehnervenfasern der nasalen Netzhauthälften kreuzen, laufen die ungekreuzten temporalen mit den gekreuzten nasalen Sehnervenfasern in je einem Tractus opticus, von wo aus sie zu den subkortikalen visuellen Zentren gelangen.

Wie folgt kann man die visuellen Zentren untergliedern:

- Corpus geniculatum laterale (LGN): etwa zwei Drittel aller Sehnervenfasern ziehen zum LGN des Thalamus; hier findet die retinotrope Verschaltung der Ganglienzellen zum visuellen Kortex statt, das heißt, entsprechend der räumlichen Verteilung in der Netzhaut werden die Ganglienzellen im LGN verschaltet; das LGN dient der Übertragung der Signale über Form-, Farbe-, Raum- und Bewegungswahrnehmung in die primäre Sehrinde (Area striata; Area V1 der okzipitalen Großhirnrinde)
- Hypothalamus: Anbindung an das endokrine System; Beeinflussung des zirkadianen Rhythmus und des Schlaf-Wach-Rhythmus an den Tageslichtwechsel
- Area praetectalis (PT): dient der Regulierung der Pupillenweite; von der PT bestehen Verbindungen zu den blickmotorischen Zentren des Hirnstammes für die vertikalen Augenbewegungen und Vergenzbewegungen
- Colliculi superiores: ist für die Lenkung der reflektorischen Blickmotorik durch Sakkaden (s.u.) und zielgerichtete Kopfbewegungen verantwortlich
- Kern des optischen Traktes (NOT): über weitere Verschaltungen dient diese Verbindung der Kontrolle des horizontalen optokinetischen Nystagmus (OKN), der Blickmotorik bei horizontalen Augenbewegungen und der

Die am Bulbus ansetzenden sechs äußeren Augenmuskeln gliedern sich in drei Paare und sind für die Augenbewegung in drei Raumebenen (horizontal, vertikal, rotatorisch) verantwortlich. Die Hauptzugwirkung sind Folgende:

1. Mm. recti medialis et lateralis = Augenbewegung in horizontaler Achse
2. Mm. recti superior et inferior = Augenbewegung in vertikaler Achse
3. Mm. obliqui superior et inferior = Augenbewegung in sagitaler Achse

Die Hauptzugrichtung der äußeren Augenmuskeln wird jeweils von der momentanen Position des Auges durch Nebenzugrichtung ergänzt.

Die Innervation der Muskeln erfolgt über die folgenden drei Hirnnerven:

1. N. oculomotorius (Mm. recti superior/ inferior/ medialis; Mm. obliqui superior)
2. N. trochlearis (Mm. obliqui inferior)
3. N. abducens (Mm. recti lateralis)

1.2.2 Augenbewegungen

Augenbewegungen schließen sowohl die Bewegung des Bulbus in der Orbita, als auch Lidschluss und Pupillomotorik ein (Galley N, 2001). Im Weiteren wird speziell auf die Bewegung des Augapfels in der Orbita eingegangen.

Um auf der Fovea centralis jeden Auges das gleiche Objekt abbilden zu können und somit das binokuläre Sehen zu gewährleisten, benötigt man mehrere Bewegungsmuster:

- Konjugierte Augenbewegungen: die Augen bewegen sich um den gleichen Betrag in eine Richtung, eine Blickhebung ist von einer Oberlidhebung und eine Blicksenkung von einer Oberlidsenkung begleitet
- Vergenzbewegung: die Augen bewegen sich spiegelbildlich zur Sagitalachse des Kopfes; wird der Blick von einem weit entfernten Objekt zu einem in der Nähe befindlichen Punkt gewechselt, kommt es zu der sogenannten Vergenzbewegung, um den Punkt in der Nähe auf den beiden Foveae centralis abbilden zu können

- Torsionsbewegungen: Drehbewegungen der Bulbi sind physiologisch möglich, willkürlich aber von den meisten Menschen aktiv nicht durchführbar

Weiterhin können die Augenbewegungen in funktionelle Klassen unterteilt werden:

- Sakkaden: finden zwischen zwei Fixationsperioden statt; die Dauer liegt im Bereich von 10 bis 80 ms; die Sakkadenamplitude kann von wenigen Winkelminuten (Mikrosakkaden) bis zu 50° betragen; die Geschwindigkeit der Sakkade hängt von der Sakkadenamplitude (je höher die Amplitude, desto höher die Winkelgeschwindigkeit) ab und erreicht Werte bis zu 1000°/s (Unema PJA, 1995); die Ausführung kann willentlich ausgeführt und unterdrückt werden, sind jedoch ballistisch, was bedeutet, dass nach ihrer Initiierung der Verlauf und Zielort nicht mehr beeinflusst werden kann (Unema PJA, 1995); mit jeder Augenbewegung findet eine komplette Verschiebung des Bildes auf der Retina statt; da während einer Sakkade fast keine Informationsaufnahme erfolgt (Hoffmann KP, Wehrhahn C, 1996), wird diese Verschiebung nicht wahrgenommen; jeweils 75 ms vor dem Beginn einer Sakkade beginnt die Unterdrückung der visuellen Informationsaufnahme und überdauert auch noch das Ende der Sakkade um ca. 50 ms (Diamond et al., 2000)
- Fixation: die Fixationsperioden besitzen eine durchschnittliche Dauer von 100 – 2000 ms mit einem Mittel von 200 – 600 ms, wobei auch extrem kurze Express – Fixationen von Vikichkovsky et al. (1997), festgestellt wurden; in dieser Zeit erfolgt die retinale Signalaufnahme;
- Gleitende langsame Augenbewegungen (smooth pursuit movements): gleichmäßige Bewegung des Auges beim Verfolgen eines Objektes zur Stabilisierung eines kleinen visuellen Reizes auf der Fovea (vgl. Kornhuber HH, 1978); auch „dynamische Fixation“ bezeichnet; die Winkelgeschwindigkeit der Augenbewegung entspricht der Geschwindigkeit des zu betrachtenden Objektes (bis 40°/s) (Unema PJA, 1995 o. Boff KR, Lincoln JE, 1988)

Funktionelle Klassen	Hauptfunktion
Visuelle Fixation	Stabilisiert das retinale Bild eines stationären Objektes bei unbewegtem Kopf
Vestibulär	Stabilisiert das retinale Bild während kurzer Kopfbewegung
Optokinetisch	Stabilisiert das retinale Bild während großer Kopfbewegung
Langsame Folgebewegungen	Stabilisiert das retinale Bild eines bewegten Objektes
Nystagmus (schnelle Phase)	Automatische Rückstellbewegung bei optokinetischer und vestibulärer Stimulation
Sakkaden	Willkürliche Blickrichtungsänderung und unwillkürliche rasche Blickrichtungskorrektur
Vergenz	Gegensinnige Bewegung bei binokulärer Fixation eines Objektes

Tab.1: Funktionelle Klassen der Augenbewegungen (Leigh RJ, Zee DS, 1991)

Die Stimuli für die Augenbewegung können Folgende sein:

1. Die Reaktion auf die Bewegung des Körpers löst einen vestibulären Reiz aus. Die Information dieser Bewegung wird von den Bogengängen des Innenohres erfasst und zum okulomotorischen Zentrum über den vestibulo-okulären Reflexbogen geleitet. Der vestibulookuläre Reflex (VOR) verknüpft somit die Stellung und Bewegung des Kopfes im Raum mit dem okulomotorischen System im Hirnstamm. Der VOR ermöglicht somit die kompensatorische Augenbewegung in Gegenrichtung einer Kopfbewegung, um das fixierte Objekt in der Fovea centralis halten zu können (Poeck K, Hacke W, 2006).
2. Bei der Ausrichtung des Auges auf ein Sehobjekt bedarf es der Kombination aus Sakkaden und Fixationen (s.o.). Etwa einem Kegel von 100° entspricht das Blickfeld eines Auges (Schandry R, 1989), der Bereich des schärfsten Sehens ist jedoch wesentlich kleiner. Somit erfordert der Blickwechsel von einem zum nächsten Objekt eine oder mehrere Sakkaden, die wie oben beschrieben, vor der Ausübung willkürlich geplant und unterdrückt, aber nach ihrer Initiierung nicht mehr beeinflusst werden kann. Die darauf folgende Fixationsdauer beträgt im Mittel 200 – 600 ms.
3. Die Fixierung eines bewegten Objektes, bei dem der Betrachter eine Folgebewegung (pursuit movements) durchführt, um das Objekt weiterhin scharf auf der Netzhaut abbilden zu können (bis zu einer Winkelgeschwindigkeit von 40°/s (Unema PJA, 1995)).

4. Die Fixation von bewegten Objekten, die eine Winkelgeschwindigkeit größer als $40^\circ/\text{s}$ betragen, bedarf es dem optokinetischen Nystagmus (OKN). Der OKN entsteht z.B. bei der Betrachtung der Umwelt aus einem fahrenden Zug. Um ein scharfes Bild zu erhalten, führen beide Augen eine konjugierte gleitende Augenbewegung entgegengesetzt der Fahrtrichtung durch. Die Winkelgeschwindigkeit hängt während der langsamen Nystagmusphase von der Fahrtgeschwindigkeit und der Distanz der fixierten Szenerie ab. (Schmidt RF, Thews G, 2000)

Neben den bereits vorgestellten Augenbewegungen gibt es Bewegung des Auges, die eine Amplitude von weniger als 10 Winkelminuten haben und Mikrobewegungen darstellen.

Diese minimalen Bewegungen treten bei jeder Fixierung eines Objektes auf und lassen sich weiter in Drift, Tremor und Mikrosakkaden unterteilen. Der Grund für diese kleinen Bewegungen liegt in der Verhinderung lokaler Adaptationsvorgänge. Das Auslösen eines Aktionspotenzials geschieht durch einen veränderten Reizzustand der Nervenzellen, der durch das einfallende Licht auf die Rezeptoren der Retina erzeugt wird. In Versuchen, bei dem die Augenmuskeln künstlich gelähmt wurden, somit der Netzhaut ein konstantes Bild dargeboten wurde, verschwand allmählich der wahrgenommene Seheindruck (Ditchburn RW, Ginsborg BL, 1953).

Der Drift, ein langsames Abgleiten des Auges von dem Fixationsort unter einer dauernde Fixation bewirkt, dass die Netzhaut sich stetig um einen kleinen Teil verschiebt und somit das einfallende Licht auf neue Nervenzellen trifft.

Den Mikrosakkaden wird zugeschrieben, dass sie eine Korrektur der Driftbewegung darstellen und somit eine Refixierung des intendierten Objektes herbeiführen, wobei sie auch teilweise regellos auftreten und das Auge vom fixierten Objekt wegführen (Gippenreiter JB, 1987).

Der Tremor, Mikrobewegungen des Auges mit einer Frequenz von ca. 50 Hz (vgl. Wolf R, Wolf D, 1990), bewirkt eine ständige Verschiebung der Netzhaut um einen Bereich von 5 bis 10 Sehzellen. Genauso wie der Drift wird dem Tremor die Funktion zugeteilt, eine Dauerhyperpolarisation der Rezeptoren auf der Retina zu vermeiden. Jedoch gibt es auch eine weitere Erklärung, die den Ansatz darin

sieht, dass der Tremor auf einer Instabilität in der Steuerung der drei Paare antagonistischer Augenmuskeln zurückzuführen ist (Bruce V, Green PR, 1990).

1.2.3 Blickbewegungen

Die oben aufgeführten Augenbewegungen sind in der Literatur definitionsgemäß Bewegungen des Auges ohne einen Bezug zu einem Objekt. Davon abzugrenzen sind die Blickbewegungen, welche Bewegungen sind, die im Zusammenhang mit dem vom Auge aufgenommenen Informationen zu interpretieren sind.

So ist zum Beispiel die Fixationsdauer (ohne Objektbezug) ein Augenbewegungsparameter und die Fixationsdauer bezüglich eines Objektes ein Blickbewegungsparameter.

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

Tab.2: Hauptkategorien verschiedener Parameter bei Blickbewegungsmessung (nach Johnston CW, 1988)

1.2.4 Blickbewegungsstrategie (scanpath)

Der Grund für den Ablauf von Blickbewegungen liegt in der Fokussierung von für den Betrachter wichtigen Objekten. Eine große Anzahl von Untersuchungen (z.B. Just MA, Carpenter PA, 1976) stützen die Aussage, dass eine Übereinstimmung zwischen dem Fixationsort und dem Zentrum der visuellen Aufmerksamkeit besteht, da die Aufmerksamkeit, gekoppelt an Sakkaden, normalerweise das Auge zu seinem Ziel führt. Dieses Aufeinanderfolgen von Fixation und Sakkaden wird als Blickpfad (z.B. Menz C, Groner R, 1986), im Englischen als scanpath oder auch searchpath (z.B. Stark et al., 1996) bezeichnet. Jedoch ist schon seit Hermann von Helmholtz bekannt, dass Aufmerksamkeit auch verdeckt, sprich ohne eine Blickbewegung zu einem Objekt, ausgerichtet werden kann.

In mehreren Untersuchungen wurde der scanpath von unerfahrenen zu erfahrenen Probanden untersucht. In der Arbeit von Mourant RR und Rockwell TH (Strategies of visual search by novice and experienced drivers, 1972) wurde postuliert, dass unerfahrene Fahrer gegenüber erfahrenen Fahrern ihre Konzentration der visuellen Abtastung auf einen kleineren Bereich legen und mit einer höheren Prozentzahl Objekte näher vor dem Fahrzeug betrachten.

Diese Aussage wurde von Falkmer T und Gregersen NP (Eye Movement Behavior of Driver, 2005) zum Teil widerlegt. Die Studie ergab bei der Fahrt auf einer Landstraße, dass Objekte, die näher als 5 Meter vom Fahrzeug entfernt waren, häufiger von den erfahrenen Fahrern betrachtet wurden. Die unerfahrenen Probanden führten dafür mehr Blickbewegungen im Bereich des Cockpits aus. Zudem widerlegt diese Studie, dass die erfahrenen Teilnehmer eine höhere Wahrscheinlichkeit aufweisen, den Horizont abzutasten. Übereinstimmung gab es in der Tatsache, dass die erfahrenen Fahrer am Horizont ein breiteres Streuungsmaß im Vergleich zu den unerfahrenen Fahrern besaßen.

Bellenke et al. (Pilot visual scanning, 1997) bewies in einer Studie mit Flugpiloten, dass größtenteils die erfahrenen Piloten gegenüber den unerfahrenen Teilnehmern bei den Fixationen eine höhere Frequenz und eine kürzere Verweildauer der einzelnen Boardinstrumente aufwiesen und somit eine bessere Kontrolle und Überblick bewiesen. Zudem stellte er fest, dass die Anpassung der Blickstrategie an bestimmte Situationen von den erfahrenen Piloten schneller umgesetzt werden konnte.

Die Abfolge von Sakkaden und Fixationen in der Zeit bezeichnet man als visuelle Exploration, das resultierende Blickbewegungsmuster als „scanpath“. Diese Bewegungsabfolgen werden als durchgehend scharfer Wahrnehmungseindruck erlebt, der der willkürlichen Kontrolle unterliegt. Der genauen Abfolge der explorierenden Augenbewegung ist man sich jedoch nicht bewusst. Somit stellt das Explorationsmuster ein wichtiges Maß zur Untersuchung von Blickbewegungsstrategien und Konditionierungsprozessen dar.

Für die objektive Darstellung von Blickbewegungsmustern können verschiedene Parameter herangezogen werden. Dazu gehören unter anderem die Parameter Fixationsdauer (fixation duration), Blickbewegungen pro Zeit und die Blick-

bewegungen pro fixiertem Objekt (area of interest = AOI). Je nach Registrierungsmethode können noch weitere Parameter hinzugezogen werden.

Diese Arbeit beschäftigt sich überwiegend mit der Darstellung des Ablaufes, der Reihenfolge und der Dauer der jeweiligen Blickbewegungen in Bezug auf die Blickorte, da diese Parameter für die Auswertung dynamischer Szenen relevante Messgrößen darstellen.

Eine wichtige Größe für die Darstellung der unterschiedlichen scanpath ist die Übergangshäufigkeit, die die Wahrscheinlichkeit eines Blickwechsels von einem in ein anderes AOI wiedergibt. Sie liefert Hinweise auf die sequenziellen Informationserfordernisse zur Ausführung der aktuellen Aufgaben und die dahinter liegenden steuernden Prozesse.

Es bietet sich an, eine Übergangsmatrix zu erstellen, in der die Wahrscheinlichkeiten eingetragen sind, mit der von einem Blickgebiet in ein anderes gewechselt wird. Liegt dem Blickverhalten eine Strategie zugrunde, so zeigt sich dieses in der Übergangsmatrix dadurch, dass von einem bestimmten AOI häufiger oder weniger häufig gewechselt wird, als es aus der Gesamtzahl der Übergänge ermittelten Wahrscheinlichkeit entspricht.

1.2.5 Aufmerksamkeitsleistungen bei Blickbewegungen

Der oben beschriebene Ablauf von Blickbewegungsmustern erfolgt nicht wahllos. Das Ziel, ein Objekt in der Fovea centralis abzubilden, unterliegt aus kognitionspsychologischer Sicht einem Filtersystem, mit dem es möglich ist, nur auf relevante Informationen zu reagieren und den Rest unbeachtet zu lassen, da die Kapazität des visuellen Systems, Informationen mehrerer verschiedener Objekte gleichzeitig aufzunehmen, begrenzt ist (Broadbent DE, 1958). Somit kann die visuelle Umwelt aktiv aufgenommen, statt passiv wahrgenommen werden (Kanwicher N, Wojciulik E, 2000). William James (1980) unterschied eine passive, reflexive von der aktiven, willentlichen Aufmerksamkeit. Letztere zeigt auf, dass die Aufmerksamkeit aktiv auf bestimmte Objekte oder Gebiete einer Szene ausgerichtet werden kann (Egly R, Homa D, 1984). Somit besteht eine willentliche Kontrolle der Aufmerksamkeit, mit der visuelle Informationen entsprechend ihrer Relevanz für Handlungsziele und überwiegend unabhängig ihrer Reizintensität verarbeitet werden können.

Des Weiteren kann eine offene von einer verdeckten Form der Aufmerksamkeitsausrichtung unterschieden werden. Schnelle, sakkadische Augenbewegungen dienen dazu, interessante Szenen auf der Fovea abzubilden und somit in den Fokus der Aufmerksamkeit zu rücken. Hinzufügend muss aber noch einmal erwähnt werden, dass es auch die Form der verdeckten Aufmerksamkeit (Helmholz H von, 1910) gibt. (s.o.)

