

Technische Universität Dresden  
Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften  
Fachrichtung Psychologie

# **Erhöhung der Verkehrssicherheit durch die Online- Registrierung von Blickbewegungsparametern**

**Bewerbung für den Verkehrssicherheitspreis 2000 des Bundesministeriums für  
Verkehr-, Bau und Wohnungswesen**

eingereicht von: Sascha M. Dornhöfer und Sebastian Pannasch

Betreuer: Dr. Pieter J.A. Unema und Prof. Dr. phil. Boris M. Velichkovsky

Diese Arbeit wurde angefertigt mit der freundlichen Unterstützung der BMW AG.

Dresden, den 13.01.00

# INHALTSVERZEICHNIS

1.	ZUSAMMENFASSUNG.....	3
2.	EINLEITUNG.....	5
3.	THEORETISCHE GRUNDLAGEN .....	7
3.1.	Das Modell der Risikohomöostase.....	7
3.2.	Fahrzeugführung .....	9
3.3.	Linkes Gehirn / Rechtes Gehirn.....	12
3.4.	Asymmetrien im gesunden Gehirn.....	13
3.5.	Aufmerksamkeit.....	15
3.6.	Imagery Debatte .....	18
3.7.	Blickbewegungen.....	19
3.7.1.	Sakkaden und Fixationen.....	19
3.7.2.	Der Zusammenhang von Blickbewegungen und Aufmerksamkeit.....	20
3.7.3.	Fixationsdauer als Indikator für die Tiefe der Verarbeitung.....	21
3.7.4.	Pupillengröße als Indikator für die mentale Beanspruchung.....	23
3.7.5.	Blickbewegungsregistrierung.....	23
3.7.6.	Blickverhalten und visuelle Aufmerksamkeitsverteilung beim Fahren.....	25
3.8.	Systeme zur Unterstützung des Autofahrers .....	26
3.9.	Information-Management-System .....	27
3.9.1.	Multifunktionsdisplay .....	27
3.9.2.	Navigationssysteme.....	28
4.	EXPERIMENT 1.....	30
4.1.	Hypothesen.....	30
4.2.	Methoden.....	30
4.2.1.	Versuchspersonen.....	30
4.2.2.	Versuchsplan.....	31
4.2.3.	Versuchsmaterial.....	33
4.2.4.	Versuchsaufbau.....	36
4.2.5.	Versuchsdurchführung .....	37
4.2.6.	Erhobene Daten.....	38
4.2.7.	Auswertung .....	38
4.3.	Ergebnisse .....	39
4.3.1.	Biographische Daten.....	39
4.3.2.	Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern in den Teilstudien.....	40
4.3.3.	Ergebnisse der Fahrsimulatorstudie .....	41
4.4.	Diskussion.....	44
5.	EXPERIMENT 2.....	46
5.1.	Hypothesen.....	47
5.2.	Methoden.....	48
5.2.1.	Versuchspersonen.....	48
5.2.2.	Versuchsplan.....	48
5.2.3.	Versuchsmaterial.....	49
5.2.4.	Versuchsaufbau.....	51
5.2.5.	Versuchsdurchführung .....	51
5.2.6.	Erhobene Daten.....	52
5.2.7.	Datenanalyse .....	52
5.3.	Ergebnisse .....	52
5.3.1.	Biographische Daten.....	52
5.3.2.	Nebenaufgaben.....	53
5.3.3.	Blickbewegungen.....	55

5.3.4.	Fahrverhalten.....	60
5.4.	Diskussion.....	63
6.	ZUSAMMENFASSENDE INTERPRETATION.....	65
7.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	67
8.	TABELLENVERZEICHNIS .....	68
9.	LITERATURVERZEICHNIS .....	69
10.	ANHANG.....	77

## 1. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird zwei Fragestellungen nachgegangen, die anhand zwei verschiedener Untersuchungen dargestellt werden. Einerseits beschäftigt sich die Arbeit mit der Beantwortung der Frage, ob es gefahrenspezifische Blickbewegungsmuster gibt, die als Indikator für die Gefahrenwahrnehmung nutzbar gemacht werden können. Darüber hinaus wurde untersucht, inwieweit ein Zusammenhang zwischen Blickbewegungen und dem Lösen von räumlichen bzw. verbalen Aufgabe nachzuweisen ist.

Hintergrund der ersten Untersuchung ist die Tatsache, daß mehr als 50 Prozent aller Kollisionen im Straßenverkehr auf fehlende oder verspätete Wahrnehmung der konkreten Gefahrenquelle zurückzuführen ist (Nagayama, 1978). Durch eine Identifizierung gefahrenspezifischer Blickbewegungsmuster wäre eine entscheidende Steigerung der Sicherheit möglich: Ein intelligentes Gefahrenfrühwarnsystem könnte an den Blickbewegungsmustern des Fahrzeugführers erkennen, ob dieser eine Gefahr erkannt hat oder nicht und sie ihm gegebenenfalls rechtzeitig zurückmelden.

Ziel der zweiten Untersuchung war es, herauszufinden, ob die unterschiedliche Informationsverarbeitung, die bei der Bearbeitung einer räumlichen bzw. verbalen Aufgabe vorausgesetzt wird, ein unterschiedliches Blickverhalten zur Folge hat. In Anlehnung an die Imagery Debatte (Kosslyn, 1987) sollte überprüft werden, ob die Bearbeitung räumlicher Aufgaben zu einer Verlagerung der Aufmerksamkeit nach innen führt, und ob dieser, für die eigentliche Fahraufgabe gefährliche Aufmerksamkeitswechsel mit einem bestimmten Blickverhalten nachweisbar ist. Auch ein solches spezifisches Blickbewegungsmuster könnte dem intelligenten Frühwarnsystem wertvolle Informationen liefern.

Die beiden Untersuchungen wurden von den Autoren im Blickbewegungslabor der TU Dresden durchgeführt. Bei dem ersten Experiment absolvierten die Probanden 3 Versuchsbedingungen (Videostandbilder, Videosequenzen und Simulatorfahrt). Bei allen Bedingungen wurden die Versuchspersonen mit gefährlichen und ungefährlichen Situationen im Straßenverkehr konfrontiert und sollten darauf entsprechend reagieren. Bei dem zweiten Experiment hatten die Versuchsteilnehmer 3 verschiedene Versuchsbedingungen am Fahrsimulator zu absolvieren (statische Bedingung, Autopilotbedingung und die Bedingung „selber fahren“). Als räumliche Aufgabe diente das eigens dafür entwickelte mentale Hütchenspiel, als verbale Aufgaben wurden verschiedene Analogien verwendet. Die Aufgaben wurden den Versuchspersonen akustisch dargeboten.

Die Ergebnisse der beiden Untersuchungen zeigen, daß sowohl die Gefahrenerkennung, als auch die zu bearbeitenden Nebenaufgaben einen Einfluß auf das Blickverhalten ausüben. Die Ergebnisse des ersten Experiments bestätigten die Vermutung, daß vor allem das Fixationsverhalten einen potentiellen Prädiktor für die Gefahrenerkennung darstellt: Zum Zeitpunkt der Gefahrenerkennung kommt es zu einer Verlängerung der Fixationsdauer und einer Verringerung der Sakkadenamplituden. Weiterhin konnte gezeigt werden, daß ein dynamischer Hintergrund einen deutlich verlängerten Einfluß auf die Fixationsdauer ausübt. Ergebnisse vor statischem Hintergrund lassen sich also nicht ohne weiteres auf dynamische Umgebungen generalisieren.

Anhand der zweiten Untersuchung konnte eine starke Zunahme der mittleren Fixationsdauer bei der räumlichen Aufgabe nachgewiesen werden und eine weniger stark ausgeprägte

Zunahme der mittleren Fixationsdauer bei der verbalen Aufgabe. Auch die Parameter Sakkadenamplitude und Pupillengröße zeigen deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der Aufgabenart. Darüber hinaus ließ sich nachweisen, daß die Bearbeitung der Nebenaufgaben die Spurhaltungsaufgabe eindeutig beeinflußt.

## 2. EINLEITUNG

Den Hintergrund für die vorliegende Arbeit bildet die stetig ansteigende Dichte im Straßenverkehr. Die folgenden Zahlen (Beste, 1995) verdeutlichen das Ausmaß der wachsenden Mobilität: So befuhren 1987 bereits 28 Millionen PKWs westdeutsche Straßen, zehn Jahre zuvor waren es erst 20 Millionen. Mit dem Fall des eisernen Vorhangs verstärkten sich die Verkehrsströme in Deutschland und in Europa erneut zusehends. Im Jahr 2000 werden in Europa ca. 180 Millionen Automobile zugelassen sein, 20 Millionen mehr als 1995.

Ein solcher immer dichter werdender Verkehr erfordert eine „effektive“ Verkehrstechnologie, die Kraftfahrzeuge sicherer macht und den Verkehr besser organisiert. Dieser Anstieg der Verkehrsdichte verlangt vom Autofahrer ein ständig wachsendes Maß an Aufmerksamkeit, um sicher und gefahrlos den gewünschten Zielort zu erreichen. Um dem Fahrer die Bewältigung der Fahraufgabe zu erleichtern und dabei gleichzeitig die Sicherheit zu erhöhen, gewinnt einerseits die Entwicklung neuer Kommunikationstechnik in der Automobilindustrie in den letzten Jahren immer größer werdenden Einfluß, andererseits ist eine Verkehrstechnologie gefragt, die Kraftfahrzeuge sicherer macht und den Verkehrsfluß besser organisiert. Aus diesem Anlaß beteiligten sich beispielsweise 13 Automobilfirmen, 41 Elektronikhersteller und Automobilzulieferer sowie 88 Forschungsinstitute der verschiedensten Fachgebiete an dem Forschungsprojekt PROMETHEUS (*Programme for a European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety*). Ergebnisse solcher und ähnlicher interdisziplinärer Forschungsprojekte sind eine Vielzahl technischer Verbesserungen, die die Mensch-Maschine-Schnittstelle optimieren und so den Straßenverkehr sicherer machen sollen.

Neben Antiblockiersystem (ABS), Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) sowie Fahrer- und Beifahrerairbag gehören vor allem Navigationssysteme, Fahrleitsysteme und Abstandswarner zu den technischen Neuerungen, die dem Fahrer Unterstützung bieten sollen. Allerdings entspricht die Wirkung der technischen Verbesserungen nicht immer dem angestrebten Ziel, da nur teilweise eine Senkung des Risikos und der Unfallrate erreicht werden kann. Mit Hilfe des Modells der Risikohomöostase (Wilde, erstmals 1974) können diese Widersprüche erklärt werden: Zur Verbesserung der Sicherheit gedachte (technische) Maßnahmen erhöhen zwar die Sicherheitsreserven, jedoch auch die Leistungsmöglichkeiten im Grenzbereich. In vielen Fällen wird ein solcher Sicherheitsgewinn durch verändertes Verhalten verspielt wobei der subjektiv erlebte Risikogehalt gleich bleibt. Versuche die Sicherheitssteigerung auf dem Wege rein technischer Verbesserungen erzielen zu wollen, erweisen sich daher als problematisch, da lediglich der Aspekt der objektiven Risikokomponente bedacht wird.

In gegenwärtigen und künftigen Sicherheitssystemen reicht die alleinige Verbesserung der Technik zur Risikoverringung nicht aus. Notwendig ist eine Einbeziehung des Menschen, um die subjektive Risikokomponente zu verringern. Der Einsatz immer modernerer Computertechnik erlaubt mehr und mehr den *Dialog* mit der eingesetzten Technik. Die entsprechende Gestaltung dieses Dialogs ist eine Möglichkeit die Sicherheit im Straßenverkehr zu steigern. Dabei ist es hilfreich und notwendig die Erkenntnisse aus den verschiedenen Forschungsgebieten der Psychologie zu berücksichtigen, was in zunehmendem Maße auch getan wird.

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, inwieweit sich mit Hilfe der Methode der Blickbewegungsregistrierung eine Optimierung des Mensch-Maschine-Dialogs realisieren läßt. Einerseits wird der Frage nachgegangen, ob es möglich ist, Blickbewegungsmuster zu isolieren, die als Indikatoren der Fahrumgebungserfassung genutzt werden können. Die Iden-

tifizierung solcher typischen Blickbewegungsmuster für Gefahrensituationen stellt interessante Möglichkeiten zur Optimierung der Mensch-Computer-Interaktion dar. Da die Ursache von mehr als 50 Prozent aller Kollisionen auf fehlende oder verspätete Wahrnehmung der konkreten Gefahrenquelle zurückgeführt wird (Nagayama, 1978), wäre durch ein intelligentes, den Fahrer unterstützendes Frühwarnsystem eine Erhöhung der Sicherheit möglich. Eingebunden in ein „Information-Management-System“ könnte es in naher Zukunft mittels „Computer Vision“ mögliche Gefährdungsbereiche berechnen und dem Fahrer gegebenenfalls die Gefahr *rechtzeitig* rückmelden. Eine solche Rückmeldung ist natürlich nur dann sinnvoll, wenn das System weiß, ob der Fahrer die Gefahr erkannt hat oder nicht – würde es den Fahrer warnen, obwohl er die Gefahr bereits registriert hat, wäre das eher hinderlich als unterstützend. Eine während der Fahrt mitlaufende berührungslose Augenkamera könnte es ermöglichen, den Fahrer nur dann zu warnen, wenn ein für Gefahren typisches Blickbewegungsmuster ausbleibt, die Gefahr also nicht erkannt wurde.

Die Gestaltung eines solchen „Information-Management-Systems“, in das neben dem Frühwarnsystem noch eine Reihe weiterer Kommunikations- und Sicherheitssysteme integriert sind, bildet die Grundlage der zweiten Untersuchung. Durch die Kommunikation mit diesem System erhöht sich resultierend aus der visuellen und kognitiven Beanspruchung die Gefahr, wichtige Umweltinformationen zu übersehen bzw. auf Gefahrensituationen zu spät zu reagieren. Um dieses Risiko so gering wie möglich zu halten und die Ablenkung des Fahrers vom Fahrgeschehen zu minimieren, ist die Optimierung des Dialogs eine unumgängliche Bedingung für die praktische Umsetzung. Das zweite Experiment beschäftigt sich mit der Frage, inwieweit neuropsychologisches Wissen bei der Dialoggestaltung mit einbezogen werden sollte und ob diese Erkenntnisse zur Steigerung der Sicherheit beitragen können. Ausgehend von den Asymmetrien der beiden Hirnhemisphären soll exploriert werden, ob bei der stärkeren Beanspruchung der einen oder der anderen Hemisphäre ein Unterschied im Blickverhalten nachzuweisen ist, und ob diese Unterschiede sich auch in Parametern des Fahrverhaltens widerspiegeln.

### 3. THEORETISCHE GRUNDLAGEN

#### 3.1. Das Modell der Risikohomöostase

Bei dem Modell der Risikohomöostase (Wilde, erstmals 1974) handelt es sich um eines der bekanntesten und am kontrovers diskutiertesten Modelle zum Risikoverhalten im Straßenverkehr. Dieses Modell ist von Interesse, da es sich eingehend mit der objektiven und der subjektiven Risikokomponente beschäftigt und die vorliegende Arbeit die Frage beantworten soll, ob Blickparameter als Indikatoren für die Fahrumgebungserfassung dazu verwendet werden können, neben dem objektiven auch das subjektive Risiko im Straßenverkehr zu mindern. Das Modell wird im folgenden dargestellt:

„Homöostase“ bezeichnet das Prinzip, daß Organismen trotz ständig wechselnder externer Lebensbedingungen das Bestreben haben, das interne Gleichgewicht beizubehalten. Die Körpertemperatur wird z.B. trotz ständig wechselnder Außentemperaturen konstant gehalten.

Die Risikohomöostasetheorie ist eine Erweiterung der Theorie der Risikokompensation. Diese besagt, daß Menschen versuchen, durch ihr Verhalten die wahrgenommenen Risiken und Gefahren auszugleichen. Im Gegensatz zur Risikohomöostasetheorie wird die Risikokompensationstheorie als „allgemein anerkannt“ betrachtet (Pfafferot & Huguenin, 1993). Ein Beispiel für das Modell der Risikokompensation: Man fährt auf der Autobahn und es beginnt zu schneien. Die meisten Fahrer empfinden das als ein erhöhtes Risiko und versuchen dieses, durch eine Verringerung der Geschwindigkeit zu kompensieren. Unter Annahme dieses Modells verhalten sich Menschen in gefährlichen Situationen vorsichtiger. Das Modell der Risikohomöostase sagt an dieser Stelle aber auch das gegenteilige Verhalten voraus. Im oben angeführten Beispiel würde das bedeuten, daß man, nachdem es aufgehört hat zu schneien, nicht mehr mit langsamem und sicherem Tempo weiterfährt, sondern die Geschwindigkeit bis zu dem Niveau erhöht, auf dem man sich wohl fühlt. Aufgrund der vorangegangenen Geschwindigkeitsverringerung kann das neue Tempo sogar über dem Ausgangsniveau liegen, um z.B. verlorengangene Zeit auszugleichen.

Entsprechend dem angeführten Beispiel werden im Verkehrs- und Arbeitsleben viele technische Sicherheitsmaßnahmen durch menschliches Verhalten eingeschränkt oder aufgehoben. Mit dem Modell der Risikohomöostase sollte ein Modell entwickelt werden, mit dem in einer bestimmten Population die Entstehung bzw. die Variation der Unfallrate erklärt werden kann. Nach Wilde (1986; 1994) ist, analog zu einem Thermostat einer Zentralheizung, welches die Raumtemperatur regelt, die Unfallrate in einer Population das Ergebnis eines geschlossenen Regelkreises. Der Grundgedanke des Modells läßt sich wie folgt zusammenfassen: Zur Verbesserung der Sicherheit gedachte (vor allem technische) Maßnahmen erhöhen meist die „Sicherheitsreserven“, damit jedoch gleichzeitig die Leistungsmöglichkeiten im Grenzbereich. Wenn das Kraftfahren als attraktive, leistungsbezogene Tätigkeit erlebt wird, wird in vielen Fällen der mögliche Sicherheitseffekt durch ein verändertes Verhalten aufgezehrt - der subjektiv erlebte Risikogehalt bleibt gleich (Schlag, 1994).

Für die Gültigkeit des dargestellten Modells sprechen die Ergebnisse der Studie von Aschenbrenner et al. (1992). Dabei wurden, über einen Zeitraum von vier Jahren, die Unfallraten von Taxis mit und ohne ABS verglichen. Die Analyse ergab, daß Taxis mit ABS keineswegs weniger Unfälle hatten. Auch Unfallstatistiken aus den USA zeigen, daß zwar einerseits ein Rückgang von Todesfällen im Straßenverkehr zu verzeichnen ist, andererseits wurde aber ein Anstieg der Gesamtzahl der Unfälle registriert (Krämer, 1998; Wilde, 1994).



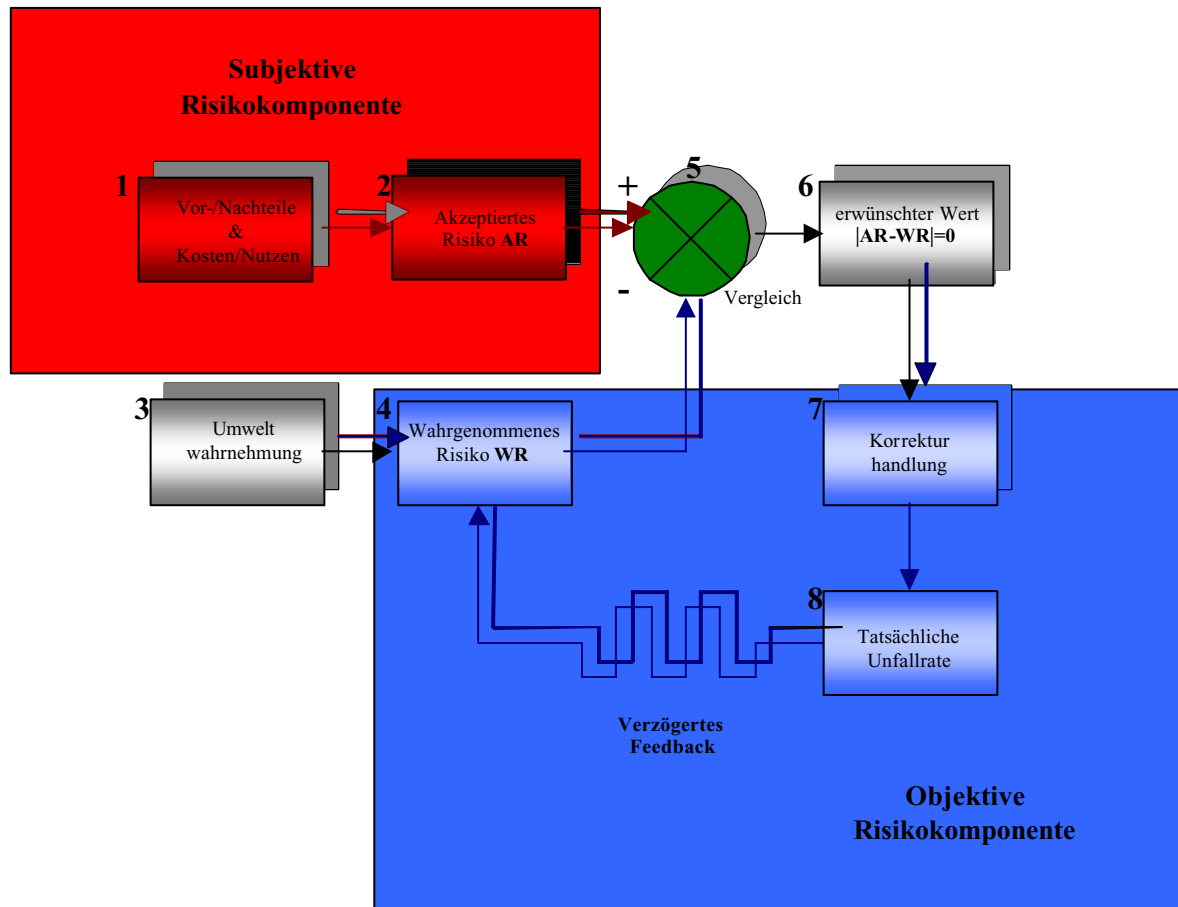


Abbildung 3-1: Das Modell der Risikohomöostase nach Wilde.

Abbildung 3-1 stellt das Modell in konkretisierter Form dar: Als zentralen Punkt des Modells ist die Einteilung in objektive und subjektive Risikokomponenten zu betrachten. Weiterhin wird angenommen, jeder Verkehrsteilnehmer sei zu jedem Zeitpunkt, während er am Verkehr teilnimmt, zwangsläufig Unfallrisiken ausgesetzt und nimmt diese auch wahr. Jeder Verkehrsteilnehmer kann durch eine subjektive Risikokomponente beschrieben werden. Dieser Wert entspricht dem akzeptierten Risiko (2), welches er für seine Teilnahme am Straßenverkehr in Kauf nimmt. Der Wert des akzeptierten Risikos ist interindividuell unterschiedlich und wird durch folgende vier Kriterien (1) bestimmt:

- den erwarteten Nutzen riskanten Verhaltens, beispielsweise Zeiteinsparung durch schnelles fahren
- die erwarteten Kosten riskanten Verhaltens, beispielsweise schnellerer Verschleiß des Autos
- den erwarteten Vorteil sicheren Verhaltens, beispielsweise eine Senkung des Versicherungsbeitrags
- die erwarteten Nachteile sicheren Verhaltens, beispielsweise ein unbequemer Sicherheitsgurt.

Das akzeptierte Risiko wird ständig mit dem wahrgenommenen Risiko (4) der gegenwärtigen Situation verglichen (5). Nach der Risikohomöostasetheorie beträgt die vom Verkehrsteilnehmer gewünschte Abweichung zwischen dem akzeptierten und dem wahrgenommenen Risiko Null (6). Bei Diskrepanzen in der einen oder anderen Richtung finden Korrekturhandlungen (7) statt, um das Risiko in der gewünschten Richtung anzupassen. Diese Korrektur-

handlungen wirken sich auf die tatsächliche Unfallrate **(8)** aus, welche die objektive Risikokomponente darstellt. Das objektive Risiko beeinflusst, zeitlich verzögert, das wahrgenommene Risiko. Aus dieser kurzen Modellskizze läßt sich erkennen, daß das akzeptierte Risiko die einzige Größe in dem Regelkreis ist, die sich durch äußere Eingriffe nicht verändern läßt. Daraus ergibt sich, daß alle externen Einwirkungen in den Regelkreis, die das objektive Risiko ändern sollen, langfristig keine Wirkung zeigen, solange das akzeptierte Risiko davon unbeeinflusst bleibt.

Die Identifizierung von spezifischen Blickbewegungsparametern als Indikatoren der Gefahrenerkennung und deren Anwendung in einem unterstützenden Frühwarnsystem stellt eine Möglichkeit zur Verringerung der Kluft zwischen objektiver und subjektiver Risikokomponente dar, da hier direkt das akzeptierte Risiko verändert werden kann: Wird die subjektiv geschätzte Gefährlichkeit einer Verkehrssituation größer als das akzeptierte Risiko, verändert der Fahrer sein Verhalten so, daß das subjektive Risiko wieder geringer wird. Bei einer erkannten unmittelbaren Gefahr ist die subjektive Gefährlichkeit in der Regel größer als das akzeptierte Risiko, da akuter Handlungsbedarf besteht um der Gefahr entgegenzuwirken. Wenn nun eine Gefahr als solche erkannt wird, findet folglich eine Verhaltensadaptation an die ungünstige Bedingung statt und das objektiv gegebene wird zum subjektiv repräsentierten Risiko (Richter & Schlag, 1998). Daß eine Gefahr rechtzeitig erkannt wird, ist Aufgabe des oben beschriebenen Gefahrenfrühwarnsystems.

### 3.2. Fahrzeugführung

Da es sich beim Autofahren um die Bewältigung einer komplexen Aufgabe handelt, ist es sinnvoll, diese Aufgabe in entsprechende Teilaufgaben zu zerlegen, und im Anschluß daran die jeweiligen Anforderungen für diese Aufgaben zu bestimmen, um letztlich zu entscheiden, wie die Tätigkeit des Fahrens in geeigneter Weise unterstützt werden kann.

Ein Modell, das häufig zur Beschreibung der Fahrtätigkeit verwendet wird, ist das hierarchische Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung (Bernotat, 1970; Donges, 1978; Michon, 1985). Anhand dieses Modells kann die *Primäraufgabe*, also alle Tätigkeiten, die der direkten Fahraufgabe dienen, mittels der drei Kategorien Navigation, Bahnführung und Stabilisierung beschrieben werden:

- Auf der *Navigationsebene* werden fahrtübergeordnete Entscheidungen getroffen. Diese betreffen beispielsweise die Wahl der Fahrtroute, den zeitlichen Ablauf sowie die Anpassung der Fahrtroute an *situative* Erfordernisse, sofern das notwendig sein sollte.
- Die *Ebene der Bahnführung* beinhaltet Aufgaben wie die Auswahl der geeigneten Geschwindigkeit, die Beachtung der Verkehrsvorschriften und die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern.
- Unter dem Begriff *Stabilisierungsebene* sind die stark automatisierten Handlungen wie Lenken, Gasgeben und Bremsen zusammengefaßt.

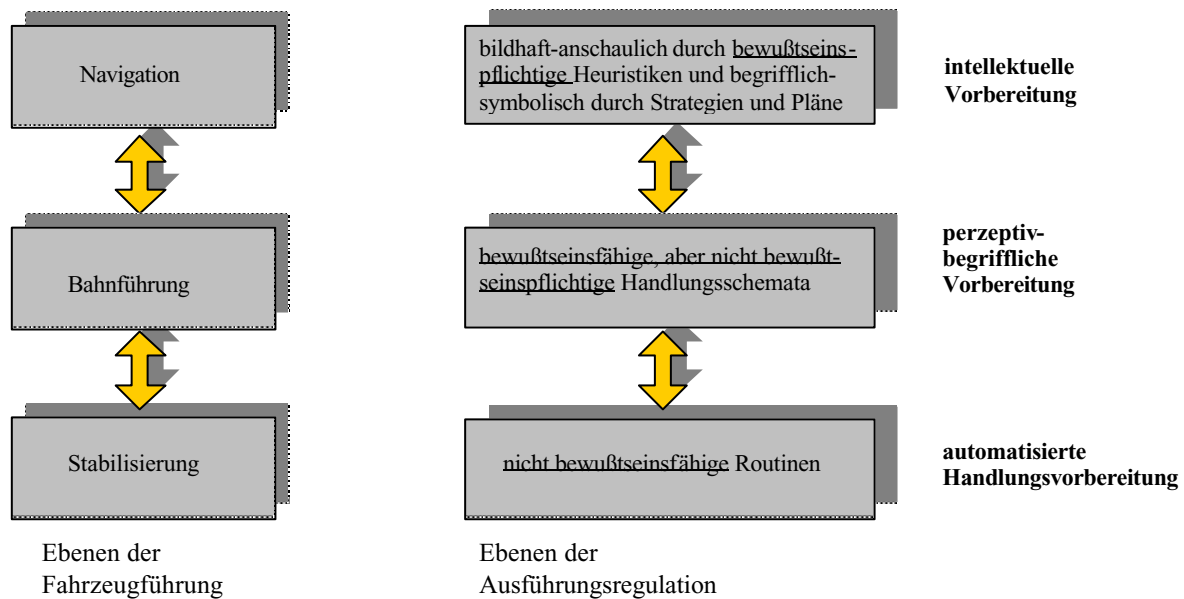
Die Aufgaben dieser drei Ebenen stellen unterschiedliche kognitive und handlungsregulatorische Anforderungen an den Fahrer und beeinflussen sich gegenseitig: Mit dem Wechsel auf eine höhere Ebene steigt der kognitive Aufwand, was in der Regel mit einer Verlängerung der Handlungsdauer verbunden ist. Zusätzlich kann sich die Informationsverarbeitung in zeitlicher Hinsicht unterscheiden – sie kann seriell oder parallel stattfinden. Serielle Verarbeitung findet bei komplexen Aufgaben statt. Bei automatisierten Prozessen, die keinen großen Auf-

merksamkeitsaufwand erfordern, kann die Informationsverarbeitung parallel verlaufen (Lür & Spada, 1992). In Anlehnung an Rumar (1993) ergänzen Wetzstein et al. (1997) dieses Modell um *Sekundäraufgaben* der Bedienung von zusätzlichen Komfort- und Kommunikationseinrichtungen im Fahrzeug (Tabelle 3-1).

**Tabelle 3-1: Kategorisierung von Fahraufgaben.**

Navigation	strategische Aufgaben wie Transportmittelwahl, Festlegung der Fahrtroute und zeitliche Koordination Navigationsaufgaben, vor allem Verfolgung der gewählten Fahrtroute und gegebenenfalls Anpassung der Route an situative Erfordernisse
Bahnführung	Manövrieren: Wahl der Führungsgröße „Sollspur“ Geschwindigkeitswahl: Wahl der Führungsgröße Geschwindigkeit in der jeweiligen Situation und antizipatorische Anpassung der Führungsgröße Interaktionsaufgaben: Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern mit dem Ziel einer Kollisionsvermeidung Regelbeachtung: Beachtung von Vorschriften, insbesondere die Befolgung von Verkehrszeichen
Stabilisierung	Fahrzeugsteuerung, insbesondere Eingriffe zur Einhaltung der gewählten Führungsgrößen
Sekundäraufgaben	Bedienung von Einrichtungen, die dem Komfort dienen – z.B. Klimaanlage und Radio Bedienung von Kommunikationseinrichtungen wie Telefon und Fahrerinformationssystemen

Wie bereits erwähnt, sind zur Erfüllung der beschriebenen Fahraufgaben komplexe Informationsverarbeitungsprozesse notwendig. Diese bestehen aus Wahrnehmung, Verarbeitung (d.h. speichern, vergleichen und entscheiden) und in der Regel aus einer motorischen Reaktion. So müssen beim Heranfahren an eine rote Ampel zuerst deren Objektmerkmale wahrgenommen werden, daraufhin ist das Bild der roten Ampel zu speichern und mit dem Schema, was bei roten Ampeln zu tun ist, zu vergleichen. Ein ständiger Wechsel zwischen den Schemata und der Aufnahme von Objektmerkmalen (mit eventueller Veränderung der Schemata) führt schließlich zu einer Entscheidung, wie in dem konkreten Fall zu handeln ist. Diese Handlung äußert sich dann meistens in einer motorischen Reaktion. Bei einer roten Ampel ist z.B. die Betätigung des Bremspedals mit dem rechten Fuß die angemessene motorische Reaktion. Ausführliche Regelkreismodelle zur Beschreibung von zielgerichtetem *Verhalten* finden sich bei Miller et al. (1960) und Hacker (1998). In Anlehnung an Hacker's hierarchische Ebenen der Ausführungsregulation (1998) können in den weiter oben dargestellten drei Ebenen der Primäraufgaben unterschiedliche Bewußtseinsebenen vorkommen (Abbildung 3-2):



**Abbildung 3-2: Gegenüberstellung der drei Ebenen der Fahrzeugführung (Bernotat, 1970; Donges, 1978; Michon, 1985) und der Ebenen der Ausführungsregulation (Hacker, 1998).**

Das Schalten in einen höheren Gang, das Blinken und das Lenken stellen weitestgehend automatisierte Tätigkeiten dar. Beim versehentlichen Schalten in den vierten statt in den zweiten Gang wird jedoch ein an sich automatisiert ablaufender Prozeß unterbrochen und es werden Kontrollprozesse auf einer höheren Bewußtseinsstufe notwendig. Ein solcher „Ebenenwechsel“ wird vom Fahrer als sehr anstrengend erlebt und erfordert eine bewußte Problemanalyse mit erhöhter Aufmerksamkeitswirkung (Richter & Schlag, 1998). Erst nachdem mehrfach erfolgreich in den zweiten Gang geschaltet wurde, läuft diese Tätigkeit wieder unbewußt ab. Je mehr unvorhergesehene Bedingungen (z.B. eine plötzlich auftauchende Gefahr) auf den Fahrer einwirken, desto wahrscheinlicher wird die Bewußtwerdung ansonsten automatisierter Handlungen, um adäquat auf die Bedingungen reagieren zu können.

Den hier dargelegten Ausführungen zur Fahrzeugführung kann entnommen werden, daß der Fahrzeugführer bei einer auftauchenden Gefahrensituation unter großem kognitiven Aufwand bewußt auf diese reagieren muß. In einer solchen belastenden Situation ist eine Überlastung des Fahrers, verbunden mit dem Risiko eines Unfalls, nicht ausgeschlossen: Eine parallele Informationsverarbeitung weicht einer seriellen, und der Fahrer muß nun die relevante Information korrekt wahrnehmen und verarbeiten, um adäquat auf die Gefahr zu reagieren. Der Vorteil eines auf situationsspezifische Blickparameter programmierten Frühwarnsystems ist in diesem Zusammenhang darin zu sehen, daß der Fahrer in einer solchen Situation entlastet werden kann, indem er vor einer Gefahr gewarnt wird, wenn er diese nicht wahrgenommen hat - er bekommt eine Rückmeldung darüber, welche Umweltinformation relevant ist. Eine zusätzliche unnötige Informationsüberlastung durch das System selbst (z.B. durch Warnen, obwohl die Gefahr wahrgenommen wurde) ist, dessen technische Realisierung vorausgesetzt, nicht gegeben.

Durch Aufzeigen der relevanten Umweltinformation hilft ein solches interaktives Eingreifen eines Unterstützungssystems dem Fahrer bei Entscheidungen, insbesondere im Bereich der Auswahl der Führungsgrößen, aber auch auf der Ebene der Navigation. Weiterhin könnte das System bei rechtzeitiger Rückmeldung der Gefahr die Umorientierung auf eine bewußtere Handlungsebene beschleunigen und die Anwendung falscher Handlungsschemata verhindern,

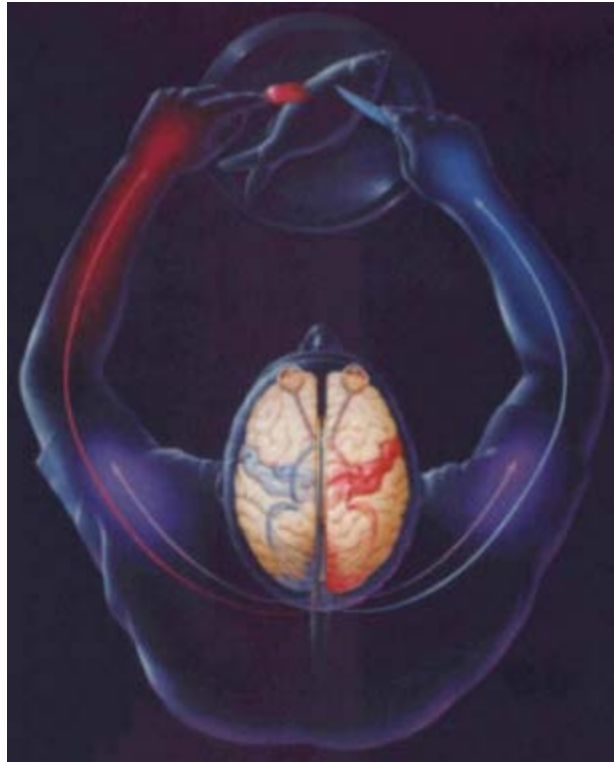
denn die Gefahr der Anwendung eines falschen Schemas wird um so größer, desto „unklarer“ sich eine Reizsituation darstellt - und je später eine Gefahr erkannt wird, desto unklarer wird die Situation. In einer solchen unklaren Situation werden dann reizgeleitete „bottom-up“-Prozesse in stärkerem Maße durch konzeptgesteuerte „top-down“-Prozesse „ergänzt“, was zu einer „riskanten“ Wahrnehmung der Situation führen kann (Richter & Schlag, 1998).

