

**Lehrstuhl für Ergonomie
der Technischen Universität München**

Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben

Manfred Schweigert

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Heißing

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Heiner Bubb
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

Die Dissertation wurde am 13.11.2002 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 16.5.2003 angenommen.

Danksagung

„So eine Arbeit wird eigentlich nie fertig, man muss sie für fertig erklären, wenn man nach Zeit und Umständen das Möglichste getan hat“ (Johann Wolfgang von Goethe). Obwohl gemäß des angeführten Zitats der Anspruch auf Vollständigkeit nie erfüllt sein kann, bin ich davon überzeugt, dass vorliegende Arbeit einen wichtigen Baustein zur Verkehrssicherheit beitragen kann.

Ich möchte mich bei dieser Gelegenheit herzlich bei meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Bubb für seine freundliche Unterstützung und Begeisterungsfähigkeit für das Thema meiner Dissertation bedanken. Seine wertvollen Anregungen waren ein manches mal hilfreiche Wegweiser im wissenschaftlichen Labyrinth. Herzlichen Dank auch an Prof. Dr. Rühmann, bei dem ich sehr viel bei der Betreuung seiner Vorlesung gelernt habe.

Bedanken möchte ich mich außerdem bei Herrn Prof. Dr. Reinhart vom Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften für die Übernahme des Co-Referats.

Ich danke meinen Lehrstuhlkollegen und meinen Studenten, die mich bei den Untersuchungen unterstützt haben und mir auch die Gelegenheit gaben, über den Tellerrand meines eigenen Themengebiets zu blicken.

Außer den fachlichen Voraussetzungen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, spielen natürlich auch die „soft-skills“ eine große Rolle. Darum möchte ich mich sehr bei Sandra bedanken, die mich gerade auf Durststrecken unterstützt und motiviert hat.

Zu guter Letzt danke ich meinen Eltern und Großeltern, dass Sie mir diese Ausbildung ermöglicht haben.

Türkheim, den 7.11.2002

1	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	1
2	DER VISUELLE SINNESKANAL.....	4
2.1	Die Bedeutung des visuellen Sinneskanals für das Autofahren.....	4
2.2	Das menschliche Auge	5
3	STAND DER FORSCHUNG: BLICKBEWEGUNGSSTRATEGIEN	11
3.1	Informationsspeichermodell.....	11
3.2	Warteschlangenmodell	12
3.3	Markov-Matrizen.....	13
3.4	Zeitdiskretes Prädiktionsmodell	15
3.5	Abschließende Betrachtung.....	17
4	DER AUTOFAHRER UND SEINE FAHRAUFGABE	18
4.1	Was ist das Soll-Verhalten?.....	18
4.2	Parameter zur Beschreibung der Fahrsituation	19
4.3	Fahraufgaben	22
4.3.1	Fahrspur folgen.....	26
4.3.2	Wahl der Geschwindigkeit	26
4.3.3	Verhalten bei Hindernissen.....	27
4.3.4	Verhalten an Knotenpunkten	30
5	VISUELLE AUFGABEN.....	31
5.1	Visuelle Grundaufgaben	33
5.2	Kontinuierliche visuelle Aufgaben	38
5.2.1	Fahrspur folgen.....	38
5.2.2	Verhalten bei potenziellen Hindernissen: Folgen.....	46
5.2.3	Kontinuierliche Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs.....	48
5.2.4	Kontinuierliche Kontrolle der Geschwindigkeit.....	49
5.3	Situationsspezifische visuelle Aufgaben	51
5.3.1	Ablesen von Verkehrszeichen	51
5.3.2	Verhalten bei potenziellen Hindernissen.....	51
5.3.2.1	Spurwechsel.....	52
5.3.2.2	Überholen.....	52
5.3.3	Verhalten an Knotenpunkten	52
5.3.4	Kontrolle der Geschwindigkeit	53
6	VERSUCHSDESIGN	54
6.1	Zusatzaufgaben	55
6.2	Versuchsträger	57
6.3	Versuchspersonenkollektiv	58
6.4	Versuchsstrecke	60

7	DATENAUFNAHME UND METHODE.....	65
7.1	Das Blickerfassungssystem JANUS	65
7.1.1	Aufbau von JANUS.....	66
7.1.2	Das Modul JANUS II.....	66
7.1.3	Beschreibende Größen von Blickbewegungen.....	67
7.1.4	Auswertemethode von Blickfilmen mit der Software „Orpheus“	69
7.1.5	Blickfilmauswertung mit der Software „Ergoplayer“	71
7.1.6	Grenzen der Blickbewegungsmessung	75
7.2	Rating der Fahrperformanz.....	77
7.3	Bearbeitung der Zusatzaufgabe	80
7.4	Fragebogen	80
7.5	Fahrphysikalische Daten	80
7.6	Verwendete statistische Methoden.....	80
8	ERGEBNISSE DES FAHRERVERHALTENS	83
8.1	Das „normale“ Fahrerverhalten.....	83
8.1.1	Fahrfehler	83
8.1.2	Blickverhalten	84
8.1.2.1	Fixations- und Blickdauern.....	84
8.1.2.2	Kontinuierliche Aufgaben	89
8.1.2.3	Situationsspezifische Aufgaben	92
8.2	Das Fahrerverhalten bei Zusatzaufgabenbearbeitung.....	95
8.2.1	Bearbeitung der Zusatzaufgaben.....	95
8.2.2	Fahrfehler und Kompensationsmechanismen.....	97
8.2.3	Blickverhalten	99
8.2.3.1	Fixations- und Blickdauern.....	99
8.2.3.2	Kontinuierliche Aufgaben	104
8.2.3.3	Situationsspezifische Aufgaben	109
8.2.4	Zusammenhang zwischen Blickparametern und Fahrfehlern	110
8.3	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	112
8.3.1	Erfüllung visueller Aufgaben bei „normaler“ Fahrt.....	113
8.3.2	Erfüllung visueller Aufgaben bei Zusatzaufgabenbearbeitung.....	115
9	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	120
	LITERATUR.....	122
	ANHANG: FRAGEBOGEN	132

1 Einleitung und Fragestellung

*„Der Sehsinn scheint zu einem solchen Zweck den Lebewesen verliehen worden zu sein, damit sie Schädliches oder Nützlichliches voraussehen können und ebendies richtig anwenden, um ihre eigenen Körper zu den betreffenden entfernten Objekten entsprechend einzustellen“
George Berkeley, Philosoph und Bischof von Cloyne (†1753)*

Das Auge, als das einzig fernorientierte und gezielt ausrichtbare Sinnesorgan des Menschen, ist für das Führen eines Kraftfahrzeuges von essenzieller Bedeutung. Doch wenn man als Fahrer meint, alles gleichzeitig im Blick zu haben, so irrt man. Nur in einem kleinen Bereich von ca. 2° ist man in der Lage scharf zu sehen. Dies ist der Grund, warum der Blick nie ruht, sondern die Umwelt permanent nach neuen Informationen abgetastet wird. Nachdem der Sehsinn aufgrund dieser physiologischen Bedingung in seiner Kapazität eingeschränkt ist, hat dies zur Folge, dass der Autofahrer seine Blickbewegungen und somit auch seine Informationsaufnahme den Verkehrsverhältnissen gezielt anpassen muss. Doch nicht nur die Verkehrssituation, sondern auch neuartige Zusatzsysteme im Fahrzeug können einen großen Teil der visuellen Aufmerksamkeit beanspruchen.

Betrachtet man nur den Aspekt der Fahrzeugführung, so ist das Autofahren mit der Zeit sicher einfacher geworden. Zum Beispiel können automatische Getriebe die manuellen Schaltgetriebe ersetzen und damit einen entscheidenden Beitrag zum entspannteren Fahren leisten. Die bereits serienmäßig auch in jedem Kleinwagen vorhandene Servolenkung führt dazu, dass geringere Lenkkräfte seitens des Fahrers aufgebracht werden müssen. Antiblockiersysteme (ABS) verhindern ein blockieren der Räder und ermöglichen so das Lenken bei einer Vollbremsung. Die Liste an Systemen, die den Fahrer entlasten, ließe sich beliebig fortsetzen. Diese Entlastung von bestimmten Aufgaben oder die Unterstützung des Fahrers bei bestimmten Fahrmanövern führt aber nicht zwangsläufig zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit. Die nicht unumstrittene Theorie der Risikohomöostase (z.B. Gelau, 1997) besagt, dass der Autofahrer dazu bestrebt ist, ein konstantes, subjektives Risiko aufrechtzuerhalten. Wird die Fahraufgabe leichter, so kann er seine freien mentalen Ressourcen für andere Tätigkeiten, z.B. für die Bedienung von Infotainmentsystemen im Fahrzeug nutzen.

Diese Systeme des so genannten tertiären Bereichs, die dem Komfort- und Kommunikationsbedürfnis des Fahrers Rechnung tragen, binden nicht nur die mentale Aufmerksamkeit des Fahrers, sondern erfordern zusätzlich Blickzuwendungen zu Displays oder Stellteilen. Dass Blickabwendungen in den Fahrzeuginnenraum, also Erhöhungen der Verkehrsblindzeit, die Verkehrssicherheit nicht gerade erhöhen, dürfte eine triviale Tatsache sein. Vielleicht verändert sich aber auch das Blickverhalten im Verkehr im Sinne eines mangelnden Situationsbewusstseins. Sind dann Geräte, die keine Blickzuwendung erfordern sicherer? Oder ändert sich schon alleine durch eine mentale Belastung das Blickverhalten?

Die Blickanalyse kann darüber Aufschluss geben, wo die Aufmerksamkeit des Fahrers lokalisiert ist. Der Zusammenhang zwischen Blickrichtung und Aufmerksamkeitsfokussierung ist mittlerweile weitgehend anerkannt (Cohen & Hirsig, 1990; Bubb, 2000; Johannsen, 1993, Graf et al., 1989: "Eye-movements represent the spatial and temporal distribution of attention"). Blickbewegungen werden auch zu Recht als Indikator kognitiver Prozesse interpretiert (Timpe, 2001). Es stellt sich die Frage, wie das Fahrerblickverhalten im Sinne einer Qualitätsmessung analysiert und evaluiert werden kann.

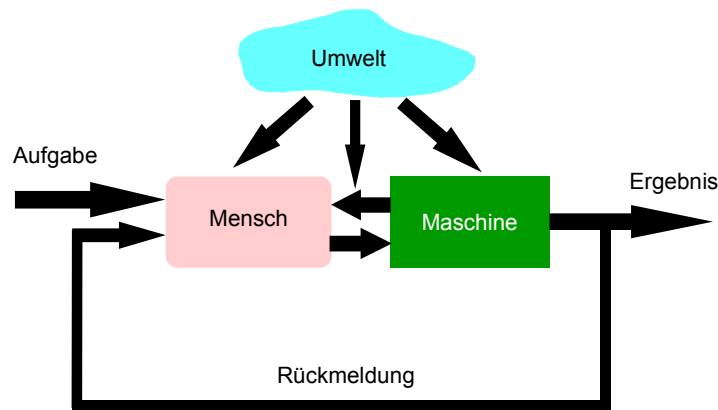


Abbildung 1.1: Prinzipieller Aufbau eines Mensch-Maschine-Regelkreises

Abbildung 1.1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines beliebigen Mensch-Maschine-Systems, bei dem eine dem Menschen gestellte Aufgabe mit Hilfe einer Maschine zu einem Arbeitsergebnis umgesetzt wird. Der Mensch registriert Abweichungen des Ergebnisses zur Aufgabe und korrigiert in einem Regelprozess permanent sein Einwirken auf die Maschine. Umweltbedingungen (z.B. Klima, Lärm) beeinflussen die Arbeit auf verschiedenste Weise. Um die Mensch-Maschine-Interaktion bewerten zu können ist es zweckmäßig, das bei dieser Interaktion entstehende Ergebnis mit der eigentlichen Aufgabe, dem „Soll“ zu vergleichen. Die Qualität der Aufgabenbearbeitung lässt sich aus dem Quotienten aus Ergebnis und Aufgabenstellung angeben. Die Schwierigkeit besteht darin, die, wie auch immer geartete Aufgabe exakt zu definieren oder gar quantitativ zu erfassen.

Ein Kernelement zur Bewertung des Fahrerblickverhaltens ist somit die Frage nach der, für die Erfüllung der aktuellen Fahraufgabe, notwendigen Information und wo diese lokalisiert ist. Grundlage für ein zu entwickelndes Sollverhalten bilden theoretische Überlegungen, Angaben in der Literatur und Feldversuche, bei denen das durchschnittliche Verhalten beobachtet werden soll.

Oft lassen sich gerade im Bereich der Fahrzeugführung „harte“ Daten für die Ermittlung des Sollverhaltens nicht angeben, da eine unzählbare Vielfalt an Fahrsituationen eine explodierende Anzahl an möglichen Verhaltensweisen nach sich zieht. In diesen Fällen ist die Ermittlung eines detaillierten „Solls“ a priori nicht möglich. Ebenso verhält es sich, wenn bestimmte Daten zur Ermittlung eines „Solls“, z.B. Relativabstände und –geschwindigkeiten zu anderen Verkehrsteilnehmern, aufgrund technischer Ungenauigkeiten oder gar wegen der technischen Unlösbarkeit nicht erhoben werden können. In diesem Falle müssen Expertenurteile mit all ihren Vor- und Nachteilen zur Beurteilung des Fahrerverhaltens herangezogen werden. Der Relativvergleich zwischen einem Referenzverhalten, also dem „normalen“ Fahrerverhalten und dem Verhalten, wenn während der Fahrt Zusatzaufgaben bearbeitet werden, kann als weitere Möglichkeit zur Abschätzung des Einflusses solcher Zusatzaufgaben herangezogen werden.

Wann ist das Blickverhalten als der Fahrsituation nicht angepasst zu bewerten? Welchen Einfluss haben ablenkende Zusatzaufgaben auf das Blickverhalten? Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Antworten auf diese Fragen zu liefern. Die Dissertation beinhaltet dabei folgende Teilarbeiten:

- Die Weiterentwicklung der Hard- und Softwarekomponenten eines Messsystems zur Erfassung von Blickbewegungen. Die Verbesserungen beziehen sich auf die Systemgenauigkeit, Einsparung der Bedienzeit, Erhöhung des Bedienungskomforts und Erweiterung des Einsatzbereiches.
- Eine kritische Beleuchtung der Validität von Blickbewegungsdaten.
- Eine Analyse der Fahraufgabe, wobei ein bestehendes mentales Modell zum Spur – und Abstandhalten angepasst und erweitert wird.
- Die Klärung der Frage, wo visuelle Information für jede der angesprochenen Teil-Fahraufgaben lokalisiert ist.
- Die Untersuchung des realen Blickverhaltens in einem Feldversuch, wobei während der Fahrt visuelle und mental-auditiv ablenkende Zusatzaufgaben bearbeitet werden.

Der Nutzen der Arbeit bzw. neuartige Ansätze ergeben sich aus

- der Definition von visuellen Aufgaben beim Führen eines Fahrzeuges und deren Kategorisierung unter Berücksichtigung von Teil-Fahraufgaben,
- einer Abwägung, welche speziellen Blickparameter für diese Fragestellung sensitiv sind, und
- einer Bewertung des realen Blickverhaltens im Hinblick auf Verhaltensänderungen und deren Auswirkung auf die Verkehrssicherheit, wenn Zusatz- und Assistenzsysteme im Fahrzeug benutzt werden.

Mit fortschreitender Lektüre dieser Arbeit stellt der Leser die Gültigkeit des am Anfang stehenden Zitates von George Berkeley (†1753) fest, welches aus einer Zeit stammt, in der man von einer motorisierten Fortbewegung noch weit entfernt war.

Anmerkung: In der vorliegenden Arbeit ist der Einfachheit und der Lesbarkeit wegen nur vom „Fahrer“ oder vom „Probanden“ die Rede, obwohl natürlich ebenso Fahrerinnen und Probandinnen gemeint sind.

2 Der visuelle Sinneskanal

2.1 Die Bedeutung des visuellen Sinneskanals für das Autofahren

Der visuelle Sinneskanal ist für die Informationsaufnahme zur Erfüllung der Fahraufgabe dominierend, gerade was die Spurführung und das Abschätzen des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer, dem so genannten Antizipieren, anbelangt. Rockwell (1971) spricht von einem Informationsanteil von bis zu 90%, der visuell aufgenommen wird. Auch der kinästhetische und der akustische Sinneskanal spielen eine nicht unbedeutende Rolle (Bubb, 1977, Timpe, 2001). Besonders das Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsempfinden werden über diese beiden Sinne unterstützt. Welche Informationen weiterhin nutzbar sind und über welche Sinneskanäle diese registriert werden können, ist in Tabelle 2.1 aufgeführt (s.a. Tomaske et al., 2001).

Tabelle 2.1: Zuordnung von Fahrinformationen und Sinneskanälen des Menschen (dunkelgrau markiert: weniger relevante Informationen für das Autofahren)

Information	Visuell	Vestibulär	Haptisch	Akustisch
Spurabweichung	X			
Quergeschwindigkeit	X			
Fahrgeschwindigkeit	X			X
Längs- und Querschleunigung		X	X	
Winkel Fahrzeuglängsachse-Sollkurs	X			
Giergeschwindigkeit	X			
Gierbeschleunigung		X		
<i>Neigungswinkel</i>	X	X		
Lenkwinkel	X		X	
<i>Kräfte in Stellgliedern</i>			X	
Fahrgeräusch				X

Die Gründe der Vorrangstellung des visuellen Sinneskanals liegen zum einen darin, dass das Auge als einziges Sinnesorgan über die Blickbewegungen gezielt ausrichtbar ist und so die Erfassung räumlich vorausliegender Objekte ermöglicht. Dies ist insbesondere deswegen von Belang, da der Fahrer kritische Ereignisse (z.B. Hindernisse auf der Fahrbahn) rechtzeitig wahrnehmen muss, um adäquat darauf zu reagieren. Zum anderen ermöglicht das Auge die präziseste interne Repräsentation der geometrischen Verhältnisse der Umwelt.

Mit Hilfe der so aufgenommenen Informationen kann der Mensch Handlungsmuster zum Führen eines Kraftfahrzeuges erstellen und über seine Gliedmaßen auf die Bedien- und Stellteile des Fahrzeuges einwirken (Abbildung 2.1). Störgrößen von außen wirken dabei auf die einzelnen Elemente des Regelkreises, den Fahrer, das Fahrzeug und auf die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug ein. Selbstverständlich zeigt die Abbildung ein idealisiertes Bild der realen Verhältnisse, da die Fahraufgabe aus einer Vielzahl von Unteraufgaben besteht. Dies ist, bis auf z.B. die Forderung, dass kein anderes Objekt berührt werden darf, keineswegs immer fest

definiert, sondern oft recht vage. Es gibt unter der Voraussetzung, dass eine Strecke möglichst schnell durchfahren werden soll (z.B. bei einem Rennen), eine Ideallinie. Im normalen Straßenverkehr kann eigentlich nur gefordert werden, dass innerhalb der eigenen Fahrspur gefahren werden muss. Hinzu kommt die Schwierigkeit, dass der Fahrer die Führungsgröße aus der Umwelt selbst ableiten und einen gedachten Kurs auf die Straße mental projizieren muss. Für das „Ist“, also die Erfüllung der Fahraufgabe steht ebenfalls keine technische Anzeige bereit, auch dies muss vom Fahrer selbst aus der Sicht aus dem Fahrzeug interpretiert werden.

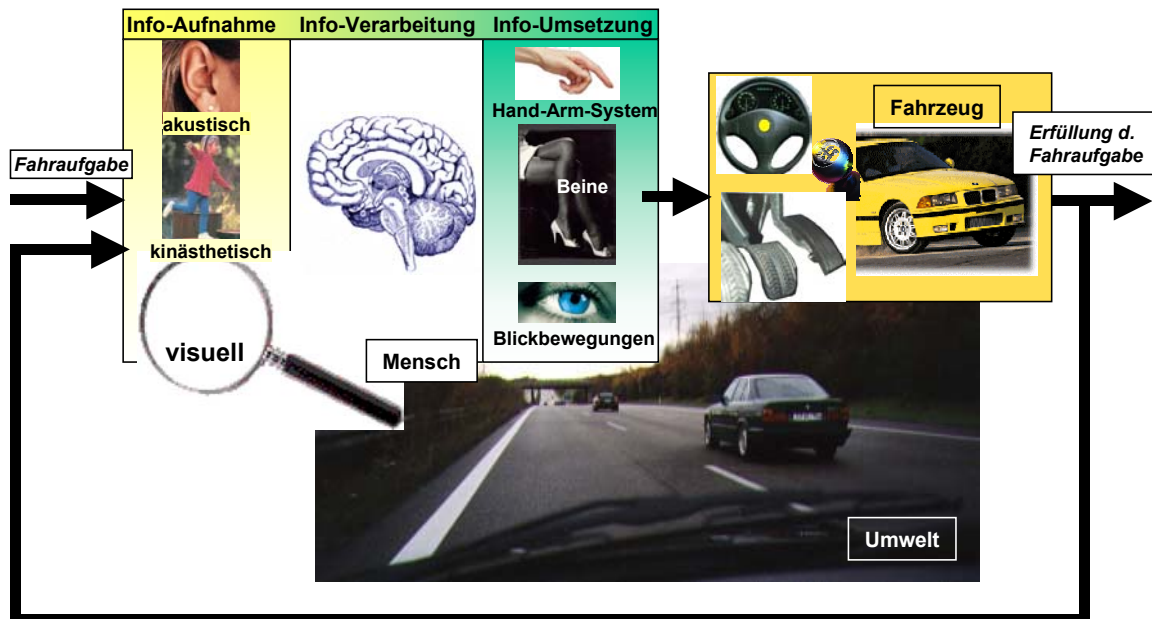


Abbildung 2.1: Fahrer-Fahrzeug-Umwelt Regelkreis

2.2 Das menschliche Auge

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den Grundlagen zum visuellen Sinnesapparat und liefert einen kurzen Überblick, der zum Verständnis der Thematik unerlässlich ist. An dieser Stelle sei auf die einschlägige Fachliteratur, z.B. Schober (1963) oder Schmidtke (1993) verwiesen.

Angeblickte Objekte werden, nachdem deren Licht die lichtbrechenden Elemente des Auges passiert haben, auf der Netzhaut (Retina) abgebildet. Die Oberfläche der Netzhaut besteht im Wesentlichen aus zwei verschiedenen Rezeptortypen, den Zapfen und den Stäbchen. Die Zapfen ermöglichen die Wahrnehmung von Farben, die Stäbchen sind für das Kontrastsehen verantwortlich.

Die so genannte fovea centralis (gelber Fleck), der Bereich des schärfsten Sehens, befindet sich im Schnittpunkt der Netzhaut mit der Verlängerung der zentralen Sehachse und besitzt eine Ausdehnung von ca. 2° Kegelöffnungswinkel. Nur in diesem Bereich können abgebildete Objekte scharf gesehen werden, was z.B. beim Ablesen von Instrumenten eine große Rolle spielt. Man unterscheidet außerdem zwischen dem parafovealen Bereich mit einer Ausdehnung von 2° bis ca. 10° und dem Bereich des peripheren Sehens außerhalb von ca. 10° Kegelöffnungswinkel (Abbildung 2.2). Das periphere Sehen ermöglicht die statische und dynamische Orientierung im Raum sowie die Wahrnehmung von Bewegungen und Helligkeitsänderungen. Außerdem kann mittels des peripheren Sehens die Größe und die Bewegungsrichtung von Objekten abgeschätzt werden (Kornhuber, 1978). Nach Fraisse (1965) liegt die absolute Schwelle für die periphere Bewegungswahrnehmung bei $1'/s$ bis $2'/s$.

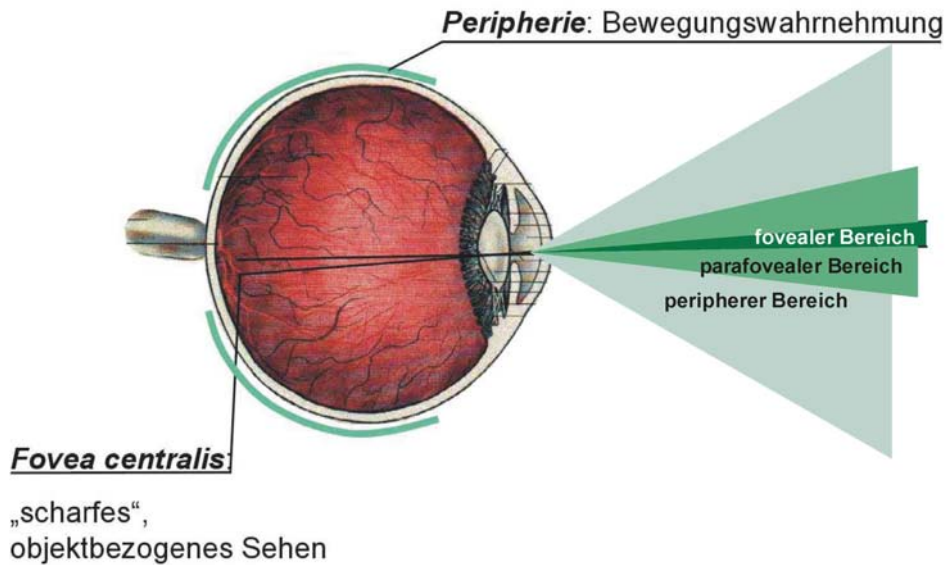


Abbildung 2.2: Querschnitt durch das menschliche Auge

In Abbildung 2.3 ist die Dichteverteilung der beiden Rezeptortypen auf der Netzhaut dargestellt. Die Zapfendichte ist im Bereich bis zu 2° um die Fovea am höchsten und nimmt dann nach außen hin stark ab. Die Stäbchendichte nimmt rings um die Fovea zu, ist aber im fovealen Bereich gleich null. Im blinden Fleck befinden sich weder Stäbchen noch Zapfen. Die unterschiedliche Dichte der Zapfen auf der Netzhaut ist der Grund, warum nur im fovealen Bereich scharf gesehen werden kann und das Auge Blicksprünge durchführen muss, um detaillierte Informationen über die Umwelt aufzunehmen. Die Verteilung der Sehschärfe korreliert mit der Zapfenverteilung auf der Retina (Abbildung 2.4). Das z.B. mit dem Landoltring gemessene Auflösungsvermögen des normalsichtigen Auges beträgt ca. 1 Winkelminute (=Visus 1, Müller-Limmroth, 1993).

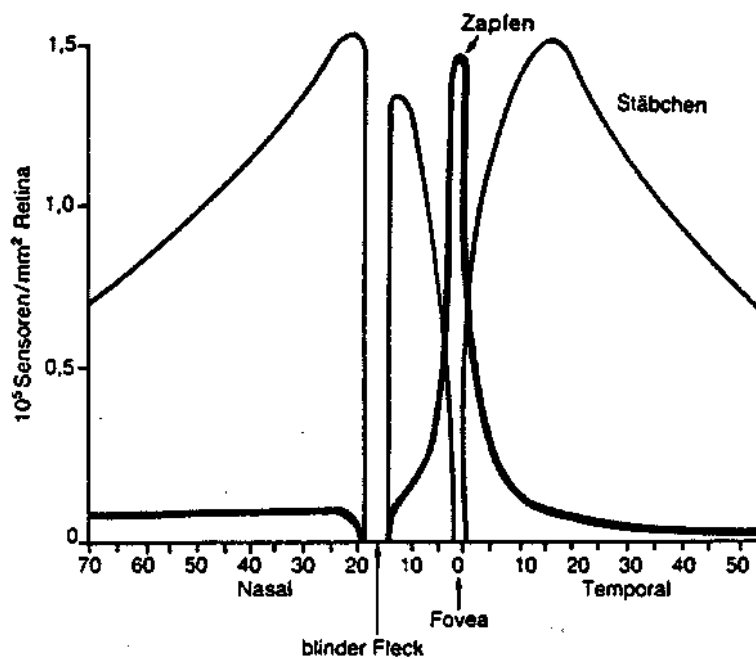


Abbildung 2.3: Dichteverteilung der Zapfen und Stäbchen in Abhängigkeit der Winkeldifferenz zur Fovea (Bierbaumer, Schmidt, 1991; aus Marx, 1993)

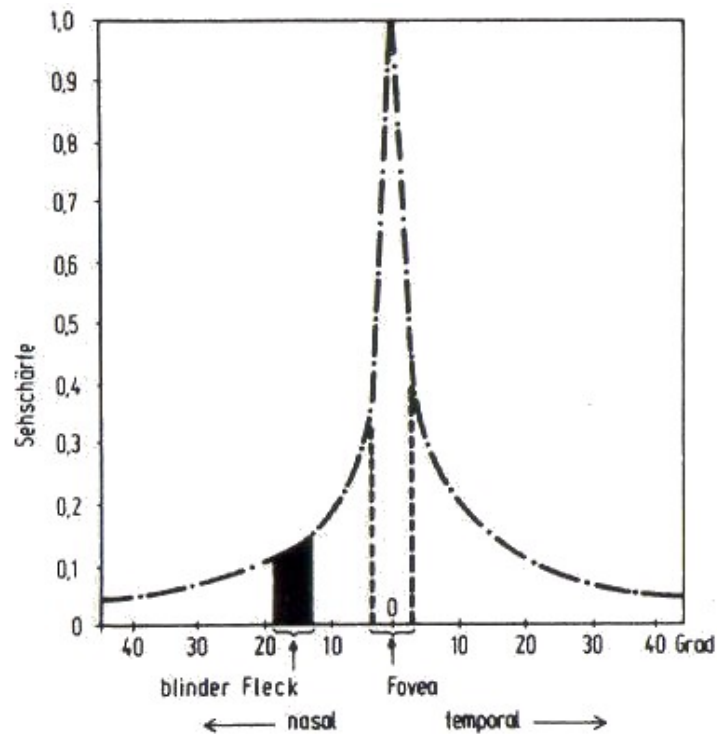


Abbildung 2.4: Sehschärfe in Abhängigkeit des Abstandes von der Fovea (Schmidtke, 1989)

Wie in Abbildung 2.5 dargestellt ist, ist die Sehschärfe abhängig von der Bewegungsgeschwindigkeit des angeblickten Objektes. Schon ab relativ geringer Geschwindigkeit sinkt die Sehschärfe rapide.

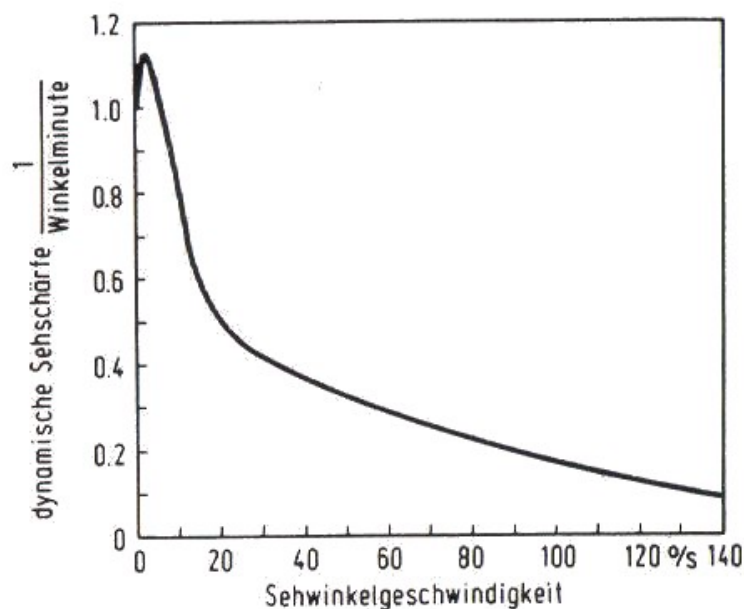


Abbildung 2.5: Sehschärfe in Abhängigkeit von der Objektbewegung (Schmidtke, 1989)

Aufgrund der physiologischen Beschränkung, dass Blickfolgebewegungen nur bis ca. $60^\circ/\text{s}$ möglich sind (Grüsser et al., 1987), ergibt sich im bewegten visuellen Feld eine räumlich Einschränkung für Objekte, an denen das Auge mittels Blickfolgebewegungen hängenbleiben kann. Dieses nur für eine Halbseite dargestellte „Hirschgeweih“ mit zunehmender Einschränkung für steigende Geschwindigkeiten, zeigt Abbildung

2.6. Unberücksichtigt ist hierbei der Einfluss von zusätzlichen Kopfbewegungen. Z.B. können bei Geschwindigkeiten um 50 km/h keine Objekte (z.B. Begrenzungspfosten) innerhalb eines kreisförmigen Bereichs mit einem Radius von 7m zur rechten des Fahrzeuges fixiert werden, da die maximale Folgegeschwindigkeit überschritten ist. Man erkennt, dass diese räumliche Einschränkung zur Erfüllung der meisten fahrrelevanten Aufgaben nicht sehr stark ins Gewicht fällt, da verkehrsrelevante Objekte in Bewegungsrichtung, also geradeaus und zudem weiter entfernt liegen.

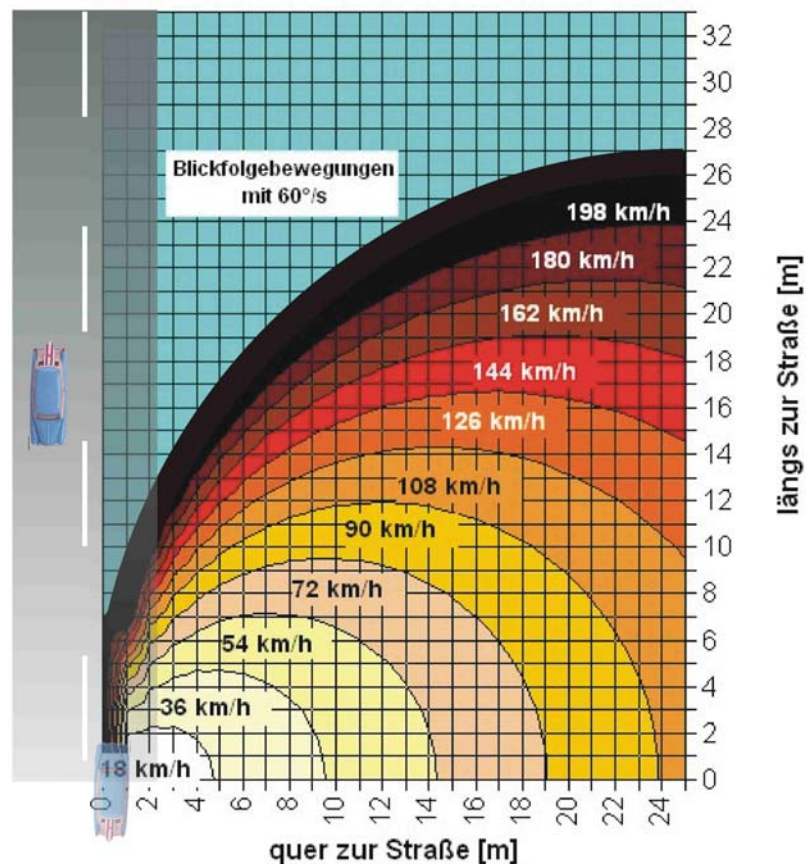


Abbildung 2.6: Grenzgeschwindigkeiten, die innerhalb eines Bereichs Blickfolgebewegungen mit max. 60°/s erlauben.

Die Wahrnehmung räumlicher Tiefe erfolgt entweder binokular durch zwei leicht voneinander verschobene Retinaabbilder, was besonders für das Tiefensehen in der Nähe zwar wichtig, aber laut Gibson (1973) ein Luxus ist. Sie kann aber auch monokular (Grüsser et al., 1987) durch das Vorhandensein von Größenunterschieden bekannter Gegenstände (statisch), durch Überdeckungen (statisch und dynamisch), durch Schattenbildung (statisch), durch perspektivische Verkürzungen (statisch) und durch die Parallaxe bei einer Bewegung (dynamisch) erfolgen. Auch mit nur einem Auge ist man in der Lage ein Fahrzeug zu führen, unter der Prämisse, dass aufgrund des verkleinerten Gesichtsfeldes vermehrt Kopf- und Blickbewegungen durchgeführt werden müssen.

Es muss zwischen Augen- und Blickbewegungen unterschieden werden (Rötting, 1999a). Unter Ersterem versteht man Bewegungen des Auges, dessen beschreibende Größen alleine aus der Beobachtung des Auges gewonnen werden können (z.B. Blicksprungdauern). Im Gegensatz dazu stehen die Blickbewegungen, welche sich von den Augenbewegungen durch die Interpretation derselben mit Hilfe der angeblickten Objekte und des damit aufgenommenen Informationsinhalts unterscheiden

(z.B. Fixationsdauer auf den Tachometer). Sowohl bei den Augen- als auch bei den Blickbewegungen lassen sich grob drei Gruppen unterscheiden:

Ausrichtung der Fovea zu neuen Sehobjekten

Werden mittels des peripheren Sehens für interessant befundene Objekte entdeckt, so führt das Auge dorthin einen ruckartigen Blicksprung durch. Blicksprünge, so genannte Sakkaden, liegen im Winkelgrad-Bereich und können Geschwindigkeiten bis zu $500^\circ/\text{s}$ erreichen (Grüsser et al., 1987). Ist eine Sakkade bereits initiiert, kann sie, wie ein ballistischer Körper, nicht mehr von ihrem programmierten Kurs abgebracht werden. Darum werden Sakkaden auch als ballistische Augenbewegung bezeichnet. Zwischen zwei Sakkaden wird die Fixation durchgeführt. Jede Sakkade ist durch ihre Amplitude und ihre Blicksprungzeit charakterisiert. Die Blicksprungzeit oder Sakkadendauer D hängt von der Amplitude A ab und kann überschlägig mit Hilfe der Gleichung 2.1 bestimmt werden:

$$D = D_0 + dA \text{ [ms]; } D_0 = 21\text{ms; } d = 2,2 \text{ ms}^\circ \text{ und } A = \text{Amplitude } [^\circ] \quad (2.1)$$

Bei Winkel unter 10° werden meist nur die Augen bewegt (Grüsser et al., 1987), größere Blicksprungamplituden treten nur zusammen mit Kopfbewegungen auf.

Bewegungen des Auges, die das Fixieren von Objekten ermöglichen

Zu den Bewegungen des Auges, die eine Informationsaufnahme ermöglichen, zählen Fixationen und Blickfolgebewegungen. Allen gemein ist, dass das fixierte Objekt für eine bestimmte Dauer im fovealen Bereich der Retina abgebildet wird. Im Sonderfall der Blickfolgebewegung bewegt sich das Auge mit dem fixierten Objekt bis zu einer maximalen Winkelgeschwindigkeit von $60^\circ/\text{s}$ mit. Auch hier findet keine Relativbewegung des Bildes auf der Retina statt. Im Weiteren sollen diese beiden Begriffe unter dem Begriff der Fixation subsumiert werden.

Vestibulärbewegungen gleichen über das Gleichgewichtsorgan Nickbewegungen des Kopfes unwillkürlich aus, so dass das Auge stets auf das fixierte Objekt gerichtet bleibt. Die Sehachsen beider Augen sind nur für Blicke ins Unendliche parallel zueinander. Für endliche Objektstände konvergieren beide Achsen, so dass das Objekt auf beide Retinae abgebildet wird. Man spricht von Konvergenzbewegungen.

Wie Mackworth et al. (1967, zit. in Cohen, 1976) zeigen konnten, gelten Fixationen in erster Linie informationsreichen und nichtredundanten Stellen. Der Mensch braucht diese so genannten Sichtanker, an dem das Auge „hängenbleiben“ kann. Besonders relevant ist das im bewegten visuellen Feld, da Objekte, je näher sie am Betrachter sind, eine größere Vektorgeschwindigkeit aufweisen und schneller aus dem Sichtfeld wieder verschwinden. Dies kann man an sich selbst mit einem Blick aus einem fahrenden Zug feststellen. Das Blickverhalten weist einen typischen „Sägezahneffekt“ auf, der unter dem Begriff optokinetischer Nystagmus bekannt ist (Grüsser et al., 1987). Dieser Effekt schwächt sich mit zunehmender Objektentfernung ab. Übertragen auf die Fahrzeugführung stellt der Fluchtpunkt der Straße einen solchen stabilen Sichtanker dar.

Fixationsdauern sind für den Anwendungsfall des Straßenverkehrs, nach übereinstimmender Angabe in der Literatur, gewöhnlich im Bereich ab 80-100ms bis zu einigen Sekunden zu finden. Unterhalb der angegebenen Schwelle kann Information nicht bewusst aufgenommen werden (Young et al., 1975). Extrem kurze Fixationszei-

ten können oft auf eine sehr starke Beanspruchung des Fahrers hinweisen. Mehrere sukzessive Fixationen auf ein und das selbe Objekt oder die selbe Objektgruppe bilden einen Blick. In der Literatur werden jedoch oft die Begriffe „Blick“ und „Fixation“ (engl.: „gaze“ und „fixation“) als Synonyme verwendet.

Mikrobewegungen

Das Auge vollführt ständig sehr schnelle Mikrobewegungen im Winkelminuten-Bereich. Ihre Aufgabe besteht darin, die primär auf Veränderungen reagierenden Rezeptoren mit neuen Reizen zu versorgen (so genannte Tremor und Drift-Bewegungen). Ohne diese Bewegungen würde man nichts sehen können.

Weitere Begriffe

Darüber hinaus müssen folgende Begriffe und Definitionen (z.B. Marx, 1993; Schmidtke, 1993; ISO CD 15007, 1997 u.a.), die zum Verständnis der dargestellten Ergebnisse und Untersuchungen unerlässlich sind, kurz erläutert werden:

Das Gesichtsfeld ist als der Bereich definiert, in dem ein Objekt bei unbewegten Augen und unbewegtem Kopf wahrgenommen werden kann. Das Blickfeld (auch Blickgesichtsfeld) ist bestimmt durch die Gesamtheit aller fixierbaren Punkte bei bewegten Augen, aber fixiertem Kopf. Das Umblickfeld (auch Umblickgesichtsfeld) ist definiert als die Gesamtheit aller fixierbaren Punkte bei bewegten Augen und bewegtem Kopf.

Das nutzbare Sehfeld (auch useful field of view, ufov) ist der Bereich, der sich vom Gesichtsfeld dadurch unterscheidet, dass die Wahrnehmung von Objekten auch eine kognitive Verarbeitung nach sich zieht und somit das Gesichtsfeld in seiner Ausdehnung variieren kann. Die Größe des nutzbaren Sehfeldes ist nicht nur von physiologischen und räumlichen Faktoren, sondern auch von der mentalen Beanspruchung abhängig (Miura 1992).