Bei der aktiven Aufmerksamkeitsausrichtung findet ein Filtervorgang statt, der als selektive Aufmerksamkeit bezeichnet wird (Kolb B, Wishaw IQ, 1993): Innerhalb eines internen räumlichen Koordinationssystems, das den beobachtbaren Außenraum umfasst, können so selektive Aufmerksamkeitsfenster („attentional windows“) dort geöffnet werden, wo inhaltlich bedeutsame, saliente Informationen zu erwarten sind.

Dieser Ablauf soll nach funktionell - anatomischer Sicht auf dem Prinzip des „bottom - up“ Prozesses beruhen, bei dem ein Umweltreiz über das sensorische System Einfluss auf höhere Hirnareale nimmt. Dementsprechend gibt es auch die umgekehrte Kaskade, dass über „top down“ Einflüsse auf das visuelle System selektiv Aufmerksamkeit gerichtet werden kann, wenn vorab eine Information über einen spezifischen Stimulus erfolgt ist (Frith C, 2001).

Über Feedbackschleifen sollen diese beiden Prozesse „aufmerksamkeitssteuernde Kontrolloperationen“ durchführen und über frontale und parietale Areale beeinflusst werden (Kastner S, Ungerleider LG, 2001).

In der vorliegenden Arbeit soll der Zusammenhang eingehender untersucht werden, in wie weit die selektive Aufmerksamkeit, definiert durch die Blickbewegungsmuster, innerhalb der Gruppe der erfahrenen Fahrer übereinstimmt, und ob die unerfahrenen Fahrer durch Training ein ähnliches Blickbewegungsmuster erlernen können.

2. Fragestellung

Die vorangegangenen Sachverhalte zeigen auf, dass Bildbetrachtung und Okkulomotorik in einem engen funktionell-strukturellen Zusammenhang stehen und durch Aufmerksamkeitsleistungen und Konditionierung beeinflusst werden können. Sie zeigen, dass die Methode der Blickbewegungsmessung diese Beziehung in wichtigen Aspekten aufdecken kann und die unterschiedlichen Blickstrategien und deren Lernprozesse messbar und analysierbar werden lässt. Die vorliegende Arbeit hat sich zur Aufgabe gestellt, über den Vergleich von Blickbewegungsstrategien bei der Betrachtung dynamisch visueller Szenen zweier Probandengruppen während der Fahrt in einem Automobilfahrzeug, Informationen darüber zu erhalten, wie komplexe Reize von erfahrenen Probanden durchmustert werden. Zudem soll erarbeitet werden, ob die Durchmusterung bei unerfahrenen Probanden von den gleichen visuellen Szenen spezifische Gemeinsamkeiten und/oder Unterschiede aufweisen. Des Weiteren soll festgestellt werden, ob ein Konditionierungsprozess der unerfahrenen Probanden während dieser Studien erkennbar ist.

Die folgenden zentralen Fragen werden in der vorliegenden Arbeit erörtert:

- *Unterscheiden sich die Blickbewegungen der erfahrenen Probanden bezogen auf die zeitliche Abfolge und gibt es Gemeinsamkeiten innerhalb der durchmusterten Areale, die auf einen optimalen scanpath deuten lassen könnten?*
- *Existieren Beziehungen in der Art der Durchmusterung innerhalb der unerfahrenen Probandengruppe?*
- *Unterscheiden sich die Blickbewegungsmuster der unerfahrenen Gruppe zum optimalen scanpath?*
- *Kann durch die Messung des scanpath ermittelt werden, ob eine Konditionierung und eine Annäherung des scanpath der unerfahrenen Probandengruppe an den optimalen scanpath stattfindet?*

3. Probanden, Material und Methoden

3.1 Probandenevaluation

In dieser Studie wurden insgesamt acht Probanden (m:w = 8:0; Durchschnittsalter; Standardabweichung = $23,25 \pm 3,45$ Jahre) untersucht. Um herauszufinden, ob es einen Unterschied in dem scanpath von EF zu UF gibt, wurden vier Probanden (Durchschnittsalter = $20,75 \pm 2,06$) ausgesucht, die über mindestens 2 Jahre Automobilsport Erfahrung verfügten. Die Vergleichsgruppe bestand ebenfalls aus vier Probanden (Durchschnittsalter = $25,75 \pm 2,63$), die bis zu diesem Zeitpunkt weder in einem Rennfahrzeug saßen, noch auf einer Rennstrecke gefahren sind.

Einen geschlechtsspezifischen Unterschied war zu erwarten. Aus diesem Grund wurden nur männliche Probanden ausgewählt.

Die Versuchspersonen hatten alle einen Visus von 1,0. Dabei hatte einer von acht Probanden einen Refraktionsbedarf, der durch eine Brille auskorrigiert war.

Bei der Auswahl der Probanden wurde die Gruppe der EF nach folgenden Kriterien ausgesucht: mindestens ein Jahr Erfahrung auf dem Auto, mit dem der Test durchgeführt wurde; mehr als ein Jahr im Besitz einer Rennlizenz; Kenntnisse über die Rennstrecke (Oschersleben); keine Grunderkrankungen; keine Sehstörungen.

Die Wahl der UF gestaltete sich unter nur wenigen Gesichtspunkten: keine Erfahrung im Automobilsport; keine Fahrt bis zu dem Testlauf auf der Rennstrecke; keine Grunderkrankungen; keine Sehstörungen.

Fahrer	Rennfahrer	Alter	Größe	Geschlecht	Gewicht	Sehhilfe
1	nein	28	182	m	79	nein
2	nein	28	182	m	78	ja
3	ja	19	174	m	72	nein
4	ja	19	179	m	64	nein
5	nein	23	175	m	65	nein
6	nein	24	176	m	73	nein
7	ja	22	178	m	70	Nein
8	ja	23	185	m	69	Nein

Tab.3: Patientenevaluation

3.2 Versuchsablauf

Vor der Erfassung der Blickbewegungen wurden die Probanden über die Messmethode und den Versuchsablauf ausführlich aufgeklärt. Nachdem die Verständnisfragen der Probanden beantwortet waren und der ausgefüllte Fragebogen vorlag, musste ein Haftungsausschluss unterschrieben werden.

Der Versuchsablauf gliederte sich in drei Abschnitte:

1. Kalibrierung des iView - Systems nach Aufsetzen des Helmes
2. Durchführung der Messung von Blickbewegungen während der Fahrt auf der Rennstrecke
3. Kontrolle der Messgenauigkeit nach Absolvierung der Testrunden

3.2.1 Messung der Blickbewegungen mit dem iView - System

Die Testläufe wurden mit Hilfe des iView X HED Systems (Eye tracking system, SMI, Teltow; Deutschland) durchgeführt. Eine spezielle Halterung am Helm und ein genaues Anpassen an den Kopfumfang des jeweiligen Probanden sicherte eine stabile und genaue Messung der Blickbewegungen während der Fahrt mit einem für den Test modifizierten Rennwagen (Rennpolo aus dem ADAC Volkswagen Polo Cup; Volkswagen Motorsport; Hannover). Die Testläufe fanden auf der Rennstrecke Oschersleben statt, bei der die Probanden unter gleichen Bedingungen den Versuch durchführen konnten.



Abb.5: Testfahrzeug

3.2.2 iView - System

Das Eye tracking System iView X HED der Firma SMI (SensoMotoric Instruments) ist ein kopfbasiertes Messinstrument, mit dem Blickbewegungen mit einer Genauigkeit von $0,1^\circ$ erfasst werden können. Dieses System eignete sich für den Versuch aus zwei Gründen:

1. Unabhängig von dem Kopfbewegung, können dynamische Blickrichtungen genauestens erfasst werden

2. Der Aufbau der Messvorrichtung vor dem Auge des Probanden birgt keine Behinderung der Sicht während des Versuchsablaufs

3.2.2.1 Aufbau des iView – System

Das iView X HED ist mit einer Szenenkamera, einer Augenkamera, einer infraroten Lichtquelle und einem transparenten Spiegel, der nur infrarotes Licht reflektiert, ausgestattet (siehe Abbildung 6 und 7).

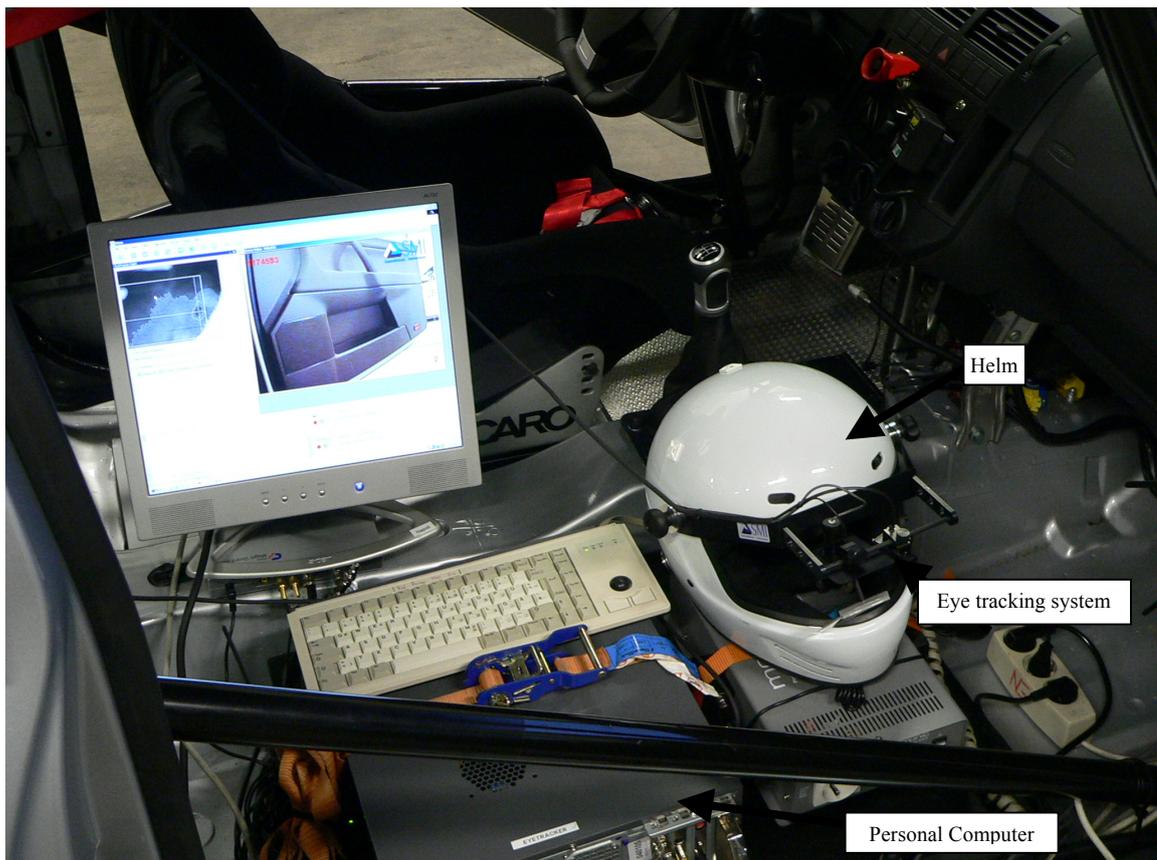


Abb.6: Gesamtübersicht Versuchsaufbau (der Innenraum des Versuchsfahrzeugs mit der Messvorrichtung)

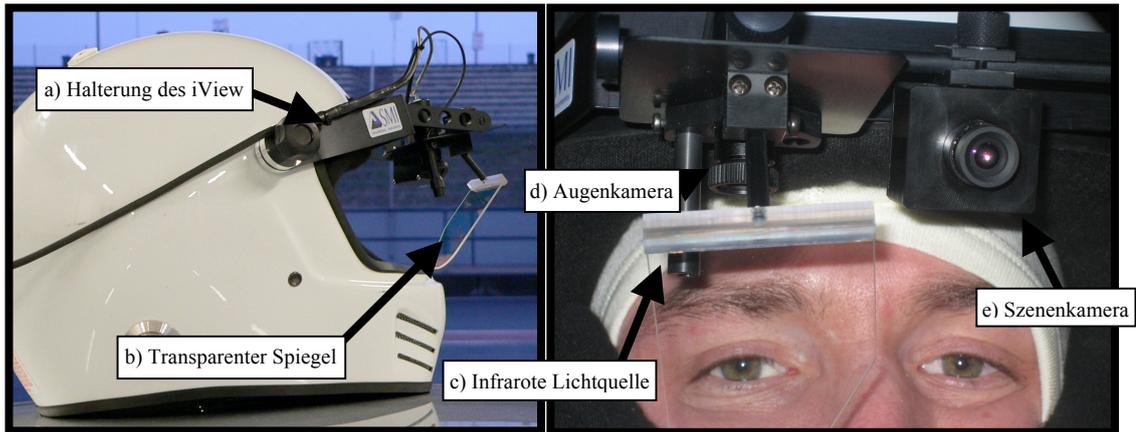


Abb.7: Aufbau iView X HED (a = Halterung des Eye tracking system am Helm; b = Transparenter Spiegel, der das infrarote Licht auf die Cornea umlenkt; c = Infrarote Lichtquelle, die den Cornealreflex erzeugt; d = Augenkamera, die die Augenbewegungen aufzeichnet; e = Szenenkamera, die den Bereich aufnimmt in den der Fahrer blickt)

3.2.3 Blickbewegungsregistrierung

Für Systeme, die aus einem festen Punkt des Auges (z.B. die Pupille) und einem Lichtreflex (z.B. dem Cornealreflex) die Blickrichtungsänderung errechnen, hat sich der Begriff Point of Regard Measurement (Blickachsenmessung) gebildet. Zur Registrierung der Blickbewegungen, wird die Mitte des Pupille und der Cornealreflex zur Hilfe genommen. Der Cornealreflex entsteht durch eine stärkere Krümmungsradius des Bulbus ($r_A=13$ mm) im Verhältnis zur Hornhaut ($r_C=8$ mm). Dieser Reflex ist das erste Purkinje – Bild, das nur entsteht, wenn Licht auf das Auge trifft. In dem Versuch wurde dieser durch eine infrarote Lichtquelle erzeugt, indem über einen Spiegel das Licht umgelenkt auf das Auge fiel.

Bei der Blickachsenmessung wird aus der Beziehung des Cornealreflexes und der Pupillenmitte, die Blickrichtungsänderung, die durch Größe und Richtung gekennzeichnet ist, berechnet. Bei einer Blickachsenänderung wandert der Cornealreflex entgegengesetzt zur optischen Achse relativ mit.

Die Augenkamera nimmt den Cornealreflex und die Pupillenmitte auf, die ein Videosignal erzeugt. Dieses Signal wird in einem PC umgerechnet und die Koordinaten der Blickachsenänderung ermittelt.

Die Szenenkamera nimmt den Bereich auf, in die die Versuchsperson blickt. Die Überlagerung der Bildsequenzen der Szenenkamera mit den berechneten Daten der Augenkamera ergibt eine Videosequenz, in der die Blickrichtungsänderung und Fixierung von Objekten durch ein Fadenkreuz dargestellt wird. (siehe Abb. 8)



Abb.8: Szenenkamera mit der Darstellung des Fadenkreuzes, der Ausschnitt zeigt Turn 4 am Kurveneingang

Durch die Befestigung der Kamera am Helm der Probanden ist die Registrierung der Blickrichtung unabhängig von der Kopfbewegung möglich, da die Bestimmung des relativen Verhältnisses von Cornealreflex zu Pupillenmitte die entscheidende Größe darstellt.

Die Genauigkeit dieser Methode beträgt 1° der Auflösung. Es kann ein Gesichtsfeld der Größe 30° horizontal und 25° vertikal aufgenommen werden. Die Bilder werden mit einer Frequenz von 60 Hz gespeichert, welches die obere Grenze der Messgeschwindigkeit bestimmt.

3.2.4 Durchführung des Versuches

Zunächst gab es für jeden Probanden eine Einweisung in die Besonderheiten des Fahrzeugs. Dabei wurde die optimale Sitzposition festgelegt, damit die Probanden sich während des Versuches nur auf die Rennstrecke konzentrieren konnten. Dabei wurde auf die Entfernung zum Lenkrad, die Beinfreiheit und die Höhe der Sitzposition geachtet. Danach wurde der Helm mit dem Eye tracking System aufgesetzt und der Spiegel, die Szenen – und Augenkamera justiert.

Anhand von Markierungen (5 Punkte Matrix), die in 3 Metern Entfernung von dem Probanden an einer Wand angebracht waren, wurde die Genauigkeit der Blickbewegungserfassung geprüft. Dabei sollte der jeweilige Proband nach Aufforderung die fünf Punkte nacheinander fixieren. (siehe Abb. 9)



Abb.9: Kalibrierung und Genauigkeitskontrolle des iView X HED

Die Probanden sollten zuerst eine komplette Runde auf der Rennstrecke fahren und sich danach wieder zurück in die Boxengasse (Teilbereich der Rennstrecke) begeben, um über eventuelle Probleme zu berichten (z. B. Änderung der Helmposition).

Nachfolgend wurde der Test über drei Runden durchgeführt, bei dem der jeweilige Fahrer sich je nach Leistung, schnell über die Rennstrecke bewegen sollte.

Nach den Testrunden, wurde wiederum die Genauigkeit des Eye tracking Systems mit Hilfe der 5 Punktematrix überprüft.

3.2.4.1 Gerätebezogener Ablauf

Zu Beginn des Versuches wurden die persönlichen Daten (Name und Geburtsdatum) der Probanden in die Eye tracking Software (siehe Abbildung 10) eingegeben, die an eine 220 Volt Stromquelle angeschlossen war. Anschließend wurde mit der Kalibrierung der Szenenkamera und Augenkamera begonnen. Hierfür musste zuerst der Spiegel so eingestellt werden, dass der Corneareflex und die Pupille gut sichtbar waren und von der Eye tracking Software erkannt wurde. Die Szenenkamera wurde so ausgerichtet, dass sie das Blickfeld des Fahrers wiedergab.

Die Kalibrierung wurde über die Software gesteuert (siehe Abb. 10). Mit Hilfe der fünf Markierungen wurde ein Abgleich vorgenommen, so dass die berechneten Bewegungskordinaten exakt zu der Szenenkamera passten. Nach Speicherung der Einstellung wurde das Eye tracking System heruntergefahren und anschließend mit Hilfe eines „Wandlers“ (Stromversorgung der Versuchsvorrichtung im Testfahrzeug) neu gestartet. Nach dem Neustart und dem jeweiligen Test wurde ebenfalls die Messgenauigkeit an Hand der 5 Koordinaten geprüft.