Da bei einer nicht erkannten Gefahr das Frühwarnsystem Priorität gegenüber anderen technischen Systemen (z.B. Radio, Telefon etc.) besitzen soll, müssen die Informationen aus den verschiedenen und unterschiedlich wichtigen Systemen im Fahrzeug zeitlich und räumlich in Einklang gebracht werden. Hierzu ist eine Implementierung in ein Information-Management-System notwendig. Um bei dem Einsatz eines solchen Systems eine Unterstützung des Fahrers gewährleisten zu können, sind bestimmte Gestaltungsprinzipien für den Dialog zu berücksichtigen, da sonst möglicherweise eine zusätzliche Ablenkung das Ergebnis ist.

### **3.3. Linkes Gehirn / Rechtes Gehirn**

Um eine Optimierung des Mensch-Maschine-Dialogs zu erzielen, ist es notwendig, Grundlagen der menschlichen Informationsverarbeitung zu berücksichtigen. Obwohl das Gehirn als einheitliche Struktur betrachtet werden kann, ist es prinzipiell in zwei Hälften geteilt, die beiden Hirnhemisphären. Diese sind deutlich voneinander abgegrenzt und durch mehrere Nervenfaserbündel (das Corpus callosum und die vordere Kommissur) miteinander verbunden, die als Kommunikationskanäle dienen. Aus anatomischer Sicht scheinen beide Hemisphären ungefähr ähnlich, ebenso wie der ganze Körper eine Links-Rechts-Symmetrie aufweist. Tatsächlich sind die motorischen und sensorischen Grundfunktionen des Körpers gleichmäßig zwischen beiden zerebralen Hemisphären aufgeteilt. Die Zuordnung erfolgt dabei über Kreuz, die linke Hemisphäre steuert die rechte Seite des Körpers, die rechte Hemisphäre steuert die linke Körperhälfte. Bei genauerer Betrachtung läßt sich die Symmetrie des Gehirns allerdings bereits auf anatomischer Basis widerlegen, wie bereits in zahlreichen Publikationen dargestellt wurde (z.B. Kolb & Whishaw, 1993). Neben der anatomischen Asymmetrie läßt sich diese Unterscheidung der Hemisphären auch auf funktionaler Ebene nachweisen.

Die ersten Entdeckungen zu der Spezialisierung der beiden Hemisphären wurden im klinischen Bereich gemacht. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde von Broca ein Zusammenhang zwischen der Sprache und der Händigkeit vermutet, daraus entwickelte sich der Ansatz der Hemisphärenasymmetrie. Die ersten wirklich aufschlußreichen Untersuchungen über die verschiedenen Kompetenzen der beiden Hirnhälften wurden von Sperry (1969) mit Epilepsiepatienten, bei denen die wichtigsten Verbindungen zwischen linker und rechter Hemisphäre durchtrennt waren, durchgeführt. Durch die operative Trennung sollte verhindert werden, daß sich ein epileptischer Anfall von einer Hirnhälfte auf die andere ausbreiten kann. Bei diesen sogenannten Split-Brain Patienten konnte bewiesen werden, daß bestimmte Funktionen in der einen, nicht aber in der anderen Hemisphäre lokalisiert sind. Sehr ausführlich sind diese Ergebnisse beschrieben bei Springer und Deutsch (1995). Aber auch beim neurologisch gesunden Menschen lassen sich mittels verschiedener Techniken die Unterschiede zwischen dem linken und dem rechten Gehirn nachweisen.



**Abbildung 3-3: Darstellung des Zusammenhangs von Gesichtsfeld, Hemisphäre und motorischer Steuerung der Hand**

### 3.4. Asymmetrien im gesunden Gehirn

Die anhand der Untersuchungen an Split-Brain Patienten gefundenen Ergebnisse führten zu der Schlußfolgerung, daß sich die beiden Hemisphären hinsichtlich der Reize unterscheiden, mit denen sie am besten umgehen können. So wurden der linken Hemisphäre sprachliche Kompetenzen zugeschrieben und der rechten Hemisphäre eine Überlegenheit im Umgang mit nichtsprachlichen Reizen. Mittels visueller und auditorischer Tests ließ sich diese Hemisphärenspezialisierung auch bei gesunden Personen nachweisen. Die typischen visuellen Tests (tachistoskopische Tests) boten den Versuchspersonen visuelle Stimuli lateralisiert dar, die unterschiedlichen Leistungen wurden als Maß der Hemisphärenasymmetrie angesehen (Mishkin & Forgays, 1952; Barton et al., 1965; Kimura, 1969; Geffen et al., 1971 und Rizzolatti et al., 1971). Obwohl das auditorische System nicht so vollständig gekreuzt ist, wie das bei dem visuellen System der Fall ist, besteht ebenfalls die Möglichkeit die Hemisphärenspezialisierung zu untersuchen, da die gekreuzten (kontralateralen) Verbindungen stärker sind, als die nicht gekreuzten (ipsilateralen) Verbindungen (Rosenzweig, 1951). Die Asymmetrie kann mittels der Methode des dichotischen Hörens, untersucht werden. Dabei werden beiden Ohren jeweils verschiedene akustische Reize gleichzeitig dargeboten, im Anschluß sollen die Versuchspersonen diese dann wiederholen. Auch bei dieser Methode werden Unterschiede der Wiedererkennungsleistung als Beleg für die Spezialisierung der Hemisphären interpretiert (Kimura 1961, 1964, 1967). Die in den angeführten Untersuchungen gefundenen Ergebnisse galten als Nachweis für die funktionellen Unterschiede, führten aber zu der Frage wie diese Unterschiede zustande kommen, wenn doch beide Hemisphären miteinander verbunden sind und somit ein ständiger Informationsaustausch stattfinden kann.

Das *direct access model* erklärt die angeführten Phänomene dadurch, daß Informationen im Gehirn immer dort verarbeitet werden, wo sie zuerst eintreffen, unabhängig davon ob es sich dabei um die für diese Art von Information spezialisierte Hemisphäre handelt oder nicht. Nach dem *relay model* hingegen wird die Information immer in der dafür spezialisierten Hemisphäre verarbeitet. Gelangt das zu bearbeitende Material zuerst in die dafür weniger geeignete Hemisphäre, so muß es über zunächst über die Kommissurenbahnen in die andere Gehirnhälfte übertragen werden (Zaidel, 1986). Während beim ersten Modell die Leistungsunterschiede dadurch erklärt werden, daß Informationen von der Hemisphäre bearbeitet werden, die dafür weniger geeignet ist, erklärt das *relay model* die Leistungsunterschiede durch Qualitätsverluste der Information, die auftreten, wenn das Material erst in die dafür spezialisierte Hemisphäre übertragen werden muß. Obwohl beide Modelle verschiedene Erklärungen als Ursachen bieten, stimmen sie darin überein, daß eine bessere Leistung zu erwarten ist, wenn die Information direkt der dafür spezialisierten Hemisphäre dargeboten wird.

Neuere Untersuchungen ließen die einfache Unterscheidung der Funktion der Hemisphären in „verbal/nichtverbal“ allerdings fragwürdig erscheinen, und führten dazu, neue Erklärungsmodelle zu suchen. Die Einteilung erwies sich als problematisch, nachdem sich beispielsweise die linke Hemisphäre als überlegener bei nichtverbalen Aufgaben erwiesen hatte (Allen, 1983; Bryden, 1982; Bradshaw & Nettleton, 1981, 1983). Daraufhin wurde zur Erklärung stärker die Art der Aufgabe betont, das Konzept der typischen links- bzw. rechts-hemisphärischen Reize erwies sich als unzureichend. Beispielsweise lassen sich Wortpaare merken, indem die Worte laut oder in Gedanken (subvokal) wiederholt werden, oder durch die Vorstellung eines Bildes, indem die beiden Wörter miteinander verknüpft sind (Springer & Deutsch 1995). Seamon und Gazzaniga (1973) zeigten, daß Versuchspersonen, die sich Wortpaare durch subvokales Wiederholen eingeprägt hatten, eher auf Tastreize in der rechten Gesichtshälfte reagierten; sollten die Wortpaare bildlich behalten werden, so erfolgten die Reaktionen schneller auf Darbietungen in der linken Gesichtshälfte.

Der neue Ansatz rückte also die Art der Informationsverarbeitung stärker in den Mittelpunkt. Eine relativ weitgehend akzeptierter Vorschlag ist, daß in der linken Hemisphäre eine eher „analytische“ Informationsverarbeitung stattfindet, in der rechten Hemisphäre dagegen die Informationen auf eine eher „ganzheitlich symbolische“ Art (Bradshaw & Nettleton, 1981, 1983). Sergent und Hellige (1986) wiesen darauf hin, daß auch die physikalischen Eigenschaften der dargebotenen Reize (z.B. Dauer, Helligkeit) die Ergebnisse von Untersuchungen zur Hemisphärenasymmetrie beeinflussen.

In diesem Zusammenhang sollte erwähnt werden, daß auch die Untersuchungsergebnisse kritisch zu betrachten sind. Hines und Satz (1974) fanden beispielsweise nur eine geringe Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der tachistoskopischen und der dichotischen Untersuchungen. Blumstein et al. (1975) entdeckten, daß bei wiederholter Testdurchführung mit denselben Versuchspersonen abweichende Ergebnisse auftreten können. Da allerdings die Organisation des Gehirns als zeitlich stabil angenommen wird, erscheint die Frage berechtigt, was in den Untersuchungen gemessen wurde. Eine Möglichkeit, diese widersprüchlichen Befunde zu erklären, sind verschiedene Strategien, die von den Versuchspersonen während der Untersuchungen entwickelt werden. Wechseln diese Strategien in kurzen Zeitintervallen, könnte sich das in unterschiedlichen Ergebnissen ausdrücken. Daraus läßt sich die Frage ableiten, inwieweit die Hemisphärenunterschiede absolut oder relativ sind: bedeuten also die gemessenen Leistungsunterschiede, daß eine bestimmte Aufgabenart auch nur von einer bestimmten Hemisphäre zu lösen ist, oder ist eine Gehirnhälfte lediglich besser in der Lage die Aufgabe zu bearbeiten als die andere?

Hellige (1991) beschreibt die beiden Hemisphären als sehr allgemeine Subsysteme mit unterschiedlichen Verarbeitungseigenschaften mit einer Vielzahl weiterer Untereinheiten. Dabei betont er, daß erst ein besseres Verständnis der interhemisphärischen Wechselbeziehungen Hinweise dafür liefern kann, wie eine einheitliche Informationsverarbeitung zustande kommt. Eine andere Möglichkeit die Asymmetrien der Hemisphären zu erfassen ist das typische dual-task Paradigma, bei dem die Versuchspersonen zwei komplexe Aufgaben gleichzeitig lösen müssen. Dabei wird davon ausgegangen, daß sich Aufgaben die verschiedene Gehirnbereiche beanspruchen gegenseitig weniger behindern, wenn sie gemeinsam ausgeführt werden, als solche Aufgaben, an denen die gleichen zerebralen Regionen beteiligt sind. Kinsbourne und Cook (1971) ließen Versuchspersonen einen kleinen Holzdübel auf ihrem rechten oder linken Zeigefinger balancieren. Wenn sie gleichzeitig zu der Balancieraufgabe sprachen, konnten sie mit der linken Hand die Balance länger halten, als mit der rechten. Ähnliches ließ sich bei anderen komplexen Aufgaben, wie beispielsweise rhythmisches Klopfen der Finger, beobachten. Das Sprechen interferierte mit der geforderten Aufgabe nur, wenn diese mit der rechten Hand erbracht werden sollte. Haigs und Kinsbourne (unveröffentlichtes Experiment) ließen Musiker mit jeder Hand ein schwieriges Musikstück lernen. Nach der Lernphase sollten die Musiker das Stück simultan mit beiden Händen spielen. Wurden sie zusätzlich aufgefordert während des Spielens zu summen oder zu sprechen, zeigte sich, daß das Sprechen mit dem Spiel der rechten Hand interferierte, während das Summen das Spiel der linken Hand beeinträchtigte. Kee und Cherry (1990) fanden in ihren Untersuchungen ähnliche Ergebnisse.

Zusammenfassend soll an dieser Stelle noch einmal festgehalten werden, daß vor allem anhand der Erkenntnisse die durch die Untersuchungen mit Split-Brain Patienten gewonnen wurden, eine grobe Einteilung hinsichtlich der Funktionsweisen der beiden Hemisphären durchaus legitim erscheint. Während die linke Hemisphäre vorwiegend bei sprachlichen Verarbeitungsprozessen überlegen ist, zeigt sich bei der rechten Hemisphäre ein deutlicher Vorteil bei räumlicher und visuell-motorischer Informationsverarbeitung. Eine vollständige Erklärung der Hirnasymmetrien ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht möglich.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit interessieren vor allem der Informationsverarbeitungsansatz in Zusammenhang mit dem dual-task Paradigma.

### 3.5. Aufmerksamkeit

Bei dem Begriff Aufmerksamkeit standen in der Vergangenheit vor allem zwei Modellvorstellungen im Mittelpunkt, das sogenannte Strukturmodell und die Ansätze des Kapazitätsmodells. Bei dem Strukturmodell werden mehrere voneinander unabhängige Verarbeitungsstrukturen für verschiedene Sinnesmodalitäten vorausgesetzt. Daraus erwächst die Annahme, daß eine interferenzfreie Bearbeitung mehrerer verschiedener Informationen möglich ist, solange unterschiedliche Sinnesmodalitäten angesprochen werden. Bei empirischen Untersuchungen scheiterte dieser Ansatz an den gefundenen Interferenzen und Beschränkungen in der Informationsverarbeitung (Kahneman, 1973). Im Gegensatz dazu setzten Kapazitätsmodelle eine, nur begrenzt zur Verfügung stehende, Verarbeitungskapazität voraus (Kahneman, 1973; Norman & Bobrow, 1975). Die Aufmerksamkeitsressourcen sind dabei in Abhängigkeit von den Reizen und der Art der Verarbeitung abhängig. Nach dieser Modellvorstellung gibt es Probleme bei der gleichzeitigen Bearbeitung verschiedener Aufgaben, wenn die Summe der dafür notwendigen Kapazität die vorhandenen Ressourcen übersteigt.



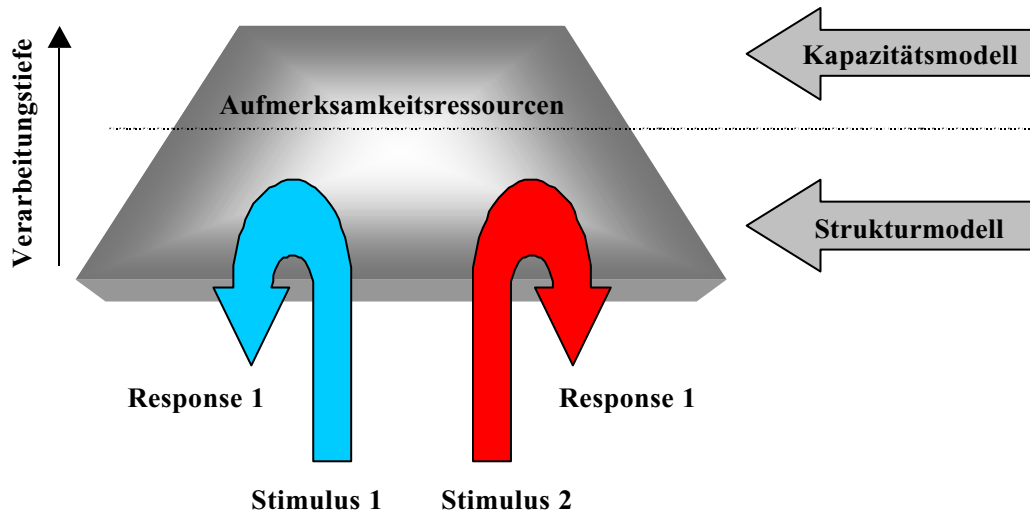


Abbildung 3-4: Modell 1 der Aufmerksamkeit

In Modell 1 wurde versucht beide Ansätze grafisch darzustellen. Dabei ist zu erkennen, daß im unteren Verarbeitungsbereich, also auf der perzeptiven Ebene, durchaus eine parallele Verarbeitung möglich ist. Mit der Zunahme kognitiver Beanspruchung, werden mehr Aufmerksamkeitsressourcen zur Aufgabenlösung benötigt, folglich ist eine parallele Verarbeitung ohne Interferenzen nicht mehr realisierbar.

Eine Integration der beiden Ansätze schlägt Wickens (1984) mit seinem ‚multiple resource model‘ vor. Er unterscheidet in seinem Modell drei verschiedene Quellen der Kapazität, hinsichtlich der *Verarbeitungsstufen*, der *Modalität* und des *Prozeßcodes*. In bezug auf die Verarbeitungsstufen trennt das Modell zwischen perzeptiver und zentraler Verarbeitung sowie der Reaktionsauswahl und -ausführung. Eine parallele Bearbeitung von Aufgaben verschiedener Sinnesmodalitäten ist besser möglich als eine kombinierte Bearbeitung von Aufgaben gleicher Modalität. Bezüglich der Prozeßcodes orientiert sich Wickens an den neuropsychologischen Erkenntnissen und teilt in räumliche und verbale Codes, erstere werden in der rechten, letztere in der linken Hemisphäre verarbeitet. Stokes (1990) konnte allerdings zeigen, daß motorische Tätigkeiten durchaus von gesprochenen Mitteilungen beeinträchtigt werden. Eine weitergehende Unterscheidung zwischen automatisierten Prozessen, die ohne großen Aufmerksamkeitsaufwand und deshalb parallel erfolgen können und kognitiv aufwendigen Abläufen, die eine serielle Verarbeitung benötigen, ist deshalb notwendig (Spada, 1992). Außerdem ist eine Erweiterung des Ansatzes auf die Reaktionen der eingehenden Reize notwendig, da eine simultane Reaktion nur möglich ist, wenn auch die „Ausgabekanäle“ voneinander getrennt sind.

In Modell 2 ist in Anlehnung an Wickens (1984) die Aufmerksamkeitsstruktur dargestellt. Bei genauerer Betrachtung handelt es sich dabei um eine Modifizierung des Modells 1, auf der linken Seite findet die Stimuluseingabe statt, auf der rechten Seite die entsprechende Reaktion. Bei der Aufmerksamkeitsstruktur läßt sich auch in diesem Modell erkennen, daß eine parallele Verarbeitung stattfinden kann, mit einer Zunahme der kognitiven Beanspruchung findet eine zentrale Verarbeitung statt, bei der die Ressourcen limitiert sind.

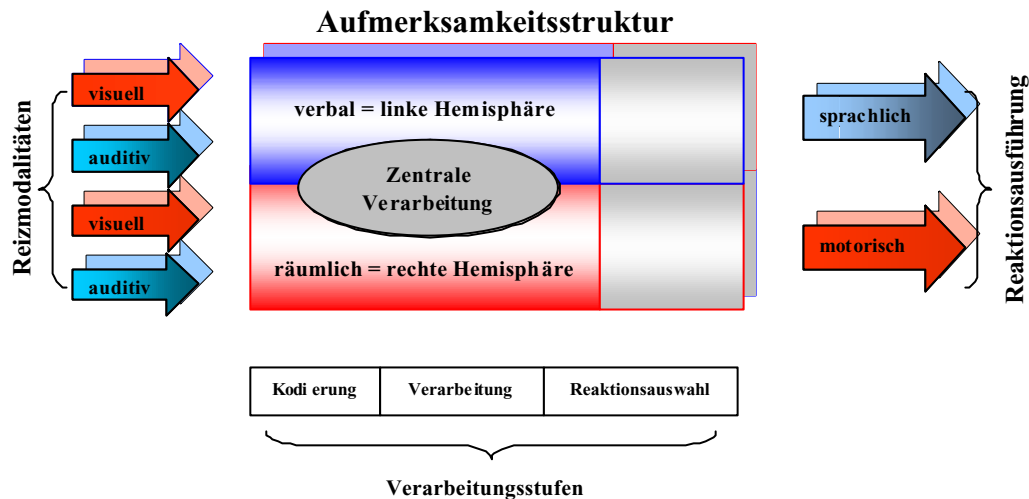


Abbildung 3-5: Modell 2 der Aufmerksamkeit

Ebenfalls eine hierarchische Stufung einer Stimulus-Response-Sequenz läßt sich in der Handlungsregulationstheorie von Hacker (1986) finden. Analog der Darstellung in Abbildung 3-2 sind auch in diesem Modell verschiedene Bewußtseisgrade zur Bewältigung einer Aufgabe notwendig, die dem kognitiven Aufwand entsprechen (Abbildung 3-6). Nach Baars (1997) hat die Bewußtheit einer Aufgabe einen entscheidenden Einfluß auf die Begrenzung der Verarbeitungskapazitäten.

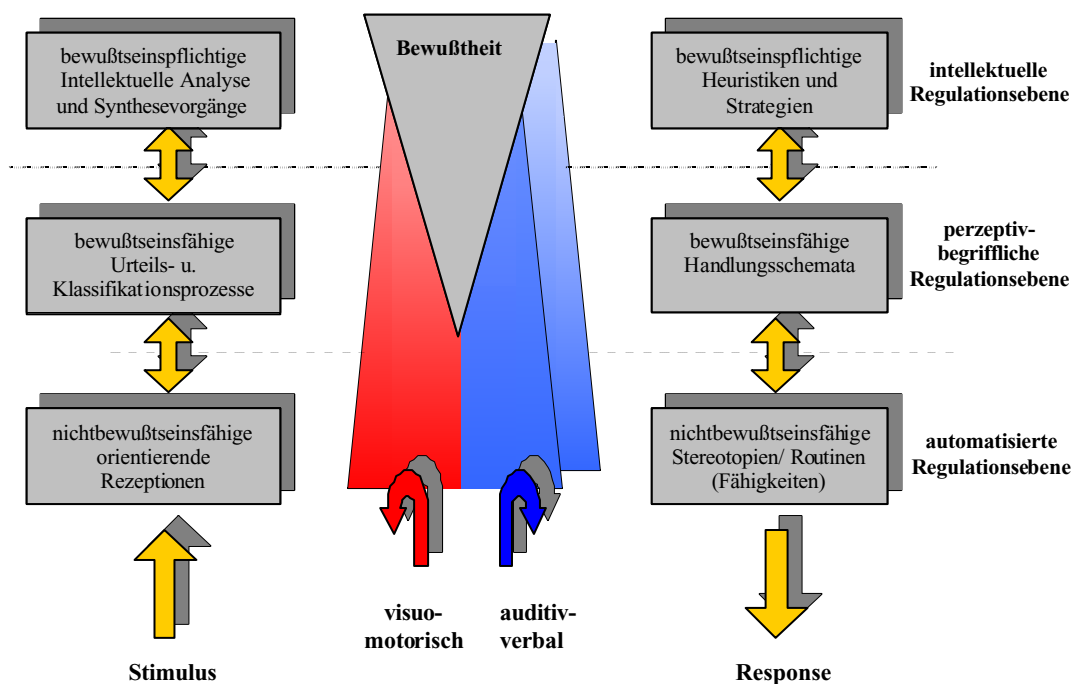


Abbildung 3-6: Zusammenhang zwischen den Ebenen der Handlungsregulation (Hacker, 1986) und der Informationsverarbeitung

Betrachtet man das Modell von Hacker im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Aufmerksamkeitsforschung, so wird deutlich, daß eine vollständig interferenzfreie Parallelverarbeitung nur möglich ist, wenn sowohl bei der Stimulusanalyse als auch bei Reaktionsauswahl und Reaktion keinerlei höhere kognitive Prozesse beteiligt sind. Eine solche Stimulus-

Response-Sequenz setzt allerdings eine vollständige Automatisierung voraus, d.h. es handelt sich annähernd um die Form eines bedingten Reflexes. Über solche Verbindungen interagieren wir mit unserer Umwelt allerdings nur im Ausnahmefall, selbst eine einfache Reaktion auf einen visuellen Reiz, erweist sich bei näherer Betrachtung als eine komplexe Kette von Reaktionsmustern, weshalb eine kognitive Bewußtheit berücksichtigt werden muß. Meinecke und Steininger (1996) zeigten, daß selbst bei eigentlich bisher als rein reizinduzierten (bottom-up) Reaktionen auf visuelle Reize, Hinweise auf Gedächtnisphänomene und folglich kognitive Verarbeitungsprozesse zu finden sind. Die scheinbar recht einfache und im Regelfall stark automatisierte visuomotorische Aufgabe der Spurhaltung beim Autofahren, sollte demnach einen, wenn auch geringen, Anteil der Aufmerksamkeitskapazität beanspruchen. Da in der vorliegenden Arbeit untersucht werden soll, inwieweit sich die Bewältigung zwei verschiedener Aufgabenarten auf das Autofahren auswirkt, müssen die vorhandenen Aufmerksamkeitsressourcen also geteilt werden. Dabei wird davon ausgegangen, daß die Aufgabenart (räumlich vs. verbal) einen Einfluß auf die Aufteilung der Aufmerksamkeitsressourcen hat.

### 3.6. Imagery Debatte

Den Hintergrund für diese Annahme bildet die Imagery Debatte. Der Beginn dieser Diskussion wurde ausgelöst durch eine Untersuchung von Paivio (1963, 1965), bei der sich zeigte, daß Wörter mit Vorstellungsbildern leichter zu behalten sind, als abstrakte Wortpaare, die sich nicht bildlich vorstellen lassen. Als Erklärung für diesen Effekt entwickelte Paivio die dual-coding theory (1971, 1986, 1992), welche die Existenz von zwei Informationsverarbeitungssystemen im Gehirn annimmt. Einerseits gibt es ein visuell-räumliches System, andererseits ein sprachlich-akustisches. EEG (Elektro-Enzephalogramm)-Messungen bestätigten diese Annahmen und es konnte eine unterschiedliche Verarbeitung von sprachlichen und bildlichen Informationen in den beiden Hemisphären des Gehirns gezeigt werden. Dieser Ansatz löste eine Reihe von Untersuchungen aus, mit denen einerseits versucht wurde diese Aussagen zu bestätigen (Paivio et al., 1988; Nelson & Schreiber, 1992; Sadoski et al., 1993), andererseits gab es eine Vielzahl von Widerlegungsversuchen und Alternativklärungen (Potter & Faulconer, 1975; Anderson, 1983; van Dijk & Kintsch, 1983; Snodgrass, 1984). Alternative Theorien nehmen eine amodale und abstrakte Speicherung (i.S. semantischer Netzwerke) an, die eigentlich nur für verbales Material angewendet wird.

Vor allem aber Kosslyn (1987) führte eine Vielzahl von Untersuchungen durch, um die Existenz mentaler Bilder zu bestätigen. Unter anderem ließ er Versuchspersonen eine Karte lernen; später wurden sie aufgefordert, sich in der Vorstellung auf der Karte zu bewegen. Kosslyn (1978) konnte dabei zeigen, daß mit zunehmender Distanz, die zurückgelegt werden sollte, die dafür benötigte Zeit linear anstieg. Ähnliches ließ sich auch für das von Shepard und Metzler (1971) untersuchte Phänomen der mentalen Rotation nachweisen. Heftige Kritik an diesem Ansatz übte Pylyshin (1981), indem er einerseits behauptete, mentale Bilder würden einen viel zu großen Speicherplatz beanspruchen, andererseits stellte er die Frage, womit interne, mentale Bilder betrachtet werden sollen. Kosslyn postuliert für die Verarbeitung und Betrachtung mentaler Bilder einen visuellen Arbeitsspeicher, der sich am Modell des Computers orientiert. Zur Interpretation der Bilder stehen dabei Funktionen wie zoomen, vergrößern bzw. rotieren zur Verfügung. Während der Interpretation mentaler Bilder wird die visuelle Aufmerksamkeit, im Einklang mit den Aufmerksamkeitskapazitätsmodellen, von der Umwelt abgezogen und stärker nach innen gerichtet. Im Gegensatz dazu ist bei der Bearbeitung verbaler Aufgaben im allgemeinen keine visuelle Aufmerksamkeit notwendig.

### 3.7. Blickbewegungen

Im folgenden soll auf einige wesentliche Grundbegriffe und die Funktionsweise des menschlichen Sehens eingegangen werden. Die Grundvoraussetzung für die visuelle Wahrnehmung sind Augenbewegungen, und das sogar in mehrfacher Hinsicht. Sie sind notwendig, um das Auge auf Objekte im Gesichtsfeld auszurichten und tragen dazu bei, daß diese Ausrichtung erhalten bleibt, selbst wenn sich das fixierte Objekt bewegt. Darüber hinaus ermöglichen spontane Augenbewegungen von sehr kleiner Amplitude die notwendige Stimulation der Photorezeptoren auf der Netzhaut (Retina), wodurch bei scheinbar ruhendem Auge erst das Zustandekommen eines Seheindrucks möglich wird. Auf der Retina befinden sich zwei verschiedene Arten von lichtempfindlicher Rezeptoren, Stäbchen und Zapfen, erstere sind lediglich hell/dunkel empfindlich und befinden sich hauptsächlich in der Peripherie, die Zapfen sind zuständig für das Farbsehen und konzentrieren sich in der Mitte der Netzhaut. Dieses Gebiet in der Mitte wird als Netzhautgrube oder Fovea centralis bezeichnet und ist die Stelle des schärfsten Sehens, da nur auf diesem Gebiet Einzelheiten der abgebildeten Objekte gut unterscheidbar sind. Scharfes Sehen ist lediglich in einem Winkel von ca.  $1^\circ$  um den Fixationsort herum möglich, je weiter entfernt Objekte in der Peripherie abgebildet werden, desto unschärfer und farbloser ist die Wahrnehmung aufgrund der Rezeptorverteilung. Bereits bei einer Abweichung von  $3^\circ$  vom Fixationsort vermindert sich die Sehschärfe um die Hälfte.



Abbildung 3-7: Darstellung einer retinalen Abbildung bei Tageslicht

#### 3.7.1. Sakkaden und Fixationen

Um Objekte, die sich in der Peripherie befinden exakt wahrnehmen zu können, besteht die Notwendigkeit, diese in den Bereich der Fovea zu rücken. Dies erfolgt mittels ruckartiger Blicksprünge, sogenannten Sakkaden. Dabei handelt es sich um willkürlich oder unwillkürlich ausgelöste Augenbewegungen, die charakterisiert sind durch Geschwindigkeiten von bis zu  $1000^\circ/\text{sec}$  und normalerweise Amplituden zwischen  $2^\circ$  und  $50^\circ$  erreichen (Unema, 1995). Beim natürlichen Umherschauen finden etwa 3-4 Sakkaden pro Sekunde statt, dabei handelt es sich um ballistische Augenbewegungen, d.h. sie sind in ihrer Größe und Richtung nach vorprogrammiert und können, einmal angestoßen, nicht mehr in ihrem Ablauf geändert werden. Die Dauer einer Sakkade beträgt 10 bis 80 ms. Bei jedem Blicksprung verschiebt sich das Bild auf der Netzhaut, da jedoch während einer Sakkade keine visuelle Informationsaufnahme stattfindet (Hoffman, 1996), wird diese Verschiebung nicht wahrgenommen. Auch 50 ms vor Beginn und 50 ms nach Beendigung einer Sakkade nimmt das Auge fast keine visuel-

len Informationen auf (Russo, 1978). Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Sakkadenlatenz, damit ist der Zeitabschnitt vom Erscheinen eines visuellen Stimuli bis zum Beginn einer Sakkade dahin gemeint. Im allgemeinen liegen die Sakkadenlatenzen zwischen 180 und 240 ms (Deubel, 1994).

Zwischen den beschriebenen Blicksprüngen ruht das Auge, es wird fixiert. Während der Fixation findet die Aufnahme visueller Informationen statt. Fixationen haben eine Dauer von 100-2000 ms mit einer Konzentration im Bereich von 200-600 ms. Bei längeren, meist willkürlichen Fixationen (500-2000 ms) treten langsame Verschiebungen des Fixationspunktes auf. Um dieser Verschiebung (Drift) entgegenzuwirken werden mikrosakkadische Rücksprünge unternommen. Im Anschluß an eine Fixation wird eine erneute Sakkade ausgelöst. Dieser ständige Wechsel wird durch einen optomotorischen Zyklus geleistet, der im allgemeinen automatisch und ohne bewußtes Zutun im Gehirn abläuft. Wie allerdings zu Beginn des Kapitels bereits erwähnt, läßt sich die Blickrichtung auch willkürlich steuern, bestimmte Dinge können bewußt angeschaut werden, andere werden bewußt nicht angesehen. In der Regel wird der Blick dahin ausgerichtet, wo etwas gesehen wird, was die Aufmerksamkeit auf sich zieht. Dabei stellt sich die Frage, wie etwas, was noch gar nicht gesehen wurde, die Aufmerksamkeit auf sich ziehen kann. Bei den hier dargestellten Parametern wurde nur auf die notwendigen Grundlagen eingegangen. Weitergehende Darstellungen zu Blickbewegungen finden sich bei Unema (1995), Kandel et al. (1991) sowie bei Deubel (1994).

### **3.7.2. Der Zusammenhang von Blickbewegungen und Aufmerksamkeit**

In der vorliegenden Arbeit soll u. a. untersucht werden, welche unterschiedlichen Einflüsse das Bearbeiten einer räumlichen bzw. einer verbalen Aufgabe auf die visuomotorische Tätigkeit der Spurführung beim Autofahren hat. Daß die Registrierung der Augenbewegung dabei im Vordergrund steht läßt sich bereits von dem Wort "visuo-motorisch" ableiten, denn es sind visuelle Informationen notwendig, um die motorische Aufgabe bewältigen zu können. Um eine der beiden Nebenaufgaben während der Fahrt bewältigen zu können, ist es nötig, die Aufmerksamkeitsressourcen zu teilen. Es ist darum notwendig, den Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeit und Blickbewegungen darzustellen.

Bereits Engel (1976) stellte fest, daß die Blickbewegungen und die Ausrichtung der räumlichen Aufmerksamkeit weder völlig identisch, noch völlig unabhängig voneinander sind. Einerseits ist es möglich, die Aufmerksamkeit auf unterschiedliche Teile des Gesichtsfeldes zu rücken, ohne daß dabei offene Blickbewegungen auftreten (u.a. Eriksen & Eriksen, 1974; Posner, 1980). Andererseits ließ sich nachweisen, daß eine Reaktion auf einen Reiz schneller erfolgt, wenn zuvor eine Blickbewegung in diese Richtung provoziert wurde (Crovitz & Davies, 1962; Nissen et al., 1978). Die Aufmerksamkeit wurde also durch die vorher erfolgte Blickbewegung bereits in die entsprechende Richtung gelenkt.

Mittlerweile gilt als gesichert, daß der Aufmerksamkeitsfokus ohne jegliche Augenbewegung verlagert werden kann (Posner et al., 1980; Reeves & Sperling, 1986). Der umgekehrte Zusammenhang, d.h. die Möglichkeit einer Blickbewegung ohne gleichzeitige Aufmerksamkeitsverlagerung, ist dagegen eher umstritten. Rizzolatti et al. (1973, 1985, 1987, 1994) haben sich in einer Vielzahl von Untersuchungen mit diesem Sachverhalt beschäftigt. Anhand der Untersuchungsergebnisse wurde die premotorische Theorie der Aufmerksamkeit entwickelt. Diese, auf neuropsychologischen und kognitiven Erkenntnissen aufbauende Theorie, postuliert einen engen Zusammenhang zwischen der Sakkadensteuerung und der Verlagerung der visuellen Aufmerksamkeit. Dabei wird davon ausgegangen, daß das motorische Zentrum zur Sakkadengenerierung im Gehirn vor allem im Superior Colliculus (SC) lokalisiert ist und

sich an dieser Stelle auch das Zentrum der visuellen Aufmerksamkeit befindet. Aufgrund dieser engen Verknüpfung wurde behauptet, daß die Auslösung einer Sakkade immer auch mit der Verlagerung der Aufmerksamkeit zu diesem Ort hin verbunden ist. Diese Behauptung konnte mit einer Vielzahl von Untersuchungen bestätigt werden (Rizzolatti et al., 1994).