3 Stand der Forschung: Blickbewegungsstrategien

Wie die Durchsicht der Literatur zeigt, gibt es keinen ganzheitliche Erklärungsversuch zu Blickstrategien des Autofahrers, geschweige denn, dass eine Aufstellung eines festgelegten Sollzustandes von Blickbewegungen existiert. Im folgenden Abschnitt soll auf den Stand der Forschung eingegangen werden.

3.1 Informationsspeichermodell

Der Fahrer muss, um die Verkehrssituation vollständig zu überblicken, der Umgebung ständig Informationen entnehmen. Der zu beobachtende Bereich hängt von mehreren Parametern ab, z.B. von der Fahrbahngeometrie oder von bewegten Objekten. Ihm werden Informationen mit einer Abtastfrequenz, auch Scanning-Rate genannt, von 0,8 bis 5 Fixationen pro Sekunde entnommen. Erweckt ein Objekt ein besonderes Interesse, so wird dieses solange fixiert, bis genug Information diesbezüglich aufgenommen ist oder wieder Blicke für die Bahnführungsaufgabe bzw. die Beobachtung des Vorfeldes nötig sind (Gengenbach, 1999, s.a. Abbildung 3.1).

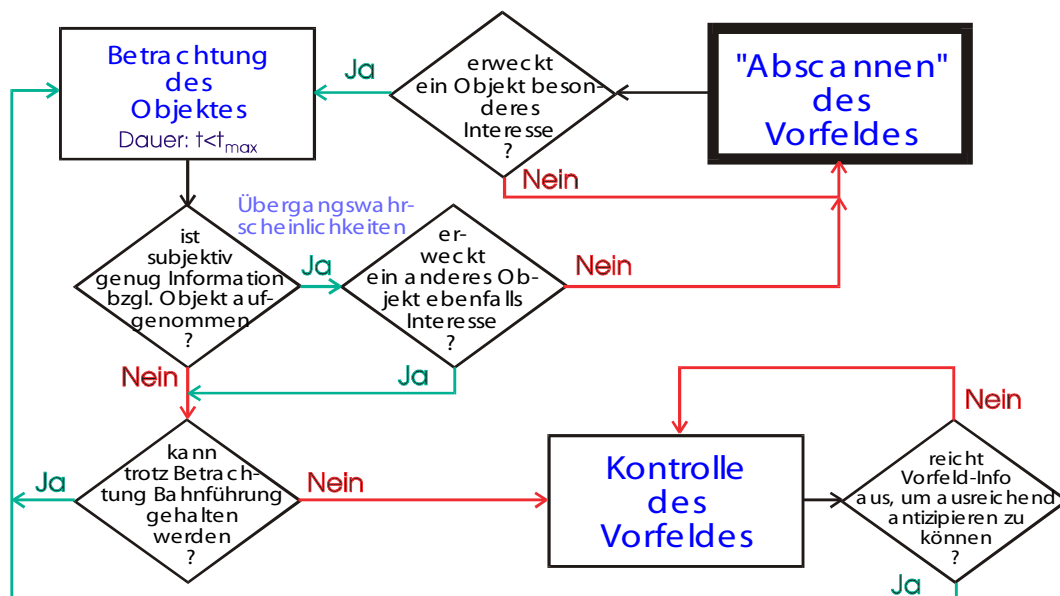


Abbildung 3.1: Allgemeines Modell zur Beschreibung des Blickverhaltens

Da das Bild der Fahrsituation immer aktuell bleiben sollte, werden alte Daten im Kurzzeitgedächtnis relativ schnell durch neue ersetzt. Das sich zeitlich verändernde Informationsniveau des Fahrers bildet Gengenbach (1997) mit einem zeitintegrativen Modell ab, bei dem ein Gleichgewicht zwischen aufgenommener und abgegebener (=vergessener) Information besteht. Die Anregung durch einen äußeren Reiz hält lediglich 3 bis 4 Sekunden an. Meistens wechselt die Verkehrssituation jedoch so schnell, dass die Information schon vor dieser Zeit verloren geht. Wird durch eine Ablenkung, z.B. beim Bedienen des Radios, der Scanning-Prozess des Fahrers beeinträchtigt, so wird wenig oder wichtige Information für die Fahraufgabe nicht aufgenommen (Abbildung 3.2). Bei einem Feldversuch mit 19 Probanden zeigte sich, dass die Scanning-Rate (Anzahl von Fixationen pro Zeiteinheit) unmittelbar vor einer Ablenkung leicht ansteigt, was der Vorbereitung dient. Nach der Ablenkung besitzt sie ein ausgeprägtes Maximum, um das alte Informationsniveau so schnell wie möglich wieder herzustellen.

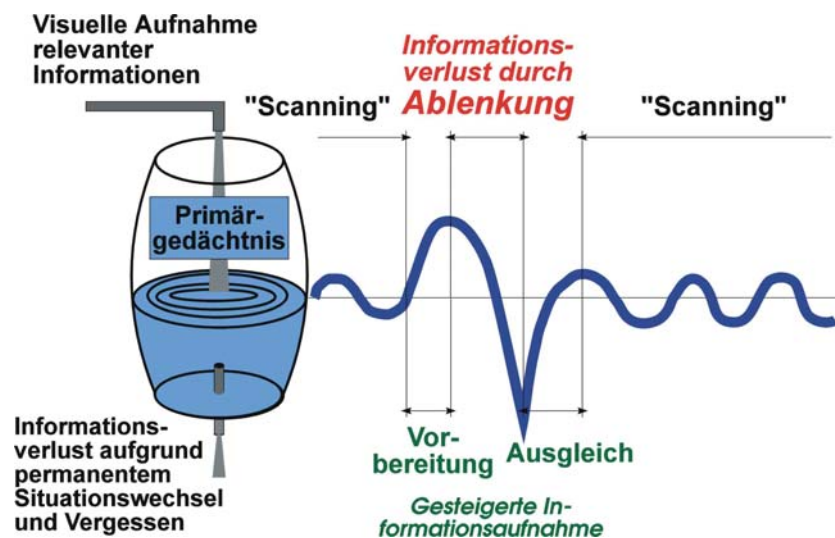


Abbildung 3.2: Verlauf des Informationsniveaus bei einer Ablenkung (Gengenbach, 1997)

Als Anwendungsbeispiel seines Modells zeigt Gengenbach, dass die Ablenkungswirkung beim Ablesen einer neuartigen Anzeige, bei der Information in die Windschutzscheibe des Fahrzeuges gespiegelt wird (Geschwindigkeitsdarstellung via Head-Up-Display), deutlich geringer ist als bei einem herkömmlichen Tachometer.

3.2 Warteschlangenmodell

Die Informationsaufnahme des Menschen wird bei Majjad (1997) mit zwei Warteschlangen, je eine für den visuellen und eine für den vestibulären Sinneskanal modelliert. Als Grundlage der Modellierung dienen Daten aus der Literatur, die z.T. recht allgemein gehalten sind und manchmal nur für spezielle Situationen gelten. Eigene Blickbewegungsmessungen wurden dazu nicht durchgeführt. Es werden Blicke auf folgende Objekte generiert: Blickpunkt (3s vor dem Fahrzeug), Leitpunkt (entspricht dem Fluchtpunkt), Fahrbahnrand, Mittelstreifen und Störungen (Sonstiges). Die wichtige Kategorie „andere Verkehrsteilnehmer“ fehlt.

Das Warteschlangensystem der visuellen Informationsaufnahme funktioniert nach dem Prioritätsprinzip und ist unterbrechbar. Der modellierte sensorische Kurzzeitspeicher des visuellen Kanals kann Signale für ca. eine Sekunde zwischenspeichern. Wenn die Anforderung in dieser Zeit nicht bearbeitet wird, wird sie gelöscht. Um das Warteschlangensystem so gut wie möglich zu beschreiben, werden die Fixationshäufigkeiten sowie Fixationsdauern und die Priorität jeder Blickkategorie auf Basis von Literaturrecherchen bestimmt. Der Aufbau des Warteschlangenmodells der visuellen Informationsaufnahme ist in Abbildung 3.3 dargestellt.

Es fehlt eine systematische Zuordnung von Sollfixationen zu den einzelnen Fahraufgaben, bzw. es werden keine Fahraufgaben explizit angegeben. Das Soll ergibt sich aus der Annahme, dass die Zeitintervalle zwischen den einzelnen Fixationen durch die Parameter Geschwindigkeit, Längsbeschleunigung, Gierwinkelfehler, Gierrate und -beschleunigung, Querabweichung und Quergeschwindigkeit bestimmt werden könnten, was aber sehr mit Vorsicht zu genießen ist.

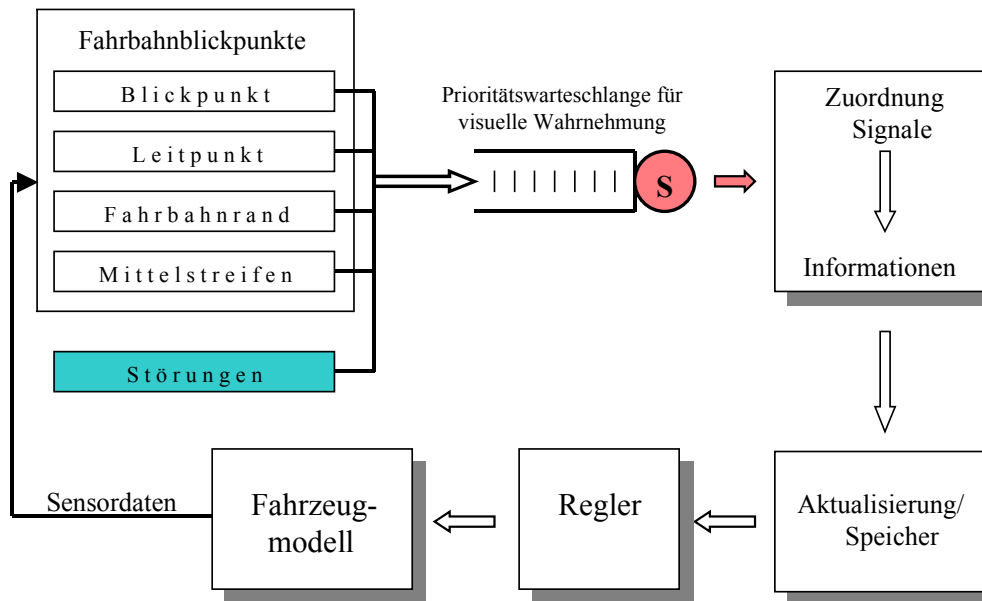


Abbildung 3.3: Das Warteschlangenmodell der visuellen Informationsaufnahme (Majjad, 1997)

3.3 Markov-Matrizen.

Liu, Veltri und Pentland (1998) benutzen Markov-Matrizen, um die Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen einzelnen Blickkategorien zu modellieren. Markov-matrizen oder auch -ketten beschreiben die Wahrscheinlichkeit, dass dem momentanen Zustand ein oder n bestimmte andere Zustände vorausgingen. Die Zahl n bestimmt dabei den Grad der Ordnung. Die einfachste Möglichkeit der Analyse beinhaltet eine Markov-Matrix M_0 0. Ordnung. Sie entspricht der auf der Fixationsanzahl basierenden Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmtes Objekt fixiert wurde: $M_0 = [P_i]$ wobei $i = 1, 2, \dots, m$ den Index der Blickkategorie beschreibt. Sie berechnet sich aus dem Quotienten der Fixationsanzahl auf dieses Objekt und der Anzahl aller Fixationen.

Die Markov-Matrix 1. Ordnung beschreibt die Übergangswahrscheinlichkeiten P_{ij} zwischen zwei von insgesamt m Kategorien i und j : $M_1 = [P_{ij}]$; $i, j = 1, 2, \dots, m$. Mit dieser Matrix können begrenzt Aussagen über Blickstrategien gemacht werden. Theoretisch können auch Matrizen höherer Ordnung verwendet werden, was jedoch aufgrund der kombinatorischen Explosion der Möglichkeiten nicht sinnvoll ist. In der Literatur zu Blickbewegungen findet man Markovketten bis max. 1. Ordnung.

Liu et al. stellen fest, dass für jede ihrer untersuchten Situationen, wie zum Beispiel das Überholen oder das Folgen eines Fahrzeuges, eine spezifische Matrix aufgestellt werden kann. Zudem lassen sich Markov-Matrizen für Situationen, die aus Basissituationen kombiniert werden, als Linearkombination dieser Matrizen berechnen. Die Autoren unterscheiden in einfachen Simulatorversuchen die Fälle „Fahren auf einer Straße“ und „Folgen eines Fahrzeugs“. In beiden Fällen wird gezeigt, dass es spezifische Blickbewegungsmuster gibt.

Die visuelle Szenerie ist in acht Blickkategorien (Tabelle 3.1) aufgeteilt, die variabel im Hinblick auf Geschwindigkeit und Straßengeometrie gewählt sind.

Tabelle 3.1: Objektkategorien der Blickbewegungsanalyse

Region	Beschreibung
1	nahe Vorausschau: Punkt, der ca. 1 Sekunde entfernt ist, oder Tangentenpunkt
2	mittlere Vorausschau: 1-2 Sekunden voraus oder 1° neben dem Tangentenpunkt
3	weite Vorausschau: 2 Sekunden voraus
4	nächster Straßenabschnitt voraus
5	linke Straßenseite
6	rechte Straßenseite
7	vorausfahrendes Fahrzeug
8	Sonstiges

Es werden vier Situationen unterschieden: „Fahren auf geraden Straßenabschnitten“ und „Fahren in Kurven“, jeweils mit und ohne vorausfahrendem Fahrzeug. Für jede Situation wurde die Matrix 1. Ordnung M_1 gebildet.

Auf gerader Straße wird ein „Seite zu Seite“-Muster und ein „Vorausschau-Muster“ festgestellt. In kurvigen Abschnitten wird vor allem von Seite zu Seite geblickt, die Vorausschau fällt hier nahezu weg, nur manchmal orientiert sich der Fahrer in der Ferne. Fährt ein Fahrzeug voraus, wird dies am meisten angeblickt, das „Seite zu Seite“-Muster ist mit der vorherigen Intensität, das „Vorausschau-Muster“ abgeschwächt vorhanden. In Kurven wird in diesem Fall weniger zur Seite geblickt, am wahrscheinlichsten ist der Übergang vom Führungsfahrzeug in die Ferne.

Underwood et al. (2002) führten Feldversuche auf Basis der von Liu et al. (1998) entwickelten Methodik durch. Dabei wurde ein „Vorausschau-Muster“ („preview pattern“: alternierende Fixationen zwischen nahen und entfernteren Bereichen der Straße), ein „lateral scanning pattern“ (mehrere Fahrspuren auf Hindernisse überprüfen) und individuelle Blickmuster („individual patterns“, Spiegelfixationen etc.) festgestellt. Ihre Arbeit zielt jedoch auf den Unterschied zwischen erfahrenen und unerfahrenen Fahrern bei verschiedenen Streckenabschnitten ab.

Wie Abbildung 3.4 exemplarisch für einen Landstraßenabschnitt zeigt, reagieren erfahrene Fahrer situationsadaptiver als unerfahrene. Dies zeigt sich in einer ausgeprägteren Variabilität der Übergänge. Bei den Unerfahrenen dominiert der Blick auf den Fluchtpunkt, d.h. egal welche Region fixiert wird, die darauffolgende Fixation geht auf den Fluchtpunkt („far ahead“).

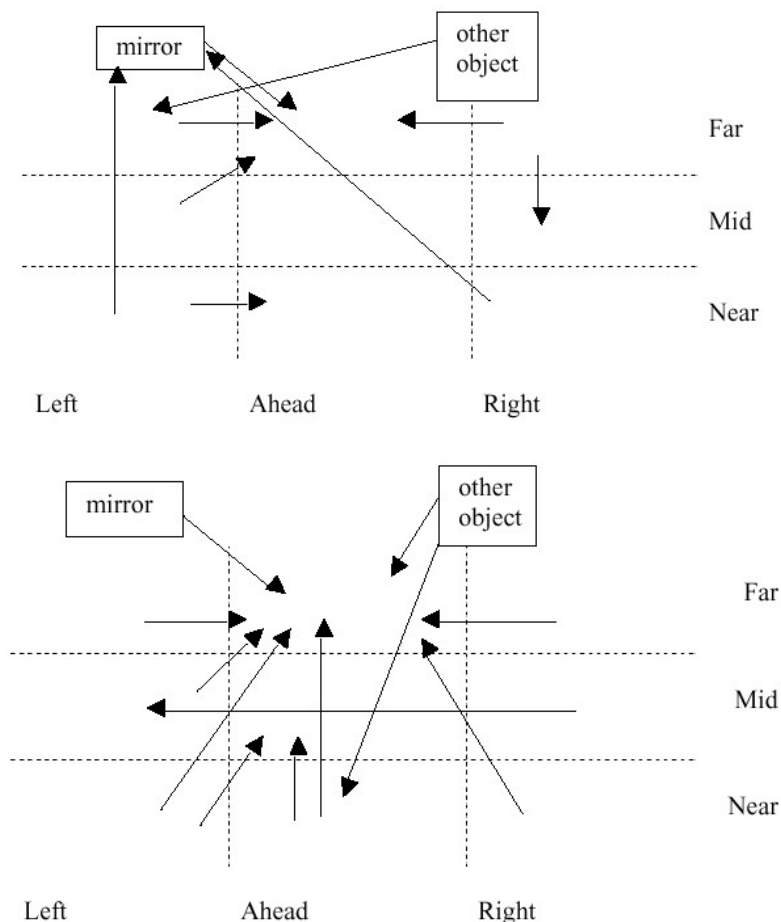


Abbildung 3.4: Landstraße: signifikante Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen mehreren Blickkategorien. Oben: Erfahrene Fahrer, unten: Unerfahrene (Underwood et al., 2002).

3.4 Zeitdiskretes Prädiktionsmodell

Mit Kenntnis der momentan fahrrelevanten Information durch ein Expertenrating und deren räumlichen Verteilung auf verschiedene Objekte, erstellten Cohen & Hirsig (1990) ein Modell, mit dem die Erklärung von Fixationsmustern begrenzt möglich ist. Die Versuchspersonen (N=5) befuhren im Feldversuch eine Einbahnstraße mit einem Baustellenhindernis, das wegen der unübersichtlichen Verkehrsführung erst spät zu sehen ist. Die einzige mögliche Vorbeifahrt führt über eine Rampe auf den Gehsteig (siehe Abbildung 3.5).

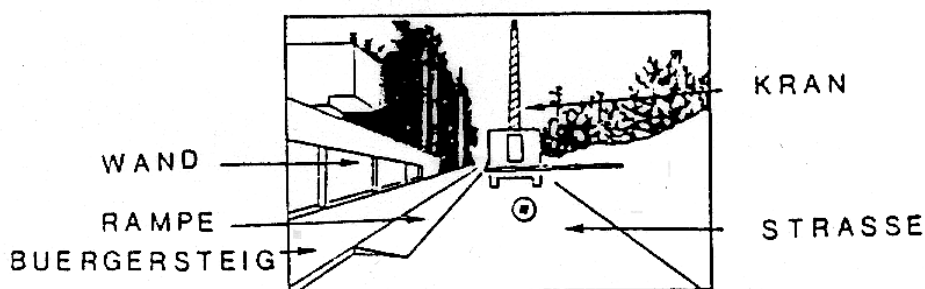


Abbildung 3.5: Schematische Darstellung der Baustelle (Cohen & Hirsig, 1990)

Die Blickbewegungen wurden mit einem NAC Eye-Mark-Recorder aufgezeichnet, wobei fünf Blickkategorien gebildet wurden: Fixationen auf die Fahrbahn in nahem

Abstand, auf die Fahrbahn in relativer Ferne, auf die Beschränkungen der linken resp. rechten Fahrbahnseite und Fixationen auf Sonstiges. Darüber hinaus wurden 24 fotografische Aufnahmen der Strecke in der zeitlichen Reihenfolge gemacht, wie die Strecke befahren wurde. Die Fotos wurden Experten zur Beurteilung der fünf Fixationskategorien hinsichtlich ihres Informationsgehaltes vorgelegt. Als Ergebnis erhielt man den zeitlichen Verlauf des fahrrelevanten Informationsgehaltes der Kategorien, der somit dem sich dynamisch veränderlichen Informationsgehalt beim Befahren der Strecke Rechnung trägt.

Ziel der Untersuchung war es, mit zwei Eingangsgrößen, nämlich den Zeitanteilen der Fixationskategorien des vorherigen Zeitintervalls und der Informationsrelevanzbeurteilung der einzelnen Kategorien für das aktuelle Zeitintervall, die Zeitanteile der Fixationskategorien im aktuellen Intervall vorherzusagen (siehe Abbildung 3.6). Leider gehen die Autoren nicht näher darauf ein, wie diese beiden Eingangsgrößen für das Prädiktionsmodell miteinander verknüpft sind. Alle Werte der beobachteten Variablen, wie die Zeitanteile der Fixationen und die Relevanzbeurteilungen sind zu einem mehrdimensionalen Zustandsvektor zusammengefasst und können mit dem vorhergesagten Zustandsvektor verglichen werden. Ein visueller Input steht den Ergebnissen zufolge in engem Zusammenhang mit dem darauf Folgenden. Überlagert wird dies jedoch durch interindividuelle Unterschiede, was sich darin zeigt, dass bei dieser Untersuchung für manche Versuchspersonen mehrere Umweltvektoren vorausliegender Beobachtungsintervalle zur genauen Vorhersage der Fixationszeitanteile benötigt werden.

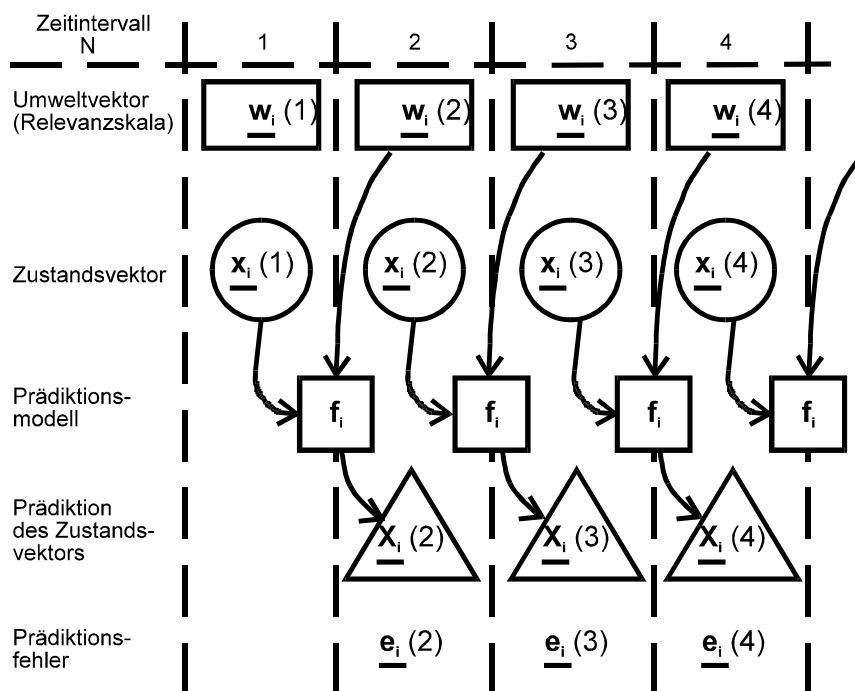


Abbildung 3.6: Zusammenhang zwischen den Eingangs- und Ausgangsgrößen des zeitdiskreten Prädiktionsmodells in einfachster Form (aus Cohen & Hirsig, 1990)

Die experimentellen Befunde widersprechen zwar den Ergebnissen von McDowell und Rockwell (1978), die Blicksakkaden in horizontale und vertikale Komponenten aufteilen und zu dem Ergebnis kommen, dass aufeinanderfolgende Fixationen nicht im Zusammenhang miteinander stehen. Allerdings wird bei ihnen nicht der Informationsinhalt einer Fixation betrachtet. Hinzu kommt, dass ihren Untersuchungen recht einfache Umweltbedingungen zu Grunde liegen, in denen der Fahrer nur gering

beansprucht ist. Es genügt in diesem Fall eine vorwiegend undetaillierte und somit nichtfoveale Informationsaufnahme.

Nach Cohen & Hirsig ist die Analyse des Blickverhaltens zur Aufdeckung kognitiver Vorgänge erst dann gerechtfertigt, wenn die Anforderungen durch die Fahraufgabe hoch sind und der Fahrer seine volle visuelle Kapazität für die Aufnahme verkehrsrelevanter Information einsetzen muss. Dies ist erfüllt wenn

1. die Rolle des peripheren Sehens auf die Identifikation der nächstfolgenden potenziellen Fixationsstelle beschränkt bleibt,
2. die vorliegende Dichte relevanter Informationsträger so hoch ist, dass der Fahrzeugführer seine visuelle Kapazität für die Fahraufgabe vollständig einsetzen muss, und
3. die Träger relevanter Information klein genug sind, so dass das optische Panorama kategorisiert werden kann.

3.5 Abschließende Betrachtung

Wie die Durchsicht der Literatur zeigt, ist eine Vorhersage des Blickverhaltens nur unter ganz speziellen Bedingungen möglich. Selbst dann ist eine Vorhersage nur auf Basis von Fixationsanteilen oder Markovketten 1. Ordnung möglich. Im besten Falle lassen sich mit Markovketten isolierte Blickmuster mit zwei Blickkategorien erkennen.

Es muss von der Idee Abstand genommen werden, das Blickverhalten des Autofahrers wäre in seiner chronologischen Sequenz streng deterministisch festgelegt, bzw. es gäbe nur ein angemessenes Blickverhalten für eine bestimmte Situation. Vielmehr existieren für eine Situation mehrere verschiedene adäquate Blickverhaltensweisen. Dazu bemerkt Zwahlen (1993): „[...] that there appears to exist no predictable simple, systematic eye fixation sequence patterns within a driver [...] or between drivers [...]. [...] it may be tentatively concluded that many different eye fixation sequences and strategies provide adequate visual input for proper curve driving [...] and for that matter for driving on a straight section of a highway.“ Mit zunehmender Relevanz des fovealen Sehens und der Zunahme eines Zeit- und Handlungsdrucks, also einer Erhöhung der Komplexität einer Fahrsituation, werden sich Informationsaufnahme-muster mehr angleichen (s.a. Cohen & Hirsig, 1990).

Um ein optimales Blickverhalten aufstellen zu können, macht es keinen Sinn, sich auf die chronologische Sequenz von Blickbewegungen zu beschränken. Ebenso muss man sich von den elementaren, beschreibbaren Bausteinen von Blickbewegungen, den Fixationsorten und den dazugehörigen –dauern lösen, um auf eine übergeordnete Interpretationsebene von Blicksequenzen zu wechseln.

4 Der Autofahrer und seine Fahraufgabe

Auf Basis der in diesem Abschnitt definierten Fahraufgaben werden im folgenden Abschnitt die damit verknüpften visuellen Aufgaben entwickelt. Eine genauere Betrachtung der einzelnen Fahraufgaben ist somit notwendig. Obwohl für die meisten Menschen, zumindest in den Ländern der so genannten ersten und zweiten Welt, das Autofahren eine alltägliche und vertraute Angelegenheit ist, will man kaum glauben, dass zur Beschreibung der eigentlichen Fahraufgabe sich die Unterteilung derselben in Unteraufgaben als recht schwierig erweist.

Folgende Definition wird unter Berücksichtigung der in Deutschland geltenden Straßenverkehrsordnung (2000) vorgeschlagen:

Die Fahraufgabe besteht primär aus der von einem Menschen geregelten Fortbewegung mit Hilfe eines landgebundenen Kraftfahrzeuges von A nach B, unter der Berücksichtigung, dass keine anderen Gegenstände, außer der Fahrbahn berührt werden (Unfallereignis).

Hinzu kommt, dass durch eigene Handlungen keine anderen Verkehrsteilnehmer geschädigt, gefährdet oder mehr als nach den Umständen unvermeidbar behindert oder belästigt werden. (Unfall- bzw. Verkehrskonflikt).

Zusätzliche, individuelle Aspekte der Fahraufgabe liegen z.B. darin, dass der Fahrer möglichst wirtschaftlich, sportlich, komfortabel etc. unterwegs sein will.

4.1 Was ist das Soll-Verhalten?

Im Hinblick auf die Erstellung eines Soll-Verhaltens ergeben sich bei der Analyse der Fahraufgabe einige Schwierigkeiten. Ein „hartes Soll“ ergibt sich zunächst aus den physikalischen Grenzen, die für das System Fahrer-Fahrzeug-Straße existieren. So ist leicht einzusehen, dass es z.B. für jede Konstellation Fahrzeugreifen-Fahrbahn eine Grenzgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Reibbeiwertes, der Fahrzeugmasse und des durchfahrenen Kurvenradius gibt, die bei einer Überschreitung zum unfreiwilligen Verlassen der Fahrbahn führt. Dieser Reibschluss hängt vom Reifenmaterial, der Fahrbahnoberfläche, der Temperatur usw. ab. Im Normalfall bleibt der Fahrer weit unter diesen Grenzen, so dass es zu keinen kritischen Situationen diesbezüglich kommt. Die Schwierigkeit liegt für den Fahrer darin, diese Grenzen rechtzeitig zu erkennen und seine Verhaltensweise daraufhin auszurichten, z.B. in dem er die Geschwindigkeit verringert. Diese Grenzen können sich z.T. sehr schnell ändern, was besonders von unerfahrenen Fahrern schlecht eingeschätzt wird und somit aufgrund mangelnder Adaption der Fahrerhandlungen an diese Grenzen zu kritischen Situationen führen kann, z.B. bei teilvereisten Straßen. Ebenso harte Grenzen ergeben sich bei Betrachtung der physiologischen Bedingungen, denen der Fahrzeugenker unterworfen ist. Diese führen zu Grenzen bzgl. der Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung.

Damit der Durchschnittsfahrer, selbst wenn er wollte, das Fahrzeug erst gar nicht im labilen und gefährlichen Grenzbereich bewegt, und auch seitens der Rechtsprechung Einigkeit darüber herrscht, was unter der Fahraufgabe zu verstehen ist, gibt der Gesetzgeber ein „Soll“ in Form der Straßenverkehrsordnung vor. Folgende kurze Auszüge aus der Straßenverkehrsordnung (StVO, 2000) geben Einblick in die grundlegenden Teilaufgaben des Fahrers:

- §1 (1): Die Teilnahme am Straßenverkehr erfordert **ständige Vorsicht und gegenseitige Rücksicht**.
- §1 (2): Jeder Verkehrsteilnehmer hat sich so zu verhalten, **dass kein Anderer geschädigt, gefährdet** oder mehr, als nach den Umständen vermeidbar, behindert oder belästigt **wird**.
- §2 (1): **Fahrzeuge müssen die Fahrbahn benutzen**, von zwei Fahrbahnen die rechte. Seitenstreifen sind nicht Bestandteil der Fahrbahn.
- §3 (1): Der Fahrzeugführer [...] **hat seine Geschwindigkeit** insbesondere den Straßen-, Verkehrs-, Sicht- und Wetterverhältnissen sowie seinen persönlichen Fähigkeiten [...] **anzupassen**.
- §4 (1): Der Abstand von einem vorausfahrenden Fahrzeug muss in der Regel so groß sein, **dass auch dann hinter ihm gehalten werden kann**, wenn es plötzlich gebremst wird.
- §5 (2): Überholen darf nur, wer übersehen kann, dass während des ganzen Überholvorgangs **jede Behinderung des Gegenverkehrs ausgeschlossen** ist. [...]
- §5 (4): Wer zum Überholen ausscheren will, muss sich so verhalten, dass eine **Gefährdung des nachfolgenden Verkehrs ausgeschlossen** ist. Beim Überholen muss ein **ausreichender Seitenabstand** [...] eingehalten werden.
- §8 (2): [...] Er (Anm.: der nicht Vorfahrtberechtigte) darf nur weiterfahren, wenn er übersehen kann, dass er den, der die Vorfahrt hat, **weder gefährdet noch wesentlich behindert**. [...]

Keine Regel wird aufgrund der Gefahr einer eigenen unmittelbaren Schädigung bei Nichtbeachtung so strikt befolgt wie die Vorfahrtsregelung. Andere Paragraphen werden weniger genau beachtet. Als Beispiel sei die Befolgung von Geschwindigkeitsbegrenzungen genannt. Sowohl Messungen als auch die Erfahrung eines jeden Autofahrers zeigen, dass sich nur wenige genau daran halten. Überschreitungen um bis zu 20% können nach Reichart (2000) noch als tolerierbar bezeichnet werden.

4.2 Parameter zur Beschreibung der Fahrsituation

Das Sollverhalten hängt in erster Linie von der umgebenden Fahrsituation ab. Bei Durchsicht der Literatur stellt man fest, dass oft der Begriff der Verkehrs- oder Fahrsituation gebraucht wird, ohne diese sauber voneinander zu unterscheiden. In diesem Zusammenhang macht es Sinn, einen weiteren Begriff mit ins Spiel zu bringen, nämlich den der Fahrersituation. Folgende Definitionen nach Reichart (2000) werden demnach vorgeschlagen: „Der häufig gebrauchte Begriff der Verkehrssituation kann als die objektiv gegebene räumliche und zeitliche Konstellation der verkehrsbezogenen Einflussgrößen der Arbeitsumgebung der Verkehrsteilnehmer angesehen werden.“ Im Unterschied dazu wird die Fahrsituation als die aus Fahrersicht prinzipiell wahrnehmbare Verkehrssituation verstanden. Die Fahrersituation entspricht der subjektiven, tatsächlich vom Fahrer wahrgenommenen Fahrsituation. Diese ist stark abhängig von individuellen Faktoren wie z.B. von der Motivation, der Erfahrung oder dem Sehvermögen.

Ein Soll-Blickverhalten ist auf der Ebene der Fahrsituation zu definieren. Ein Bezug auf die objektive Verkehrssituation macht keinen Sinn, was folgendes Beispiel verdeutlicht: Bei einer Rechts-vor-links Situation müsste demnach –objektiv gesehen– nicht nach einem bevorrechtigten Fahrzeug gesucht werden, wenn dieses nicht vor-

handen ist. Eine Kollision kann ausgeschlossen werden. Aus der Sicht der Fahrsituation ist diese Information für den Fahrer aber nicht vorhanden. Er muss sich diese Information mit Hilfe eines Blickes an die entsprechende Stelle erst zugänglich machen. Die Fahrersituation wiederum würde diese Konstellation aus Sicht des Fahrers widerspiegeln, der z.B. aufgrund einer Sehschwäche die Situation nicht erkennt.

Die mannigfaltige Verschiedenartigkeit von Situationen macht es äußerst schwer, diese in einem Katalog zu klassifizieren. So spricht z.B. von Benda (1977, zit. nach Fastenmeier, 1995) von Millionen von verschiedenen Verkehrssituationen. Natürlich ist dabei zu berücksichtigen, dass aufgrund der kombinatorischen Explosion der Möglichkeiten solche Umfänge schnell erreicht werden. Die Frage, ab wann Situationen als ähnlich einzustufen sind, um die Anzahl der Möglichkeiten zu reduzieren, kann in Reichart (2000) nachgelesen werden. Mit Hilfe der Anzahl von festzulegenden Unterscheidungsmerkmalen wird die Ähnlichkeit mit Hilfe einer Ähnlichkeitskennziffer, des so genannten Simple-Matching-Coefficient, bewertet. Schwierig, vielleicht sogar ungelöst ist, dass somit das Ähnlichkeitsmaß mit der Definition dieser Merkmale steht und fällt. Manipulationen bzw. eine gewisse Beliebigkeit der Merkmalsdefinition kann somit zum Problem werden.

Eine pragmatische und elaborierte Taxonomie zur Klassifizierung von Verkehrssituationen liegt mit der Methode von Fastenmeier (1995) vor. Dabei werden Situationen hinsichtlich des Straßentypus, des Trassenverlaufs und des Verkehrsablaufs unterteilt. Im Rahmen vorliegender Arbeit werden weitere sinnvolle Untergruppen hinzugefügt („Andere Verkehrsteilnehmer“ und „zulässige Geschwindigkeit“), die eine detailliertere Beschreibung der Situation ermöglichen (Tabelle 4.1). Das Vorhandensein von Kreuzungen, die Art der Knotenpunktregelung (Vorfahrtverhältnisse), die „Länge“ (Dauer) von Situationen sowie die Sichtverhältnisse und die Verkehrsdichte sind dabei wesentliche Bestimmungsmerkmale für die Aufgabenkomplexität der Fahraufgabe. Dieses Schema soll bei der Beschreibung der Situationen unserer Versuche verwendet werden.

Tabelle 4.1: Erweitertes Klassifikationsschema für Verkehrssituationen

Merkmal	Kategorien	Ausprägung	Code
Straßentyp	Autobahn	Autobahn, modern ausgebaut; je Fahrbahn 3 (oder mehr) Fahrspuren; breiter Seitenstreifen: Standspur oder im Anschlußstellenbereich Beschleunigungs- oder Verzögerungsspur	A1
		Autobahn, je Fahrbahn 2 Fahrspuren; breiter Seitenstreifen; Standspur oder im Anschlußstellenbereich Beschleunigungs- oder Verzögerungsspur	A2
		Autobahn, je Fahrbahn 3 (oder mehr) Fahrspuren; schmaler oder kein Seitenstreifen: keine Standspur oder im Anschlußstellenbereich keine Beschleunigungs- oder Verzögerungsspur	A3
		Autobahn, je Fahrbahn 2 Fahrspuren; schmaler oder kein Seitenstreifen: im Anschlußstellenbereich ohne Beschleunigungs- oder Verzögerungsspur	A4
		Park- und Serviceareale im Autobahnbereich	A5
	Landstraße	Landstraße, erbaut nach modernen Längs- und Querschnittsrichtlinien: mindestens 2 Fahrspuren, Fahrbahnmarkierungen (befestigte Bankette), weitkurviger Verlauf	L1
		Landstraße, nach älteren Richtlinien erbaut oder Landstraße zweiter Ordnung, Nebenstrecken: schmale, runde Fahrbahn, Fahrbahnmarkierung teilweise oder ganz fehlend, engkurviger Verlauf	L2
	Innerorts	alle Straßen mit 2 (oder mehr) Fahrbahnen, Fahrbahnen durch Grünstreifen o.ä. getrennt (außer BAB): innerstädtischer Ring u.ä. Straßen	C1
		eine Fahrbahn, breit, mindestens in 4 Spuren befahrbar	C2
		wie C2, mit eingelassenen Schienen, z.B. für Straßenbahnen	C3
		eine Fahrbahn, 2-3-spurig befahrbar	C4
		wie C4, mit eingelassenen Schienen, z.B. für Straßenbahnen	C5
		schmale oder durch Beparken verengte Fahrbahn, enge Ortsdurchfahrten	C6
		alle Einbahnstraßen	C7
Trassenverlauf	Horizontal	ohne Kurve	H0
		mit Kurve	H1
	Vertikal	ebener Verlauf	V0
		Steigung/Gefälle	V1
	Knotenpunkte	ohne Kreuzung	K0
		ampelgeregelte Kreuzung	K1
		Kreuzung, Regelung Rechts-vor-Links	K2
		Kreuzung, Regelung durch Beschilderung; Fahrer vorfahrtberechtigt (auch Ein-/Ausfahrten auf BAB aus der Sicht des Fahrers, der sich auf der Autobahn befindet)	K3
wie K3, aus der Sicht des Wartepflichtigen	K4		
Verkehrsablauf	Engstellen	ohne Engstellen oder Hindernis	E0
		mit Engstellen, Hindernissen, Fahrbahnverengungen, engen Tunnels, schmalen Brücken o.ä.	E1
	Fahrtrichtung	ohne Fahrtrichtungsänderung	F0
		Rechtsabbiegen	F1
		Linksabbiegen	F2
	Überholen	ohne Überholen	Ü0
Überholen		Ü1	
Andere Verkehrs- teilnehmer	Fahrzeuge	keine entgegenkommend	FE0
		entgegenkommend	FE1
		keine vorausfahrend	FV0
		vorausfahrend	FV1
		weit vorausfahrend	FV2
	Fußgänger	ohne	FG0
		mit	FG1
zulässige Geschwindigkeit		Richtgeschwindigkeit	T0
		wechselnd	T1
		konstant	T2

4.3 Fahraufgaben

Dieser Abschnitt beinhaltet Überlegungen zur Problematik, welche einzelnen Fahraufgaben zu analysieren sind. Dabei werden verschiedene Ansätze und schließlich die gewählte Unterteilung einzelner Fahraufgaben vorgestellt, welche sich an einem mentalen Entscheidungsmodell zur Bahnführungsebene orientiert.

Bei einer regelungstechnischen Betrachtungsweise des Fahrerverhaltens erkennt man, dass es sich bei der Bahnführungsaufgabe um eine antizipatorische Steuerung handelt. Man spricht hier von einer Steuerung, da der Fahrer seine Handlungen auf Basis der zu erwartenden externen Größen (Kurvenverlauf etc.) vorausplanen muss und nicht sofort eine Rückmeldung über das Ergebnis erhält. Auf der Ebene der Stabilisierung handelt es sich um eine kompensatorische Regelung. Man spricht deshalb von einer Regelung, da unmittelbar ein Abgleich von Führungs- und Nachführgröße hergestellt werden kann. Ähnliches findet man bei Donges (1975b) bei der Erstellung eines Modells zum Lenkverhalten. Die Regelung der Längsdynamik entspricht entweder einem Geschwindigkeitssystem mit so genannter Beschleunigungssteuerung (z.B. das Halten eines konstanten Abstandes zum Vordermann oder das Anhalten bei einer bestimmten Position) oder einem Positionssystem mit Geschwindigkeitssteuerung. Letzteres ist z.B. der Fall, wenn eine bestimmte Geschwindigkeit eingehalten werden soll. Die Querdynamik ist eine Kompensationsaufgabe bei der das Regeln der Querabweichung einer Beschleunigungssteuerung und das Regeln des Gierwinkels einer Geschwindigkeitssteuerung entspricht. Auf die regelungstechnischen Begriffe der Steuerungs- und Systemarten (z.B. in Bubb, 1993a) soll im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen werden.

Autofahren beinhaltet aber mehr als die regelungstechnisch beschreibbare Aufgabe, innerhalb einer definierten Fahrspur zu fahren oder den richtigen Abstand zum Vordermann halten. Eine Vielzahl von flexiblen und schnellen Handlungsstrategien, die z.T. exakt aufeinander abgestimmt werden müssen, charakterisieren die Fahraufgabe. Diese Handlungen lassen sich in drei hierarchischen Metaebenen einteilen:

Die höchste und wichtigste Ebene umfasst die so genannten primären Fahraufgaben. Darunter sind diejenigen Aufgaben zu verstehen, die das sichere Bewegen des Fahrzeuges im Verkehrssystem ermöglichen.