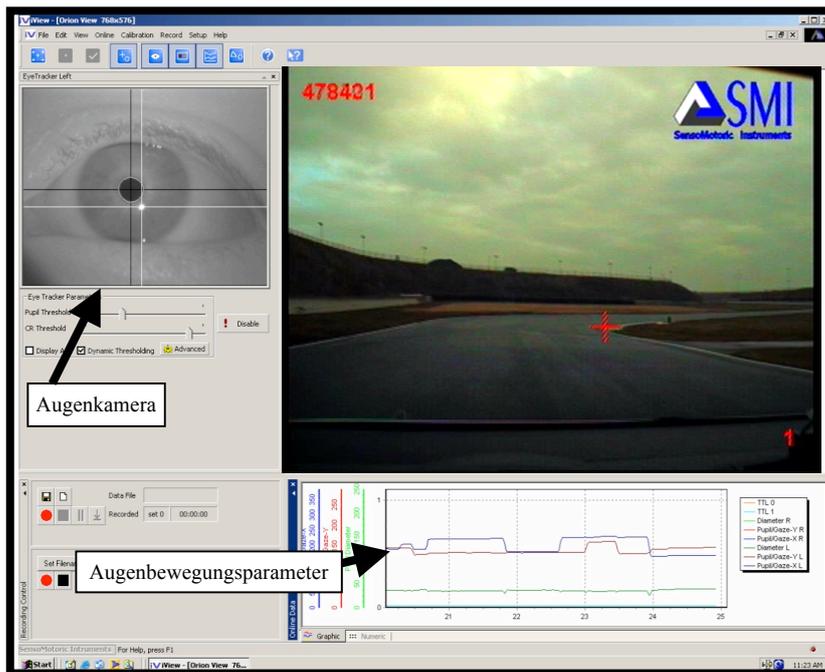


Abb.10: Eye tracking Software (Augenkamera mit Fadenkreuz im Pupillenmittelpunkt und Cornealreflex; Szenenbild mit Fadenkreuz; graphische Darstellung der Augenbewegungsparameter)

3.3 Auswertung der erhobenen Daten

Um eine objektive Auswertung der Videosequenzen vornehmen zu können, bedurfte es einer speziellen Software, mit der einzelne Frames (1 Frame = 40 Millisekunden) dargestellt und in bestimmten Kategorien geordnet werden konnten.

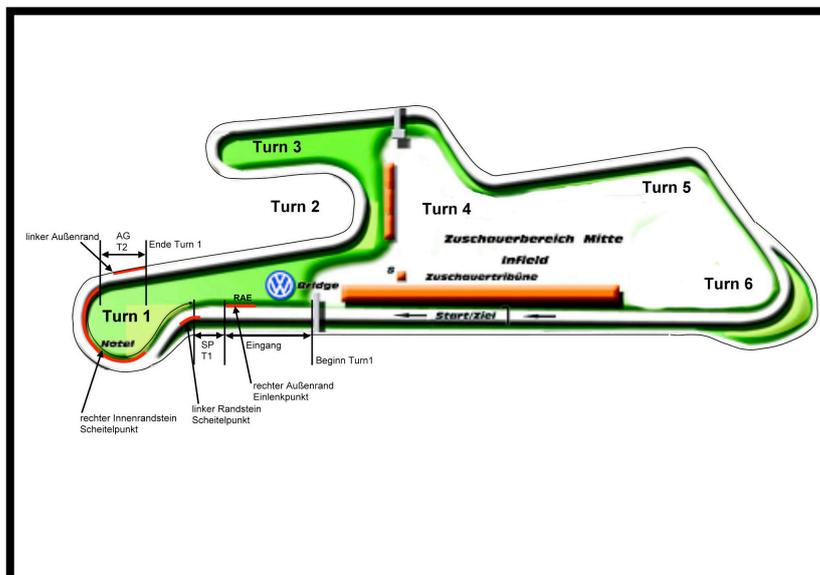


Abb.11: Rennstrecke Oschersleben, Einteilung der AOI mit Hilfe der Auswertungssoftware

Die Software INTERACT zur Auswertung der Blickbewegung wurde von der Firma Mangold International GmbH (Arnsdorf; Deutschland) zur Verfügung gestellt.

Zur objektiven Analyse des Videomaterials wurden folgende Codierungen festgelegt:

1. Szene: Beschreibt eine komplette Runde auf der Rennstrecke. Es wurden die Runden 2, 4 und 5 des jeweiligen Probanden analysiert.
2. Take: Beschreibt den Teilbereich (Kurvenabschnitt) der Rennstrecke, der jeweils ausgewertet wurde. Es wurden Turn 1, 4 und 6 der Rennstrecke betrachtet. Dabei beinhaltet ein Turn immer den Eingang (die Gerade vor der Kurve), den Scheitelpunkt und den Ausgang (die Gerade nach der Kurve) einer Kurve. Der Start und Endpunkt der einzelnen Takes wurde bei allen Sequenzen mit Hilfe von Orientierungspunkten zum gleichen Zeitpunkt festgelegt.
3. Event: Beschreibt innerhalb eines Takes den Bereich, auf die die Probanden ihre Aufmerksamkeit legen konnten. Dabei wurde zum Beispiel Turn 1 (Ende Brücke links in der Ecke -> Ende Randstein links Teil 2) in folgende Events eingeteilt:

Event: Rechter Außenrand/Einlenkpunkt (Teil 1)

Event: Links Randstein/Scheitelpunkt (Teil 1)

Event: Rechts Innenrandstein/Scheitelpunkt (Teil 2)

Event: Links Außenrandstein/Auslenkpunkt (Teil 2)

Event: linke 1/3 Strecke

Event: rechte 1/3 Strecke

Event: mittlere Teil Strecke

Event: Sakkaden ((rechts Innenrandstein) Teil 2)

Event: Eingang (Teil 1) Beginn bis Einlenkpunkt (Ende Querstraße)

Event: Scheitelpunkt (Teil 1) Einlenkpunkt bis Pylone links

Event: Scheitelpunkt (Teil 2) Pylone bis Übergang zu grünen Kurbs

Event: Ausgang (Teil 2) Übergang grüne Kurbs bis Ende

Event: Sonstiges

Kategorie: Blickbewegung

Kategorie: Unterteilung Turn 1

Mit der INTERACT Software wurde die jeweilige Szene, Take und Event mit einer PC-Tastatur belegt. So wurde beim ersten Betätigen der programmierten Tastaturtaste der Beginn der jeweiligen Codierungen gespeichert und bei erneutem Drücken der Taste das Ende fixiert. Somit entstand die an der Zeit orientierte Festlegung der Art und Dauer der Blickbewegungen.

3.4 Statistik

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programm SPSS 15.0 für Windows der Firma SPSS GMBH Software (München; Deutschland). Die im Ergebnisteil aufgeführten Tabellen und Diagramme wurden mit Microsoft Excel 2003 und Word erstellt.

Zunächst wurde geprüft, ob bei den Daten eine Normverteilung vorlag. Die nachfolgenden Berechnungen wurden mit nicht-parametrischen Rechenmethoden durchgeführt, da der Großteil der Variablen nicht in der Normverteilung lag. Zur Auswertung der deskriptiven Daten wie Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum wurden alle Probandendaten tabellarisiert.

Um zwei Gruppen untereinander zu vergleichen, wurde der multiple U-Test (Mann-Whitney) angewandt. Dieser Test basiert auf Rängen und entspricht dem t-Test für unverbundene Stichproben. Da psychophysische Untersuchungen zu ungleichmäßigen Verteilungen führen, wurden nicht-parametrische Tests verwendet. Bei den Resultaten ist jeweils die Wahrscheinlichkeit p angegeben worden, wobei immer von der Nullhypothese ausgegangen wurde. Wenn der p -Wert $< 0,05$ blieb, wurde das Ergebnis als signifikant angesehen. Das heißt, dass die Nullhypothese in diesem Fall abgelehnt wurde. Ein Signifikanzniveau von $0,05$ bedeutet eine Wahrscheinlichkeit von $0,95$, die richtige Entscheidung zu treffen, also eine Nullhypothese abzulehnen ($1 - 0,05 = 0,95$) (Bender et al., 2002).

Zur weiteren Analyse der Daten wurde mit Hilfe der Programmiersprache C++ ein Programm geschrieben (siehe Kapitel 4.3), das auf dem *Levenshtein* begründeten Algorithmen fundiert.

4. Ergebnisse

Entsprechend dem Kapitel „Probanden, Material und Methoden“ beschriebenen Erhebung und Analyse der Rohdaten, wurden die Daten vor der Berücksichtigung der Statistik (3.4) ausgewertet.

Eine Differenzierung der Daten in die unterschiedlichen Blickbewegungsparameter wurde auf Grund der hohen Bewegungsfrequenz unterlassen. Unter dem Begriff der Blickbewegung (BB) wurden alle Parameter (Fixation, Folgebewegung, Mikrobewegungen) zusammengefasst. Der dieser Arbeit zugrunde liegenden Hypothese bedurfte es keiner weiteren Aufgliederung.

In Anlehnung an der in Kapitel 2 beschriebenen Fragestellung, wurde ein Auswertungskonzept mit folgenden Schwerpunkten entwickelt:

1. Blickbewegungsdauer (4.1)
2. Blickbewegungsstrategie (4.2)
3. Lernprozess (4.3)

4.1 Blickbewegungsdauer

Die Blickbewegungsdauer gibt diejenige Zeit an, in der die retinale Aufnahme von Objekten stattfinden kann. Nach der unter Punkt 1.2.2 aufgeführten Definition ist dies die Dauer zwischen zwei Sakkaden. Während dieser wird die effektive Zeit der Informationsaufnahme durch die Initiierung einer neuen Sakkade (75 ms) und die Beendigung der vorhergehenden Sakkade (50 ms) begrenzt (Diamond et al., 2000). In der vorliegenden Arbeit wurde die Nettozeit, wiederum auf Grund der hohen Bewegungsfrequenz, nicht berücksichtigt. Zudem wurde das Abgrenzungskriterium zu den Sakkaden so definiert, dass die langsamen Folgebewegungen (smooth pursuit) mit als Fixation gewertet wurden.

4.1.1 Fixationszeiten aller Szenen

Der Begriff Fixationsdauer (fixation duration) wurde in der Auswertung als die Zeit bezeichnet, in der ein Objekt X betrachtet wurde, bevor durch eine Sakkade oder mehrere Zwischensakkaden ein neues Objekt Y fixiert wurde.

Tabelle 4 stellt die mittlere Zeit pro Fixation aus allen Szenen (3 Runden) dar. Dabei ist die Summe der Fixationszeiten durch die Anzahl der Fixationen dividiert worden. Es zeigte sich im statistischen Vergleich ein höchst signifikanter Unterschied der beiden Gruppen ($p=0,001$).

	Scene 1 – 3	Standardabweichung
EF	0,94 sec/Fixation	0,08
UF	0,79 sec/Fixation	0,04

Tab.4: mittlere Dauer pro Blickbewegungen aller Runden (Signifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann – Whithney – U-Test; $p = 0,001$)

4.1.2 Absolute Häufigkeit der Fixationszeiten

Die absolute Häufigkeit ist definiert als der Teilbereich der gemessenen Werte zur Gesamtheit. Dabei wurde die Anzahl der Blickbewegungen pro Sekunde (BB/sec) in Klassen unterteilt, um die Betrachtungstiefe darstellen zu können (Tabelle 5).

Klassen	unterer Grenzwert		oberer Grenzwert	
Klasse 1:	0,10	-	1,00	BB/sec
Klasse 2:	1,10	-	2,00	BB/sec
Klasse 3:	2,10	-	3,00	BB/sec
Klasse 4:	3,10	-	4,00	BB/sec
Klasse 5:	4,10	-	6,00	BB/sec
Klasse 6:	6,10	-	8,00	BB/sec
Klasse 7:	8,10	-	10,00	BB/sec
Klasse 8:	10,10	-	12,00	BB/sec
Klasse 9:	12,10	-	14,00	BB/sec

Tab.5: Einteilung der Anzahl an BB/sec in Klassen 1 – 9

Tabelle 6 zeigt die absolute Häufigkeit und deren Standardabweichung der 9 Klassen für den ersten Kurvenabschnitt für Scene (Runde) 2 und 3. Zudem ist der gemittelte Wert für die beiden Szenen der Tabelle zu entnehmen. Die Scene 1 wurde auf Grund des eventuellen Lernprozesses der UF nicht in die Auswertung integriert.

Durch eine polynomische Kurve, die jeweils durch die beiden folgenden Diagramme (Abbildung 12 und 13) verläuft, soll die Gewichtung der einzelnen Klassen und der dynamische Übergang dargestellt werden. In der statistischen Auswertung konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den erfahrenen und unerfahrenen Fahrern festgestellt werden ($p = 0,057$).

Klassen	Scene2				Scene 3				Gemittelt Scene 2 + 3			
	EF	Stabw	UF	Stabw	EF	Stabw	UF	Stabw	EF	Stabw	UF	Stabw
1	6,25	1,89	1,75	0,96	6,5	2,08	3,25	1,71	6,375	0,18	2,5	1,06
2	5	2,16	7	2,83	5	1,63	5	1,83	5	0,00	6	1,41
3	3,25	1,71	5,75	3,30	4,25	2,36	8,5	2,89	3,75	0,71	7,125	1,94
4	5,25	1,71	4	2,58	3,5	2,65	4	2,00	4,375	1,24	4	0,00
5	1,5	1,29	5,75	1,50	1,75	0,50	3,75	1,71	1,625	0,18	4,75	1,41
6	1,25	0,96	2,75	1,50	0,75	0,96	1,25	1,26	1	0,35	2	1,06
7	1,25	0,50	1	0,82	1	0,82	1,25	1,26	1,125	0,18	1,125	0,18
8	0,25	0,50	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,125	0,18	0	0,00
9	0,25	0,50	1,25	1,26	0,75	0,50	0,75	0,96	0,5	0,35	1	0,35

Tab.6: Absolute Häufigkeit der BB/sec und Standardabweichung (Szene 2 + 3); Stabw. = Standardabweichung (kein signifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann – Whitney – U-Test; $p = 0,057$)

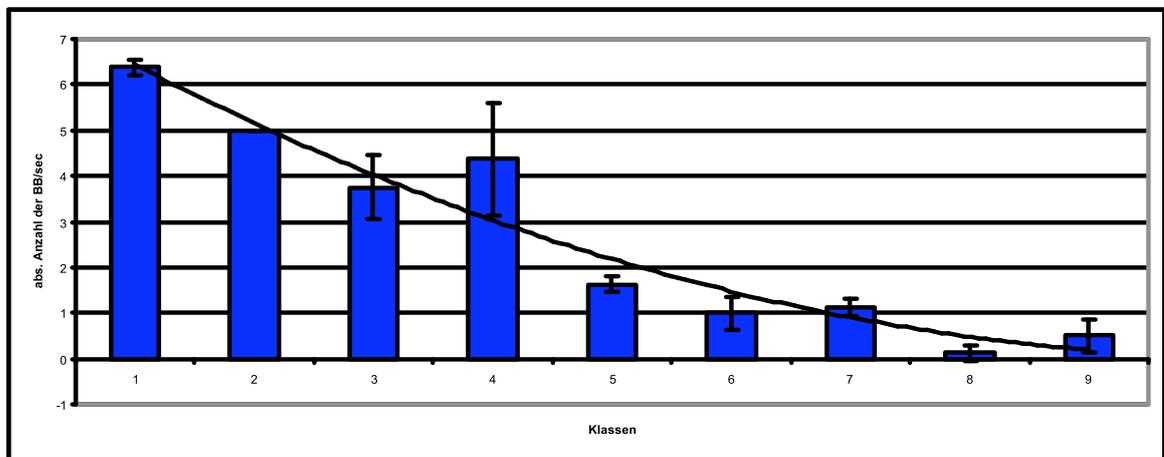


Abb.12: Absolute Häufigkeit der Blickbewegungen/sec von EF (Szene 2 + 3); Mittelwert und Standardabweichung

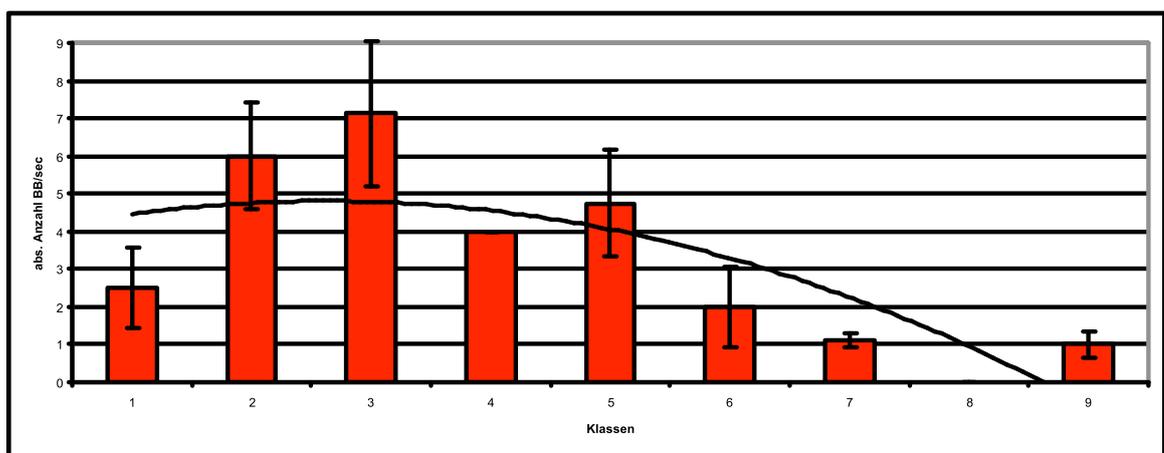


Abb.13: Absolute Häufigkeit der Blickbewegungen/sec von UF (Szene 2 + 3); Mittelwert und Standardabweichung

4.2 Blickbewegungsstrategie

Die Blickbewegungsstrategie, wie in Kapitel 1.2.4 beschrieben, ist das Aufeinanderfolgen von Fixationen und Sakkaden bis zum Erlangen einer Lösung und/oder einer Teilaufgabe (Rötting M, 2001). In der englischsprachigen Fachliteratur wird diese Strategie auch als scanpath oder als searchpath (Menz C, Groner R, 1986) bezeichnet.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Blickbewegungen unter dynamischen Bedingungen registriert, wobei noch einmal darauf hingewiesen werden soll, dass sowohl Fixationen als auch Folgebewegungen zusammenfassend als ein Parameter ausgewertet wurden. Die Objekte, die für die Auswertung der Videodaten in der Software INTERACT (siehe oben) codiert und als Events bezeichnet wurden, werden im Weiteren als area of interest (AOI) dargestellt.

4.2.1 Relative Häufigkeit der Blickbewegung aller Szenen

Die Anzahl der Blickbewegung pro AOI im Verhältnis zur Gesamtzahl der Blickbewegungen stellt die relative Häufigkeit dar. In Tabelle 7 sind die, für die Auswertung wichtigen AOI-Nummern und die dazugehörige Beschreibung in der ersten bzw. zweiten Spalte aufgeführt. Diese Tabelle zeigt den Mittelwert der relativen Häufigkeit der Runden 1 bis 3 und deren Standardabweichung.