Darüber hinaus läßt sich feststellen, daß eine Sakkadengenerierung auch auf dem Kontinuum von konzeptgesteuert (top-down) bis reizinduziert (bottom-up) möglich ist. Damit ist nichts anderes gemeint, als daß die Auslösung von Sakkaden durch kognitive Prozesse erfolgen kann, bis hinab zu der Ebene der bedingten Reflexe. Findlay und Walker (in press) nennen in diesem Zusammenhang fünf Funktionen, die Sakkaden erfüllen können:

1. Erlangung von Informationen über die visuelle Umgebung,
2. Suche nach neuen Stimulationsquellen,
3. visuelle Suche nach bestimmten Zielobjekten,
4. geordnetes Scannen, z.B. beim Textlesen,
5. Orientierung auf saliente (bedeutsame) neue Ereignisse im visuellen Feld.

Dabei sind die unter 5. genannten Sakkaden laut Findlay und Walker von reflexartiger Qualität und reizgesteuert („stimulus elicited saccades“). Auch Engel (1977) stellt fest, daß Blickbewegungen stark von der visuellen Umgebung abhängig sind. Allerdings kann dieser externe Einfluß auf die Augenbewegungen durch interne Vorgänge reduziert werden. Weiner und Ehrlichman (1976) postulieren in ihrem Inferenz-Modell, daß visuelles Denken (mentale Bilder) durch eine verringerte sakkadische Aktivität erleichtert wird, indem visuelle Informationen aus der Umgebung ausgeschlossen werden und damit die externe Stimulation reduziert wird. Bergstrom und Hiscock (1988) bestätigten dieses Modell zunächst in einem Experiment, bei welchem Probanden verbale, visuell-räumliche und musikalische Aufgaben ausführen sollten. Während der visuell-räumlichen Aufgabe war die sakkadische Aktivität deutlich reduziert. In einem zweiten Experiment wurde zusätzlich die Schwierigkeit der Aufgaben gestuft, nun ließ sich, im Widerspruch zum Inferenzmodell von Weiner und Ehrlichman (1976) feststellen, daß auch die auditive Aufgabe mit höheren Aufmerksamkeitsanforderungen die sakkadische Aktivität reduzierte.

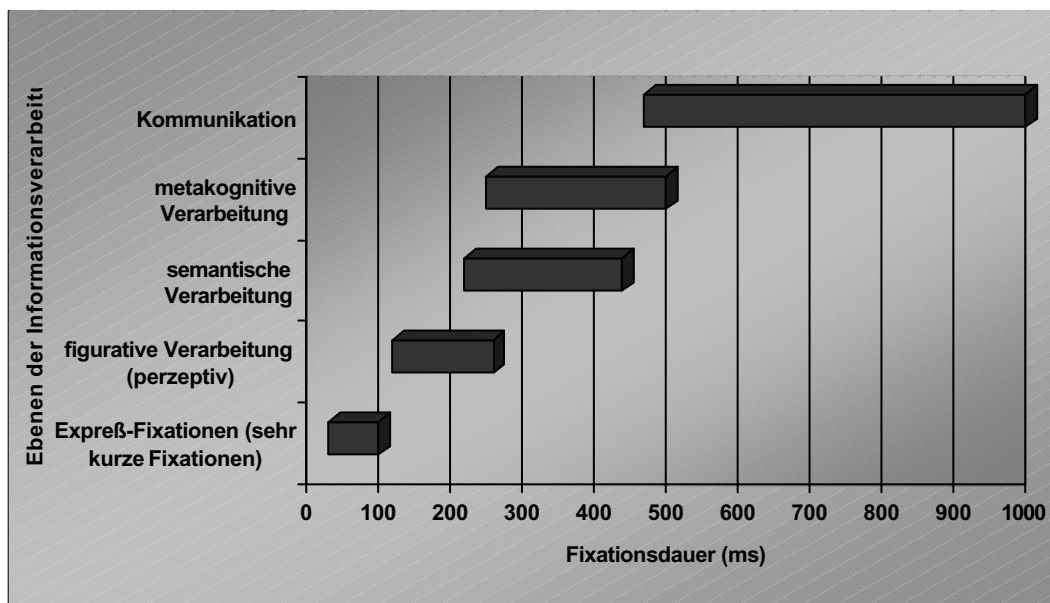
Harris et al. (1988) nehmen an, daß eine Sakkade mit einer spezifischen Wahrscheinlichkeit ausgelöst wird, welche lediglich vom Stimulusmaterial abhängig ist. Der Basismechanismus der Sakkadenauslösung ist demnach ein nicht-kognitiver Reflex, der jedoch durch kognitive Faktoren gehemmt werden kann. Auch Findlay und Walker (in press) schlagen ein Modell der Sakkadengenerierung vor, in welchem die Augen auf den unteren Ebenen reflexartig auf äußere Reize reagieren. Wie bereits weiter oben festgestellt wurde, verläuft der optomotorische Zyklus autonom, d.h. die Augen werden jeweils auf den Reiz mit der größten Salienz gerichtet. Eine Beeinflussung der Augenbewegungen infolge kognitiver Prozesse oder durch Willkür ist also nur durch Einflußnahme auf diesen unteren Ebenen der Steuerung möglich, indem übergeordnete Instanzen den Reflex unterbinden und die Augen auf andere im Sehfeld befindliche Objekte lenken. Bergstrom und Hiscock (1988) beobachteten eine Reduzierung der sakkadischen Aktivität bei visuell-räumlichen Vorstellungen, aber auch bei auditiven Aufgaben mit höheren Aufmerksamkeitsanforderungen. Eine Veränderung der sakkadischen Aktivität ist natürlich mit einer Änderung der Fixationsparameter verbunden.

### **3.7.3. Fixationsdauer als Indikator für die Tiefe der Verarbeitung**

Mittels der Fixationsdauer lassen sich Aussagen über die Tiefe der kognitiven Verarbeitung machen. Craik und Lockhart (1972) entwickelten ein hierarchisches Modell der Informations-

verarbeitung, demnach eine Verarbeitung auf rein perzeptiver Ebene bis hin zu einer hohen kognitiven Ebene möglich ist, dabei handelt es sich um die sogenannten levels of processing (LOP). Nach diesem Modell erfolgt zunächst eine Dekodierung der Oberflächenmerkmale auf der perzeptiven Ebene, bevor eine weitergehende semantische, die Bedeutung betreffende Kategorisierung stattfindet.

Neuere Untersuchungen legen noch die Hinzunahme einer metakognitiven (kreativen oder selbstreferentiellen) Ebene nahe. Velichkovsky (1994) konnte zeigen, daß sich die Ebenen der Informationsverarbeitung mit der Aktivität unterschiedlicher Hirnareale verbinden läßt. Mit modernen bildgebenden Verfahren (Kohärenzverfahren im EEG, PET, funktionelle MRT) konnte inzwischen gezeigt werden, daß unterschiedliche Ebenen der Informationsverarbeitung entsprechende neurophysiologische Korrelate aufweisen und es sich demzufolge bei den unterschiedlichen Ebenen tatsächlich um verschiedene kognitive Prozesse handelt. Darüber hinaus ließ sich ein positiver Zusammenhang zwischen der Verarbeitungstiefe und der Fixationsdauer nachweisen (Velichkovsky, 1997). In der Untersuchung sollten die Versuchspersonen Schwarzweißbilder unbekannter Gesichter auf der perzeptiven (mehr schwarz oder weiß?), der semantischen (Mann oder Frau?) oder auf der metakognitiven (sympathisch oder unsympathisch?) Ebene bearbeiten.



**Abbildung 3-8: Fixationsdauer als Indikator der Ebenen der Informationsverarbeitung**

Die Ergebnisse sind in der Abbildung 3-8 dargestellt und zeigen, daß ein signifikanter Anstieg der Fixationsdauern entsprechend der oben beschriebenen Ebenen zu verzeichnen ist. Während die mittlere Fixationsdauer in der perzeptiven Bedingung bei 120-250 ms lag, sind bei der metakognitiven Bedingung Fixationen mit einer Dauer von 250-500 ms zu erkennen. Neben den unterschiedlichen Fixationsdauern deuten Ergebnisse aus einer Untersuchung zum Textlesen bzw. Bearbeiten von Wortmatrizen darauf hin, daß auch die Schiefe der Verteilung der Fixationsdauern zwischen verschiedenen Verarbeitungstiefen differenziert (Bauer, 1998).

„Kommunikative Fixationen“ wurden in Aufgaben gefunden, bei denen zwei Partner gemeinsam ein Problem zu lösen hatten. In denjenigen Fällen, in denen beide ihre Aufmerksamkeit auf ein Objekt richteten oder sich über Objekte verständigten, stiegen Fixationen mit einer Dauer von über 500 ms stark an.

Der Zusammenhang zwischen der Tiefe der Verarbeitung und den Augenbewegungsdaten wurde bisher vorwiegend bei der Verarbeitung visuellen Materials untersucht. Eine Untersuchung von Petrak (1998) mit visuellen und akustischen Reizen konnten den Zusammenhang zwischen den Verarbeitungsebenen und den Fixationsdauern nicht bestätigen.

#### **3.7.4. Pupillengröße als Indikator für die mentale Beanspruchung**

Eine Vielzahl von Untersuchungen deutet darauf hin, daß auch die Pupillengröße als Maß mentaler Beanspruchung betrachtet werden kann. So fanden Kahneman und Beatty (1966) eine positive Korrelation bezüglich der Vergrößerung des Pupillendurchmessers und der Anzahl von Einheiten, die im Kurzzeitgedächtnis gespeichert werden. Diese Annahme wird von Zimmer (1984) gestützt, der bei Aufgaben verschiedener Schwierigkeit den größten Pupillendurchmesser bei solchen Aufgaben fand, bei denen die Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses am größten war. Auch Hess und Polt (1964) stellten beim Lösen unterschiedlich schwerer Multiplikationsaufgaben fest, daß sich der Durchmesser der Pupille mit der Schwierigkeit der Aufgabe vergrößert. Weiterhin berichten Ahern und Beatty (1982) über eine Erhöhung des Pupillendurchmessers während der Suche im Langzeitgedächtnis.

Obwohl zahlreiche Untersuchungen belegen, daß die Pupillengröße einen Indikator für die mentale Beanspruchung darstellt ist die praktische Anwendung dieses Augenparameters nicht unproblematisch. Besonders die Leuchtdichte hat erheblich größeren Einfluß auf den Pupillendurchmesser als die mentale Beanspruchung. Auch Gesundheitszustand und Alter haben Einfluß auf die Pupillengröße. Bei einer Konstanthaltung der Helligkeit (Labor) kann die Veränderung des Pupillendurchmessers jedoch durchaus Aufschluß über kognitive Prozesse geben.

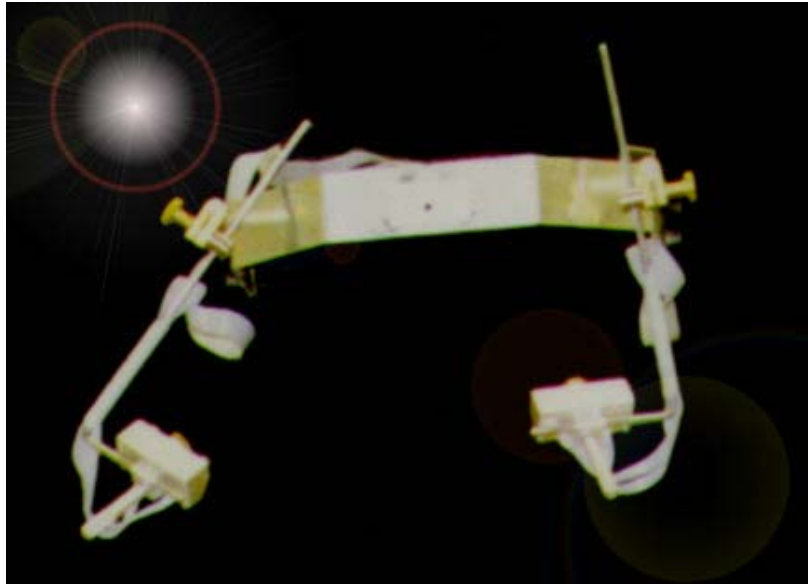
#### **3.7.5. Blickbewegungsregistrierung**

Bereits seit etwa 100 Jahren werden mittels verschiedenster Methoden Augenbewegungen objektiv erfaßt. Bis in die späten 60er Jahre fanden objektive Messungen von Augenbewegungen mit Hilfe mechanischer, fotografischer und elektromagnetischer Verfahren statt. So ließ sich bereits um die Jahrhundertwende anhand einer fotografischen Methode, die Dynamik von Augenbewegungen präzise bestimmen (z.B. Dodge & Cline, 1901). Auf diesem Wege war es schon damals möglich, zwischen den schnellen Sakkaden und den langsameren Augenbewegungstypen, wie den Folgebewegungen, zu unterscheiden. Alle Methoden hatten jedoch vor allem eines gemeinsam – die hohe und unangenehme physische Belastung für den Probanden: So befestigte man z.B. einen winzigen Spiegel an einer Kontaktlinse, schickte dann einen kleinen Lichtstrahl auf den Spiegel, der wiederum den Lichtstrahl auf einen Schirm reflektierte (Hubel, 1990). Bei einer weiteren Methode wurde eine winzige Drahtspule um die Kontaktlinsenkante montiert und die Versuchsperson zwischen zwei orthogonale Paare großer, ringförmiger Drahtspulen gesetzt; Ströme in diesen Spulen induzierten Ströme in der Kontaktlinsenspule, die geeicht werden konnte, um eine präzise Verfolgung der Blickbewegungen zu ermöglichen (z.B. Yarbus, 1967). Fast immer war eine zusätzliche Fixierung des Kopfes notwendig. Diese Verfahren wurden ausschließlich für die medizinische und physiologische Forschung genutzt.

Erst mit dem Aufkommen videobasierter Verfahren wurde es in den 70er Jahren erstmals möglich, weitgehend *berührungslos* Augenbewegungen zu verfolgen und in Echtzeit Blickorte im Raum zu ermitteln. Bei allen videobasierten Verfahren wird das Auge mit infrarotem Licht bestrahlt und von einer Infrarot-Videokamera aufgenommen. Durch die Aus-



wertung des Videobildes kann dann die Position des Pupillenschwerpunktes ermittelt werden. Es existieren sowohl kopfgestützte als auch berührungslose Systeme (Eyetracker). Bei kopfgestützten Systemen sind die Videokameras zur Beobachtung der Augen am Kopf befestigt (siehe Abbildung 3-9). Auf diese Weise wird lediglich die Augenbewegung relativ zum Kopf gemessen, so daß zusätzliche Verfahren zur Registrierung von Kopfbewegungen notwendig werden.



**Abbildung 3-9: Kopfgestützter Eyetracker EyeLink™ der Firma SR Research, Ltd. wie er gegenwärtig im Dresdner Blickbewegungslabor eingesetzt wird.**

Bei berührungslosen Systemen werden dagegen mehrere Merkmale des Auges verfolgt, deren relative Lage zueinander sich bei Augen- bzw. Kopfbewegungen unterschiedlich ändert. In der Regel wird zusätzlich die Reflexion des 1. Purkinjebildes, die sogenannte *Cornealreflexion* ausgewertet. Hierbei handelt es sich um einen kleinen hellen Punkt inner- oder unterhalb der Pupille, der durch die Reflexion des infraroten Lichtes an der Außenseite der Cornea entsteht. Bei Kopfbewegungen sorgen Spiegelsysteme oder eine zweite (Weitwinkel-) Kamera für eine Nachführung der Augenkamera, so daß sich das Bild des Auges ständig im Kamerafokus befindet.

Da kopfgestützte Eyetracker den berührungslosen Systemen an Genauigkeit der Blickregistrierung überlegen sind, werden sie in der physiologischen und psychologischen Forschung meist vorgezogen. Eine Blickregistrierung im Fahrzeug erfordert dagegen in jedem Fall den Einsatz berührungsloser Systeme. Von einer problemlosen und vor allem genauen Erfassung der Blickbewegungen beim Autofahren kann man jedoch zur Zeit „noch“ nicht ausgehen. Die Stabilität der Datenerfassung über einen längeren Zeitraum und das Tragen von Brillen bzw. Kontaktlinsen werden in vielen Forschungsberichten (z.B. Hansen et al., 1995 oder Hermann, 1997) als unzureichend kritisiert. Auch die beim Steuern eines Fahrzeugs nicht zu vernachlässigenden Kopf- und Körperbewegungen führen gegenwärtig (Hermann, 1997) zu einer Blickerfassungsrate von maximal 84 Prozent.

Die Entwicklungen der letzten Jahre versprechen jedoch Verbesserungen, so daß bei einer Bestätigung der Nützlichkeit von Eyetracking-Systemen in Fahrzeugen (zu Interaktionszwecken oder zur Nutzeranalyse für unterstützende Fahrerassistenzsysteme)

entsprechende Entwicklungen nicht an der technischen Realisierbarkeit scheitern werden (Steudel, 1999).

### 3.7.6. Blickverhalten und visuelle Aufmerksamkeitsverteilung beim Fahren

Liu (in press), Pentland & Liu (1999), sowie Liu et al. (1998) gehen von charakteristischen Verhaltens- und Blickbewegungsmustern für verschiedene mentale Zustände aus, anhand derer Wahrscheinlichkeiten für das zukünftige Fahrverhalten, z. B. für das Überholen eines vorausfahrenden Fahrzeugs, errechnet werden können. Die Identifizierung gefahrensspezifischer Blickbewegungsmuster und die hemisphärenspezifische Aufmerksamkeitsverteilung des Autofahrers wurden jedoch in keiner von den Autoren gesichteten Literatur untersucht. Nach Senders et al. (1967) ist zur Absolvierung der Fahraufgabe eine bestimmte Menge an Informationsaufnahme über Straße und Verkehrsgeschehen notwendig. Dazu gelangt der Fahrer durch die Entnahme von visuellen „Informationsstichproben“ (Fixationen) aus der Umwelt. Durch die sich ständig ändernde Umgebung sinkt die Relevanz der bereits aus der Umwelt entnommenen Information und weicht einer zunehmenden Unsicherheit über die Verkehrssituation, so daß erneute Informationsstichproben entnommen werden müssen. Durch die ständige Entnahme von Informationsstichproben versucht der Fahrer ein komfortables Informationsniveau zu halten. Zwahlen et al. (1988) geht jedoch davon aus, daß der Schwellwert zur Erreichung eines bestimmten Informationsniveaus bei besonders langen Fixationen unterschritten wird. Einzelblickdauern von über 1,5 s gelten als kritisch (Wierwille et al., 1988). Mit der Erhöhung der Komplexität der Aufgabe kommt es jedoch in der Regel zu mehr Blicken, nicht zu längeren, so daß die Haltung eines komfortablen Informationsniveaus möglich ist. Dementsprechend sinkt die Fixationsdauer bei steigender Geschwindigkeit oder auf kurvigen oder unübersichtlichen Straßen (Cohen, 1985). Cohen (1998) erklärt diese Erhöhung der Blickanzahl mit steigender Komplexität durch die höhere Informationsdichte: Aufgrund der limitierten Informationsaufnahmekapazität kann der Fahrer nicht alle Informationsträger fixieren, sondern muß den Input selektiv auswählen, indem er seinen Blick nur auf möglichst viele relevante Objekte fixiert. Das Wahrnehmen von *relevanten* Informationen wird hierbei durch das als „Alarmsystem“ (Gramberg-Danielsen, 1967) fungierende periphere Sehen unterstützt: Dieses ist in der Lage die Stelle der nächstfolgenden Fixation festzulegen, ermöglicht es die Inputs aus den einzelnen Fixationen räumlich zu integrieren und trägt zur Wahrnehmung von besonders auffälligen Objekten bei. In diesem Zusammenhang wird häufig auch von zwei speziellen, sich ergänzenden Aufmerksamkeitsmechanismen gesprochen: Einem räumlichen System, das dem Auge mitteilt, *wo* es sich hinbewegen soll („where“-system) und einem zeitlichen System, das dem Auge mitteilt, *wann* eine Sakkade initiiert wird („when“-system).

Hoffman (1979) geht von zwei aufeinander folgenden Phasen der visuellen Suche aus: Einer anfänglichen Phase „voraufmerksamer Verarbeitung“, die dazu dient, interessierende Objekte in der visuellen Umgebung zu lokalisieren, gefolgt von einer zweiten Phase der „aufmerksamen Verarbeitung“, in der die Objekte identifiziert und bewußt untersucht werden. In dieser Phase können nur wenige Objekte (oft nur eines) zur gleichen Zeit verarbeitet werden – sie formt den „Flaschenhals“ der visuellen Verarbeitung. Die Dauer der Fixation läßt sich hier willentlich beeinflussen, was in der Regel zu längeren Fixationen führt. Studien von Velichkovsky et al. (1995) und Pomplun (1998) stützen diese Annahmen.

Zusammenfassend ist bei zunehmender Dichte des Informationsflusses mit einer Steigerung der visuellen Aktivität in Form einer erhöhten Fixationsfrequenz zu rechnen. Erst beim „Eintauchen“ in den Bereich einer hohen Informationsdichte sinkt diese Frequenz ab und die Dauer der Fixationen nimmt zu (Möhler, 1988). Miura (1992) weist darauf hin, daß sich in

gefährlichen Situationen, bedingt durch die begrenzte Bearbeitungskapazität, die Zeit zum Erkennen relevanter Objekte durch dieses „tiefere Fixieren“ verlängert (spätes Erkennen).

Lachenmayr (1995) und Cohen (1998) berichten über eine Veränderung des Blickverhaltens mit zunehmender Fahrpraxis: Mit zunehmender Fahrpraxis wird die Informationsaufnahme in die Ferne verlagert. Anfängliche relativ ziellose Suchbewegungen werden nach und nach durch vorausschauende längere Blickzuwendungen zu potentiellen Gefahrenobjekten abgelöst, so daß erfahrene Kraftfahrer eher in der Lage sind, relevante Informationen zu selektieren. Mourant und Rockwell (1972) gehen davon aus, daß mit zunehmender Fahrpraxis das periphere Sehen an Bedeutung gewinnt und so Fixationen von weiter vorausliegenden Bereichen möglich werden; eine Annahme, die durch Untersuchungen von Summala (1998) gestützt wird. Renge (1980) untersuchte mittels der sogenannten Kommentarmethode (Verbalisierung von situationsbedeutsamen äußeren Bedingungen) die visuelle Aufmerksamkeit und kam zu einem ähnlichen Ergebnis: Erfahrene Fahrer berichteten eher über Objekte, die für sicheres Fahren wichtig sind, als Probanden ohne Fahrerfahrung. Nach Cohen (1993) verlangt eine solche Anpassung des Blickverhaltens an die Erfordernisse der Umwelt ein mehrjähriges Wahrnehmungslernen.

### **3.8. Systeme zur Unterstützung des Autofahrers**

Die gegenwärtig ständig ansteigende Verkehrsdichte macht es erforderlich, den Autofahrer mit Informationen versorgen, die ihn beim sicheren Führen des Fahrzeugs unterstützen. An der Entwicklung spezieller Systeme, die dies ermöglichen können, wird bereits seit einiger Zeit gearbeitet. Eine Umsetzung solcher Systeme im Fahrzeug kann deshalb, sofern nicht bereits schon geschehen in naher Zukunft erwartet werden (Färber & Färber, 1998). Der Einsatz solcher Systeme bietet vielfältige Möglichkeiten, dabei ist die Gestaltung von zentraler Bedeutung, damit das System den Fahrer unterstützt, und nicht eine zusätzliche Ablenkung darstellt. Um das gewährleisten zu können, sind gewisse Anforderungen bei der Umsetzung vonnöten, wobei Erkenntnisse aus verschiedenen Bereichen der Psychologie eine große Hilfe darstellen. Einen Überblick über verschiedene Systeme und eine Einschätzung hinsichtlich deren Praxistauglichkeit geben Färber und Färber (1998).

Neben der Frage, welches System wann eingesetzt werden soll, ist die Gestaltung des Dialogs mit solchen Systemen von zentraler Bedeutung. In einer Vielzahl von Untersuchungen wurde bisher versucht, herauszufinden, in welcher Weise sich die Dialoggestaltung zwischen Fahrer und System optimieren läßt. Grundlegend ist festzustellen, je mehr Systeme im Fahrzeug untergebracht werden sollen, desto stärker stellt sich das Problem der Informationskonkurrenz. Würden diese Systeme jeweils autonom arbeiten, jedes mit eigener Anzeige, eigenen Bedienelementen und eigener Ausgabelogik, welche die Zustände der anderen Systeme außer acht läßt, wären Armaturenbrett und Mittelkonsole schnell überladen. Das Resultat wäre eine visuelle und kognitive Ablenkung des Fahrers, die sich mit einer sicheren Fahrzeugführung nicht vereinbaren ließe.

Als Lösung für dieses Problem wird vielfach die Integration dieser Komponenten in ein zentrales Information-Management-System vorgeschlagen und bewertet (Heintz, 1985; Angermüller, 1992). Dieses System analysiert das Verkehrsgeschehen sowie Fahrzeug und Fahrer, tauscht Daten mit Fahrleitsystemen aus, nimmt Eingaben von einer zentralen Bedieneinheit entgegen und stellt die für die Fahraufgabe und -sicherheit notwendigen oder vom Fahrer angeforderten Funktionen in einer zentralen Anzeige und/oder einem Head-up Display dar.

### 3.9. Information-Management-System

Bei dem vorgeschlagenen System handelt es sich um ein elektronisches Display, welches von einem zentralen Prozessor gesteuert wird. Der Vorteil ist offensichtlich, statt der Vielzahl von Einzelinstrumenten, können die relevanten Daten im primären Blickfeld des Fahrers dargestellt werden. Diese Entwicklung entspricht der Tendenz im Flugzeugbau, wo diese Art der Informationsdarbietung bereits seit geraumer Zeit erfolgreich eingesetzt wird (im Cockpit eines Verkehrsflugzeuges sind mehr als 400 Warnmeldungen vorhanden, im Pkw bis zu 100).



**Abbildung 3-10: Beispiel für ein Information-Management-System (COMAND von Mercedes-Benz)**

Im folgenden soll einerseits auf den Bildschirm und andererseits auf Navigationssysteme näher eingegangen werden, da sich die zweite Untersuchung im wesentlichen auf die Gestaltung dieser beiden Systemkomponenten bezieht. Für den Bildschirm, der sowohl Informationsdarbietung, als auch Informationsabruf ermöglicht, hat sich allgemein der Begriff Multifunktionsdisplay durchgesetzt.

#### 3.9.1. Multifunktionsdisplay

Da die meisten Informationen über den Fahrverlauf optisch kontrolliert werden, stellt jede Ablenkung des Fahrerblicks eine mögliche Gefährdung dar. Der Gestaltung und Platzierung des Multifunktionsdisplays kommt deshalb ein sehr hoher Stellenwert zu, da während des Ablesens von Informationen vom Display wesentliche Informationen aus der Fahrumgebung verloren gehen können.

Die Darstellung von Informationen mittels multifunktionaler Displays bietet eine Vielzahl von Möglichkeiten, dabei lassen sich aus kognitionspsychologischer Perspektive sowohl Vor- als auch Nachteile verzeichnen. Als vorteilhaft erweist sich, daß die Bildschirmanzeige bildlich erfolgen kann, das ist förderlich für die Behaltensleistung. Durch konkrete Bereitstellung von Handlungshilfen läßt sich eine Entscheidungsfindung erheblich erleichtern. Eine Studie von Färber und Färber (1984) unterstützt diese Vermutung. Als unvorteilhaft ist zu bewerten, daß durch Multifunktionsdisplays neue Gedächtnisanforderungen entstehen, da Algorithmen

zu erlernen sind, wie Informationen abgerufen werden können. Diese Algorithmen müssen im Gedächtnis gespeichert und jederzeit abrufbereit sein. Aufgrund der Darbietung von unterschiedlichen Informationen an gleichen Bildschirmpositionen steigt die Wahrscheinlichkeit von Verwechslungen. Aus der sukzessiven Darbietung von Informationen (es können nicht alle Informationen ständig dargeboten werden) resultiert die „Verdeckung“ bestimmter Daten, dadurch wird das Gedächtnis stärker belastet und es können bestimmte Gedächtnisfehler auftreten. Kebeck und Cieler (1997) beschäftigten sich in einer Untersuchung mit der Informationsdarbietung bei Multifunktionsdisplays aus gedächtnispsychologischer Sichtweise. Zusammenfassend läßt sich ableiten, daß besonders bei Kommando- bzw. Kontrollanzeigen eine simultane Informationsdarbietung zu empfehlen ist, außerdem sollte die Darstellung numerischer Werte vermieden werden.

### 3.9.2. Navigationssysteme

Speziell für Navigationssysteme im Auto sind einfache links-rechts Instruktionen zu bevorzugen (Schraagen, 1993; Parkes & Martell, 1990; Ashby et al., 1991). Eine Darstellung von Kartenausschnitten auf dem Display erwies sich in den Untersuchungen als ungeeignet. Um die Beanspruchung des Fahrers so gering wie möglich zu halten, ist es vorteilhaft, immer nur eine Navigationsinstruktion darzubieten (Schraagen, 1993). Lediglich unter der Bedingung, daß die Fahrzeit bis zu dem Punkt, an dem eine Entscheidung über die weitere Fahrtrichtung getroffen werden soll, weniger als 10 Sekunden beträgt, ist die Darbietung von zwei Navigationsinstruktionen gleichzeitig zu empfehlen (Alm & Berlin, 1990). Färber und Popp (1990) variierten die Position des Displays (Armaturentafel vs. über der Mittelkonsole) unter verschiedenen Navigationsinstruktionen. Dabei zeigte sich, daß das Display über der Mittelkonsole bei einer einfachen, symbolischen Navigationsanzeige ebenso gut zu erkennen ist, wie bei der Darbietung der Informationen auf der Armaturentafel.



Abbildung 3-11: Navigationssystem mit Pfeilhinweisen und Sprachausgabe, wie es gegenwärtig von BMW eingesetzt wird



Abbildung 3-12: Navigationssystem mit Routenkarte, wie es gegenwärtig von BMW eingesetzt wird

Neben der Gestaltung des Displays ist es natürlich von entscheidender Bedeutung, den Dialog von Fahrer und System so zu gestalten, daß die Beanspruchung so gering wie möglich gehalten, die Unterstützung dagegen so groß wie möglich wird. Detaillierte Informationen über die Planung und Gestaltung von Navigationssystemen im Fahrzeug geben Parkes (1989) und Zimmer (1990).

Verwey (1993) untersuchte, inwieweit die Bearbeitung von Nebenaufgaben verschiedene Fahrparameter beeinflussen. Dabei stellte er fest, analog zu dem bereits dargestellten Aufmerksamkeitsmodell von Wickens (1984), daß eine visuell dargebotene Aufgabe schlechter gelöst wird, als eine Aufgabe, bei der die Aufgabenstellung akustisch übermittelt wird. Außerdem fand er heraus, daß vor allem bei Fahranfängern der visuelle Kanal viel stärker belastet ist, als bei erfahreneren Fahrern. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Ergebnissen von Fastenmeier et al. (1993). Bei der Untersuchung wurden verschiedene Formen der Navigation im Fahrzeug verglichen, dabei zeigte sich, daß die akustische Information als primäres Informationssystem dient, optische Anzeigen fungierten dabei eher als Beigabe bzw. provozierten durch die Blickabwendungen möglicherweise sogar Fehler.

## 4. EXPERIMENT 1

### 4.1. Hypothesen

Experiment 1 soll Hinweise darauf geben, *ob spezifische Blickbewegungsparameter als Indikatoren für die Erkennung einer Gefahrensituation isoliert werden können*. Unter Berücksichtigung der im theoretischen Teil dieser Arbeit angeführten Forschungsergebnisse, erscheint eine Beantwortung dieser Frage *realistisch* und vor allen Dingen *praktisch relevant*. Aus der o.g. Fragestellung ergeben sich folgende theoretisch begründete Arbeitshypothesen, deren Untersuchung zur endgültigen Beantwortung der Fragestellung führen sollen:

*Hypothese I:* Der Prozeß der Wahrnehmung einer unmittelbaren Gefahr führt zu einer Erhöhung der mittleren Fixationsdauer und damit verbunden zu einer Senkung der Sakkaden – und Fixationsfrequenz.

*Hypothese II:* Die Erhöhung der mittleren Fixationsdauer beim Prozeß des Wahrnehmens einer unmittelbaren Gefahr geht mit einer Verringerung der Sakkadenamplituden zu diesem Zeitpunkt einher.

Nach einer Lokalisierung des Gefahrenobjektes mit Hilfe des peripheren Systems wird das Suchverhalten eingeschränkt: In einer Phase der aufmerksamen Informationsverarbeitung kommt es zu einer „Bündelung“ der Fixationen unter geringerer Beachtung der Peripherie (Hoffman, in press). In dieser Phase ist mit willentlich verlängerten Fixationen des Gefahrenobjektes zu rechnen. Weiterhin ist, bedingt durch das „Eintauchen“ in einen Ausschnitt der Umweltinformation, mit einer Verringerung der Sakkadenamplituden zu rechnen.

*Hypothese III:* Der Prozeß der Wahrnehmung einer unmittelbaren Gefahr führt zu einer Vergrößerung des Pupillendurchmessers.

Eine Vielzahl von Untersuchungen deutet darauf hin, daß die Pupillengröße bei einer Konstanthaltung der Helligkeitsverhältnisse als Maß mentaler Beanspruchung genutzt werden kann: Der Durchmesser der Pupille vergrößert sich mit dem Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe. Da das Reagieren auf eine Gefahr eindeutig eine schwierige Aufgabe darstellt ist mit einer Vergrößerung des Pupillendurchmessers zum Zeitpunkt der Gefahrenerkennung zu rechnen.

### 4.2. Methoden

#### 4.2.1. Versuchspersonen

Im November 1998 fanden Vorversuche statt, an denen 16 Versuchspersonen aus dem Bekanntenkreis der Autoren teilnahmen. Sieben Personen waren weiblichen und neun Personen männlichen Geschlechts. Das Alter variierte zwischen 20 und 45 Jahren.

Nach Abschluß der Voruntersuchungen wurde im Zeitraum vom 20.02.1999 bis 15.03.1999 die Hauptuntersuchung durchgeführt. Die Stichprobe bildeten hierbei 24 Studenten die über



Aushänge in der TU-Dresden rekrutiert wurden. 13 Probanden waren weiblichen und 11 männlichen Geschlechts.

#### 4.2.2. Versuchsplan

Zur Untersuchung der Fragestellung wurde ein Laborexperiment konzipiert. Hierzu wurde ein zweifaktorielles Design mit Meßwiederholung gewählt (Tabelle 4-1).

Der Faktor "*Gefahrensituation*" wurde zweifach gestuft:

- Eine Verkehrssituation, die Gefahr beinhaltet
- Eine Verkehrssituation, die keine Gefahr beinhaltet

Der Faktor "*Fahraufgabe*" wurde vierfach gestuft:

- Eine statische Bedingung, in der Videostandbilder von gefährlichen und ungefährlichen Verkehrssituationen dargeboten wurden
- Eine dynamische Bedingung, in der digital aufgezeichnete Videosequenzen von gefährlichen und ungefährlichen Verkehrssituationen dargeboten wurden
- Eine dynamische Fahrsimulator-Bedingung mit eingeschaltetem Autopilot, in der gefährliche und ungefährliche Verkehrssituationen dargeboten wurden
- Eine dynamische Fahrsimulator-Bedingung, in der gefährliche und ungefährliche Verkehrssituationen dargeboten wurden

Die Faktoren und deren Abstufungen wurden jeweils von allen Probanden durchlaufen. Der Faktor "*Gefahrensituation*" wurde folgendermaßen operationalisiert:

*Gefahr:* Es wird eine potentielle oder unmittelbare Gefahr im Sichtbereich des Probanden dargeboten.

*Keine Gefahr:* Es wird *keine* potentielle oder unmittelbare Gefahr im Sichtbereich des Probanden dargeboten.