Sekundäre Aufgaben umfassen Tätigkeiten, die die primäre Fahraufgabe unterstützen oder erst ermöglichen. Hierbei sind die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern und Maßnahmen zur Sichtverbreiterung, z.B. das Einschalten des Scheibenwischers oder des Blinkers zu zählen.

Tertiäre Aufgaben bedienen das Informations-, Sozial- und Komfortbedürfnis des Menschen beim Autofahren. Sie sind aber für die Fahraufgabe gemäß ihrer Hierarchiestufe eher unwichtig. Einige Zusatzgeräte unterstützen jedoch im Sinne eines positiv einwirkenden Performance Shaping Factors (PSF) die Fahraufgabe in dem Sinne, dass die Umweltbedingungen für den Fahrer optimiert werden. Manche Hersteller weisen in diesem Zusammenhang z.B. gerne auf den Sicherheitsaspekt einer Klimaanlage im Fahrzeug hin, da aufgrund der besseren Klimasituation der Fahrer entspannter und weniger unfallträchtig fährt.

Wir wollen uns im Folgenden auf die primäre Fahraufgabe konzentrieren. Diese lässt sich, unabhängig vom jeweiligen Fahrzeug und dessen spezifischen Eigenschaften hinsichtlich der Fahrzeugbedienung klassisch in drei Hierarchieebenen einteilen (Bernotat, 1970, Donges, 1978). Die erste Ebene entspricht der Navigationsebene. Hierunter sind diejenigen Aufgaben zu subsumieren, die zur groben Planung der

Fahrstrecke gezählt werden können. Dazu gehört die Benutzung von Landkarten, respektive von Navigationssystemen im Fahrzeug, von Wegweisern u.ä. Die nächste Ebene, die Bahnführungsebene, beinhaltet Aufgaben zur Auswahl eines geeigneten Kurses für den unmittelbar vorausliegenden Streckenabschnitt unter Berücksichtigung aller Umweltbedingungen. Dies kann auf der Autobahn die Wahl des am geeignetsten erscheinenden Fahrstreifens oder im Stadtverkehr das Umfahren eines auf der Straße geparkten Fahrzeugs sein. Die weite Vorausschau und die Antizipation des Fahrers spielt hier eine große Rolle, da nur so die nächsten Handlungsschritte geplant werden können. Es muss u.a. sowohl der weitere Streckenverlauf bzw. die Sollkurve auf der Fahrbahn antizipiert als auch das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer adäquat abgeschätzt werden. Ebenso muss die situationsabhängige Geschwindigkeit gewählt werden. Die dritte Ebene wird als Stabilisierungsebene bezeichnet. Die Stabilisierung beschränkt sich auf die Spurhaltung, so dass innerhalb der eigenen Fahrspur gefahren wird und auf das Einhalten von Abständen zu vorausfahrenden Fahrzeugen (s. Abbildung 4.1).

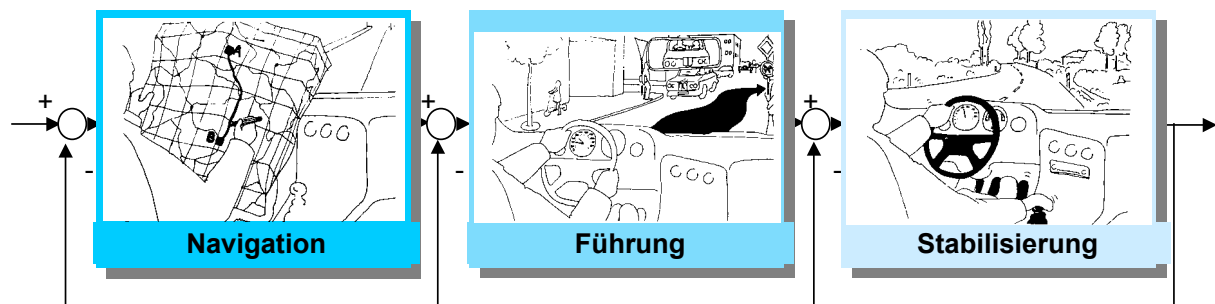


Abbildung 4.1: Die drei Ebenen von Fahraufgaben (aus Bubb, 2001)

In der zuvor genannten Reihenfolge der Fahraufgabenebenen erkennt man zudem den steigenden Zeitdruck bzgl. einer vom Fahrer abverlangten Handlung. Auf der Navigationsebene ist eine zeitliche Verzögerung der Handlung nicht so sicherheitskritisch wie auf der Stabilisierungsebene. Bei letzterer sind Reaktionen des Fahrers in kurzen Zeitabständen zum sicheren Führen des Fahrzeuges unabdingbar. Eine falsch ausgewählte Fahrroute ist für den Betreffenden zwar ärgerlich, da er vielleicht einen längeren Umweg in Kauf nehmen muss, i.A. aber unkritisch. Der Fahrer benötigt für alle angesprochenen Ebenen von Aufgaben Informationen zum Ist- und Sollzustand der einzelnen Größen. Diese Informationen erhält er überwiegend mit Hilfe des visuellen Sinneskanals aus der Sicht aus dem Fahrzeug und der Schätzung der relevanten Größen (z.B. Abstand zum Fahrbahnrand) und nur z.T. unmittelbar aus technischen Anzeigen innerhalb des Fahrzeuges (z.B. Tachometer).

Das vorausschauende Fahren erfordert einen abgeschlossenen Lernprozess, den der junge Fahrer im wahrsten Sinne des Wortes erst erfahren haben muss. Erfahrene Fahrer haben zumeist einen Instinkt für das Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer entwickelt. Erst wenn der Fahrer genügend Erfahrung besitzt, d.h. entsprechend viele Situationen erlebt hat, kann er schnell und präzise darauf reagieren, da er auf entsprechend komplexe innere Modelle zurückgreifen kann. Der Aspekt der inneren Modelle ist bei der systemergonomischen Betrachtung von Mensch-Maschine-Schnittstellen von enormer Bedeutung. Je nachdem, wie geübt eine Tätigkeit ist, spricht man von einem wissens-, regel- oder fertigkeitbasierten Handeln (Rasmussen, 1983). Die höchste kognitive Ebene stellt dabei die Wissensebene dar, die eine enorme Kapazität aber nur eine geringe Verarbeitungsgeschwindigkeit aufweist. Eine Ebene darunter befindet sich die regelbasierte Ebene, bei der Handlungen schneller geplant werden, da bereits einfache

Handlungsregeln im Sinne eines „wenn-dann“ Schemas abgearbeitet werden können. Die hierarchisch gesehen niedrigste kognitive Ebene, die so genannte fertigkeitbasierte Ebene läuft ohne bewusste Aufmerksamkeitszuwendung ab. Damit Entscheidungen auf dieser Ebene automatisiert ablaufen können, müssen Handlungsstrategien lange trainiert werden. Im Gegensatz zu einigen Literaturstellen, die einfache Analogien zwischen den Rasmussen’schen Handlungsebenen und den Ebenen der Fahrzeugführung unterstellen, betrachten Hale et al. (1990) die Zusammenhänge differenzierter (Tabelle 4.2). So ist z.B. leicht einzusehen, dass für den Durchschnittsfahrer das Abbiegen an einer vertrauten Kreuzung die fertigkeitbasierte Ebene beansprucht ist, währenddessen die selbe Situation für einen Fahrschüler eher der wissensbasierten Ebene zuzuordnen ist.

Tabelle 4.2: Zuordnung von Aufgabenebenen und dem Verarbeitungsniveau (in Anlehnung an Hale et al., 1990)

Aufgabe		benötigte Zeit		
		Fertigkeitsbasiert	Regelbasiert	Wissensbasiert
zur Verfügung stehende Zeit	Beobachten und Regeln z.B. Stabilisierung (Sekunden)	um eine Kurve fahren	ein unbekanntes Auto fahren	Fahrschüler in der ersten Fahrstunde
	Programmieren und Handeln z.B. Führung (Sekunden bis Minuten)	Abbiegen an einer vertrauten Kreuzung	Überholen anderer Fahrzeuge	Steuern an einer nassen oder vereisten Fahrbahn
	Planen z.B. Navigation (Minuten bis Stunden)	täglicher Arbeitsweg	Wahl zwischen vertrauten Wegen	Zurechtfinden in einer fremden Stadt

Es stellt sich die Frage, auf welcher Ebene die meisten Fehler in der Fahrzeugführung auftreten. Nach dem Ansatz von Hacker (1986) ist menschliches Fehlverhalten entweder als das Resultat objektiv fehlender Information, der Nichtnutzung vorhandener Information oder der falschen Nutzung vorhandener Information zu betrachten. Ein weiterer Grund kann in der fehlerhaften motorischen Umsetzung einer Handlung liegen. Reichart (2000) untersucht die menschliche Zuverlässigkeit beim Führen eines Kraftfahrzeuges und stellt fest, dass Fehler in der Bahnführungsebene eine zentrale Rolle bei der Entstehung von Verkehrskonflikten spielen. Nach Ungerer (1994) ist das Bewerten und Vorkalkulieren, also das vorausschauende Fahren die sensibelste Variable des Fahrers. Nur wenn der Fahrer vorausschauend fährt, kann er sich darauf einstellen und adäquate Handlungsstrategien auswählen. Gerät der Fahrer unter Zeitdruck, baut sich Stress auf, und er ist gezwungen, schnell zu handeln. Eine erhöhte Wahrscheinlichkeit von Fehlhandlungen ist die Folge (Biegelmann, 2001). Wie eine Analyse des Statistischen Bundesamtes (2002) aufzeigt, sind auf Bahnführungsebene besonders eine unangepasste Geschwindigkeit, ein nicht ausreichender Längsabstand sowie das Nichtbeachten der Vorfahrt häufige Unfallursachen (Abbildung 4.2).

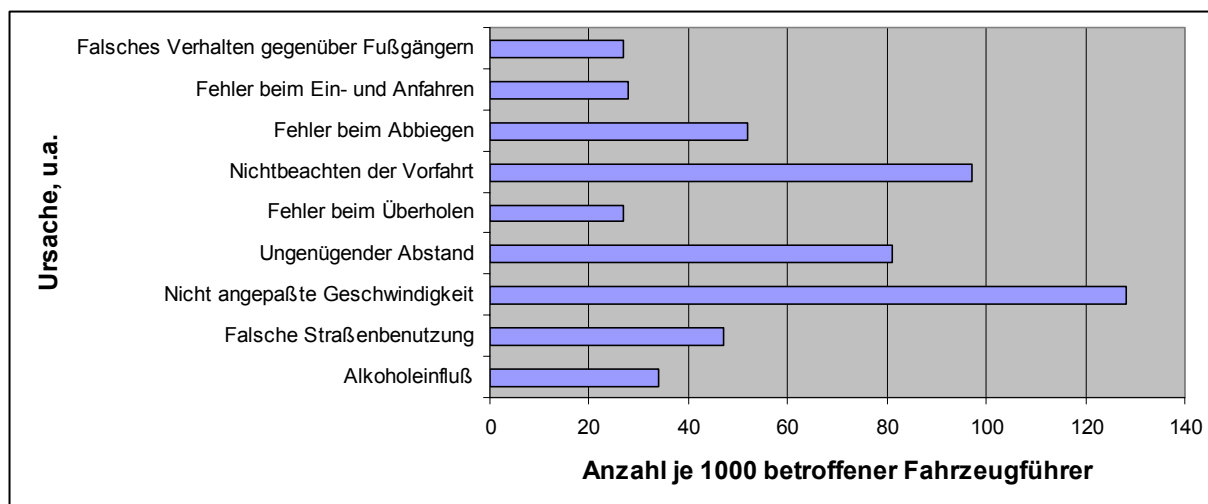


Abbildung 4.2: Fahrfehlerbezogene Unfallursachen im deutschen Straßennetz im Jahr 2001 (Statistisches Bundesamt, 2002)

Auf der Ebene der Stabilisierung erhält der Fahrzeugführer unmittelbar eine Rückmeldung über sein Einwirken auf die Fahrzeugbedienelemente. Dies ermöglicht die sofortige Korrektur innerhalb des Erfahrungsrahmens des Fahrers und ist somit ein Grund dafür, dass Fehler auf dieser Ebene eine relativ geringe Rolle hinsichtlich der Unfallursachen spielen. Befindet sich das Fahrzeug allerdings im dynamischen Grenzbereich, z.B. wenn das Heck des Fahrzeugs ausbricht, stellen Fehler auf der Stabilisierungsebene mitbeteiligte Faktoren im Unfallablauf dar. Die meisten Fahrer besitzen für solchen Situationen keine ausreichende Erfahrung, also keine automatisierten Handlungskonzepte und handeln entweder hinsichtlich des zeitlichen Aspekts falsch oder begehen Ausführungsfehler qualitativer oder quantitativer Art. Ersteres ist z.B. der Fall, wenn die zeitlich verzögernden Eigenschaften des Reglers Mensch bei einem schleudernden Fahrzeug zum Tragen kommt. Fehler qualitativer Art bestehen in diesem Beispiel bei einem nicht angepassten Lenkradwinkel. Das Fahrzeug würde sich beim Loslassen des Lenkrades zwar selbst stabilisieren, doch das Problem, dass sich das Fahrzeug in eine ungewünschte Richtung, z.B. in Richtung des Gegenverkehrs stabilisieren könnte, bleibt.

Darum scheint besonders für unsere Fragestellung die genauere Analyse der Bahnführungsaufgabe und einiger Teilaspekte der Stabilisierung im Vordergrund zu stehen. Jedoch ist es aussichtslos, jede mögliche Situation zu analysieren und ein Sollverhalten dafür aufzustellen. Vielversprechender erscheinen Ansätze, die die Fahraufgabe modular betrachten und bei denen die Fülle der möglichen Situationen durch die Kombination dieser Module entsteht. Einem solchen Ansatz entspricht z.B. auch die Straßenverkehrsordnung, die das Sollverhalten unter einem rechtlichen Gesichtspunkt beschreibt. Ebenso analysieren McKnight et al. (1970) das situationsbezogene, für einzelne Fahraufgaben sehr detaillierte Sollverhalten, wobei im Wesentlichen zwischen „Basic controls“, „General driving“ und „situational behaviors“ unterschieden wird. Außerdem wird die Kritikalität einer Handlung durch ein Expertenrating angegeben. Für die weitere Vorgehensweise wird ein Ansatz von Schemmerer (1993) und Reichart (2000) gewählt, der die Fahraufgabe in Unteraufgaben unterteilt. Die einzelnen Aufgaben beziehen sich zum einen auf Tätigkeiten, die bei jeder Fahraufgabe zu erfüllen sind und zum anderen auf spezielle Tätigkeiten bzw. Situationen. Während z.B. das Folgen der Fahrspur und die Wahl der Geschwindigkeit für jede Fahrsituation erfüllt werden muss, ist ein angepasstes Verhalten an Knotenpunkten oder bei Hindernissen situativ mit dem Erscheinen

dieser Situationen erforderlich. Diese Punkte werden im Folgenden erörtert und können im Detail in Reichart (2000) nachgeschlagen werden.

Ergänzend sei angemerkt, dass neuere und z.T. vielversprechende Modellierungsversuche des Fahrerverhaltens sich auf Methoden der künstlichen Intelligenz stützen (z.B. Jürgensohn, 1997, Grashey, 1999). Im Rahmen dieser Arbeit soll aber nicht weiter daraufhin eingegangen werden, da sie nicht zur analytischen Klärung des Fahrer- und Blickverhaltens beitragen können, sondern je nach Trainingsgrad des neuronalen Netzes das Ist-Verhalten mehr oder weniger gut abbilden.

4.3.1 Fahrspur folgen

Auf der Fahrbahn innerhalb der eigenen Fahrspur zu bleiben und dem Streckenverlauf zu folgen, ist eine elementare Fahraufgabe, die der Regelung der Querdynamik zuzuordnen ist. Es stellt sich die Frage, ob dies ein kontinuierlicher Vorgang ist oder nicht. Das menschliche Regelverhalten besteht aus festgelegten und zufälligen Ereignissen. Die deterministischen, also festgelegten Anteile sind dabei von größerer Bedeutung (Johannsen et al., 1977). Diskontinuierliche Anteile entstehen bei sogenannten Abtastreglern, d.h., dass die Eingangsgrößen nicht dauernd beobachtet werden müssen. Der Mensch als Fahrzeugführer ist weder ein reiner kontinuierlicher Regler noch ein Abtastregler, es sind kontinuierliche und diskontinuierliche Anteile enthalten. Das Lenken ist ein solcher diskontinuierlicher Vorgang. Es ist anzunehmen, dass diese Diskontinuität auch in erheblichem Maße durch die optischen und kinästhetischen Wahrnehmungsschwellen bedingt ist, unterhalb derer nichts bemerkt und in Folge dessen auch nicht gehandelt wird. Wenn man eine Kurve befährt, wird man sich selten immer genau in der Mitte der eigenen Straßenhälfte befinden, es besteht auch keine Notwendigkeit dazu. Man fährt innerhalb eines bestimmten Toleranzbereichs und erst wenn dieser überschritten wird, wird durch eine weitere Lenkbewegung korrigiert. Maße, die die Spurhaltequalität einer Fahrperformanz bestimmen, sind bei Reichart (2000) aufgeführt. Es ergeben sich unterschiedliche Anforderungen, je nachdem ob eine gerade oder eine kurvenreiche Streckenführung vorliegt.

4.3.2 Wahl der Geschwindigkeit

Nachdem das Führen eines Fahrzeuges eine zweidimensionale Aufgabe ist, spielt für die Längsdynamik die Wahl der Geschwindigkeit eine zentrale Rolle. Seitens der Straßenverkehrsordnung gelten zulässige Höchstgeschwindigkeiten in Abhängigkeit davon, auf welchem Straßentyp man sich befindet und ob weitere einschränkende Verkehrszeichen gelten. Ein Fahrer muss die Sicht- und Witterungsbedingungen sowie die eigenen Fähigkeiten miteinbeziehen. Außerdem muss die Geschwindigkeit dem Fahrbahnzustand, der Streckenführung und den Fahrhandlungen (z.B. Abbiegen) angepasst werden. Wichtig für die Akzeptanz von Tempolimits ist die Plausibilität einer Geschwindigkeitsbeschränkung. Je sinnvoller diese Maßnahme dem Fahrer erscheint, desto eher ist er bereit, sich daran zu halten (Schemmerer, 1993). Es muss unterschieden werden, ob man in der Geschwindigkeitswahl innerhalb der gesetzlichen Grenzen freie Wahl hat oder ob die Geschwindigkeit von einem vorausfahrenden Fahrzeug bestimmt wird. Als Unterscheidung zwischen einer freien Fahrt und einer Beeinflussung der Geschwindigkeit durch ein vorausfahrendes Fahrzeug kann ein Grenzabstand d_{grenz} angegeben werden (Gleichung 4.1), der bei Überschreitung von einer vom vorausfahrenden Fahrzeug unbeeinflussten Ge-

schwindigkeitswahl ausgeht (Kopf, 1993, zit. nach Grashey, 1999). Dieser berechnet sich zu

$$d_{\text{grenz}} > 150\text{m} + 5 * v_{\text{Eigen}} \text{ [m]} \quad (4.1)$$

, wobei v_{Eigen} [m/s] der momentan gefahrenen Geschwindigkeit entspricht.

4.3.3 Verhalten bei Hindernissen

Ein Hindernis ist im Rahmen dieser Arbeit als ein fahrendes oder stehendes Objekt definiert, das sich in der eigenen Fahrtrichtung befindet und bei gleichbleibender Geschwindigkeit eine Reaktion des Fahrers erforderlich macht, um nicht mit dem Objekt zu kollidieren oder einen erforderlichen Sicherheitsabstand zu unterschreiten.

Diese Aufgabe kann sich in mehreren Aktionen des Fahrers niederschlagen. So kann er auf Hindernisse entweder mit einer Anpassung der Fahrgeschwindigkeit bzw. des Abstandes oder/und mit einem Spurwechsel (Überholen, Vorbeifahren, Ausweichen,...) darauf reagieren. Die Extrapolation der eigenen Bewegung und vor allen Dingen der Bewegung der anderen Verkehrsteilnehmer ist eine Aufgabe, die insbesondere dem unerfahrenen Fahrer Schwierigkeiten bereitet. Das Schätzen absoluter Abstände und Geschwindigkeiten ist für den Menschen ebenso relativ schwer. Aus diesem Grund kann das Anbieten zusätzlicher Informationen zum Sicherheitsabstand, z.B. via Head-Up-Display (Bubb, 1976, Assmann, 1985) oder die Verwendung automatischer Abstandshaltesysteme („ACC“ oder „Distrionic“, Weinberger, 2001) eine ergonomisch sinnvolle Hilfe sein. Relativgeschwindigkeiten und Abstandsänderungen werden besser abgeschätzt (Reichart, 2000). Als Sicherheitsmaß wird oft die so genannte Time to collision (TTC) herangezogen, die die Zeit bis zur Kollision bei der momentan gewählten Geschwindigkeit angibt. Nach van der Horst (1991) wird die Entscheidung, ab wann spätestens als Reaktion auf ein Hindernis gebremst wird, ebenso wie die Kontrolle während des Bremsvorganges von der TTC bestimmt. Diese wird aus dem optischen Fluss abgeleitet. Je höher die Anfangsgeschwindigkeit bei Beginn des Bremsvorganges ist, desto höhere TTC werden festgestellt, d.h. die Versuchspersonen gehen ein geringeres Risiko ein. Die Verlustzeit, bis die Situation richtig eingeschätzt und eine Bremsung eingeleitet wird, beträgt nach Reichart (2000) ca. 1,8s. Der zurückgelegte Bremsweg x_B [m] errechnet sich nach Gleichung 4.2 zu

$$x_B = \frac{v_0^2}{2\mu g} \quad (4.2)$$

, wobei v_0 [m/s] die Geschwindigkeit und μ den Reibungskoeffizienten darstellt. Dieser kann, grob abgeschätzt, Werte zwischen 0,9 bei trockener Straße und ca. 0,2 bei Glätte annehmen (Reichart, 2000). g entspricht der Erdbeschleunigung mit $9,81 \text{ m/s}^2$.

Der Anhalteweg ergibt sich aus der Summe des Brems- und des Reaktionswegs. Dieser ist der mit konstanter Geschwindigkeit v_0 zurückgelegte Weg, der innerhalb der Reaktionszeit von 0,2-1,8 s zurückgelegt wird.

Eine mögliche Aktion beim Auftreten eines Hindernisses ist, falls es sich um einen vorausfahrenden Verkehrsteilnehmer handelt, das Folgen. Außerdem kann ein Spurwechsel erfolgen oder der Fahrer zum Überholen ansetzen.

Beim Folgen soll ein ausreichender Abstand zum unmittelbar vorausfahrenden Fahrzeug eingehalten werden. Der absolut sichere Abstand ist derjenige, der ausreicht, wenn das vorausfahrende Fahrzeug plötzlich stehen bleibt, z.B. beim Aufprall auf ein

stehendes Hindernis, was aber äußerst unwahrscheinlich ist. Der relativ sichere Abstand verhindert das Auffahren gerade noch, wenn das vorausfahrende Fahrzeug eine Vollbremsung ausführt (Nöcker, 1990). Wie kann der richtige Abstand abgeschätzt werden? Nach der in der Fahrschul Ausbildung gelehrteten Regel, soll innerhalb geschlossener Ortschaften ein Abstand von 1 Sekunde und außerhalb von 2 Sekunden eingehalten werden. Letzteres entspricht ungefähr der bekannten „Halber-Tacho“-Regel.

Die richtigen Abstände werden jedoch selten eingehalten. Taieb-Maimon et al. (2001) zeigen im Feldversuch, dass der gerade noch akzeptierte minimale Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug zwar individuell stark unterschiedlich aber intraindividuell zeitlich konstant gewählt wird, unabhängig von der gefahrenen Geschwindigkeit. Das Schätzen des absoluten zeitlichen Abstandes fällt den Fahrern am schwersten. Leichter fällt offensichtlich das Schätzen in Metern oder in Fahrzeuglängen.

Ein Spurwechsel, als weitere Reaktion auf ein Hindernis, bezeichnet das Verlassen der momentan befahrenen Fahrspur des Fahrzeugs im Längsverkehr, wobei auf eine Fahrspur gleicher Fahrtrichtung gewechselt wird. Vier Entscheidungsprozesse sind nach Fastenmeier et al. (2001) maßgebend: Zuerst muss entschieden werden, ob überhaupt ein Spurwechselmanöver durchgeführt werden soll. Der nächste Schritt befasst sich mit der Vorbereitung des Manövers. Die dritte Ebene beinhaltet die Durchführung und den Abschluss des Spurwechsels. Die Spurwechseldauern von 1,7s bis 4,9s (Mittelwert 2,5s) sind nahezu geschwindigkeitsunabhängig. Zeitlücken unter 0,6s oder unter 1,2s (wenn zugleich ein TTC-Wert von unter 3s vorliegt) werden als kritische Zeitlücken kategorisiert. Diese traten mit einer Wahrscheinlichkeit von 20% bei 1095 untersuchten Spurwechsel auf. Wie die zu Grunde liegenden Versuche zeigen, ist die Festlegung dieser Schwellwerte alleine nicht ausreichend, um kritische Zeitlücken zu bestimmen, sondern die Komplexität sowie die Gefährlichkeit muss mitberücksichtigt werden.

Besonders bei engeren Lücken ist man auf die Kooperation der anderen Verkehrsteilnehmer angewiesen, damit ein Einscheren möglich ist. Das Verhalten der anderen Teilnehmer muss abgeschätzt werden, wobei die Zeitdauern dabei bei ca. 1-2s liegen (Ehmanns, 2001). Die Bereitschaft der anderen Fahrer eine Lücke zu vergrößern ist beim Nichtanzeigen der Fahrtrichtung („Blinkmuffel“) deutlich geringer.

Der Unterschied zwischen Überholen und Spurwechsel besteht darin, dass bei Ersterem kurzzeitig die Fahrbahn für die andere Fahrtrichtung befahren wird und dann wieder auf die eigene Fahrspur gewechselt wird. Es ergibt sich somit eine zusätzliche Aufgabe, die darin besteht, die Fahrspur der anderen Fahrtrichtung zu beobachten, um Kollisionen mit dem Gegenverkehr zu vermeiden. Hierbei ist zu beachten, dass zwischen stehenden und fahrenden zu überholenden Objekten unterschieden werden muss. Die Aufgabe gestaltet sich natürlich für fahrende Objekte schwieriger, da zusätzlich zur Geschwindigkeit und Entfernung des entgegenkommenden Verkehrs die Geschwindigkeit des zu überholenden Fahrzeugs berücksichtigt werden muss. Hinzu kommt die Schwierigkeit, den eigenen benötigten Überholweg einzuschätzen. Der Fahrer muss sich vergewissern, dass er während des Überholvorgangs niemanden gefährdet oder behindert, was z.B. beim Überholen auf Höhe von Knotenpunkten der Fall wäre, da querende Fahrzeuge in den Fahrbereich gelangen könnten. Ansonsten gelten die zur Fahraufgabe „Spurwechsel“ gemachten Aussagen.

Wie mehrmals erwähnt wurde, ist auf der Ebene der Bahnführung der Aspekt der Antizipation besonders wichtig. Der Fahrer muss in der Lage sein, aufgenommene Informationen über räumlich voraus liegende Objekte wie über vorausfahrende Fahrzeuge oder den weiteren Fahrbahnverlauf kognitiv zu verarbeiten und seine zukünftige Verhaltensweise daraufhin auszurichten. Abbildung 4.3 und Abbildung 4.4 illustrieren zusammenfassend die in den Punkten 4.3.1 bis 4.3.3 näher erläuterten Teilaspekte der Bahnführungsaufgabe.

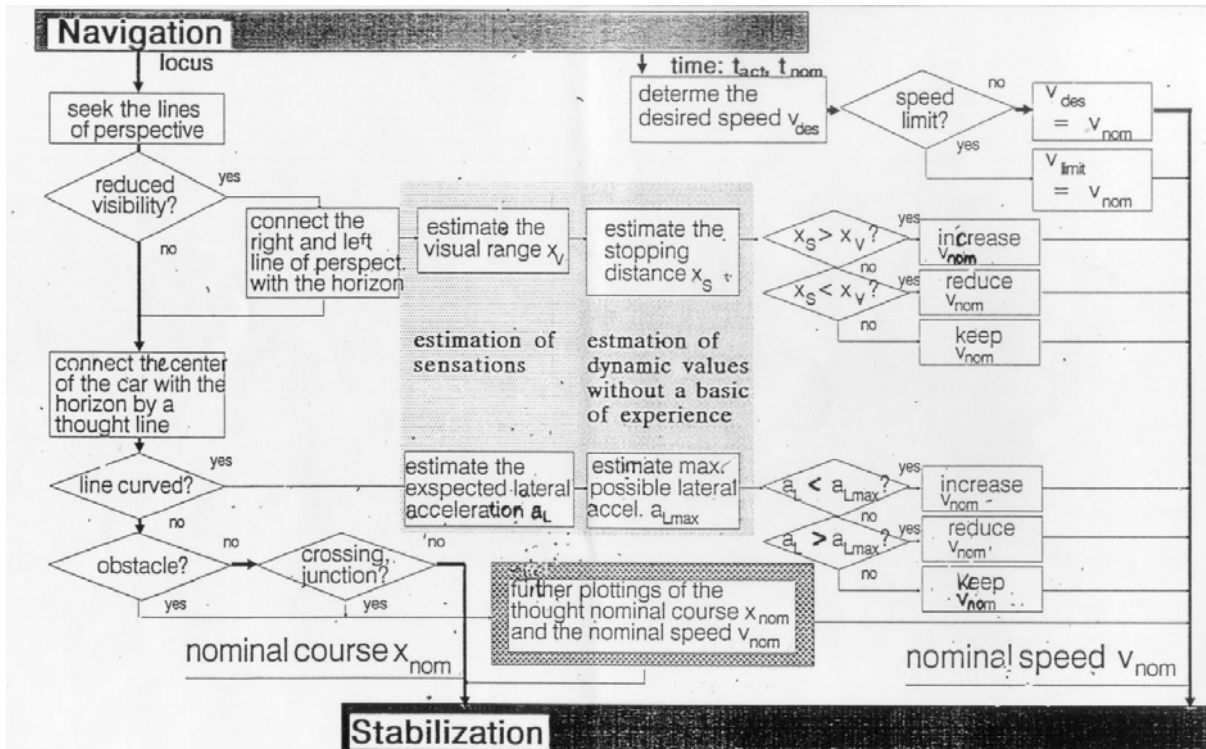


Abbildung 4.3: Einfaches Fahrermodell für die Bahnführungsebene (Bubb, 1993d)

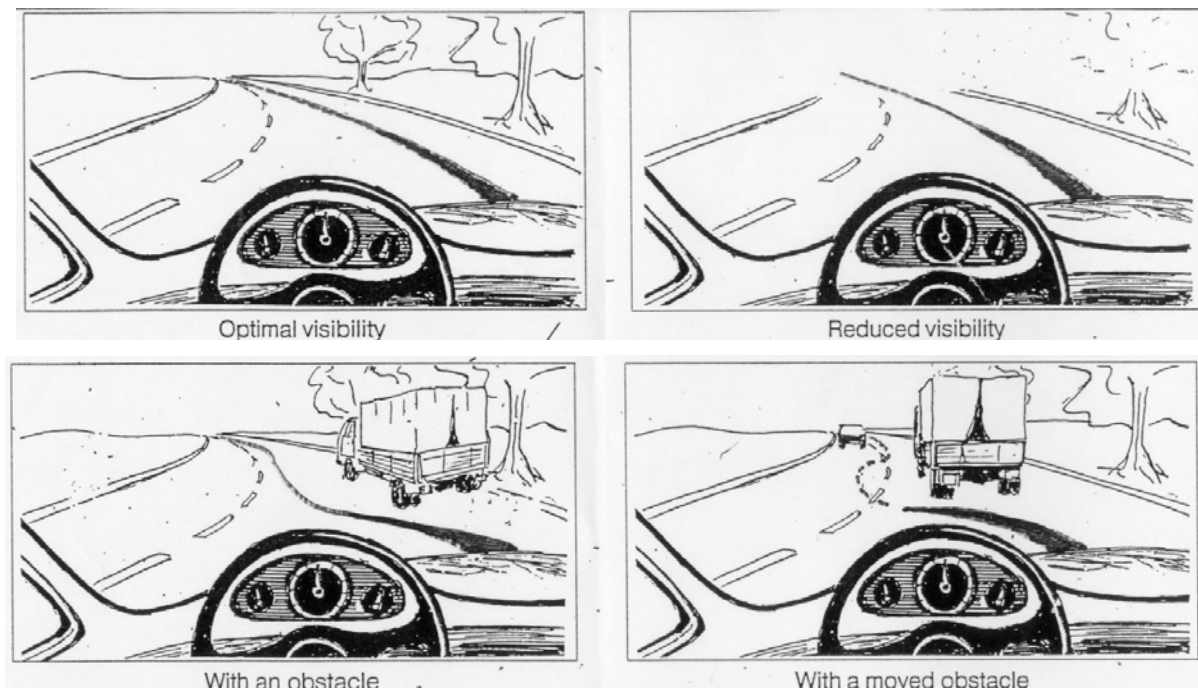


Abbildung 4.4: Illustration zur Bestimmung der Bahnführungsgröße unter verschiedenen Bedingungen (Bubb, 1993d)

4.3.4 Verhalten an Knotenpunkten

Ein elementarer Unterschied besteht darin, ob man an einem Knotenpunkt Vorfahrt besitzt oder nicht. Verlässt man die momentan befahrene Straße, so spricht man im Vorfahrtsfall vom Abbiegen, ansonsten vom Einbiegen. Wird nicht ab- oder eingebogen spricht man vom Kreuzen. Die Vorfahrt ist, im Falle keiner expliziten Beschilderung oder Lichtanlage i.d.R. durch Rechts-vor-links geregelt. Wechselnde Vorfahrtsverhältnisse bestehen bei Ampelanlagen oder bei der Regelung durch einen Polizeibeamten. Schließlich kann die Vorfahrt dauerhaft durch Verkehrszeichen geregelt sein.

Untersuchungen von Pflieger et al. (1994) zeigen, dass beim Einbiegen Geschwindigkeitsfehlschätzungen eher die linke als die rechte Seite betreffen. Außerdem werden hohe Annäherungsgeschwindigkeiten meist unterschätzt, kleine und große Distanzen werden überschätzt. Das Problem liegt einerseits grundsätzlich, wie im Falle des Überholens, in der Schwierigkeit, Entfernungen und Geschwindigkeiten der anderen Fahrzeuge richtig einzuschätzen. Andererseits muss abgeschätzt werden, ob für die Durchführung des eigenen Fahrmanövers eine ausreichend große Zeitlücke vorhanden ist. Dass auf der linken Seite eher Fehlschätzungen auftreten wird dadurch erklärt, dass auf dieser Seite ein spitzerer Winkel zum Querverkehr auftritt, so dass das Herannahen nur durch ein Größerwerden des sich annähernden Objekts wahrgenommen werden kann und nicht durch eine laterale Positionsveränderung, was einfacher festzustellen wäre.

5 Visuelle Aufgaben

In diesem Abschnitt wird erörtert, welche visuelle Informationen zum Fahren benötigt werden. Auf Grundlage dessen wird, soweit möglich, ein Soll-Blickverhalten in Form so genannter visuellen Aufgaben auf der Ebene der Fahrsituation (s.a. Abschnitt 4.2) postuliert. Doch was versteht man eigentlich unter dem Informationsbegriff? Im systemergonomischen Verständnis ist die Information bzw. der Informationsgehalt einer Nachricht gleichbedeutend mit der Abweichung von der natürlichen Verteilung der Materie bzw. der Energie, die als physikalischer Träger der Information dient. Der Informationsgehalt ist umso größer, je unwahrscheinlicher ein Zustand ist (Bubb, 1993c). Eine pragmatische Definition findet man in Cohen (1985), der den Begriff der visuellen Information als eine neue, bisher nicht wahrgenommene oder bereits vergessene Kenntnis über die Umwelt beschreibt. Eine objektive Quantifizierung des Informationsbegriffes für unsere Zwecke ist allerdings nicht möglich.

Grundsätzlich muss zwischen gesteuerten (willkürlichen) und getriggerten (unwillkürlichen) Blickbewegungen unterschieden werden. Willkürliche Blickbewegungen sind das Ergebnis von Top-Down-Prozessen, bei denen das nächste Fixationsziel willentlich festgelegt wird. Es ist unwahrscheinlich, dass mehrere folgende Fixationen bereits festgelegt sind. Als Beispiel für willkürliche Blickbewegungen sei eine Rechts-vor-links Situation angeführt: Der Fahrer blickt willkürlich, sofern er sich der genannten Fahrsituation bewusst ist, in die von rechts einmündende Straße, um sich zu vergewissern, dass ein potenziell aus dieser Richtung kommendes Fahrzeug nicht gefährdet oder behindert wird. Unwillkürliche Blickbewegungen, welche unwesentlich für vorliegende Arbeit sind, hängen mit dem Erscheinen von Schlüsselreizen zusammen. Aufblinkende Symbole im Instrumentenkombi können solche Schlüsselreize sein, die die Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Es ist schwer, solche Blicke willentlich zu unterdrücken (Bottom-Up-Prozess).

Welche Faktoren und Größen beeinflussen das Blickverhalten des Fahrers? Entscheidend ist die Frage nach den Informationsquellen aufgrund deren Basis eine innere Repräsentation der Fahrumwelt gebildet wird. Zum einen kann der Fahrer auf seine Erfahrung zurückgreifen. Unter Erfahrung ist in diesem Zusammenhang nicht die Fahrzeugbeherrschung zu verstehen, sondern die Inhalte des Arbeits- und Langzeitgedächtnis bzgl. der Fahrumwelt. Beispielsweise kennt ein Fahrer bei einer für ihn alltäglichen Fahrstrecke die Vorfahrtsregelung. Er muss nicht mehr nach vorfahrtsregelnden Verkehrsschildern Ausschau halten und auch nicht vermehrt die Umgebung visuell abtasten, um sich zu orientieren. Hier liegt eine große Gefahr, wenn z.B. die Vorfahrtsregelung geändert wird und der Fahrer diese Änderung nicht bemerkt.

Das Kurzzeitgedächtnis stellt ebenfalls eine wesentliche Informationsquelle dar. Wenn z.B. auf der Autobahn die Spur gewechselt wird, muss der Fahrer nicht zwingend einen Kontrollblick über die Schulter und in den Rückspiegel durchführen. Voraussetzung hierfür ist, dass er bereits vor dem Manöver das rückwärtige Geschehen beobachtet hat und ausschließen kann, dass in der bis zu diesem Zeitpunkt vergangenen Zeitspanne kein anderes Fahrzeug die Möglichkeit hatte, in den Einflussbereich des eigenen Fahrzeuges zu gelangen. Es ist mittels der Blickbewegungsmessung nicht quantifizierbar, welche Historie und welche Erfahrungen im Gedächtnis gespeichert sind. Ob das gerade Gesehene noch im Gedächtnis ist, ist ebenfalls nicht zu ermitteln.

Schließlich kann der Fahrer fahrrelevante Information aus der aktuellen Blickfixation gewinnen. Dies ist mit Hilfe der Blickregistrierungsmethode für foveal aufgenommene Information zugänglich.

Ein weiteres, Blickverhalten beeinflussender Faktor beinhaltet externe Umweltbedingungen, wie z.B. das Vorhandensein von Verkehrszeichen, die Straßenführung, andere Verkehrsteilnehmer und ihr Verhalten. Hinzu kommen interne Faktoren, die aus der Handlungsabsicht des Fahrers resultieren. Es ist leicht einzusehen, dass der Fahrer, wenn er überholen will, den rückwärtigen und den Gegenverkehr sowie die Verkehrslage anders beobachten muss als beim Folgen. In Abbildung 5.1 sind die Einflussfaktoren grafisch verdeutlicht.

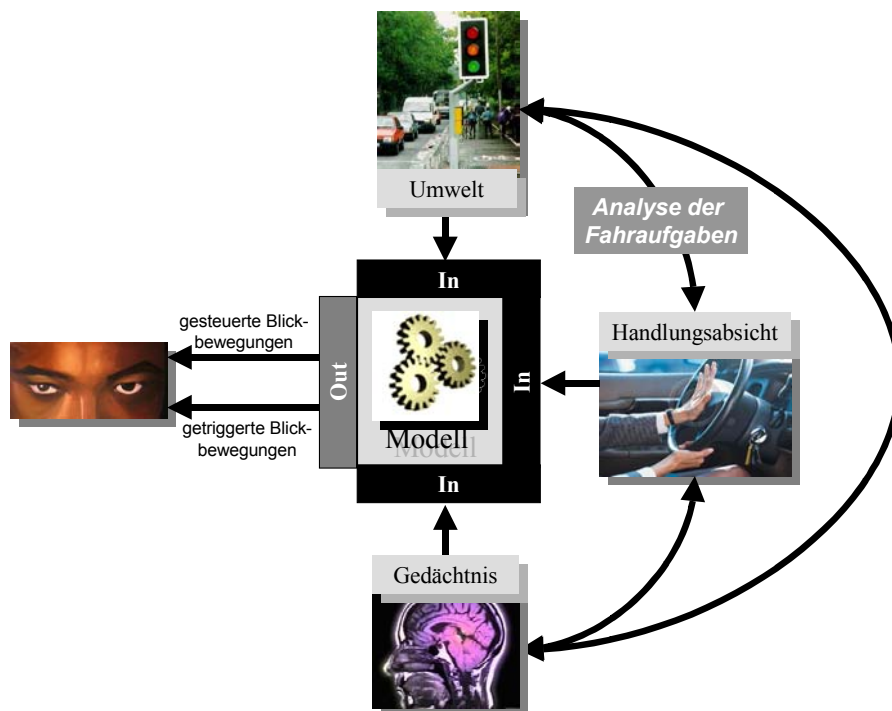


Abbildung 5.1: Einflussfaktoren auf das Blickverhalten

Nachdem sich der Gedächtnisinhalt einer Messung entzieht, können zur Festlegung von visuellen Aufgaben nur Umweltfaktoren und die Fahrhandlungen herangezogen werden. Die Handlungsabsichten des Fahrers, als vorbereitende Voraussetzung der Handlung kann sowohl aus der Fahrsituation als auch aus dem Fahrerverhalten abgeschätzt werden. In den nächsten Abschnitten werden auf Grundlage dieser theoretischen Überlegungen visuelle Aufgaben definiert, die zum sicheren Führen eines Fahrzeuges unerlässlich sind. Dabei werden visuelle Grundaufgaben unterschieden, die im weiteren detailliert analysiert und beschrieben werden.