Die statistische Auswertung ergab einen hochsignifikanten Unterschied der beiden Probandengruppen ($P = 0,005$). Abbildung 14 zeigt die Verteilung der relativen Häufigkeit der Blickbewegungen der einzelnen AOI als Mittelwert für Scene 1-3 im ersten Kurvenabschnitt (Turn 1).

AOI	Event	Scene 1+2+3		Stabw.	
		EF	UF	EF	UF
9	BB_Rechter Außenrand/Einlenkp. (Teil 1)	6,00	0,28	1,04	0,41
2	BB_Links Randstein/Scheitelp. (Teil 1)	16,51	9,76	0,48	2,03
8	BB_Rechts Randstein/Scheitelp. (Teil 2)	47,55	16,81	1,08	7,09
5	BB_Links Randstein/Auslenkp. (Teil 2)	8,79	3,44	1,24	0,72
3	BB_rechte 1/3 Strecke	7,75	9,14	2,18	0,76
3	BB_mittlere Teil Strecke	5,83	13,48	2,88	5,26
3	BB_linke 1/3 Strecke	6,30	4,63	0,99	1,74
6	BB_sonstige BB	1,28	5,32	1,67	1,62
7	BB_Außenrand Turn 1/2.Teil	0,00	24,15	0,00	7,22
4	BB_nächster Kurvenabschnitt	0,00	8,41	0,00	3,43
1	BB_Sicht über die Strecke in die Weite	0,00	4,54	0,00	3,90

Tab.7: Relative Häufigkeit der BB in Turn 1; Mittelwert und Standardabweichung (Durchschnitt Szene 1-3/ Turn1 /EF = erfahrene Fahrer /UF = unerfahrene Fahrer / Stabw. = Standardabweichung; hochsignifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test; $p = 0,001$)

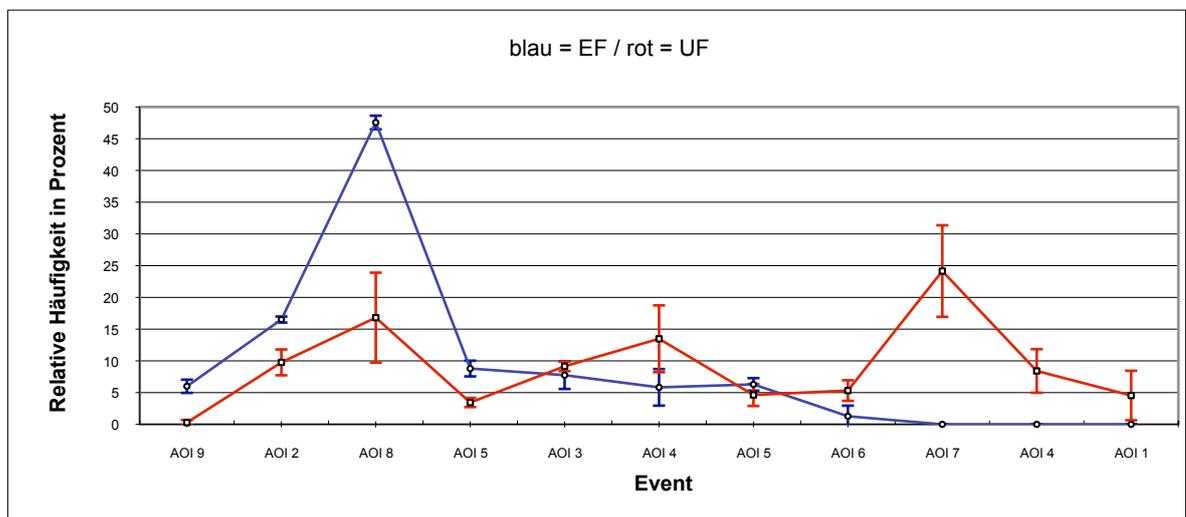


Abb.14: Relative Häufigkeit der BB in Turn 1 (Durchschnitt Szene 1-3/Turn1); Mittelwert und Standardabweichung (hochsignifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test; $p = 0,001$)

4.2.2 Optimale Zeitfolge der Blickbewegung

Die optimale Zeitfolge der Blickbewegungen ist für die Fahrt mit einem Automobil auf der Rennstrecke angelehnt an die Ideallinie. Diese gedachte Linie beschreibt dabei den Weg, den der Fahrer wählen muss, um die jeweilige Rennstrecke am schnellsten zu umfahren. Die Ideallinie ist charakteristisch für jede Rennstrecke und abhängig von diversen Randbedingungen wie Fahrwerk-Setup und Witterungsverhältnissen. Diese Randbedingungen waren für alle im Rahmen dieser Arbeit beteiligten Probanden identisch.

Durch die allgemeine Klassifizierung einer Kurve in drei charakteristische Bereiche - Eingang, Scheitelpunkt und Ausgang - kann auf triviale Weise eine optimale

Zeitfolge der Blickbewegungen festgelegt werden. Diese Definition ist subjektiv, entspricht aber die für den Automobilrennsport klassische Fahrweise. Somit ist das Optimum hinsichtlich der drei charakteristischen Bereiche in folgender Reihenfolge anzunehmen:

1. Bereich A: Außenrand der Kurve in der Bremsphase
2. Bereich B: Scheitelpunkt der Kurve in der Einlenkphase
3. Bereich C: Außenrand der Kurve in der Beschleunigungsphase

Obige Einteilung beschreibt jedoch einen groben, allgemeingültigen Sachverhalt. Angewandt auf Turn 1 konnten diese drei charakteristischen Bereiche unter Zuhilfenahme der entsprechenden AOI's jedoch konkretisiert werden, wobei diese von den vorhergegangenen Einteilung in dem Punkt AOI3 abweicht. Auf Grund der besseren Darstellung der Werte wurde unter AOI 3 die sonst eigenständigen AOI *BB_rechte 1/3 Strecke*, *BB_mittlere Teil Strecke* und *BB_linke 1/3 Strecke* unter dem Punkt „gesamter Bereich der Strecke“ zusammengefasst (vergleiche Tabelle 7). Der kausale Zusammenhang von Zeitpunkt t , AOI und zugehörigem Bereich definiert dann entsprechend Tabelle 8 die optimale Zeitfolge im Detail:

Zeitpunkt t	AOI	Bezeichnung	Zugehörigkeitsbereich
t_1	9	Rechter Außenrand/Einlenkpunkt (Teil1)	Bereich A
t_2	3	gesamter Bereich Strecke	Bereich A
t_3	2	Links Randstein/Scheitelpunkt (Teil 1)	Bereich B
t_4	3	gesamter Bereich Strecke	Bereich B
t_5	8	Rechts Randstein/Scheitelpunkt (Teil 2)	Bereich B
t_6	3	gesamter Bereich Strecke	Bereich B
t_7	5	Links Randstein/Auslenkpunkt (Teil 2)	Bereich C
t_8	3	gesamter Bereich Strecke	Bereich C

Tab.8: Optimale Zeitfolge (t_1 - t_8) und dazugehörige Kurvenbereiche (unter AOI 3 wurden rechter, mittlerer und linker Teil der Strecke unter „gesamter Bereich Strecke“ zusammengefasst)

Grafisch ist dieser Sachverhalt in Abbildung 15 dargestellt. Auf der Abszisse sind dabei die Zeitpunkte aufgetragen [$t_1..t_8$; $t > t_8$]. Der Bereich $t > t_8$ ist demjenigen Bereich von Zeitpunkten zugeordnet, die außerhalb des optimalen Zeitfolgeintervalls lagen. Dieser Bereich ist durch die rot gestrichelte vertikal verlaufene Linie begrenzt. Auf der Ordinate sind die einzelnen AOI aufgetragen, wobei AOI 3

der Übersicht halber nicht dargestellt ist. Unterhalb der rot gestrichelten horizontal verlaufenden Linie sind lediglich diejenigen AOI dargestellt, die der optimalen Zeitfolge zugehörig sind. Alle übrigen AOI sind oberhalb dieser roten Begrenzungslinie wiederzufinden und als „Bereich nicht-optimaler AOI's“ in der Grafik hervorgehoben.

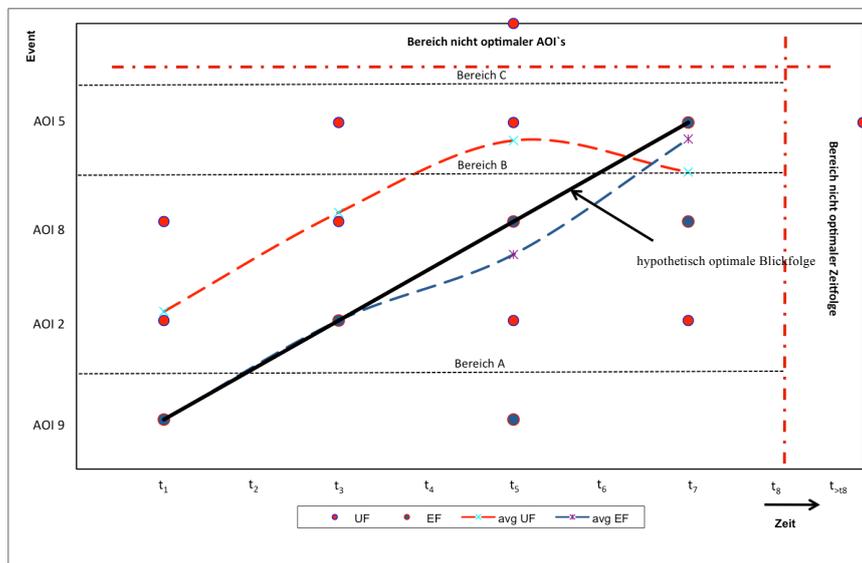


Abb.15: optimale Zeitfolge der BB (blau Punkte = die zum jeweiligen Zeitpunkt t von den EF fixierten AOI; rote Punkte = fixierte AOI der UF; schwarzer Graph = hypothetisch optimale Blickfolge; blau gestrichelter Graph = EF; rot gestrichelter Graph = UF)

Die optimale Zeitfolge stellt einen linearen Verlauf dar, wenn die optimalen AOI's gemäß der obigen Tabelle (Tabelle 8) in dem entsprechenden Zeitintervall $[t_1..t_8]$ aufgetragen werden. Dieser Zusammenhang ist durch die schwarze Linie dargestellt und als „hypothetisch optimale Blickfolge“ in der Grafik deklariert. Angelehnt an diese ist der zeitliche Verlauf der Blickbewegung der EF (blaue Linie) und der UF (rote Linie) dargestellt. Darüber hinaus spiegelt die Grafik einige extreme Abweichungen von der optimalen Blickfolge für beide Fahrer-Gruppen wieder, die als blau (EF) bzw. rot Punkte (UF) grafisch hervorgehoben sind.

Die Analyse der optimalen Blickfolge auf diese Weise vermittelt zunächst einen ersten groben Überblick über das unterschiedliche Blickverhalten von erfahrenen und unerfahrenen Fahrern. Weiterführende Analyse-Verfahren mittels Übergangsmatrizen sowie dem string editing Verfahren sind für ein detailliertes Verständnis des scanpath notwendig.

4.2.3 Übergangshäufigkeit / Übergangsdichte

Bei der Übergangshäufigkeit, im englischen unter anderem als „transition frequencies“ (Ellis SR, Smith JD, 1985) oder „transition matrix“ (Goldberg JH, Kotval XP, 1998) bezeichnet, werden die Übergänge der Blickbewegungen von einem AOI in ein anderes AOI gemessen und als prozentualer Anteil der insgesamt beobachteten Übergänge angegeben (siehe Kapitel 1.2.4).

Tabelle 9 zeigt die Übergangsmatrix (Markov Matrix erster Ordnung) der EF und Tabelle 10 die der UF. Die blau markierten Zellen deuten auf die für den optimalen scanpath wichtigen Übergänge hin (angelehnt an die aufgeführten AOI der optimalen Zeitfolge; vergleiche Tabelle 8). Die Festlegung der AOI wird für die Übergangshäufigkeit in Tabelle 11 nochmals dargestellt.

AOI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00		6,88	0,00	0,00	0,00	0,00	2,65	1,06	10,58
3	0,00	7,94		0,53	9,52	3,70	0,00	13,76	7,94	43,39
4	0,00	0,00	0,53		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
5	0,00	0,00	11,64	0,00		0,00	0,00	2,12	0,00	13,76
6	0,00	0,00	0,53	0,00	0,00		0,00	0,53	0,00	1,06
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	13,76	0,00	4,76	0,00	0,00		0,00	18,52
9	0,00	2,12	10,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		12,17
Σ	0,00	10,05	43,39	0,53	14,29	3,70	0,00	19,05	8,99	100,00

Tab.9: Übergangsmatrix EF (Mittelwert der Szene 1-3); blau markierte Zellen deuten auf die für den optimalen scanpath wichtigen Übergänge hin

AOI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
1		2,02	3,20	0,51	0,00	0,17	0,67	0,17	0,17	6,90
2	1,35		5,72	1,18	0,00	0,51	0,00	0,67	0,00	9,43
3	3,87	4,38		4,38	2,19	2,36	5,89	6,23	0,34	29,63
4	0,17	1,68	2,86		0,34	1,52	0,00	0,17	0,00	6,73
5	0,00	0,00	2,19	0,67		0,17	0,34	0,67	0,00	4,04
6	0,17	0,34	2,69	0,34	0,00		0,51	0,00	0,00	4,04
7	0,34	0,00	5,56	0,00	0,34	0,00		12,29	0,00	18,52
8	0,34	0,67	6,57	0,00	1,18	0,34	11,11		0,00	20,20
9	0,00	0,17	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,51
Σ	6,23	9,26	29,12	7,07	4,04	5,05	18,52	20,20	0,51	100,00

Tab.10: Übergangsmatrix UF (Mittelwert der Szene 1-3); blau markierte Zellen deuten auf die für den optimalen scanpath wichtigen Übergänge hin

AOI	Bezeichnung
1	Sicht über Streckenende in die Weite
2	Links Randstein/Scheitelpunkt (Teil 1)
3	gesamter Bereich Strecke
4	Nächster Kurvenabschnitt
5	Links Randstein/Auslenkpunkt (Teil 2)
6	sonstige Blickbewegungen
7	Außenrand Turn 1/ 2.Teil
8	Rechts Randstein/Scheitelpunkt (Teil 2)
9	Rechter Außenrand/Einlenkpunkt (Teil1)

Tab.11: Einteilung der AOI mit Beschreibung für die Übergangsmatrix (AOI = area of interest)

4.3 String editing

In den vorherigen Kapiteln dieser Arbeit konnten signifikante Unterschiede hinsichtlich der Blickbewegungen zwischen EF und UF nachgewiesen werden. Zur Verifizierung dieser Beobachtungen wurde das *string editing* Verfahren, welches im Rahmen derartiger Forschungsarbeiten breite Anwendung findet, als zusätzliches Analyse-Werkzeug ausgewählt und auf die erfassten Datensätze angewandt. Dieses Verfahren wurde mittels eines eigens geschriebenen Programmcodes realisiert, der im Wesentlichen auf den von *Levenshtein* begründeten Algorithmen fundiert.

Im Folgenden werden die theoretischen Grundlagen des *string editing* Verfahrens kurz erläutert und danach die gewonnen Ergebnisse dargestellt. Der vollständige Programmcode ist unter Punkt 13.4 dieser Arbeit wiederzufinden.

4.3.1 Theoretische Grundlagen

Das *string editing* Verfahren dient dem Vergleich zweier Zeichenketten (string). Zielsetzung dabei ist die kostenminimalste Transformation eines Vergleichstrings in einen entsprechenden Referenzstring (Sankhoff D, Kruskal JB, 1999). Die Transformation kann durch die Operationen Löschen, Ersetzen und Einfügen, denen jeweils ein Kostenfaktor zugeordnet werden kann, praktisch realisiert werden (Josephson S, Holmes ME, 2006).

Die wesentliche Idee des verwendeten string-editing-Algorithmus wird im folgenden kurz erläutert, jedoch ohne programmiertechnische Implementierungsdetails (als Programmiersprache wurde Visual C++ verwendet) zu beschreiben.

Zunächst wird mittels der beiden zu vergleichenden Zeichenketten eine Matrix in der Dimension $n+1 \times m+1$ generiert, wobei n und m den Längen der beiden

Zeichenketten entsprechen. Für den Fall, dass eine der beiden Zeichenkette Null ist, liefert der Algorithmus die Länge der von Null verschiedenen Zeichenketten zurück. Im darauffolgenden Schritt werden sowohl die erste Zeile, als auch die erste Spalte der Matrix initialisiert. Die Kosten sind Null, wenn beide Zeichenketten absolut identisch sind. Ist dieses nicht der Fall, wird die erste Zeichenkette $s[1..i]$ in die zweite Zeichenkette $t[1..j]$ unter der Benutzung des Minimums von $d[i,j]$ Operationen (Löschen, Einfügen, Ersetzen) überführt. Die Variablen i und j stellen dabei Laufvariablen durch die $(n+1) \times (m+1)$ -Matrix dar, während das Minimum von d rekursiv (d.h. die Funktion ruft sich selbst auf) bestimmt wird.

Nach dem Durchlaufen der gesamten Matrix und der Suche nach der in jedem $[i,j]$ -Iterationsschritt kostenminimalsten Operation liefert der Algorithmus die Anzahl der notwendigen Operationen zur Transformierung der Zeichenkette in die andere zurück. Das Ergebnis spiegelt somit den minimalsten Aufwand wieder, um die erste Zeichenkette in die zweite zu überführen.

4.3.2 Anwendung des *string editing* Verfahrens

Durch Berechnung der Häufigkeitsverteilung, als auch durch Analysen mittels Übergangsmatrizen konnte schlussgefolgert werden, dass erfahrene Piloten signifikant weniger Blickbewegungen aufwiesen als die unerfahrene Probandengruppe. Diese Erkenntnis wird durch Anwendung des *string editing* Verfahrens verifiziert.