**Tabelle 4-1: Allgemeiner Versuchsplan.**

	Fahraufgabe			
	Statisch (Standbild)	Dynamisch ohne Steuerung (Video)	Dynamisch ohne Steuerung (Simulator)	Dynamisch mit Steuerung (Simulator)
Gefahr	BB, RT, F, PD	BB, RT, F, PD	BB, RT, F, PD	BB, RT, RMSE, F, PD
Keine Gefahr	BB, RT, F, PD	BB, RT, F, PD	BB, RT, F, PD	BB, RT, RMSE, F, PD

BB: Blickbewegungen; RT: Reaktionszeit; F: Fehler/Falscher Alarm; RMSE: Fahrfehler; PD: Pupillendurchmesser

Es wurden die Einflüsse der unabhängigen Variablen auf die abhängigen Variablen „Blickbewegungsparameter“ (Fixationsdauer und -verteilung, Sakkadenlatenzen und -amplituden, Pupillendurchmesser), "Reaktionszeit", "Fehler oder falscher Alarm" (Bremsen vs. Nichtbremsen) und "Spurhaltung" erfaßt. Als Kovariablen wurden die Fahroutine, die Erfahrung



beim Spielen mit Fahrsimulatoren, Medikamenten- und Alkoholkonsum sowie die Schlafdauer in der Nacht vor dem Experiment erhoben.

Um den Hauptversuchsteil "Simulator-Bedingung" als Einheit durchzuführen, ergaben sich folgende drei (statt vier) Versuchsteile und deren vollständige Permutation in bezug auf die Versuchspersonen, um Reihenfolge- und Übungseffekte zu minimieren (siehe Tabelle 4-2):

**Tabelle 4-2: Detaillierter Versuchsablauf.**

Reihenfolge der Versuchsteildarbietung			Vpn.-Nr.
1 g1 g2	2	b1 d 3 a12 f12 b2	<b>1</b>
1 g2 g1	2	b1 d 3 a12 f21 b2	<b>2</b>
1 g1 g2	2	b1 d 3 a21 f12 b2	<b>3</b>
1 g2 g1	2	b1 d 3 a21 f21 b2	<b>4</b>
1 g2 g1	b1 d 3 a12 f12 b2	2	<b>5</b>
1 g1 g2	b1 d 3 a12 f21 b2	2	<b>6</b>
1 g2 g1	b1 d 3 a21 f12 b2	2	<b>7</b>
1 g1 g2	b1 d 3 a21 f21 b2	2	<b>8</b>
2	1 g1 g2	b1 d 3 f12 a12 b2	<b>9</b>
2	1 g2 g1	b1 d 3 f12 a21 b2	<b>10</b>
2	1 g1 g2	b1 d 3 f21 a12 b2	<b>11</b>
2	1 g2 g1	b1 d 3 f21 a21 b2	<b>12</b>
2	b1 d 3 f12 a12 b2	1 g2 g1	<b>13</b>
2	b1 d 3 f12 a21 b2	1 g1 g2	<b>14</b>
2	b1 d 3 f21 a12 b2	1 g2 g1	<b>15</b>
2	b1 d 3 f21 a21 b2	1 g1 g2	<b>16</b>
b1 d 3 f12 a12 b2	1 g1 g2	2	<b>17</b>
b1 d 3 f12 a21 b2	1 g2 g1	2	<b>18</b>
b1 d 3 f21 a12 b2	1 g1 g2	2	<b>19</b>
b1 d 3 f21 a21 b2	1 g2 g1	2	<b>20</b>
b1 d 3 a12 f12 b2	2	1 g2 g1	<b>21</b>
b1 d 3 a12 f21 b2	2	1 g1 g2	<b>22</b>
b1 d 3 a21 f12 b2	2	1 g2 g1	<b>23</b>
b1 d 3 a21 f21 b2	2	1 g1 g2	<b>24</b>

### 1. Videosequenzen:

Da die Darbietung aller 18 Videos in einem Darbietungsdurchgang die Zeit von 7 Minuten überschreiten würde und man so gegen Ende des Trials ungenaue Daten bekommen kann, wurden zwei Trials zu je neun Videos dargeboten. So war, im Sinne der Datengenauigkeit, eine Neukalibrierung des Eyetrackers möglich. Innerhalb der beiden Trials wurden die Videos zufällig dargeboten. Die Darbietungsreihenfolge der Trials wechselte unter den Probanden.

### 2. Standbilder:

Die Standbilder wurden zufällig dargeboten.

### 3. Fahrsimulator:

Hier wurden die Bedingung mit Autopilot und die Bedingung ohne Autopilot, sowie die Baseline-Bedingungen aus Datensicherheitsgründen, jeweils wieder in zwei Trials geteilt. Die Darbietungsreihenfolge der Trials innerhalb der Bedingungen wechselte unter den Probanden.

Auch die Darbietungsreihenfolge der Bedingungen "Autopilot" und "Fahren" (ohne Autopilot) wechselte unter den Probanden. Die Baseline-Bedingungen wurden jeweils am Anfang und am Ende des Simulator-Versuchsteils durchgeführt. Nach der Anfangsbaseline wurde jeder Person vom Versuchsleiter dieselbe kurze Simulatorsequenz mit Beispielgefahren angeboten.

Die beschriebene Teilung in drei Versuchsteile soll eine Einschätzung des Einflusses von dynamischem (vs. statischem) Bildmaterial zulassen und zusätzlich die Möglichkeit bieten, die Aufzeichnungen am Fahrsimulator mit den Aufzeichnungen bei „realistischerem“ Reizmaterial zu vergleichen.

### 4.2.3. Versuchsmaterial

#### *Fragebogen*

Es kam ein von den Autoren entwickelter Fragebogen mit einer Vor- und Nachbefragung zum Einsatz (siehe Anhang 1-B). Der Fragebogen erhob Angaben zur Person. Weiterhin wurde ein vorgefertigter Bogen verwendet, auf dem Verhaltensbeobachtungen sowohl zu speziellen Versuchsteilen, als auch im allgemeinen notiert wurden (siehe Anhang 1-C).

#### *Videosequenzen*

Als Versuchsmaterial für Versuchsteil 1 (Videosequenzen) kamen 18 Videosequenzen von 20 s Länge zum Einsatz (neun gefährliche und neun ungefährliche Verkehrssituationen). Diese wurden speziell für diese Studie während einer Autofahrt im Raum Dresden, aus der Sicht des Fahrers aufgenommen. Anhand eines "Drehbuches" wurden unterschiedliche gefährliche und ungefährliche Verkehrssituationen gestellt und aufgezeichnet. Darüber hinaus wurden auch „zufällig“ gefilmte Situationen für die Untersuchung verwandt. Die Aufnahme erfolgte mit einer Digitalkamera, anschließend wurden die Sequenzen in ein hardwareunabhängiges Videoformat (AVI / Cinepak Codec, 20 Bilder/s, 640×480 Bildpunkte) umgewandelt und somit für die Darbietung am Versuchs-Rechner aufbereitet - der Ton wurde hierbei nicht verwendet. Die Darbietung der Videosequenzen am Versuchsrechner erfolgte mittels eines speziell für diesen Versuch von S. Steudel in C++ programmierten Programms. Ein Beispiel für eine Videosequenz, die eine gefährliche Situation beinhaltet, stellt eine Fußgängerin dar, die eine Straße überquert, unerwartet ihren Pullover verliert und diesen wieder von der Straße nimmt.

Ein Beispiel für eine Videosequenz ohne gefährliche Situation stellt eine übersichtliche, leere Landstraße dar.

#### *Standbilder*

Das Versuchsmaterial für Versuchsteil 2 (Standbilder) bildeten 18 Standbilder, die unter anderem den o.g. Videosequenzen entnommen wurden. Es wurden möglichst Standbilder aus Sequenzen gemacht, die nicht in Versuchsteil 1 (Videosequenzen) verwendet wurden. So sollte einer möglichen Wiedererkennung der Situation entgegengewirkt werden. Die Darbietung der Videostandbilder am Versuchsrechner erfolgte ebenfalls mittels eines speziell für diesen Versuch von S. Steudel in C++ programmierten Programms. Die Darbietungsdauer eines Standbildes betrug vier Sekunden. Ein Beispiel für ein Standbild, das eine gefährliche Situation darstellt, stellt ein nahes, vorausfahrendes Fahrzeug dar, dessen Bremslichter leuchten (Abbildung 4-1). Ein Beispiel für ein Standbild, das eine ungefährliche Situation zeigt, ist eine übersichtliche, leere Landstraße. Die Darbietungsdauer der Standbilder betrug jeweils fünf Sekunden.



**Abbildung 4-1: Standbild, das eine gefährliche Situation darstellt.**

#### *Fahrsimulator*

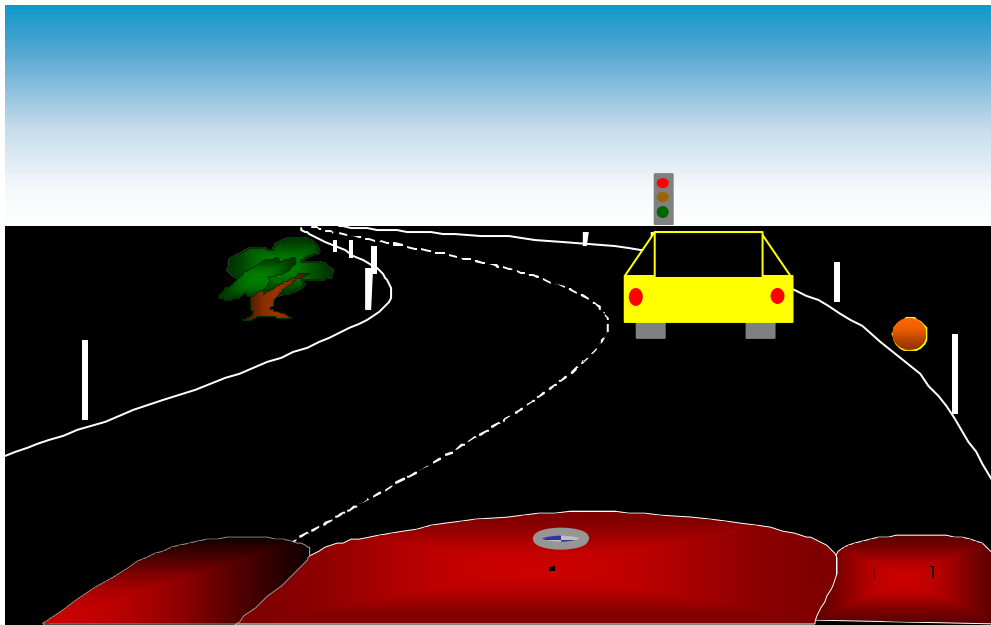
Für den dritten Versuchsteil (Fahrsimulator) wurde die Algorithmik eines im Institut für Arbeits-, Organisations- und Sozialpsychologie der TU Dresden von Dr. Pieter Unema entwickelten und in Borland Pascal 7.0 für DOS vorliegenden Fahrsimulators übernommen. Bei den Baseline-Bedingungen (3b1 und 3b2) bestand der Fahrsimulator aus der Darstellung einer zweispurigen Straße mit Mittellinie sowie Details einer Motorhaube und Kotflügel. Der Himmel war blau, die Straße und die Umgebung schwarz, die Motorhaube und die Kotflügel rot gefärbt. In der Mitte der Motorhaube befand sich ein Fadenkreuz, das die Mitte des Fahrzeuges kennzeichnet. In der Mitte des unteren Drittels befand sich ein Tachometer, der die aktuelle Geschwindigkeit anzeigte. Die Einheiten des Tachos stellten keine Stundenkilometer dar. Die Straße war aus Kurven unterschiedlicher Radien zusammengesetzt, die sich in ihrer Orientierung stets abwechselten (quasiwillkürliche Reihenfolge). Die unterschiedlichen Radien sollten eine völlige Automatisierung verhindern, die beispielsweise bei sinusförmigen Wellen eintreten könnte. Weitere Fahrzeuge oder Hindernisse befanden sich nicht auf der Straße. Der Fahrsimulator wurde mit Hilfe eines Lenkrades der Marke ThrustMaster® und dem dazugehörigen Gas- und Bremspedal bedient. Beide Baseline-Bedingungen dauerten vier Minuten. Die Bedingungen ohne Autopilot (3f1 und 3f2) entsprachen bis auf folgende Ausnahme denen der Baseline-Bedingungen: Hier tauchten zusätzlich verschiedene Objekte in unregelmäßigen Abständen im Fahrbereich auf. Einige dieser Objekte signalisierten *unmittelbare* Gefahr z.B. eine grüne Ampel, die ohne Gelbphase auf rot umspringt (vgl. Abbildung 4 2) Eine Ampel, die durchgehend grün geschaltet war, signalisierte *potentielle* Gefahr. *Keine* Gefahr signalisierte z.B. ein am Straßenrand stehender Busch oder kein Objekt. Insgesamt wurden drei Arten unmittelbar gefährlicher Ereignisse, drei Arten potentiell gefährlicher Ereignisse und ein unkritisches Ereignis implementiert (Tabelle 4-3.).

**Tabelle 4-3: Arten von möglichen Ereignissen in der Simulatorbedingung.**

<b>Unmittelbare Gefahr</b>	<b>Potentielle Gefahr</b>	<b>Keine Gefahr</b>
Vorausfahrendes Fahrzeug bremst	Vorausfahrendes Fahrzeug	Busch steht am Straßenrand
Grüne Ampel wird rot	Grüne Ampel	Nichts
Ball rollt auf die Fahrbahn	Ball liegt am Straßenrand	

Das Timing der auftauchenden Ereignisse wurde so gesetzt, daß der Ort, an dem sich das Ereignis vollzieht bei gleichbleibender Geschwindigkeit nach 2,5 s erreicht wird. Beide Bedingungen ohne Autopilot dauerten 165 Sekunden.

Die Bedingungen mit Autopilot (3a1 und 3a2) entsprachen bis auf folgende Ausnahme denen der Bedingung ohne Autopilot: Der Autopilot war eingeschaltet, das heißt das Fahrzeug steuerte selbständig um die Kurven. Beide Bedingungen mit Autopilot dauerten 165 Sekunden. Die Gefahrendemonstrationsbedingung (d) wurde vom Versuchsleiter vorgeführt und beinhaltete, der Reihenfolge entsprechend, die Demonstration folgender Ereignisse: Ein Ball liegt rechts am Straßenrand; ein Ball rollt von rechts auf die Fahrbahn; eine Ampel springt von grün auf rot. Die Dauer dieser Bedingung betrug 35 Sekunden.



**Abbildung 4-2: Fahrsimulator inklusive aller möglichen Ereignisse. Eine gleichzeitige Darstellung fand in der vorliegenden Untersuchung jedoch nicht statt.**

### **Eyetracker**

Zur Verfolgung der Blickbewegungen wurde ein kopfgestützter Eyetracker der Marke EyeLink™ der Firma SR Research, Ltd. eingesetzt.

### **Rechner**

Alle Versuche wurden auf einem PC mit einem Pentium Pro®-Prozessor mit 300 MHz Taktfrequenz und 128 MB Hauptspeicher durchgeführt.

### **Datenbeamer**

Zur Projektion der Versuchsteile auf die Leinwand wurde ein Datenbeamer der Marke Diamond® verwendet.

### **Videokamera**

Die Videosequenzen wurden mit einer digitalen Videokamera der Marke Panasonic® aufgezeichnet.

### **Projektionsfläche**

Als Leinwand fungierte eine Milchglasscheibe mit einer Diagonalen von 135 cm.

Die programmiertechnische Realisierung der Versuchsanordnung erfolgte mit Microsoft™ Visual C++<sup>®</sup> 5.0 und DirectAnimation™ unter Windows95™.

#### 4.2.4. Versuchsaufbau

Die Blickbewegungen wurden mit einem kopfgestützten Eyetracker der Marke EyeLink™ der Firma SR Research, Ltd. aufgezeichnet (Abbildungen 3-9 und 4-3). Die Blickregistrierung erfolgt bei diesem System auf der Basis eines Videookulographie-Verfahrens, bei dem das Auge von einer infraroten Lichtquelle bestrahlt und das entstehende Bild der Pupille von einer am Kopf befestigten Videokamera aufgenommen wird. Diese Daten wurden an einen *Steuerrechner* weitergeleitet, auf dem die Bilder der Kopfkamera ausgewertet wurden sowie Blickpunkte (*Samples*) und Blickereignisse (*Events*) berechnet wurden. Während eines Versuchsteils war es möglich, die Blickbewegungen eines Probanden „online“ auf einem Kontrollbildschirm des Steuerrechners zu beobachten. Der Datenaustausch zwischen Anwendungs- und Steuerrechner (Eyetracker-Rechner) erfolgte dabei über eine Ethernet-Verbindung. Weiterhin wurden an der Leinwand 4 LEDs angebracht, deren Bild von einer weiteren Kamera aufgenommen und zur Kompensation von Kopfbewegungen genutzt wurde. Die Genauigkeit des Systems wird vom Hersteller mit 0,5° angegeben. Zur Minimierung von Körper- und Kopfbewegungen saßen die Versuchspersonen in einem Zahnarztbehandlungsstuhl, der ein Anlehnen des Kopfes ermöglichte. Fußstütze und Armlehnen wurden entfernt, so daß eine Sitzposition ähnlich der beim Autofahren gegeben war. Mit Hilfe eines Lenkrades der Marke ThrustMaster® und dem dazugehörigen Gas- und Bremspedal wurde der Simulator bedient. Auf Gefahren in den Videosequenzen und Standbildern sollte mit dem Bremspedal reagiert werden.

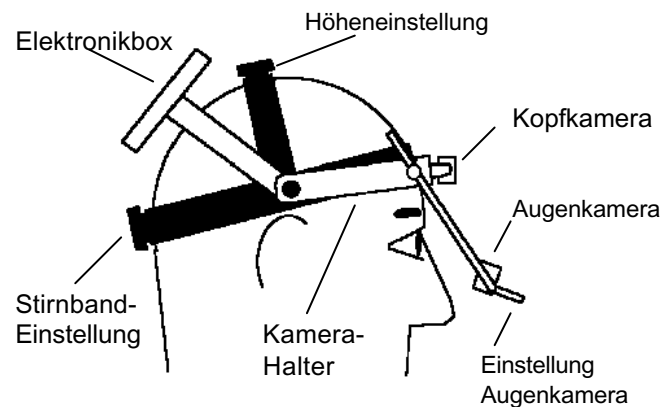


Abbildung 4-3: Schematische Darstellung des Eyetrackers.

Die Darbietung des Reizmaterials erfolgte mittels Rückprojektion des Videobeamers auf die Milchglasscheibe. Die Entfernung der Probanden zur Leinwand betrug etwa 160 cm, was einem effektiven Darstellungswinkel von ca. 30° vertikal und 40° horizontal entspricht. Die Augen befanden sich auf Höhe der Mitte der Leinwand. Die programmiertechnische Realisierung der Versuchsanordnung erfolgte mit Microsoft™ Visual C++<sup>®</sup> 5.0 und DirectAnimation™ unter Windows95™. Abbildungen 4-4, 4-5 und 4-6 zeigen den Versuchsaufbau:

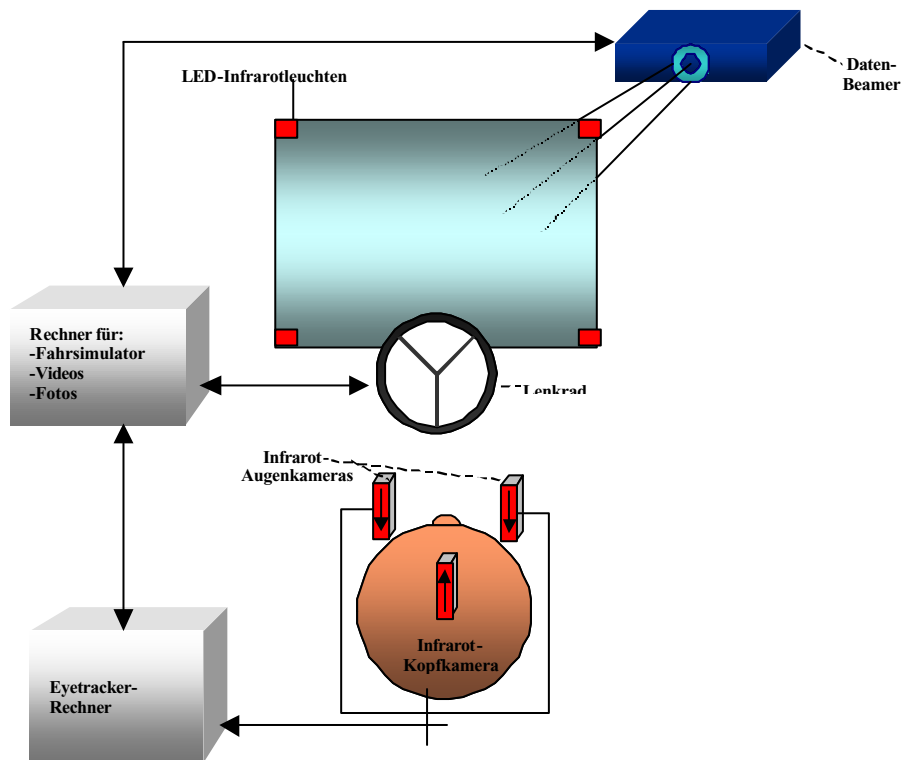


Abbildung 4-4: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus.



Abbildung 4-5: Bild 1 des Versuchsaufbaus



Abbildung 4-6: Bild 2 des Versuchsaufbaus

#### 4.2.5. Versuchsdurchführung

Um Videosequenzen auszusortieren, deren Situationen sich nicht eindeutig dargestellt hatte, wurde im November 1998 ein Vorversuch durchgeführt. Hierbei wurde 16 Versuchspersonen 22 digitalisierte Videos à 20 Sekunden auf einem 17"-Monitor dargeboten. Die Hälfte der Videos stellten unmittelbare Gefahrensituationen dar, die andere Hälfte beinhaltete keine Gefahren. Die Versuchspersonen wurden instruiert dann eine Taste auf der Tastatur zu betätigen, wenn sie ohne zu Bremsen oder ohne Auszuweichen auf ein Objekt auffahren oder ein Objekt umfahren würden. Keine der hieran beteiligten Personen nahm am späteren Hauptversuch teil.

Der Hauptversuch wurde im Zeitraum vom 20.02.1999 bis 15.03.1999 im Blickbewegungs-labor des Instituts für Psychologie III für Arbeits-, Organisations- und Sozialpsychologie der

TU-Dresden durchgeführt. Im Versuchsraum war ausschließlich der Versuchsleiter und die jeweilige Versuchsperson anwesend. Nach der Begrüßung wurden die Probanden jeweils zum Beginn des Versuchs aufgefordert, einen Fragebogen mit einer Vorbefragung auszufüllen. Hiermit erfolgte eine Befragung hinsichtlich soziodemographischer und persönlicher Sachverhalte. Weiterhin wurden darin z.B. Fragen zu Vorerfahrungen mit Computern und zur Fahrpraxis gestellt (Fragebogen siehe Anhang 1-B). Danach forderte der Versuchsleiter die Probanden auf, auf dem Stuhl vor dem Lenkrad Platz zu nehmen und sich so hinzusetzen, daß sie bequem lenken können. Sie wurden darauf hingewiesen, daß diese Sitzposition während des Experiments nicht mehr verändert werden dürfe, da sonst die Aufzeichnung der Augenbewegungsdaten verzerrt würde. Nun wurde den Probanden der Versuchsaufbau kurz erläutert und der Eyetracker angepaßt. Dabei wurde in groben Zügen erklärt, auf welchem Prinzip die Aufzeichnung der Augenbewegungen beruht. Es folgten jeweils die einzelnen Versuchsteile mit ihrer zuvor für jeden Probanden individuell festgelegten Reihenfolge (Tabelle 4-2). Unter Berücksichtigung der inneren Teilung der Versuchsteile ergaben sich acht Trials. Vor jedem Trial wurde der Eyetracker neu kalibriert. Weiterhin wurden die Versuchspersonen vor jedem Trial mit einer ausführlichen, standardisierten Instruktion auf die bevorstehende Aufgabe vorbereitet. Die Instruktionen wurden jedem Probanden in gleicher Form vom Versuchsleiter *vorgelesen* (Instruktionen siehe Anhang 1-A). Da Eyetracking-Versuche als sehr anstrengend erlebt werden können, bot der Versuchsleiter zwischen den Trials Pausen an, die auch vereinzelt wahrgenommen wurden. Nach Beendigung des letzten Trials wurde den Probanden der Eyetracker abgenommen und erneut der o.g. Fragebogen vorgelegt (siehe Anhang 1-B). Bei dieser Nachbefragung sollte angegeben werden, welches Ereignis der Simulatorfahrten am schwierigsten als Gefahr zu erkennen war. Während des gesamten Versuchs wurde ein vorgefertigter Bogen verwendet, auf dem Verhaltensbeobachtungen sowohl zu speziellen Versuchsteilen, als auch im allgemeinen notiert wurden (siehe Anhang 1-C). Im Anschluß an den Versuch wurden den Probanden auf Wunsch die Ziele der Untersuchung erläutert. Der gesamte Versuch dauerte zwischen einer und eineinhalb Stunden.

#### 4.2.6. Erhobene Daten

Bei der Aufzeichnung der Blickbewegungsdaten wurden die vom EyeLink™-System bereitgestellten Mechanismen zur Erstellung einer EDF-Datei genutzt. In komprimierter Form enthielten diese Dateien alle im Versuchsverlauf angefallenen Daten über Blickpunkte und Blickereignisse (Fixationen, Sakkaden, Lidschläge). Ebenfalls Inhalt der EDF-Dateien waren die Informationen über das dargebotene Material (Dateiname, Länge, korrekte Lösung) sowie die Reaktionen der Versuchspersonen (Reaktionszeit). Bei den Simulatorbedingungen wurde jeweils ein zusätzliches Verhaltensfile aufgezeichnet, welches Steuerzustand, Ereignisse (Gefahren), Lenkwinkel, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Fahrfehler (RMSE), Fahrwinkel sowie Reaktionen auf Ereignisse registrierte. Der durch den RMSE (Root Mean Square Error) dargestellte Fehler ist einheitenlos und linear. Unter der gängigen Annahme von 3,60 m je Fahrspur (Zwahlen, 1988) entspricht eine Einheit ca. 0,2 cm Spurabweichung in der realen Welt. Aus diesen Dateien wurden anschließend die für diese Untersuchung bedeutungsvollen Informationen über das Blick- und Antwortverhalten extrahiert. Weiterhin wurden, wie bereits erwähnt, mittels eines Fragebogens Angaben zur Person aufgenommen (siehe Anhang 1-B).

#### 4.2.7. Auswertung

Die statistische Datenanalyse wurde anhand des statistischen Programmpakets SPSS für Windows vorgenommen. Es wurde die aktuelle Version 8.0 für Windows 95/98 verwandt.

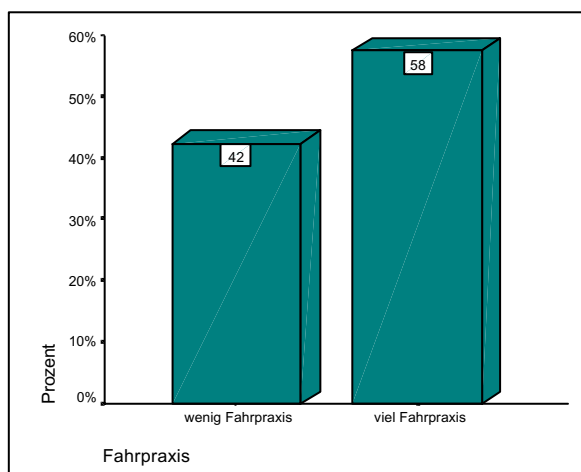
Als Nachschlagewerke für die statistische Auswertung dienten Bortz (1999), Brosius (1999) sowie Bühl und Zöfel (1996). Das Datenniveau der vorliegenden Daten entspricht ausschließlich intervallskalierten Daten, so daß die Auswertung mit dem Verfahren der Varianzanalyse erfolgen konnte. Die Voraussetzung der Normalverteilung der abhängigen Variablen konnte vernachlässigt werden, da die Varianzanalyse bei einem Stichprobenumfang von mehr als zehn Probanden gegenüber Verletzungen dieser Voraussetzung relativ robust ist (Bortz, 1999). Da jeder Proband alle Versuchsbedingungen absolvierte, mußte dies in einem Modell mit Meßwiederholung berücksichtigt werden. Es wurden daher alle statistischen Signifikanztests mit der Routine des Allgemeinen linearen Modells für Meßwiederholung realisiert. Diese Model beinhaltet den Mauchly-Test auf Sphärizität, der die Voraussetzung der Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrix testet. Alle durchgeführten Analysen finden sich auf der CD-ROM, die dieser Arbeit beiliegt.

### 4.3. Ergebnisse

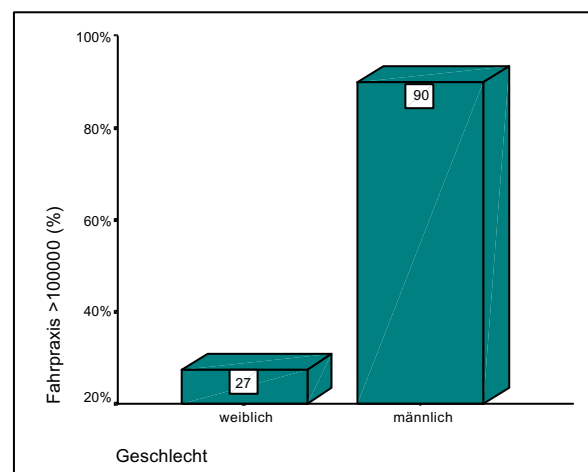
#### 4.3.1. Biographische Daten

An der Untersuchung nahmen 24 Probanden teil, bei denen es sich um Studenten verschiedener Fachrichtungen handelte und die über Aushänge in der TU-Dresden rekrutiert wurden. 13 Probanden waren weiblichen und 11 männlichen Geschlechts. Das Durchschnittsalter lag bei 25,5 Jahren (Standardabweichung 3,4; Minimum 20 und Maximum 34 Jahre) und war somit weitestgehend homogen. Eine Sehhilfe benötigten sechs Probanden. Alle Probanden hatten Erfahrung mit Computern im allgemeinen, 11 von ihnen hatten darüber hinaus Erfahrung mit Video- oder Computerspielen. Alle Probanden waren im Besitz einer Fahrerlaubnis. Sie besaßen diese durchschnittlich seit 7,33 Jahren. (Standardabweichung 3,58; Minimum 2; Maximum 19). Die Fahrpraxis betrug in Durchschnitt 123366,67 km (Standardabweichung 123382,81; Minimum 300; Maximum 600000). Anhand der Daten über die Fahrpraxis wurden die Probanden in zwei unterschiedliche Erfahrungsklassen eingeteilt:

- < 100000 km entspricht wenig Fahrpraxis
- > 100000 km entspricht viel Fahrpraxis



**Abbildung 4-7: Prozentuale Probandenverteilung auf die Fahrpraxis**



**Abbildung 4-8: Geschlechterverteilung bei Probanden mit „viel Fahrpraxis“**

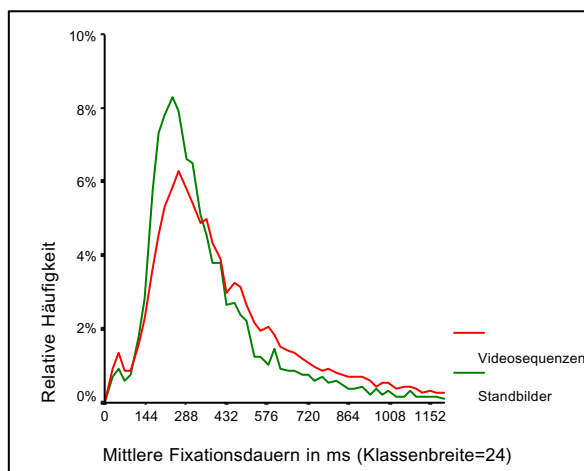


Abbildung 4-7 zeigt die Verteilung der Probanden auf die beiden Erfahrungsklassen „wenig Fahrpraxis“ und „viel Fahrpraxis“: 42 Prozent aller Probanden hatten wenig Fahrerfahrung, 58 Prozent der Probanden verfügten über viel Fahrerfahrung. Die Gruppe mit wenig Fahrpraxis bestand aus 10 Probanden, die Gruppe mit viel Fahrpraxis hingegen aus 14. Abbildung 4-8 zeigt die Geschlechterverteilung der Probanden, die in die Erfahrungsklasse „viel Erfahrung“ fallen. Es ist deutlich zu erkennen, daß das Geschlecht in der vorliegenden Stichprobe hinsichtlich der Fahrpraxis ungleich verteilt ist: 90 Prozent aller männlichen Probanden fallen in die Kategorie „viel Fahrpraxis“, bei den weiblichen Probanden sind es hingegen nur 27 Prozent.

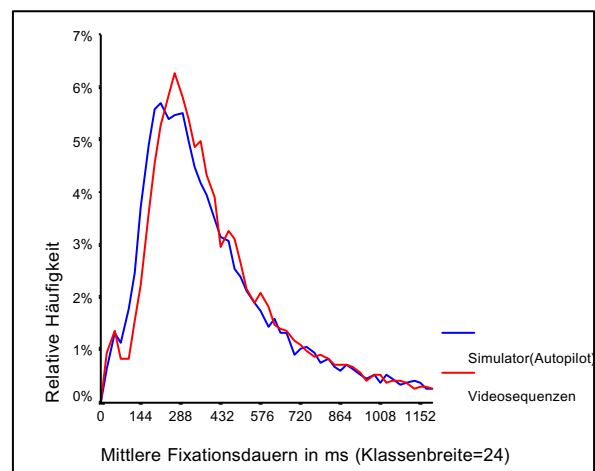
Ein männlicher Proband hatte in den letzten 24 Stunden vor dem Experiment ein Medikament zu sich genommen (Beta Blocker). 4 Probanden tranken in den letzten zwölf Stunden vor dem Experiment Alkohol, jedoch befand sich nur bei einer Probandin noch Alkohol im Körper (der errechnete Wert betrug 12g). In der Nacht vor dem Experiment schliefen die Probanden durchschnittlich 7,02 Stunden (Standardabweichung 1,75; Minimum 4 und Maximum 12 Stunden). In der Nachbefragung gaben 20 Probanden an, daß die rote Ampel für sie am schwierigsten als Gefahr zu erkennen war. Für eine Probandin war das bremsende Auto am schwierigsten als Gefahr zu erkennen und drei Probanden empfanden in dieser Hinsicht keinen Unterschied zwischen den einzelnen Gefahren.

#### 4.3.2. Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern in den Teilstudien

Abbildung 4-9 zeigt einen höchstsignifikanten Unterschied der mittleren Fixationsdauern zwischen der Videostudie und der Standbildstudie ( $F_{1,23}=54.181$ ,  $p<.001$ ). In der Videobedingung wiesen die Probanden durchschnittlich längere Fixationen auf als in der Standbildbedingung, insbesondere Fixationen mit einer Länge über 450 ms kommen dort in größerer Anzahl vor. Diese Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung der Fixationsdauern zwischen Standbild- und Videobedingung zeigen, daß ein dynamischer Hintergrund einen deutlichen Einfluß auf die visuelle Abstrategie hat. Abbildung 4-10 zeigt einen Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern zwischen der Videobedingung und der Fahrsimulatorbedingung. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden bei der Fahrsimulatorbedingung nur Daten berücksichtigt, die sich im Autopilot-Modus ergaben, da bei der Darbietung der Videosequenzen ebenfalls keine Steuerung des Fahrzeugs stattfinden konnte.



**Abbildung 4-9: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern zwischen der Standbildbedingung und der Videobedingung**



**Abbildung 4-10: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern zwischen der Videobedingung und der Simulatorbedingung (Autopilot)**

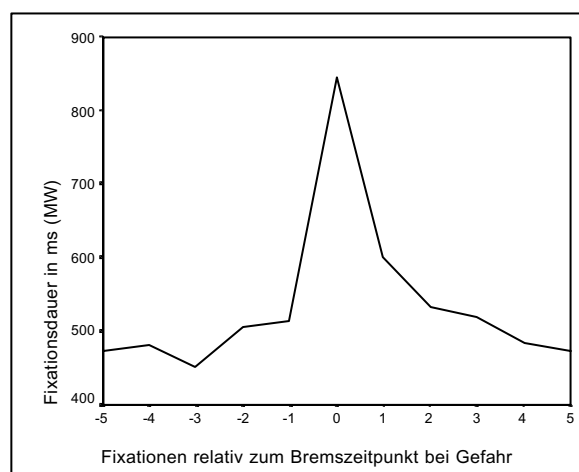
Der Unterschied der mittleren Fixationsdauern ist nicht signifikant ( $F_{1,23}=2.052$ ,  $p=.165$ ). Der maximale Unterschied liegt bei Fixationen unterhalb der Modalwerte und beträgt nicht mehr als 1,5%. Die große Übereinstimmung der beiden Häufigkeitsverteilungen zeigt, daß die Daten, die mit dem Fahrsimulator gewonnen wurden, weitgehend mit denen aus der Videobedingung vergleichbar sind, was es gerechtfertigt erscheinen läßt, sich im weiteren Teil der Ergebnisdarstellung auf die Daten des Hauptversuchsteils „Simulator“ zu beschränken.