5.1 Visuelle Grundaufgaben

Folgende visuelle Grundaufgaben können auf Basis der Überlegungen in den vorhergehenden Abschnitten grundsätzlich definiert werden:

1. Kontinuierliche Kontrolle der eigenen Bewegung auf der Fahrbahn

Wenn die Bewegung des eigenen Fahrzeuges auf dem gedachten Sollkurs nicht hinreichend genau abgeschätzt und zeitlich extrapoliert werden kann, muss die Bewegung visuell überwacht werden. Bei erfahrenen Fahrern geschieht dies, wie noch gezeigt wird, in hohem Maße über die periphere Sicht. Sowohl mit sinkender Breite der Fahrbahn bzw. beim Passieren von Hindernissen als auch bei unerfahrenen Fahrern nimmt der foveale Anteil zu.

2. Kontinuierliche Antizipation des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer

Das Vorfeld muss kontinuierlich beobachtet werden, um rechtzeitig Ereignisse, die eigene Reaktionen daraufhin erzwingen würden, erkennen zu können. Dies entspricht dem von Cohen (1976) postulierten explorativen Scanning-Verhalten. Dies ist nur mit Hilfe des fovealen Sehens möglich. Auch nach Rensink et al. (1997, zit. nach McCarley et al., 2002) muss der Fahrer aktiv die Fahrumgebung scannen, Objekte mental verarbeiten („encoding“) und Veränderungen derselben bemerken. Wenn das Verhalten eines anderen Verkehrsteilnehmers, der in den Einflussbereich des eigenen Fahrzeugs gelangen könnte, nicht extrapoliert und hinreichend genau vorhergesagt werden kann, muss dieser beobachtet werden (Processing-Verhalten nach Cohen, 1976). Hierbei überwiegt ebenfalls das foveale Sehen. Ebenso muss der Verkehr hinter dem eigenen Fahrzeug kontinuierlich und nicht nur situativ (s. nächster Punkt) beobachtet werden. Dies ist insofern erforderlich, um sich rechtzeitig eine hinreichend genaue interne Repräsentation vom rückwärtigen Geschehen machen zu können. So kann z.B. das Herannahen eines zwischen Fahrzeugkolonnen überholenden Motorrads gesehen und daraus Schlussfolgerungen für eigene Handlungen (kein starkes Schwanken innerhalb der eigenen Fahrspur) gezogen werden.

3. Situativ erforderliches Blickverhalten

Darüber hinaus existieren Fahrsituationen, die im Gegensatz der zuvor besprochenen Aufgaben eben nicht kontinuierlich während der Fahrt erforderlich sind, sondern ein spezielles, an die jeweilige Situation angepasstes Blickverhalten voraussetzen. Hierbei handelt es sich z.B. um die Antizipation des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer an Knotenpunkten und Hindernissen.

Kontinuierliche Aufgaben umfassen somit die regelmäßige Beobachtung der eigenen Spurhaltung und des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer. Situative Aufgaben zeichnen sich dadurch aus, dass ein engeres Zeitfenster existiert, innerhalb dessen Fixationen, Blicke oder Fixationssequenzen erfolgen müssen. Beide Aufgabentypen ergänzen und durchdringen sich gegenseitig, d.h. dass die Betrachtung einer einzelnen Fixation meist nicht zur eindeutigen Zuordnung genügt.

Es stellt sich die Frage, was unter einer visuellen Aufgabe zu verstehen ist. Wie eingangs erwähnt wurde, besteht das Blickverhalten aus sukzessiven Phasen der Blickausrichtung (in Form von Sakkaden) und darauffolgenden Phasen der Informationsaufnahme. Erfasst man nur die Anzahl und Dauern dieser Phasen, so ist eine Bewertung der Situationsbewältigung, zumindest im Fall der Fahrzeugführung so gut wie unmöglich. Erst die Definition von visuellen Aufgaben, die bei bestimmten Fahrsi-

tuationen erforderlich sind, ermöglichen eine Bewertung des Blickverhaltens. Dazu werden nicht nur Fixationen alleine erfasst, sondern es wird die Bewältigung oder Nichtbewältigung von visuellen Aufgaben überprüft. Folgende Fragen ergeben sich dabei:

Welches fehlerhafte Blickverhalten kann prinzipiell entdeckt werden?

Die für die Fahraufgabe relevante Information kann nicht aufgenommen werden, wenn auf Objekte im eigenen Fahrzeug (interne Abwendung) oder auf fahraufgabenunrelevante Objekte im Verkehrsraum (externe Abwendungsquelle, z.B. Werbeplakate) geblickt wird. Diese Blicke führen zu einer Verkehrsblindzeit („eyes-off-road time“), in der der Fahrer nicht auf das Verkehrsgeschehen achtet. Er kann diese Blindzeiten meist bewusst hinsichtlich ihres Zeitpunktes und ihrer Dauer bestimmen, so dass bei einem adäquaten Situationsbewusstsein und vertretbaren Abwendungsdauern nicht mit Konflikten oder gar Unfällen zu rechnen ist. Mit zunehmender Abwendungsdauer und –winkel zum relevanten Verkehrsraum steigt jedoch das Informationsdefizit bzgl. der Fahrsituation, so dass die Wahrscheinlichkeit eines Konflikts zunehmen kann.

Weiterhin kann ein nicht angepasstes Situationsbewusstsein entdeckt werden, was an folgendem Beispiel verdeutlicht wird: Der Fahrer erkennt eine Rechts-vor-links Situation nicht, da ein parkendes Fahrzeug die Sicht auf die Einmündung versperrt. Die für diese Situation wichtige Information wird nicht aufgenommen, da statt dem relevanten Objekt, nämlich in die Einmündung, andere Objekte im Verkehrsraum fixiert werden.

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass nur die foveale Ausrichtung und Informationsaufnahme mit den zu Verfügung stehenden Geräten einer Messung zugänglich ist. Die periphere Informationsaufnahme muss unbeachtet bleiben.

Welche Aufgaben müssen kontinuierlich erledigt werden und welche besitzen einen situativen Charakter? Wie oft muss ein Objekt visuell kontrolliert werden?

Es muss geklärt werden, welche Aufgaben eher den kontinuierlichen und welche den situativen Aufgaben zuzurechnen sind. Besonders bei den kontinuierlichen Aufgaben stellt sich die Frage, wie hoch die Wiederholfrequenz derartiger Fixationen sein muss. Diese lässt sich quantitativ nur mit Hilfe von Abschätzungen aus theoretischen Überlegungen oder aus Versuchen ableiten. Ist dies nicht möglich, so lässt sich auf Grundlage des Verhaltens von erfahrenen Fahrern bei bestimmten Verkehrssituationen ein mittleres Normverhalten ableiten, das als Referenz dient.

Aufgaben, die situativ abhängig zu erledigen sind, lassen sich leicht mit dem Auftreten solcher Situationen erfassen und quantifizieren.

Weiterhin existieren Aufgaben, die zwar nur in bestimmten Situationen gefordert werden, aber dennoch hinsichtlich ihrer Häufigkeit nicht quantifizierbar sind.

Bestehen zeitliche Fenster, innerhalb derer die definierte Aufgabe zu erledigen ist und können diese angegeben werden?

Mit Hilfe der Informationen über den Reibbeiwert, der Entfernungen und Geschwindigkeiten Anderer und des eigenen Fahrzeuges sind exakte Aussagen über Zeitfenster möglich, innerhalb derer gehandelt werden muss. Aufgrund des sehr hohen Aufwandes und der z.T. nicht lösbaren technischen Probleme bei der Messdatenerfassung entziehen sich diese Informationen in der Praxis einer Messung. Abhilfe schaffen Schätzungen aufgrund von Expertenratings. Es müssen Abschätzungen vorgenommen werden, um die Zeitangemessenheit einer Handlung zu bewerten.

Wie sind visuelle Aufgaben hinsichtlich ihrer Notwendigkeit für die Fahraufgabe bzw. ihrer Unfallkritikalität zu bewerten?

Aufgrund der unüberschaubaren Anzahl von Einflussfaktoren auf das Verkehrsgeschehen ist es unmöglich, die zu definierenden visuellen Aufgaben bzgl. ihrer Notwendigkeit der Durchführung bzw. die Gefährlichkeit bei Nichtdurchführung zu skalieren. Auf Basis der Arbeiten von Gengenbach (1997) und Schweigert (1998) lassen sich grob vier Bewertungsebenen festlegen (Tabelle 5.1). Essenzielle Aufgaben (Kategorie I) müssen beim Fahren durchgeführt werden, da eine Nichtbeachtung ein sehr hohes Unfallrisiko zur Folge hätte. Die nächste Ebene (Kategorie II) beinhaltet ebenfalls wichtige Aufgaben: Es sind visuelle Aufgaben, die das Fehlverhalten der anderen Verkehrsteilnehmer einkalkulieren und bei Nichterfüllung insofern ein Unfallrisiko bergen, falls sich Andere nicht regelkonform verhalten. Eine weitere Ebene darunter sind Aufgaben angesiedelt, die zusätzlich zu den ersten beiden Ebenen auf ein aufmerksames Verhalten des Fahrers schließen lassen, falls dieser zeitlich und örtlich weit voraus plant (Kategorie III). Die letzte Ebene der Kategorie IV subsumiert Aufgaben, die mit der eigentlichen Fahraufgabe nichts zu tun haben, z.B. Abwendungen in den Fahrzeuginnenraum. In der Praxis ist es äußerst schwierig, die ersten drei Ebenen sauber voneinander zu trennen. Es verbleiben oft Graubereiche.

Tabelle 5.1: Vier Hierarchieebenen zur Einteilung visueller Aufgaben

Ebene	Stufen	Definition	Beispiel
I	Essenzielle Aufgaben	Aufgaben, deren Nichterfüllung ein hohes Unfallrisiko bergen	Sichern an Knotenpunkten durch Beobachten vorfahrtberechtigter Fahrzeuge
II	Wichtige Aufgaben	Aufgaben, die das Fehlverhalten anderer einkalkulieren und bei Nichterfüllung ein Unfallrisiko bergen	Beobachtung eines nicht vorfahrtberechtigten Fahrzeuges
III	Aufgaben, die auf ein aufmerksames Verhalten schließen lassen	Aufgaben, deren Erfüllung auf ein aufmerksames Fahrerverhalten schließen lassen und nicht den Kategorien I oder II angehören	Beobachtung von weit vorausfahrenden Verkehrsteilnehmern
IV	Fahrrelevante Aufgaben	Aufgaben, die nicht zur Erfüllung der Fahraufgabe beitragen, diese evtl. sogar negativ beeinträchtigen	Blick auf ein Werbeplakat

Kann die für die Bewältigung der Fahraufgabe notwendige visuelle Information auch nichtfoveal aufgenommen werden?

Es muss erörtert werden, ob die zur Erfüllung einer bestimmten Fahraufgabe oder einer Teilaufgabe benötigten Information ausschließlich über den direkt messbaren visuellen Sinneskanal foveal aufgenommen wird, oder ob sie auch anders aufgenommen werden kann. Damit ist z.B. gemeint, ob das zu beobachtende Ereignis auch peripher zu erfassen ist oder ob z.B. die benötigte Information noch im Arbeitsgedächtnis gespeichert ist, was eine erneute Fixation unnötig macht.

Unbestritten dominiert das foveale Sehen für bestimmte Tätigkeiten, z.B. dem Lesen. Hier wird Detailinformation aufgenommen, deren Wahrnehmung mittels des peripheren Sehens unmöglich ist. Verfechter der Hypothese, dass verkehrsrelevante Information primär über den fovealen Bereich der Netzhaut aufgenommen wird, behaupten, dass die Fixationsstelle den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit widerspiegelt. Da mit zunehmender Exzentrizität eines Reizes von der zentralen Sehachse die Latenzzeit von der Wahrnehmung des Reizes bis zur folgenden Reaktion steigt, wäre es unlogisch, wenn sich der Fahrer auf eine periphere und somit verzögerte und undetaillierte Informationsaufnahme verlassen würde. Es existieren Fahrversuche, die eine Verschlechterung der Fahrleistung mit zunehmender Exzentrizität des Blickortes von der 0° Sichtlinie belegen. Untersuchungen von Summala et al. (1996) belegen eine Abnahme der Spurhaltequalität. Eine Verschlechterung der Detektionsleistung, wenn ein vorausfahrendes Fahrzeug plötzlich abbremst, wird bei Lamballe et al. (1999) festgestellt.

Gegner der Dominanz des fovealen Sehens behaupten, dass der Fahrer nur selten auf detaillierte Information angewiesen sei, und deswegen Fixationsstellen beliebig austauschbar sind. Die visuelle Information werde primär durch das periphere Sehen aufgenommen. Es ist also zu klären, welche visuelle Aufgaben ausschließlich foveal zu bewältigen sind:

Wood et al. (1999) zeigen, dass die Sehschärfe und somit das foveale Sehen auf bestimmte Fahrleistungsdaten, wie das Abschätzen von Lückengrößen („gap perception“) und der Fehlerfreiheit beim Befahren eines Slalomkurses („manoeuvring errors“) nur einen geringen Einfluss hat. Die Sehschärfe ist allerdings von großer Bedeutung bei der Erkennung von Verkehrszeichen und bei der Erkennung und Vermeidung von Hindernissen. Nilsson et al. (1999) zeigen, dass mit Hilfe des peripheren Sehens sich bewegende Objekte, in Ihrem Fall Licht an einer LED-Kette, zuverlässiger und schneller erkannt werden können als statische Symbole (hier: LEDs in Form eines T). Dennoch gibt es bis heute keine Arbeiten die einen gesicherten Zusammenhang zwischen der Fahrsicherheit und visuellen, physiologischen Parametern z.B. der Sehschärfe festgestellt haben (Coeckelbergh et al., 1999). Ein Grund liegt wohl darin, dass die von eingeschränkten Sichtbedingungen betroffenen Personen ihr Fahrverhalten teilweise kompensieren können, indem sie Situationen, bei denen ihr Handicap auftritt, meiden. Zusammenfassend ist in Tabelle 5.2 dargestellt, inwieweit für bestimmte Fahraufgaben mehr visuelles oder peripheres Sehen erforderlich ist.

Die Information zum Führen eines Fahrzeuges muss nicht zwingend aus der aktuellen Fixation oder peripheren Sicht erfolgen. Nach Ungerer (1994) können im Arbeitsspeicher maximal etwa 15 Verkehrsobjekte über einen Zeitbereich von 5 Sekunden gegenwärtig gehalten werden. Eine Kapazität von 5 Objekten über einen Zeitraum von 2 Sekunden sei nicht selten. Ähnliches ist bei Schleidt (1992) zu finden: Menschen gliedern ihre Aktionen in kurze Einheiten von ungefähr 3 Sekunden Dau-

er, was für verschiedene Tätigkeiten gilt. Besteht eine Aktion aus einer einzigen Bewegung, ist diese Dauer signifikant kürzer als bei rhythmisch wiederholten Tätigkeiten. Es wird ein Zusammenhang mit der Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses vermutet.

Tabelle 5.2: Visuelle Aufgaben bei verschiedenen Fahrsituationen (aus Seifert, et al., 2001, nach Miura, 1986)

Fahrsituation und –manöver	Visuelle Aufgabe								
	Weite Vorausschau	Überwachen der Spurhaltung	Überwachen vorausfahrender Fahrzeuge	Überwachen von Fahrzeugen auf gleicher Höhe	Beobachten des rückwärtigen Verkehrs durch Spiegel	Beobachten des ruhenden Verkehrs	Beobachten des Verkehrs vor vorausfahrenden Fahrzeugen	Setzen des Einlenkpunktes	Beobachten der Begrenzungen einer engen Straße
Geradausfahrt	F	p p							
Vorbeifahrt an parkenden Fahrzeugen	F	p p				F			
Einfahrt in eine engere Straße	F	pFp					F	F	pFp
Überholen	F	pFp	F	pFp	F		F		

F = foveales Sehen; p p = peripheres Sehen; pFp = foveales / peripheres Sehen

Kann das Soll-Blickverhalten mit Hilfe der Anzahl von Fixationen oder Blicken ermittelt werden?

Es stellt sich die Frage, für welche visuellen Aufgaben es Sinn macht, einzelne Fixationen für die Bewertung heranzuziehen: Beim Passieren einer Engstelle z.B. ist eine Quantifizierung im Sinne einer Mindestanzahl von Fixationen sinnlos. Wichtig ist nur, dass die Stellen, an denen es zum Kontakt kommen könnte fixiert werden. Wie lange, wie oft und welches Objekt konkret zu welchem Zeitpunkt fixiert werden muss, kann nicht angegeben werden. Andererseits ist es richtig, einzelne Blicke z.B. auf Verkehrszeichen zu zählen, da davon ausgegangen werden kann, dass die Anzahl der Blicke, oder besser gesagt die Anzahl der angeblickten Verkehrszeichen mit der visuellen Aufmerksamkeit korreliert.

5.2 Kontinuierliche visuelle Aufgaben

5.2.1 Fahrspur folgen

Das Folgen der Fahrspur ist eine der wichtigsten Fahraufgaben. Dieser Abschnitt klärt, welche visuellen Informationen für die Erfüllung dieser Aufgabe nötig ist. Dazu wird zum einen der zeitliche Aspekt geklärt und zum anderen wird erörtert, wo die Information räumlich-geometrisch zu finden ist.

Der Fahrer soll keinen „starrten Blick“ nach vorne entwickeln, sondern im Verkehrsraum umherblicken, da sonst eine Ermüdung der Augenmuskulatur droht. Nach McKnight et al. (1970) soll deshalb mindestens alle zwei Sekunden der Blickort gewechselt werden. Im Hinblick auf die Bewertung von Zusatzaufgaben im Fahrzeug sind Angaben zu maximalen Blickabwendungszeiten („eyes off-road time“), bei denen nicht auf das Verkehrsgeschehen geblickt wird, besonders wichtig. Um eine Abschätzung zu erhalten, wie lange der Fahrer den Blick von der Straße nehmen kann, soll folgendes theoretisches Modell herangezogen werden: Wir gehen von dem Fall aus, dass der Fahrer im Moment der Blickabwendung das Fahrzeug in der Mitte seiner Fahrspur positioniert hat und der Gierwinkel der Ausrichtung der Fahrbahn entspricht. Während der Abwendung bleibt die Querbeschleunigung des Fahrzeuges stets unterhalb der Wahrnehmungsschwelle von $0,08 \text{ m/s}^2$ (Steward, 1971), so dass der Fahrer den Drift aus dem eigenen Fahrspurbereich kinästhetisch nicht wahrnehmen kann. Es stellt sich die Frage, wie lange der Fahrer wegblicken kann, bis eine kritische Querabweichung vorliegt, die nach Reichart (2000) $0,25\text{m}$ vom Fahrbahnrand beträgt (s. Abbildung 5.2).

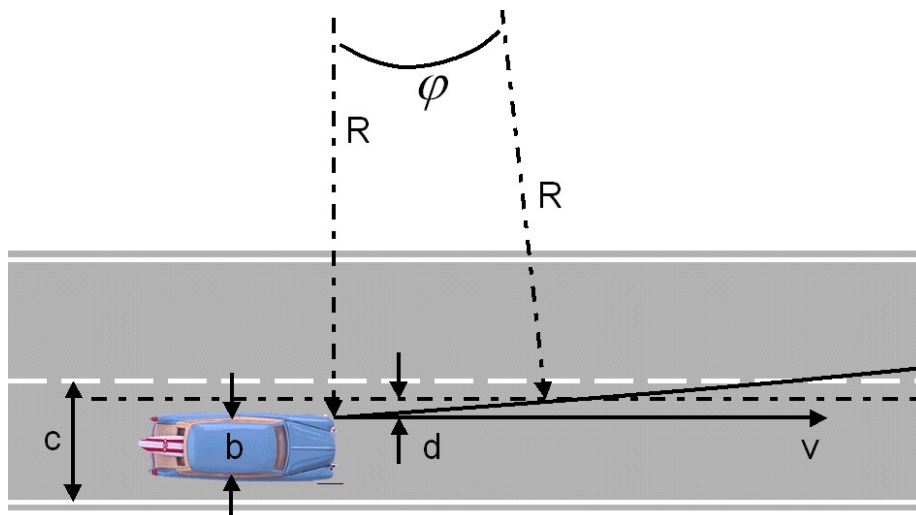


Abbildung 5.2: Position des Fahrzeuges auf der Straße

Im Moment des Verlassens des eigenen Fahrbahnbereiches gilt unter Berücksichtigung dieses kritischen Wertes mit dem Abstand d [m] zum Fahrspurrand:

$$R - R \cdot \cos \varphi \leq d; \quad d = \frac{c-b}{2} - 0,25; \quad \text{Fahrspurbreite } c \text{ [m], Fahrzeugbreite } b \text{ [m]} \quad (5.1)$$

Der kinästhetisch gerade noch nicht wahrnehmbar durchfahrene Radius R [m] kann aus der gefahrenen Geschwindigkeit v [m/s] und der Wahrnehmungsschwelle $a = 0,08\text{m/s}^2$ (Steward, 1971) wie folgt bestimmt werden:

$$R = \frac{v^2}{a} \tag{5.2}$$

Der Winkel φ [°] ergibt sich aus der gesuchten Zeit t [s] bis die Fahrbahn verlassen wird, der Wahrnehmungsschwelle a [m/s²] und der Geschwindigkeit v [m/s]:

$$\varphi = \frac{a \cdot t}{v} \tag{5.3}$$

Eingesetzt in (5.1) und umgeformt erhält man:

$$\cos \frac{a \cdot t}{v} \geq 1 - \frac{d \cdot a}{v^2} \tag{5.4}$$

Entwickelt man die Reihe für den Cosinus-Term nach der Formel

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots \tag{5.5}$$

und berücksichtigt man beim Einsetzen in (5.4) nur die ersten beiden Glieder, so ergibt sich der Bereich für die Abwendungsdauer t zu:

$$0 < t < \sqrt{\frac{2 \cdot d}{a}} \tag{5.6}$$

Wie Gleichung 5.6 zeigt, ist die maximale Abwendungsdauer nur von der Fahrspurbreite, der Fahrzeugbreite und der Wahrnehmungsschwelle, aber nicht von der Geschwindigkeit abhängig. In Abbildung 5.3 sind die Ergebnisse für reale Fahrzeug- und Fahrbahnbreiten zusammengefasst (z.B. 1,60m für VW Polo, 1,80m für BMW 5er; 2,75m Kreisstraße, 3,50m Bundesstraße, 3,75m Bundesautobahn). Dies bedeutet, dass bei geraden Streckenabschnitten, je nach Fahrspur- und Fahrzeugbreite, Verkehrsblindzeiten von ca. 2,5 s, 4 s bzw. 4,5 s auf keinen Fall überschritten werden sollten.

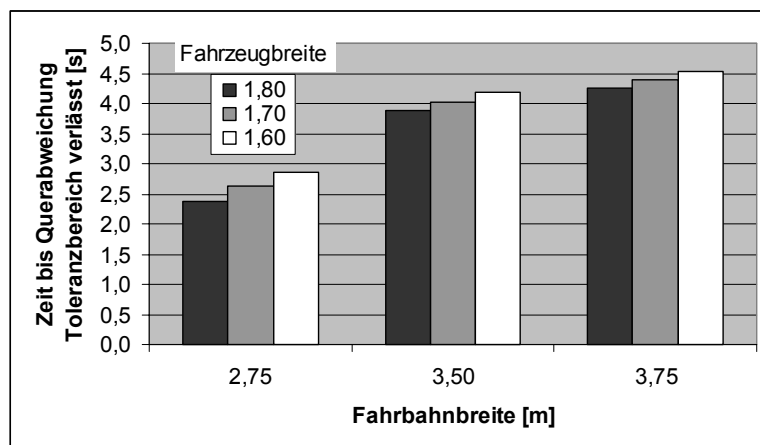


Abbildung 5.3: maximale Abwendungszeiten t [s], bis der Fahrbahnbereich verlassen wird

Eine Untersuchung von Godthelp (1988) zeigt, dass freiwillig akzeptierte Okklusionszeiten bei gerader Strasse von der gefahrenen Geschwindigkeit und Fahrdynamik des Fahrzeuges abhängig sind und zwischen ca. 2s (20km/h) und 4,5s (80km/h) betragen. Das potenzielle Schadensausmaß ist bei höheren Geschwindigkeiten höher als bei niedrigen, was den Widerspruch zum theoretischen Modell erklären kann. Weitere empirische Ergebnisse aus der Literatur finden sich z.B. bei Zwahlen,

Adams und DeBald (1988). Zusatzsysteme, die mehr als drei Blicke pro Aufnahme einer Informationseinheit und Abwendungsdauern („eyes-off-road time“) über zwei Sekunden provozieren, sind demnach inakzeptabel (s.a. Fairclough et al., 1993, Abbildung 5.4). Die Frage nach dem Umfang einer Informationseinheit wird jedoch nicht ausreichend geklärt. Der vorgeschlagene Grenzwert für die Abwendungsdauer ist konservativer als der durch das theoretische Modell ermittelte Wert. Einer Theorie von Schleidt (1992) zufolge erlebt der Mensch die Zeit in diskreten Zeitabschnitten von ca. zwei oder drei Sekunden. Dieses Zeitmuster könnte ein weiterer Grund für die genannten Abwendungsdauern sein, da nach dem Verstreichen dieser Zeit die Ungewissheit über die aktuelle Verkehrssituation unerträglich hoch geworden ist, so dass wieder zurück geblickt wird. Erklärt wird dieses Verhaltensmuster mit der begrenzten Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses.

Die Suche nach maximal zu akzeptierenden Verkehrsblindzeiten beschäftigt nach wie vor verschiedene Gremien, wobei die genannte „Zwei-Sekunden“-Regel immer wieder als Bewertungskriterium ins Spiel gebracht wird (Noy, 1999). Diese propagiert die Ungefährlichkeit von Abwendungsdauern unterhalb von zwei Sekunden Dauer, wobei nicht der Mittelwert, sondern der 85. Perzentil-Wert maßgeblich ist. Dieser Wert wurde als Grenze bei Versuchen zur Spurhaltegenauigkeit ermittelt.

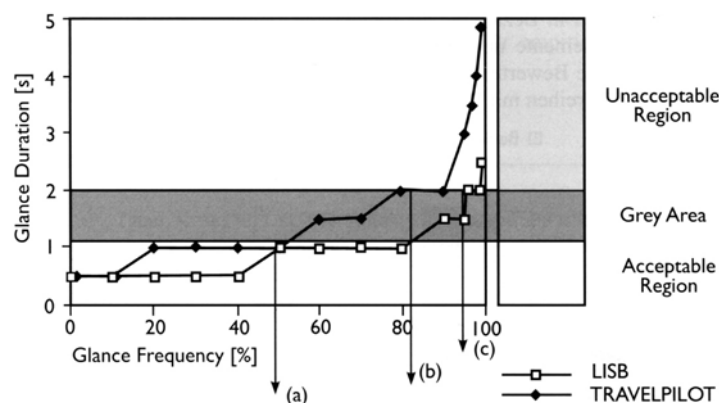


Abbildung 5.4: Kumulierte Häufigkeit von Verweildauern auf verschiedene Navigationssysteme (Fairclough et al. 1993).

Welcher Teil der Fahrbahn ist für den Fahrer besonders wichtig? Nach Shinar et al. (1977) befindet sich der Hauptfixationspunkt bei Geraden ca. $0,7^\circ$ über und $1,6^\circ$ rechts vom Fluchtpunkt. Zu berücksichtigen ist allerdings die Messungenauigkeit der damals verwendeten Apparatur, so dass von Fluchtpunktfixationen auszugehen ist. Im Falle der Fluchtpunktfixationen lässt sich eine genaue Kategorisierung des momentanen Blickes nicht vornehmen, da sich aufgrund der Aufweitung des fovealen Kegels mehrere Objekte darin befinden können. Aktuelle Arbeiten von Underwood et al. (2002) weisen nach, dass mehr als zwei Drittel der Zeit beim Autofahren auf den Fluchtpunkt geblickt wird. Warum ist dieser Bereich nun besonders wichtig für die Spurhaltung, besonders bei geraden Streckenabschnitten?

Eine Regel aus dem Fahrschüler-Ausbildungspass einer Versicherung (N.N., 2001) bringt es auf den Punkt: „Wo man hinschaut fährt man hin“. Oder andersherum ausgedrückt: „Wo man hinfährt, soll man auch hinschauen!“ Wissenschaftlich fundiert ist dies von Readinger et al. (2002), die einen Zusammenhang zwischen Blickrichtung und seitlichem Versatz auf der Fahrbahn feststellen. Es ist jedoch unsinnig zu denken, dass eine direkte kausale Verbindung zwischen der Augenbewegung und der Lenkrichtung bestehen würde.

Nach McKnight et al. (1970) muss der Fahrer in der Lage sein, nur aufgrund peripheren Sehens das Fahrzeug in der Spur zu halten. Cohen & Hirsig (1990) weisen darauf hin, dass mit zunehmendem Abstand eines Reizes zur Fovea die Latenz bis zur Einleitung einer Reaktion zunimmt. Objekte, die zu einer Gefährdung führen könnten, müssen fixiert werden, damit im Falle eines Konflikts möglichst schnell reagiert werden kann. Das foveale Sehen soll somit zum Erfassen der Verkehrsszene durch Umherblicken benutzt werden. Blicke in Richtung Fluchtpunkt ermöglichen einerseits die periphere Erfassung der Spur und andererseits ermöglichen sie die zeitliche und räumliche Antizipation des Verkehrsgeschehens.

Von Chatziastros et al. (1999) durchgeführte Simulatorversuche mit eingeschränkten Sichtbereichen klären, welche Bereiche auf der Fahrbahn für die Spurhaltung wichtig sind. Die Einschränkung besteht aus horizontalen Schlitzfenstern mit einer Höhe von 1° mit variierender vertikaler Position. Es konnte gezeigt werden, dass die laterale Abweichung von der Straße bei einer weiter entfernten Positionierung des Sichtfensters bei 1° und 2° unterhalb des Blickes geradeaus (0° -Sichtlinie) recht schlecht ist. Ab 3° bis 9° Positionierung, was einer Entfernung von 21 m bzw. 7 m bei 1,1 m Augenhöhe in sitzender Position entspricht, war die Abweichung signifikant geringer. Das Anbieten eines zusätzlichen Sichtfensters im entfernten Bereich von 1° (entspricht 63 m) und im nahen Bereich von 10° (entspricht 6 m), lässt den Schluss zu, dass nur der nahe Bereich eine Rolle für die Spurhaltung spielt. Durch das Anbieten weiterer Information für die Antizipation des weiteren Straßenverlaufs im fernen Bereich wurde keine Verbesserung erzielt. Texturen auf der simulierten Fahrbahnoberfläche verstärken den optischen Fluss und können die Spurhaltequalität zusätzlich steigern.

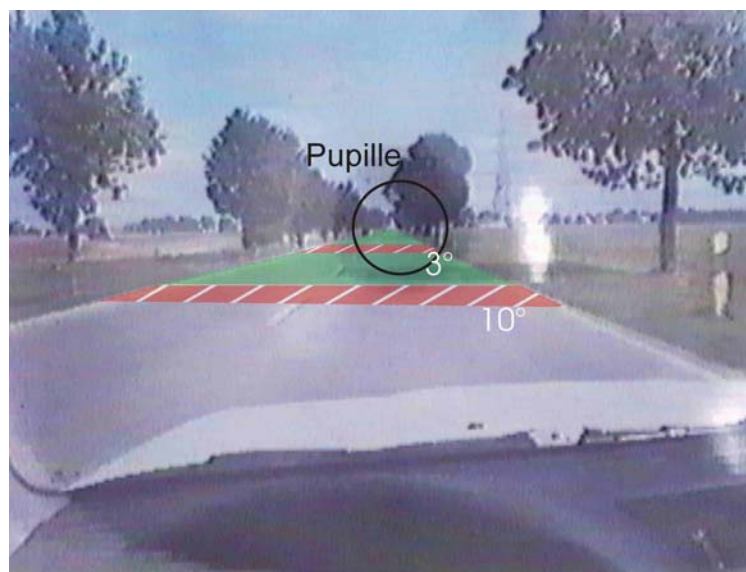


Abbildung 5.5: Wichtige Bereiche zur Spurführung zwischen 3° und 10° (Illustration der Ergebnisse von Chatziastros et al., 1999 und Land et al., 1998) und typische Pupillenposition

Zusammenfassend ist besonders der peripher wahrgenommene Bereich von ca. 3° bis 9° unterhalb der Horizontalebene in Augenhöhe für die Spurführung relevant (s. Abbildung 5.5). Würde der Fahrer statt auf den Fluchtpunkt in Richtung Armaturenbrett blicken, wäre der relevante Bereich zur Spurführung in gleichem Maße peripher wahrnehmbar. Wie jedoch die Arbeiten von Lamballe et al. (1999) oder He et al. (1996) zeigen, ist die Detektionsleistung in der oberen Hälfte des visuellen Feldes geringer als im unteren. Nicht nur im Hinblick auf die Spurführungsqualität ist es somit besser, dass der Fahrer den Fluchtpunkt fixiert, sondern auch bezüglich der Antizipationsleis-

tung bzgl. potenzieller Hindernisse. Unterstützt wird dieser Sachverhalt auch von Summala et al. (1996). Sie führten Feldversuche durch, bei denen die Probanden ihren Blick auf ein Display im Fahrzeug richten mussten. Die Fahrbahn konnte nur peripher wahrgenommen werden. Das Display wurde an drei Positionen, mit zunehmender Exzentrizität (7° , 23° , 38°) zur Verkehrsszenenerie eingerichtet. Mit steigender Exzentrizität verschlechtert sich die Spurhaltequalität.

Es stellt sich die Frage, welche visuellen Informationen im Fluchtpunkt und in dem zuvor angesprochenen Bereich zwischen 3° und 9° für die Spurführung wichtig sind. Die als wesentlich erachteten Bildelemente sind nach Donges (1975a) hierbei beide Straßenrandlinien mit Pfosten und die Mittellinie. Danach ermöglicht der visuelle Sinneskanal bzgl. der Querregelung die Erfüllung zweier wichtiger Aufgaben. Zum einen wird der zukünftige Straßenverlauf wahrgenommen, so dass der Fahrer seine Handlungen darauf abstimmen kann. Zum anderen erhält er Informationen über die momentane Lage und den momentanen Bewegungszustand des Fahrzeugs. Die Lage und die Lageänderung des Fahrzeuges, bezogen auf die im regelungstechnischen Sinne wirkende Führungsgröße der Mittellinie lässt sich durch die Größen Querabweichung, Gierwinkelfehler und Krümmungsdifferenz beschreiben. Es ist anzumerken, dass in der realen Fahrumgebung die Führungsgröße nicht unmittelbar sichtbar ist und schon gar nicht in Form der Mittellinie vorliegt, sondern aus dem visuellen Feld abgeleitet werden muss, was individuell verschieden sein kann. Der Gierwinkelfehler ist nach Donges die wichtigste optische Information.

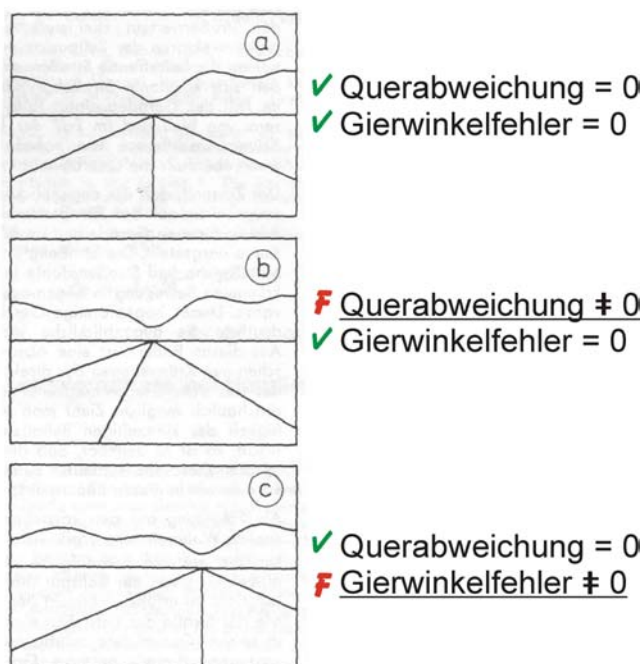


Abbildung 5.6: Schematische Darstellung der Grundmuster einer geraden Straße (nach Donges, 1975a)

Eine Querabweichung von der Mittellinie zeigt sich in einer Störung der Symmetrie (Abbildung 5.6, Bild b), ein Gierwinkelfehler macht sich, unabhängig von einer Querabweichung als Verschiebung des Perspektivefluchtpunkts bemerkbar (Abbildung 5.6, Bild c). Ersteres ist somit im Nahbereich festzustellen, letzteres nur im Fernbereich des visuellen Feldes. Neuere Untersuchungen von Chatziastros et al. (1999) belegen, dass beim Befahren gerader Streckenabschnitte sowohl der optische Fluss als auch der so genannte „splay angle“, der aus Fahrersicht gesehene Winkel zwi-

schen der Fahrbahnmarkierung und einer gedachten Vertikalen, für die Spurführung von enormer Bedeutung ist.

Im Unterschied zu diesen bereits im statischen Bild feststellbaren Abweichungen vom Sollkurs, ist die Krümmungsdifferenz des Fahrkurses im Vergleich zur Fahrspur nur im dynamischen Geschehensablauf im Blickfeld des bewegten Beobachters wahrnehmbar. Dieses bereits von Gibson (1973b) beschriebene und von Gordon (1966) für den Fall des Autofahrens mathematisch formulierte Phänomen ist in Abbildung 5.7 dargestellt.

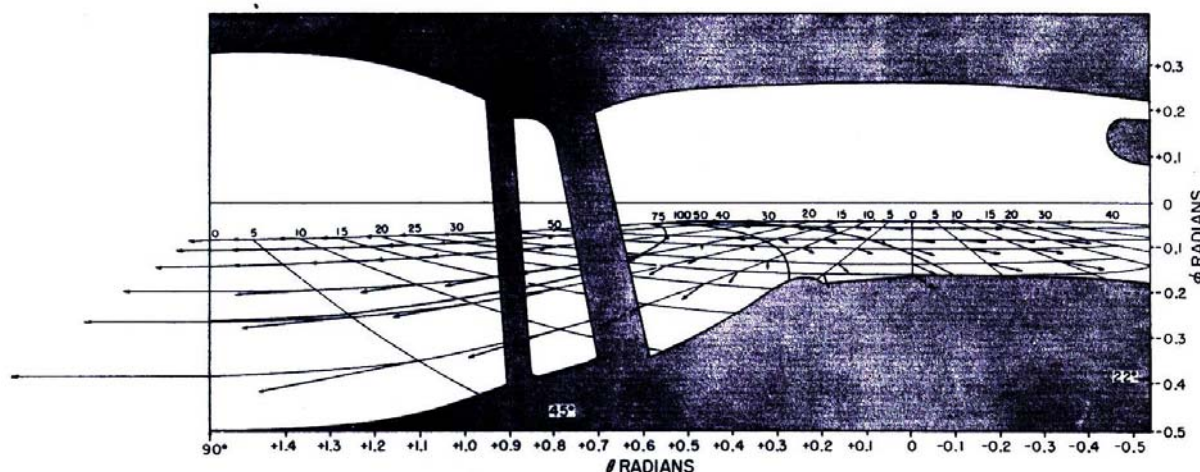


Abbildung 5.7: Geschwindigkeitsvektoren bei Kurvenfahrt (aus Gordon, 1966)

Das Ziel des Fahrers muss in diesem Falle das Erzielen und Erhalten der zuvor besprochenen konstanten Grundmuster sein. Mit diesen Vorüberlegungen, zur dem Fahrer zur Verfügung stehenden visuellen Information, erarbeitete Donges (1975b) ein Strukturmodell für das Lenkverhalten. Als für unsere Fragestellung wichtigstes Ergebnis lässt sich festhalten, dass sich die Antizipationsleistung des Fahrers u.a. in einer Lenkwinkeländerung ca. 1 bis 2 Sekunden vor dem eigentlichen Kurvenbeginn äußert. Belegt durch Simulatorversuche, wird die Fahraufgabe mit steigender Fahrgeschwindigkeit und mit zunehmender Krümmung der Straße schwieriger (Maß für die Schwierigkeit: Varianz des Lenkwinkels und Varianz der Querabweichung).

Nach Gibson (1973b, S.194ff) geht es beim Spurführungsaspekt des Autofahrens primär weniger darum das Auto auf den Verlauf der Straße auszurichten, sondern darum, den Expansionsbrennpunkt des visuellen Feldes in die Richtung zu halten, in die man fahren muss. Für den Fall einer Fahrt auf einer geraden Strecke muss das ruhende Zentrum der Expansionsbewegung mit dem Perspektivfluchtpunkt der Straßenlinien zusammenfallen. Beim Durchfahren einer Kurve verschiebt sich der Ruhepunkt des Geschwindigkeitsvektorfelds zum Kurvenmittelpunkt. Bei konstanter Straßenkrümmung und bei einer optimalen Spurführung des Fahrzeugs, parallel zum Straßenrand, bildet sich ein konstantes visuelles Grundmuster aus, das es aufrecht zu erhalten gilt (Abbildung 5.8). Nach Gibson (1973) muss ein visuelles System nicht besonders sensitiv für Details sein, um diese optische „Strömung“ wahrzunehmen. Dies bedeutet, dass die Wahrnehmung des optischen Flusses und somit die Aufgabe „Spurführung“ über den peripheren Sichtbereich erfolgen kann.