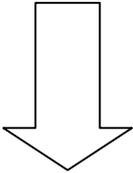
Ausgangspunkt war dabei die Festlegung einer optimalen Blickfolge (Zeichenkette 1 bzw. Referenzstring), der jeweils ein Vergleich mit den Blickfolgen (Zeichenkette 2 bzw. Vergleichsstring) der erfahrenden und unerfahrenen Fahrer unterzogen wurde. Die Festlegung der optimalen Blickfolge wurde empirisch festgelegt und hat dabei folgende Gestalt:

Zeichenkette-Position [1,j]	1	2	3	4	5	6	7	8
AOI [i,j]	9	3	2	3	8	3	5	3

Tab.12: Optimale Blickfolge – empirische und subjektive Annahme; Zeichenketten-Position = Durchnummerierung der optimalen Blickfolge; AOI = zu den Zeichenkette-Position zugehörige area of interest; Beschreibung der AOI siehe Tabelle 11

Gesamte Zeichenketten-Länge: 8

Die Ausgangsmatrix der unter 4.3.1 beschriebenen Matrix ist exemplarisch für einen erfahrenen Fahrer im folgenden illustriert:

		Vergleichsstring								
		AOI	2	8	4	5	3	7	9	10
Referenzstring	9	 Löschen oder Einfügen oder Ersetzen Ergebnisstring nach n-Operationen								
	3									
	...									
	...									
	...									
	...									
	3	9	3	3			

Tab.13: Ausgangsmatrix exemplarisch dargestellt; in der zweiten Reihe ist der Vergleichsstring aufgeführt, der mit dem in der zweiten Spalte stehendem Referenzstring verglichen werden soll

Der Vergleich der Kosten des scanpath der EF (linke Tabelle) und UF (rechte Tabelle) zum optimalen scanpath sind in Tabelle 14 dargestellt. In der Tabelle ist die minimale Anzahl notwendiger Operationen (Kosten) aufgeführt, die erforderlich sind, um den scanpath des jeweiligen Fahrers in den optimalen scanpath zu überführen. Die statistische Auswertung ergab einen hochsignifikanten Unterschied der beiden Probandengruppe ($p = 0,001$).

EF	Szene	Anzahl der Operationen	MW	Stdw	UF	Szene	Anzahl der Operationen	MW	Stdw
Fahrer 1	1	11			Fahrer 1	1	34		
	2	13				2	44		
	3	17	13,68	3,06		3	28	35,33	8,08
Fahrer 2	1	20			Fahrer 2	1	39		
	2	9				2	53		
	3	11	13,33	5,86		3	30	40,67	11,59
Fahrer 3	1	12			Fahrer 3	1	66		
	2	20				2	48		
	3	6	12,67	7,02		3	42	52	12,49
Fahrer 4	1	12			Fahrer 4	1	79		
	2	10				2	75		
	3	9	10,33	1,53		3	62	72	8,89
1-4		Gesamtkosten: 150	12,5	4,8	1-4		Gesamtkosten: 600	50	17,16

Tab.14: Vergleich der Kosten der erfahrenen Fahrer (EF, links) und unerfahrenen Fahrer (UF, rechts) zum optimalen scanpath; „Anzahl der Operationen“ = Umbauprozesse des aktuellen string zum Referenzstring (optimaler string); MW = Mittelwert; Stdw. = Standardabweichung; hochsignifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test; p = 0,001)

Im darauffolgenden Schritt wurde aus den beiden Gruppen (erfahrene und unerfahrene Fahrer) jeweils eine Blickfolge (Zeichenkette) zufällig gewählt und mit denen der erfahrenen und unerfahrenen Fahrern verglichen, um einen Vergleich des scanpath der beiden Gruppen zu verifizieren:

- Aus der Gruppe der EF: Fahrer 2, Szene 3 (Ergebnisse Tabelle 15)
- Aus der Gruppe der UF: Fahrer 4, Szene 2 (Ergebnisse Tabelle 16)

Diese beiden Zeichenketten sind in den unten stehenden Ergebnistabellen (Tabelle 15 und 16) jeweils rot unterlegt.

EF	Szene	Anzahl der Operationen	MW	Stdw
Fahrer 1	1	12		
	2	10		
	3	13	11,67	1,53
Fahrer 2	1	11		
	2	9		
	3	0	6,67	5,86
Fahrer 3	1	10		
	2	13		
	3	11	11,33	1,53
Fahrer 4	1	11		
	2	7		
	3	12	10	2,65
1-4		Gesamtkosten: 119	9,92	3,55

UF	Szene	Anzahl der Operationen	MW	Stdw
Fahrer 1	1	30		
	2	37		
	3	22	29,67	7,51
Fahrer 2	1	34		
	2	47		
	3	25	35,33	11,06
Fahrer 3	1	59		
	2	41		
	3	35	45	12,49
Fahrer 4	1	68		
	2	66		
	3	53	62,33	8,14
1-4		Gesamtkosten: 517	43,08	15,51

Tab.15: Vergleich der Kosten der EF (links) und UF (rechts) zum Vergleichsstring EF; „Anzahl der Operationen“ = Umbauprozesse des aktuellen string zum Referenzstring (optimaler string) + MW = Mittelwert und Stdw = Standardabweichung; hochsignifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test; $p = 0,001$)

EF	Szene	Anzahl der Operationen	MW	Stdw
Fahrer 1	1	70		
	2	69		
	3	63	67,33	3,79
Fahrer 2	1	60		
	2	70		
	3	66	65,33	5,03
Fahrer 3	1	68		
	2	60		
	3	70	66	5,29
Fahrer 4	1	70		
	2	67		
	3	71	69,33	2,08
1-4		Gesamtkosten: 804	67	3,95

UF	Szene	Anzahl der Operationen	MW	Stdw
Fahrer 1	1	62		
	2	50		
	3	55	55,67	6,03
Fahrer 2	1	52		
	2	50		
	3	60	54	5,29
Fahrer 3	1	46		
	2	48		
	3	47	47	1
Fahrer 4	1	51		
	2	0		
	3	40	30,33	26,84
7		Gesamtkosten: 561	46,75	15,89

Tab.16: Vergleich der Kosten der EF (links) und UF (rechts) zum Vergleichsstring UF; „Anzahl der Operationen“ = Umbauprozesse des aktuellen string zum Referenzstring (optimaler string) + MW = Mittelwert und Stdw = Standardabweichung; signifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test; $p = 0,001$)

4.4 Lernprozess

Zur Analyse eines möglichen Lernprozesses der Blickbewegungen bei der Fahrt auf einer Rennstrecke wurden die gewonnenen Daten der drei Runden miteinander verglichen.

Wie im vorangegangenen Kapitel (4.1 und 4.2) wurde die relative Häufigkeit und die Übergangsdichte zur Auswertung herangezogen und deren Änderung über die gefahrenen Runden analysiert.

4.4.1 Änderung der relativen Häufigkeit

Wie schon in Kapitel 4.1.3 beschrieben, wurde bei der relativen Häufigkeit der Blickbewegungen (BB) die Anzahl der BB pro AOI zur Gesamtzahl der BB gesetzt. Um einen eventuellen Lernprozess darstellen zu können, wurde die relative Häufigkeit jeder einzelnen Runde der erfahrenen und unerfahrenen Fahrer errechnet und in Tabelle 17 für das jeweilige AOI aufgeführt.

Die statistische Auswertung ergab einen hochsignifikanten Unterschied der beiden Probandengruppe ($p = 0,005$). Abbildung 16 zeigt die Verteilung der relativen Häufigkeit der Blickbewegungen der einzelnen AOI für Scene 1-3 in Turn 1.

AOI		Scene1	Scene1	Scene2	Scene2	Scene3	Scene 3
		EF	UF	EF	UF	EF	UF
9	BB_Rechter Außenrand/Einlenkp. (Teil 1)	6,94	0	6,18	0,09	4,88	0,75
2	BB_Links Randstein/Scheitelp. (Teil 1)	17,06	7,56	16,19	11,57	16,29	10,16
8	BB_Rechts Randstein/Scheitelp. (Teil 2)	46,48	9,68	47,53	16,9	48,63	23,85
5	BB_Links Randstein/Auslenkp. (Teil 2)	7,78	3,52	8,42	2,69	10,17	4,12
3	BB_rechte 1/3 Strecke	7,32	8,38	5,82	9,89	10,11	9,16
3	BB_mittlere Teil Strecke	6,07	7,42	8,58	16,09	2,83	16,93
3	BB_linke 1/3 Strecke	5,16	3,45	6,8	6,62	6,93	3,81
6	BB_sonstige BB	3,2	7	0,48	3,76	0,16	5,21
7	BB_Außenrand Turn 1/2.Teil	0	32,24	0	21,83	0	18,38
4	BB_nächster Kurvenabschnitt	0	11,69	0	8,71	0	4,84
1	BB_Sicht über die Strecke in die Weite	0	9,01	0	1,83	0	2,78

Tab.17: Relative Häufigkeit der BB in Turn 1 (Szene 1-3 / Turn1); hochsignifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test; $p = 0,005$

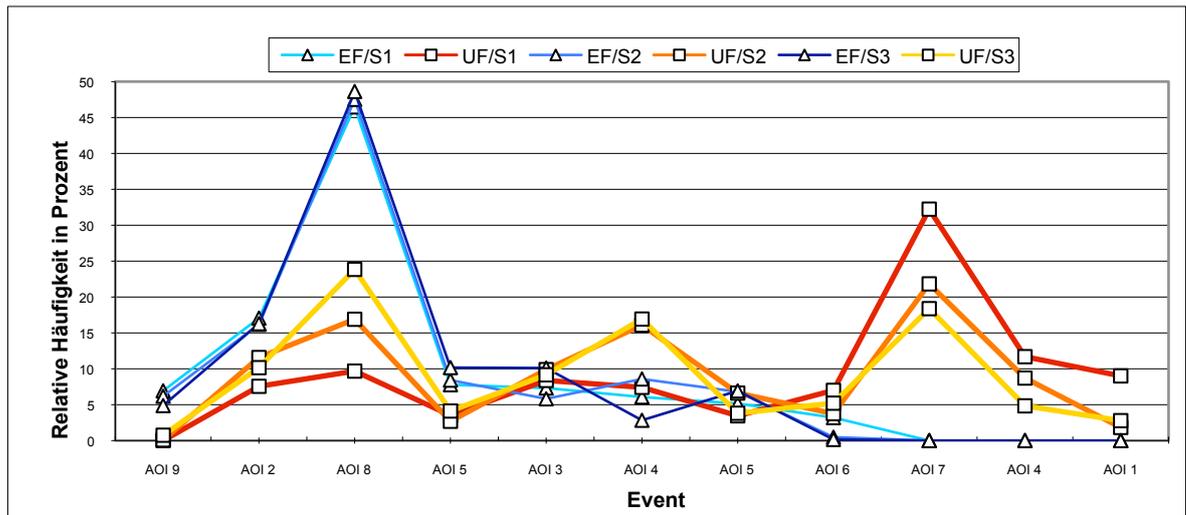


Abb.16: Relative Häufigkeit (Mittelwert) der BB in Turn 1 (Szene 1-3); hochsignifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test; $p = 0,001$)

4.4.2 Verlauf der Übergangsdichte / Übergangshäufigkeit

Die Übergangsdichte, als Wert der Matrix der Übergangshäufigkeit, wurde für die unerfahrenen Fahrer für Szene 1, 2 und 3 errechnet. Um Unterschiede hinsichtlich des scanpath in den einzelnen Runden zu erkennen, wurde die Differenz der Werte der Übergangsdichte von Runde 2 zu Runde 1 in der Markov Matrix in Tabelle 18 und die Differenz der Werte der Übergangsdichte von Runde 3 zu Runde 1 in der Markov Matrix in Tabelle 19 gebildet. Die blau markierten Zellen deuten auf die für den optimalen scanpath wichtigen Übergänge hin (vergleiche Punkt 4.2.3).

Die Übergangsmatrizen (Tabelle 18 und 19) zeigen eine Veränderung hinsichtlich der Verteilung der Übergangswahrscheinlichkeit.

AOI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
1		-3,00	-0,94	-1,31	0,00	0,00	-0,38	0,00	0,49	-5,14
2	-2,13		3,37	-2,18	0,00	-0,87	0,00	0,54	0,00	-1,27
3	-0,94	2,77		1,85	0,76	0,70	0,86	1,57	0,00	7,57
4	-0,44	-1,64	-0,22		-0,87	-2,08	0,00	0,49	0,00	-4,76
5	0,00	0,00	1,63	-1,75		0,49	-0,87	0,54	0,00	0,04
6	-0,44	-0,44	0,32	-0,87	0,00		-0,87	0,00	0,00	-2,30
7	-0,44	0,00	-0,18	0,00	0,05	0,00		1,39	0,00	0,83
8	0,05	1,03	2,11	0,00	0,11	-0,87	2,10		0,00	4,54
9	0,00	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,49
Σ	-4,32	-1,27	6,59	-4,27	0,04	-2,63	0,83	4,54	0,49	0,00

Tab.18: Übergangsmatrix UF; in der Matrix sind die Differenzen der Übergangswahrscheinlichkeit der Runde 2 zu Runde 1 zu sehen; blau markierte Zellen deuten auf die für den optimalen scanpath wichtigen Übergänge hin

AOI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
1		-1,63	-3,12	-1,31	0,00	0,62	-0,25	0,62	0,00	-5,07
2	-2,00		3,96	-0,94	0,00	-0,25	0,00	0,18	0,00	0,95
3	-0,64	2,97		2,53	-0,34	1,36	-5,12	3,27	1,24	4,67
4	-0,44	-1,38	2,79		-0,87	-3,06	0,00	0,00	0,00	-2,96
5	0,00	0,00	1,17	-1,75		0,00	-0,87	0,18	0,00	-1,26
6	-0,44	0,18	-0,14	-0,87	0,00		-0,25	0,00	0,00	-1,51
7	0,18	0,00	-3,44	0,00	-0,44	0,00		1,69	0,00	-2,01
8	-0,44	-0,44	2,21	0,00	0,99	-0,87	4,49		0,00	5,95
9	0,00	0,62	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		1,24
Σ	-3,76	0,33	4,05	-2,34	-1,26	-2,20	-2,01	5,95	1,24	0,00

Tab.19: Übergangsmatrix UF; blau markierte Zellen deuten auf die für den optimalen scanpath wichtigen Übergänge hin; in der Matrix sind die Differenzen der Übergangswahrscheinlichkeit der Runde 2 zu Runde 3 zu sehen; blau markierte Zellen deuten auf die für den optimalen scanpath wichtigen Übergänge hin

5. Diskussion

In der hier vorgestellten Arbeit wurde der scanpath von erfahrenen und unerfahrenen Probanden untersucht. Insbesondere wurde der Schwerpunkt darauf gelegt, ob innerhalb der einzelnen Probandengruppen Gemeinsamkeiten und/oder Unterschiede in der Betrachtung einer sowohl komplexen als auch dynamischen visuellen Szene bestehen. Weiterhin wurde analysiert, ob es Übereinstimmungen im Vergleich der Probandengruppen gab und ob darüber hinaus ein Lernprozess der unerfahrenen Gruppe zu verifizieren war.

Das verwendete Testverfahren sollte zeigen, ob eine konditionierte Gruppe von Probanden einen scanpath entwickelt hat, der die Durchführung der speziellen visuellen Aufgabe erleichtert. In Anlehnung an diesen optimalen scanpath wurde die unerfahrene Probandengruppe gemessen. Hierbei sollte insbesondere ermittelt werden, ob eine Änderung und Annäherung an den optimalen scanpath durch die wiederholte Darbietung der visuellen Szene zu erkennen war.

Im wesentlichen konnten die Ergebnisse zeigen, dass ein signifikanter Unterschied zwischen dem scanpath der EF und UF besteht, der durch die fixation duration (signifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whithney-U-Test; $p=0,001$) und die relativen Häufigkeit der BB (signifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whithney-U-Test; $p=0,005$) veranschaulicht werden konnte.

Zudem konnte mittels optimaler Zeitfolge und Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeit die Frage nach einem optimalen scanpath der EF beantwortet werden. Einen an die hypothetisch optimalen Blickfolge annähernden scanpath der EF war ebenso klar erkennbar wie die weitestgehende Abweichung der unerfahrenen Fahrer von der optimalen Blickfolge. Ebenfalls gelang der Nachweis mittels Übergangsmatrix, dass die erfahrene Probandengruppe mit 78,85 % Wahrscheinlichkeit die Übergänge zwischen den 4 wichtigen AOI nutzten, um der visuellen Aufgabe gerecht zu werden. Demgegenüber steht die Gruppe der unerfahrenen Fahrer, die diese Übergänge lediglich mit einer Wahrscheinlichkeit von nur 20,76% zu nutzen wussten.

Die Effektivität in der Abarbeitung der visuell-dynamischen Aufgabe der beiden Probandengruppen wurde mit Hilfe des string editing demonstriert. Die Kosten für

die Umwandlung des jeweiligen scanpath zum optimalen scanpath fiel bei den EF im Durchschnitt mit 12,5 Kosten an. Im Vergleich dazu musste bei den UF durchschnittlich Kosten von 50 zur Transformation in die optimale Blickfolge aufgewendet werden.

Ein leichter Lernprozess hinsichtlich des scanpath der UF konnte mit Hilfe der relativen Häufigkeit und der Übergangswahrscheinlichkeit objektiviert werden. Die Fokussierung der 4 wichtigen AOI in der relativen Häufigkeit der BB stieg von Runde 1 zu Runde 3 von 20,78% auf 34,76% an. Mit Hilfe der Übergangsmatrix, bei der die Anzahl der Zellen mit einer Null auf einen erlernten und effizienten scanpath hindeuten, stiegen diese bei den UF von Runde 1 zu Runde 3 um 72,72% an, was auf einen eindeutigen Lernprozess schließen lässt.

5.1 Blickbewegungsdauer

Eines der häufigsten Parameter der Augenbewegung ist die Fixationsdauer, die in vielen Studien dem Umfang der zu verarbeitenden Information entsprechend interpretiert wird. Somit findet fast ausschließlich eine Informationsaufnahme während der Fixation statt und eine Sakkade supprimiert diese fast vollständig (saccadic suppression) (vgl. Chekaluk E, Llewellyn KR, 1994). Demzufolge entspricht die Fixationsdauer annähernd der Dauer der Informationsverarbeitung. In der hier vorliegenden Arbeit wurde die unter anderem von Diamond et al. (2000) postulierte These, dass sich eine Minderung der Informationsaufnahme durch die Initiierung einer neuen Sakkade und der Beendigung der vorhergegangenen Sakkade während der Fixation ergibt, außer acht gelassen.

Unter anderem kann die Fixationsdauer als Maß für die Beanspruchung herangezogen werden. Bei der Interpretation der Fixationsdauer als Beanspruchungsmaß ist auf den jeweiligen Aufgabentyp zu achten. In der hier vorliegenden Arbeit entspricht der Aufgabentyp dem schnellen Reagieren beim Führen eines Fahrzeuges. Eine Studie von Gerathwohl et al. (1978) zeigt, dass die Fixationsdauer bei Erhöhung der Schwierigkeit von Flugführungsaufgaben verkürzt wird. Diese Untersuchungsergebnisse wurden von Unema PJA und Rötting M (1990) beim Autofahren bestätigt.