### 4.3.3. Ergebnisse der Fahrsimulatorstudie

#### 4.3.3.1. Unmittelbare Gefahr und Fixationsdauer

Da bei der Darstellung „tonischer“ Aspekte der Teil der Information verloren geht, der Aufschluß darüber gibt, wie sich das Blickverhalten zum Zeitpunkt der Gefahrenerkennung verändert, wird im folgenden nur auf die Phasen eingegangen, die unmittelbar um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung liegen. Die Art der Datenerhebung ermöglicht hierbei keine genaueren Aussagen über den zeitlichen Verlauf, als auf eine Fixation genau. Daher muß in diesen Phasen die *Granularität* der Fixationsereignisse übernommen werden.

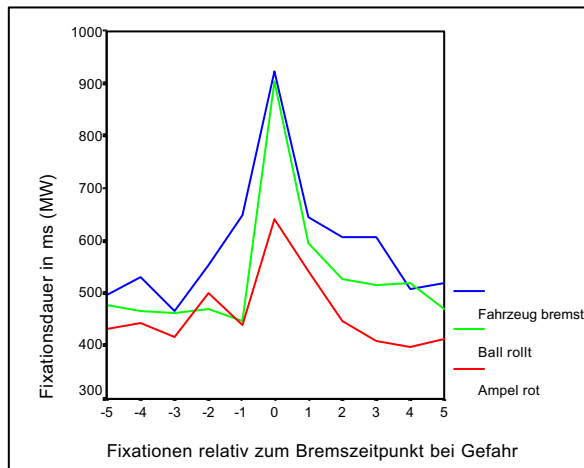
Abbildung 4-11 stellt die „phasische“ Veränderung der Fixationsdauer um den Zeitpunkt des Bremsens unter der Bedingung, daß eine unmittelbare Gefahr vorliegt, dar. Da das Auftauchen einer unmittelbaren Gefahr und die Bremsreaktion auf diese i.d.R. innerhalb einer Fixation stattfinden, wird im folgenden auch vom Zeitpunkt der Gefahrenerkennung gesprochen. Der Nullpunkt der X-Achse entspricht der Fixation, die zum Zeitpunkt der Gefahrenerkennung gemessen wurde. Um den Nullpunkt sind die fünf vorangegangenen sowie die fünf folgenden Fixationen abgetragen. Zum Zeitpunkt des Bremsens bei einer unmittelbaren Gefahr zeigt die Abbildung eine deutliche Verlängerung der Fixationsdauer. Der Vergleich der Fixationsdauer zum Zeitpunkt der Gefahrenerkennung (Punkt 0) mit den übrigen, um diesen Punkt liegenden Fixationen zeigt einen höchstsignifikanten Unterschied ( $F_{1,23}=99.605$ ,  $p<.001$ ).



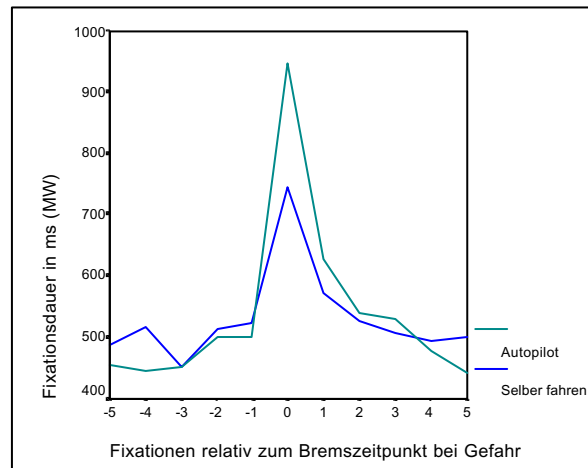
**Abbildung 4-11: Phasische Veränderung der Fixationsdauer um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung gemittelt für alle unmittelbaren Gefahren.**

Abbildung 4-12 zeigt die phasische Veränderung der Fixationsdauer um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung für die einzelnen unmittelbaren Gefahren. Der Unterschied zwischen der Fixationsdauer zum Bremszeitpunkt und den übrigen Fixationen erweist sich auch für die einzelnen Gefahren „Fahrzeug bremst“ ( $F_{1,23}=47.142$ ,  $p<.001$ ), „Ball rollt“ ( $F_{1,23}=61.539$ ,

$p < .001$ ) und „Ampel rot“ ( $F_{1,23}=9.512$ ,  $p=.005$ ) als höchst- bzw. hochsignifikant, wobei der Anstieg der Fixationsdauer bei der roten Ampel etwa 300 ms geringer ausfällt. Ebenfalls höchstsignifikant ist dieser Unterschied in den beiden Fahrbedingungen Autopilot ( $F_{1,23}=62.831$ ,  $p < .001$ ) und „selber fahren“ ( $F_{1,23}=47.831$ ,  $p < .001$ ), die in Abbildung 4-13 dargestellt sind, wobei in der Bedingung „selber fahren“ ein um ca. 250 ms geringerer Anstieg zu erkennen ist. Eine signifikante Verlängerung der Fixationsdauer um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung ist demnach weitestgehend unabhängig von der Art der unmittelbaren Gefahr, die dargeboten wurde und weitestgehend unabhängig davon, ob im Autopilotmodus gefahren oder vom Probanden selbst gelenkt wurde.

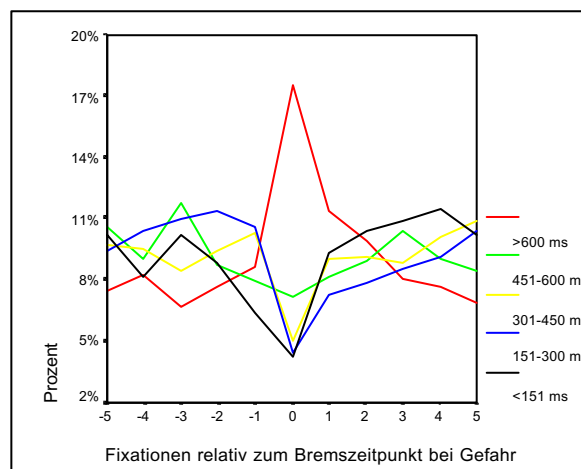


**Abbildung 4-12:** Phasische Veränderung der Fixationsdauer um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung für die einzelnen unmittelbaren Gefahren.



**Abbildung 4-13:** Phasische Veränderung der Fixationsdauer um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung für die zwei Fahrbedingungen Autopilot und „selber fahren“.

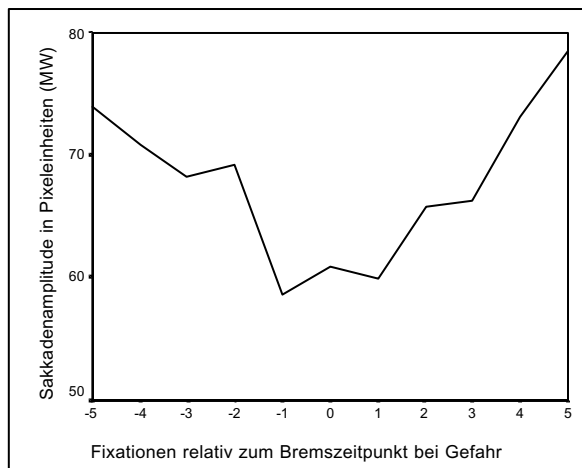
Abbildung 4-14 zeigt, daß drei Kategorien von Fixationsdauern unterschiedlich von dem gefährlichen Ereignis beeinflusst werden: Die Fixationen unter 450 ms nehmen ab und es kommt zu einem deutlichen Anstieg der Fixationen über 600 ms. Die Fixationsklasse 451-600 ms wird von dem Ereignis kaum beeinflusst.



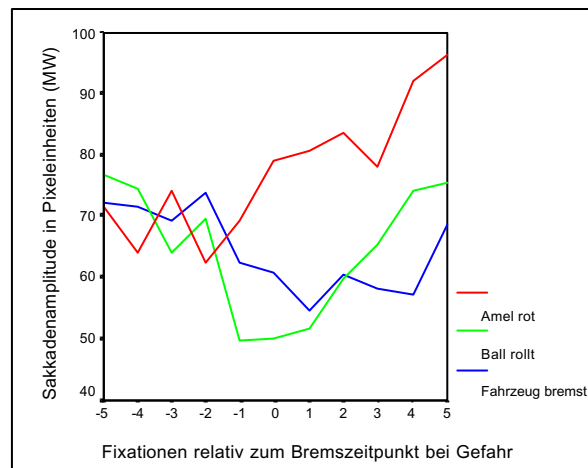
**Abbildung 4-14:** Relative Verteilung von fünf Klassen von Fixationsdauern um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung.

#### 4.3.3.2. Unmittelbare Gefahr und Sakkadenamplituden

In Abbildung 4-15 sind die Sakkadenamplituden um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung grafisch dargestellt. Entsprechend den Grafiken in Kapitel 4.3.3.2. stellt der Nullpunkt der X-Achse die Fixation dar, die zum Zeitpunkt des Bremsens auf eine Gefahr gemessen wurde. Um den Nullpunkt sind die fünf unmittelbar vorangegangenen sowie die fünf unmittelbar folgenden Fixationen abgetragen. Auf der Y-Achse ist die Größe der Sakkadenamplitude abgetragen; sie bezieht sich auf die Sakkaden, die den dargestellten Fixationen unmittelbar folgten. Um den Zeitpunkt des Bremsens auf eine Gefahr kommt es zu einer Verringerung der Sakkadenamplituden. Dies betrifft vor allem die Sakkadenamplitude nach der Fixation zum Zeitpunkt des Bremsens sowie die unmittelbar vorhergehende und die unmittelbar folgende (-1, 0, 1). Die Ergebnisse der Varianzanalyse zeigen, daß der Unterschied zwischen diesen Sakkadenamplituden und den übrigen hochsignifikant ist ( $F_{1,23}=9.705$ ,  $p=.003$ ). Unter zusätzlicher Berücksichtigung der einzelnen Gefahren stellt sich jedoch ein anderes Bild dar (Abbildung 4-16): Während es bei einem rollenden Ball ( $F_{1,23}=13.138$ ,  $p=.001$ ) und einem bremsenden Fahrzeug ( $F_{1,23}=5.505$ ,  $p=.022$ ) zu einer höchstsignifikanten bzw. signifikanten Verringerung der Sakkadenamplituden um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung (-1, 0, 1) kommt, ist bei der roten Ampel ein Anstieg der Sakkadenamplituden zu erkennen.



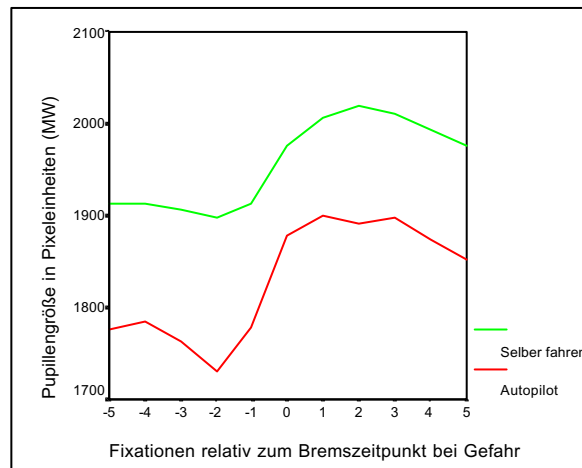
**Abbildung 4-15: Phasischer Verlauf der Sakkadenamplituden um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung**



**Abbildung 4-16: Phasischer Verlauf der Sakkadenamplituden um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung für alle drei Gefahrenarten**

#### 4.3.3.3. Unmittelbare Gefahr und Pupillendurchmesser

Abbildung 4-17 zeigt die phasische Veränderung der Pupillengröße in der Autopilot-Bedingung und in der Bedingung „selber fahren“ relativ zum Zeitpunkt der Gefahrenerkennung. Nach der Reaktion auf die Gefahr ist im Mittel für beide Bedingungen ein höchstsignifikanter Anstieg um ca. 120 Pixeleinheiten zu verzeichnen ( $F_{1,23}=113.745$ ,  $p<.001$ ). Bei der Varianzanalyse wurden die letzten fünf Werte vor und die ersten fünf Werte nach der Reaktion auf die Gefahr verglichen.



**Abbildung 4-17: Phasische Veränderung der Pupillengröße zum Zeitpunkt der Gefahrenerkennung bei eingeschaltetem Autopilot und bei der Bedingung „selber-fahren“.**

#### 4.4. Diskussion

Die gute Vergleichbarkeit der Fixationsdauerverteilungen aus der Videobedingung und denen aus der Simulatorbedingung zeigen, daß Augenbewegungsdaten, die am Fahrsimulator erhoben wurden, nicht aufgrund mangelnder Naturtreue als weniger valide gelten müssen. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen bereits Carter und Laya (1998), sowie Bengler (1996), der sich speziell auf einen von BMW entwickelten Fahrsimulator bezieht.

*Hypothese I* konnte durch die ermittelten Daten klar bestätigt werden: Der Zeitpunkt der Gefahrenerkennung geht mit einem deutlichen Anstieg der Fixationsdauer einher, wobei Fixationen mit einer Länge von über 600 ms von der Gefahr eindeutig am häufigsten und Fixationen zwischen 451 und 600 ms am seltensten beeinflusst werden. Dieser Anstieg der Fixationsdauer zum Zeitpunkt der Gefahrenerkennung tritt bei allen drei unmittelbaren Gefahren auf, ist bei der „Ampel rot“-Bedingung jedoch nicht so ausgeprägt wie bei den übrigen beiden Bedingungen („Fahrzeug bremsst“, „Ball rollt“) aber dennoch statistisch hochsignifikant. Der Grund für die geringere Fixationsdauer in der „Ampel rot“-Bedingung könnte darin liegen, daß es sich bei der Ampel, im Falle des durchgeführten Versuchs um das am weitesten von der Mitte der rechten Fahrbahn entfernte Ereignis handelt: Um das Geschehen auf der Straße weiterhin ausreichend überblicken zu können und das Fahrzeug gegebenenfalls adäquat in der Spur zu halten, kompensierten die Probanden möglicherweise die größere mit den Blicken zurückzulegende Strecke durch eine geringere Fixationsdauer. Diese Vermutung wird auch durch den Anstieg der Sakkadenamplituden um das Erkennen einer roten Ampel gestützt und wird in einigen Arbeiten als „rationales Anpassungsverhalten“ oder „Vernunft des Fahrers“ bezeichnet (vgl. Steudel, 1999). Hinsichtlich der Fahrmodi ist ein geringerer aber dennoch höchstsignifikanter Anstieg der Fixationsdauer in der Bedingung „selber fahren“ gegenüber der Autopilot-Bedingung festzustellen. Das Wissen der Probanden, daß sie bei eingeschaltetem Autopilot nicht auf die Spurführung achten müssen, könnte hier dazu geführt haben, daß sie sich genauer auf die Gefahren konzentrierten und ihnen längere Fixationen gönnten.

*Hypothese II* konnte eingeschränkt bestätigt werden. Bei einem rollenden Ball und einem bremsenden Fahrzeug kam es zu einer höchstsignifikanten bzw. signifikanten Verringerung der Sakkadenamplituden um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung. Eine Ausnahmestellung

nimmt hier, wie bereits weiter oben erwähnt, die rote Ampel ein, um deren Erkennung ein Anstieg der Sakkadenamplituden zu erkennen ist. Ein möglicher Grund für diesen Anstieg wurde weiter oben bereits diskutiert. Zusätzlich zu der Analyse der Sakkadenamplituden könnte eine *Blickortanalyse*, die im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich war, zusätzliche Informationen liefern und gegebenenfalls die dargestellten Vermutungen bezüglich der roten Ampel und der Autopilot-Bedingung bestätigen.

*Hypothese III* konnte eindeutig bestätigt werden. Ab dem Zeitpunkt der Gefahrenerkennung, die zweifellos eine schwierige Aufgabe darstellt, ist ein höchstsignifikanter Anstieg der Pupillengröße zu verzeichnen, was eindeutig den Annahmen der Hypothese entspricht. Da die Pupillengröße als Maß mentaler Beanspruchung betrachtet wird, kann der hier dargestellte phasische Effekt auch zur Validierung der weiter oben beschriebenen Fixationsdauern zum Zeitpunkt der Gefahrenerkennung genutzt werden. Daß die Pupille etwas verzögert auf die Gefahr reagiert, ist nicht ungewöhnlich: Die langsame Erweiterung der Pupille ist eine Folge der ungleichen Stärkeverteilung der beiden für die Pupillenreaktion zuständigen Muskeln *Dilator* (Erweiterung) und *Sphincter* (Verengung). Da der Sphincter der dominanteren der beiden Pupillenmuskeln ist, kommt es zu einer vergleichsweise langsameren Erweiterung der Pupille.

## 5. EXPERIMENT 2

Ein Teil der im Grundlagenteil dieser Arbeit dargestellten Untersuchungen beschäftigte sich mit den psychologischen Aspekten bei der Gestaltung eines Information-Management-Systems. Dabei zeigte sich, daß trotz der Vielzahl von Untersuchungen, die das Ausmaß der kognitiven Beanspruchung des Fahrers erfaßt haben, dem Aspekt der Hemisphärenasymmetrie im Zusammenhang mit der entsprechenden unterschiedlichen Informationsverarbeitung keinerlei Bedeutung zukam. Wie bereits erläutert, ist einerseits die unterschiedliche Art der Informationsverarbeitung eine grundlegende Voraussetzung für das relativ interferenzfreie Bearbeiten von zwei Aufgaben zur gleichen Zeit. Andererseits konnte verdeutlicht werden, daß die Art des Reizes einen Einfluß auf die Verarbeitung, sowie die resultierende Reaktion ausübt. Zusätzlich konnte ein Zusammenhang zwischen der Position des Reizes und der Bearbeitungsgeschwindigkeit bzw. -güte nachgewiesen werden. Da beim Autofahren sowohl die Güte, als auch die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung, einen entscheidenden Einfluß auf die Sicherheit ausüben, ist es notwendig, auch hier eine Optimierung anzustreben.

Ziel dieser Versuchsreihe war es, herauszufinden, ob ein Unterschied in den Blickstrategien zu erkennen ist, bei der Bearbeitung von räumlichen vs. verbalen Nebenaufgaben. Ausgehend vom Aufbau und von der Steuerung des menschlichen Körpers durch das Gehirn, wurde angenommen, daß sich, aufgrund der funktionellen Asymmetrien der Hirnhemisphären (sprachliche Verarbeitung vorwiegend in der linken Hemisphäre vs. räumliche Verarbeitung überwiegend in der rechten Hemisphäre), Unterschiede sowohl im Blickverhalten, als auch in Parametern der Fahrzeugführung bei verschiedenen Beanspruchungen der Hemisphären erkennen lassen.

Entsprechend den theoretischen Vorbetrachtungen wurde in Darstellung 5-1 versucht, daß abgeleitete Modell der vorliegenden Untersuchung noch einmal grafisch zu veranschaulichen.

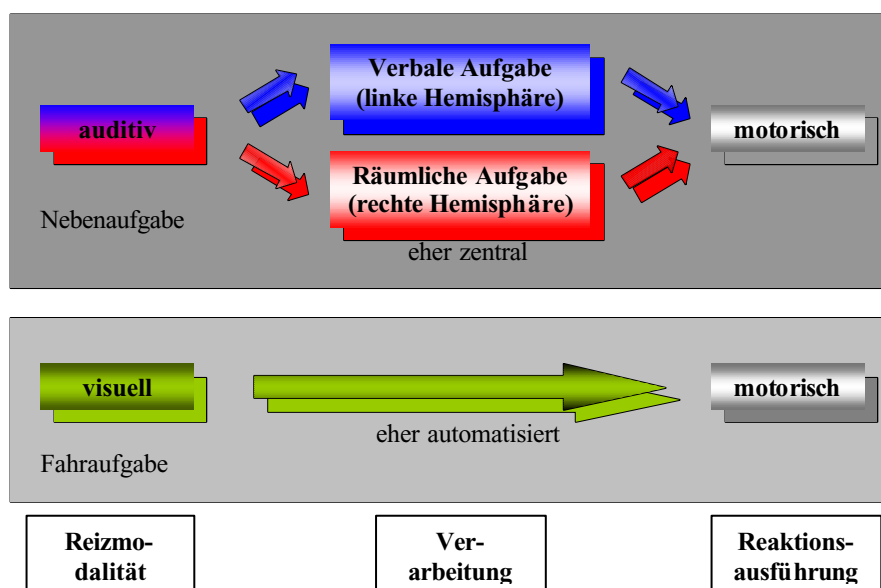


Abbildung 5-1: dual-task Modell der vorliegenden Untersuchung

## 5.1. Hypothesen

*Hypothese I:* Die unterschiedliche kognitive Verarbeitung von räumlichen vs. verbalen Aufgaben führt zu Unterschieden in den Parametern des Blickverhaltens.

Aufgrund der vorausgesetzten Hirnasymmetrien und der daraus resultierenden unterschiedlichen Informationsverarbeitung wird angenommen, daß die beiden verschiedenen Aufgabentypen in verschiedenen Hirnregionen verarbeitet werden. Da sich das Blickverhalten als guter Indikator für kognitive Prozesse erwiesen hat, sollten sich die Unterschiede in der Informationsverarbeitung in den Blickparametern nachweisen lassen.

*Hypothese II:* Bei der Bearbeitung der Nebenaufgabe ist eine Verschlechterung der Spurführungsaufgabe zu erwarten, dabei wird die stärkste negative Beeinflussung der Spurführungsleistung durch die schwere räumliche bzw. schwere verbale Aufgabe angenommen.

Die Spurführung beim Autofahren ist nahezu vollständig automatisierbar und sollte daher nur sehr gering anfällig für Interferenzen durch andere Tätigkeiten sein. Da eine völlige Automatisierung jedoch nie erreicht werden kann (Spurführung ist eine sehr komplexe Abfolge von visuo-manuellen Regelschleifen und kann daher nicht im Sinne eines bedingten Reflexes erlernt werden), besteht aufgrund der Untersuchungen zur geteilten Aufmerksamkeit durchaus die Möglichkeit zu störenden Interferenzen. Diese müßten bei der Bearbeitung der schweren räumlichen bzw. schweren verbalen Aufgabe am größten sein, da zur Lösung dieser Aufgaben die größte Kapazität an zentralen Ressourcen beansprucht wird, die sonst für die Regelschleifen zur Verfügung steht.

*Hypothese III:* Bei der Bedingung die Spurführung selbst zu regulieren, verlängert sich die Bearbeitungsdauer und somit steigt die Reaktionszeit, die zur Lösung der Nebenaufgabe benötigt wird.

Da die Spurführung eine komplexe Abfolge von Regelschleifen ist, ist zu erwarten, daß dies störende Interferenzen bei der Bearbeitung der zu lösenden Nebenaufgaben zur Folge hat. Diese Interferenzen führen, im Vergleich zur Bearbeitung der beiden Aufgabentypen ohne Spurführung, zu einer Zunahme der Reaktionszeit, bis die jeweilige Antwort gegeben werden kann.

*Hypothese IV:* Die unterschiedlichen Anforderungen und Fahrumgebungen bei den verschiedenen Versuchsbedingungen bewirken eine Veränderung des Blickverhaltens.

Während der statischen Versuchsbedingung wird den Probanden eine relativ reizarme Umgebung dargeboten, Veränderungen des Blickbewegungsmusters sind deshalb auf die wechselnden kognitiven Anforderungen, aufgrund der verschiedenen Nebenaufgaben zurückzuführen. Bei der Autopilotbedingung wird, während der Präsentation der Nebenaufgaben, eine dynamische Fahrumgebung dargeboten. Diese zusätzliche visuelle Stimulation sollte eine Veränderung der Blickbewegungen bewirken. Bei der Bedingung "selber fahren" soll der Proband mittels Spurführung in die dynamische Fahrumgebung eingreifen, weshalb wiederum eine Veränderung des Blickverhaltens, im Vergleich zu den beiden anderen Bedingungen zu erwarten ist.



## 5.2. Methoden

### 5.2.1. Versuchspersonen

Vom 08.11.98 bis 18.11.98 fanden die Vorversuche statt, deren Ziel es war, die Einteilung der Nebenaufgaben zu bestätigen. Die Vorversuche wurden mit N=18 Versuchspersonen verschiedenen Alters durchgeführt. Es waren 6 Personen weiblichen und 12 Personen männlichen Geschlechts.

Nach dem Abschluß der Voruntersuchungen und den anschließenden Auswertungen zur Aufgabenauswahl, wurden in dem Zeitraum vom 10.01.99 bis 24.01.99 die Hauptuntersuchungen mit N=18 Probanden durchgeführt, davon waren 9 weiblichen und 9 männlichen Geschlechts. Das Durchschnittsalter betrug 24,5 Jahren (Standardabweichung 2,43; Minimum 20 und Maximum 27 Jahre).

### 5.2.2. Versuchsplan

Es wurde ein zweifaktorielles Design gewählt. Die beiden Faktoren „Fahraufgabe“ und „Nebenaufgabe“ wurden mit drei bzw. vier Faktorstufen jeweils von allen Probanden absolviert. Der erste Faktor „Fahraufgabe“ wurde in unterschiedlicher Reihenfolge variiert und wie folgt operationalisiert:

<i>Bedingung „statisch“ (1)</i>	<i>Darbietung eines Standbildes vom Fahrsimulator</i>
<i>Bedingung „Autopilot“ (2)</i>	<i>Darbietung des Fahrsimulators, ohne eigene Steuerung</i>
<i>Bedingung „selber fahren“ (3)</i>	<i>Darbietung des Fahrsimulators, mit eigener Steuerung</i>

Um eine vollständige Untersuchung aller Versuchsvariationen zu erreichen und Reihenfolgeeffekte auszuschließen, wurden die Versuchsbedingungen vollständig permutiert. Um zu ermitteln, inwieweit Lerneffekte im Umgang mit dem Fahrsimulator mit einfließen, wurde bei jedem Proband vor und nach der Hauptuntersuchung eine vierminütige Baseline erhoben, also steuern des Simulators ohne zusätzliche Aufgaben. Bei jeder dieser drei Bedingungen hatten die Probanden folgende Nebenaufgaben zu lösen:

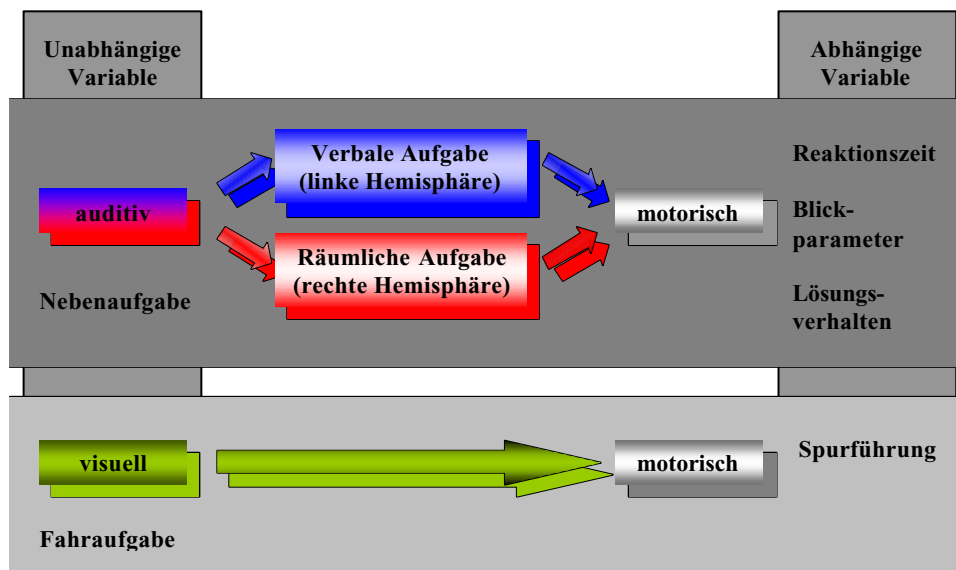
<i>Analogien leicht (al)</i>	<i>je sechs leichte verbale Nebenaufgaben</i>
<i>Analogien schwer (as)</i>	<i>je sechs schwere verbale Nebenaufgaben</i>
<i>Hütchenspiel leicht (hl)</i>	<i>je sechs leichte räumliche Nebenaufgaben</i>
<i>Hütchenspiel schwer (hs)</i>	<i>je sechs schwere räumliche Nebenaufgaben</i>

Die Nebenaufgaben waren hinsichtlich der Schwierigkeit und Lösungswahrscheinlichkeit in den Vorversuchen getestet worden. Für jede der drei Fahraufgaben gab es einen festgelegten Pool von 24 Items, welche bei jeder Versuchsperson in randomisierter Reihenfolge dargeboten wurden. Es gab folglich drei verschiedene Blöcke (A,B,C) welche je 24 Nebenaufgaben beinhalteten; A für die statische Bedingung, B für die Bedingung Autopilot und C für die Bedingung Fahren. Eine übersichtlichere Darstellung des verwendeten Versuchsdesign zeigt Tabelle 5-1.

Anhand dieses Versuchsdesigns wurden die Einflüsse der unabhängigen Variablen auf die abhängigen Variablen Spurführung, Reaktionszeit, mittlere Fixationsdauer, Verteilung der Fixationsdauern, Sakkadenamplituden, Pupillengröße, sowie Lösungsverhalten und Fehleraten erfaßt. Als Kovariablen wurden Fahrroutine und der Umgang mit Computer(-spielen) hinzugezogen.

**Tabelle 5-1: Darstellung des Versuchsdesigns**

Baseline 1 (B1)	Fahraufgabe (1 2 3) kombiniert mit Nebenaufgaben (A B C)			Baseline 2 (B2)
B1	1A	2B	3C	B2
B1	1A	3C	2B	B2
B1	2B	1A	3C	B2
B1	2B	3C	1A	B2
B1	3C	1A	2B	B2
B1	3C	2B	1A	B2



**Abbildung 5-2: grafische Darstellung von abhängiger und unabhängiger Variable im Versuchsplan (in Anlehnung an Abbildung 5-1)**

### 5.2.3. Versuchsmaterial

Das Material für die Nebenaufgaben bestand aus drei Blöcken von je 24 Items. Jeder Block enthielt 12 verbale und 12 räumliche Aufgaben, welche noch hinsichtlich der Schwierigkeit gestuft waren.

#### 5.2.3.1. Räumliche Nebenaufgabe

Bei der räumlichen Nebenaufgabe wurde an unserem Lehrstuhl das „mentale Hütchenspiel“ entwickelt. Dabei bestand die Aufgabe der Probanden darin, sich sechs Hütchen vorzustellen. Bei dem leichten Hütchenspiel wurde die Versuchsperson aufgefordert, sich die jeweilige Position einer Kugel zu merken (Abbildung 5-3), bei dem schweren Hütchenspiel hingegen mußte der Proband die Position von zwei Kugeln behalten (Abbildung 5-4).

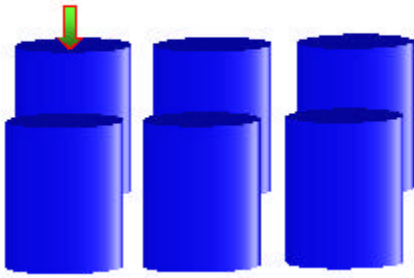


Abbildung 5-3: Hütchenspiel leicht

Beispielinstruktion für die leichte räumliche Aufgabe:

*„Die Kugel liegt unter dem hinteren linken Hütchen. Ich vertausche jetzt das hintere linke Hütchen mit dem vorderen rechten Hütchen. Nun vertausche ich das hintere mittlere Hütchen mit dem vorderen rechten Hütchen. Und jetzt wird das hintere rechte Hütchen mit dem hinteren mittleren Hütchen vertauscht. Befindet sich die Kugel unter dem hinteren rechten Hütchen?“ (ja)*

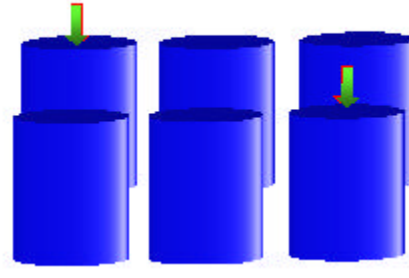


Abbildung 5-4: Hütchenspiel schwer

Beispielinstruktion für die schwere räumliche Aufgabe:

*„Die eine Kugel liegt unter dem hinteren linken Hütchen, die andere Kugel befindet sich unter dem vorderen linken Hütchen. Ich vertausche jetzt das hintere rechte Hütchen mit dem vorderen mittleren Hütchen. Nun vertausche ich das vordere linke Hütchen mit dem hinteren mittleren Hütchen. Und jetzt wird das vordere mittlere Hütchen mit dem vorderen rechten Hütchen vertauscht. Befindet sich eine Kugel unter dem vorderen mittleren Hütchen?“ (nein)*

Es wurden den Probanden bei den Aufgaben jeweils sowohl unter der schweren, als auch unter der leichten Bedingung drei aufeinanderfolgende Operationen (Verschiebungen der Hütchen) dargeboten, dabei konnte die Kugel bewegt werden oder eben nicht.

### 5.2.3.2. Verbale Nebenaufgabe

Bei den verbalen Aufgaben handelte es sich um ausgewählte Items aus dem Frankfurter Analogietest für 4. bis 6. Klassen (vorwiegend die leichten Analogien) und Items aus dem Frankfurter Analogietest für 6. bis 9. Klassen (vorwiegend die schweren Analogien).

Beispiel für leichte Analogien:

*„Verhält sich Flugzeug zu Flugplatz genauso wie Schiff zu Hafen?“ (ja)*

Beispiel für schwere Analogien:

*„Verhält sich Dienstag zu Donnerstag genauso wie Februar zu April?“ (ja)*

Den Versuchspersonen wurden in jedem Block sechs leichte und sechs schwere Analogien dargeboten. Davon waren in beiden Kategorien jeweils drei richtig und drei falsch. Falsche Analogien wurden so dargestellt, daß das letzte Wort nicht in das Gesamtverhältnis paßte (beispielsweise *„Verhält sich Flugzeug zu Flugplatz genauso wie Schiff zu Wasser?“ (nein)*).

Die Aufgabe der Probanden bestand, sowohl bei der räumlichen, als auch bei der verbalen Nebenaufgabe darin, so schnell und so genau wie möglich anzugeben, ob die dargebotene Aufgabe richtig oder falsch war.

### 5.2.4. Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau war ähnlich dem in Experiment 1 verwendeten. Das Versuchsmaterial wurde bei dieser Versuchsreihe auf einem 17"- Monitor präsentiert. Die Entfernung zum Bildschirm betrug etwa 60 cm, die Augen befanden sich auf Höhe der oberen Monitorkante.

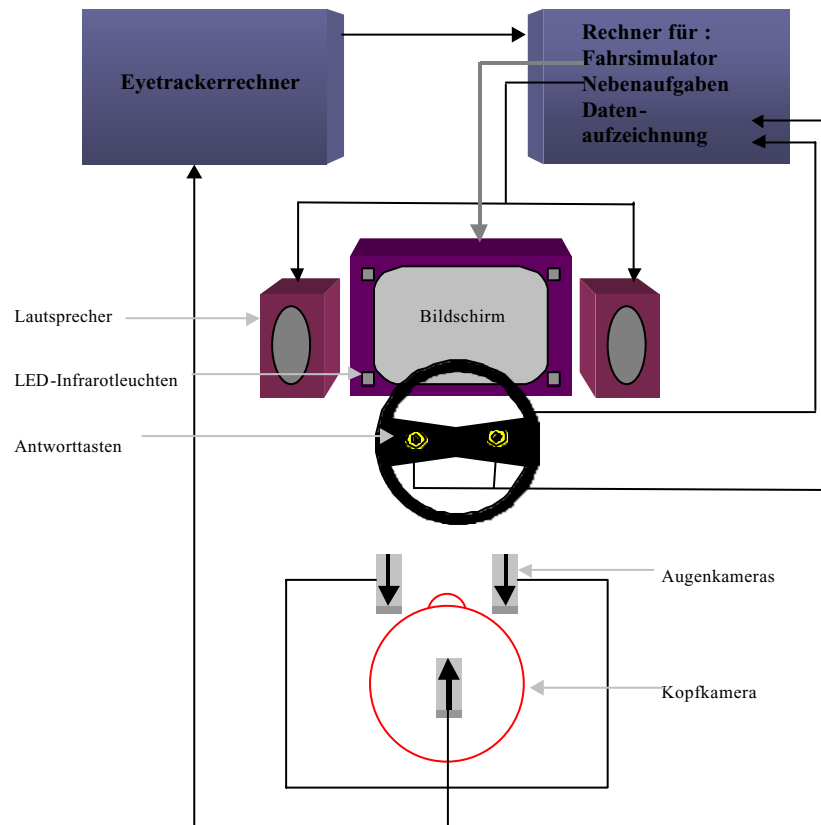


Abbildung 5-5: Schematischer Versuchsaufbau

Auch bei diesem Experiment wurde der von Dr. Pieter Unema entwickelte Fahrsimulator verwendet. Weitere Fahrzeuge oder Hindernisse befanden sich nicht auf der Straße bei dieser Versuchsreihe nicht auf der Straße. Eine nutzerseitige Geschwindigkeitsänderung wurde nicht implementiert, um den Schwierigkeitsgrad der Fahraufgabe für alle Versuchspersonen gleich zu halten. Für die Versuche lagen alle Nebenaufgaben als aufgezeichnete Tondateien vor, die mittels Computer abspielbar waren. Dadurch waren Tonlage und emotionale Gefährtheit der Fragen für alle Probanden gleich. Die Probanden hatten die Möglichkeit die Antworten „ja“ (linke Taste) oder „nein“ (rechte Taste) über die Tasten am Lenkrad des Fahrsimulators zu geben, bzw. bei Unklarheit beide Tasten gleichzeitig zu betätigen, diese Antwort wurde als „weiß nicht“ aufgezeichnet.