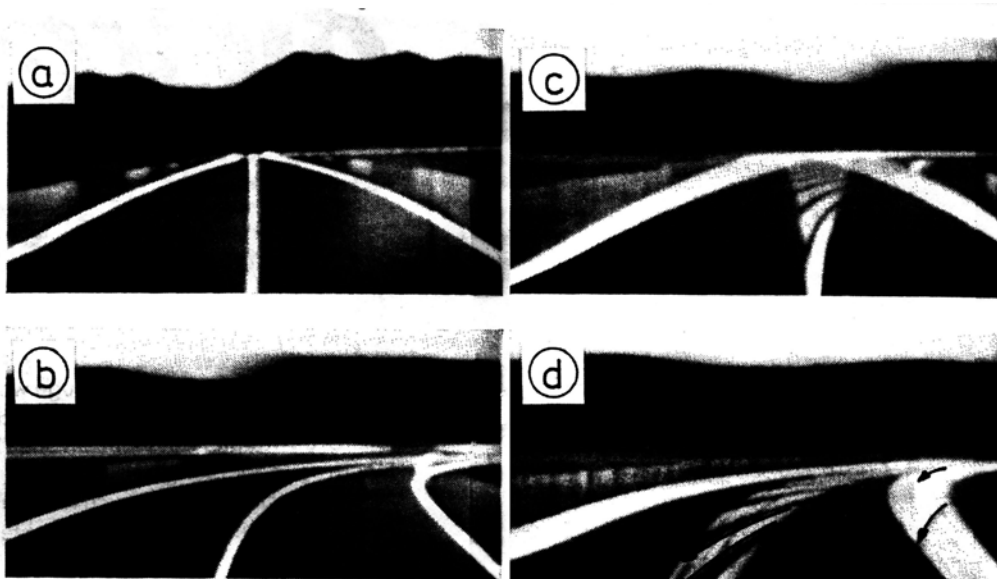


Abbildung 5.8: Die Ausbildung konstanter (a,b) und fließender (c,d) Grundmuster bei Fahrt auf einer geraden (a,c) bzw. kreisförmig gekrümmten Straße (Donges, 1975a)

Im Falle der Antizipationsleistung entdeckt der Fahrer vor einer Kurve anfänglich nur, dass bezogen auf den Streckenverlauf eine Änderung diesbezüglich ansteht. Erst später kann er genügend Information über die Richtung und auch über die Größe der bevorstehenden Änderung ansammeln. Die physikalische Größe, die er dabei abliest, oder vielmehr abschätzt, ist die Krümmung der Straße.

Shinar et al. (1977) zeigen, dass die Richtung der Kurve mit der lateralen Position der Augen stark korreliert. Außerdem blicken die Probanden (zumindest bei einer Geschwindigkeit von ca. 100km/h) etwa 2-3s bevor die Kurve befahren wird, in eben diese Richtung. Typisch sind Blickwechsel in entferntere und in fahrzeugnahe Bereiche. Bei Rechtskurven wird bevorzugt nach rechts geblickt, bei Linkskurven eher geradeaus. (für die Rechtskurve der genannten Studie $3,6^\circ$ nach rechts, für die Linkskurve $0,3^\circ$ nach links). Ähnliches ist auch bei Jürgensohn (1999) zu finden, der ein einfaches Blickmodell bei Kurvendurchfahrt erstellt hat.

Underwood et al. (1999) geben einen kurzen Überblick über Literaturstellen, die das Blickverhalten in Kurven zum Inhalt haben. Dem Kurvenscheitelpunkt (hier tangent point) fällt insofern eine wichtige Aufgabe zu, als dass der Winkel zwischen der Fahrzeuglängsachse und der Verbindungslinie Fahrzeug-Kurvenscheitelpunkt zur Vorhersage der Kurvenkrümmung dient. Untersuchungen von Isler (1998) zeigen ebenfalls, dass dem „tangent point“ beim Bewältigen von Kurven eine Schlüsselrolle zufällt. Es zeigt sich eine Verbesserung der Fahrleistung, wenn die Region um den „tangent point“ fixiert wird. Andere Literaturstellen propagieren eine „do it where you look“-Strategie: man kann zwar in eine andere Richtung blicken als man sich bewegt, es ist aber sehr ungewöhnlich und man fühlt sich dabei unsicher, so dass man die Geschwindigkeit reduziert.

Simulatoruntersuchungen von Land et al. (1998) belegen (s.a. Chatziastros, 1999), dass beste Resultate hinsichtlich der Spurhaltequalität zu erzielen sind, wenn die Bereiche 4° und 7° („far- and near-road mechanisms“) unterhalb des Horizonts zu sehen sind (simulierte Geschwindigkeit von 60km/h). Auch hier wurde das Sichtfeld nur in Form einzelner horizontaler Sehschlitze von 1° Höhe dargeboten. Der Bereich um 4° wird typischerweise öfter fixiert und dient zur Bestimmung der Kurvenkrümmung, der nahe Bereich um 7° wird peripher wahrgenommen und dient zur

Lageerkennung. Außerdem sprechen Land et al. von einer optimalen Vorausschauzeit von ca. 0,9 s, unabhängig von der Geschwindigkeit. Nach Poulton (1964, zit. in Bubb, 1993b) muss ein Operateur bis zum Wendepunkt der Führungsfunktion sehen können, um ein optimales Bewegungsprogramm erstellen zu können. Aus Tracking-Versuchen weiß man, dass bis zu einer Vorausschauzeit von 2s die Regelleistung verbessert wird (aus Bubb, 1993a, S. 345).

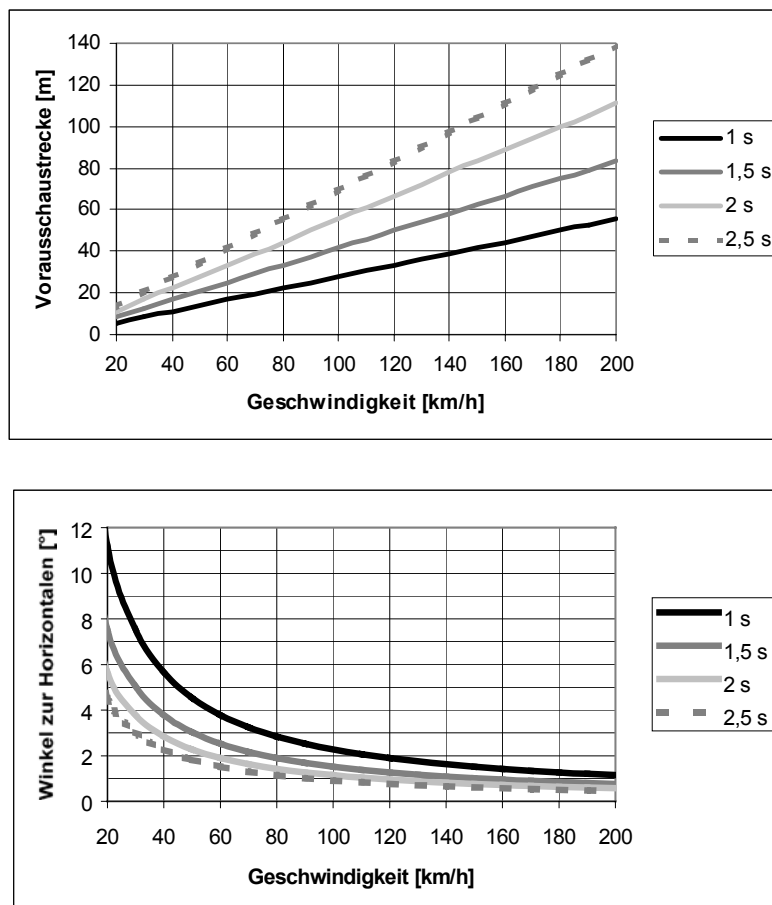


Abbildung 5.9: Vorausschaulängen (oben) und Blickwinkel zur Horizontalen (unten) in Abhängigkeit von der gefahrenen Geschwindigkeit und von der Vorausschauzeit

Wie aus Abbildung 5.9 hervorgeht, sind bei den genannten 2s Vorausschauzeit im untersuchten Geschwindigkeitsbereich von 50 km/h bis 150 km/h Vorausschaulängen von ca. 25 m bis 85 m zu erwarten. Dies entspricht einem Blickwinkel von ca. 2,5° resp. 1° unterhalb der Horizontalebene. Berücksichtigt man die mit ca. 2° angegebene Messgenauigkeit des verwendeten Blickerfassungssystems (s. Abschnitt 7.1), so sind all diese Blicke als Fluchtpunktblicke einzuordnen.

Neueste Untersuchungen von Boer et al. (2002) zeigen, dass aus der Fülle von optisch-geometrischen Reizen, die zur Abschätzung einer Kurve aus Fahrersicht wahrnehmbar sind, nur wenige objektiv auch genutzt werden können. Unter Berücksichtigung der Weber'schen Gesetze zur Reizempfindung stellt man fest, dass hauptsächlich die optische Dichte zwischen dem Tangentenpunkt („tangent point“, TP) und dem Fluchtpunkt der Straße („vanishing point“, VP) eine Rolle bei der Abschätzung einer Kurve spielt (Abbildung 5.10).

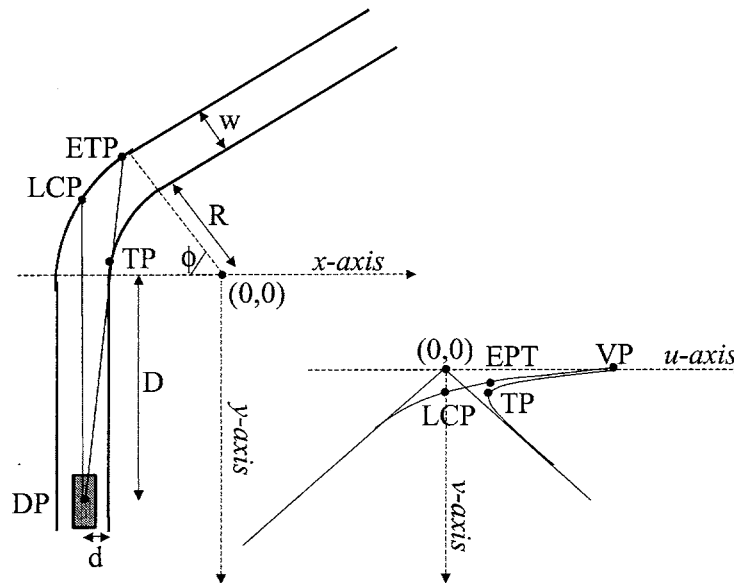


Abbildung 5.10: Geometrische Verhältnisse einer Kurve aus der Vogelperspektive und aus Fahrersicht. TP: Tangent point, ETP: Extended tangent point, VP: Vanishing point, LCP: Lane crossing point

Somit ist ein ständiger Wechsel zwischen dem Bereich Geradeaus und Tangentenpunkt wegen des Abschätzens der Kurvenkrümmung und zur Spurhaltung wichtig. Dieses Blickverhalten wurde z.B. bei Schweigert (1999a) im Feldversuch oder bei Jürgensohn (1999) im Simulator festgestellt. Doch in welchem Ausmaß diese Blickwechsel geschehen müssen, hängen von unkontrollierbaren Bedingungen sowie zum Großteil vom Fahrer selbst ab.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei Fahrbahnfixationen auf gerader Strecke der Blick auf den Fluchtpunkt dominiert. Der Blick in den Fluchtpunkt macht auch deshalb Sinn, weil weiter voraus liegende, potenziell gefährliche Objekte der Entfernung entsprechend klein sind. Mit der fovealen Wahrnehmung ist die Entdeckungsleistung höher, weil hier scharf gesehen wird. Vorausliegende Objekte können zur Gefahr werden, weswegen Antizipation und Voraussicht notwendig sind. Bei Kurven ist ein ständiger Wechsel zwischen dem weiter entfernten Bereich und dem Bereich um den Tangentenpunkt nötig. Ersteres dient der zeitlichen und räumlichen Antizipation, letzteres der Abschätzung der Kurvenkrümmung und der Spurführung.

5.2.2 Verhalten bei potenziellen Hindernissen: Folgen

Befinden sich Hindernisse auf der Fahrbahn, wobei der Begriff Hindernis über den umgangssprachlichen Bereich hinaus auch dynamische Objekte, wie z.B. ein vorausfahrendes Fahrzeug einschließt, so ergeben sich für den Fahrer mehrere Reaktionsmöglichkeiten. Das Folgen eines vorausfahrenden Fahrzeuges, was in diesem Abschnitt der kontinuierlichen Aufgaben aufgeführt ist, ist nur eine von mehreren möglichen Reaktionen. Weitere Möglichkeiten werden im Abschnitt der situativen Aufgaben erörtert. Beim Folgen sind mindestens die in 4.3.3 genannten Sicherheitsabstände einzuhalten. In Lamballe et al. (1999) findet man für die Annäherung an ein vorausfahrendes Fahrzeug im Feldversuch Werte für die Detektionsleistung von relativen Geschwindigkeitsänderungen. Bei fovealer Fixierung des vorausfahrenden Fahrzeuges werden Geschwindigkeitsänderungen sicher erkannt, wenn die Größenänderung des Objekts um ca. $13\frac{1}{3}\%$ beträgt. Der visuelle Sinneskanal ist diesbezüglich relativ sensibel.

Entfernungen können vom Menschen nur sehr schlecht geschätzt werden, was aber nicht zwingend bedeuten muss, dass dies negative Auswirkungen für das Führen eines Kraftfahrzeuges hat. Die entscheidende Information bei der Abstandswahrnehmung ist nicht der geschätzte absolute Abstand zu einem Objekt, sondern nach Färber (1986) der „Zeitpunkt bis zum Zusammenstoß“ (TTC = time to collision). Die Information für diesen Zeitraum schätzt der Fahrer aus dem Fluss des visuellen Feldes ab. Nach Färber (1986) kann der Zeitbedarf für das Erkennen des Ausmaßes der Geschwindigkeitsänderung eines vorausfahrenden Verkehrsteilnehmers und die Adaptation der Bremsstärke mit ca. 2 Sekunden abgeschätzt werden.

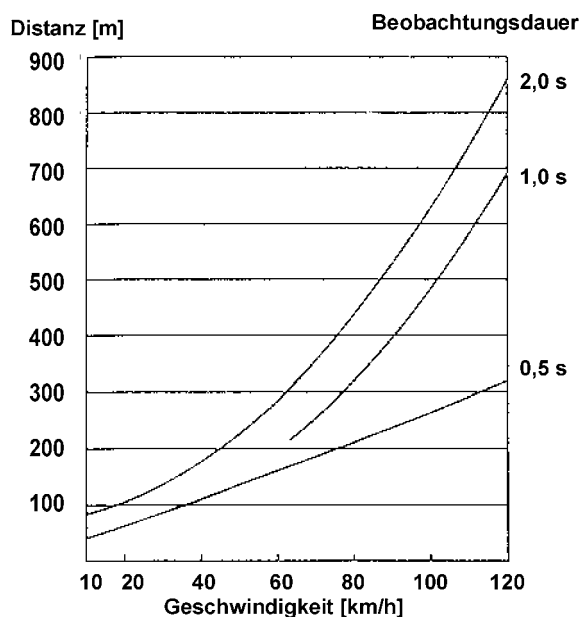


Abbildung 5.11: Wahrnehmungsschwellen für Geschwindigkeitsunterschiede beim Hintereinanderfahren in Abhängigkeit von der Beobachtungsdauer (Harvey u. Michon, 1971, zit. nach Pflieger, 1994)

Aufgrund der physiologischen Grenzen kann man die in Abbildung 5.11 aufgeführten Wahrnehmungsschwellen bzgl. der Wahrnehmung von Geschwindigkeitsunterschieden feststellen. Mit abnehmender Geschwindigkeitsdifferenz und abnehmender Beobachtungsdauer sinkt die Distanz, ab der diese Differenz bereits gesehen wird. Auch bei Probst (1986) finden sich Angaben über Mindestbeobachtungsdauern, die zur Wahrnehmung von Geschwindigkeitsunterschieden bei geringen Tiefenabständen notwendig sind. Dabei stellt er fest, dass bei einem Abstand von 20m mindestens 0,8 s und bei einem Abstand von 40m mindestens 1,4 s Beobachtungsdauer benötigt werden.

Abbildung 5.12 zeigt die maximal zulässige Abwendedauer vom vorausfahrenden Fahrzeug in Abhängigkeit von der gefahrenen Geschwindigkeit und in Abhängigkeit vom Abstand. Es wird unterstellt, dass das vorausfahrende Fahrzeug nicht stärker abbremsen kann als das eigene. Außerdem liegt der Berechnung eine Reaktions- und Ansprechzeit des Fahrers bzw. der Bremsanlage von 1s Dauer zu Grunde.

Gerade bei mehreren Fahrspuren pro Fahrtrichtung ist es unablässig, die Fahrzeuge der anderen Fahrspuren kontinuierlich visuell zu kontrollieren. Sollte ein Fahrzeug z.B. plötzlich die Spur wechseln und somit zu einem Hindernis werden, so ist man bei rechtzeitiger visueller Kontrolle besser darauf vorbereitet. Werden solche Fahrzeuge nicht beobachtet, kann der Fahrer bei unvorhergesehenen Situationen schnell unter

Handlungsdruck geraten, was zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von falschen oder nicht angemessenen Reaktionsweisen führen kann.

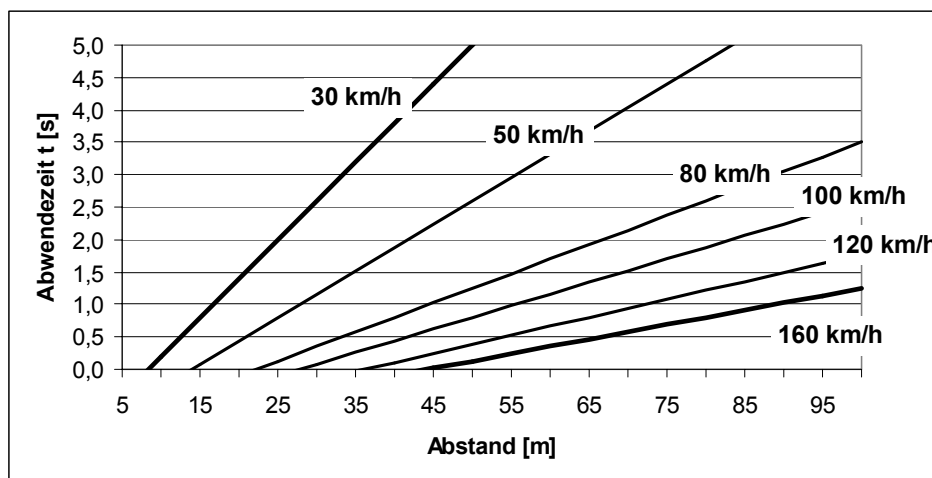


Abbildung 5.12: maximal zulässige Abwendezeit [s] in Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit und des Abstandes zu einem vorausfahrendem Fahrzeug [m]. Angenommene Reaktionszeit von 1s.

5.2.3 Kontinuierliche Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs

In diesem Abschnitt geht es nur um die kontinuierliche Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs, die dazu dient, sich ein Bild von der Verkehrssituation zu machen. Situativ erforderliche Blicke in die Spiegel werden im Abschnitt 5.3 behandelt.

Erfahrene Fahrer benutzen öfter die Rück- und Seitenspiegel (McKnight et al., 1970), wobei die Fixationsdauer in den Spiegel im Mittel 1s (Schätzwert von Tijerina et al., 1997) beträgt und somit zu den längeren Fixationsdauern zählt.

Aufgrund der unendlich großen Menge an möglichen Situationen kann, abgesehen von einer groben Schätzung, nur der Vergleich mit einer Referenzfahrt herangezogen werden. Wie häufig in den Spiegel geblickt werden muss, lässt sich ungefähr mit Hilfe der in Abbildung 5.13 enthaltenen Abschätzung angeben. Hierbei wird die Zeitdauer bestimmt, die zwischen dem ersten Sichten eines Fahrzeuges und dem Passieren desselben in Abhängigkeit der Sichtdistanz und einer als konstant angenommenen Geschwindigkeitsdifferenz vergeht. Dies ist ein Maß dafür, wie lange es dauert, bis ein gesehenes Fahrzeug in den eigenen Gefahrenbereich eindringt. Unterstellt man z.B. Innerorts zwischen dem eigenen Fahrzeug und einem Folgenden einen maximalen Geschwindigkeitsunterschied von 20 km/h und einen Sichtbereich von 200m nach hinten, müsste mindestens zwei mal pro Minute in den Spiegel geblickt werden. Der Kehrbruch mit dem Wert 30s entspricht der Dauer, die das folgende Fahrzeug benötigt, um bei dem genannten Abstand und bei konstanten Geschwindigkeitsverhältnissen das eigene Fahrzeug zu passieren, und somit aus dem Sichtbereich des Spiegels zu verschwinden. Auf Autobahnen und Landstraßen sollte aufgrund der besseren Sichtweite (geringere Kurvenradien) und höheren Relativgeschwindigkeiten zwischen ein- und viermal pro Minute in den Spiegel geblickt werden. Es handelt sich hierbei natürlich nur um grobe Schätzwerte, da sowohl die kontinuierliche Erfassung der Sichtweiten als auch der Relativgeschwindigkeiten im Feldversuch nicht zu erfassen sind.

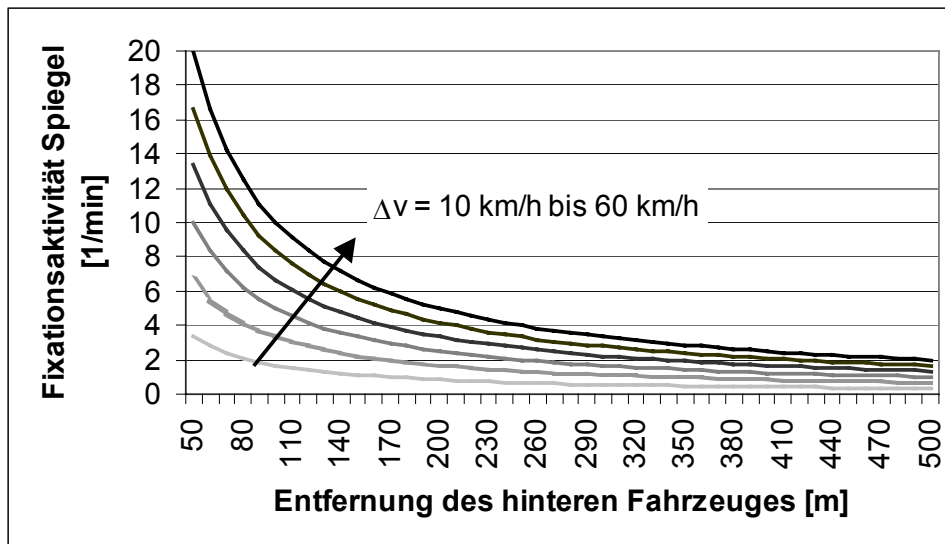


Abbildung 5.13: Berechnete Fixationshäufigkeit in die Spiegel bei Variation der Entfernung nachfolgender Fahrzeuge und der Relativgeschwindigkeit Δv

5.2.4 Kontinuierliche Kontrolle der Geschwindigkeit

Zunächst ergibt sich die zulässige Geschwindigkeit aus den in der StVO angegebenen Werten. Die zulässige Geschwindigkeit weiterhin beeinflussende, aber nicht weiter quantifizierbare Faktoren stellen der Straßenzustand, die Verkehrs- und Sichtbedingungen, das konkrete Fahrmanöver und das Vorhandensein von Kurven oder Knotenpunkten dar.

Über Motorgeräusch und Fahrstufe (Bubb, 1977, Smiley, 1999) ist für den mit dem jeweiligen Fahrzeug vertrauten Fahrer die Geschwindigkeit ableitbar. Dies ist bei neueren Fahrzeugen aufgrund der besseren Geräuschdämmung und immer schärfer werdenden gesetzlichen Lärmemissionsregelungen nicht mehr so leicht möglich. Weitere Größen, aus denen die momentane Geschwindigkeit abgeschätzt werden kann, sind der über die periphere Sicht wahrgenommene visuelle Fluss („optical flow“, Smiley, 1999) und bei Kurven die gefühlte Querbeschleunigung und der geschätzte Kurvenradius.

Die tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit lässt sich nur bei Blicken auf den Tachometer genau feststellen. Diese Kontrolle muss nach McKnight et al. (1970) regelmäßig erfolgen. Es stellt sich die Frage, wie oft die Geschwindigkeit per Tachometerfixation kontrolliert werden muss. Dazu dient folgende theoretische Abschätzung:

Es wird unterstellt, dass der Fahrer eine Geschwindigkeitsänderung zunächst nur über die kinästhetische Wahrnehmung erfasst. Es gilt eine Wahrnehmungsschwelle a von $0,08 \text{ m/s}^2$ (Steward, 1971). Beschleunigt der Fahrer, ausgehend von der momentanen Geschwindigkeit v [m/s] unterhalb dieser Schwelle, so lässt sich die maximale Zeit t [s] bis er eine noch tolerierbare Geschwindigkeit überschreitet, wie folgt ausdrücken:

$$t = \frac{1,2v_{zul} - v}{a} \tag{5.7}$$

Nach Reichart (2000) sind Geschwindigkeiten, die bis zu 20% über den in der StVO aufgeführten Höchstgeschwindigkeiten v_{zul} liegen, noch zulässig.

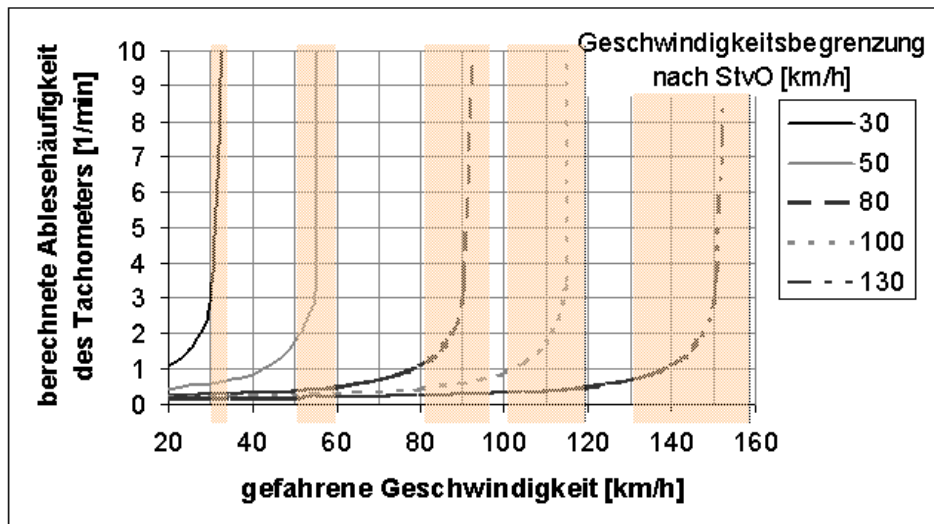


Abbildung 5.14: Berechnete Ablesehäufigkeit des Tachometers [1/min], um die zulässige Höchstgeschwindigkeit um 20% nicht zu überschreiten. Parameter: zulässige Geschwindigkeit nach StVO.

Abbildung 5.14 zeigt die minimale Ablesehäufigkeit des Tachometers bei verschiedenen gefahrenen Geschwindigkeiten und variierendem Tempolimit. Je näher man sich bereits am absoluten Geschwindigkeitsgrenzwert befindet, desto häufiger muss der Tacho kontrolliert werden, da bereits innerhalb kurzer Zeiten eine Überschreitung der Geschwindigkeit eintreten kann. Aufgrund der Abhängigkeit von der gefahrenen Geschwindigkeit ergibt sich auch hier ein großer Aufwand bei der Ermittlung dieser Grenzwerte, so dass diese nur grob abgeschätzt werden. Unterstellt man, dass die gefahrene Geschwindigkeit dem Tempolimit entspricht und man würde eine 20% Überschreitung tolerieren, so ergeben sich folgende Werte: Innerorts (50km/h) muss mindestens 2 mal pro Minute auf den Tacho geblickt werden, außerorts beträgt dieser Wert bei einer Begrenzung zwischen 80km/h und 100km/h ca. 1 Blick/min. Je näher man sich bereits an der 20%-Grenze befindet, desto öfter müsste kontrolliert werden, was für den Fahrer aber einen unverhältnismäßig hohen Aufwand bei geringem Nutzen bedeuten würde. Bei Autobahnabschnitten ohne Tempobegrenzung kann kein Grenzwert angegeben werden.

Typische Fixationsdauern auf den Tachometer betragen nach Gengenbach (1997) ca. 0,6s, wobei keine explizite Angabe über Standardabweichungen oder Verteilungsform gemacht werden. Es kann aber von einer eingipfligen, symmetrischen Verteilung ausgegangen werden, da der Informationsinhalt möglichst schnell abgelesen wird, und somit eine untere (Mindestfixationsdauer) und obere Grenze (Abwendungsdauer vom Verkehr) besteht. Natürlich hängt die Dauer vom Design, insbesondere der Ablesbarkeit des Tachometers ab.

5.3 *Situationsspezifische visuelle Aufgaben*

5.3.1 Ablesen von Verkehrszeichen

Eine spezifische Aufgabe ist die gezielte Suche und das Ablesen von Verkehrszeichen. Nicht jedes Verkehrszeichen besitzt für jede Situation oder für jeden Fahrer die gleiche Bedeutung. Zumindest auf den Strecken, die dem Fahrer bereits bekannt sind, ist anzunehmen, dass Verkehrszeichen generell weniger beachtet werden. Da der zu vermittelnde Inhalt zumeist im Gedächtnis hinterlegt ist, ist eine erneute Fixation auf das Schild, sofern sich der Inhalt nicht geändert hat, nicht erforderlich. Schwierigkeiten ergeben sich z.B. daraus, wenn eine bereits bekannte Strecke anders beschil­dert wird, was von den Fahrern aus oben genannten Gründen nicht sofort erkannt wird. Besonders heikel sind derartige Situationen, wenn es sich um Vorfahrtsänderungen handelt. Es ist dabei zu beachten, dass dem Fahrer solche Veränderungen massiv zu verdeutlichen sind, was in der Praxis durch eine Veränderung des Straßenverlaufs oder das Anbringen zusätzlicher Straßenmarkierungen etc. auch erreicht wird. Eine Sonderstellung nimmt die Verkehrsampel ein, die im Rahmen dieser Arbeit als Verkehrszeichen betrachtet wird. Wer momentan Vorfahrt besitzt, kann nur durch die visuelle Aufnahme in Erfahrung gebracht werden. Aufgrund der Farbcodierung ist es aber nicht zwingend notwendig, die Ampel foveal zu fixieren, sondern es genügt die periphere Wahrnehmung, was zu Einschränkungen in der Aussagekraft bzgl. Blickbewegungen führt. Aus Erfahrung bei der Auswertung des umfangreichen Datenmaterials kann aber festgestellt werden, dass die Fahrer fast immer vorhandene Ampeln fixieren und sich nicht ausschließlich auf die periphere Wahrnehmung verlassen.

Verkehrszeichen sollten theoretisch schneller abzulesen sein als der Tachometer, sofern sie einfache Symbole oder Zahlen (Tempolimit) beinhalten, da der Blickwinkel i.d.R. geringer ist und eine Adaption und Akkomodation entfällt. Allerdings werden die Dauern nicht normalverteilt sein, da bei umfangreicheren Informationen auf den Verkehrszeichen der Blick länger darauf verweilt. Es ist mit linkssteilen, eingipfligen Verteilungen zu rechnen.

5.3.2 Verhalten bei potenziellen Hindernissen

Das Folgen als ein mögliches Verhalten bei potenziellen Hindernissen wurde bereits als kontinuierliche Aufgabe identifiziert und beschrieben. Weitere Möglichkeiten werden hier unter den situativen Aufgaben behandelt.

Als Hindernisse werden in diesem Abschnitt auch Engstellen betrachtet, die sich z.B. aus parkenden Fahrzeugen oder Baustellen ergeben. Hier ist beim Passieren der Engstelle darauf zu achten, dass die geometrischen Fahrzeugbegrenzungen mit dem tatsächlich zur Verfügung stehenden Platz verglichen werden, d.h. dass die Stellen, bei der am ehesten mit einem Kontakt zu rechnen ist, abwechselnd fixiert werden. Eine subjektive Einschätzung von Fahrinstructoren kommt zur selben Empfehlung (Cohen, 1998).

Ebenso sollen entgegenkommende Fahrzeuge daraufhin überwacht werden, ob sie Ihre Spur einhalten, oder ob es zu einer kritischen Situation kommen könnte. Wie oft dies geschehen muss hängt von der Verkehrsdichte der entgegenkommenden Fahrzeuge ab und kann aber nicht weiter objektiviert werden. Hier kann nur der Vergleich zu einem „Normverhalten“ gemacht werden. Ist die Anzahl entgegenkommender

Fahrzeuge sehr hoch, kann sicher nicht jedes Einzelne fixiert werden, da sonst die anderen visuellen Aufgaben vernachlässigt würden.

Fußgänger und andere ungeschützte Verkehrsteilnehmer müssen ausreichend beobachtet werden, sofern sie in den Einflussbereich des Fahrzeuges gelangen oder gelangen könnten.

Vor dem plötzlichen Anhalten vor einem Hindernis oder beim Ein- bzw. Abbiegen muss der rückwärtige Verkehr beobachtet werden (McKnight et al., 1970), um einen Auffahrunfall nachfolgender Fahrzeuge ausschließen zu können.

5.3.2.1 Spurwechsel

Wie bereits in Abschnitt 4.3.3 erwähnt wurde, gliedert sich die Aufgabe beim Spurwechsel nach Fastenmeier (2001) in vier Punkte, die folgend hinsichtlich visueller Aufgaben untersucht werden. Während des Entscheidungsprozesses muss die Fahrzeugumgebung kontrolliert werden. Dies geschieht z.B. durch Blicke auf vorausfahrende Fahrzeuge im Hinblick auf das Abschätzen des Abstands und des Geschwindigkeitsunterschiedes. Außerdem muss in den Rück- bzw. Seitenspiegel geblickt werden, um eine Zeitlücke zum Ausscheren zu finden. Vor dem Ausscheren erfolgt ein Sicherungsblick über die Schulter, um auszuschließen, dass sich ein Fahrzeug auf gleicher Höhe im toten Winkel befindet. Der Spurwechselwunsch wird signalisiert und eine passende Geschwindigkeit hergestellt. Beim Beginn und der Durchführung des Manövers wird nochmals gesichert, dann ausgeschert. Der Abschluss des Spurwechselforgangs beinhaltet keine visuellen Aufgaben mehr.

5.3.2.2 Überholen

Beim Überholen muss die Geschwindigkeit des vorausfahrenden oder stehenden Fahrzeuges abgeschätzt werden. Zudem muss das Verkehrsgeschehen auf der entgegenkommenden Fahrspur beobachtet werden. Auf Basis dieser Abschätzungen kann dann entschieden werden, ob der Überholweg ausreicht, bzw. ob innerhalb der Sichtweite ohne eine Gefährdung Anderer überholt werden kann. Es sind zusätzlich die im Abschnitt „Spurwechsel“ aufgeführten Kontrollblicke durchzuführen. Während des Überholens ist weit voraus zu blicken, um evtl. entgegenkommende Fahrzeuge rechtzeitig zu entdecken und bei Bedarf den Überholvorgang abubrechen. Vor dem Wiedereinscheren ist erneut in den Rückspiegel bzw. über die rechte Schulter zu blicken, ob sich das überholte Fahrzeug bereits in einem ausreichenden Abstand nach hinten befindet.

5.3.3 Verhalten an Knotenpunkten

Es ist, sofern die Vorfahrtsregelung an einem bestimmten Knotenpunkt nicht bereits bekannt ist, nach vorfahrtsregelnden Verkehrszeichen oder Lichtanlagen bzw. Polizeibeamten Ausschau zu halten.

Bei eigener Vorfahrt ist das Verhalten der nicht vorfahrtberechtigten Verkehrsteilnehmer zu kontrollieren. Da die Straßenverkehrsordnung zu gegenseitiger Rücksicht und Vorsicht mahnt, kann man sich nicht auf das regelkonforme Verhalten Anderer verlassen. Die Kontrolle muss mittels fovealer Wahrnehmung geschehen. Eine Untersuchung von Uchida et al. (1999) zeigt, dass Kreuzungsunfälle gehäuft auftreten, wenn sich das kreuzende Fahrzeug, relativ zum eigenen Fahrzeug gesehen, nicht im visuellen Feld bewegt. Das ist der Fall, wenn beide Fahrzeuge bei der Kreuzungsannäherung die gleiche Geschwindigkeit besitzen und sich somit der Win-

kel zwischen beiden Fahrzeugen nicht ändert. Dann kann das kreuzende Fahrzeug nicht durch peripheres Sehen entdeckt werden, sondern nur durch direkte Fixationen.

Hat man selbst Vorfahrt zu gewähren, hängt das Blickverhalten von den baulichen und verkehrstechnischen Gegebenheiten ab. Grundsätzlich kann unabhängig davon jedoch festgestellt werden, dass alle Richtungen, aus denen vorfahrtberechtigte Fahrzeuge kommen könnten, explizit sukzessive beobachtet werden müssen. Ist die minimale abgeschätzte Zeitlücke bis alle anderen Fahrzeuge die Kreuzung erreichen innerhalb akzeptierter Grenzen, so soll das Fahrzeug zügig aus dem Kreuzungs- oder Einmündungsbereich bewegt werden. Gerade noch akzeptierte Zeitlücken sind im Bereich um 7s zu finden (zit. nach Reichart, 2000).

Beim Linksabbiegen ist grundsätzlich der entgegenkommende Verkehr zu beobachten. Zum einen deshalb, weil dieser zumeist vorfahrtberechtigt ist, und falls nicht, ist zu kontrollieren, ob sich die anderen Verkehrsteilnehmer an die Vorfahrtsregelung halten. Beim Abbiegen ist generell darauf zu achten, dass erstens durch das Abbremsen nachfolgende Fahrzeuge nicht gefährdet werden und zweitens Verkehrsteilnehmer auf der durchgehenden Fahrtrichtung Vorfahrt besitzen und somit mittels Kontrollblick beobachtet werden müssen. Dies gilt insbesondere für Fußgänger und Radfahrer, die die eigene Fahrtrichtung kreuzen könnten.

5.3.4 Kontrolle der Geschwindigkeit

Im Gegensatz zur kontinuierlichen Kontrolle der momentanen Geschwindigkeit muss der Tachometer bei speziellen Situationen kontrolliert werden. Immer wenn sich die zulässige Geschwindigkeit ändert, sollte zusätzlich zur kontinuierlichen Ablesung der Tachometer kontrolliert werden, um sich von der Einhaltung der gesetzlichen Regelung zu vergewissern. Ebenso muss auf den Tacho geblickt werden, wenn die Geschwindigkeit verringert wird (McKnight, 1970), um die korrekte Geschwindigkeitsanpassung zu überwachen. Hinzu kommt die Kontrolle bei Überholmanövern, bei der auf die Spur des Gegenverkehrs ausgewichen werden muss. Dies dient dazu, um die Geschwindigkeitsverhältnisse bei der Überholentscheidung mit einfließen lassen zu können.

Mit Hilfe der Blickerfassung lassen sich Blicke auf Verkehrszeichen, insbesondere auf die Tempobegrenzungszeichen sehr gut registrieren. In diesem Zusammenhang ist interessant, dass die meisten der wegen Tempoüberschreitung aufgefallenen Fahrer gar nicht wissen, dass sie zu schnell fahren. Sie achten nicht auf Verkehrszeichen, sondern „schwimmen“ im Verkehr mit (Biegelmann, 2001). Die direkte Ablesung von Verkehrszeichen ist somit eine wichtige visuelle Aufgabe, wobei der Situationskontext zu berücksichtigen ist. Damit ist z.B. gemeint, dass bei genauer Kenntnis der Fahrroute eine Fixation der Wegweiser unnötig ist.

6 Versuchsdesign

Um die Gültigkeit der definierten visuellen Aufgaben zu überprüfen, wurde ein Feldversuch konzipiert, bei dem insgesamt 30 Probanden eine ausgewählte Versuchsstrecke unter realen Verkehrsbedingungen zu befahren hatten. Die Strecke wurde von jedem Probanden insgesamt dreimal durchfahren, wobei die erste Fahrt zur Gewöhnung an die Testsituation und an das Fahrzeug diente. Eine zweite Fahrt wurde dazu genutzt, um das Fahrerverhalten als Referenz an neun ausgewählten Streckenabschnitten aufzuzeichnen. Das Hauptinteresse bei der Analyse galt dabei den Blickbewegungen der Fahrer. Während einer weiteren Fahrt waren von den Probanden an diesen Streckenabschnitten entweder auditive oder visuelle Zusatzaufgaben zu bearbeiten. Der Versuch war so konzipiert, dass der Vergleich zwischen der Fahrt mit Nebenaufgabe und dem „normalen“ Fahren (Referenzfahrt) einer Versuchsperson ermöglicht wird. Dieses Design mit Messwiederholung (within-subjects-design) lässt bei der statistischen Analyse den interindividuellen Anteil der Varianz außen vor.

Nachdem zwei Nebenaufgabentypen gewählt wurden, wäre der Vergleich innerhalb einer Versuchsperson zwischen den Bedingungen „Referenzfahrt“, „Fahrt mit akustischer Aufgabe“ und „Fahrt mit visueller Aufgabe“ bei jedem Streckenabschnitt wünschenswert. Vier Fahrten pro Proband waren aber vom immensen Zeitaufwand und evtl. Ermüdungseffekten der Versuchspersonen nicht durchführbar. Es wurde daraufhin die Trennung des Versuchspersonenkollektivs in zwei ähnliche Gruppen beschlossen, wobei jede Gruppe zwar beide Aufgabentypen, aber bei jeweils unterschiedlichen Streckenabschnitten zu absolvieren hatte. Bei denjenigen Streckenabschnitten, bei denen die eine Gruppe akustische Aufgaben zu bearbeiten hatte, sollten von der anderen Gruppe visuelle Aufgaben bearbeitet werden und umgekehrt. Die visuelle Aufgabe wurde bei manchen Streckenabschnitten als zu gefährlich bewertet, so dass bei diesen nur auditive Aufgaben zu bearbeitet waren.

Tabelle 6.1 zeigt detailliert den Versuchsplan beider Gruppen (jeweils N=15), wobei aufgelistet ist, welche Zusatzaufgabe von welcher Gruppe bei welchem Streckenabschnitt (s. Abschnitt 6.4) bearbeitet wurde. Für jeweils eine Hälfte jeder Gruppe erfolgte die Bearbeitung der Aufgaben wie dargestellt, für die andere Hälfte wurden die Fahrten 2 und 3 vertauscht, so dass keine Artefakte aufgrund der zeitlichen Reihenfolge zu erwarten waren.