In der hier vorliegenden Studie betrug bei den erfahrenen Probandengruppe die durchschnittliche Fixationsdauer $0,94 \pm 0,08$ sec/Fixation. Demgegenüber lag diese bei den UF bei $0,79 \pm 0,04$ sec/Fixation. Diese Werte bestätigen die von Unema PJA und Rötting M (1990) postulierte These, dass die Fixationsdauer auf Grund der ungewohnten und schwierigeren Situation für die UF im Verhältnis zu den EF kürzer ausfiel. Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Probandengruppe konnte festgestellt werden (Mann-Whitney-U-Test; $p=0,001$).

Die Operationalisierung der Fixation schließt in dieser Arbeit, wie schon oben aufgeführt, die Folgebewegungen mit ein. Die Fixation Frequency (Senders JW, 1983) wurde in der Studie von Fitts (zitiert nach Senders, 1983) als ein Maß für die relative Wichtigkeit des fixierten Blickobjektes interpretiert.

Um eine Gewichtung der Fixationen pro Zeitintervall darzustellen, wurden die Blickbewegungen pro Sekunde in Klassen unterteilt und eine polynomische Verteilungskurve über das Säulendiagramm gelegt.

Bei den EF war eine Gewichtung bei Klasse 1 mit 25,70 % aller Fixationen zu erkennen (Abgrenzungskriterien der Klassen siehe Tabelle 5). Die UF hatten ein Maximum bei Klasse 3 (25,00 % aller Fixationen). Somit bestätigt sich die Aussage von Fitts, dass die UF eine höhere Fixationsfrequenz aufweisen müssen, um dieselbe Aufgabe, wie die EF zu bewältigen. Diese Feststellung wurde auch in der Studie von Crundall D und Underwood G (1998) postuliert und korreliert mit der oben genannten Aussage zur fixation duration. Jedoch konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen dargestellt werden (Mann-Whitney-U-Test; $p = 0,057$).

5.2 Blickbewegungsstrategie

Der scanpath beschreibt das Aufeinanderfolgen von Fixationen und Sakkaden bis zur Abarbeitung einer visuellen Aufgabe. Die erfahrene Probandengruppe legte ihren Fokus auf die Randsteine des Eingangs, Ausgangs und den beiden Scheitelpunkten des ersten Kurvenabschnittes [(Turn 1) (AOI9 = 6 %, AOI2 = 16,51 %, AOI8 = 47,55 %, AOI5 = 8,79 %)]. Diese 4 Punkte sind bei der Fahrt durch Turn 1 die essenziellen Punkte, um eine optimale Linie für diese Kurve fahren zu können. 78,85 % der Blickbewegungen fielen somit bei den EF auf diese Bereiche.

Bei den UF fielen nur 30,25 % der Blickbewegungen auf die oben aufgeführten area of interest. Hier zeigte sich für den AOI7 mit 24,15 % eine signifikante Erhöhung. Mehrere Studien postulieren, dass wichtigere und informationshaltigere Objekte vergleichsweise häufiger als andere betrachtet werden (z.B. Göbel M, 1999). Diese These bestätigt die erfahrene Probandengruppe und gilt als Orientierungsansatz für den Lernprozess der unerfahrenen Probanden. Wiederum war ein signifikanter Unterschied mit $p=0,001$ wie erwartet zu erkennen.

Der relativen Häufigkeit der Blickbewegung entsprechend, zeigte die optimale Zeitfolge der EF ein hohes Maß an Übereinstimmung mit der hypothetisch optimalen Zeitfolge der Blickbewegung (bezogen auf Turn 1). Insbesondere im Kurveneingang (Bereich A) besaß die Blickfolge der EF beinahe identische Struktur wie die optimale Blickfolge. Die Abweichungen von dieser waren auch im weiteren Kurven-Verlauf (Bereiche B und C) äußerst gering.

Der scanpath der UF wich hingegen von der optimalen Zeitfolge weitgehend ab. Die Abweichungen waren bereits im Bereich A (Kurveneingang) eklatant. In Kurvenmitte/Scheitelpunkt (Bereich B) waren im zunehmenden Maße AOI's feststellbar, die außerhalb des Bereiches optimaler AOI's lagen. Im Bereich C (Kurvenausgang) waren die Abweichungen zur optimalen Blickfolge im Vergleich zu den vorherigen Bereichen geringer, die Abweichungen zu den erfahrenden Fahrern waren jedoch auch in diesem Bereich signifikant.

Die Matrix der Übergangswahrscheinlichkeiten zeigte bei der erfahrene Probandengruppe 54 von 72 Feldern und bei den UF 22 von 72 Feldern den Wert 0 (siehe Tabelle 9 und 10). Studien von Goldberg JH und Kotval XP (1998) und Jakob RJK und Karn KS (2003) beschreiben, dass bei der räumlichen Anordnung von Objekten viele gefüllte Zellen in der Übergangsmatrix auf einen ineffizienten Blickpfad hindeuten. Eine signifikante Erhöhung der Übergangswahrscheinlichkeit war in den Zellen von AOI9, AOI2, AOI8, AOI5 zu AOI3 und in umgekehrter Richtung zu erkennen (vergleiche Tabelle 9, 10 [blau markierte Zellen] und Tabelle 11). Dieses spricht für ein gelerntes Blickbewegungsmuster. Demgegenüber war eine eindeutige Gewichtung in der Übergangsmatrix der UF nicht zu verifizieren, wobei zu erkennen war, dass das AOI „sonstige Blickbewegungen“ mit einer höheren Prozentzahl im Vergleich zu den EF auffällt.

Die bisherigen Analysen lassen eindeutige Rückschlüsse auf das Blickverhalten von erfahrenen und unerfahrenen Fahrern zu, sowie deren teilweise stark ausgeprägten Unterschiede und deuten auf einen optimalen scanpath der EF hin.

Diese Erkenntnisse konnten durch Anwendung des string editing Verfahrens weiter untermauert werden. Dabei wurde der von Levenstein begründete Algorithmus in „einfacher Ausführung“ (= Gleichgewichtung der Grundoperationen) zum Vergleich zweier Zeichenketten herangezogen. Weiterentwickelte und wesentliche komplexere Formen dieses oder verwandter Algorithmen lassen jedoch auch unterschiedliche Gewichtungen der Grundoperationen (Löschen, Einfügen, Ersetzen) zu. Die Verwendung unterschiedlicher Gewichte wurde maßgeblich hinsichtlich Speichereffizienz und Algorithmus-Laufzeit-Optimierung vorange-trieben. Dieses ist aus Rechner-technischen Gründen sinnvoll, jedoch sind die Optimierungsparameter Speicher- und Laufzeiteffizienz für die im Rahmen dieser Arbeit benötigte Analyse irrelevant. Die gleiche Gewichtung der Grundoperationen ist daher sinnvoll und legitim, lassen sich doch so eindeutige Rückschlüsse hinsichtlich des Blickverhalten beider Probandengruppen auf einfache Weise gewinnen.

Im Vergleich zu den UF verzeichnete die Gruppe der EF im Mittel signifikant geringe Kosten, um die Struktur der optimalen Blickfolge identisch zu erfüllen (Kosten sind um den Faktor 4 geringer als bei den unerfahrenen Fahrern). Die erfahrenen Fahrer bildeten hinsichtlich des Blickverhaltens eine homogene Gruppe, deren individuelles Verhalten auch über die verschiedenen Szenen betrachtet geringer Streuung ausgesetzt waren (Innerhalb der Gruppe der EF wiesen die Mittelwerte und Standardabweichung eine geringe Varianz auf). Die anfallenden Kosten zur Transformierung in die optimale Blickfolge unterlagen in der Gruppe der unerfahrenen Fahrer hingegen starken Streuungen. (Vergleiche Tabelle 14). Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppe konnte verifiziert werde (Mann-Whithney-U-Test; $p=0,001$).

Im nächsten Schritt wurde aus jeder der beiden Gruppen (EF/UF) eine Blickfolge (Zeichenkette) nach dem Zufallsprinzip ausgewählt und daraufhin mit allen übrigen verglichen (siehe Tabelle 15). Die Ergebnisse für beide Gruppe zeigen sehr ähnliche Trends wie im Vergleich mit der optimalen Blickfolge: Homogenität der Gruppe erfahrener Fahrer mit geringen Gesamtkosten sowie hohe Gesamtkosten

bei den unerfahrenen Fahrern in Verbindung mit signifikanten Lerngradienten. Die Diskrepanz zwischen erfahrenen und unerfahrenen Fahrern sticht besonders hervor, wenn eine Blickfolge der unerfahrenen Fahrer als Vergleichswert Verwendung findet. In diesem Fall wurden die höchsten Gesamtkosten errechnet (siehe Tabelle 16): die Umbaukosten, um den scanpath des EF in den des UF zu überführen, sind um den Faktor 5,36 höher als bei Transformierung in den optimalen scanpath.

5.3 Lernprozess

Die oben aufgeführten Punkte ergeben eine eindeutige Gewichtung, dass die erfahrene Probandengruppe einen gelernten Blickbewegungspfad anwendet, um die dynamisch visuelle Szene abzuarbeiten. Die Fixationsdauer pro Blickbewegung, die Gewichtung der relativen Häufigkeit auf die wichtigen AOI, die sich auch in der optimalen Zeitfolge bestätigen, die Verteilung der Übergänge in der Matrix der Übergangshäufigkeit sowie die kontinuierliche Kostenreduzierung (bei Anwendung des string editing Verfahren) mit steigender Erfahrung, lassen einen Lernprozess und eine optimale Blickstrategie der EF erkennen. Somit kann der scanpath der erfahrenen Probandengruppe als Ausgangsmaß für den optimalen scanpath angenommen werden. Vor dieser Annahme muss der Vergleich zum scanpath der unerfahrenen Probandengruppe betrachtet werden. Hierbei stellte sich raus, dass die oben beschriebenen Kriterien, die ermittelt wurden, um den optimalen Scanpath zu erarbeiten, von denen der UF abwichen. Im Einzelnen spricht die kürzere Verweildauer pro Fixation, die anders gewichtete Verteilung der AOI bei der relativen Häufigkeit der Blickbewegung, die hohen Abweichung von der optimalen Zeitfolge, die hohen Kostenumbauprozesse und die Erhöhte Anzahl der gefüllten Zellen (Zelleneintrag > 0) in der Übergangsmatrix auf ein orientierenden scanpath.

Im Weiteren soll die Frage des Lernprozesses der UF anhand des erarbeiten optimalen Scanpath differenziert betrachtet werden.

In der relativen Häufigkeit der Blickbewegung kann vor der Annahme des optimalen scanpath der EF ein Lernprozess veranschaulicht werden. Tabelle 17 und Abbildung 16 zeigen die Änderungen der EF und UF pro Runde. Vor dem

Hintergrund, dass die Betrachtung von AOI9, AOI2, AOI8 und AOI5 ausschlaggebend für den optimalen scanpath sind, kann gezeigt werden, dass die UF in Runde 1 mit 20,76% und in Runde 3 mit 34,76% aller Blickbewegungen diese fokussieren.

Die Differenz der Übergangswahrscheinlichkeit der UF von Runde 1 zu Runde 2 zeigt für die AOI des optimalen scanpath eine Steigerung um 12,21% Übergangswahrscheinlichkeit. Die Differenz von Runde 1 zu Runde 3 liegt bei 16,8%.

In der Auswertung des string editing ist ein durchschnittliche Kostenreduzierung des Umbaues des scanpath der UF in den optimalen scanpath von der ersten zur dritten Runde von 18,67 Kosten/Runde zu verzeichnen. Bei den erfahrenen Fahrern verläuft die Lernkurve erwartungsgemäß flach (4 Kosten/Runde).

Die Annäherung der UF an den optimalen scanpath lässt sich mit den oben beschriebenen Ergebnissen gut begründen.

5.4 Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass die erfahrene Probandengruppe einen optimalen scanpath erlernt hat, mit der es möglich ist, der dynamisch visuellen Szene gerecht zu werden. Die unerfahrenen Fahrer dagegen weisen eine große Streubreite innerhalb ihrer Gruppe auf. Jedoch kann auch hier schon ein Lernprozess angedeutet werden.

Auf dieser Grundlage wäre die weiterführende Fragestellung interessant, ob ein schnellerer Lernprozess der UF durch vorherigen Kenntnisstand über den optimalen scanpath zu verzeichnen wäre und ob dieses sich auch in der Zeit (z.B. schnellere Rundenzeit) der Abarbeitung der visuellen Aufgabe widerspiegeln würde.

6. Conclusion

Hintergrund:

Zur Steuerung eines Automobilfahrzeuges werden dem Fahrer verschiedenste Aufgaben abverlangt. Eine Vielzahl an Sinneseindrücken muss verarbeitet werden. Das somatoviszzerale sensorische System, das vestibuläre System, das auditive System und das visuelle System greifen ineinander, um der Aufgabe des Autofahrens gerecht zu werden. Dieses Konstrukt unterliegen einem stetigen Konditionierungsprozess.

Der visuelle Sinneskanal nimmt bei der Bewältigung der Fahraufgabe eine dominierende Rolle ein. Mehrere Studien bestätigen (u.a. Mourant RR, Rockwell TH, 1972), dass die Informationsrate des visuellen Systems beim Autofahren über 90 % aller Sinneseindrücke einnimmt und somit einen prädestinierten Parameter für die Untersuchung der Informationsaufnahme während der Fahrt in einem Automobilfahrzeug darstellt.

In einer experimentellen Studie wollten wir den Einfluss von Blickbewegungsmustern (scanpath) bei der Fahrt auf einer Rennstrecke bei erfahrenen (EF) und unerfahrenen Fahrern (UF) untersuchen. Die Fragestellung sollte beantwortet werden, ob innerhalb der einzelnen Probandengruppen Gemeinsamkeiten und/oder Unterschiede in der Betrachtung einer komplexen und dynamischen visuellen Szene bestand. Weiterhin wurde analysiert, ob es Übereinstimmungen in der Durchmusterung der visuellen Szene im Vergleich der beiden Probandengruppen gab und ob ein Lernprozess der unerfahrenen Gruppe zu verifizieren war.

Probanden, Material und Methoden

In die Studie wurden 8 Probanden eingeschlossen. Die erfahrene Gruppe bestand aus 4 Probanden, die über mindesten 2 Jahre Automobilsportfahrerfahrung verfügten und zudem mit der Teststrecke und Testauto vertraut waren. Die unerfahrene Gruppe (4 Probanden) durfte weder auf einer Rennstrecke, noch mit dem Testauto gefahren sein. Das Probandenkollektiv besaß weder relevante Grunderkrankungen, noch okulären Beeinträchtigungen.

Zur Registrierung der Augen- und Blickbewegungsdaten wurde das Eye tracking System iView X HED der Firma SMI (Teltow; Deutschland) eingesetzt, das auf dem Prinzip der Corneareflexmethode basiert. Bei der Blickachsenmessung wird aus der Beziehung des Corneareflexes und der Pupillenmitte die Blickrichtungsänderung, die durch Größe und Richtung gekennzeichnet ist, berechnet.

Die Augenkamera nimmt den Corneareflex und die Pupillenmitte auf, die ein Videosignal erzeugt. Das Videosignal wird in einem PC umgerechnet und die Koordinaten der Blickachse ermittelt.

Die Szenenkamera nimmt den Bereich auf, in die die Versuchsperson blickt. Die Überlagerung der Bildsequenzen der Szenenkamera mit den berechneten Daten der Augenkamera ergibt eine Videosequenz, in der die Blickrichtungsänderung und Fixierung von Objekten durch ein Fadenkreuz dargestellt wird.

Zur Auswertung wurden von jedem Probanden 3 Runden mit der Software INTERACT (Mangold International GmbH; Arnsdorf; Deutschland) betrachtet. Die möglichen zu fixierenden Objekte auf der Rennstrecke wurden mit der Software codiert, die im Weiteren als area of interests (AOI) bezeichnet werden. Auf dieser Grundlage konnte der dynamisch-visuelle scanpath der beiden Gruppen dargestellt und verglichen werden.

Ergebnisse

Zur Beantwortung der Fragestellung dieser Studie wurde die Auswertung der Daten in die Bereiche Blickbewegungsdauer, Blickbewegungsstrategie und Lernprozess unterteilt. Die Nettozeit der Fixationen wurde aufgrund der hohen Bewegungsfrequenz nicht berücksichtigt. Zudem wurde das Abgrenzungskriterium zu den Sakkaden so definiert, dass die langsamen Folgebewegungen (smooth pursuit) mit als Fixation gewertet wurden.

Blickbewegungsdauer

Die fixation duration (Fixationsdauer pro Fixation) ergab bei den EF $0,94 \pm 0,08$ sec/Fixation und bei den UF $0,79 \pm 0,04$ sec/Fixation. Somit fiel die fixation duration der UF um 15,95 % kürzer aus.

Blickbewegungsstrategie

Der scanpath ist definiert als das Aufeinanderfolgen von Fixationen und Sakkaden bis zur Abarbeitung einer visuellen Teilaufgabe (Rötting M, 2001). Die relative Häufigkeit der Blickbewegungen (BB) stellt die Anzahl der BB pro AOI dar. Sie ergab bei den EF eine hohe Übereinkunft pro AOI. Für die optimale Orientierung und Ideallinie (schnellst möglicher Weg durch eine Kurve) in dem ersten Kurvenabschnitt der Rennstrecke sind 4 AOI hervorzuheben. Die EF betrachteten mit 78,85 % aller BB in Kurvenabschnitt 1 diese 4 AOI, dem gegenüber legten die UF nur mit 20,76 % ihren Fokus auf diese Punkte.

Der relativen Häufigkeit der Blickbewegung entsprechend zeigte die optimale Zeitfolge der EF ein hohes Maß an Übereinstimmung mit der hypothetisch optimalen Zeitfolge der Blickbewegung. Der scanpath der UF wich von der optimalen Zeitfolge weitgehend ab.

Das string editing Verfahren gibt die Kosten für den Umbauprozess eines Vergleichsstrings (hier der scanpath der EF und UF) in einen Referenzstring (hier der optimale scanpath) an (Sankhoff D, Kruskal JB, 1999). Die Kosten für die EF fiel um den Faktor 4 geringer im Verhältnis zu den UF aus.

Zur weiteren Differenzierung des scanpath wurde die Übergangswahrscheinlichkeit der beiden Probandengruppen errechnet. Hierbei wurden die Übergänge der Blickbewegungen von einem AOI in ein anderes AOI gemessen und als prozentualer Anteil der insgesamt beobachteten Übergänge angegeben. Diese Übergänge wurden in eine Matrix eingetragen und konnten Aufschluss über den Blickbewegungspfad geben. Auf einer Studie von Goldberg JH, Kotval XP (1998) basierend, war ein effizienter scanpath der EF zu erkennen. Das Kriterium der Güte des Blickpfades war dabei unter anderem die Anzahl der Zellen mit einer Null in der Übergangsmatrix. In der hier vorliegenden Studie ergab die Matrix bei den EF 54 von 72 Zellen und bei den UF 22 von 72 Zellen eine Null. Die EF hatten in den Übergängen dieser 4 AOI eine Übergangswahrscheinlichkeit im Durchschnitt von $10,51 \pm 2,69$ und die UF von $3,95 \pm 2,40$.