### 5.2.5. Versuchsdurchführung

Alle Versuche wurden im Augenbewegungslabor des Institutes für Arbeits-, Organisations- und Sozialpsychologie der TU Dresden durchgeführt. Während der Versuche befanden sich im Laborraum ausschließlich der Versuchsleiter und die jeweilige Versuchsperson. Die Durchführung der Vorversuche gestaltete sich vom Aufbau und Ablauf ähnlich wie die Durchführung der Hauptuntersuchung. Der Unterschied bestand darin, daß während der Vorversuchsreihe auf sämtliche Darbietungen des Fahrsimulators verzichtet wurde, d.h. die Vpn

hatten nur die Nebenaufgaben zu bearbeiten. Auf eine gesonderte Darstellung der Vorversuchsreihe wird deswegen an dieser Stelle verzichtet.

Die Versuche begannen damit, daß der Versuchsleiter die Probanden aufforderte, auf dem Stuhl vor dem Lenkrad Platz zu nehmen und sich so hinzusetzen, daß ein bequemes Lenken möglich war. Danach wurden den Probanden allgemeine Fragen zur Erfahrung im Umgang mit dem Computer sowie zu Führerschein und Fahrpraxis gestellt (der Vorbefragungsbogen befindet sich im Anhang 2-B). Nun wurde den Probanden der Versuchsaufbau kurz erläutert und ihnen der Eyetracker aufgesetzt. Dabei wurde grob erklärt, auf welchem Prinzip die Aufzeichnung der Augenbewegungen basiert. Sie wurden darauf hingewiesen, daß diese Sitzposition während des Experiments nicht mehr verändert werden sollte, da sonst die Aufzeichnung der Augenbewegungsdaten verzerrt würde.

Danach folgte die erste Instruktion zum generellen Ablauf des Experiments und anschließend die Instruktion zum Fahren der Baseline (die Instruktion befindet sich im Anhang 2-A). Daraufhin wurden, wie auch nach allen folgenden Instruktionen, eventuelle Verständnisschwierigkeiten geklärt. Im Anschluß daran fand die Kalibrierung des Eyetrackers statt, die auch vor jedem folgendem Versuchsteil wiederholt wurde. Nach erfolgreicher Kalibrierung wurden Augenbewegungsaufzeichnung und der Fahrsimulator gestartet. Die Durchführung einer Baselinefahrt dauerte 4 Minuten.

Nach Beendigung der Baseline 1 erfolgte die Instruktion für den ersten Block mit Bearbeitung der Nebenaufgaben. Die Blöcke der 3 Versuchsbedingungen hatten, in Abhängigkeit von den individuellen Reaktionszeiten, eine jeweilige Dauer von 7-8 Minuten. Sowohl zwischen den Baselinefahrten, als auch zwischen jedem Block der Hauptuntersuchung hatten die Probanden eine kurze Pause zum entspannen, der Versuchsleiter erkundigte sich auch jeweils ob eine längere Entspannungsphase nötig sei. Im Anschluß an die Beendigung des dritten Blockes erfolgte die Instruktion für die zweite Baseline und daraufhin deren Absolvierung.

### **5.2.6. Erhobene Daten**

Analog zu Experiment 1 wurden die Blickbewegungsdaten mit Hilfe der EyeLink™-System bereitgestellten Mechanismen aufgezeichnet. Vor der Untersuchung wurden mit Hilfe eines Fragebogens Angaben zur Person erfaßt. Neben Alter und Geschlecht bezogen sich die Fragen auf die Erfahrungen im Umgang mit Computern und auf Fahrerfahrungen. Nach Beendigung der Durchführung wurden diese Daten durch Äußerungen der Versuchspersonen zur erlebten Schwierigkeit ergänzt.

### **5.2.7. Datenanalyse**

Die statistische Analyse wurde mit den gleichen Hilfsmitteln und Verfahren, wie bei der ersten Versuchsreihe vorgenommen.

## **5.3. Ergebnisse**

### **5.3.1. Biographische Daten**

An der Untersuchung nahmen N=18 Versuchspersonen teil, davon waren 9 weiblichen und 9 männlichen Geschlechts. Das Durchschnittsalter betrug 24,5 Jahre (Standardabweichung

2,43; Minimum 20 und Maximum 27 Jahre). Alle Versuchspersonen verfügten über normales Sehvermögen, bei 4 Vpn wurde dies mittels Brille bzw. Kontaktlinsen erreicht. Alle Versuchspersonen waren im Besitz des Führerscheines, im Durchschnitt seit 7 Jahren ( $sd=2,68$ ). Die geschätzten bisher selber gefahrenen Kilometer betrugen durchschnittlich 126.000 km (20.000-250.000 km). Aus diesen Angaben wurde die Fahrerfahrung abgeleitet:

- > 50 000 km entsprach wenig Fahrerfahrung
- 50 000 bis 100 000 km entsprach mittlerer Fahrerfahrung
- < 100 000 km entsprach viel Fahrerfahrung.

Danach ergab sich folgende Verteilung innerhalb der Stichprobe:

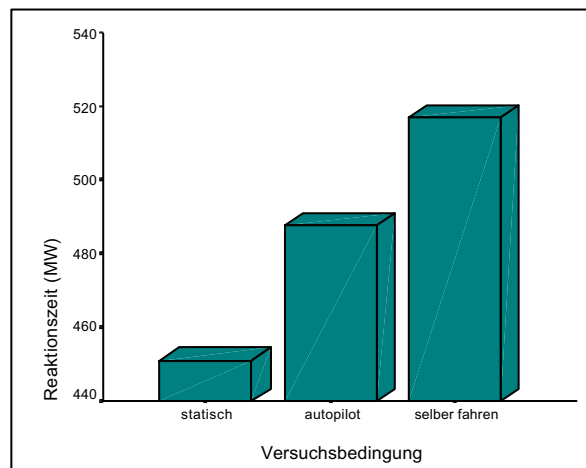
**Tabelle 5-2: Verteilung von Fahrerfahrung unter Berücksichtigung des Geschlechts**

		Fahrerfahrung		
		wenig	mittel	viel
Geschlecht	männlich	1	2	6
	weiblich	5	3	1

Die Angaben zeigen, daß die Fahrerfahrung, hinsichtlich des Geschlechts, in der vorliegenden Stichprobe ungleich verteilt ist. Während 66,7% der männlichen Probanden in die Kategorie mit viel Fahrerfahrung einzuordnen sind, verfügen 55,6% der weiblichen Versuchsteilnehmer über wenig Fahrerfahrung.

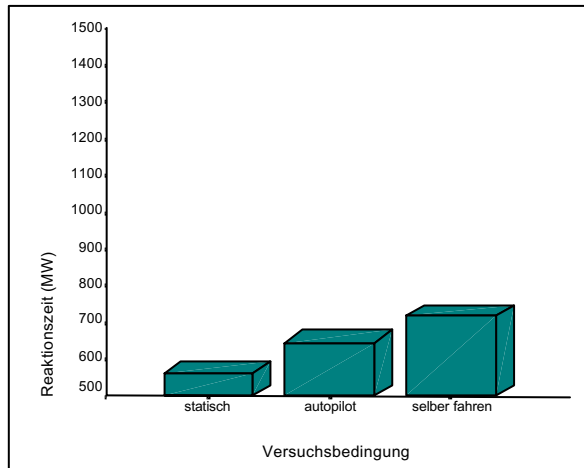
### 5.3.2. Nebenaufgaben

#### 5.3.2.1. Reaktionszeiten

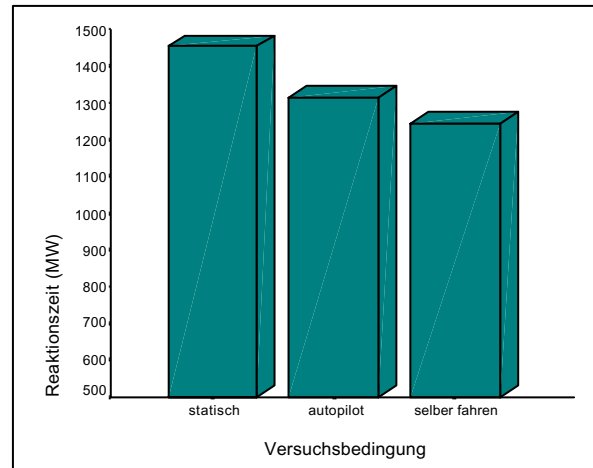


**Abbildung 5-6: Reaktionszeit in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen**

Die Grafik stellt den Zusammenhang zwischen den Versuchsbedingungen und den mittleren Reaktionszeiten, die zur Bearbeitung der jeweiligen Aufgaben benötigt wurden, dar. Hierbei sollen zunächst die Reaktionszeiten für alle Aufgaben gemeinsam betrachtet werden. Dabei kann gezeigt werden, daß die kürzeste Bearbeitungszeit bei der statischen Bedingung gemessen wurde, während unter der Bedingung, den Fahrsimulator selbst zu steuern, die Lösung der Nebenaufgabe am längsten dauerte. Ein Vergleich der Mittelwerte weist diesen Unterschied allerdings als nicht signifikant aus ( $F_{1,17}=2.028$ ,  $p=.173$ ).



**Abbildung 5-7: Reaktionszeit in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen für die räumlichen Aufgaben**



**Abbildung 5-8: Reaktionszeit in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen für die verbalen Aufgaben**

Eine genauere Analyse der Reaktionszeiten zeigt einen eindeutigen Unterschied der Reaktionszeiten in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenart, unter Berücksichtigung der verschiedenen Versuchsbedingungen. Abbildung 5-7 verdeutlicht, daß die Reaktionszeit bei den räumlichen Aufgaben von der statischen Bedingung hin zu der Bedingung "selber fahren" ansteigt, allerdings ließ sich für diesen Anstieg keine Signifikanz nachweisen. Im Gegensatz dazu läßt sich bei den verbalen Nebenaufgaben eine sehr signifikante Verringerung der Reaktionszeit ( $F_{1,17}=11.69$ ,  $p=.001$ ) nachweisen.

### 5.3.2.2. Lösungen

**Tabelle 5-3: Zusammenhang zwischen Versuchsbedingung und Antwort**

		Antwort		
		richtig	falsch	weiß nicht
Versuchsbedingung	statisch	368	45	8
	auto	375	54	17
	selber fahren	372	43	16
	$\Sigma$	1115	142	41

In Tabelle 5-3 ist der Zusammenhang zwischen den 3 Versuchsbedingungen und den gegebenen Antworten dargestellt. Es läßt sich erkennen, daß die Zahl der richtigen und die Zahl der falschen Antworten bei den verschiedenen Versuchsbedingungen nur sehr gering variiert. Ein Einfluß der Versuchsbedingungen auf das Antwortverhalten läßt sich für die Antwortkategorie "weiß nicht" ableiten. Im Vergleich zu der statischen Bedingung, verdoppelt sich die Anzahl dieser Antworten bei den Bedingungen mit dynamischem Hintergrund.

### 5.3.3. Blickbewegungen

#### 5.3.3.1. Fixationsdauer

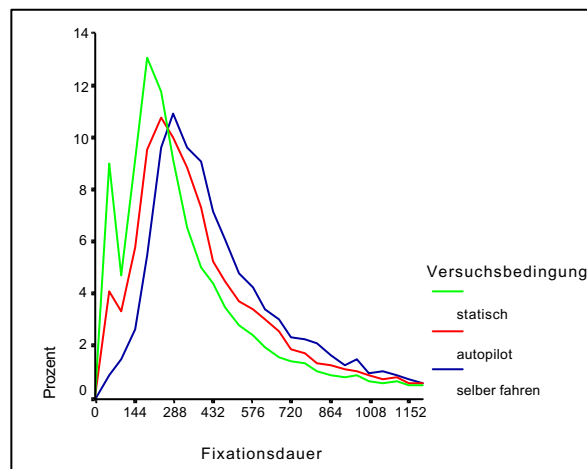
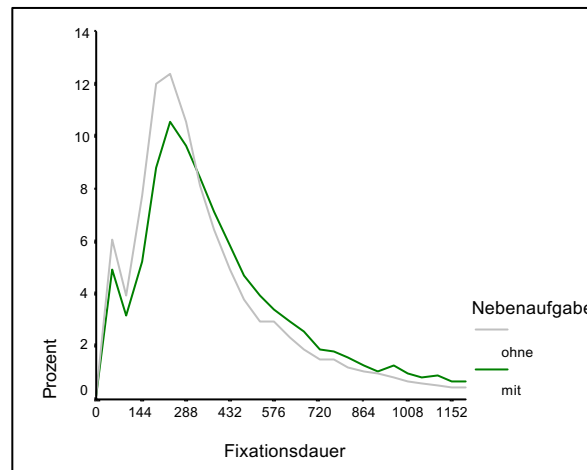


Abbildung 5-9: Verteilung der Fixationsdauer in Abhängigkeit von der Versuchsbedingung

Eine erste Analyse sollte den Einfluß der unterschiedlichen Versuchsbedingungen auf das Blickverhalten zeigen. Dabei wird deutlich, daß die Blickumgebung einen entscheidenden Einfluß auf die Verteilung der Fixationen ausübt. Sowohl unter der statischen Bedingung, als auch bei der Bedingung Autopilot lassen sich sehr kurze Fixationen im Bereich von 50 bis 60 ms nachweisen. Bei der Bedingung "selber fahren" treten diese sehr kurzen Fixationen nicht auf. Neben diesen Ergebnissen läßt sich erkennen, daß die Zunahme der Komplexität der Umgebung eine Verlängerung der Fixationsdauer bewirkt. Während die häufigsten Fixationen bei statischem Hintergrund eine Dauer von ca. 190 ms aufweisen, nimmt die Fixationsdauer bei dynamischen Hintergrund um 50 ms zu (von 190 auf 240 ms). Eine weitere Zunahme der Fixationsdauer scheint die aktive Spurführung zu bewirken, zusätzlich zum bewegten Hintergrund hat die Spurführungsaufgabe einen Anstieg der Fixationsdauer um weitere 50 ms zur Folge (von 240 auf 290 ms). Ein Vergleich der mittleren Fixationsdauern zeigt, daß der Einfluß der verschiedenen Untersuchungsbedingungen sehr signifikant ist ( $F_{1,17}=12.296$ ,  $p=.003$ ). Während die mittlere Fixationsdauer bei statischer Umgebung bei 458 ms liegt, ist bei der Autopilotbedingung bereits ein Anstieg von 8% zu verzeichnen (495 ms) und bei der Bedingung "selber fahren" wurde eine mittlere Fixationsdauer von 558 ms gemessen, was einem weiteren Anstieg um 12% entspricht.

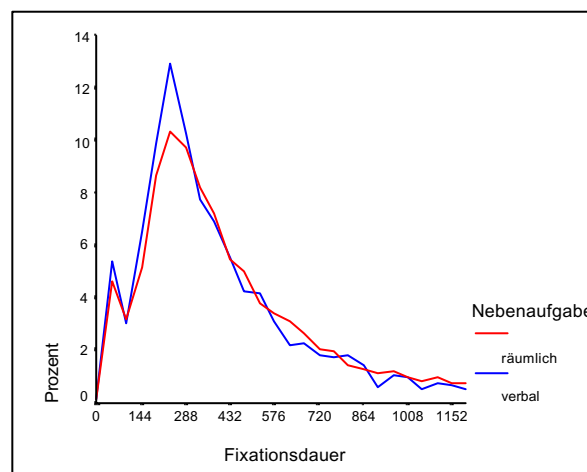
Abbildung 5-10 zeigt, daß die Bearbeitung einer Nebenaufgabe zu einem deutlichen Anstieg der Fixationsdauern führt, vor allem die Anzahl von Fixationen über 400 ms nimmt zu. Der Anstieg der Fixationsdauer während der Darbietung bzw. Bearbeitung der Nebenaufgabe beträgt 14,5% (MW=406 ms), im Vergleich zur Fixationsdauer ohne Aufgabenpräsentation (MW=475 ms). Der statistische Vergleich der Mittelwerte weist diesen Effekt als höchst signifikant aus ( $F_{1,17}=49.19$ ,  $p<.001$ ).





**Abbildung 5-10: Verteilung der Fixationsdauern mit und ohne Nebenaufgabe**

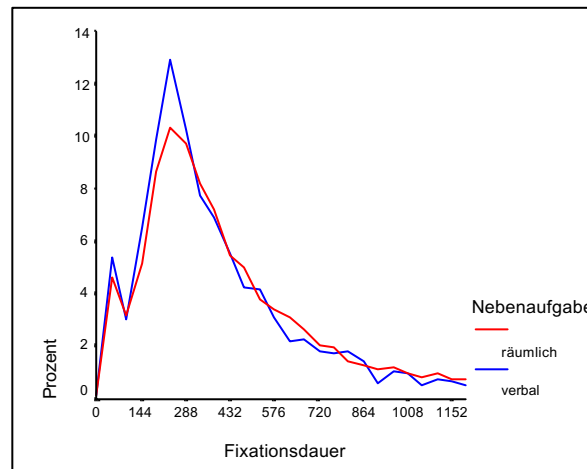
Der Hintergrund der Untersuchung ist die Unterscheidung von räumlichen und verbalen Aufgaben und der Einfluß der Bearbeitung dieser Aufgaben auf das Blick- und Fahrverhalten. Um bei den folgenden Auswertungen die Daten zu verwenden, bei denen die Probanden mit großer Wahrscheinlichkeit die Aufgaben auch wirklich bearbeitet haben, werden nur noch die Daten der richtig gelösten Aufgaben in die folgenden Auswertungen einbezogen. Bei den anderen Aufgaben besteht die Gefahr, daß die Versuchspersonen die Aufgabenstellung nicht richtig verstanden haben oder unaufmerksam waren, weshalb eine Bearbeitung möglicherweise gar nicht stattgefunden hat.



**Abbildung 5-11: Verteilung der Fixationsdauern in Abhängigkeit von der Nebenaufgabe**

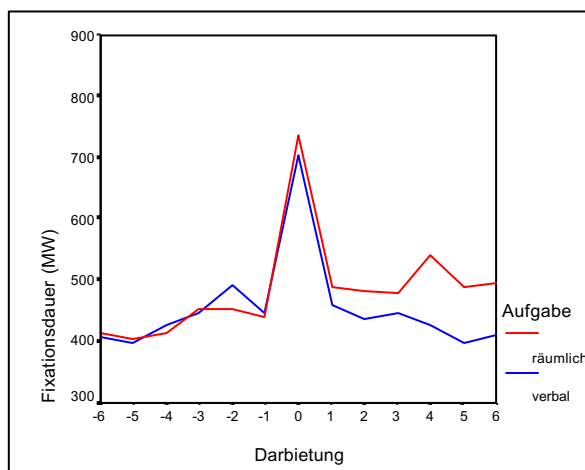
Beim Vergleich der modalen Fixationsdauern bei der Bearbeitung der verbalen bzw. der räumlichen Aufgabe, kann gezeigt werden, daß die räumliche Informationsverarbeitung zu einem Anstieg der Fixationsdauern führt. Die Bearbeitung der verbalen Aufgabe hingegen hat sehr kurze Fixationsdauern (ca. 50 ms) bzw. Fixationsdauern mit einer Dauer von 260 ms zur Folge. Der Mittelwertsvergleich der Fixationsdauern erweist sich als sehr signifikant ( $F_{1,17}=9.22$ ,  $p=.004$ ), wobei die mittlere Fixationsdauer für den Zeitraum der räumlichen Aufgabe 529 ms beträgt, im Vergleich zu 487 ms bei der verbalen Aufgabenbearbeitung.

## Leichte Aufgabe

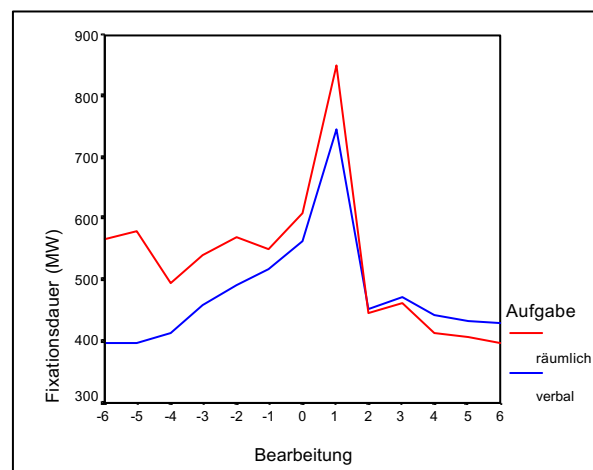


**Abbildung 5-12: Verteilung der Fixationsdauern in Abhängigkeit von der leichten Nebenaufgabe**

Abbildung 5-12 stellt die Verteilung der Fixationsdauern bei der leichten Aufgabe dar. Der Vergleich zeigt, daß bei der räumlichen Aufgabe eindeutig längere Fixationen auftreten, als bei der verbalen Aufgabe. Die Analyse der Mittelwerte weist den Unterschied zwischen den beiden Nebenaufgaben als signifikant aus ( $F_{1,17}=5.778$ ,  $p=.028$ ). Eine noch etwas genauere Betrachtung des Blickverhaltens ist notwendig, da die Aufgabe zuerst akustisch dargeboten wurde und danach die Bearbeitung und Lösung der Aufgabe erfolgte. Unter Berücksichtigung des Modells von Wickens (1984) handelt es sich dabei um verschiedene Aufmerksamkeitsstufen. Die Darbietung entspricht dabei der Kodierung, die Bearbeitung beinhaltet hingegen die Stufen der Verarbeitung und die Reaktion.



**Abbildung 5-13: Mittlere Fixationsdauer bei der Darbietung der leichten Nebenaufgabe**

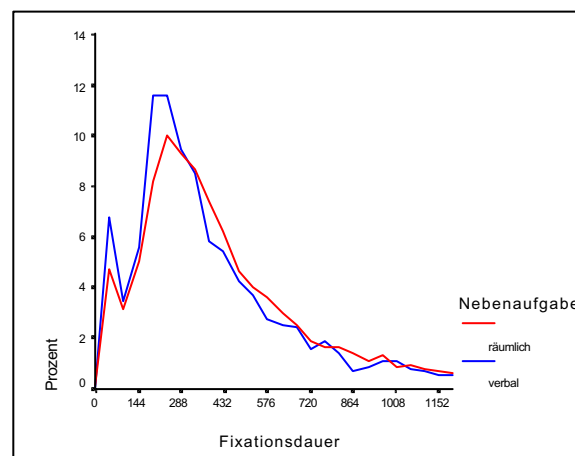


**Abbildung 5-14: Mittlere Fixationsdauer bei der Bearbeitung der leichten Nebenaufgabe**

Der Punkt 0 in Abbildung 5-13 entspricht der Fixation, die zu dem Zeitpunkt gemessen wurde, als die Präsentation einer Nebenaufgabe begann, der Abschnitt 1 bis 5 entspricht folglich den Werten der Fixationsdauer, die während der Darbietung der Aufgabe erhoben wurden.

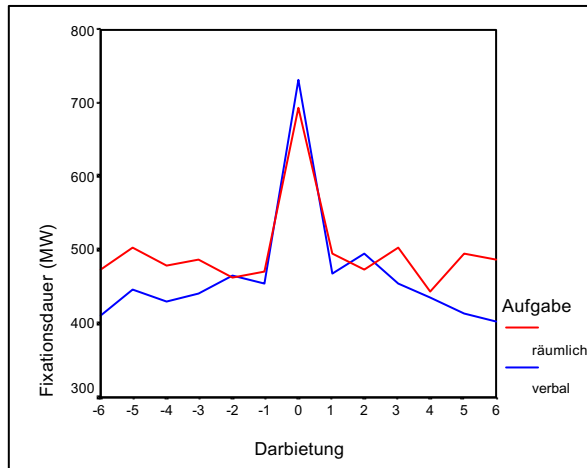
den. Analog zu Abbildung 5-14 entspricht der Punkt 0 in Abbildung 5-13 den Fixationswerten, die für den Zeitpunkt ermittelt wurden, als die Versuchspersonen die Aufgabe beantworteten, indem sie die entsprechende Taste drückten. Der Abschnitt -6 bis -1 zeigt demnach die Fixationswerte, die während der Bearbeitung der jeweiligen Nebenaufgabe gemessen wurden. Hierbei läßt sich zeigen, daß sowohl der Beginn der Darbietung der Aufgabe, als auch das Ende der Aufgabenstellung und somit der Zeitpunkt der Beantwortung der Frage zu einer prägnanten Verlängerung der Fixationsdauer führen. Anhand der Abbildung 5-13 läßt sich erkennen, daß zu Beginn (-1 bis 1) der Aufgabenstellung kein Unterschied bei den Fixationsdauern bezüglich der Nebenaufgabe zu erkennen ist. Der Anstieg der Fixationsdauer zu diesem Zeitpunkt läßt sich als Orientierungsreaktion interpretieren, die durch den Beginn der akustischen Aufgabendarbietung ausgelöst wurde. Die Unterscheidung zwischen räumlich und verbal beginnt zu einem späteren Zeitpunkt (ab 1) und läßt sich auch anhand der unterschiedlichen Fixationsdauern erkennen. Eine Analyse für den Zeitraum von 2 bis 6 zeigt, daß sich die mittleren Fixationsdauern hinsichtlich der Aufgaben und der Versuchsbedingungen signifikant unterscheiden ( $F_{1,17}=4.844$ ,  $p=.042$ ). Abbildung 5-13 verdeutlicht, daß die Bearbeitung der beiden verschiedenen Aufgaben ebenfalls einen Unterschied der Fixationsdauern bewirkt. Eine Analyse des Abschnitts von -6 bis 0 zeigt, eine signifikante Unterscheidung der mittleren Fixationsdauern beider Nebenaufgaben unter Berücksichtigung der Versuchsbedingungen auch für den Zeitraum der Lösung ( $F_{1,17}=6.588$ ,  $p=.020$ ). Der Zeitpunkt der Beantwortung der Frage ist ebenfalls durch einen deutlichen Anstieg der Fixationsdauer charakterisiert. Eine statistische Überprüfung zeigt auch für diesen Zeitraum (0 bis 2) einen signifikanten Unterschied des Blickverhaltens in Abhängigkeit von der Aufgabe ( $F_{1,17}=7.142$ ,  $p=.016$ ). Der Anstieg der mittleren Fixationsdauer an dem Punkt, an dem die Antwort gegeben wird, kann wiederum als Orientierungsreaktion interpretiert werden.

### Schwere Aufgabe

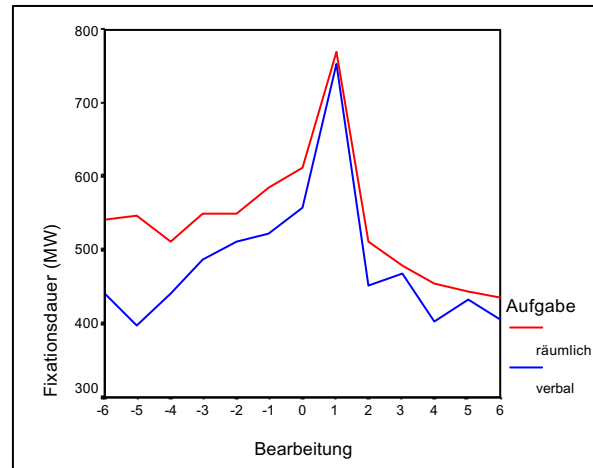


**Abbildung 5-15: Verteilung der Fixationsdauern in Abhängigkeit von der schweren Nebenaufgabe**

Abbildung 5-15 stellt die Verteilung der Fixationsdauern bei der schweren Aufgabe dar. Auch für die schwere Nebenaufgabe läßt sich erkennen, daß bei der räumlichen Aufgabe längere Fixationen auftreten, als bei Darbietung und Bearbeitung der verbalen Aufgabe. Statistische Signifikanz läßt sich für diesen Unterschied nicht nachweisen ( $F_{1,17}=1.790$ ,  $p=.199$ ). Ebenso wie bei der leichten Nebenaufgabe, soll bei der schweren Aufgabe eine getrennte Betrachtung für die Abschnitte der Aufgabendarbietung und der Aufgabenbearbeitung erfolgen.



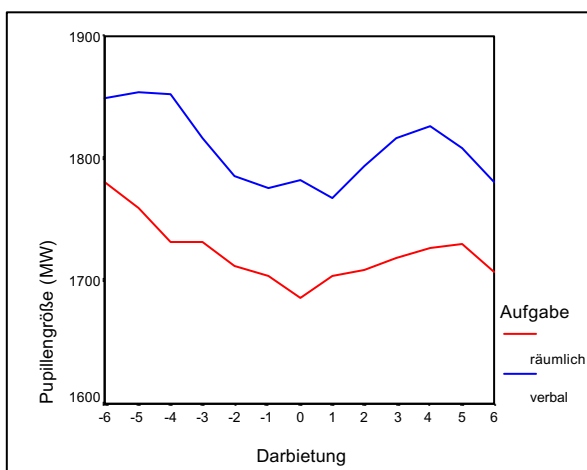
**Abbildung 5-16: Mittlere Fixationsdauer bei der Darbietung der schweren Nebenaufgabe**



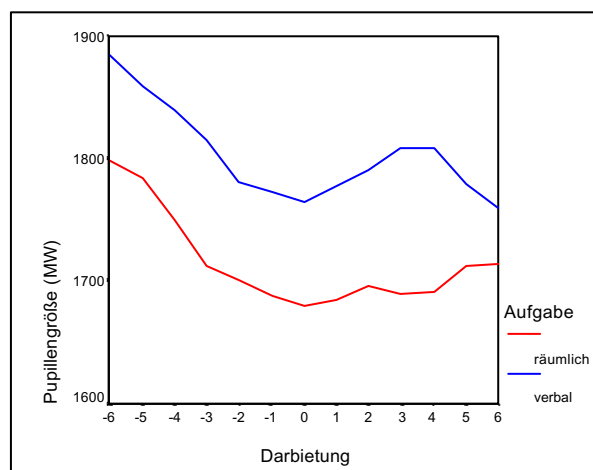
**Abbildung 5-17: Mittlere Fixationsdauer bei der Bearbeitung der schweren Nebenaufgabe**

Analog zu den vorangegangenen Darstellungen der leichten Aufgabe, lassen sich zu Beginn der Aufgabe und zum Zeitpunkt der Beantwortung eindeutige Verlängerungen der Fixationsdauer erkennen. Der Beginn der Darbietung ist wiederum durch einen "Gipfel" der Fixationsdauern charakterisiert, dabei unterscheiden sich die Mittelwerte nur geringfügig. Nach dem Beginn (1 bis 6) der Fragestellung ist ebenfalls zu erkennen, daß sich die Fixationsdauern der beiden Aufgaben unterscheiden, allerdings läßt sich für den Unterschied keine Signifikanz nachweisen ( $F_{1,17}=2.598$ ,  $p=.127$ ). In Abbildung 5-16 ist für die schwere Nebenaufgabe der Abschnitt der Aufgabenbearbeitung und der Zeitpunkt, an dem die Antwort gegeben wurde, dargestellt. Für den Zeitraum der Bearbeitung (-6 bis 0) zeigte die statistische Überprüfung allerdings keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten der Fixationsdauern ( $F_{1,17}=2.908$ ,  $p=.106$ ). Für den Zeitpunkt der Beantwortung ließ sich der Signifikanznachweis lediglich hinsichtlich der Versuchsbedingungen erbringen ( $F_{1,17}=5.775$ ,  $p=.028$ ).

### 5.3.3.2. Pupillengröße



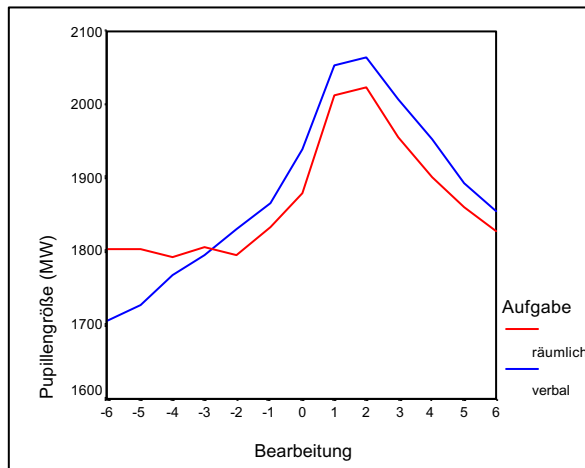
**Abbildung 5-18: Pupillengröße bei der Darbietung der leichten Aufgabe**



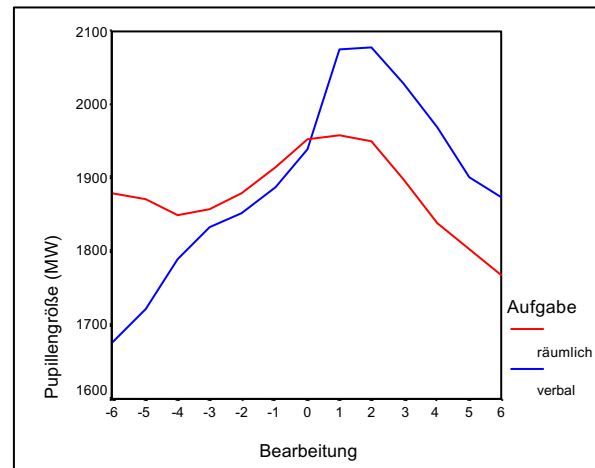
**Abbildung 5-19: Pupillengröße bei der Darbietung der schweren Aufgabe**

Zur Überprüfung der gefundenen Effekte sollen, entsprechend den vorangegangenen Betrachtungen, die Daten der Pupillengröße für den Abschnitt der Darbietung und den Abschnitt der Bearbeitung unter Berücksichtigung von leicht vs. schwer ausgewertet werden.

Die Abbildungen zeigen, daß analog zu den Fixationsdauern, auch für den Pupillendurchmesser ein geringer Anstieg zu verzeichnen ist. Im Gegensatz zu den Werten der Fixationsdauer, läßt sich der Anstieg des Pupillendurchmessers erst kurz nach Beginn der Aufgabenstellung erkennen. Außerdem läßt sich ein genereller Unterschied der Pupillengröße bezüglich der Aufgabenart erkennen, auch bereits vor dem Beginn der Aufgabendarbietung.



**Abbildung 5-20: Pupillengröße bei der Bearbeitung der leichten Nebenaufgabe**



**Abbildung 5-21: Pupillengröße bei der Bearbeitung der schweren Nebenaufgabe**

Die Analyse der Pupillengröße verdeutlicht, daß der Anstieg, der bei den Fixationsdauern gefunden wurde, auch durch eine entsprechende Zunahme des Pupillendurchmessers bestätigt werden kann. Im Unterschied zu den Ergebnissen der Fixationsdauern ist die Zunahme der Pupillengröße bei der verbalen Aufgabe stärker als bei der räumlichen Aufgabe. Allerdings konnte für die Unterschiede der Pupillengröße, hinsichtlich Bearbeitung und Beantwortung der Aufgaben, kein Signifikanznachweis erbracht werden. Lediglich bei der Bearbeitung der schweren Aufgabe handelt es sich um einen sehr signifikanten Unterschied ( $F_{1,17}=10.068$ ,  $p=.006$ ).