Tabelle 6.1: Versuchsplan für die Gruppen A und B

Abschnitt	Gruppe A		Gruppe B		Summe der Fahrten mit Aufgabe		
	2.Fahrt	3.Fahrt	2.Fahrt	3.Fahrt	Referenz	auditiv	visuell
Autobahn1	Referenz	visuell	Referenz	auditiv	30	15	15
Autobahn2	auditiv	Referenz	auditiv	Referenz	30	30	0
Landstraße1	auditiv	Referenz	visuell	Referenz	30	15	15
Landstraße2	Referenz	visuell	Referenz	auditiv	30	15	15
Ortsannäherung1	Referenz	visuell	Referenz	auditiv	30	15	15
Ortsannäherung2	auditiv	Referenz	visuell	Referenz	30	15	15
Ortsdurchfahrt1	auditiv	Referenz	auditiv	Referenz	30	30	0
Ortsdurchfahrt2	Referenz	visuell	Referenz	auditiv	30	15	15
Ortsdurchfahrt3	auditiv	Referenz	auditiv	Referenz	30	30	0

6.1 Zusatzaufgaben

Auf welche Fehlerebenen kann sich eine Zusatzbelastung beim Fahrer überhaupt auswirken? Beim Heranziehen des Subsystems „Mensch“ lässt sich dieser Sachverhalt klären. Zunächst muss generell zur Bearbeitung von Aufgaben Information aufgenommen werden. Meistens handelt es sich hierbei um visuelle Information, wobei gerade in Verbindung mit der Fahraufgabe ein so genannter „bottleneck“ an dieser Stelle entstehen kann, da zur gleichen Zeit nicht mit einem einzigen Blick auf den Straßenverkehr und z.B. auf ein Display im Fahrzeug geachtet werden kann. Es entstehen möglicherweise Verkehrsblindzeiten, die zu einer Zusatzbelastung und auch zu einer verschlechterten Fahrperformanz führen können. Theoretisch lässt sich dieser Engpass beheben, indem unterschiedliche Sinneskanäle genutzt werden. Die nächste Ebene, auf der es zu Interferenzen kommen kann, ist auf der Stufe der Informationsverarbeitung angesiedelt. Kommt es bei der Verarbeitung bestimmter Informationen zu Überschneidungen gemäß dem Modell der multiplen Ressourcen (Wickens, 1984, Abbildung 6.1), so kann der Fahrer versuchen, durch eine vermehrte Anstrengung oder durch eine Anpassung der Fahrweise eine mögliche Überbeanspruchung zu vermeiden. Frei von Interferenzen wäre demnach z.B. die Darbietung visueller, räumlicher Bildinformation und das Zuhören im Radio, da beide Informationen über unterschiedliche Sinneskanäle aufgenommen werden und unterschiedliche Bereiche im Arbeitsgedächtnis betreffen.

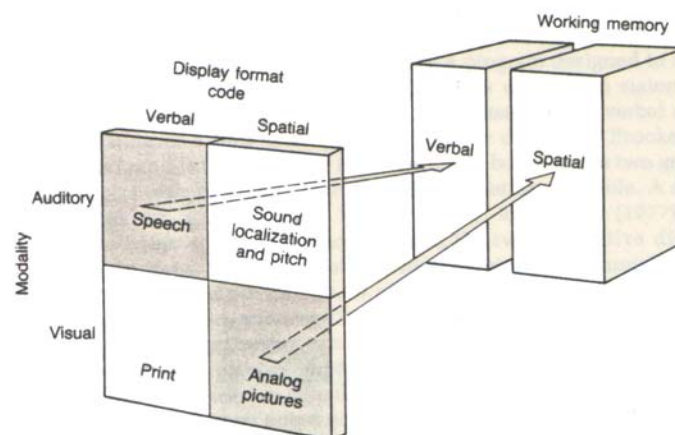


Abbildung 6.1: Optimale Informationsdarbietung mittels zweier Kanäle ohne Interferenzerscheinungen

Andererseits relativieren Befunde von McCraley (2002) und Alm & Nilsson (1995) das Wickens'sche Modell. Sie stellten eine Interferenz der Fahraufgabe durch verbale Konversation fest. Ebenso finden Banbury et al. (2001) Hinweise darauf, dass bestimmte Arten von auditiven Reizen unterschiedlich starken Einfluss auf die Konzentrationsfähigkeit haben. Je größer eine akustische Änderung (Klangfarbe, Tonhöhe, jedoch nicht Lautstärke) ist oder je stärker das Reizmaterial auf semantischer Ebene mit der eigentlichen Aufgabe interferiert, desto schlechter ist die Aufgabenqualität.

Auf der Ebene der Informationsumsetzung oder Motorik, können ebenfalls Fehler auftreten. Dies ist der Fall wenn Zusatzgeräte und Bedien- und Stellteile, die der primären und sekundären Fahraufgabe dienen, gleichzeitig bedient werden müssen. Sofern keine Interferenz hinsichtlich der gleichzeitigen Bedienung durch ein und das selbe Gliedmaß besteht, kann durch häufiges Üben ein Handlungsmuster antrainiert

werden, wie es z.B. der komplexe Handlungsablauf des Fahrstufenwechsels bei einem konventionellen Schaltgetriebes abverlangt. Abbildung 6.2 zeigt zusammenfassend den Einfluss von Zusatzaufgaben auf die angesprochenen Ebenen.

Die Zusatzaufgaben des Versuchs wurden derart ausgewählt, dass Fehlermöglichkeiten auf den beiden zuerst genannten Ebenen möglich sind, da diese am häufigsten im Straßenverkehr anzutreffen sind und am ehesten mit realen Zusatzaufgaben korrespondieren. Zudem sind hier die stärksten Auswirkungen auf das Blickverhalten zu erwarten.

Es wurden eine visuelle Zusatzaufgabe, die den Einfluss von optischen Displays auf den Fahrer simulieren soll, und eine akustische Aufgabe, die eher eine mentale Abwendung zum Untersuchungsziel hat, ausgewählt. Letztere trägt dem steigenden Anteil von Zusatzsystemen mit Sprachausgabe Rechnung.



	Wahrnehmung, Informationsaufnahme	Zentrale Verarbeitung	Motorik
Ursache	Ein Display muss abgelesen werden	Informationskonkurrenz, zu viele Informationen	Notwendige Handgriffe z.B. Radio, Telefon
Mögliche Wirkungen	Direkte visuelle Kosten (Verkehrsblindzeit, Dauer und Häufigkeit von Blickablenkungen)	Kompensatorische Fahrhandlungen Vermehrte Anstrengung	Motorische Konkurrenz Blickablenkung
	Zentrale Zusatzbelastung Verschlechterte Fahrleistung	Verschlechterte Fahrleistung durch Überbeanspruchung	Zentrale Zusatzbelastung Verschlechterte Fahrleistung

Abbildung 6.2: Ebenen, auf denen sich eine Zusatzbelastung durch eine secondary task auswirken kann

Die visuelle Zusatzaufgabe ist relativ schwach mental belastend. Der Fahrer kann seine individuelle Abwendungszeit beeinflussen, indem er die Anzahl der bearbeiteten Aufgaben pro Abwendung variiert. Zu diesem Zweck sind die Einzelbearbeitungsdauern der Aufgaben so gering wie möglich (ca. 0,5s), um die Abwendedauer nicht zu stark durch die benötigte Bearbeitungszeit zu triggern. Auf einem Display in der Mittelkonsole des Fahrzeugs werden verschiedene Symbole in einer zufällig ermittelten Reihenfolge sukzessive dargestellt. Wird auf dem Monitor ein Parallelogramm (Target) dargestellt, so soll die Versuchsperson eine hinter der rechten Lenkradspeiche angebrachten Taste drücken. Wird eines der anderen Symbole (Dreieck, Quadrat) dargestellt, so drückt sie die linke Taste. Nach dem Tastendruck erscheint das nächste Symbol. Der Proband entscheidet selbst, wann und wie lange er auf den Monitor blickt. Er kann sich jederzeit wieder dem Verkehrsgeschehen zuwenden. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Target gezeigt wird, beträgt 33%. Das gleiche Symbol kann nicht mehr als dreimal hintereinander erscheinen. Das Programm zur Zusatz-

aufgabenbearbeitung wird durch den Testleiter beim Erreichen des Endes eines Streckenabschnittes beendet.

Bei der akustischen Zusatzaufgabe wird ein Substantiv aus dem vorhandenen Wort-Pool zufällig ausgewählt und über die Lautsprecher des Laptops ausgegeben. Handelt es sich bei diesem Wort um ein Tier, so soll die Versuchsperson die rechte Taste betätigen, ansonsten die linke. Daraufhin wird das nächste Wort ausgegeben und der Zyklus beginnt erneut. Auch hier gibt der Proband durch die Betätigung der Tasten die Bearbeitungsgeschwindigkeit vor. Die Ausgabe eines Wortes dauert im Mittel ca. 1,4s. Die innerhalb eines Streckenabschnittes ausgegebenen Wörter werden nicht noch einmal gezogen. Die Wahrscheinlichkeit, dass aus dem Pool von 79 Wörtern ein Tiername gezogen wird, beträgt ca. 33%. Es wird vermieden, dass ein Target (Tier) mehr als dreimal direkt aufeinander folgt. Diese Aufgabe erfordert prinzipiell keine Blickabwendung vom Straßenverkehr. Auch hier wird die Aufgabe durch den Testleiter beim Erreichen des Endes eines Streckenabschnittes beendet.

Es wurde bei der Konzeption der Aufgaben darauf geachtet, dass sie bestmöglich den Anforderungen an Nebenaufgaben gerecht werden, wie sie z.B. bei Johannsen (1976) aufgezählt werden (Auswahl):

- Die Hauptaufgabe soll von der Nebenaufgabe wenig gestört werden.
- Die Nebenaufgabe soll einfach und schnell erlernbar sein
- Das Tempo der Informationsverarbeitung, der Darbietung der Nebenaufgabe soll von der Versuchsperson bestimmt werden

Vor der eigentlichen Versuchsfahrt wurde die Nebenaufgabe im stehenden Fahrzeug so lange geübt, bis keine nennenswerte Verbesserung der Leistung mehr auftrat. In der Regel war dies bereits nach wenigen Minuten der Fall.

6.2 Versuchsträger

Der Versuchsträger, ein BMW 730iA, Baureihe E32, der für diese Untersuchung von der BMW AG zur Verfügung gestellt wurde, war mit einem Automatikgetriebe ausgestattet. Somit konnte eine mögliche Interferenz auf motorischer Ebene hinsichtlich der Bedienung der beiden Lenkradtasten für die Zusatzaufgabenbearbeitung und der Fahrzeugbedienung reduziert werden. Das Fahrzeug wies für alle Probanden eine ausreichende Kopffreiheit auf, so dass keine Platzprobleme beim Fahren mit dem verwendeten Blickerfassungshelm entstanden.

Die Darbietung der visuellen Zusatzaufgabe erfolgte auf einem, in der Mittelkonsole platzierten Display (Abbildung 6.3). Das Display war vom Fahrer unter einem Blickwinkel von ca. 37-44° in horizontaler und ca. 17-25° in vertikaler Richtung (je nach Fahrergröße und Sitzeinstellung) zu sehen. Dargestellte Zeichen und Objekte können aus diesem Winkel nur foveal erkannt werden, was zur Folge hatte, dass die Probanden für die Bearbeitung der Aufgabe das Display direkt anblicken mussten. Die Ausgabe der auditiven Aufgabe erfolgte über einen in der Nähe des Handbremshebels installierten Lautsprecher, der mit dem Messlaptop verbunden

wurde. Der Mess-Laptop, über den die Sprachausgabe für die auditive und die Ausgabe der Symbole für die visuelle Aufgabe sowie die Erfassung des Messprotokolls erfolgte, wurde wie das Blickerfassungs-Messrack auf der Rücksitzbank befestigt (Abbildung 6.4). Von diesem Platz aus erfolgte auch die Steuerung und Kontrolle eines fahrzeugintegrierten Messsystems für fahrphysikalischen Daten.



Abbildung 6.3: Position des Displays für die visuelle Aufgabe



Abbildung 6.4: JANUS-Messrack, Laptop für die Zusatzaufgabenbearbeitung, Monitor und Tastatur zur Bedienung des fahrzeugfesten Messrechners

Der Rechner des fahrzeugintegrierten Messsystems sowie die komplette Stromversorgungseinheit waren im Kofferraum des Fahrzeuges untergebracht. An der Windschutzscheibe wurde zusätzlich ein kleiner Spiegel befestigt, über den ein mitfahrender Fahrlehrer die Versuchsperson beobachten konnte.

6.3 Versuchspersonenkollektiv

Die Akquisition der Versuchspersonen erfolgte über Aushänge und Mundpropaganda. Die Probanden sollten bei normalen Körperproportionen nicht über 190 cm groß sein, damit durch den Helm nicht mit Beeinträchtigungen in der Kopffreiheit gerechnet werden musste. Bei Brillenträgern waren die Infrarot-Dioden des Blickerfassungssystems so eingestellt, dass keine Störreflexe in den Gläsern auftraten.

Insgesamt nahmen am Hauptversuch 30 Personen teil (7 Frauen, 23 Männer), wobei diese aus dem zuvor genannten Grund in zwei relativ ähnliche Teilgruppen A und B à 15 Personen eingeteilt wurden. Das Kriterium der Ähnlichkeit wurde mit der Bedingung verknüpft, dass beide Gruppen hinsichtlich der Fahrpraxis, der Altersstruktur und der Zusammensetzung mit weiblichen und männlichen Probanden vergleichbar sind. Die Altersverteilung des Kollektivs wird aus Abbildung 6.5 ersichtlich. Das Alter der Probanden variiert zwischen 20 und 73 Jahren, wobei der Mittelwert 37,4 Jahre und die Standardabweichung 14,1 Jahre beträgt.

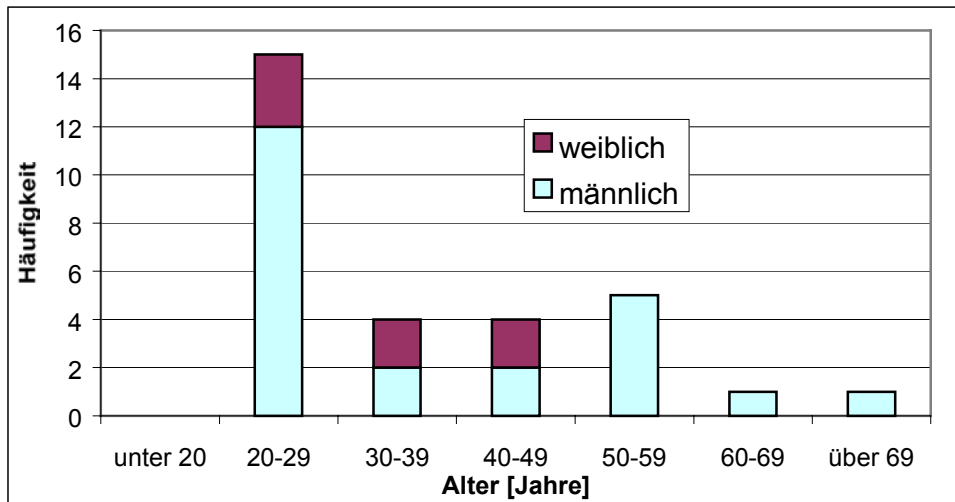


Abbildung 6.5: Altersverteilung des Versuchspersonenkollektives

In Abbildung 6.6 ist die Häufigkeitsverteilung der Fahrpraxis des Versuchspersonenkollektivs dargestellt. Die Fahrpraxis wurde dabei anhand des Kriteriums der bisher zurückgelegten Wegstrecke festgelegt. Nach Fastenmeier (1995) gelten dabei Personen mit einer Fahrpraxis über 100.000 km als erfahrene Fahrer.

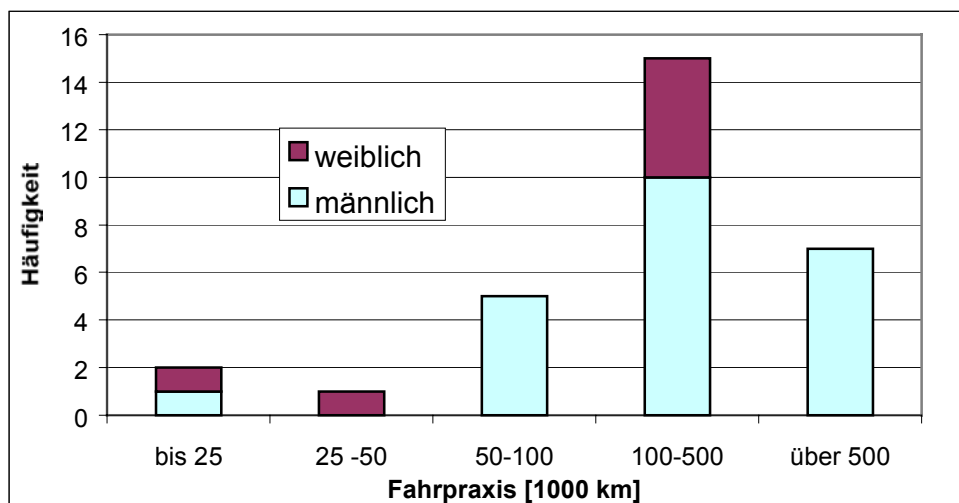


Abbildung 6.6: Häufigkeitsverteilung der Fahrpraxis, festgelegt am Kriterium der bisher gefahrenen Kilometer

Vor dem Beginn der eigentlichen Messreihe wurden die Versuchspersonen gebeten, sich während der Fahrt so natürlich wie möglich zu verhalten und sich möglichst keine Gedanken über die vorhandene Messapparatur sowie den mitfahrenden Testleiter und Beobachter zu machen. Ihnen wurde mitgeteilt, dass der mitfahrende Beobachter Notizen zu den Verkehrssituationen mache und erhobene Daten anonymisiert werden. Außerdem wurde jede Versuchsperson darauf hingewiesen, dass sie alleine die Verantwortung für das sichere Fahren im Straßenverkehr trägt. Es wurde darum gebeten, sich während der Fahrt nicht länger mit den mitfahrenden Personen zu unterhalten oder Kaugummi zu kauen, um ein Verrutschen des Messhelms des Blickerfassungssystems zu unterbinden.

6.4 Versuchsstrecke

Die ca. 33 km lange Versuchsstrecke beinhaltet neun ausgewählte Streckenabschnitte, die Gegenstand der Untersuchung sind (Abbildung 6.7). Die Auswahl der Strecke, die sich ca. 15 km nördlich von München befindet, erfolgte unter der Beachtung bestimmter Kriterien. Wichtig war zum einen, dass repräsentative und typische Streckenabschnitte, wie z.B. Autobahn-, Landstraßenabschnitte und Ortsdurchfahrten enthalten sind. Zum anderen sollten diese Abschnitte räumlich nahe beieinander liegen, um die Versuchsdauer nicht unnötig zu verlängern. Es wurde darauf geachtet, dass die Gesamtversuchsdauer wegen evtl. auftretenden Ermüdungserscheinungen der Probanden nicht über 2,5h beträgt. Aus Gründen der Verkehrssicherheit und unabsehbaren Haftungsfolgen, war es nach Absprache mit einem mitfahrendem Beobachter nicht zu verantworten, die Probanden bei hochkomplexen Situationen, wie sie z.B. beim Auffahren auf Autobahnen bei dichtem Verkehr entstehen können, mit den Zusatzaufgaben zu belasten. Die Auswahl beschränkt sich deshalb auf niedrig- und mittel-komplexe Verkehrssituationen.

Um relativ konstante äußere Fahrbedingungen zu gewährleisten, wurden Abschnitte gewählt, bei denen die Verkehrsdichte über den Versuchszeitraum (Urlaubszeit August/ September 8-18 Uhr) nicht zu sehr schwankt. Die Anfahrt bis zum Versuchsstreckenbeginn war zudem nicht weit vom Ausgangspunkt, dem Campus der TU München in Garching entfernt.



Abbildung 6.7: Versuchsstrecke mit neun untersuchten Streckenabschnitten

Es folgt eine genauere Beschreibung der aufgeführten Streckenabschnitte, wobei zu beachten ist, dass aus den in Abschnitt 7.1.5 aufgeführten Gründen nicht alle Abschnitte komplett analysiert wurden.

Abschnitt Ortsdurchfahrt1 (OD1)

Der Abschnitt liegt im Ort Garching, die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt durchgehend 50km/h. Es gibt eine Fahrspur pro Richtung, insgesamt zwei verkehrszeichengeregelte Einmündungen (je eine pro Seite) und eine Kreuzung, wobei die Versuchsperson immer Vorfahrt hat. Der Abschnitt beinhaltet eine leichte Linkskurve. Es herrscht reger entgegenkommender und vorausfahrender Verkehr. Fußgänger sind häufig an den Bushaltestellen oder auf Fußwegen anzutreffen. Es gibt ein „natürliches“ Ablenkungspotenzial durch vorhandene Schaufenster und Werbetafeln. Wegen der potenziellen Unfallgefahr aufgrund der Fußgänger und des erhöhten Verkehrsaufkommens wurde nur die auditive Zusatzaufgabe bearbeitet.

Abschnitt Ortsannäherung1 (AN1)

Dieser Streckenabschnitt liegt außerhalb geschlossener Ortschaften. Die Geschwindigkeitsbegrenzung beträgt zunächst 60km/h, wird dann aufgehoben und führt über 80km/h und 60km/h zum Ortsschild mit 50km/h-Begrenzung. Es gilt bis zum Schild „Ende aller Streckenverbote“ und nach Beginn des Geschwindigkeitstrichters ein Überholverbot. Die Strecke beinhaltet eine leichte Linkskurve. Knotenpunkte sind keine vorhanden. Ein Schild weist auf eine Verkehrsampel in wenigen hundert Metern Entfernung hin. Es herrscht sowohl starker Gegen- als auch Kolonnenverkehr in der eigene Fahrrichtung. Bis kurz vor Ortsbeginn existieren nur wenige, vom Verkehr ablenkende Objekte. Bei diesem Abschnitt konnten beide Arten von Zusatzaufgaben bearbeitet werden.

Abschnitt Ortsdurchfahrt2 (OD2)

Dieser Fahrabschnitt ist dadurch charakterisiert, dass er ebenfalls innerhalb einer geschlossenen Ortschaft liegt (Garching-Hochbrück). Die zulässige Höchstgeschwindigkeit liegt durchgehend bei 50km/h. Die Streckenführung der insgesamt zweispurigen Fahrbahn beinhaltet drei T-Kreuzungen, wovon eine auf die Gegenspur einmündet, eine Betriebsausfahrt und zwei leichte Linkskurven. Bei den verkehrszeichengeregelten Knotenpunkten hat die Versuchsperson Vorfahrt. Meist herrscht reger Verkehr, sowohl in Fahrt- als auch in Gegenrichtung. Fußgänger sind selten in dieser Situation anzutreffen. Vorhandene Verkehrszeichen sind für die Versuchsfahrer nicht blickrelevant, da es sich um Wegweiser und Richtzeichen (Vorfahrt) handelt. Nachdem die Strecke zuvor schon befahren wurde, weiß die Versuchsperson, dass sie hier immer Vorfahrt hat. Es existiert ein Ablenkungspotenzial durch vorhandene Schaufenster und Werbetafeln. Beide Arten von Zusatzaufgaben wurden bei diesem Abschnitt angeboten.

Abschnitt Landstraße1 (LA1)

Dieser Kraftfahrstraßenabschnitt besteht aus jeweils zwei, baulich voneinander getrennte Fahrspuren pro Fahrtrichtung. Das Tempolimit wird durch sechs Verkehrszeichen (80 (5x) auf 60 (1x)) angegeben. Es ist dabei anzumerken, dass die Beschilderung wegen einer Veranstaltung während der Versuchszeitperiode bei einigen Fahrten abgeändert wurde (80-60-80-80-60). Die zuerst gerade Streckenführung enthält eine langgezogene Rechts- und eine S-Kurve. Es gibt eine Kreuzung, die durch Beschilderung geregelt ist. Das Verkehrsaufkommen ist als gering zu bewerten. Außer den zuvor erwähnten Tempobegrenzungsschildern muss ein

Gefahrenschild beachtet werden. Ablenkungen können durch vereinzelte Hinweistafeln entstehen. Es wurden neben der Referenzfahrt Fahrten mit beiden Zusatzaufgaben durchgeführt.

Abschnitt Autobahn1 (AB1)

Es handelt sich um einen geraden Autobahnabschnitt mit Standstreifen, der in jeder Fahrtrichtung auf drei Fahrspuren befahrbar ist. Bis auf wenige Fahrten, bei denen eine noch weit entfernte Baustelle die Ursache einer Geschwindigkeitsbegrenzung war, galt die Richtgeschwindigkeit von 130km/h. Der untersuchte Abschnitt enthält keine Ab- bzw. Auffahrten. Das Verkehrsaufkommen ist als gering bis mittel einzustufen. Zu beachten sind das temporär aufgestellte Tempobegrenzungs- und Gefahrenzeichen. Es wurden beide Zusatzaufgaben bearbeitet.

Abschnitt Autobahn2 (AB2)

Der Abschnitt besteht aus einer sechsspurigen Autobahn mit Standstreifen, auf der per Leitsystem wechselnde Höchstgeschwindigkeiten zwischen 80 und 120 km/h vorgeschrieben sind. Die gerade Strecke enthält eine Autobahnab- bzw. Auffahrt. Es herrscht meist dichter Kolonnenverkehr. Bezüglich der Beschilderung muss nur einmal das installierte Leitsystem beachtet werden. Aufgrund der hohen Verkehrsdichte wurde auf die visuelle Zusatzaufgabe verzichtet.

Abschnitt Ortsannäherung2 (AN2)

Dieser Abschnitt befindet sich außerhalb eines geschlossenen Ortes. Die zulässige Geschwindigkeit beträgt 100km/h und wird schrittweise über 80km/h auf 50km/h (Ortschaftsbeginn) reduziert. Pro Fahrtrichtung gibt es eine Fahrspur, wobei keine Kurven oder Knotenpunkte enthalten sind. Es herrscht meist erhöhter Gegenverkehr, aber in gleicher Fahrtrichtung freie Fahrt. Es wurden beide Zusatzaufgabentypen bearbeitet.

Abschnitt Landstraße2 (LA2)

Die Landstraße2 ist ein Abschnitt mit je einer Fahrspur pro Richtung, auf dem eine höchstzulässige Geschwindigkeit von 100km/h erlaubt ist. Es gibt keine Knotenpunkte, aber eine S-Kurve, bei der die Geschwindigkeit zuerst auf 80km/h und dann auf 50 km/h begrenzt ist. Meist ist kein Gegenverkehr oder Verkehr vor dem eigenen Fahrzeug zu erwarten. Außer den oben angesprochenen Verkehrszeichen zur Geschwindigkeitsbegrenzung warnt noch das Schild „Vorsicht Kurve“. Es konnten beide Zusatzaufgabentypen bearbeitet werden.

Abschnitt Ortsdurchfahrt3 (OD3)

Hier handelt sich um eine Ortsdurchfahrt (Dietersheim), die parkende Fahrzeuge als potenzielle Hindernisse enthält. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt durchgehend 50 km/h, die aufgrund der dichten Aufeinanderfolge von Rechts- und Linkskurven nicht immer ausgeschöpft werden kann. Der Abschnitt enthält drei T-Einmündungen, davon zwei auf der linken Straßenseite, welche alle durch Beschilderung geregelt sind. Die Versuchsperson hat immer Vorfahrt. Es herrscht in beiden Richtungen ein gerin-

ges Verkehrsaufkommen. Außer den manchmal vorhandenen Fußgängern muss auch ein Gefahrenschild beachtet werden. Wegen der höheren Komplexität der Situation wurde auf die Bearbeitung der visuellen Aufgabe verzichtet.

Zusammenfassend sind in Tabelle 6.2 die einzelnen Streckenabschnitte bezüglich ihrer Unterschiede nach der Taxonomie von Fastenmeier (1995) aufgelistet (s. Abschnitt 4.2). Anhand dieser Kriterien lässt sich durch den Vergleich mit ähnlichen, bei Fastenmeier aufgeführten Situationen qualitativ festlegen, wie groß die Anforderungen der Strecke an den Fahrer bezüglich der Fahrzeugbedienung, der Informationsaufnahme und –verarbeitung sind, was durch den Komplexitätsgrad ausgedrückt wird. Zusätzlich ist angegeben, welche Art von Zusatzaufgabenbearbeitung gefordert war.

Tabelle 6.2: Anwendung der Situationstaxonomie auf die Streckenabschnitte (in alphabetischer Reihenfolge)

Abschnitt	Komplexität	Aufgaben	Code nach Taxonomie
Autobahn1	Niedrig	Referenz, auditiv, visuell	A1-H0-V0-K3-E0-Ü0-FE0-FV1-FG0-T0
Autobahn2	Niedrig	Referenz, auditiv	A1-H0-V0-K3-E0-Ü0-FE0-FV1-FG0-T2
Landstraße1	Niedrig-Mittel	Referenz, auditiv, visuell	L1-H1-V0-K3-E0-Ü0-FE0-FV0-FG0-T1
Landstraße2	Mittel	Referenz, auditiv, visuell	L2-H1-V1-K0-E0-Ü0-FE0-FV0-FG0-T1
Ortsan- näherung1	Mittel	Referenz, auditiv, visuell	L1-H1-V1-K0-E0-Ü0-FE1-FV1-FG0-T1
Ortsan- näherung2	Niedrig	Referenz, auditiv, visuell	L1-H0-V0-K0-E0-Ü0-FE1-FV0-FG0-T1
Ortsdurch- fahrt1	Mittel	Referenz, auditiv	C4-H1-V0-K3-E0/E1-F0-Ü0-FE1-FV1-FG1-T2
Ortsdurch- fahrt2	Mittel	Referenz, auditiv, visuell	C4-H0-V0-K3-E0-F0-Ü0-FE1-FV1-FG0-T2
Ortsdurch- fahrt3	Mittel	Referenz, auditiv	C6-H1-V0-K3-E0/E1-Ü0-FE0-FV0-FG1-T2

In vorliegender Untersuchung geht es um die visuelle Komplexität, so dass speziell diese komplexitätsbestimmenden Faktoren genauer betrachtet werden müssen. Offensichtlich spielt hauptsächlich das Vorhandensein entgegenkommender und vorausfahrender Fahrzeuge, von Knotenpunkten und von Kurven eine Rolle. Es

müssen also zusätzlich diese Faktoren einzeln für sich betrachtet werden. Denn bei gleichem Komplexitätsgrad kann dieser subsumierte Wert aus unterschiedlichen Faktoren zusammengesetzt sein. Darum wird im Rahmen dieser Arbeit ein weitergehender Ansatz benutzt, in dem die für das Blickverhalten relevanten Komplexitätsfaktoren eines Streckenabschnittes einzeln dargestellt werden. In Abbildung 6.8 ist die Zusammensetzung dieses eigenen Komplexitätsindex dargestellt. Bei den Einflussfaktoren „Kurven“ und „Knotenpunkte“ werden die Anzahl dieser Objekte herangezogen. Weiterhin wird für das „Vorhandensein vorausfahrender Fahrzeuge“ als Vergleichsmaßstab der mittlere zeitliche Anteil, bei dem im konkreten Streckenabschnitt auf vorausfahrende Fahrzeuge geblickt wurde, ermittelt. Das „Vorhandensein entgegenkommender Fahrzeuge“ wird mit der mittleren Anzahl dieser Fahrzeuge erfasst. Anschließend werden den Abschnitten mit Hilfe dieser Kriterien innerhalb einer Kategorie die Ausprägungen 0,1 oder 2 (entspricht niedrig, mittel, hoch) zugeordnet. Diese Prozedur ermöglicht nun eine Zusammenfassung zu einem Gesamtindex mit einer maximalen Ausprägung von 12 Punkten (4 Faktoren mit jeweils 3 Ausprägungen). Dies ist eine pragmatische und einfach nachzuvollziehende Vorgehensweise, die keine Gewichtung zwischen den Faktoren vornimmt. Es ist aus diesem Grunde davon abzusehen, die dargestellte Reihenfolge als feste Komplexitätsstufen zu interpretieren. Vielmehr ist sie aufgrund der Grauzonen als Anhaltspunkt für die Einflussgrößen der visuellen Komplexität zu verstehen. Diese Darstellung hat den Vorteil, dass die wichtigsten Größen einfach visualisiert werden können. Diese Wertung entspricht qualitativ der zuvor ermittelten Vorgehensweise nach Fastenmeier, wobei die eigene Methodik hier eine feinere Differenzierung erlaubt.

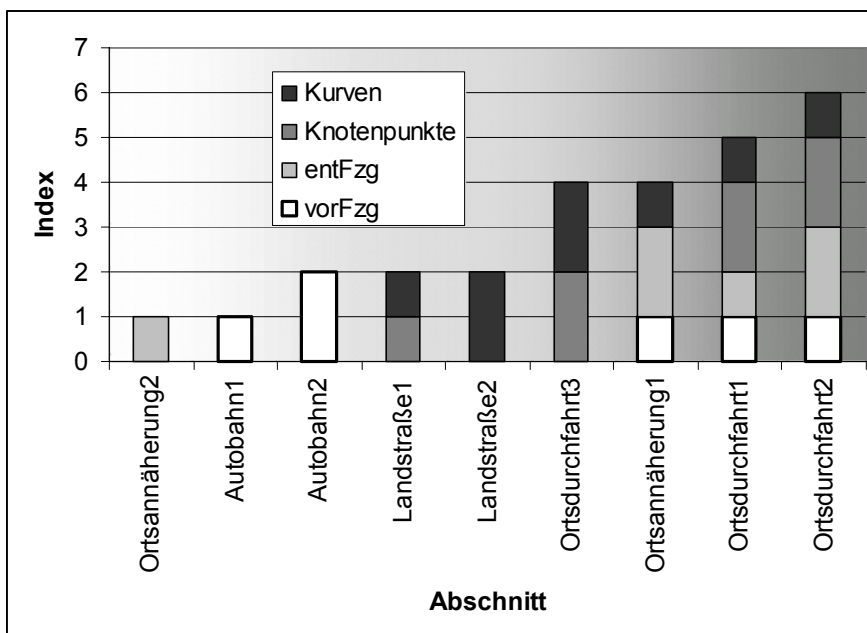


Abbildung 6.8: Zusammensetzung des Komplexitätsindex für die einzelnen Streckenabschnitte

7 Datenaufnahme und Methode

7.1 Das Blickfassungssystem JANUS

Im Gebiet der Arbeitswissenschaft wird üblicherweise ein Methodeninventar verwendet, welches drei Ebenen hinsichtlich der Auswirkungen der auf den Menschen einwirkenden Belastung unterscheidet. Diese Ebenen beziehen sich auf Änderungen in der Leistung und Qualität der Aufgabenbearbeitung, auf physiologische Veränderungen und auf das subjektive Empfinden oder Verhalten des Menschen. Die Analyse von Blickbewegungen kann, je nach Untersuchungsschwerpunkt, allen Ebenen zugerechnet werden.

Die Methode der Blickregistrierung ist inzwischen ein Standardverfahren das nicht nur zur Beobachtung des Fahrerverhaltens, sondern auch bei Usabilitytests, z.B. bei der Gestaltung von Websites (Schweigert & Fukuda, 2001), bei der Analyse von Prüftätigkeiten in der Bekleidungsindustrie (Stowasser, 1999) oder in der Kosmetikindustrie (Kobayashi et al., 2000) eingesetzt wird.

Die Interpretation von Blickbewegungen als Indikator mentaler Prozesse unterliegt nach Schroiff (1986) folgenden Voraussetzungen:

1. Das angeblickte Objekt ist Gegenstand der momentanen mentalen Verarbeitung.
2. Die Fixationsdauer entspricht der Dauer der mentalen Verarbeitung.
3. Fixationssequenzen spiegeln serielle Prozesse der Informationsverarbeitung wider.

Während die Punkte 1 und 3 zutreffend sind, bereitet der Punkt 2 im konkreten Fall der Fahrzeugführung Schwierigkeiten: Richtig ist diese Annahme sicherlich bei zeitkritischen Prozessen. Der Fahrer wird z.B. nicht länger auf den Tachometer blicken, als er für die Wahrnehmung der darauf enthaltenen Information benötigt. Blickt der Fahrer auf ein vorausfahrendes Fahrzeug oder auf die Straße, so bedeutet das aber nicht zwingend, dass bei abgeschlossener mentaler Verarbeitung automatisch eine neue Fixationsstelle aufgesucht wird.

Zur Blickbewegungsmessung existiert eine Reihe an Verfahren und Systemen, die unterschiedliche Vor- und Nachteile besitzen. Einen Überblick über diese verschiedenen Systeme bietet z.B. Rötting, (1999b) oder Partmann et al. (1996). Unterschiede ergeben sich hinsichtlich der Methode der Blickfassung (z.B. Cornea-Reflex-Methode, Limbustracking, EOG), des damit verbundenen örtlichen und zeitlichen Messbereichs, der Auflösung und der Genauigkeit. Mit den meisten Blickfassungssystemen, wie auch mit dem vom Lehrstuhl für Ergonomie entwickelten System JANUS lassen sich Videos erstellen, die das Gesichtsfeld der Probanden aufzeichnen. Zusätzlich eingeblendet ist der zeitlich veränderliche Blickpunkt in Form eines Markers. Mit diesem Material ist zunächst eine subjektive Bewertung des Blickverhaltens durch einen erfahrenen Beobachter ohne größeren Aufwand möglich. Komplexer gestaltet sich die Frage, wie mit diesem Rohmaterial das Blickverhalten quantifiziert werden soll.

7.1.1 Aufbau von JANUS

JANUS (Abbildung 7.1) ist ein am Lehrstuhl für Ergonomie der TU München entwickeltes System zur Registrierung von Blickbewegungen. Mit JANUS können die Versuchsfahrten „aus der Sicht des Fahrers“ aufgezeichnet werden.

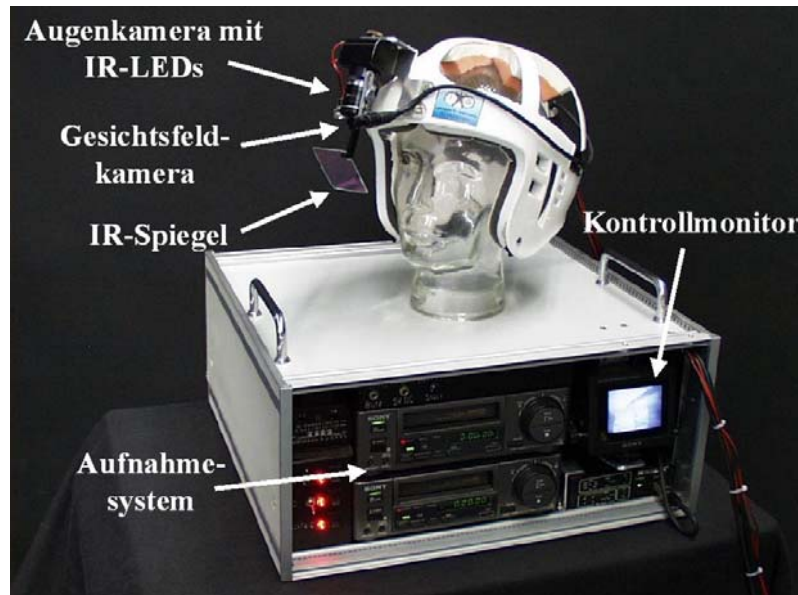


Abbildung 7.1: Das Blickerfassungssystem JANUS

Mit einer Farbkamera am Helm von JANUS wird ein Großteil des Gesichtsfeldes aufgezeichnet. Eine ebenfalls montierte s/w-Kamera registriert die Bewegungen des rechten Auges. Dieses wird zur Erzeugung konstanter Kontrastverhältnisse mit zwei Infrarot-Dioden beleuchtet. Die beiden Bildinformationen werden auf Hi8 aufgezeichnet und mittels Blitzsignal und Time-Code zeitlich synchronisiert (s.a. Gengenbach, 1997).

Die Augenbildinformation wird in Größe und Lage der Gesichtsfeldinformation mittels einer 3-Punkt-Kalibrierung angepasst und dieser überlagert dargestellt. Die Anpassung der Videosignale erfolgt am PC mit Hilfe einer speziellen Videoschnitt-Software. Als Ergebnis erhält man einen so genannten Blickfilm, in dem entweder der Mittelpunkt der dargestellten Pupille (Methode JANUS I) oder ein eingblendeter Marker als Indikator der Blickrichtung dient (Methode JANUS II, Abbildung 7.2). Die Genauigkeit von JANUS beträgt im statischen Fall (ohne Schwingungen im System) ca. $1,5^\circ$ im Zentrum des Gesichtsfeldbildes und ca. 4° am Rande. Der Helm ist mit einem Gewicht inkl. Kameras von ca. 580 g relativ leicht und in drei verschiedenen Größen verfügbar. Damit sind Versuchsdauern von bis zu 90 Minuten möglich, ohne das Wohlbefinden der Versuchspersonen zu stören.

7.1.2 Das Modul JANUS II

Da bei Dunkelheit die Pupille recht groß werden kann, konnten mit dem bisherigen System Versuche im Fahrsimulator oder Nachtversuche nicht zuverlässig ausgewertet werden. Zudem bewirkt die Einblendung der Pupille in das Szenenbild einen Kontrastverlust des Videobildes und erschwert die Auswertung. Außerdem könnte die Genauigkeit weiter erhöht werden, da bei der Methode JANUS I Fehler durch die Linsenverzerrung und aufgrund der linearen Überlagerung der Videobilder nicht

hinreichend kompensiert sind. Die Weiterentwicklung von JANUS war somit ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit.

Aufbauend auf den Erfahrungen von Beranek (1996) wurden Algorithmen zur automatischen Pupillenerkennung weiterentwickelt. Das neue System erkennt den Pupillenmittelpunkt automatisch, berechnet die Koordinaten des Sehstrahls und blendet die Blickrichtung als Marker ein. Alle oben beschriebenen Schwachpunkte des ursprünglichen Systems konnten beseitigt werden. Außerdem kann nun das Blickverhalten auch online, also bereits während der Versuchsdurchführung, ermittelt werden, was eine Zeitersparnis von ca. 50% mit sich bringt. Davon unberührt bleibt jedoch die Möglichkeit, das Blickverhalten nach der Methode I zuerst auf Band aufzuzeichnen und a posteriori auszuwerten.