Lernprozess

Der Lernprozess der UF wurde unter anderem ebenfalls mit der Übergangsmatrix überprüft. Im Verlauf der 3 Runden nahm die Anzahl der Zellen mit einer Null bei den UF von 22 auf 38 zu. Dieses ist eine Steigerung im Verhältnis zur ersten Runde um 72,72 %.

Bei der relativen Häufigkeit stieg bei den UF die Betrachtung der 4 wichtigen AOI mit 20,76% von Runde 1 auf 34,76% in Runde 3 an.

Die Ergebnisse zeigten einen unterschiedlichen scanpath der beiden Probandengruppen. Innerhalb der erfahrenen Gruppe konnte ein hohes Maß an Übereinstimmung in der Abfolge des scanpath bestätigt werden und spricht somit für eine optimale Blickstrategie. Zudem konnte innerhalb der 3 ausgewerteten Runden ein Lernprozess der UF verzeichnet werden.

Schlussfolgerung

Auf dieser Grundlage wäre die weiterführende Fragestellung interessant, ob ein schnellerer Lernprozess der UF durch das vorherige Wissen über den optimalen Scanpath zu verzeichnen wäre und ob dieses sich auch in der Zeit der Abarbeitung der visuellen Aufgabe widerspiegeln würde.

7. Literaturverzeichnis

- Bellenkes, A.H.; Wickens, C.D.; Kramer, A.F. (1997).** Visual Scanning and Pilot Expertise: The Role of Attentional Flexibility and Mental Model Development. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. Vol. 68, No 7, July 1997
- Bender, R.; Lange, S.; Ziegler, A. (2002).** Multiples Testen. *Dtsch med Wochenschr*;T4-T7
- Boff, K.R.; Lincoln, J.E. (1988).** Engineering data compendium – Human perception and performance. Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson Airforce Base, Ohio
- Broadbent, D.E. (1958).** Perception and Communication. Oxford: Pergamon Press
- Bruce, V.; Green, P.R. (1990).** Visual perception – Physiology, psychology and ecology. 2 nd Edition. Hove: Lawrence Erlbaum
- Chekaluk, E.; Llewellyn, K.R. (1994).** Masking effects in saccadic eye movement. In G. d'Ydewall & J. Van Rensbergen (Eds.). *Visual and Oculomotor Functions – Advances in Eye Movement Research* (45 - 54). Amsterdam: Elsevier
- Crundall, D.; Underwood, G. (1998).** Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers, *Ergonomics*, 41, 448 – 458
- Diamond, M. R.; Ross, J.; Morrone, M. C. (2000).** Extraretinal control of saccadic suppression. *Journal of Neuroscience*, 20(9), 3449-3455
- Deubel, H.; Schneider, W. X.; Bridgeman, B. (1994).** Stimulus blanking diminishes saccadic suppression of image displacement. *Investigative Ophthalmology & Visual Science (Suppl.)*, 35, 2033
- Ditchburn, R. W.; Ginsborg, B.L. (1953).** Vision with a stabilized image. *Nature* 170:36-37
- dtv Atlas, Anatomie, Band 3 (2000).** Nervensystem und Sinnesorgane; Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- Egly, R.; Homa, D. (1984).** Sensitization of the visual field. *J. Exp. Psychol.Hum. Percept. Perform.* Vol. 10, No 6, 778-793

- Ellis, S.R.; Smith, J.D. (1985).** Patterns of statistical dependency in visual scanning. In R. Groner, G.W. McConkie & C. Menz (eds.). Eye movements and human information processing. Amsterdam: Elsevier
- Falkmer, T.; Gregersen, N.P. (2005).** A Comparison of Eye Movement Behavior of Inexperienced and Experienced Driver in Real Traffic Environments. *Optometry and vision science* Vol 82, No. 8, 732-739
- Frith, C. (2001).** A framework for studying the neural basis of attention. *Neuropsychologia* Vol. 39, No. 12, 1367-1371
- Galley, N. (1989).** Saccadic eye movement velocity as an indicator of (de)activation. A review and some speculations. *Journal of Psychophysiology*, Vol. 3, 229-244
- Galley, N. (2001).** Physiologische Grundlagen und Meßmethoden der okulomotorischen Aktivität. In F. Rösler (Hrsg.), *Grundlagen und Methoden der Psychophysiology. Enzyklopädie der Psychologie, Serie Biologische Psychologie. Band 4.* Göttingen: Hogrefe
- Gerathwohl, S.J.; Brown, E.L.; Burke, J.E.; Kimball, K.A.; Lowe, W.F.; Strackhouse, S.P. (1978).** Inflight measurement of pilot workload: A panel discussion. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 49, 810-822
- Gippenreiter, J.B. (1978).** *Dvizhenija chelovecheskogo glaza.* Moscow: Moscow University Press
- Göbel, M. (1999).** Blickbewegungsregistrierung bei der Gestaltung von Fahrerarbeitsplätzen des ÖPNV. In M. Rötting & K. Seifert (Hrsg.). *Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systematik* (118 - 132). Sinzheim: Pro Universitate Verlag
- Goldberg J.H.; Kotval, X.P. (1998).** Eye movement-based evaluation of computer interface. In S.K. Kumar (ed.). *Advances in Occupational Ergonomics and Safety* (529 - 532). Amsterdam: IOS Press
- Grehn, F. (2002).** *Augenheilkunde*, Springer, (28. Auflage)
- Helmholtz, H. von (1910).** *Handbuch der Physiologischen Optik. Dritter Band, Die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen.* 3. Aufl. Hamburg & Leipzig: Voss

- Hoffmann, K.-P.; Wehrhahn, C. (1996).** Zentrale Sehsysteme. In: J. Dudel, R. Menzel & R.F. Schmidt (Hrsg.). Neurowissenschaften. Berlin: Springer
- Jacob, R. J. K.; Karn, K. S. (2003).** Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Ready to Deliver the Promises. In Hyönä, J., Radach, R., & Deubel, H. (Eds.). The mind's eye: cognitive and applied aspects of eye movement research. Amsterdam: Elsevier
- James, W. (1890).** The Principles of Psychology. Cambridge: Harvard University Press
- Johnston, C. W. (1988).** Eye movements in visual hemi-neglect. In: Neuropsychology of eye movements. C. W. Johnston & F. J. Pirozollo (Eds.). Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale: 235-263
- Josephson, S.; Holmes, M.E. (2006).** „Clutter or content? How on-screen enhancements affects how TV viewers scan and what learn,” in Proc. Symposium on Eye Tracking Research & Applications (ETRA), pp. 155-162
- Just, M. A.; Carpenter, P. A. (1976).** Eye fixations and cognitive processes. Cognitive Psychology, 8 (4), S. 441-480
- Kanwisher N.; Wojciulik E. (2000).** Visual attention: insights from brain imaging. Nat. Rev. Neurosci. 1: 91-100
- Kastner, S.; L. G. Ungerleider. (2001).** The neural basis of biased competition in human visual cortex. Neuropsychologia, Vol. 39: 1263-1276
- Kolb, B.; Wishaw, I. Q. (1993).** Neuropsychologie. Spektrum Akad. Verlag. Heidelberg
- Kornhuber, H.H. (1978).** Blickmotorik. In G. Baumgartner, H. Bornschein, R. Hanitzsch, R. Jung, H.H. Kornhuber, I. Rentschler, H. Schober & U. Thoben. Sehen – Sinnesphysiologie III (357 – 426). München: Urban & Schwarzenberg
- Leigh, R. J.; D. S. Zee. (1991).** The neurology of eye movements. F.A. Davis Company: Philadelphia (Ed.2nd)

- Menz, C.; Groner, R. (1986).** Blickpfade bei der Bildbetrachtung. In L.J. Issing, H.D. Mickasch & J. Hack (Hrsg.), Blickbewegung und Bildverarbeitung (11 – 36). Frankfurt am Main, Bern & New York; Peter Lang
- Mourant, R.R.; Rockwell, T.H. (1972).** Strategies of visual search by novice and experienced drivers. Hum Factors; Vol. 14: 325-35
- Mühlendyck, M.; Rüssmann, W. (1990).** Augenbewegung und visuelle Wahrnehmung; Band 121; Enke
- Poek, K.; Hacke, W. (2006).** Neurologie 12., aktualisierte Auflage, Seite 7-25
- Roscher, F., (2004).** Auswertung und Analyse von Messdaten aus Nachtfahrversuchen zur Untersuchung von Einflüssen Dritter auf die Fahrzeugführung; Berlin
- Rötting, M. (1999).** Typen und Parameter von Augenbewegungen. In M. Rötting & K. Seifert (Hrsg.). Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik (1-18). Sinzheim: Pro Universitate Verlag
- Rötting, M. (2001).** Parametersystematik der Augen –und Blickbewegung für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen. Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaften der RWTH Aachen; Schriftreihe Rationalisierung und Humanisierung, Bd. 34; Aachen: Shaker
- Sankhoff, D.; Kruskal, J.B. (1999).** Time Warps, String Edits, and Macromolecules: The Theory and Practice of Sequence Comparison, CSLI Publications
- Schandry, R. (1989).** Lehrbuch Psychophysiologie – Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens. 2. Auflage. München & Weinheim: Psychologie Verlags Union
- Schmidt, R.F.; Schaibel, H.G. (2001).** Neuro- Sinnesphysiologie. Berlin: Springer Verlag
- Schmidt, R.F.; Thews G. (2000).** Physiologie des Menschen. 27. Auflage, Springer- Verlag
- Senders, J.W. (1983).** Visual Scanning Processes. Tilburg, NL: Tilburg University Press

- Stark, L.W.; Choi, Y.S.; Yu, Y. (1996).** "Visual imagery and virtual reality: New evidence supporting the scanpath theory explains the illusion of completeness and clarity," *Visual Science: Papers in Honor of J. Enoch*
- Tischendorf, F. W.; Meyer C. H.; Spraul C. W. (2004).** *Auge und Innere Medizin: Okuläre Veränderungen bei systemischen Erkrankungen*, Kapitel 4. Gefäß- und Herzkrankheit: 91-109
- Unema, P.J.A. (1995).** *Eye movements and mental effort*. Aachen: Verlag Shaker
- Unema, P.J.A.; Rötting, M. (1990).** Differences in Eye Movements and Mental Workload between Experienced and Inexperienced Drivers. In D. Brogan (Ed.). *Visual Search* (S. 193-202). London: Taylor & Francis.
- Velichkovsky, B.M.; Sprenger, A.; Unema, P.J.A. (1997).** Towards gaze-mediated interaction: Collecting solutions of the "Midas Touch Problem". In S. Howard, J. Hammond & G. Lindgaard (Eds.), *Human-Computer Interaction: INTERACT'97* (Sydney, July 14-19th), Chapman & Hall, London
- Wolf, R.; Wolf, D. (1990).** Vom Sehen zur Wahrnehmung: Aus Illusionen entsteht ein Bild. In A. Maelicke (Hrsg.), *Vom Reiz der Sinne*. Weinheim: VCH

8. Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Anatomie des Auges (Schmidt RF, Schaibel HG, 2001).....	8
Abb.2: Aufbau der Primatennetzhaut (Schmidt RF, 1997).....	8
Abb.3: Schema der Sehbahnen im Gehirn des Menschen (Thews et al.; 1999)....	9
Abb.4: schematische Darstellung der an der Generierung sakkadischer Augenbewegungen beteiligten zentralvenösen Strukturen (Darstellung nach Deubel, 1994 [MT = mittleres temporales Areal, MST = mittleres oberes temporales Areal, SN = Substantia nigra pars reticularis, NC = Nucleus caudatus])	10
Abb.5: Testfahrzeug	21
Abb.6: Gesamtübersicht Versuchsaufbau (der Innenraum des Versuchsfahrzeugs mit der Messvorrichtung).....	22
Abb.7: Aufbau iView X HED (a = Halterung des Eye tracking system am Helm; b = Transparenter Spiegel, der das infrarote Licht auf die Cornea umlenkt; c = Infrarote Lichtquelle, die den Cornealreflex erzeugt; d = Augenkammer, die die Augenbewegungen aufzeichnet; e = Szenenkamera, die den Bereich aufnimmt in den der Fahrer blickt)	23
Abb.8: Szenenkamera mit der Darstellung des Fadenkreuzes, der Ausschnitt zeigt Turn 4 am Kurveneingang	24
Abb.9: Kalibrierung und Genauigkeitskontrolle des iView X HED	25
Abb.10: Eye tracking Software (Augenkamera mit Fadenkreuz im Pupillenmittelpunkt und Cornealreflex; Szenenbild mit Fadenkreuz; graphische Darstellung der Augenbewegungsparameter).....	26
Abb.11: Rennstrecke Oschersleben, Einteilung der AOI mit Hilfe der Auswertungssoftware	26
Abb.12: Absolute Häufigkeit der Blickbewegungen/sec von EF (Szene 2 + 3); Mittelwert und Standardabweichung	31
Abb.13: Absolute Häufigkeit der Blickbewegungen/sec von UF (Szene 2 + 3); Mittelwert und Standardabweichung	31
Abb.14: Relative Häufigkeit der BB in Turn 1 (Durchschnitt Szene 1-3/Turn1); Mittelwert und Standardabweichung (hochsignifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test; p = 0,001)	33

Abb.15: optimale Zeitfolge der BB (E = AOI; rote Punkte = die zum jeweiligen Zeitpunkt t von den EF fixierten AOI; violette Punkte = fixierte AOI der UF; roter Graph = hypothetisch optimale Blickfolge; schwarz gestrichelter Graph = EF; blau gestrichelter Graph = UF)..... 35

Abb.16: Relative Häufigkeit (Mittelwert) der BB in Turn 1 (Szene 1-3); hochsignifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test; $p = 0,001$) 43

9. Tabellenverzeichnis

Tab.1: Funktionelle Klassen der Augenbewegungen (Leigh RJ, Zee DS, 1991)..	13
Tab.2: Hauptkategorien verschiedener Parameter bei Blickbewegungsmessung (nach Johnston CW, 1988).....	15
Tab.3: Patientenevaluation	20
Tab.4: mittlere Dauer pro Blickbewegungen aller Runden (Signifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann – Whithney – U-Test; $p = 0,001$)	30
Tab.5: Einteilung der Anzahl an BB/sec in Klassen 1 – 9.....	30
Tab.6: Absolute Häufigkeit der BB/sec und Standardabweichung (Szene 2 + 3); Stabw. = Standardabweichung (kein signifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann – Whithney – U-Test; $p = 0,057$)	31
Tab.7: Relative Häufigkeit der BB in Turn 1; Mittelwert und Standardabweichung (Durchschnitt Szene 1-3/ Turn1 /EF = erfahrene Fahrer /UF = unerfahrene Fahrer / Stabw. = Standardabweichung; hochsignifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann- Whithney–U-Test; $p = 0,001$)	33
Tab.8: Optimale Zeitfolge (t_1 - t_8) und dazugehörige Kurvenbereiche (unter AOI 3 wurden rechter, mittlerer und linker Teil der Strecke unter „gesamter Bereich Strecke“ zusammengefasst).....	34
Tab.9: Übergangsmatrix EF (Mittelwert der Szene 1-3); blau markierte Zellen deuten auf die für den optimalen scanpath wichtigen Übergänge hin.....	36
Tab.10: Übergangsmatrix UF (Mittelwert der Szene 1-3); blau markierte Zellen deuten auf die für den optimalen scanpath wichtigen Übergänge hin.....	36
Tab.11: Einteilung der AOI mit Beschreibung für die Übergangsmatrix (AOI = area of interest)	37
Tab.12: Optimale Blickfolge – empirische und subjektive Annahme; Zeichenketten-Position = Durchnummerierung der optimalen Blickfolge; AOI = zu den Zeichenkette-Postion zugehörige area of interest; Beschreibung der AOI siehe Tabelle 11.....	38
Tab.13: Ausgangsmatrix exemplarisch dargestellt; in der zweiten Reihe ist der Vergleichsstring aufgeführt, der mit dem in der zweiten Spalte stehendem Referenzstring verglichen werden soll	39

Tab.14: Vergleich der Kosten der erfahrenen Fahrer (EF, links) und unerfahrenen Fahrer (UF, rechts) zum optimalen scanpath; „Anzahl der Operationen“ = Umbauprozesse des aktuellen string zum Referenzstring (optimaler string); MW = Mittelwert; Stdw. = Standardabweichung; hochsignifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test; $p = 0,001$)	40
Tab.15: Vergleich der Kosten der EF (links) und UF (rechts) zum Vergleichsstring EF; „Anzahl der Operationen“ = Umbauprozesse des aktuellen string zum Referenzstring (optimaler string) + MW = Mittelwert und Stdw = Standardabweichung; hochsignifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test; $p = 0,001$)	41
Tab.16: Vergleich der Kosten der EF (links) und UF (rechts) zum Vergleichsstring UF; „Anzahl der Operationen“ = Umbauprozesse des aktuellen string zum Referenzstring (optimaler string) + MW = Mittelwert und Stdw. = Standardabweichung; signifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test; $p = 0,001$)	41
Tab.17: Relative Häufigkeit der BB in Turn 1 (Szene 1-3 / Turn1); hochsignifikanter Unterschied im statistischen Vergleich der beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test; $p = 0,005$)	42
Tab.18: Übergangsmatrix UF; in der Matrix sind die Differenzen der Übergangswahrscheinlichkeit der Runde 2 zu Runde 1 zu sehen; blau markierte Zellen deuten auf die für den optimalen scanpath wichtigen Übergänge hin.....	43
Tab.19: Übergangsmatrix UF; blau markierte Zellen deuten auf die für den optimalen scanpath wichtigen Übergänge hin; in der Matrix sind die Differenzen der Übergangswahrscheinlichkeit der Runde 2 zu Runde 3 zu sehen; blau markierte Zellen deuten auf die für den optimalen scanpath wichtigen Übergänge hin.....	44

10. Abkürzungsverzeichnis

AOI	=	area of interest
BB	=	Blickbewegung
Dpt	=	Dioptrien
EF	=	Erfahrene Fahrer
FEF	=	frontal eye field
LGN	=	Corpus geniculatum laterale
MST	=	Mittleres oberes temporales Areal
MT	=	Mittleres temporales Areal
NC	=	Nucleus caudatus
NOT	=	Kern des optischen Traktes
OKN	=	Optokinetischer Nystagmus
PT	=	Area praetectalis
SC	=	Superiorer colliculus
SN	=	Substantia nigra pars reticularis
UF	=	Unerfahrene Fahrer

11. Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei Herrn Dr. med. Rüdiger Schwartz bedanken. Ohne seine klare Strukturierung des Themas und stete Hilfsbereitschaft bei allen Problemen und Fragen wäre diese Studie nicht möglich gewesen. Die durchgehend enge und kollegiale Zusammenarbeit und gute Betreuung hat maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. med. Gisbert Richard, dem Leiter der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, für die Möglichkeit, diese Arbeit mit seiner Unterstützung durchführen zu können.

Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Prof. Dr. med. W. H. Zangemeister, ärztlicher Leiter der Poliklinik für Neurologie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, für die umfangreiche Unterstützung, der Hilfestellung bei der Analyse der Daten und der Vervollständigung dieser Arbeit.

Besonders möchte ich auch Herrn Kris Nissen, Direktor der Motorsportabteilung von Volkswagen und seinem Team danken, die mich in großem Umfang bei dem Aufbau des Testfahrzeugs und dem Ablauf der Versuche maßgeblich unterstützt haben.

Der Forschungsabteilung von Volkswagen möchte ich ebenfalls für die umfangreiche Unterstützung danken.

Herrn Dr. -Ing. Arnd Rose möchte für die Hilfe bei der Planung, Durchführung und bei der Analyse der Daten einen großen Dank aussprechen.

Ein ganz besonderes Dankeschön möchte ich Herrn Diplom-Ingenieur Jörn Becker aussprechen, der mir von Beginn bis zum Ende der Arbeit zur Seite stand und maßgeblich an der Fertigstellung dieser Arbeit beteiligt ist.

Den Probanden, die sich für diese Studie zur Verfügung gestellt haben, möchte ich ebenfalls danken.

Mein größtes Dankeschön möchte ich an meine Eltern und an meine beiden Schwestern richten, die mich die langen Jahre meines Studiums mit all ihrer Kraft unterstützt haben und ohne die diese Arbeit niemals hätte entstehen können.

12. Lebenslauf

	<u>Persönliche Daten</u>
Name	Benedikt gr. Darrelmann
Anschrift	Abendrothsweg 26 20251 Hamburg
Telefon	040 - 87 87 42 55
e-mail	b.gr.darrelmann@gmx.de
Geburtstag	06. März 1982
Geburtsort	Cloppenburg
Staatsangehörigkeit	Deutsch
Familienstand	Ledig
Konfession	Römisch - Katholisch
Eltern	Dr. med. Wolfgang gr. Darrelmann Michaela gr. Darrelmann, geb. Hatzmann
	<u>Schulbildung</u>
1988 – 1992	Grundschule St. Andreas, Cloppenburg
1992 – 1994	Orientierungsstufe Don-Bosco, Cloppenburg
1994 – 1998	Clemens-August-Gymnasium, Cloppenburg
1998 – 2001	Technisches Gymnasium, Cloppenburg
Mai 2001	allgemeine Hochschulreife
	<u>Zivildienst</u>
07/2001 - 06/2002	St. Josefs-Hospital Cloppenburg
	<u>Studium</u>
01.10.2002	Studium der Humanmedizin an der Universität Hamburg, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
06.08.2004	Ärztliche Vorprüfung
21.10.2008	Ärztliche Prüfung
	<u>Famulatur</u>
07/2005 - 08/2005	Abteilung für Innere Medizin, Allgemeines Krankenhaus St. Georg Leitung: Prof. Dr. med. Hanauske
07/2006 - 08/2006	Abteilung für Orthopädie, Allgemeines Krankenhaus der Stadt Wien Leitung: Prof. Dr. med. Kotz
08/2006 - 09/2006	Abteilung für Unfallchirurgie, St. - Josefs - Stift, Cloppenburg Leitung: PD. Dr. med. Olivier

04/2007 - 05/2007

Ophthalmologische Praxis, Dr. med. W. gr. Darrelmann,
Cloppenburg

Praktisches Jahr

08/2007 - 12/2007

Abteilung für Chirurgie, Israelitisches Krankenhaus, Hamburg
Leitung: Prof. Dr. med. Zornig

12/2007 - 02/2008

Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde, Univeritätsklinikum
Hamburg-Eppendorf Leitung: Prof. Dr. med. Richard

02/2008 - 04/2008

Moorfields Eye Hospital, London

Leitung: Sir Boyd-Carpenter

04/2008 - 06/2008

Abteilung für Innere Medizin, Allgemeines Krankenhaus St. Georg
Leitung: Prof. Dr. med. Hanauske

Dissertation

Thema

„Untersuchung zum optimalen Blickbewegungsmuster im
Automobilsport und der Transfermöglichkeit auf ungeübte Fahrer“
(Leiter Prof. Dr. med. G. Richard / Betreuer Dr. med. R. Schwartz;
Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum
Hamburg-Eppendorf)

Sonstiges

Motorsportliche Laufbahn

1996 - 1999

Kartport (u.a. Norddeutscher Vizemeister in der Pop-Kart-
Meisterschaft)

2000 - 2002

Automobilsport (u.a. Vizemeister des BMW ADAC Formel Junior
Cups)

2001 - 2004

Co - Instruktor für die Sichtungungen der Formel BMW Deutschland

2004 - 2008

Chef - Instruktor des ADAC Volkswagen Polo Cups; Leitung,
Organisation und Betreuung

Weitere Qualifikationen

Englischkenntnisse

Microsoft Office XP Kenntnisse

Hamburg, 02.03.2009

13. Anhang

13.1 Risiko- und Haftungsausschluss

Risiko- / Haftungsausschluss

_____ (nachfolgend Proband genannt)
(Vor- und Zuname)

geboren _____, nimmt am _____
(Geburtsdatum) (Datum)

an einer Fahraktion der Volkswagen Motorsport GmbH (nachfolgend Volkswagen genannt) teil.

Der Proband anerkennt ausdrücklich, ausschließlich auf eigenes Risiko und im Bewusstsein zu fahren, dass es bei den von Volkswagen und den Teams eingesetzten Fahrzeugen um Hochleistungsrennwagen und den damit verbundenen Gefahren handelt.

Der Proband entbindet Volkswagen, die Teams und deren Mitarbeiter und sonstige Verrichtungs- und Erfüllungsgehilfen, ausdrücklich von jeglicher Haftung für Körper- und Vermögensschäden, soweit gesetzlich zulässig. Für sonstige, im Zusammenhang mit der Veranstaltung entstehenden Schäden ist die Haftung auf Vorsatz und grobe Fahrlässigkeit beschränkt.

Der Proband bestätigt, in jeder Hinsicht gesundheitlich fit und fahrtauglich für eine solche Mitfahraktion zu sein.

_____ (Ort) _____ (Datum)

(Unterschrift Proband)

13.2 Fragebogen

Personendaten, Fahrversuch

A) Angaben zur Versuchsperson

1. Versuchsnummer: VP 001

2. Nachname: _____

3. Vorname: _____

4. Geschlecht: m w

5. Alter: _____ Jahre

6. Größe: _____ cm

7. Gewicht: _____ kg

8. Brille, Kontaktlinsen: Ja Nein

9. Fahrerlaubnis: _____ Jahre
(in Jahren)

10. Fahrleistungen/Jahr:

0	-	1000
1000	-	10.000
10.000	-	20.000
30.000	-	50.000
50.000	-	70.000
70.000	-	100.000
	>	100.000

11. Fahrleistung seit Erhalten des Führerscheins:

0	-	10.000
10.000	-	30.000
30.000	-	50.000
50.000	-	100.000
100.000	-	200.000
200.000	-	500.000
	>	500.000

12. Fahrerlizenz: Ja Nein
seit wann: 19____

13. Benutzte Fahrzeuge:
(in diesem Jahr) _____

Seite 1

14. Unfälle:

a) Unfallart: _____
(z.B. Auffahrunfall, Unfall mit Person, usw.)

b) Eigenverschulden: Ja Nein

c) Überhöhte Geschwindigkeit: Ja Nein

d) weitere Angaben:

15. Fahrweise:

- a) vorsichtige
- b) sportliche
- c) aggressiv
- d) schnell

16. Im Vergleich zu anderen Fahrzeugführern würde ich mich als einen

sehr erfahrenen

sehr unerfahrenen

Autofahrer einschätzen.

17. Ich fühle mich momentan...

ruhig
erholt
sicher
gesund

gestresst
müde
unsicher
krank

Seite 2

13.3 Einteilung und Auswertung der Video Daten mit Interact

Zur Auswertung stehende Kurven sind:

- Turn 1
- Turn 4
- Turn 6

Programm Interact:

Eingeteilt wird in Szene, Take, Event:

Szene: eine Runde

Take: Turn 1,4,6

Event: die jeweiligen zu beobachten Aufgaben der Fahrer

Kategorie legt fest, welche Aufgabe in analysiert wird, d.h. Blickrichtung, Position des Takes

Definierte Konstellation der Einteilung für die Doktorarbeit:

(gilt für alle Auswertungen)

Szene 1: Runde 2

Take: Turn 1 (Ende Brücke links in der Ecke -> Ende Randstein links Teil 2)

Event: Rechter Außenrand/Einlenkp.(Teil 1)

Event: Links Randstein/Scheitelp. (Teil 1)

Event: Rechts Innenrandstein/Scheitelp.(Teil 2)

Event: Links Außenrandstein/Auslenkp. (Teil 2)

Event: linke 1/3 Strecke

Event: rechte 1/3 Strecke

Event: mittlere Teil Strecke

Event: Sakkaden ((rechts Innenrandstein) Teil 2)

Event: Eingang (Teil 1) Beginn bis Einlenkpunkt (Ende Querstraße)

Event: Scheitelpunkt (Teil 1) Einlenkpunkt bis Pylone links

Event: Scheitelpunkt (Teil 2) Pylone bis Übergang zu grünen Kurbs

Event: Ausgang (Teil 2) Übergang grüne Kurbs bis Ende

Event: Sonstiges

Kategorie: Blickbewegung

Kategorie: Unterteilung Turn 1

Take: Turn 4(weiße Linie -> Ende Randstein weiß rechts)

Event: links weiße Linie/Einlenkp. (Teil 1)

Event: rechts Randstein /Scheitelp. (Teil 1)

Event: rechts Querstraße (Teil 1)

Event: links Randstein/Scheitelp. (Teil 2)

Event: rechts Randstein/Auslenkp. (Teil 2)

Event: linke 1/3 Strecke

Event: rechte 1/3 Strecke

Event: mittlere Teil Strecke

Event: Eingang (Teil 1) Beginn bis Einlenkpunkt (Anfang Querstraße)

Event: Scheitelpunkt (Teil 1) Einlenkpunkt bis Pylone rechts (Teil 1)

Event: Ausgang (Teil 1) Pylone bis Anfang Querstraße rechts (Teil 1)

Event: Scheitelp. (Teil 2) Mitte Querstr. re. bis Randst. Ende (Teil 2)

Event: Ausgang (Teil 2) Randstein Ende (Teil 2) bis Ende

Event: Sonstiges

Kategorie: Blickbewegung

Kategorie: Unterteilung Turn 1

Take: Turn 6(Eingang Boxengasse links -> Ende Randstein links)

Event: links weiße Linie/Einlenkp.

Event: rechts Randstein/Scheitelp.

Event: links Randstein /Auslenkp.

Event: linke 1/3 Strecke

Event: rechte 1/3 Strecke

Event: mittlere Teil Strecke

Event: Eingang Beginn bis Einlenkpunkt (Ende weiße Beschriftung)

Event: Scheitelpunkt Einlenkpunkt bis Pylone rechts

Event: Ausgang Pylone rechts bis Ende

Event: Sonstiges

Kategorie: Blickbewegung

Kategorie: Unterteilung Turn 1

13.4 C++ Source Code – String editing Verfahren

1. Header Datei (stringediting.h)

```
//string-editing - Deklaration
//med. Doktorarbeit B. gr. Darrelmann

#ifdef !defined(StringEditing_H)
#define StringEditing_H

class stringEditing
{
public:
    // Hauptfunktion für das string editing
    int StringEditingFkt (const char *s,const char *t);

private:
    // Matrix-Operationen
    int Minimum (int a, int b, int c);
    int *ZeigerAufZelle (int *pOrigin, int col, int row, int
nCols);
    int Eintrag (int *pOrigin, int col, int row, int nCols);
    void Einfuegen (int *pOrigin, int col, int row, int nCols,
int x);
};

#endif

//Ende der Header-Datei
```

2. Cpp-Datei (stringediting.cpp)

```
// string editing - Definition
// med. Doktorarbeit B. gr. Darrelmann

#include "stringEditing.h"
#include <string.h>
#include <malloc.h>
#include <iostream>
#include <fstream>
using std::cout;
using namespace std;

//*****
// Minimum-Berechnung
//*****

int stringEditing::Minimum (int a, int b, int c)
{
int min;
int flag_1=0; // Flag für Löschen
int flag_2=0; // Flag für Ersetzen
int flag_3=0; // Flag für Einfügen
int l=0; // Zähler für Löschen
int k=0; // Zähler für Ersetzen
int h=0; // Zähler für Einfügen

min = a;
flag_1=l++;

if (b < min) {
min = b;
flag_2=k++;
flag_1=l--;
}

if (c < min) {
min = c;
flag_3=h++;
flag_1=l--;
}

//cout >> flag_3;
ofstream o ("test_min.txt");
```

```
o<<"t"<<flag_3<<endl;

return min;
}

//*****
// Zeiger auf Matrix-Zelle
//*****

int *stringEditing::ZeigerAufZelle (int *pOrigin, int
col, int row, int nCols)
{
return pOrigin + col + (row * (nCols + 1));
}
//ZeigerAufZelle()

//*****
// Ausgabe des Inhalts, auf dem der Zeiger zeigt
//*****

int stringEditing::Eintrag (int *pOrigin, int col, int
row, int nCols)
{
int *pZelle;

pZelle = ZeigerAufZelle (pOrigin, col, row, nCols);
return *pZelle;
}
//Eintrag()

//*****
// füge den Wert x der speziellen Matrix zu
//*****

void stringEditing::Einfuegen (int *pOrigin, int col,
int row, int nCols, int x)
{
int *pZelle;

pZelle = ZeigerAufZelle (pOrigin, col, row, nCols);
*pZelle = x;
}
//Einfuegen()

//*****
// eigentliche Berechnung startet hier ...
//*****

int stringEditing::StringEditingFkt (const char
*s,const char *t)
{
int *d; // Zeiger auf Matrix
int n; // Länge des Strings s
int m; // Länge des Strings t
int i; // Iterationszähler für s
int j; // Iterationszähler für t
char s_i; //Platzhalter für string 1
char t_j; //Platzhalter für string 2
int kosten; // Kosten
int ergebnis; // Ergebnis (Rückgabewert der StringEditing
Funktion)
int zelle; // Zell-Inhalt
int oben; // Zell-Inhalt der benachbarten Zelle (oberhalb)
zur aktuellen
int links; // links davon
int diag; // diagonale Zelle
int groesse; // Anzahl der Zellen
```

```

// 1. Schritt

// Berechnung der String-Längen
// Rückgabe als Integer
n = strlen (s);
m = strlen (t);

if (n == 0) {
    return m;
}
if (m == 0) {
    return n;
}
// Berechnung der Anzahl der Zellen und Konstruktion
der Ausgangsmatrix
groesse = (n+1) * (m+1) * sizeof (int);
d = (int *) malloc (groesse);

// 2. Schritt
// Initialisierung der ersten Zeile und Spalte
for (i = 0; i <= n; i++) {
    Einfuegen (d, i, 0, n, i);
}

for (j = 0; j <= m; j++) {
    Einfuegen (d, 0, j, n, j);
}

// 3. Schritt
// Untersuche jeden Eintrag von s
for (i = 1; i <= n; i++) {

    s_i = s[i-1];

// 4. Schritt
// untersuche jeden Eintrag von t
for (j = 1; j <= m; j++) {

    t_j = t[j-1];

// 5. Schritt
// Kosten sind null, wenn beide strings gleich sind
if (s_i == t_j) {
    kosten = 0;
}
else {
    kosten = 1;
}

// 6. Schritt
// set Matrix d[i,j] gleich dem Minimum von:
// a. Der Zelle unmittelbar oberhalb plus 1;
// b. Der Zelle unmittelbar links plus 1
// c. Der Zelle diagonal oberhalb und links
plus Kosten
oben = Eintrag (d,i-1,j, n); //Einfügen
links = Eintrag (d,i, j-1, n); //Löschen
diag = Eintrag (d, i-1,j-1, n); //Ersetzen
zelle = Minimum (oben + 1, links + 1, diag + kosten);
Einfuegen (d, i, j, n, zelle);

// Ausgabe
ofstream o ("test_interim.txt");
o<<"t"<< s[i] << endl;
o<<"t"<< t[j] << endl;
}
}
}

```

```

// 7. Schritt Iteration beendet und Ergebnis Rückgabe
ergebnis = Eintrag (d, n, m, n);
free (d); //Speicher-Freigabe
return ergebnis;
}

```

3. Hauptfunktion (main.cpp)

```

// string editing Verfahren im Rahmen der med.
//Doktorarbeit von B.gr. Darrelmann

```

```

#pragma warning(disable:4786)
#include "stringEditing.h"
#include <iostream>
#include <string>
#include <fstream>
using std::cout;
using std::cin;
using std::endl;
using namespace std;

```

```

// Hauptmenu

```

```

int main() {

```

```

//Variablen-Deklaration
std::string string1, string2;
std::string name;
int kostenfaktor;
int anzahlVergleiche;

```

```

//Bildschirm-Ausgabe
cout.width(5);
cout <<"*****" <<endl;
cout<<" Promotion Benedikt - string editing -" <<endl;
cout <<"*****" <<endl;
cout << "\nBitte Dateinamen eingeben: " <<endl;
cin >> name;
cout <<endl;
cout <<"\nBitte string fuer die optimale Blickfolge
eingeben: " <<endl;
cin>>string1;
cout <<endl;
cout << "Bitte Vergleichstring eingeben: " <<endl;
cin>>string2;
cout <<endl;

```

```

//Objekterzeugung;Start der Berechnung ...

```

```

stringEditing d;
int
operations=d.StringEditingFkt(string1.c_str(),string2
.c_str());

```

```

//Ergebnis-Ausgabe und Dateierzeugung
cout << "\nAnzahl der notwendigen Operatoren
(Loeschen/Ersetzen/Einfuegen): " << operations << endl;

```

```

ofstream o("test.txt");
o<<"t"<<operations<<endl;
cout <<endl;
cout << "Die Ergebnisse sind im entprechenden Verzeichnis
als .txt Datei gespeichert" <<endl;

```

```

return 0;
}

```

Eidesstattliche Versicherung:

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbstständig 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 Prüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.



Benedikt gr. Darrelmann