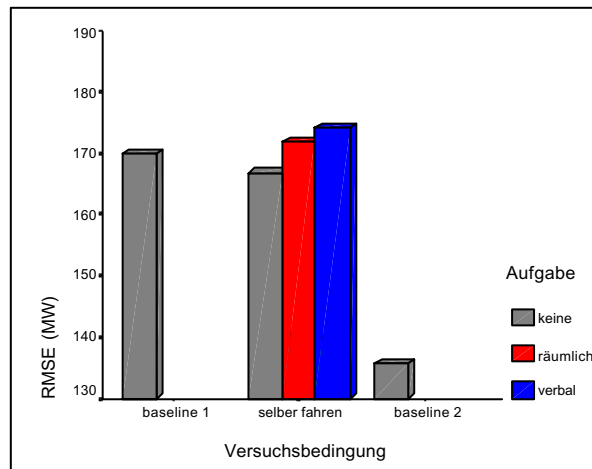
#### 5.3.4. Fahrverhalten

Die Daten, die von dem Simulatorprogramm aufgezeichnet wurden, sind Abweichungsmaße von der Ideallinie (Mitte der rechten Fahrspur). Dazu wurde für konstante Abschnitte der Strecke der RMSE nach folgender Formel berechnet:

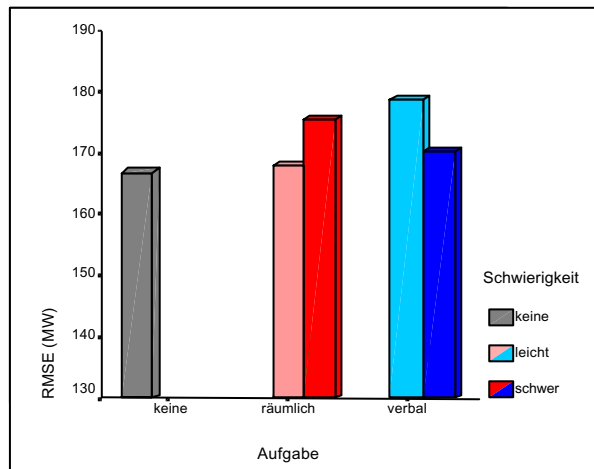
$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{\text{soll } i} - x_{\text{ist } i})^2}$$

Ein Wert von Null bedeutet dabei, daß es zu keiner Abweichung von der Ideallinie gekommen ist, der Wert 800 entspricht der gesamten Spurbreite. Ein Wert von >400 gilt als

gefährliche Spurabweichung, da sich ungefähr die Hälfte des Fahrzeugs entweder auf der linken Spur oder rechts neben der Fahrspur befindet.



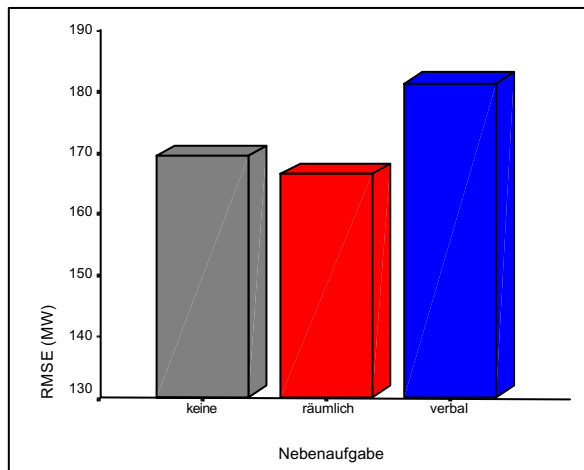
**Abbildung 5-22: Mittelwert des Fahrfehlers bei den Bedingungen mit aktiver Spurführung unter Berücksichtigung der Nebenaufgaben**



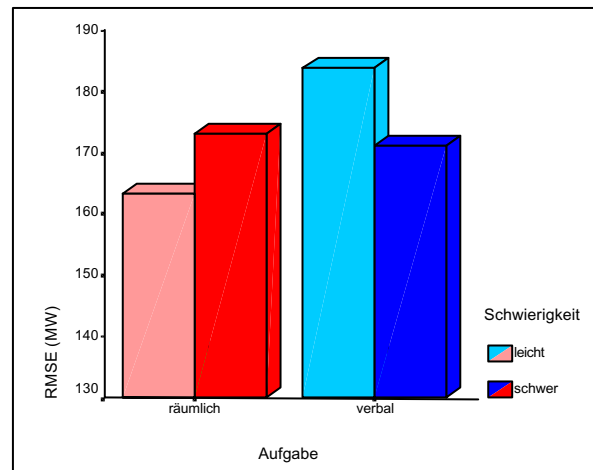
**Abbildung 5-23: Mittelwert des Fahrfehlers unter Berücksichtigung von Nebenaufgabe und Schwierigkeit**

Der Vergleich der RMSE Werte der beiden Baselinebedingungen in Abbildung 5-22 zeigt eine Verringerung des Fahrfehlers um etwa 20% von der ersten zur zweiten Baselinefahrt, die sich auf Lern- und Übungseffekte zurückführen lässt. Bei der differenzierten Betrachtung der Versuchsbedingung "selber fahren" zeigt sich, daß ebenfalls Lern- und Übungseffekte nachweisbar sind, allerdings nur in den Intervallen, in denen keine Aufgabe bearbeitet wurde. Für die Intervalle mit den Nebenaufgaben ist dagegen eine Verschlechterung der Spurführungsaufgabe erkennbar. Ein Vergleich von Spurführung ohne Aufgabendarbietung bzw. -bearbeitung mit der räumlichen Aufgabe zeigt einen Anstieg des Fahrfehlers um 3,6% und mit der verbalen Aufgabe läßt sich ein Anstieg um 4,8% erkennen. Bei der statistischen Überprüfung erwiesen sich die Unterschiede jedoch als nicht signifikant ( $F_{1,17}=1.06$ ,  $p=.317$ ). Eine Betrachtung des Fahrfehlers unter Berücksichtigung der Aufgaben und der Schwierigkeit zeigt, daß vor allem die schwere räumliche Aufgabe und die leichte verbale Aufgabe die Spurhaltung negativ beeinflussen (Anstieg des RMSE um 5,7% bzw. 7,6%). Die räumliche leichte Aufgabe hat eine Verschlechterung der Spurführung um 1,1% zur Folge und die verbale leichte Aufgabe führt zu einer Verschlechterung um 2,4%. Ein Signifikanznachweis konnte für diese Effekte jedoch nicht erbracht werden ( $F_{1,17}=1.806$ ,  $p=.197$ ).

Abbildung 5-24 stellt den Mittelwert des Fahrfehlers in Abhängigkeit von der jeweiligen Nebenaufgabe für den Abschnitt der Darbietung der Aufgabe dar, dabei wurden die Werte ausgewertet, die in dem Abschnitt von -6 bis 6 ermittelt wurden, entsprechend der Auswertung der Blickbewegungen. Dabei kann gezeigt werden, daß die Darbietung der verbalen Aufgaben zu signifikant schlechteren Ergebnissen bei der Spurhaltungsaufgabe führt ( $F_{1,17}=12.002$ ,  $p=.003$ ).

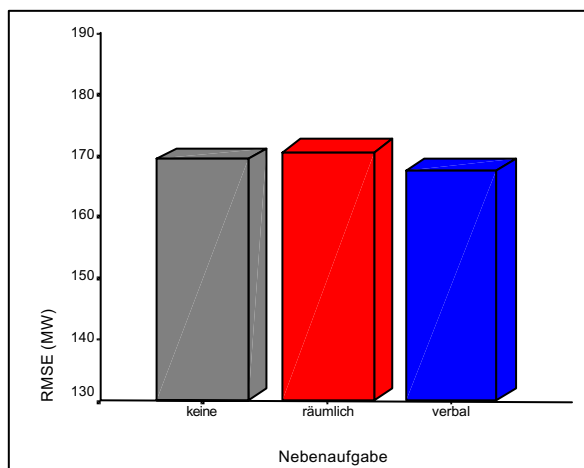


**Abbildung 5-24: Mittlerer Fahrfehler während der Darbietung**

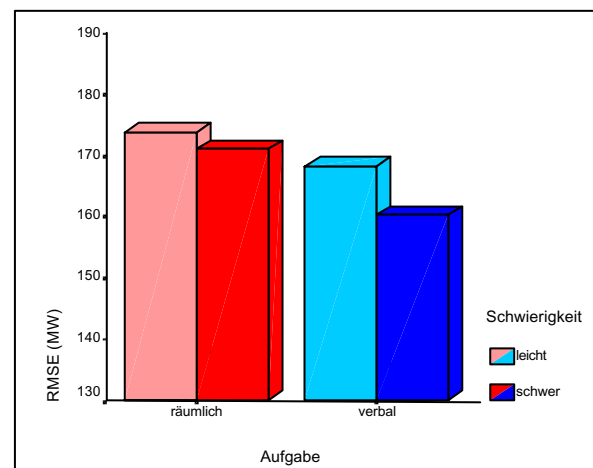


**Abbildung 5-25: Mittlerer Fahrfehler während der Darbietung unter Berücksichtigung der Schwierigkeit**

Bei der Betrachtung der unterschiedlichen Schwierigkeiten in Abbildung 5-25 zeigt sich, analog zu der vorangegangenen Darstellung, daß sich die Präsentation der schweren räumlichen und der leichten verbalen Aufgabe negativer auf die Spurführung auswirken, als die Darbietung der beiden anderen Aufgaben.



**Abbildung 5-26: Mittlerer Fahrfehler während der Bearbeitung**



**Abbildung 5-27: Mittlerer Fahrfehler während der Bearbeitung unter Berücksichtigung der Schwierigkeit**

Für den Zeitraum der Beantwortung, der von -6 bis 6, entsprechend der Auswertung der Blickbewegungen festgelegt wurde, läßt sich erkennen, daß die Spurführung durch die Bearbeitung der Nebenaufgabe im Vergleich zur Darbietung weniger beeinflusst wird. Dabei ist ersichtlich, daß die Auswirkung der räumlichen Aufgabe bei Darbietung und Bearbeitung kaum variiert, während die Beeinflussung des Fahrverhaltens durch die verbale Aufgabe bei der Bearbeitung sinkt. Der in Abbildung 5-26 dargestellte Unterschied zwischen den Aufgaben erweist sich unter Berücksichtigung von Geschlecht und Fahrerfahrung als signifikant ( $F_{2,17}=6.051$ ,  $p=.015$ ). Die detaillierte Darstellung in Abbildung 5-27 zeigt, daß bei der Bearbeitung der schweren verbalen Aufgabe der Fahrfehler am geringsten ist.

Der Unterschied zwischen dem Abschnitt der Darbietung und dem Abschnitt der Bearbeitung erweist sich unter Berücksichtigung der verschiedenen Aufgaben als sehr signifikant ( $F_{1,17}=16.175$ ,  $p=.002$ ). Weiterhin ist ersichtlich, daß die Lösung der verbalen Aufgabe eine Verringerung des Fahrfehlers, im Vergleich zur Darbietung der Aufgabe, um ca. 6% zur Folge hat. Die räumliche Nebenaufgabe beeinträchtigt die Spurführung sowohl während der Darbietung, als auch während der Bearbeitung relativ konstant.

## 5.4. Diskussion

Die Annahme von *Hypothese I* ließ sich mit Hilfe der vorliegenden Ergebnisse bestätigen. Es zeigte sich, daß sowohl die Bearbeitung der verbalen Aufgabe, als auch die der räumlichen zu einer Verlängerung der mittleren Fixationsdauer führte. In anderen Worten bedeutet dies, daß eine Beeinflussung des Blickverhaltens durch kognitive Prozesse ausgelöst werden kann. Die unterschiedlichen Informationsverarbeitungsprozesse bei der Bearbeitung räumlicher vs. verbaler Aufgaben ließen sich weiterhin bei der vorliegenden Untersuchung mittels der Verteilung Fixationsdauer und Unterschieden in der Pupillengröße aufzeigen. Der Vergleich zeigte dabei eindeutig längere Fixationen bei der Bearbeitung räumlicher und eindeutig kürzere Fixationen bei der Bearbeitung verbaler Aufgaben. Dieser Unterschied erwies sich als stabil, da bei allen Versuchsbedingungen und den verschiedenen Schwierigkeiten gleiche Effekte erkennbar waren.

Die Aussage von *Hypothese II* bezüglich der Verschlechterung der Spurführungsaufgabe bei gleichzeitiger Bearbeitung der Nebenaufgabe konnte anhand der ermittelten Daten grundlegend bestätigt werden. In diesem Zusammenhang erschien es sinnvoll, die Ergebnisse der Baselinefahrten mit einzubeziehen. Der Vergleich zwischen der Baseline vor und der Baseline nach dem Versuch zeigte eine höchst signifikante Abnahme des Fahrfehlers. Bei der dazwischen liegenden Versuchsbedingung "selber fahren" war diese Abnahme nicht erkennbar. Eine Untergliederung dieses Versuchsteils in die zwei Bedingungen "fahren mit Aufgabe" und "fahren ohne Aufgabe", ließ eine tendenzielle Abnahme des Fahrfehlers beim Fahren ohne Beeinträchtigung durch die Nebenaufgabe auch hier erkennen. Eine Interpretation der Unterschiede in den Daten als Einfluß von Lern- und Übungseffekten erschien also gerechtfertigt. Daraus ließ sich weiterführend die Bestätigung von *Hypothese II* ableiten, da der, wenn auch nur tendenzielle Anstieg des Fahrfehlers auf die Beeinträchtigung durch die Nebenaufgabe zurückgeführt werden kann. Anhand der Ergebnisse bestätigte sich die Vermutung, daß es sich bei der Spurführung um keine vollständig automatisierte Tätigkeit handelt. Es konnte gezeigt werden, daß ein bestimmtes Maß an Aufmerksamkeitskapazität zur möglichst fehlerfreien Spurführung durchaus notwendig ist. Die Präsentation, Bearbeitung und Lösung einer räumlichen Aufgabe zeigte auf allen 3 Stufen einen gleichbleibenden Einfluß auf das Fahrverhalten. Bei der verbalen Aufgabe beeinträchtigte vor allem die Darbietung die Leistungen der Spurhaltungsaufgabe. Der Einfluß der unterschiedlichen Schwierigkeiten auf die Spurführung konnte mit der durchgeführten Untersuchung nicht nachgewiesen werden, insofern mußte die diesbezügliche Aussage von *Hypothese II* zurückgewiesen werden.

Entsprechend der Aussage von *Hypothese III* zeigten die Ergebnisse der Untersuchung einen Anstieg der Reaktionszeit, bei der Bedingung „selber fahren“, im Vergleich zu den beiden anderen Bedingungen. Die Aufgabe der Steuerung der Spurführung und die Lösung der dargebotenen Aufgaben interferierten offenbar miteinander. Damit ließ sich wiederum bestätigen, daß es sich bei der Spurführungsaufgabe um keine vollständig automatisierte Tätigkeit handelt, sondern eine bestimmte Aufmerksamkeitskapazität zur Regulierung notwendig ist.



Im Mittelpunkt der vorliegenden Untersuchung stand die Analyse des Blickverhaltens bei der Bearbeitung unterschiedlicher Aufgaben. Dabei konnte gezeigt werden, daß auch die visuelle Umgebung einen Einfluß auf die Blickbewegungen ausübte, da sich die mittleren Fixationsdauern der 3 Versuchsbedingungen voneinander unterschieden. Die Verlängerung der Fixationsdauer bei der Autopilotbedingung im Vergleich zu der statischen Bedingung war allein auf einen Unterschied in der visuellen Umgebung zurückzuführen. Als Erklärung könnte die Bewegungsunschärfe dienen, aufgrund derer die Blickortbestimmung mehr Zeit benötigte, als das bei statischen Umgebungen der Fall war. Auch der Vergleich der Verteilungen der modalen Fixationsdauer zeigte, daß sich Ergebnisse des Blickverhaltens, die in statischer Umgebung gewonnen wurden, nicht ohne weiteres auf dynamische Situationen generalisieren lassen, was als Nachweis für die Beeinflussung von Blickbewegungen durch Umgebungsvariablen angesehen werden kann. Darüber hinaus zeigte sich ein Unterschied zwischen der Autopilotbedingung und der Bedingung „selber fahren“. Da beide Versuchsbedingungen identisch waren und sich nur durch die Spurhaltungsaufgabe unterschieden, war die Verlängerung der Fixationsdauer also auf die Bewältigung der Spurführungsaufgabe zurückzuführen. Der Anstieg der Fixationsdauer durch die Spurführungsaufgabe, bei der die Probanden aktiv in das Fahrgeschehen eingreifen mußten, weist darauf hin, daß die Steuerung der Fixationen im Kontext der anderen sensomotorischen Aufgaben eher zentral stattfindet. Die Aussage der *Hypothese IV* ließ sich somit anhand der vorliegenden Daten bestätigen.

## 6. ZUSAMMENFASSENDE INTERPRETATION UND AUSBLICK

Die Hypothesen des ersten Experiments über das Blickverhalten konnten bestätigt werden. Vor allem das Fixationsverhalten scheint sich als potentieller Prädiktor für die Gefahrenerkennung anzubieten. Im Falle der roten Ampel zeigt sich jedoch auch, daß nicht bei allen Gefahren das gleiche Blickbewegungsmuster zu erkennen ist; hier ist eine Differenzierung notwendig.

Auch die Hypothesen der zweiten Untersuchung konnten grundlegend bestätigt werden. Es zeigen sich bei der Bearbeitung *räumlicher* Aufgaben eindeutig längere Fixationen als bei der Bearbeitung der *verbalen* Aufgabe. Neben externen Bedingungen beeinflussen vor allem auch interne Vorgänge das Blickverhalten entscheidend, was den Schluß zuläßt, daß zur Visualisierung räumlicher Vorstellungen offensichtlich Ressourcen der visuellen Aufmerksamkeit aus der Umgebung abgezogen werden. Der Unterschied im Fixationsverhalten scheint die unterschiedliche Lokalisation der zwei Arten der Informationsverarbeitung zu unterstreichen.

Beide Untersuchungen zeigten, daß die Fixationsdauer in dynamischen Umgebungen länger ist als in statischen. Ergebnisse von Studien, die das Blickverhalten und/oder Aufmerksamkeitsverteilung bei der Gefahrenerkennung bei statischem Hintergrund untersuchen, können folglich nicht ohne weiteres auf eine dynamische Umgebung generalisiert werden.

Die Auswertungen der Blickbewegungen beider Untersuchungen fanden im Rahmen einer „blinden“ Analyse statt, d.h. die Blickorte wurden nicht berücksichtigt. Dennoch zeigt diese Analyse, daß Blickbewegungen auf die Fahrumgebungserfassung schließen lassen. Es bedarf jedoch aufbauender Untersuchungen für beide Experimente: Eine Follow Up-Studie des ersten Experiments sollte die exakte räumliche und zeitliche Abhängigkeit gefahrenspezifischer aufeinander folgender Blickbewegungsparameter untersuchen. Eine derartige Studie könnte Aufschluß darüber geben, wie sich bestimmte Blickparameter unter spezifischen situativen Bedingungen verändern, so daß letztlich eine Vorhersage der situativen Bedingung aufgrund spezieller vorhandener Blickparameterfolgen möglich ist. Um eine höhere ökologische Validität zu gewährleisten wird hierzu ein Fahrsimulator benötigt, mit dem eine realistischere Umgebungsdarstellung möglich ist. Zunächst sollten die gefahrenspezifischen Blickbewegungsmuster jedoch wiederholt an den gleichen Versuchspersonen untersucht werden, so daß sich die Gültigkeit der Ergebnisse vorerst auf die untersuchte Stichprobe bezieht, das aber mit einer großen Genauigkeit. Für eine detailliertere Aufklärung der Ergebnisse des zweiten Experiments müssen Aufgaben verwendet werden, die hinsichtlich der Bearbeitungsstruktur besser vergleichbar sind. Nur auf diesem Wege lassen sich die Zusammenhänge zwischen den Verarbeitungsstrukturen und dem Blickverhalten eindeutig ermitteln. Auch hier ist für eine noch exaktere Exploration der ablaufenden Prozesse ein realistischerer Fahrsimulator und eine Blickortanalyse notwendig. Eine Analyse der Blickorte könnte hier ein Muster erkennen lassen, das charakteristisch für die Spurführungsaufgabe ist. Davon abweichendes Blickverhalten sollte auf den Einfluß der Nebenaufgaben zurückzuführen sein. Auf diese Weise ließe sich zeitlich genau bestimmen, wann eine Nebenaufgabe bearbeitet wird oder wann die volle Aufmerksamkeit für die Spurführung zur Verfügung steht. Von weiterem Interesse wäre eine Untersuchung, bei der sowohl verbale und räumliche Nebenaufgaben, als auch Gefahren dargeboten werden. Letztlich finden sich in Experiment 1 Hinweise darauf, daß sich das Blick- und Fahrverhalten von Fahrern mit viel Fahrpraxis von denen mit weniger Fahrerfahrung un-

terscheidet. Auch diesen Hinweisen sollte in einer weiterführenden Untersuchung unbedingt nachgegangen werden.

Durch die Implementierung einer berührungslosen Blickbewegungsregistrierung in ein zentrales Information-Management-System ließen sich die dargestellten und noch ausstehenden Ergebnisse praktisch anwenden. Voraussetzung hierfür ist jedoch ein intelligentes, den kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten des Fahrers entsprechend organisiertes System, das situationsspezifisch mit dem Fahrer interagiert: Die Blickbewegungskamera vergleicht die Augenbewegungen des Fahrers mit den Gegebenheiten außerhalb des Fahrzeuges. Beim Auftreten gefährlicher Situationen ist ein typisches Blickbewegungsmuster des Fahrers zu erwarten; sollte dieses, trotz real existierender Gefahr, nicht erkennbar werden, beginnt das Unterstützungssystem zu warnen (z.B. durch Vibrations-Feedback in einem Multifunktionslenkrad). Hierbei muß das Frühwarnsystem Priorität gegenüber allen anderen technischen Systemen (z.B. Radio, Telefon etc.) besitzen. Die Informationen müssen aus den verschiedenen und unterschiedlich wichtigen Systemen im Fahrzeug zeitlich und räumlich in Einklang gebracht werden. Auch bei einem vom Eyetracker erkannten Aufmerksamkeitsdefizit, ähnlich wie bei der Bearbeitung einer Nebenaufgabe, muß sich das Unterstützungssystem in höchster Alarmbereitschaft befinden. Natürlich muß das visuelle Erscheinungsbild des Information-Management-Systems, wie bereits erwähnt den kognitiven Fähigkeiten entsprechend gestaltet werden (z.B. durch ein Head-Up-Display). In diesem Zusammenhang ließe sich auch eine effiziente Bedienung des Systems mittels Blicksteuerung realisieren: Die Nutzung des Auges als erwiesenermaßen schnelles und natürliches Eingabeinstrument (vgl. hierzu u.a. Ware, 1987; Jakob, 1995; Steudel, 1999). Weiterführende Untersuchungen bezüglich des Unterschiedes von Blick- und Fahrverhalten bei fahrfahrenen und fahrnerfahrenen Personen könnten zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten eröffnen: Das Blickverhalten von Fahranfängern ließe sich sozusagen „vorausblickenderweise“ schulen. Cohen (1998) nimmt an, daß im Falle des Blickverhaltens, das Erlernen einer verkehrsgerechten Orientierung durch gezieltes Training beschleunigt werden und somit positiver Einfluß auf die Verkehrssicherheit ausgeübt werden kann. Ein solches Training könnte bei Fahranfängern durch entsprechende Rückmeldungen, mit Hilfe blickregistrierender Systeme, beschleunigt werden. Basierend auf diesem Ansatz sind auch positive und negative Rückmeldungen im Fahrzeug denkbar, die vor allem älteren Fahrern als unterstützende Hinweise dienen können. Ebenso wäre ein Einsatz als Bewährungshilfe für sogenannte "Punktetäter" möglich. Darüber hinaus wäre denkbar, je nachdem wie viele situationsspezifische Blickbewegungsmuster in Zukunft "isoliert" werden, die Parameter des Frühwarnsystems unterschiedlich einzustellen. Bei einer Nachtfahrt hätten dann z.B. spezifische Nachtmuster Priorität (tageszeit- oder streckenabhängige Muster könnten auch automatisch über Funk eingestellt werden).

Zusammenfassend betrachten die Autoren die Ergebnisse der beiden Untersuchung als einen wichtigen Schritt in die richtige Richtung: Die Gestaltung eines **Dialoges** zwischen Mensch und Computer, der unter Berücksichtigung der kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten des Fahrzeugführers in Zukunft erheblich dazu beitragen kann den Straßenverkehr langfristig sicherer zu machen. Bereits heute wäre die alleinige Registrierung von Fixationen und Sakkaden (ohne räumlicher Lokalisation der Fixation) während der Fahrt relativ kostengünstig und einfach zu ermöglichen – die Ergebnisse dieser Untersuchung ließen sich also bereits praktisch umsetzen. Für eine Realisierung des Ansatzes ist das derzeitige Wissen allerdings noch unzureichend. Studien wie diese müssen repliziert und weitergeführt werden, um genauere Kenntnis über gefahrenspezifische Blickbewegungsmuster und solche, die die Aufmerksamkeitsverteilung durch Nebenaufgaben widerspiegeln, zu erhalten. Die zu erwartende Entwicklung der Technik wird dies, auch im Hinblick auf die Kosten, in naher Zukunft ermöglichen.

## 7. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3-1: Das Modell der Risikohomöostase nach Wilde.....	8
Abbildung 3-2: Gegenüberstellung der drei Ebenen der Fahrzeugführung (Bernotat, 1970; Donges, 1978; Michon, 1985) und der Ebenen der Ausführungsregulation (Hacker, 1998). ....	11
Abbildung 3-3: Darstellung des Zusammenhangs von Gesichtsfeld, Hemisphäre und motorischer Steuerung der Hand.....	13
Abbildung 3-4: Modell 1 der Aufmerksamkeit .....	16
Abbildung 3-5: Modell 2 der Aufmerksamkeit .....	17
Abbildung 3-6: Zusammenhang zwischen den Ebenen der Handlungsregulation (Hacker, 1986) und der Informationsverarbeitung .....	17
Abbildung 3-7: Darstellung einer retinalen Abbildung bei Tageslicht .....	19
Abbildung 3-8: Fixationsdauer als Indikator der Ebenen der Informationsverarbeitung .....	22
Abbildung 3-9: Kopfgestützter Eyetracker EyeLink™ der Firma SR Research, Ltd. wie er gegenwärtig im Dresdner Blickbewegungslabor eingesetzt wird. ....	24
Abbildung 3-10: Beispiel für ein Information-Management-System (COMAND von Mercedes-Benz) .....	27
Abbildung 3-11: Navigationssystem mit Pfeilhinweisen und Sprachausgabe, wie es gegenwärtig von BMW eingesetzt wird.....	28
Abbildung 3-12: Navigationssystem mit Routenkarte, wie es gegenwärtig von BMW eingesetzt wird.....	28
Abbildung 4-1: Standbild, das eine gefährliche Situation darstellt. ....	34
Abbildung 4-2: Fahrsimulator inklusive aller möglichen Ereignisse. Eine gleichzeitige Darbietung fand in der vorliegenden Untersuchung jedoch nicht statt. ....	35
Abbildung 4-3: Schematische Darstellung des Eyetrackers. ....	36
Abbildung 4-4: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus.....	37
Abbildung 4-5: Bild 1 des Versuchsaufbaus.....	37
Abbildung 4-6: Bild 2 des Versuchsaufbaus.....	37
Abbildung 4-7: Prozentuale Probandenverteilung auf die Fahrpraxis .....	39
Abbildung 4-8: Geschlechterverteilung bei Probanden mit „viel Fahrpraxis“ .....	39
Abbildung 4-9: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern zwischen der Standbildbedingung und der Videobedingung.....	40
Abbildung 4-10: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern zwischen der Videobedingung und der Simulatorbedingung (Autopilot) .....	40
Abbildung 4-11: Phasische Veränderung der Fixationsdauer um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung gemittelt für alle unmittelbaren Gefahren.....	41
Abbildung 4-12: Phasische Veränderung der Fixationsdauer um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung für die einzelnen unmittelbaren Gefahren. ....	42
Abbildung 4-13: Phasische Veränderung der Fixationsdauer um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung für die zwei Fahrbedingungen Autopilot und „selber fahren“.....	42
Abbildung 4-14: Relative Verteilung von fünf Klassen von Fixationsdauern um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung. ....	42
Abbildung 4-15: Phasischer Verlauf der Sakkadenamplituden um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung.....	43
Abbildung 4-16: Phasischer Verlauf der Sakkadenamplituden um den Zeitpunkt der Gefahrenerkennung für alle drei Gefahrenarten.....	43
Abbildung 4-17: Phasische Veränderung der Pupillengröße zum Zeitpunkt der Gefahrenerkennung bei eingeschaltetem Autopilot und bei der Bedingung „selber-fahren“.....	44
Abbildung 5-1: dual-task Modell der vorliegenden Untersuchung .....	46
Abbildung 5-2: grafische Darstellung von abhängiger und unabhängiger Variable im Versuchsplan (in Anlehnung an Abbildung 5-1).....	49
Abbildung 5-3: Hütchenspiel leicht.....	50
Abbildung 5-4: Hütchenspiel schwer.....	50

Abbildung 5-5: Schematischer Versuchsaufbau .....	51
Abbildung 5-6: Reaktionszeit in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen.....	53
Abbildung 5-7: Reaktionszeit in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen für die räumlichen Aufgaben.....	54
Abbildung 5-8: Reaktionszeit in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen für die verbalen Aufgaben.....	54
Abbildung 5-9: Verteilung der Fixationsdauer in Abhängigkeit von der Versuchsbedingung.....	55
Abbildung 5-10: Verteilung der Fixationsdauern mit und ohne Nebenaufgabe .....	56
Abbildung 5-11: Verteilung der Fixationsdauern in Abhängigkeit von der Nebenaufgabe.....	56
Abbildung 5-12: Verteilung der Fixationsdauern in Abhängigkeit von der leichten Nebenaufgabe ....	57
Abbildung 5-13: Mittlere Fixationsdauer bei der Darbietung der leichten Nebenaufgabe .....	57
Abbildung 5-14: Mittlere Fixationsdauer bei der Bearbeitung der leichten Nebenaufgabe.....	57
Abbildung 5-15: Verteilung der Fixationsdauern in Abhängigkeit von der schweren Nebenaufgabe.....	58
Abbildung 5-16: Mittlere Fixationsdauer bei der Darbietung der schweren Nebenaufgabe .....	59
Abbildung 5-17: Mittlere Fixationsdauer bei der Bearbeitung der schweren Nebenaufgabe .....	59
Abbildung 5-18: Pupillengröße bei der Darbietung der leichten Aufgabe .....	59
Abbildung 5-19: Pupillengröße bei der Darbietung der schweren Aufgabe.....	59
Abbildung 5-20: Pupillengröße bei der Bearbeitung der leichten Nebenaufgabe.....	60
Abbildung 5-21: Pupillengröße bei der Bearbeitung der schweren Nebenaufgabe.....	60
Abbildung 5-22: Mittelwert des Fahrfehlers bei den Bedingungen mit aktiver Spurführung unter Berücksichtigung der Nebenaufgaben .....	61
Abbildung 5-23: Mittelwert des Fahrfehlers unter Berücksichtigung von Nebenaufgabe und Schwierigkeit .....	61
Abbildung 5-24: Mittlerer Fahrfehler während der Darbietung .....	62
Abbildung 5-25: Mittlerer Fahrfehler während der Darbietung unter Berücksichtigung der Schwierigkeit .....	62
Abbildung 5-26: Mittlerer Fahrfehler während der Bearbeitung .....	62
Abbildung 5-27: Mittlerer Fahrfehler während der Bearbeitung unter Berücksichtigung der Schwierigkeit .....	62

## 8. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3-1: Kategorisierung von Fahraufgaben. ....	10
Tabelle 4-1: Allgemeiner Versuchsplan. ....	31
Tabelle 4-2: Detaillierter Versuchsablauf.....	32
Tabelle 4-3: Arten von möglichen Ereignissen in der Simulatorbedingung. ....	34
Tabelle 5-1: Darstellung des Versuchsdesigns .....	49
Tabelle 5-2: Verteilung von Fahrerfahrung unter Berücksichtigung des Geschlechts .....	53
Tabelle 5-3: Zusammenhang zwischen Versuchsbedingung und Antwort.....	54

## 9. LITERATURVERZEICHNIS

- Ahern, S.K. & Beatty, J. (1981). Physiological evidence that demand for processing capacity varies with intelligence. In M. Friedman, J.P. Das & N. O' Connor (Eds.), *Intelligence and Learning*. New York: Plenum Press.
- Allen, M. (1983). Models of hemispheric specialization. *Psychological Bulletin* 93, 73-104.
- Alm H. & Berlin, M. (1990). *What is the optimal amount of information from a verbally based navigation system?* Technical Report, Swedish Road and Traffic Research Institute (VTI). Linköping, Sweden.
- Anderson, J.R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, Mass: Havard University Press.
- Angermüller, H. (1992). Moderne Fahrer-Informationssysteme im KFZ. In VDI Berichte 1009. Elektronik im Kraftfahrzeug. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Aschenbrenner, K., Biehl, B. & Wurm, G.W. (1992). Mehr Verkessicherheit durch bessere Technik? Felduntersuchungen zur Risikokompensation am Beispiel des Antiblockiersystem (ABS). *Bericht zum Forschungsprojekt 8323 der Bundesanstalt für Straßenwesen*. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Ashby, M.C., Fairclough, S.H. & Parkes, A.M. (1991). A comparison of route navigation and route guidance systems in an urban environment. *Proceedings of ISATA Conference*. Florence, Italy.
- Baars, B.J. (1997). Some essential differences between consiousness and attention, perception, and working memory. *Consciousness and Cognition* 6, 363-371.
- Barth, N. (1982). *Frankfurter Analogietest für 6. bis 9. Klassen (FAT 6-9)*. Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung.
- Barton, M.I., Goodglass, H. & Shai, A. (1965). Differential Recognition of Tachistoscopically Presented English and Hebrew Words in Right and Left Fields. *Perceptual and Motor Skills* 21, 431-437.
- Bauer B. (1998). *Augenbewegungen und Ebenen der Informationsverarbeitung*. Diplomarbeit, TU-Dresden, Fachbereich Psychologie.
- Belser, H., Anger, H. & Bargmann, R. (1972). *Frankfurter Analogietest für 4. bis 6. Klassen (FAT 4-6)*. Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung.
- Bengler, K., Bernasch, J.H. & Löwenau, J.P. (1996). *Comparison of eye movement behavior during negotiation of curves on test track and in BMW driving simulator*. Presented at the Annual Meeting of the Europe Chapter of the Human Factors and Ergonomics Society. Groningen, The Netherlands 7.-8. Nov. 1996.
- Bergstrom, K.J. & Hiscock, M. (1988). Factors influencing ocular motility during the performance of cognitive tasks. *Canadian Journal of Psychology* 42 (1), 1-23.
- Bernotat, R. (1970). Antropotechnik in der Fahrzeugführung. *Ergonomics*, 13, 353-377.
- Beste, D. (1995). Prometheus auf der Autobahn. *Spektrum der Wissenschaft: Dossier 2: Verkehr und Auto*, 20-23.
- Blumstein, S., Goodglass, H. & Tarter, V. (1975). The Reliability of Ear Advantage in Dichotic Listening. *Brain and Language* 2, 226-236.

- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. 5. Auflage. Berlin: Springer.
- Bradshaw, J.L., Nettleton, N.C. & Taylor, M.J. (1981). Right hemisphere language and cognitive deficit in sinistrals?. *Neuropsychologia* 19, 113-132.
- Bradshaw, J.L., Nettleton, N.C., Nathan, G. & Wilson, L. (1983). Head and body space to left and right, front and rear-II. Visuotactual and kinesthetic studies and left-side underestimation. *Neuropsychologia* 21, 475-486.
- Brosius, F. (1999). SPSS 8.0. Bonn: International Thomson Publishing.
- Bryden, M.P. (1982). *Laterality: Functional Asymmetry in the Intact Brain*. New York: Academic Press.
- Bühl, A. & Zöfel, P. (1996). *Professionelle Datenanalyse mit SPSS für Windows*. Bonn: Addison-Wesley.
- Carter, C.J. & Laya, O. (1998). *Drivers' visual search in a field situation and in a driving simulator*. In A.G. Gale (Ed.), *Vision in Vehicles VI*. Amsterdam: Elsevier.
- Cohen, A.S. (1985). Visuelle Informationsaufnahme während der Fahrzeugsteuerung in Abhängigkeit der Umweltmerkmale und der Fahrpraxis. *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie*, 44(4), 249-288.
- Cohen, A.S. (1993). *Visuelle Informationsaufnahme des motorisierten Verkehrsteilnehmers*. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 7/8.
- Cohen, A.S. (1998). Visuelle Orientierung im Straßenverkehr: Eine empirische Untersuchung zur Theorie des visuellen Abtastens. *bfi-Report* 34.
- Craik, F.I.M. & Lockhart, R.S. (1972). Levels of processing: A framework of memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671-684.
- Crovitz, H.F. & Davies, W. (1962). Tendencies to eye movement and perceptual accuracy. *Journal of Experimental Psychology* 63, 495-498.
- Deubel H. (1994). Visuelle Verarbeitung und kognitive Faktoren bei der Generierung sakkadischer Augenbewegungen. In W. Prinz, B. Bridgeman (Hrsg.), *Wahrnehmung*. Serie: *Enzyklopädie der Psychologie*, Serie II, Kognition, Band 1.
- Dodge, R. & Cline, T.S. (1901). The angle velocity of eye movements. *Psychological Review*, 8, 145-157.
- Donges, E. (1978). Ein regelungstechnisches Zwei-Ebenen-Modell des menschlichen Lenkverhaltens im Kraftfahrzeug. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 24, 98-112.
- Engel, F.L. (1976). *Visual Conspicuity as an external determinant of eye movements and selective attention*. Thesis. TH Eindhoven.
- Engel, F.L. (1977). Visual conspicuity, visual search and fixation tendencies of the eye. *Vision Research* 17, 95-108.
- Eriksen, B.A. & Eriksen, C.W. (1974). Effects of noise letters on the identification of a target letter in a non-search task. *Perception & Psychophysics* 16, 143-149.
- Färber, B. & Färber, B. (1984). Grundlagen und Möglichkeiten der Nutzung sprachlicher Informationssysteme im Kraftfahrzeug. Hauptstudie. *FAT - Schriftenreihe Nr. 39*. Frankfurt: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V..
- Färber, B. & Färber, B. (1999). Telematik-Systeme und Verkehrssicherheit. *Reihe Mensch und Sicherheit, M104*. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhafen.