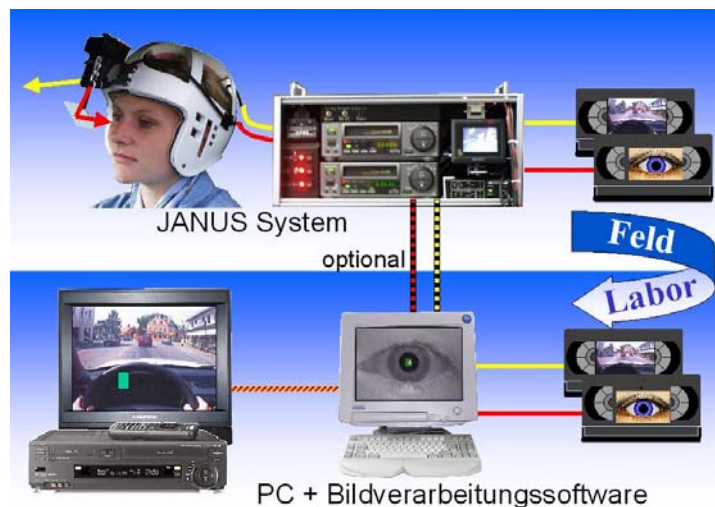


Abbildung 7.2: Prinzip der Blickfilmerstellung nach dem JANUS II Prinzip

7.1.3 Beschreibende Größen von Blickbewegungen

Wie bereits beschrieben wurde, wird in dieser Arbeit zwischen Blicken und Fixationen unterschieden. Je nachdem, auf welchen der beiden Begriffe man sich bezieht, können die weiter unten beschriebenen Parameter sowohl zur Analyse von Blicken als auch von (Einzel-)Fixationen herangezogen werden. Zur Vereinfachung wird im Folgenden nur noch von Blickbewegungen gesprochen.

Die Analyse von Blickbewegungen beinhaltet zwei Dimensionen. Zum einen enthält sie die räumliche Dimension des Blickortes, die entweder mit Hilfe von Koordinaten, seiner definierten Objektklasse (auch aoi = "area of interest", z.B. Fahrbahn, Tacho) oder seines Inhaltes (Interpretation) bzgl. der Fahraufgabe beschrieben werden kann. Zum anderen spielt die zeitliche Dimension, die Blickdauer auf den aoi, eine wichtige Rolle.

Das Blickverhalten kann z.B. mit Hilfe von **Blicksequenzdiagrammen** visualisiert werden. Wie Abbildung 7.3 zeigt, ist dem Diagramm die Sequenz aufeinanderfolgender Blicke sowie deren Blickort und –dauer zu entnehmen. Die Durchsicht der Literatur zeigt jedoch, dass die grafische Darstellung des Blickverhaltens nicht stark verbreitet ist.

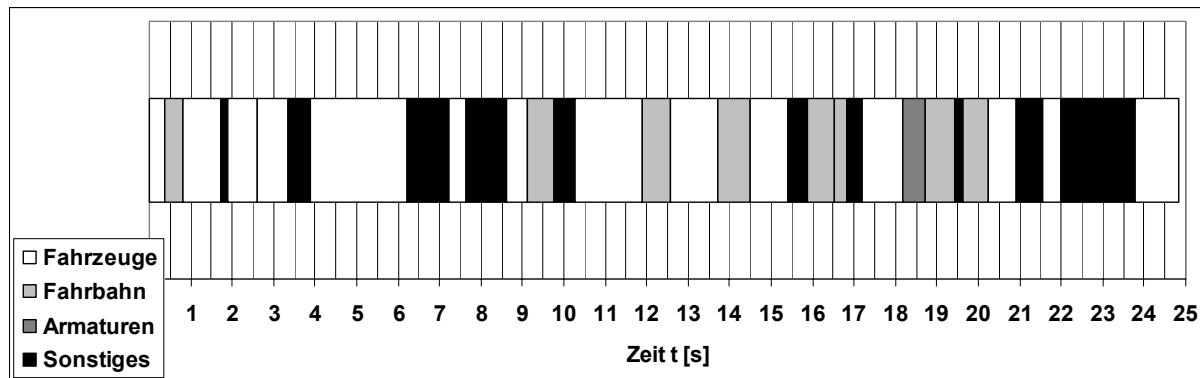


Abbildung 7.3: Blicksequenzdiagramm mit Zeitachse

Einen Überblick über Parameter von Augen- und Blickbewegungen, welche im weiten Feld der Beanspruchungsforschung Anwendung finden, bietet z.B. Rötting (1999a). Nachdem in vorliegender Arbeit das Blickverhalten von Interesse ist, werden im Folgenden nur die mit der aufgenommenen Information in Zusammenhang stehenden Blickbewegungsparameter betrachtet.

Zeitbezogene Parameter, wie z.B. Fixations- respektive Blickdauern (bzw. Verweildauern) sind die wohl am häufigsten benutzten Parameter des Blickverhaltens. Dabei ist, im Gegensatz zu vorliegender Untersuchung, die Unterscheidung dieser Dauern auf unterschiedliche Blickkategorien nicht sehr weit verbreitet. Viele Settings, besonders bei Untersuchungen des Leseverhaltens, legen die Annahme zu Grunde, dass die Fixationsdauer in hohem Maße mit der mentalen Verarbeitungsgeschwindigkeit des Gelesenen korreliert. Diese Dauern lassen sich nun mitteln, Modalwerte und Perzentile können bestimmt werden, ebenso wie Häufigkeitsverteilungen usw. Es ist lediglich dabei zu beachten, welches Maß für welche Art von Fragestellung sinnvoll erscheint. Einzelne Werte, wie z.B. die so genannte first pass gaze duration (ISO/CD 15007), welches ein Maß für das Erkennen eines Objekts ist und der Dauer des ersten Blickes auf ein Objekt entspricht sind ggf. einzusetzen.

Anzahlbezogene Parameter sind einfacher zu erheben, da die Anzahl von Fixationen oder Blicken mit geringerem Aufwand messbar ist als die Zeitdauern. Auch hier kann sich die Auswertung auf einzelne voneinander unterscheidbare aoi oder Koordinatenbereiche beziehen, oder es kann die Gesamtanzahl bestimmt werden. Sowohl die absolute Anzahl kann herangezogen werden als auch relative Größen. Natürlich finden auch hier die Methoden der deskriptiven Statistik ihre Anwendung.

Weiterhin sind **bezogene Größen** wie z.B. die Anzahl von Fixationen pro Blick oder die Anzahl von Fixationen pro auftretendes Sehobjekt von Interesse. Eine Normierung kann auch hinsichtlich der Zeit erfolgen. Ebenso können Parameter aus der Kombination von Anzahl und Zeitdauer wie z.B. die Fixationsaktivität, bzw. Blickaktivität berechnet werden, welche sich aus der Anzahl von Fixationen (bzw. Blicke) pro Zeiteinheit angeben lassen. Diese Größe kann auch eine Unterscheidung der aoi berücksichtigen (z.B. Anzahl von Fixationen auf den Tachometer pro Minute).

Die bisher beschriebenen Parameter berücksichtigen nicht die chronologische Reihenfolge des Auftretens der Fixationen/Blicke. **Sequenzberücksichtigende Parameter** können z.B. durch Übergangswahrscheinlichkeiten in Markov-Ketten angegeben werden. Aufgrund der exponentiellen Explosion der Möglichkeiten beschränkt man sich zumeist auf Markovanalysen 0. und 1. Ordnung. D.h. es werden nur Auftretswahrscheinlichkeiten eines aoi bzw. Übergangswahrscheinlichkeiten von einem aoi zum zeitlich darauf folgenden ausgewertet (Liu, 1997). Ein anderes Maß wurde

bei Schweigert (1999b) verwendet. Hier war von Interesse, welches Objekt aus einem Objektkatalog als erstes fixiert wurde.

Eine weitere Möglichkeit, das Blickverhalten mit aussagekräftigen Parametern zu beschreiben, liegt in der Generierung von **Summenmaßen**. Ein solches Summenmaß stellt z.B. der von Chi et al. (1997) eingeführte Weighted Search Area (WSA) dar. Dabei wird ein Vektor und ein aufgespannter Bereich (WSA) im Blickfeld erzeugt. Der Vektor errechnet sich aus dem Produkt der Fixationsdauer und der Koordinaten der Blickrichtung, wobei der Koordinatenursprung im Fluchtpunkt (0° Blicklinie) liegt. Das Maß wird mehrmals normiert. Die Vorgehensweise zur Berechnung weist eine starke „Technik-Verliebtheit“ auf, wozu aber die aufwändige Methode wirklich gut ist, bzw. welche Einsatzgebiete konkret vorstellbar sind, geht nicht klar hervor. Die Literatur nach 1997 zeigt, dass sich dieses Maß auch nicht weiter durchgesetzt hat. Der von Schweigert (1998) vorgestellte Scanindex bewertet das Blickverhalten mittels einer Maßzahl zwischen 0 und 100%. Dabei werden per Expertenrating einzelne Fixationen hinsichtlich ihrer Notwendigkeit für die Fahraufgabe mit einer 4-wertigen Skala kategorisiert, kumuliert und schließlich normiert. Ein Wert von 100% bedeutet somit, dass alle Blicke primär fahrrelevant sind. Der ebenfalls generierte visuelle Aufmerksamkeitsindex berechnet sich als Produkt aus Scanindex und der Fixationsaktivität (Fixationen pro Zeit). Er ist somit ein Maß für die bewertete Anzahl fahrrelevanter Fixationen pro Zeiteinheit.

Dennoch wird i.A. die Interpretationsstärke einzelner Fixationen insbesondere beim Führen eines Kraftfahrzeuges als gering eingeschätzt (Möhler, 1987), so dass auch unter dem Gesichtspunkt der Datenreduktion aggregierte Fixationsbeschreibungen und nicht nur Einzelfixationen herangezogen werden müssen. Was darunter zu verstehen ist, wurde im Abschnitt 5 mit der Definition von visuellen Aufgaben für das Autofahren näher erläutert.

7.1.4 Auswertemethode von Blickfilmen mit der Software „Orpheus“

Es wurden zwei Softwaretools zur Auswertung von Blickbewegungen programmiert. Orpheus ist eine Software, die bei der auf analoge Videobänder basierenden Blickanalyse verwendet wird (s. Ueberle, 1999, Littig, 2000). Bei der Auswertung der Filme werden Blicke in Kategorien, den aoi, z.B. Innenspiegel, Tachometer, Fahrbahn eingeteilt. Dazu sieht sich der Auswerter ausgewählte Sequenzen des Blickfilms in slow-motion an und registriert auftretende Fixationen möglichst zeitgleich mittels einer zugeordneten Taste am PC-Nummernblock. Mit Hilfe dieser Codierung wird das Blickverhalten in einem Rohdaten-Protokoll festgehalten, welches die chronologische Reihenfolge dieser Fixationen bzw. deren Kategorien und die dazugehörigen Dauern enthält. „Orpheus“ berechnet mit Hilfe dieser Rohdatenprotokolle eine große Anzahl verschiedener Blickbewegungsgrößen, wie z.B. die relative und absolute Anzahl der Blicke, die dazugehörigen Dauern und Häufigkeitsverteilungen, Zeitanteile der aoi, Übergangswahrscheinlichkeiten usw.

Der Einteilung relevanter und auch gut voneinander zu unterscheidenden Fixationen in aoi fällt eine Schlüsselrolle zu. Wie entsprechende Arbeiten in der Literatur zeigen, ist es üblich, bis zu 10 aoi zu unterscheiden. Auch bei „Orpheus“ ist aufgrund der praktischen Durchführbarkeit die maximale Anzahl von aoi auf 10 beschränkt. Mehr Kategorien sind von einem menschlichen Auswerter aufgrund der Begrenzung des Arbeitsgedächtnisses von 7 ± 2 psychologischen Einheiten nicht in dieser Präzision und geforderten Reaktionsgeschwindigkeit auswertbar. Es ist unbedingt darauf zu achten, dass es für jede potenziell auftretende Fixation eine entsprechende Zuord-

nung geben muss, damit Maße wie z.B. der auf die Anzahl der Fixationen bezogene relative Anteil berechnet werden kann. In Tabelle 7.1 sind die für die Auswertung verwendeten Blickkategorien und deren Definitionen aufgelistet. Es ist nochmals zu betonen, dass hier im Unterschied zur im folgenden Abschnitt beschriebenen Auswertemethode jede einzelne Fixation mit Hilfe dieses Schemas kategorisiert wurde.

Tabelle 7.1: Mit „Orpheus“ ausgewertete Fixationen auf ausgewählte areas-of-interest (aoi)

Fixation	Definition	Fahraufgabenrelevanz
Fahrbahn	Fahrbahn, Fahrbahnbegrenzungen.	I
vorFzg	Vorausfahrende Verkehrsteilnehmer (in gleicher Fahrtrichtung)	I, II, III
entFzg	Entgegenkommende Verkehrsteilnehmer	I, II, III
Vzeichen	Jegliche Art von Verkehrszeichen, darunter Ampeln, Wegweiser, Verkehrsinseln etc.	I,III
rückFzg	Innen- und Seitenspiegel	I,III
Tacho	Fixationen auf den Tachometer	I,III
Sonstiges	Verkehrsunrelevante Objekte, wie z.B. Werbeflakate, Schaufenster, Passanten außerhalb des „Verkehrsbereiches“	IV
Display	Display für visuelle Aufgabe	IV



Abbildung 7.4: Szene aus einem Blickfilm mit einer Auswahl von aoi

Ursprünglich wurden noch die Kategorien „Sicherheit“ (z.B. Schulterblick) und „FG_RF“ (Fußgänger und Radfahrer) registriert, die aber in geringer Anzahl auftraten, so dass sie in der weiteren Betrachtung für die Auswertung mit Orpheus keine Rolle spielen. Zum besseren Verständnis ist in Abbildung 7.4 eine Szene aus einem Blickfilm dargestellt, in dem die verwendeten Fixationskategorien markiert sind.

Alle Objekte, die sich in einem vom Auge ausgehenden kegelförmigen Bereich von ca. 2° Öffnungswinkel, gemäß dem fovealen Bereich der Netzhaut befinden, werden scharf gesehen. In einer Entfernung von 100m hat dieser Bereich bereits einen Durchmesser von ca. 5 Metern (Abbildung 7.5). Sind in diesem Bereich mehrere Objekte, werden sie alle scharf gesehen, d.h. die Klassifizierung solcher Fixationen in getrennte Objekte bzw. Kategorien ist nicht mehr möglich. In diesen Fällen, bei denen der Blick auf den Fluchtpunkt gerichtet ist, wird die Fixation entweder der Kategorie „Fahrbahn“, oder bei einem nicht zu weit vorausfahrendem Fahrzeug der Kategorie „vorFzg“ zugeordnet, auch wenn evtl. andere Objekte, z.B. ein entgegenkommendes Fahrzeug, ebenfalls in den fovealen Bereich fallen.

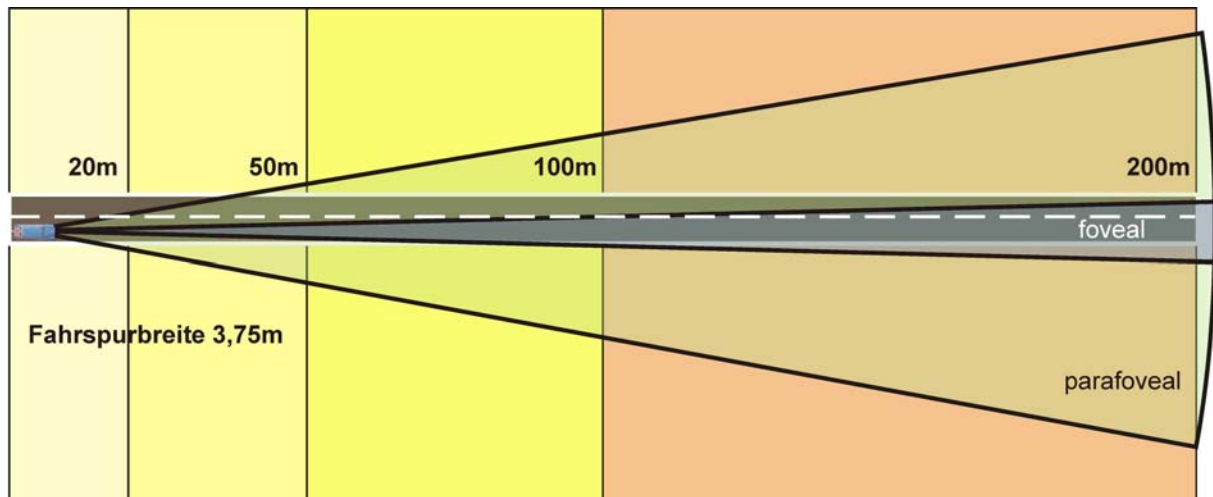


Abbildung 7.5: Fovealer und parafovealer Sichtbereich auf einem geraden Straßenabschnitt

7.1.5 Blickfilmauswertung mit der Software „Ergoplayer“

Die Auswertung mit „Orpheus“ hat systembedingte Nachteile, so dass eine weitere Analyse mit einer anderen Methodik eingesetzt werden muss. Mit „Orpheus“ werden einzelne Fixationen oder Blicke in begrenzter Kategorienanzahl registriert. Nachfolgend wird das ergänzende Tool „Ergoplayer“ vorgestellt, womit basierend auf den Überlegungen des vorherigen Kapitels visuelle Aufgaben in größerer Anzahl analysiert werden können.

Die ebenfalls selbst entwickelte Software „Ergoplayer“ (s. Bader, 2001) kann universell für auf digitalen Videoformaten (mpg- oder avi-Format) basierenden Beobachtungen und Analysen eingesetzt werden. Das Spektrum der Analysemöglichkeiten umspannt dabei nicht nur Anwendungen aus der Ergonomie (z.B. Arbeitsablaufstudien zur Ermittlung der Belastung, Usability-Tests neuer Geräte, Expertenrating zum Fahrerverhalten), sondern auch psychologische oder soziologische Fragestellungen (z.B. Verhaltensbeobachtung von Menschen).

Das manuelle Erfassen von beliebigen Ereignissen, das so genannte Transkribieren, insbesondere die Ermittlung der dazugehörigen Zeitdauern, erweist sich wie bei „Orpheus“ als sehr zeitaufwändig. Der Vorteil des „Ergoplayer“ gegenüber dem Tool „Orpheus“ liegt darin, dass eine Kopplung zwischen dem digitalen Blickfilm und dem Excel-Auswertungsprotokoll besteht. Dies erleichtert Nachbearbeitungen, Änderungen und Plausibilitätsprüfungen. Insofern entfällt die Beschränkung, nur 10 aoi unterscheiden zu können, da auszuwertende Szenen beliebig oft und ohne Zeitdruck (Einzelbildschaltung möglich) analysiert werden können, wobei die Synchronität

zwischen dem Videofile und dem Auswertungsprotokoll immer gewährleistet ist. Nachteilig ist jedoch der Qualitätsverlust, der durch die Komprimierung des analogen Blickfilms in ein digitales Format bedingt ist.

Der Bildschirm von „Ergoplayer“ teilt sich in zwei Bereiche auf (Abbildung 7.6). Der linke Bereich enthält das Videobild und die Schaltflächen für die Steuerung und Auswertung. Mit jeder vorhandenen Videodatei wird ein Excel-Sheet erzeugt, welches sich auf der rechten Seite befindet. Die einzelnen Bereiche weisen mehrere Funktionalitäten auf.

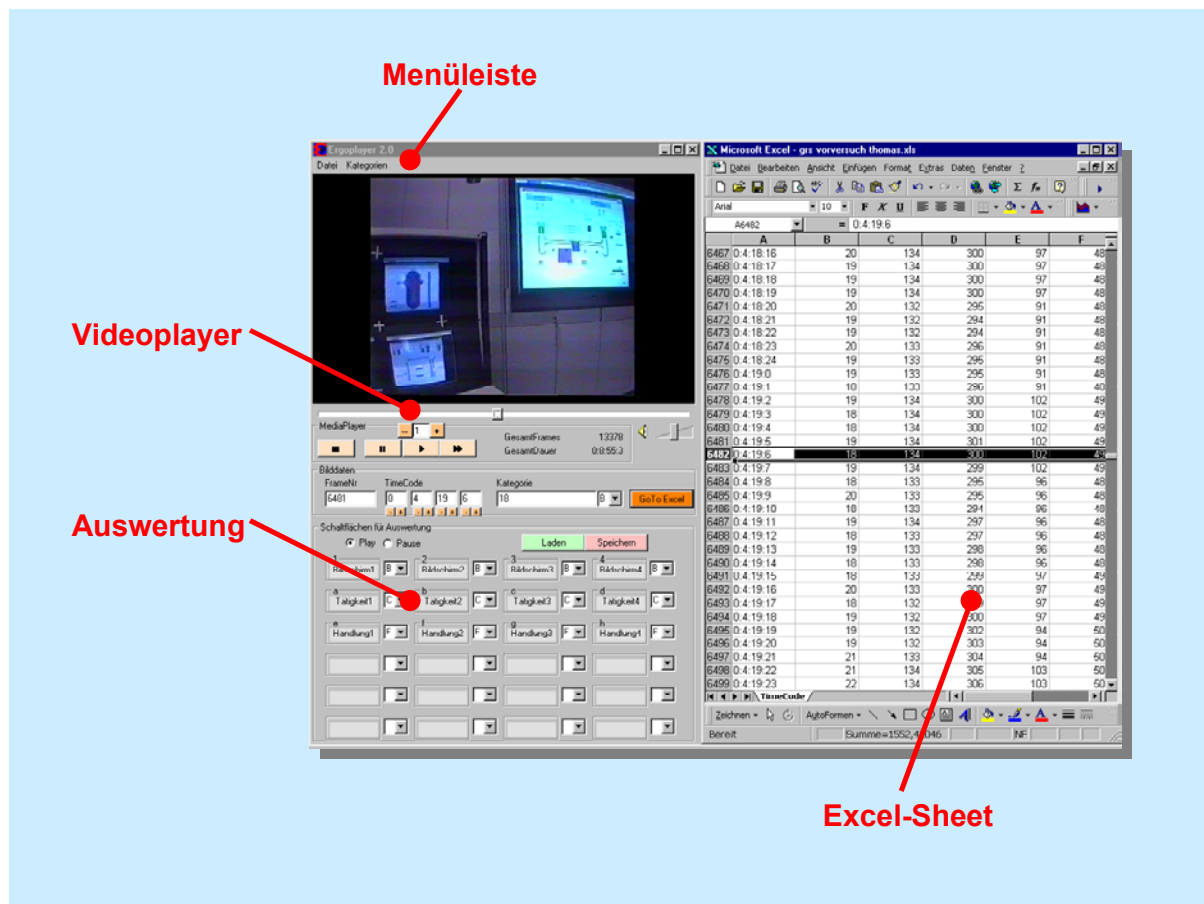


Abbildung 7.6: Screenshot „Ergoplayer“

Das Video lässt sich beliebig u.a. mit den Buttons „Play“, „Stop“, „Pause“, „FastForward“ steuern. Es kann in verschiedenen slow- oder fastmotion-Modi abgespielt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Standbilder über die Eingabe der zeitlichen Position, des TimeCodes anzeigen zu lassen. Eine Statusanzeige informiert über die momentane und relative Position (TimeCode/Balkenanzeige), Gesamtdauer etc. Der Audiokanal lässt sich hinzuschalten und in der Lautstärke ändern.

Es lassen sich bis zu 50 Ereigniskategorien auf den Schaltflächen frei definieren und einzelnen Tasten zuweisen. Diese Zuordnung kann in einer Datei gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt wieder geladen werden. Die Transkribierung von Ereignissen erfolgt entweder durch Mausklick auf die definierten Schaltflächen oder durch Tastendruck. Ereignisse werden dann gemäß ihrer zuvor erfolgten Definition in chronologisch richtiger Zuordnung in die entsprechenden Zellen des Excel-Sheets geschrieben.

Jedes einzelne Videoframe ist mit einer Excel-Zeile verknüpft, was eine framegenaue Auswertung ermöglicht. Außerdem lässt sich das Video auch über die Zeilenauswahl im Excel-Sheet steuern. Zur flexiblen Benutzung des „Ergoplayer“ bleibt die volle Funktionalität von MS Excel unberührt. Mit Hilfe dieses Tools wurden die in Abschnitt 5 definierten visuellen Aufgaben ausgewertet.

Tabelle 7.2 zeigt die ausgewerteten kontinuierlichen visuellen Aufgaben mit ihren jeweiligen Definitionen. In der letzten Spalte wird aufgeführt, woher die Information zur Bewältigung einer visuellen Aufgabe stammen könnte. So kann z.B. die Abschätzung des erforderlichen Sicherheitsabstandes zum vorausfahrenden Fahrzeug nur foveal erfolgen. Ob sich aber ein Fahrzeug neben dem eigenen befindet kann auch peripher gesehen werden. Dieser Punkt ist deswegen aufgeführt, falls beim Feldversuch eine geringe foveale Beobachtung bei manchen Aufgaben festgestellt wird, besser abschätzen zu können, ob die Information nicht auch anders aufgenommen werden kann. Somit relativiert sich ein evtl. vorhandener „schlechter“ Wert bei der visuellen Aufgabenerfüllung. Der Punkt Fahraufgabenrelevanz gibt an, wie wichtig die visuelle Aufgabe im Sinne der in Abschnitt 5.1 aufgeführten Hierarchieebenen für die Fahraufgabe ist.

Tabelle 7.2: Ausgewertete kontinuierliche visuelle Aufgaben

kont. visuelle Aufgabe	Definition	Fahraufgabenrelevanz	Foveal	Peripher	Gedächtnis
Weit	Weite Vorausschau (über 2s Entfernung), kann auch Blicke auf weit vorausfahrende oder entgegenkommende Fahrzeuge enthalten	I, II	X		
Spur	Beobachtung zur Spurhaltung bei Kurvenfahrten (z.B. Tangentenpunkt) im näheren Bereich	I	X		
vorFzg	kontinuierliche Beobachtung des Verhaltens des unmittelbar vorausfahrenden Fahrzeugs	I	X		
SpurFzg	Beobachtung von Fahrzeugen der anderen Fahrspuren in gleicher Richtung	I, II, III	X	X	
rückFzg	kontinuierliche Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs, z.B. vor Spurwechsel mittels Spiegel	I, II, III	X		
Tacho	kontinuierliche Beobachtung des Tachometers	I,III	X		

Speziell bei den kontinuierlichen Aufgaben wurde auf eine sinnvolle Einheit einer visuellen Aufgabe geachtet. Wenn z.B. ein Fahrzeug, das sich auf einer anderen Fahrspur befindet, mit sukzessiven Fixationen beobachtet wird, so zählt dies als ein einzelner Blick. Werden jedoch sukzessive zwei verschiedene Fahrzeuge der gleichen Kategorie (SpurFzg) fixiert, so zählt jedes Fahrzeug bzw. jeder Blick einzeln, da es sich um verschiedene Objekte, also um zwei visuelle Aufgaben handelt. Fixationen auf den nahen Fahrbahnbereich (Kategorie „Spur“) werden als Einzelfixationen

gezählt, da hier die Anzahl der verschiedenen Fixationspunkte zur Bewältigung der Fahraufgabe von Bedeutung ist. Bei den anderen Kategorien werden ausnahmslos Blicke im Sinne der ursprünglichen Definition aufgezeichnet, da die Kategorie nur einen einzigen, festen räumlichen Blickort beschreibt („Weit“). Genauso ist es für die Fahraufgabe unerheblich, welcher Bereich des vorausfahrenden Fahrzeuges („vorFzg“) angeblickt wird. Es spielt nur eine Rolle, ob es überhaupt fixiert wird. Die beiden visuellen Aufgaben, die darin bestehen, den Tachometer bzw. den rückwärtigen Verkehr zu beobachten, sind aus den Einzelfixationen der „Orpheus“-Auswertung ableitbar, werden aber, weil sie auch unter die kontinuierlichen Aufgaben fallen, nochmals unter diesem Punkt aufgeführt.

Während bei den kontinuierlichen Aufgaben, wie der Name schon sagt, die kontinuierliche Beobachtung eine Rolle spielt, so ist bei der situativen Analyse eine bestimmte Verkehrskonstellation notwendig. In Tabelle 7.3 sind situative visuelle Aufgaben mit den dazugehörigen Definitionen dargestellt. Aufgeführte visuelle Aufgaben stellen zum Großteil weder Einzelfixationen noch Blicke dar, sondern beinhalten a priori unbestimmte Blicksequenzen, die die geforderte Aufgabe entweder erfüllen oder nicht.

Tabelle 7.3: Mit „Ergoplayer“ ausgewertete situative visuelle Aufgaben

situative visuelle Aufgabe	Definition	Fahraufgabenrelevanz			
			Foveal	Peripher	Gedächtnis
vorFzg	Beobachtung des vorausfahrenden Fahrzeuges, sofern dieses bremst oder ein anderes Manöver durchführt, was unmittelbar von Belang ist	I	X	X	
gHFzg	Beobachtung von Fahrzeugen auf gleicher Höhe („Schulterblick“)	I	X		
engSpur	Beobachtung der Begrenzungen bei einer engen Durchfahrt	I	X	X	
FußgStop	Beobachtung von Fußgänger, die Vorrang besitzen	I	X		
rückFzg	Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs, z.B. vor Spurwechsel mittels Spiegel	I, III	X		X
Vzeichen	Ablesen wichtiger Verkehrszeichen und Ampeln (keine Wegweiser o.ä)	I, III	X	X	X
Tacho	Kontrolle der eigenen Geschwindigkeit, wenn dies situativ erforderlich ist (z.B. am Ortseingang)	I, III	X		X
queFzgVor	Beobachtung querender oder einbiegender Fahrzeuge, die nicht Vorfahrt besitzen	II	X		
KnotpktVor	Beobachtung an Knotenpunkten ohne andere Verkehrsteilnehmer, an denen man Vorfahrt besitzt	II	X		
Fußg	Beobachtung von Fußgänger, die in den Einflussbereich kommen könnten	II	X		
entFzg	Beobachtung entgegenkommender Fahrzeuge	II, III	X	X	

Wird z.B. nach rechts eingebogen, muss der vorfahrtberechtigte Verkehr solange beobachtet werden, bis sich eine Mindestzeitlücke für dieses Manöver ergibt. Würde

man die Anzahl der Fixationen zählen, so hätte man nur die Abhängigkeit des Blickverhaltens von dieser konkreten Situation registriert, aber nicht, ob dieses Verhalten situationsangemessen ist. Dass die Kategorien „vorFzg“ (vorausfahrendes Fahrzeug), „rückFzg“ (rückwärtiger Verkehr) und „Tacho“ (Tachometer) sowohl bei den kontinuierlichen als auch bei den situativen Aufgaben vertreten sind, soll nicht weiter verwundern: diese Kategorien sind grundsätzlich zunächst den kontinuierlichen Aufgaben zuzurechnen, da sie fortwährend, unabhängig von der jeweiligen Fahrsituation durchzuführen sind. Hinzu addieren sich aber situative Einflüsse: z.B. soll der Tachometer bei bestimmten Fahrsituationen zu bestimmten Zeitpunkten abgelesen werden. Diesem Umstand wird damit Rechnung getragen. In Analogie zu Tabelle 7.2 ist weiterhin eine Bewertung der Aufgaben hinsichtlich ihrer Fahraufgabenrelevanz angegeben sowie eine Abschätzung, auf welchem Wege die Information aufgenommen werden kann.

Diese Einteilung in visuelle Aufgaben beinhaltet bereits eine notwendige Interpretation und Datenreduktion des Blickverhaltens, um dieses bewerten zu können. Die Auswertung auf dem Niveau der Einzelfixationen, wie sie mit dem Tool „Orpheus“ geschieht, hat insofern seine Daseinsberechtigung, da nur so weitere Blickparameter auf der Ebene einzelner Fixationen und Blicke erhoben werden können, die ebenfalls zur Bewertung benötigt werden (z.B. Aussagen zu Fixationsdauern).

Bei genauerer Betrachtung der Ortsdurchfahrt¹, der Ortsannäherungen¹ und 2 und des Landstraßenabschnitts² stellt man fest, dass diese entweder aufgrund zu geringer Streckenkomplexität zu wenige zählbare visuelle Ereignisse aufweisen, oder den restlichen Abschnitten so ähnlich sind, dass bei diesen Streckenabschnitten eine Auswertung mit diesem Tool nicht durchgeführt wurde.

7.1.6 Grenzen der Blickbewegungsmessung

Zum Verständnis des Sehsinnes reicht die reine „physikalische“ Optik nicht aus. Gibson (1973) spricht in diesem Zusammenhang von einer „ökologischen“ Optik, die aus mehreren Stufen besteht. Diese beziehen sich auf den Aspekt des Informationsinhaltes, der sich vom rein energetischen Aspekt der physikalischen Optik abgrenzt. Schwierigkeiten bereitet die Operationalisierung des Konstruktes „Sehen“ oder „Wahrnehmung“. Wie in den folgenden Punkten gezeigt wird, ergeben sich nicht nur Probleme hinsichtlich der Messtechnik, mit deren Hilfe Blickbewegungen gemessen werden können, es muss auch die Validität diskutiert werden.

Sehen ≠ foveales Sehen

Mit Blickerfassungssystemen lassen sich Blickbewegungen, Blickrichtungen und deren Dauern messen. Genau gesagt, lässt sich nur bestimmen, welche Objekte foveal fixiert werden. Was peripher gesehen wird, ist nur mit Hilfe eines Perimeters messbar. Hinzu kommt, dass das Ausmaß an Information, welches mit Hilfe des peripheren Sehens wahrgenommen werden kann, nicht konstant ist. Wie zahlreiche Untersuchungen, z.B. Miura (1987, 1992), Cohen (1987) belegen, gibt es bei zunehmender Beanspruchung des Fahrers eine Verengung des nutzbaren Sehfeldes (useful field of view, ufov). Eine ursprüngliche postulierte Einengung des ufov in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit (sog. „Tunnelblick“) konnte allerdings widerlegt werden (z.B. Miura, 1992, Zusammenfassung in Sprenger, 1997).

Fixation ≠ Wahrnehmung

Wenn ein Objekt fixiert wird, bedeutet das nicht, dass es auch kognitiv verarbeitet wird. Dieses in der Forschung noch relativ unbeachtete Phänomen der so genannten change blindness findet man häufig in Unfallprotokollen im Straßenverkehr. Aussagen wie z.B. „Ich habe das andere Fahrzeug nicht gesehen“ bezeugen dies, wobei der Wahrheitsgehalt solcher Aussagen allerdings auch kritisch zu beurteilen ist. Arbeiten hierzu wurden z.B. von Simons & Levin (1997) oder Heller-Dixon et al. (2002) unternommen.

Sehen ≠ Erkennen

Sehen ist nicht identisch mit Erkennen. Abbildung 7.7 zeigt zunächst eine Ansammlung heller und dunkler Flecken. Erst bei Kenntnis, was in diesem Bild dargestellt ist, erkennt man einen Dalmatiner, der am Boden schnüffelt. Eine Interpretation des Gesehenen ist somit von höchster Bedeutung und ob diese erfolgt, kann nur mit einer Befragung der Versuchsperson oder durch eine Verhaltensbeobachtung ermittelt werden.



Abbildung 7.7: Was verbirgt sich hinter den Klecksen? (aus Frisby, 1983)

Technische Grenzen

Jedes verwendete Messsystem besitzt Grenzen hinsichtlich seiner zeitlichen und räumlichen Auflösung. Um Sakkaden, bzw. Sakkadengeschwindigkeiten auswerten zu können, sind videobasierende Auswertesysteme aufgrund der zu geringen Bildwiederholfrequenz von 50Hz ungeeignet. Sie eignen sich aber für die Auswertung von Fixationsdauern. Die räumliche Auflösung für eine vernünftige Auswertung von Fixationsorten ist je nach Fragestellung verschieden, aber sollte für die Untersuchung der Blickbewegungen des Autofahrers mindestens 2° betragen. Hinzu kommen weitere mögliche technische Einschränkungen, die in der maximal möglichen Versuchsdauer, in Bewegungseinschränkungen durch die Apparatur und in einer eingeschränkten Verwendbarkeit bei bestimmten Witterungs- und Beleuchtungsbedingungen begründet liegen.

7.2 Rating der Fahrperformanz

Die Festlegung eines Soll-Verhaltens des Autofahrers, wie sie z.B. in Verbindung mit einem beobachtbaren Ist-Verhaltens zur Bestimmung der Fahrqualität benötigt wird, gestaltet sich zumindest für die Längs- und Querregelung als äußerst schwierig. Um diese Problematik etwas zu verdeutlichen, soll folgendes Beispiel aufgezeigt werden: Bei einer Kurvenfahrt entspricht die Soll-Spur des Fahrzeuges nicht ausschließlich einer gedachten, parallelen Spur zur Straßenbegrenzung oder zur Mittellinie. Die Aufgabe besteht darin, „irgendwie“ einen Kurs innerhalb der eigenen Fahrspur zu legen, ohne sich oder andere zu gefährden. Die Aufnahme zur Qualitätsbestimmung benötigter Daten, wie z.B. der relativen Position des Fahrzeuges zur Fahrbahn und zu anderen Fahrzeugen ist im Simulator einfach (Bolte, 1991), im Feldversuch aber nur mit hohem Aufwand zu realisieren. Pragmatische Ansätze analysieren die Fahrqualität auf Basis eines beobachtbaren Verhaltens durch geschultes Personal, z.B. durch Verkehrspsychologen oder Fahrlehrer. Der Vorteil dieser Methode ist, dass der Beobachter die Reaktionen des Probanden in Relation zu seiner Aufgabe und den äußeren Einflüssen bewerten kann. Das Fahrerverhalten wird kategorisiert und untersucht, inwiefern es vom optimalen Verhalten abweicht. Je mehr Fehler beim Fahren auftreten, desto schlechter ist die Qualität. Die relativ einfach durchzuführende Beobachtung des Fahrerverhaltens wurde deshalb auch zur Durchführung dieses Versuchs angewendet. Die Strecke wurde mit einem erfahrenen Fahrlehrer vor der Versuchsreihe mehrmals abgefahren, so dass er sich ein Bild von den ausgewählten Situationen machen konnte. Beim Design des Fahrerverhaltensbogens wurde in erster Linie Wert auf dessen Praxisnähe und auf seine Handhabbarkeit durch den mitfahrenden Beobachter gelegt. Der Bogen basiert inhaltlich auf einer von Fastenmeier (1995) entwickelten Untersuchungsmethodik. Die in unserem Fall von ursprünglich neun auf fünf reduzierten Fahrerverhaltenskategorien beinhalten Beobachtungen zum

- Geschwindigkeitsverhalten,
- Abstandsverhalten,
- Spurverhalten,
- Sicherungsverhalten und zum
- Kommunikationsverhalten.

Jede Kategorie enthält mehrere Items, welche die einzelnen Aspekte einer Verhaltenskategorie näher beschreiben. Einschränkungen in der Fülle der Kategorien ergeben sich für den hier verwendeten Bogen deshalb, da einige Fahrerverhaltenskategorien für diese Untersuchung nicht relevant sind. Bei der Auswahl der Versuchsstrecke wurde u.a. darauf geachtet, dass keine unverantwortbaren Risiken durch die im Versuch herbeigeführten Abwendungen vom Straßenverkehr entstehen. Deshalb bleiben Fahrerverhaltenskategorien wie „Verhalten bei Kreuzungsannäherung“ und „Verhalten in Kreuzungen“ unberücksichtigt, da diese Situationen nicht Untersuchungsgegenstand sind. Weitere Änderungen wurden vorgenommen, um den Bogen so praktikabel zu gestalten, dass er vom mitfahrenden Beobachter problemlos während der Fahrt schnell und zuverlässig benutzt werden kann. Der verwendete Bogen ist in Tabelle 7.4 dargestellt.

Tabelle 7.4: Bogen zur Fahrerverhaltensbeobachtung für verschiedene Fahrabschnitte

Item	Ausprägung	Abschnitt Auto- bahn1,...
Geschwindigkeit	Zu hoch (h)	
	Zu niedrig (n)	
Abstand	Längsabstand zu gering (j/n),	
	Längsabstand vergrößert (j/n)	
	Seitenabstand zu gering (j/n)	
Spur	Ruckartige Lenkkorrektur (j/n)	
	Ungenauere Spurhaltung (j/n)	
	Zu später Wechsel bei Hindernissen (j/n)	
	Hauptsächlich benützte Spur (r,m,l)	
	Spurwechsel nach rechts (j/n)	
	Spurwechsel nach links (j/n)	
Blinken	Zu spät blinken (j/n)	
	Zu früh blinken (j/n)	
	Blinkt nicht (j/n)	
Sichern	Sichert nicht (n), sichert gut (a)	
Sonstiges	Klartext	

Die einzelnen Items beschreiben nicht nur Verhaltensmerkmale, die auf Fahrfehler, sondern auch auf ein kompensatorisches Verhalten des Fahrers hinweisen. Darunter ist ein Verhalten zu verstehen, das auf eine bewusst herbeigeführte Reduzierung der Beanspruchung durch die Fahraufgabe (z.B. Wahl einer niedrigeren Geschwindigkeit) hinweist. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass strenggenommen nur von dem Versuch einer Kompensation gesprochen werden kann, da trotz kompensatorischen Verhaltens Fahrfehler auftreten können. Folgend werden die einzelnen Variablen der Fahrerverhaltenskriterien genauer erläutert:

Geschwindigkeitsverhalten:

Wird die zulässige Geschwindigkeit auch nur kurzfristig um ca. 15 km/h übertreten, so zählt dies als Fahrfehler. Die Unterschreitung der zulässigen Geschwindigkeit um mind. 10 km/h weist bei der Zusatzaufgabenbearbeitung auf ein Kompensationsverhalten hin. Geschwindigkeitsveränderungen, die durch den Verkehrsablauf bedingt sind, werden im Protokoll berücksichtigt. Die dichotome Ausprägung dieser Variablen beschränkt sich auf „beobachtet“ und „nicht beobachtet“.

Abstandsverhalten:

Der Längsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ist zu gering, wenn dieser für ein sicheres Anhalten bei der jeweiligen Geschwindigkeit und Witterung nicht ausrei-

chend ist. Als Grenzwert dient dabei die 2-Sekunden-Regel für Fahrten außerhalb und die 1-Sekunden-Regel innerhalb geschlossener Ortschaften. Ein schwankender Längsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug wird ebenfalls als Fahrfehler registriert. Wird der Längsabstand jedoch vergrößert, weist dies auf ein Kompensationsverhalten des Fahrers hin. Wird mit einem zu geringen Seitenabstand überholt, zählt dies ebenfalls als Fahrfehler. Bei bewegten Objekten soll der Seitenabstand mindestens 1,5 m, ansonsten 1 m betragen. Die Ausprägung der Variablen beschränkt sich auch hier auf die Zustände „beobachtet“ und „nicht beobachtet“.