- Färber, B. & Popp, M.M. (1990). Gestaltung von Anzeigen für die Wegleitung und deren Position im Kraftfahrzeug. In H. Derkum (Hrsg.) *Sicht und Sicherheit im Straßenverkehr*. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Fastenmeier, W., Gstalter, H. & Galsterer, H. (1993). *Sicherheitsbewertung von PROMETHEUS-Systemen mit Hilfe situations- und verhaltensbezogener Kenngrößen. Teil I: Sicherheit und Nützlichkeit eines Navigationssystems*. PROMETHEUS Phase III. München: Diagnose und Verkehr.
- Findlay, J.M. & Walker, R. (in press). A model of saccade generation based on parallel processing and competitive inhibition.
- Geffen, G., Bradshaw, J.L. & Wallace, G. (1971). Interhemispheric Effects on Reaction Time to Verbal and Nonverbal Visual Stimuli. *Journal of Experimental Psychology* 87, 415-442.
- Gramberg-Danielsen, B. (1967). *Sehen und Verkehr*. Berlin: Springer Verlag.
- Hacker, W. (1998). *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Bern: Huber.
- Hansen, J.P., Andersen, A.W. & Roed, P. (1995). Eye-Gaze Control of Multimedia Systems. In Y. Anzai, K. Ogawa & H. Mori (Eds.), *Symbiosis of human and artifact*. Proceedings of the 6<sup>th</sup> international conference on human computer interaction. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Harris, C.M., Hainline, L., Abramov, I., Lemerise, E. & Camenzzli, C. (1988). The distribution of fixations in infants and naive adults. *Vision Research* 28(3), 419-432.
- Heintz, F., Bouis, D. & Haller, R. (1985). *A Concept of User-Guidance for Vehicle Information Systems*. SAE Paper 850309.
- Hellige, J. (1991). Cerebral Laterality and Metacognition. In F. Kitterle (Hrsg.) *Recent Advances in Laterality*. Hillsdale: Erlbaum.
- Hermann, K. (1997). *Veränderung der Blickverhaltensparameter beim Autofahren durch ein Navigationssystem*. Diplomarbeit, Fachhochschule München, Fachbereich Maschinenbau.
- Hess, E.H. & Polt, J.M. (1964). Pupil size in relation to mental activity during simple problem solving. *Science* 140, 1190-1192.
- Hines, D. & Satz, P. (1974). Cross-Modal Asymmetries in Perception Related to Asymmetry in Cerebral Function. *Neuropsychologica* 12, 239-247.
- Hoffman J.E. (1996). Visual attention and Eye Movements. In H. Pashler (Ed.), *Attention*. London: University College London Press.
- Hoffman J.E. (in press). Stages of processing in visual search and attention. In B. Challis & B.M. Velichkovsky (Eds.), *Stratification in cognition and consciousness*. Amsterdam: John Benjamins.
- Hoffman, J.E. (1979). A two stage model of visual search. *Perception and Psychophysics*, 25, 319-327.
- Hubel, D.H. (1990). Auge und Gehirn: *Neurobiologie des Sehens*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft.
- Jacob, R.J.K. (1995). Eye tracking in advanced interface design. In W. Barfield & T. Furness (Eds.), *Advanced interface design and virtual environments*. New York: Oxford University Press.



- Kahneman, D. & Beatty, J. (1966). Pupil diameter and load on memory. *Science* 154, 1583-1585.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Kandel, E.R., Schwartz, J.H. & Jessell, T.M. (1991). *Principles of Neural Science*. New York: Elsevier Science Publishing Co.
- Kebeck, G. & Cieler, S. (1997). Innovative Informationsdarbietung im Pkw. In U. Schulz (Hrsg.). *Wahrnehmungs-, Entscheidungs-, und Handlungsprozesse beim Führen eines Kraftfahrzeugs*. Münster: LIT.
- Kee, D.W. & Cherry, B. (1990). Lateralized Interference in Finger Tapping: Initial Value Differences Do Not Affect the Outcome. *Neuropsychologica* 28, 313-316.
- Kimura, D. (1961). Some Effects of Temporal Lobe Damage on Auditory Perception. *Canadian Journal of Psychology* 15, 156-165.
- Kimura, D. (1964). Left-Right Differences in the Perception of Melodies. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 16, 355-358.
- Kimura, D. (1967). Functional Asymmetry of the Brain in Dichotic Listening. *Cortex* 3, 163-178.
- Kimura, D. (1969). Spatial Localization in Left and Right Fields. *Canadian Journal of Psychology* 23, 445-458.
- Kinsbourne, M. & Cook, J. (1971). Generalized and Lateralized Effects of Concurrent Verbalization on a Unimanual Skill. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 23, 341-345.
- Kolb, B. & Whishaw, I.Q. (1993). *Neuropsychologie*. Übersetzung von Monika Pritzel. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kosslyn, S.M. (1978). Measuring the visual angle of the mind's eye. *Cognitive Psychology* 10, 356-389.
- Kosslyn, S.M. (1987). Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: A computational approach. *Psychological Review* 94, 148-175.
- Krämer, W. (1998). Risiko-Homöostase oder warum sichere Autos gefährlich sind. In Körber-Stiftung (Hrsg.). *Risiko! Der Umgang mit Sicherheit, Chance und Wagnis*. Hamburg: Körber-Stiftung.
- Lachenmayr, B.J. (1995). *Sehen und gesehen werden: Sicher unterwegs im Straßenverkehr*. Aachen: Verlag Shaker.
- Liu, A. (in press). Towards predicting driver intentions from patterns of eye fixations. In A.G. Gale (Ed.), *Vision in Vehicles VII*. Amsterdam: Elsevier.
- Liu, A., Veltri, L. & Pentland, A.P. (1998). Modelling changes in eye fixation pattern while driving. In A.G. Gale (Ed.), *Vision in Vehicles VI*. Amsterdam: Elsevier.
- Lüer, G. & Spada, H. (1992). Denken und Problemlösen. In H. Spada (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie*. Bern: Verlag Hans Huber.
- Meincke, C. & Steininger, S. (1996). Frühe Stufen visueller Informationsverarbeitung: Konzeptionslos Datengetrieben?. In H. Mandl (Hrsg.), *Bericht über den 40. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in München 1996*. Göttingen: Hogrefe.

- Michon, J.A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In L. Evans & R.C. Schwing (Hrsg.), *Human behavior and traffic safety*. New York: Plenum Press.
- Miller, G.A., Galanter, E. & Pribram, K.H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York: Holt.
- Mishkin, M. & Forgays, D.G. (1952). Word Recognition of Retinal Focus. *Journal of Experimental Psychology* 43, 43-48.
- Miura, T. (1992). *Visual search in intersections and underlying mechanism*. Tokyo.
- Möhler, W. (1988). *Untersuchung der visuellen Wahrnehmung des Straßenraumes und dessen Einfluß auf das Fahrverhalten*. Aachen.
- Mourant, R.R. & Rockwell, T.H. (1972). *Strategies of visual search by novice and experienced drivers*. *Human Factors*, 14(4), 325-335.
- Nagayama, Y. (1978). Role of visual perception in driving. *IATSS Research*, 2, 64-73.
- Nelson, D.L. & Schreiber, T.A. (1992). Words concreteness and word structure as independent determinants of recall. *Journal of Memory and Language* 31, 237-260.
- Nissen, M.J., Posner, M.I. & Snyder, C.R.R. (1978). Relationships between attention shifts and saccadic eye movements. *Paper to the Psychonomic Society*.
- Norman, D.A. & Bobrow, D.G. (1975). On the role of active memory processes in perception and cognition. *The structure of human memory* 1, 114-132.
- Paivio, A., Clark, J.M. & Khan, M. (1988). Effects of concreteness and semantic relatedness on composite imagery ratings and cued recall. *Memory and Cognition* 16, 422-430.
- Paivio, A. (1963). Learning of adjective-noun paired associates as a function of adjective-noun word order and noun abstractness. *Canadian Journal of Psychology* 17, 370-379.
- Paivio, A. (1965). Abstractness, imagery and meaningfulness in paired associate learning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour* 4, 32-38.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and Verbal Processes*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Paivio, A. (1986). *Mental Representations: A Dual-Coding Approach*. New York: Oxford University Press.
- Paivio, A. (1992). Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology* 45, 255-287.
- Parkes, A. (1989). *Changes in driving behaviour due to two models of route guidance information presentation: a multi-level-approach*. Drive Projekt V 1017 (BERTIE), Report No. 21.
- Parkes, A.M. & Martell, A. (1990). A usability analysis of a PC based route planning system. In E. J. Lovesey (Ed.), *Contemporary Ergonomics*. pp. 50-55.
- Pentland, A.P. & Liu, A. (1999). Modeling and prediction of human behavior. *Neural Computation*, 11, 229-242.
- Petrak, M. (1998). *Telefonieren beim Autofahren: Die Bearbeitung verbal-auditiven Materials bei der Bewältigung einer visuo-motorischen Aufgabe*. Diplomarbeit, TU-Dresden, Fachbereich Psychologie.
- Pfafferot, I. & Huguenin, R.D. (1993). Adaptation nach Einführung von Sicherheitsmaßnahmen. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 37, 71-83.

- Pomplun, M. (1998). *Analysis and models of comparative visual search*. Aachen: Cuvilier.
- Posner, M.I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 32, 3-25.
- Posner, M.I., Snyder, C.R.R. & Davidson, B.J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology* 109, 160-174.
- Potter, M.C. & Faulconer, B.A. (1975). Time to understand pictures and words. *Nature* 253, 437-438.
- Pylyshin, Z.W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review* 87, 16-45.
- Reeves, A. & Sperling, G. (1986). Attention gating in short-term visual memory. *Psychological Review* 93, 180-206.
- Renge, K. (1980). *The effect of driving experimence on driver's visual attention. An analysis of objekts looked at, using the verbal report method*. Tokyo: International Association of Traffic and Safety Sciences.
- Richter, S. & Schlag, B. (1998). Psychologische Untersuchungen zu Nebelunfällen. In Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), *Schriftenreihe Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Rizzolatti, G., & Carmada, R. (1987). Neural circuits for spatial attention and unilateral neglect. In M. Jeannerod (Ed.), *Neurophysiological and neuropsychological aspects of spatial neglect*. Amsterdam: North-Holland.
- Rizzolatti, G., & Carmada, R., Grupp, L.A. and Pisa, M. (1973). Inhibition of visual responses of single units in the cat superior colliculius by the introduction of a second visual stimulus. *Brain Research* 71, 390-394.
- Rizzolatti, G., Gentilucci, M. & Matelli, M. (1985). Selective spatial attention: One center, one circuit or many circuits? In M.I. Posner and O. Marin (Eds.), *Attention and Performance XI*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rizzolatti, G., Riggio, L., & Sheliga, B. (1994). Space and Selective Attention. In C. Umilta & M. Moscovitch (Eds.), *Attention & Performance XV: Conscious and Nonconscious Information Processing*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Rizzolatti, G., Umilta, C. & Berlucchi, G. (1971). Opposite Superiorities of the Right and Left Cerebral Hemispheres in Discriminative Reaction Time to Physignomical and Alphabetic Material. *Brain* 94, 431-442.
- Rosenzweig, M.R. (1951). Representation of the Two Ears at the Auditory Cortex. *American Journal of Physiology* 167, 147-158.
- Rumar, K. (1993). Road user needs. In Parkes, A.M. & Franzen, S. (Eds.). *Driving future vehicles*, 41-48. London: Taylor & Francis.
- Russo, J.E. (1978). Adaption of cognitive processes to the eye movement system. In J.W. Fisher, D.F. Senders, R.A. Monty (Eds.), *Eye movements and the higher psychological functions*. Hillsdale, N.Y.: Erlbaum.
- Sadoski, M., Goetz, E.T. & Fritz, J.B. (1993). Impact of concreteness on comprehensibility, interest and memory for text: Implications for dual coding theory and text design. *Journal of Educational Psychology* 85, 291-304.

- Schlag, B. (1994): Risikoverhalten im Straßenverkehr. In A. Flade (Hg.), *Mobilitätsverhalten*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schraagen, J.M.C. (1993). Information presentation in in-car navigation systems. In A. Parkes & S. Franzén (Eds.), *Driving future vehicles*. London; Washington, DC: Taylor & Francis.
- Seamon, J.G. & Gazzaniga, M.S. (1973) Coding Strategies in Cerebral Laterality Effects. *Cognitive Psychology* 5, 249-256.
- Senders, J.W., Kristofferson, A.B., Levison, W.H., Dietrich, C.W. & Ward, J.L. (1967). The attentional demand of automobile driving. *Highway Research Record*, 195.
- Sergent, J. & Hellige, J.B. (1986). Role of Input Factors in Visual-Field Asymmetries. *Brain and Cognition* 5, 179-199.
- Shepard, R.N. & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science* 171, 701-703.
- Snodgrass, J.G. (1984). Concepts and their surface representations. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. 23, 3-22.
- Spada, H. (1992). *Lehrbuch Allgemeine Psychologie*. Bern: Verlag Hans Huber
- Sperry, R.W. (1969). A modified concept of consciousness. *Psychological Review* 76, 532-536.
- Springer, S.P. & Deutsch, G. (1995). *Linkes Rechtes Gehirn*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg.
- Steudel, S. (1999). *Optomotorische Dialogsteuerung in Fahrumgebungen*. Diplomarbeit, TU-Dresden, Fachbereich Informatik.
- Summala, H. (1998). Forced peripheral vision driving paradigm: Evidence for the hypothesis that car drivers learn to keep in lane with peripheral vision. In A.G. Gale (Ed.), *Vision in Vehicles VI*, Amsterdam: Elsevier.
- Unema P.J.A. (1995). *Eye movements and mental effort*. Aachen: Verlag Shaker.
- van Dijk, T.A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of Discourse Comprehension*. New York: Academic Press.
- Velichkovsky, B.M. (1994). The levels endeavour in psychology and cognitive science. In P. Bertelson, P. Eelen & G. d'Ydewalle (Eds.), *International perspectives on psychological science: Leading themes*. Hove: LEA.s
- Velichkovsky, B.M., Challis, B.H. & Pomplun, M. (1995). Arbeitsgedächtnis und Arbeit mit dem Gedächtnis: Visuell-räumliche und weitere Komponenten der Verarbeitung. *Zeitschrift für experimentelle Psychologie*, 4, 672-701.
- Velichkovsky, B.M., Sprenger, A., Pomplun, M. (1997). Auf dem Weg zur Blickmaus: Die Beeinflussung der Fixationsdauer durch kognitive und kommunikative Aufgaben. In R. Liskowsky, B.M. Velichkovsky, W. Wüschmann (Hrsg.), *Software-Ergonomie*. Stuttgart: Teubner
- Verwey, W.B. (1993). How can we prevent overload of the driver? In A.M. Parkes & S. Franzén (Eds.) *Driving Future Vehicles*. London: Taylor & Francis.
- Ware, C. & Mikaelian, H.H. (1987). An evaluation of an eye tracker as a device for computer input. In J.M. Carol & P.P. Tanner (Eds.), *CHI + GI 1987 Conference Proceedings*. SIGCHI Bulletin. ACM.

- Weiner und Ehrlichman (1976). Ocular motility and cognitive process. *Cognition* 4, 31-43.
- Wetzelstein, E., Küting, H.J., Enigk, H., & Heinbokel, T. (1997). Beschreibungen von Informations- und Kontrollvorgängen beim Fahren - ein Ansatz zum Informationsmanagement im Fahrzeug-Cockpit. In U. Schulz (Hrsg.), *Wahrnehmungs-, Entscheidungs-, und Handlungsprozesse beim Führen eines Kraftfahrzeugs*. Münster: LIT.
- Wickens, C.D. (1984) Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D.R. Davis (Hrsg.) *Varieties of Attention*. London: Academic Press.
- Wierwille, W.W., Antin, J.F., Dingus, T.A. & Hulse, M.C. (1988). Visual attention demand of an in-car navigation display system. In A.G. Gale (Ed.), *Vision in Vehicles II*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Wilde, G.J.S. (1974). Wirkung und Nutzen von Verkehrssicherheitskampagnen. Ergebnisse und Forderungen - ein Überblick. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 20 (4), 227-238.
- Wilde, G.J.S. (1986). Beyond the concept of risk homeostasis: Suggestions for research and applications towards the prevention of accidents and life-style-related disease. *Accident Analysis and Prevention*, 18, 377-401.
- Wilde, G.J.S. (1994). *Target risk*. Toronto: PDE Publications.
- Yarbus, A.L. (1967). *Eye movements and vision*. New York: Plenum Press.
- Zaidel, E. (1986). Callosal dynamics and right hemisphere language. In F. Lepore, M. Ptito & H.H. Jasper (Hrsg.), *Two hemispheres: One brain*. New York: Alan R. Liss.
- Zimmer, A. (1990). *Driver information needs*. Drive Projekt V 1017 (BERTIE), Report No. 25.
- Zimmer, K. (1984). Charakteristik von Informationsverarbeitungsaufwand und motivationaler Aktivierung über Kennwerte der Pupillenmotorik - ein Beitrag zur kognitiven Psychologie. Dissertation, Humboldt Universität, Berlin.
- Zwahlen, H.T., Adams, C.C. & DeBald, D.P. (1988). Safety aspects of CRT touch panel controls in automobiles. In A.G. Gale (Ed.), *Vision in Vehicles II*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

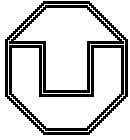
## 10. ANHANG

### Experiment 1:

Anhang 1-A	Instruktionen
Anhang 1-B	Fragebogen
Anhang 1-C	Verhaltensbeobachtung

### Experiment 2:

Anhang 2-A	Instruktionen
Anhang 2-B	Fragebogen und Verhaltensbeobachtung



## INSTRUKTIONEN

### Vorab:

Bitte höre bei den folgenden Instruktionen genau zu.

In den folgenden Versuchsabschnitten werden Deine Augenbewegungen mit Hilfe einer Augenkamera aufgezeichnet. Vor jedem einzelnen Versuch findet eine Kalibrierung, also genaue Eichung der Augenkamera statt. Nach dem kalibrieren ist es sehr wichtig, daß du ruhig sitzt, also die jeweilige Kopf- und Körperposition beibehältst und nicht mehr sprichst.

### Simulator

#### Baseline 1:

Du erhältst nun Gelegenheit einige Minuten das Fahren mit einem Simulator zu üben.

Deine Aufgabe ist es, durch Betätigung des Gas- bzw. Bremspedals, mit einer *angemessenen* Geschwindigkeit zu fahren. Die Umgebung besteht aus einer kurvigen Strecke. Du sollst das Fahrzeug, mit Hilfe des Lenkrads, so genau wie möglich in der Mitte der rechten Spur halten.

Fährst Du so schnell, daß Du die Spur nicht mehr halten kannst, ist diese Geschwindigkeit *nicht angemessen*.

Weitere Fahrzeuge oder Hindernisse befinden sich nicht auf der Strecke. Unten, in der Mitte des Bildschirms befindet sich ein Tacho. Die Einheiten auf diesem Tacho entsprechen keinen Stundenkilometern. 40 Einheiten sind bereits *sehr zügig*. Die links unten, neben dem Tacho eingeblendeten Ziffern sind für dich unwichtig - Du könntest daraus keine Schlüsse ziehen. Bitte verfolge das Geschehen auf der Straße und vermeide es auf die Ziffern zu blicken.

Wenn du noch Fragen hast, stelle sie bitte jetzt.

#### Fahren:

1. Im folgenden Versuchsteil besteht Deine Hauptaufgabe weiterhin im Fahren mit dem Simulator. Achte bitte darauf, die Mitte der rechten Spur einzuhalten und mit einer angemessenen Geschwindigkeit zu fahren. **Zusätzlich** tauchen verschiedene Objekte in unregelmäßigen Abständen im Fahrbereich auf.

*Einige* (nicht alle) dieser Objekte signalisieren Gefahr, z.B. eine rote Ampel, ein rollender Ball oder ein bremsendes Fahrzeug, das vor Dir fährt.

Du hast nun die zusätzliche Aufgabe auf Objekte, die Gefahr signalisieren zu reagieren, in dem Du auf die Bremse trittst oder durch lenken die Gefahr umfährst. Nach einer solchen Reaktion fahre bitte, wie gewohnt; weiter.

Vermeide es auf die Ziffern am linken, unteren Rand zu blicken und konzentriere Dich auf das Geschehen auf der Straße.

Ich zeige Dir jetzt zur Verdeutlichung eine kurze Simulatorsequenz, die Beispielgefahren beinhaltet (**wenn nicht bereits gezeigt**).

Wenn Du noch Fragen hast stelle sie bitte jetzt.

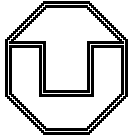
2. Ich führe nun eine Neukalibrierung durch.

Die Aufgabenstellung bleibt exakt die gleiche wie beim letzten Versuchsteil.

Wenn Du noch Fragen hast stelle sie bitte jetzt.

#### Autopilot:

1. In diesem Versuchsteil wird Dir auf der Leinwand wieder der Fahrsimulator dargeboten. Diesmal ist der Autopilot eingeschaltet, das heißt das Fahrzeug steuert selbständig um die Kurven - Du brauchst es also nicht zu lenken.



Nimm bitte trotzdem beide Hände ans Lenkrad und versuche, durch Betätigung des Gas- bzw. Bremspedals mit einer angemessenen Geschwindigkeit zu fahren.

**Zusätzlich** tauchen verschiedene Objekte in unregelmäßigen Abständen im Fahrbereich auf.

*Einige* (nicht alle) dieser Objekte signalisieren Gefahr, z.B. eine rote Ampel, ein rollender Ball oder ein bremsendes Fahrzeug, das vor Dir fährt.

Du hast nun die zusätzliche Aufgabe auf Objekte, die Gefahr signalisieren zu reagieren, indem Du auf die Bremse trittst. Nach einer solchen Reaktion "*fahre*" bitte, wie gewohnt; weiter.

Vermeide es auf die Ziffern am linken, unteren Rand zu blicken und konzentriere Dich auf das Geschehen auf der Straße.

Ich zeige Dir jetzt zur Verdeutlichung eine kurze Simulatorsequenz, die Beispielgefahren beinhaltet(**wenn nicht bereits gezeigt**).

Wenn Du noch Fragen hast stelle sie bitte jetzt.

**2.** Ich führe nun eine Neukalibrierung durch.

Die Aufgabenstellung bleibt exakt die gleiche wie beim letzten Versuchsteil.

Wenn Du noch Fragen hast stelle sie bitte jetzt.

### Baseline 2:

Zur Nachkontrolle Deiner Fahrleistung sollst Du noch einige Minuten mit dem Fahrsimulator fahren. Fahre wieder mit einer angemessenen Geschwindigkeit. Zusätzliche Aufgaben hast du dabei nicht zu erfüllen. Fahrzeuge oder Hindernisse tauchen nicht auf. Bitte konzentriere dich auf das Geschehen auf der Straße, die eingeblendeten Ziffern sind für dich uninteressant.

Falls du noch Fragen hast, dann stelle sie bitte jetzt.

### Videos

**1.** Ich zeige Dir in diesem Versuchsteil hintereinander einige Videos von verschiedenen Verkehrssituationen. Deine Aufgabe ist es auf Gefahren, die in diesen Videos auftauchen **können** zu reagieren. Bitte reagiere nur dann, wenn Du dadurch ein Unfall verhindern würdest, das heißt, wenn Du ohne Bremsen oder Ausweichen auf ein Objekt auffahren oder ein Objekt umfahren würdest. In einer übersichtlichen Kurve oder nach einem Ortseingangsschild gefolgt von leerer Fahrbahn gäbe es also beispielsweise keinen Grund zu bremsen.

Obwohl Du das Video natürlich nicht steuern kannst, nimm bitte trotzdem beide Hände an's Lenkrad. Bitte reagiere *sowohl* auf Gefahren, bei denen man bremsen muß, *als auch* auf Gefahren, bei denen man ausweichen muß mit einem deutlichen Tritt auf das Bremspedal.

Ein kurzer Tritt langt völlig, es wird nicht registriert, wie lange oder wie kräftig Du bremsst.

Da es sich um Videos aus realen Verkehrssituationen handelt, reagiert der Fahrer natürlich auch auf Gefahren. Versuche Dich bitte unabhängig davon in die Lage eines Autofahrers zu versetzen.

Konzentriere Dich bitte so auf das Geschehen auf der Fahrbahn, wie Du es auch im normalen Straßenverkehr tun würdest.

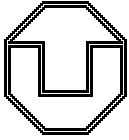
Zwischen den Videos vergehen ca. 5 Sekunden in denen nichts passiert und die Leinwand weiß bleibt. Bitte halte auch dann Körper und Kopf still - ich sage Dir, wann der Versuch zu Ende ist.

**2.** Ich führe nun eine Neukalibrierung durch.

Die Aufgabenstellung bleibt exakt die gleiche wie beim letzten Versuchsteil.

Wenn Du noch Fragen hast stelle sie bitte jetzt.



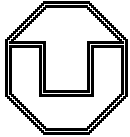


## **Fotos**

Im folgenden Versuchsabschnitt werde ich Dir hintereinander eine Reihe von Fotos von verschiedenen Verkehrssituationen darbieten. Deine Aufgabe besteht darin, dann auf die Bremse zu treten, wenn Du auf diesem Foto eine gefährliche Situation erkennst. Ein kurzer Tritt langt völlig, es wird nicht registriert, wie lange oder wie kräftig Du bremst.

Nimm bei diesem Versuchsteil bitte beide Hände an's Lenkrad. Achte bitte auch in den kurzen Pausen zwischen den Bildern darauf Kopf und Körper still zu halten.

Wenn Du noch Fragen hast stelle sie bitte jetzt



## ***Vorbefragung***

Datum: \_\_\_\_\_

Uhrzeit: \_\_\_\_\_

Vp-Nr.: \_\_\_\_\_

Alter: \_\_\_\_\_

Geschlecht: ☐ m ☐ w

Brille/ Kontaktlinsen:

☐ ja ☐ nein

Erfahrung mit:

- Computer (allgemein):

☐ ja ☐ nein

- Computer-/Videospielen (z.B. Fahr-/ Flugsimulator):

☐ ja ☐ nein

Führerschein: ☐ ja ☐ nein

seit: \_\_\_\_\_

Eigener Pkw: ☐ ja ☐ nein

Bisher selbst gefahrene Kilometer (grob geschätzt): \_\_\_\_\_

Haben sie in den letzten 24 Stunden Medikamente genommen?

☐ ja ☐ nein

welche? \_\_\_\_\_

Haben Sie in den letzten 12 Stunden Alkohol getrunken?

☐ ja ☐ nein

Menge ca. \_\_\_\_\_

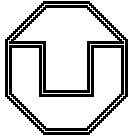
Wieviel Stunden haben Sie letzte Nacht geschlafen? ca. \_\_\_\_\_

## ***Nachbefragung***

Welches Ereignis der Simulatorfahrten (bremsendes Auto, rollender Ball oder rote Ampel) war für Sie am schwierigsten als Gefahr zu erkennen?

\_\_\_\_\_

☺ ***Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!***



Vp-Nr.

## Verhaltensbeobachtung/Bemerkungen

### *Videos (1)*

Versuchsteil	Datei	Bemerkungen

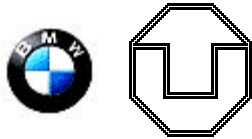
### *Standbilder (2)*

Versuchsteil	Datei	Bemerkungen

### *Simulator (3)*

Versuchsteil	Datei	Bemerkungen

**Sonstiges:**



## Instruktion

(Die zu der Instruktion zugehörige Präsentation befindet sich auf der beiliegenden CD als Anhang C)

Bei den folgenden Versuchsabschnitten werden mittels Augenkamera deine Blickbewegungen aufgezeichnet. Vor jedem einzelnen Versuch findet eine Kalibrierung, also genaue Eichung der Augenkamera statt. Nach dem kalibrieren ist es sehr wichtig, daß du ruhig sitzt, also die jeweilige Kopf- und Körperposition beibehältst und du sollst ab da auch möglichst nicht mehr sprechen.

### Aufgabenstellung - Baseline1

In diesem Versuch hast du die Aufgabe, mit einem Fahrsimulator zu fahren. Die Umgebung besteht aus einer kurvigen Strecke. Du sollst das Fahrzeug so genau wie möglich in der Mitte der rechten Spur halten. Weitere Fahrzeuge oder Hindernisse befinden sich nicht auf der Strecke. Die links unten eingeblendeten Ziffern sind für dich unwichtig, bitte verfolge das Geschehen auf der Straße und vermeide auf die Ziffern zu blicken.

Du hast in diesem Versuchsabschnitt die Gelegenheit, einige Minuten das Fahren des Simulators zu üben. Wenn du noch Fragen hast, stelle sie bitte jetzt.

### Aufgabenstellung - Versuch

Im folgenden werden dir, zusätzlich zum Auto fahren, verschiedene Aufgaben präsentiert, die du so genau und so schnell wie möglich lösen sollst.

Es handelt sich um zwei verschiedene Aufgabenarten, die dir in unterschiedlicher Reihenfolge über Lautsprecher dargeboten werden.

Bei einem Teil der Aufgaben werden dir Analogien, also Ähnlichkeiten, vorgesprochen und du sollst entscheiden, ob diese richtig sind oder falsch.

Ein Beispiel wäre: Verhält sich Huhn zu Küken wie Kuh zu Kalb?

In diesem Fall ist die Beziehung zwischen dem ersten und dem zweiten Wort ähnlich wie die Beziehung zwischen dem dritten und dem vierten Wort, also ist die Analogie richtig.

Wäre in diesem Beispiel die Analogie: Verhält sich Huhn zu Küken wie Kuh zu Milch, so wäre die Analogie falsch.

Ein Teil deiner Aufgaben besteht also darin zu entscheiden ob es sich um wahre oder falsche Analogien handelt.

Der andere Teil der Aufgaben ist die Lösung des mentalen oder verinnerlichten Hütchenspiels.

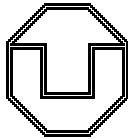
### **POWERPOINT:**

Ich habe für dich ein Beispiel auf dem Bildschirm vorbereitet, damit du dir die Aufgabe besser vorstellen kannst. Die Aufgaben, die du dann lösen sollst werden dir natürlich auch über die Lautsprecher und ohne Bild dargeboten.

Du sollst dir sechs Hütchen vorstellen, die so angeordnet sind, wie du es hier auf dem Bildschirm sehen kannst. Unter einem Hütchen befindet sich eine Kugel.

Die Aufgabenstellung, die du dann hörst, könnte folgendermaßen lauten:

Die Kugel liegt unter dem hinteren linken Hütchen. Ich vertausche jetzt das hintere linke Hütchen mit dem vorderen rechten Hütchen. Nun vertausche ich das hintere mittlere Hütchen mit dem vorderen rechten Hütchen. Und jetzt wird das hintere rechte Hütchen mit dem hinteren mittleren Hütchen vertauscht. Befindet sich die Kugel unter dem hinteren rechten Hütchen?



In diesem Beispiel wäre „ja“ die richtige Antwort, es kann aber auch durchaus sein, das du nach einem Hütchen gefragt wirst, unter dem sich die Kugel nicht befindet, dann sollst du mit „nein“ antworten. Um die richtige Lösung herauszufinden, solltest du so genau wie möglich mitverfolgen, unter welchem Hütchen die Kugel jeweils liegt.

Damit es nicht zu langweilig und zu einfach wird, habe ich es noch ein bißchen schwieriger gestaltet und bei einigen Aufgaben noch eine zweite Kugel hinzugenommen. Die Aufgabenstellung bleibt die gleiche, nur mußt du bei diesen Aufgaben auf beide Kugeln achten. Auch hier werden die Hütchen vertauscht und du wirst am Ende gefragt, ob sich unter einem bestimmten Hütchen eine Kugel befindet.

Um die Antworten geben zu können, sind an dem Lenkrad vor dir zwei Tasten,

**-für JA drücke kurz aber fest auf die linke Taste**

**-für NEIN drücke kurz aber fest auf die rechte Taste.**

Falls du eine Frage nicht beantworten kannst, drücke bitte **beide** Tasten gleichzeitig kurz aber fest. Damit zeigst du, daß du die Lösung nicht weißt und der Versuch geht weiter. Betätige die Tasten bitte immer erst nach Beendigung der Frage. Versuche auch bitte nur mit ja bzw. nein zu antworten, wenn du dir sicher bist. Solltest bei einer Aufgabe unsicher sein, dann drücke bitte beide Tasten, um anzuzeigen, daß du die Lösung nicht weißt.

Zum Schluß möchte ich dich noch einmal darum bitten, die Aufgaben so genau und so schnell wie möglich zu lösen. Falls du noch Fragen hast, dann stelle sie bitte jetzt.

### **Statische Bedingung:**

Deine Hauptaufgabe besteht weiterhin darin, die über die Lautsprecher dargebotenen Aufgaben möglichst richtig zu lösen. Auf dem Bildschirm wird dir dabei das Standbild des Fahr-simulators dargeboten, du brauchst also bei dieser Aufgabe nicht fahren, sondern kannst dich auf das Lösen der Aufgaben konzentrieren. Bitte schaue während des Versuchs auf den Bildschirm. Falls du noch Fragen hast, dann stelle sie bitte jetzt.

### **Autopilot**

Deine Hauptaufgabe besteht weiterhin darin, die über die Lautsprecher dargebotenen Aufgaben möglichst richtig zu lösen. Auf dem Bildschirm wird dir dabei der Fahrsimulator dargeboten, diesmal ist der Autopilot eingeschaltet, d.h. das Fahrzeug steuert selbständig um die Kurven, du brauchst also nicht zu lenken. Bitte verfolge während dieses Durchgangs trotzdem das Geschehen auf der Straße, die eingeblendeten Ziffern sind für dich uninteressant.

Falls du noch Fragen hast, dann stelle sie bitte jetzt.

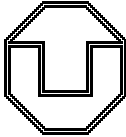
### **Selbständiges Fahren**

Deine Hauptaufgabe besteht weiterhin darin, die über die Lautsprecher dargebotenen Aufgaben möglichst richtig zu lösen. Auf dem Bildschirm wird dir dabei der Fahrsimulator dargeboten und du sollst, wie bei der allerersten Bedingung das Fahrzeug so genau wie möglich in der Mitte der rechten Spur halten. Bitte konzentriere dich auf das Geschehen auf der Straße, die eingeblendeten Ziffern sind für dich uninteressant. Falls du noch Fragen hast, dann stelle sie bitte jetzt.

### **Baseline 2**

Zur Nachkontrolle deiner Fahrleistung sollst du noch einige Minuten mit dem Fahrsimulator fahren. Zusätzliche Aufgaben hast du dabei nicht zu erfüllen. Bitte konzentriere dich auf das Geschehen auf der Straße, die eingeblendeten Ziffern sind für dich uninteressant.

Falls du noch Fragen hast, dann stelle sie bitte jetzt.



Datum:

Uhrzeit:

Vp-Nr.:

Alter:

Geschlecht:

Brille/ Kontaktlinsen:

ja / nein

Erfahrung mit - Computer (allgemein):

ja / nein

- Computerspielen (z.B. Fahr-/ Flugsimulator):

ja / nein

Führerschein: ja /nein

seit:

eigener Pkw: ja /nein

bisher selbst gefahrene Kilometer (grob geschätzt):

		Bemerkungen
1	Baseline	
5	Baseline	

Bei welchem der drei Durchgänge fiel es dir am schwersten, die über die Lautsprecher dargebotenen Aufgaben zu lösen?

① Standbild

② Autopilot

③ Fahren

Welche der beiden Aufgabenarten war für dich leichter zu lösen?

① Analogien

② Hütchenspiel