Spurverhalten:

Korrigiert der Fahrer ruckartig die Fahrtrichtung, z.B. nach einer längeren visuellen Abwendung, wird dies unter der Variable „Ruckartige Lenkkorrektur“ verzeichnet. Damit geht der Fahrfehler „ungenauere Spurführung“ einher, welcher eine schwankende, ungenaue Regelung der Querrichtung bezeichnet. Umgekehrt folgt einer ungenauen Spurführung nicht zwingend eine ruckartige Lenkkorrektur, da der Fahrer auch langsam wieder in Richtung Idealkurs lenken kann. Ein zu später Wechsel bei Hindernissen wird registriert, wenn das Hindernis nicht rechtzeitig erkannt und situationsgerecht darauf reagiert wird. Die Ausprägung dieser Variablen beschränkt sich auch hier auf die Zustände „beobachtet“ und „nicht beobachtet“. Die letzten beiden Variablen des Kriteriums „Spurverhalten“ geben Aufschluss auf ein mögliches Kompensationsverhalten: bei mehr als einer Fahrspur in einer Fahrtrichtung, wird notiert, welche Fahrspur am längsten benutzt wurde. Außerdem wird die Anzahl der Spurwechsel registriert.

Sicherungsverhalten:

Das Sichern des Verkehrsraumes wird mit der Variable „Sichern“ erfasst. Im Unterschied zum Bogen von Fastenmeier wird hierbei nicht das Verhalten in Kreuzungsbereichen untersucht, sondern vielmehr das vom Beobachter unmittelbar erfassbare Blickverhalten registriert. Darunter fällt das Beobachten des rückwärtigen Verkehrs, das Blicken auf den Tachometer, das sog. „Scannen“ der Verkehrsszene und der Schulterblick beim Überholen. Vermittelt der Fahrer den Eindruck unzureichender Beobachtung der Verkehrsszene, wird dies als schlechtes Sicherungsverhalten („sichert nicht“) klassifiziert. Ist das Verhalten besonders aufmerksam, wird es als „sichert gut“, ansonsten als „normal“ eingestuft.

Kommunikationsverhalten:

Nicht korrekt ausgeführte oder unterlassene Betätigungen des Blinkers werden mit den Variablen „zu früh blinken“, „zu spät blinken“ und „blinkt nicht“ mittels Strichliste erfasst.

Sonstiges:

Ein unerwartetes Verhalten oder seltene Ereignisse, welche nicht in dieses Klassifikationsschema passen, werden im Punkt „Sonstiges“ unter genauer Angabe des Verhaltens oder des Ereignisses protokolliert.

Die Auswahl der Variablen ist abhängig von der Wahl der Streckenabschnitte. In unserem Fall wurden, wie zuvor erwähnt, keine Kreuzungssituationen untersucht, so

dass damit verbundene Variablen irrelevant sind. Für andere Untersuchungen ist es durchaus ratsam, diesen Katalog an Variablen nach Bedarf zu erweitern. Denkbar sind z.B. Variablen, in denen das zu späte oder falsche Einordnen an Kreuzungen, das Übersehen eines Stop-Schildes oder die Behinderung von Fußgängern beim Abbiegen notiert wird.

7.3 Bearbeitung der Zusatzaufgabe

Die während der Fahrt bei bestimmten Streckenabschnitten zu absolvierende Bearbeitung einer visuellen oder auditiven Zusatzaufgabe wurde in Form eines Textfiles protokolliert. Die somit zugänglichen Größen der Signal-Entdeckungstheorie (z.B. in Wickens, 1984) wie die Anzahl der Treffer (hits), der Fehlalarme (false alarms), der korrekten Zurückweisungen (correct rejections), der verpassten Treffer (misses) und die Gesamtbearbeitungszeit, ermöglichen eine einfache Bestimmung der Bearbeitungsqualität aus dem Quotienten der Treffer und der Gesamtanzahl aller dargebotenen Signale und der Leistung als Anzahl der Treffer pro Bearbeitungszeit.

7.4 Fragebogen

Um verschiedene Personengruppen klassifizieren und evtl. interindividuelle Varianzen der erhobenen Daten aufklären zu können, wurde ein Fragebogen ausgearbeitet. Mit dem ersten Teil des Fragebogens werden demographische Daten und Angaben zum momentanen Befinden der Probanden erhoben. Der zweite Teil des Fragebogens, der nach dem Versuch auszufüllen war, deckt Fragen zur subjektiven Beanspruchung durch die Zweitaufgabe ab (Anhang A). Die fünfstufigen Rating-Skalen beziehen sich dabei auf evtl. von der Probanden bemerkte Beeinträchtigungen in der Spurführung, der Beobachtung der Verkehrsszenarie und allgemeine Beeinträchtigungen der Fahraufgabe durch die Bearbeitung der Zusatzaufgabe. Es sollte angegeben werden, welcher Zusatzaufgabentyp aus Sicht der Versuchsperson hinsichtlich der Verkehrssicherheit zu bevorzugen ist. Außerdem war die Realitätsnähe des Versuchs zu bewerten.

7.5 Fahrphysikalische Daten

Das Versuchsfahrzeug war mit einer Sensorik ausgestattet, die die Aufzeichnung des Lenkradwinkels, der momentanen Position relativ zur Fahrbahn und der Geschwindigkeit ermöglichte. Schwierigkeiten mit der Stromversorgung, aber auch Probleme mit der Bildverarbeitungssoftware zur Positionsbestimmung auf der Fahrbahn, führten zu einem hohen Datenausfall, so dass auf diese Messwerte verzichtet werden muss.

7.6 Verwendete statistische Methoden

In diesem Abschnitt soll kurz auf die verwendeten statistischen Tests eingegangen werden. Eine Erläuterung einiger Begriffe der Inferenzstatistik ist dabei unabdingbar. Für detailliertere Angaben wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen (z.B. Bortz, 1993, Pfeifer 1996).

An erster Stelle steht die Hypothesengenerierung. Man generiert die Alternativhypothese H_1 , die die eigentliche „innovative“ Aussage enthält. Die Nullhypothese H_0 ist das Komplement zur Alternativhypothese und enthält meist die Aussage, dass kein Unterschied zwischen zwei Stichproben besteht.

Bei gerichteten Hypothesen wird zusätzlich die Richtung eines Unterschiedes postuliert, während bei ungerichteten Hypothesen ein irgendein gearteter Unterschied

unterstellt wird. Ein Beispiel für eine gerichtete Hypothese wäre z.B. dass das Präparat A wirksamer ist als das Präparat B, währenddessen eine ungerichtete Hypothese nur davon ausgeht, dass die beiden Präparate sich unterscheiden.

Weiterhin kann zwischen verbundenen und unverbundenen (auch abhängige/ unabhängige) Stichproben unterschieden werden. Bei unverbundenen Stichproben (between-subjects-design) handelt es sich um unabhängige Versuchspersonenkollektive, die aus verschiedenen Personen bestehen. Die Stichprobengröße muss nicht zwingend gleich sein. Bei verbundenen Stichproben wird auf Veränderungen innerhalb der gleichen Versuchsperson geprüft (within-subject-design). Signifikante Veränderungen sind in diesem Falle leichter nachzuweisen, da Varianzen zwischen den Versuchspersonen statistisch herausgerechnet werden. Dieses Versuchsdesign bietet sich für unsere Fragestellung aufgrund der hohen interindividuellen Streuung des Fahrerverhaltens an.

Um feststellen zu können, ob sich Verteilungen nicht nur zufällig voneinander unterscheiden, zieht man die Wahrscheinlichkeit eines α -Fehlers heran. Unter einem α -Fehler versteht man, dass die Nullhypothese zu Gunsten der Alternativhypothese irrtümlich abgelehnt wird, obwohl sie richtig ist. Ist dieser Wert kleiner als 5%, spricht man von einem signifikanten Unterschied, bei einem Wert kleiner als 1% von einem hochsignifikanten Unterschied. Ist die α -Fehler-Wahrscheinlichkeit sogar kleiner als 0,1%, so ist der Unterschied höchstsignifikant. Im Rahmen dieser Arbeit soll das 5%-Niveau als Signifikanzkriterium ausreichen. In der Praxis lassen sich gerichtete Hypothesen besser auf signifikante Unterschiede überprüfen, da sich hier der α -Fehler nicht auf beide Verteilungsenden verteilt. Allerdings ist dabei Voraussetzung, dass die Richtung des Unterschiedes aufgrund theoretischer Überlegungen a priori hergeleitet werden kann.

Der β -Fehler beschreibt die irrtümliche Annahme der Nullhypothese, obwohl sie falsch ist. Diese Fehlerart ist nicht unmittelbar rechnerisch zu bestimmen, sondern kann nur abgeschätzt werden. Bei α -Fehler-Wahrscheinlichkeiten über 25% kann man davon ausgehen, dass die korrespondierende Wahrscheinlichkeit eines β -Fehlers geringer als 5% ist. In diesem Fall darf die Nullhypothese nicht verworfen werden, was aber genau genommen nicht bedeutet, dass sie richtig ist. Im α -Fehler-Bereich zwischen 5% und 25% können keine statistisch abgesicherten Aussagen getroffen werden.

Welche Signifikanztests für eine konkrete Fragestellung anwendbar sind hängt u.a. davon ab, auf welchem Datenniveau man sich befindet. Auf Nominalskalenniveau liegen Daten in Form qualitativer Ausprägungen einer Eigenschaft vor. Beispiele hierfür sind die Augenfarbe, die Haarfarbe, ob man Raucher ist oder nicht etc. Das nächsthöhere Datenniveau ist die Ordinalskala, bei der eine Zusatzinformation in den Rangwerten steckt, z.B. bei einer Skala auf der die Zufriedenheit mit einem bestimmten Produkt in fünf Ausprägungen von „sehr unzufrieden“ bis „sehr zufrieden“ aufgetragen wird. Es sollen keine rechnerischen Transformationen dieser Daten erfolgen, wie z.B. eine Mittelwertbildung. Beide genannten Skalen werden auch als nichtmetrisch bezeichnet. Ein höheres Skalenniveau besitzen die Intervallskala und die Verhältnisskala. Hierbei sind die Abstände zwischen den Ausprägungen immer im gleichen Verhältnis, wobei im letzteren Fall zusätzlich ein natürlicher Nullpunkt existiert. Bei den beiden zuletzt genannten Skalen handelt es sich um metrische Skalen, bei denen alle mathematischen Transformationen erlaubt sind.

Bei Daten mit metrischem Skalenniveau kommen im Idealfall so genannte parametrische Tests zur Anwendung, die allerdings eine Normalverteilung der Stichproben und

manchmal zusätzlich Varianzgleichheit voraussetzen. Die angewendeten einfaktoriel- len Varianzanalysen (ANOVA) untersuchen hierbei den Einfluss nichtmetrischer Größen auf eine metrischskalierte Variable. Ein darauffolgender Bonferoni- oder Scheffé-Test ermittelt diejenigen Stichprobenpaarungen, die sich signifikant vonein- ander unterscheiden. Der T-Test, der einer einfaktoriel- len Varianzanalyse mit zwei Faktorstufen entspricht und ein weiterer Vertreter dieser Art bei Mittelwerts- vergleichen zweier Stichproben ist, ist auch dann robust, wenn die getesteten Verteilungen nicht normalverteilt sind. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass zumin- dest die Verteilungsart ähnlich und eingipflig ist (z.B. linksschiefe, eingipflige Verteilung). Dieser kann sowohl bei verbundenen als auch bei unverbundenen Stich- proben angewendet werden.

Für nichtmetrische Daten oder wenn bei metrischen Daten o.g. Voraussetzungen nicht erfüllt sind, kommen parameterfreie Tests zur Anwendung. Diese betrachten im Falle mindestens ordinalskaliertes Daten nicht die Größenunterschiede der Werte, sondern beziehen sich nur auf die Richtung der Unterschiede. Hierbei werden Rang- reihen gebildet und auf signifikante Unterschiede in diesen Reihen geprüft. Im Falle eines Mittelwertvergleichs bei verbundenen Stichproben wird der Wilcoxon- Vorzeichenrangtest, im Falle der unverbundenen Stichproben der Mann-Whitney U- Test verwendet. Aufgrund des niedrigeren Skalenniveaus ist es mit diesen Tests allerdings schwieriger, die Nullhypothese zu verwerfen. Zur Auswertung von Daten auf Nominalskalenniveau, wie sie bei der Fragebogenanalyse z.T. der Fall sind, finden Chi-Quadrat-Methoden ihre Anwendung.

Ab welcher unteren Stichprobengröße es keinen Sinn mehr macht, statistische Ver- fahren durchzuführen, ist sehr schwer zu sagen. Im Rahmen dieser Arbeit soll als untere Grenzen ein Stichprobenumfang von 7 festgelegt werden. Paradoxa- rweise ist die Nullhypothese bei zu großen Stichprobenumfängen gewissermaßen chancenlos. Es ist davon auszugehen, dass selbst wenn die Stichproben aus der gleichen Grundgesamtheit stammen, in der Realität nie exakt die gleichen Mittelwerte ermittelt werden. Ab einer gewissen großen Stichprobenmenge wird auch bei verschwindend geringem Mittelwertunterschied die Nullhypothese H_0 immer verworfen. Stellt man signifikante Unterschiede fest, sollte die Effektgröße, also der Unterschied der unter- suchten Größe beider Stichproben mit in Betracht gezogen werden. Dann ist zu entscheiden, ob der signifikante Unterschied in der Praxis auch relevant ist.

Alle Überprüfungen der Signifikanz werden bei den jeweiligen Ergebnissen in Form einer Tabelle dargestellt, soweit nicht eine verbale Beschreibung im Text erfolgt. Dabei bedeutet „-“, dass der α -Fehler $> 25\%$ beträgt und somit die Nullhypothese nicht verworfen werden kann. Im Falle $5\% \leq \alpha\text{-Fehler} \leq 25\%$ ist keine Aussage mög- lich, was mit der Abkürzung „k.A.“ angegeben ist. Signifikante Werte sind wie in der Literatur üblich mit einem „*“ gekennzeichnet. Beträgt der α -Fehler weniger als 1% , so ist dies mit „**“ und bei Werten unter $0,1\%$ wird dies mit „***“ angegeben.

Bei den Vergleichen zwischen den Fahrten mit Zusatzaufgabe und den Referenz- fahrten (z.B. Angabe von Mittelwerten) werden bei verbundenen Stichproben nur die Datensätze verwendet, zu denen dieses Wertepaar auch vorhanden ist. Werden also die Ergebnisse für die Referenzfahrten dargestellt, besteht ein Teil aus Referenzda- ten für die auditive und ein Teil für die visuellen Aufgabenfahrten. Da bei den meisten untersuchten Parametern für beide Gruppen ähnliche Werte ermittelt wurden, sind diese grundsätzlich, der besseren Übersicht wegen, als eine Referenzgruppe zu- sammengefasst dargestellt. Bei größeren Abweichungen werden sie getrennt ermittelt.

8 Ergebnisse des Fahrerverhaltens

Ähnlich unsauber wie mit den Begriffen Verkehrs-, Fahr- und Fahrersituation wird in der Literatur mit den Begriffen Fahrverhalten bzw. Fahrerverhalten umgegangen. Unter dem Fahrverhalten versteht man das dynamische Verhalten eines Fahrzeuges („Handling“), während das Fahrerverhalten auf das Verhalten des Fahrers bzgl. des Blickverhaltens, der Fahrperformanz etc. abzielt. In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des mit verschiedenen Variablen gemessenen Fahrerverhalten vorgestellt.

Im ersten Teil dieses Kapitels wird das Fahrer- und Blickverhalten bei den Referenzfahrten vorgestellt. Es handelt sich hierbei um die Fahrten, bei denen keine Zusatzaufgaben während der Fahrt zu bearbeiten waren. Somit können potenziell vorhandene Unterschiede zu den definierten visuellen Aufgaben, also zum Sollverhalten aufgedeckt und erklärt werden. Im zweiten Teil wird das Verhalten bei den Fahrten mit auditiver und visueller Zusatzaufgabe untersucht. Aufgrund des definierten Sollblickverhaltens und z.T. auf Basis des mittleren „Normverhaltens“, welches im ersten Teil vorgestellt wird, lassen sich Abweichungen und z.T. auch Fehler im Blickverhalten aufdecken. Eine zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse rundet das Kapitel ab.

Der Aufwand für die im Vordergrund der vorliegenden Arbeit stehende Blickauswertung ist sehr hoch, nachdem sie nicht automatisiert erfolgen kann. In dieser Untersuchung wurden dazu ca. 10h Videomaterial mehrmals in Zeitlupe analysiert und mehr als 40.000 Fixationen mit „Orpheus“ und in einem weiteren Auswerteschritt ca. 12.000 Blicke/Fixationen und 3.000 visuelle Aufgaben mit „Ergoplayer“ quantifiziert.

8.1 Das „normale“ Fahrerverhalten

8.1.1 Fahrfehler

Bei den Fahrerverhaltenskriterien „Geschwindigkeitsverhalten“ und „Längsabstandsverhalten“ sind weitere Umstände zu berücksichtigen. Die Versuchsperson kann die Geschwindigkeit nur dann frei wählen, wenn ein vorausfahrendes Fahrzeug sehr weit entfernt oder erst gar nicht vorhanden ist. Aus diesem Grund werden für die Auswertung dieses Items nur Fahrten miteinbezogen, bei denen die Versuchsperson die Geschwindigkeit unabhängig von vorausfahrenden Fahrzeugen frei wählen kann. Bei der Auswertung des Längsabstandsverhaltens können nur Fahrten berücksichtigt werden, bei denen ein anderes Fahrzeug voraus fährt. Mit diesem Filter verringert sich zwangsläufig die Anzahl auswertbarer Daten, so dass die Daten aller Streckenabschnitte zusammengefasst werden müssen, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Einige Fahrerverhaltensvariablen (z.B. „zu spät blinken“) des Beobachtungsprotokolls traten nicht auf und sind aus diesem Grund nicht in den Ergebnissen aufgeführt.

Wie in Abbildung 8.1 dargestellt ist, sind auch bei den Referenzfahrten Fehler zu verzeichnen, die sich überwiegend im Geschwindigkeits- und Längsregelverhalten bemerkbar machen. Dabei ist die häufigste Fehlerart das zu schnelle Fahren, was bei 29% der Fahrten feststellbar ist. Bei 10% der Fahrten kann ein zu geringer Längsabstand beobachtet werden. Beide Fehlerarten sind typisch für erfahrene Fahrer (s.a. Fastenmeier, 1997). Das Sicherheitsverhalten bietet bei 3% der Fahrten

Anlass zu Kritik. Die beiden Fehler „ruckartige Lenkkorrektur“ (3%) bzw. „ungenauere Spurführung“ (7%) sind größtenteils nicht auf Unaufmerksamkeiten, sondern auf einen einzelnen Fahrer zurückzuführen, der das Lenkrad in einer „lässigen“ Fahrhaltung nur mit einer Hand fest hielt.

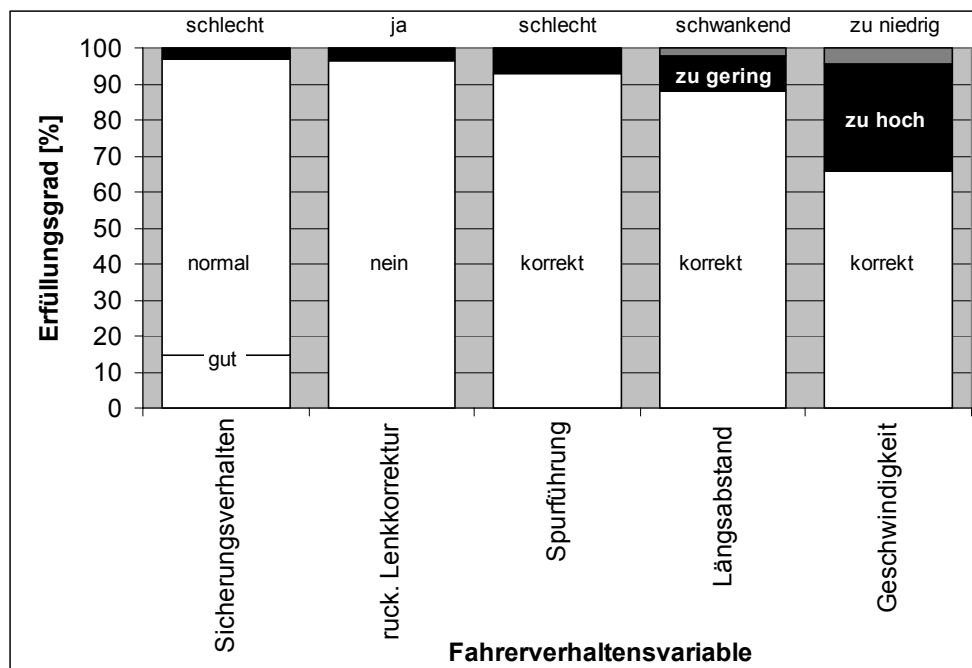


Abbildung 8.1: Fahrfehler bei den Referenzfahrten

8.1.2 Blickverhalten

Im Folgenden wird das Blickverhalten bzgl. der definierten visuellen Aufgaben untersucht. Zusätzlich werden die Fixations- bzw. Blickdauern analysiert, da diese in der Literatur einen hohen Stellenwert besitzen und zur Klärung der Frage nach dem Ist-Blickverhalten beitragen.

8.1.2.1 Fixations- und Blickdauern

Unabhängig von einer Bewertung des Blickverhaltens soll in diesem Abschnitt zunächst geklärt werden, welches Verhalten generell beobachtbar ist. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf den Fixations- und Blickdauern. Nachdem die meisten Untersuchungen den Situationskontext der Fahrersituation unberücksichtigt lassen, soll hier verstärkt der Einfluss des Streckenabschnitts analysiert werden.

In Abbildung 8.2 sind die Häufigkeitsverteilungen von Fixationsdauern bei verschiedenen Streckenabschnitten dargestellt, deren Anzahl jedoch, der besseren Übersicht wegen, auf drei beschränkt ist. Es handelt sich in allen Fällen um linkssteile, eingipflige Verteilungen. Generell ist festzustellen, dass komplexere Streckenabschnitte schmalere Verteilungen und stärker ausgeprägte Modalwerte nach sich ziehen. Der Modalwert liegt bei allen Abschnitten zwischen 0,3s und 0,4s. Längere Fixationsdauern werden eher bei der einfachen Ortsannäherung² festgestellt, wohingegen die meisten kürzeren Dauern bei der komplexeren Ortsdurchfahrt³ zu verzeichnen sind. Die Werte für die mittelkomplexe Landstraße¹ liegen dazwischen.

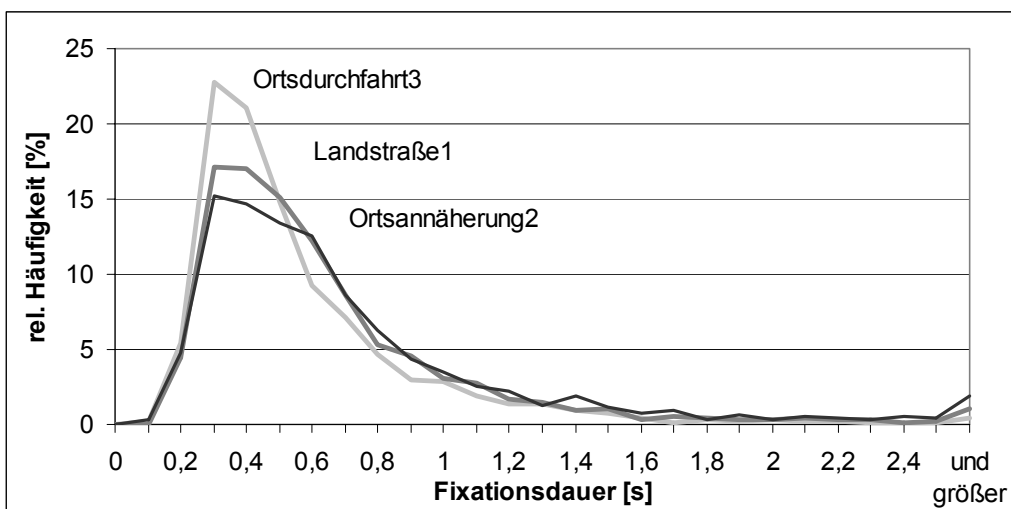


Abbildung 8.2: Abhängigkeit des Streckenabschnitts auf die Fixationsdauer

Nachdem zunächst die Dauern unabhängig vom Blickort analysiert wurden, stellt sich die Frage, ob Unterschiede zwischen den angeblickten Objekten hinsichtlich der Fixationsdauer existieren. Wie man in Abbildung 8.3 erkennen kann, unterscheiden sich manche Blickkategorien signifikant voneinander (ANOVA: $F=27,367$, $p<0,000$). Erwartungsgemäß weist die Kategorie Sonstiges die geringsten mittleren Dauern von ca. 0,45s auf. Fixationsdauern auf Verkehrszeichen dauern im Schnitt 0,5s, auf entgegenkommende Fahrzeuge und auf die Fahrbahn 0,58s. Tachometerfixationen dauern ca. 0,61s und Fixationen in den Spiegel auf rückwärtige Fahrzeuge 0,68s. Die längsten mittleren Dauern entfallen auf das vorausfahrende Fahrzeug mit 0,73s. Weitere Einzelheiten sind der Tabelle 8.1 zu entnehmen.

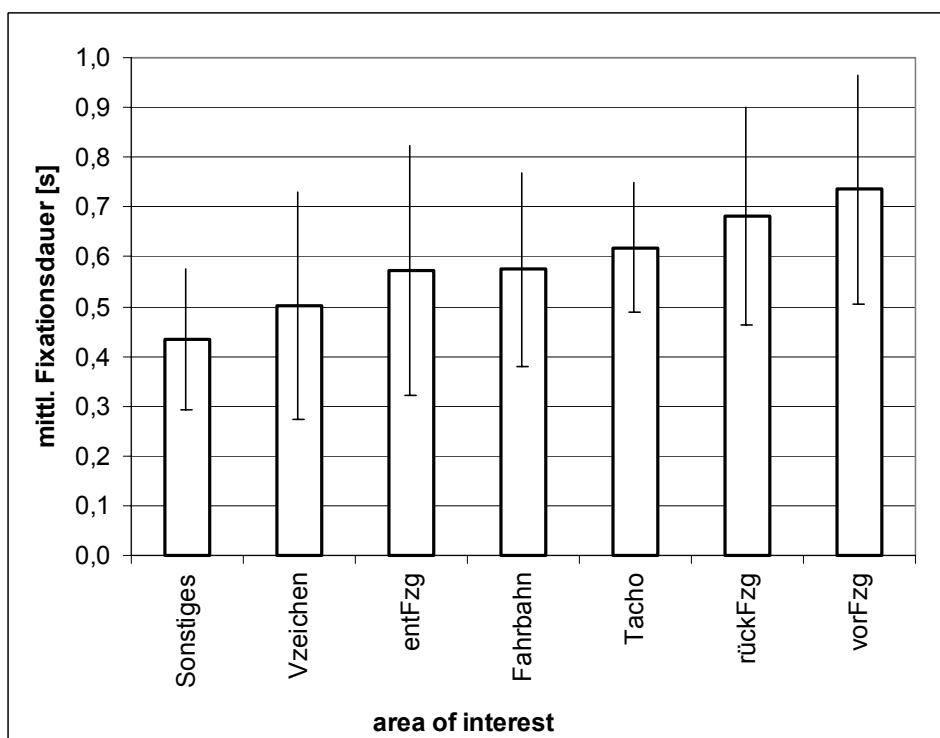


Abbildung 8.3: mittlere Blickdauern, geordnet nach den untersuchten Blickkategorien

Tabelle 8.1: α -Fehler: Unterschiede in den mittleren Blickdauern bei verschiedenen Blickkategorien

Referenz	Fahrbahn	vorFzg	entFzg	rückFzg	Vzeichen	Tacho	Sonstiges
Fahrbahn		**	-	k.A.	-	-	***
vorFzg			***	-	***	k.A.	***
entFzg				***	-	k.A.	k.A.
rückFzg					***	-	***
Vzeichen						*	k.A.
Tacho							***
Sonstiges							

Während Fixationen, die mehr dem Scanningverhalten, also der visuellen Suche im Verkehrsraum zuzuordnen sind, relativ schnell durchgeführt werden, so sind die Dauern von Fixationen beim Processing (rückwärtige Fahrzeuge, Tacho), also der gezielten Informationsaufnahme, größer (Abbildung 8.4). Es ist allerdings zu beachten, dass bei den aufgeführten Processing-Fixationen auf die Blickobjekte Display und Tacho noch Akkomodations- und Adaptationszeiten enthalten sind, die aber nicht alleine den Unterschied erklären können. Oft ist eine scharfe Trennung von Scanning und Processing nicht möglich, die Graubereiche sind z.B. gerade bei Fixationen auf vorausfahrende Fahrzeuge groß.

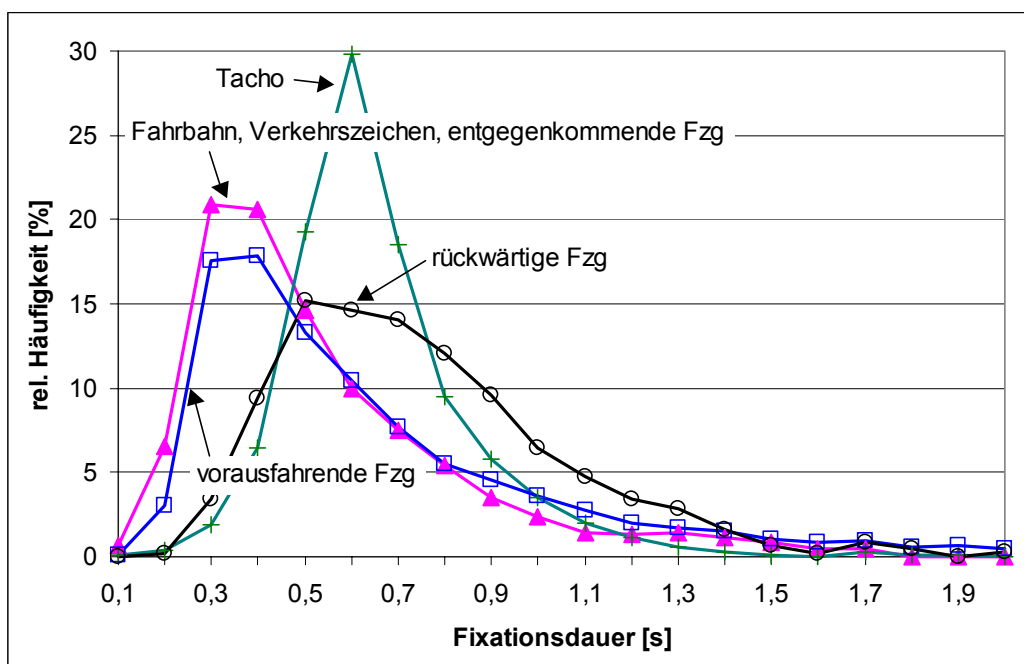


Abbildung 8.4: Häufigkeitsverteilung aller ermittelten Fixationsdauern auf ausgewählte Blickkategorien

Alle Verteilungen sind, wie zuvor bereits erwähnt wurde, typischerweise linksschief, da es nur auf der Seite der minimalen Fixationsdauern eine harte physiologische Grenze bei ca. 100ms gibt. Für maximale Dauern besteht ein solcher Grenzwert nicht. Eine Ausnahme bilden jedoch Fixationen auf den Tacho: Hier ist die Verteilung annähernd symmetrisch, da längere Abwendungsdauern aufgrund der Tatsache, dass dabei die Straße und andere Verkehrsteilnehmer nicht beobachtet werden können, vermieden werden und somit ein individuell verschiedener Grenzwert existiert. Der Modalwert liegt bei ca. 0,6s. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die

Verteilungen für die Blicke, die unmittelbar im Verkehrsraum vor dem Fahrzeug liegen (Fahrbahn, Verkehrszeichen, entgegenkommende Fahrzeuge), einen nahezu identischen Verlauf aufweisen (Modalwert zwischen 0,3s und 0,4s). Eine Ausnahme dieser Gruppe bilden die Fixationen auf vorausfahrende Fahrzeuge, die auch vermehrt längere Dauern aufweisen können (Modalwert: 0,4s). Dies ist einleuchtend, da je nach Situation das vorausfahrende Fahrzeug länger beobachtet und somit in bestimmten Fällen auch der Kategorie der Processing-Fixationen zugerechnet werden muss. Bei Fixationen auf rückwärtige Fahrzeuge liegt der Modalwert bei 0,5s. Die Verteilung ist relativ breit, da hier die gesamte Spanne zwischen kurzen Kontrollblicken und längerer Beobachtung vertreten ist.

Bei den Fixationsdauern sind bzgl. der visuellen Aufgaben weiterhin folgende Punkte zu überprüfen (s. Abschnitt 5.2):

- Spätestens nach 2s soll ein Wechsel des Blickortes erfolgen.
- Abwendungen vom Verkehr sollen nicht länger als 2s dauern.

Nachdem in der Ergonomie das 5., 50. und 95. Perzentil als Richtwerte üblich sind, soll in unserem Fall das 5. bzw. das 95. Perzentil herangezogen werden. Wie Abbildung 8.5 zeigt, beträgt der Anteil der Fixationen, die über 2s dauern, in Relation zu allen ermittelten Fixationsdauern, weniger als 5%. Dieser Wert wird bei jedem Streckenabschnitt unterschritten, d.h. dieses Kriterium gilt als erfüllt. Auch hier kann tendenziell ein Einfluss der visuellen Komplexität auf die ermittelte Größe festgestellt werden: bei weniger komplexen Streckenabschnitten ist der Anteil der Fixationen über 2s Dauer größer, bei komplexeren kleiner.

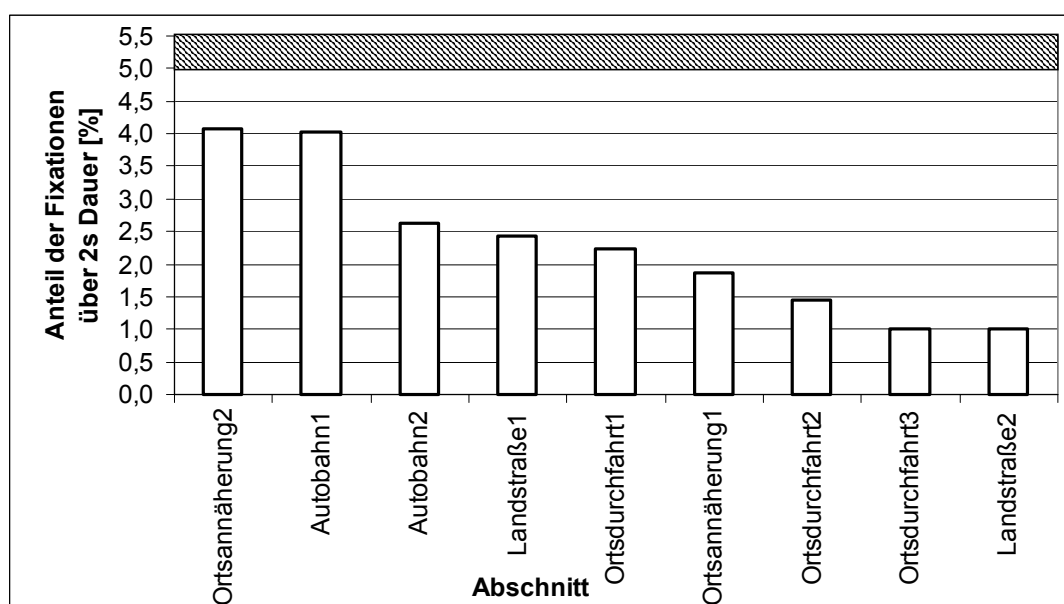


Abbildung 8.5: Anteil der Fixationen über 2s Dauer an allen Fixationen mit 5.Perzentil-Grenze

Auch wenn der Grenzwert unterschritten wird, stellt sich die Frage, welche der angeblickten Objekte besonders lange, also über 2s die Aufmerksamkeit des Fahrers erregen. Es zeigt sich, dass überwiegend vorausfahrende Fahrzeuge (62,6%) und die Fahrbahn (30,7%) betroffen sind. Ein kleinerer Anteil von 4,1% entfällt auf entgegenkommende Fahrzeuge und der verbleibende Rest verteilt sich auf die anderen Kategorien (Abbildung 8.6). Das Ergebnis zeigt, dass selbst längere Fixationsdauern relativ unkritisch sind, da Objekte der Kategorie I (=essenzielle Fixationen) angeblickt werden.

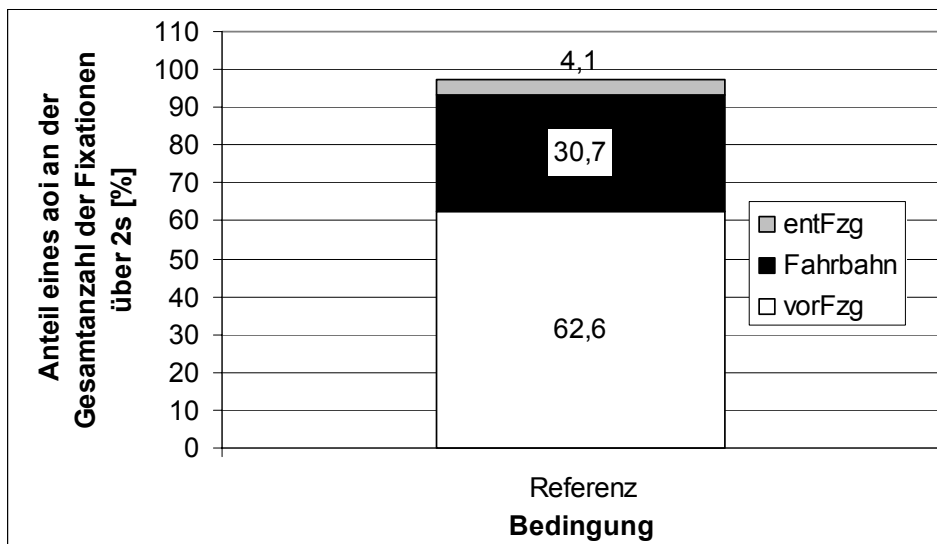


Abbildung 8.6: Anteil eines aoi an der Gesamtanzahl der Fixationen über 2s bei den Referenzfahrten

Besonders gravierend sind jedoch längere Fixationsdauern auf Objekte, die den Fahrer vom Verkehrsgeschehen ablenken (z.B. Werbeplakate). Es sind dabei nicht nur die zumeist größeren Blickwinkel zur Straße kritisch, da mit zunehmenden Winkel die Entdeckungsleistung geringer wird, sondern auch die mentale Ablenkung vom Verkehr, die durch solche Objekte entstehen können. Deshalb werden diese Abwendungsdauern, auch eyes-off-road-time genannt, gesondert untersucht. Diese eyes-off-road-time entspricht in unserem Fall den Blickdauern auf „Sonstiges“, die ihrerseits aus den akkumulierten Dauern sukzessiver Blicke abseits des Verkehrsgeschehens ermittelt werden. Wie in Abbildung 8.7 für drei Abschnitte exemplarisch gezeigt wird, sind die Blickdauern linksschief verteilt, wobei der Modalwert zwischen 0,3 und 0,4s beträgt. Es zeigt sich außerdem, dass für komplexere Abschnitte, wie z.B. der Ortsdurchfahrt1 die Blickdauern eher kürzer sind als bei niedrig-komplexen, wie z.B. dem Abschnitt Autobahn1. Eine Analyse des Anteils der Blickdauern über 2s ergibt, dass dieser Wert für sechs von neun Streckenabschnitten 0% und für die Abschnitte Landstraße1 und Ortsdurchfahrt1 und 3 weit unter 2% beträgt. Das Kriterium der 2s-Regel ist somit auch hier erfüllt.

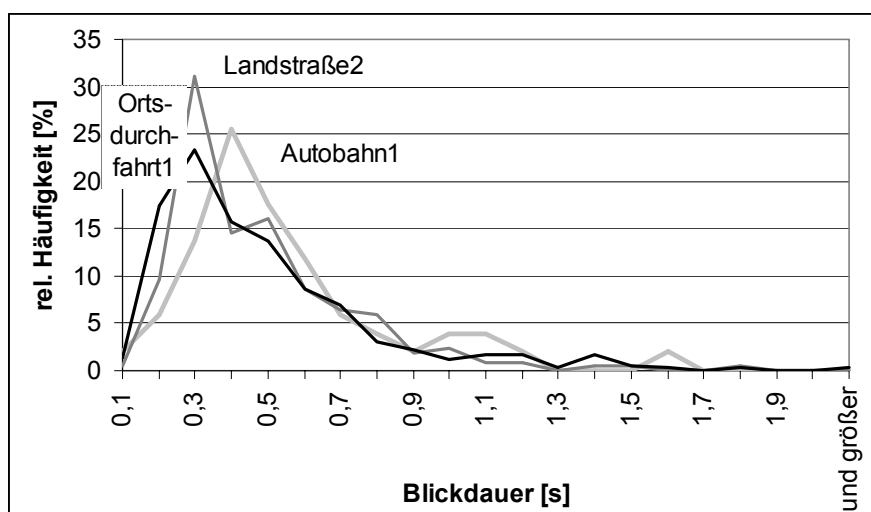


Abbildung 8.7: Häufigkeitsverteilung der Blickdauern auf „Sonstiges“ für drei exemplarische Streckenabschnitte

8.1.2.2 Kontinuierliche Aufgaben

Es soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass für die kontinuierlichen Aufgaben zwar verschiedenste (Absolut-)Werte zur Beschreibung des Blickverhaltens ermittelt, aber selten ein Grenzwert definiert werden kann, ab dem das Verhalten als sicher oder unsicher gilt. Diese Werte repräsentieren jedoch ein „mittleres Verhalten“, was zum Vergleich mit den Fahrbedingungen mit Zusatzaufgabenbearbeitung herangezogen wird.

Zu untersuchen sind zunächst folgende essenzielle und wichtige visuelle Aufgaben:

- Fluchtpunktdominanz: Fixationen auf „Weit“,
- Kontrolle des vorausfahrenden Fahrzeuges: Fixationen auf „vorFzg“,
- Kontrolle der Fahrzeuge der anderen Fahrspuren in gleicher Richtung: Fixationen auf „SpurFzg“,
- Kontrolle der Spureinhaltung in Kurven: Fixationen auf „Spur“.

Zur Analyse der Erfüllung dieser Aufgaben soll der Parameter des jeweiligen Zeitanteils einer Blickkategorie an der Gesamtdauer einer Situation herangezogen werden. Die ermittelten Werte dürfen allerdings nicht als allgemeingültig interpretiert werden, sondern sind abhängig von der Zusammensetzung der Streckenabschnitte. Nachdem beim Vergleich mit den Fahrten mit Zusatzaufgabenbearbeitung die selben Abschnitte untersucht werden, ist dieser Vergleich zulässig.

In Abbildung 8.8 sind die mittleren Zeitanteile der Fixationen auf die genannten Kategorien bei unterschiedlichen Streckenabschnitten dargestellt. Man stellt eine Gemeinsamkeit fest, nämlich dass die Fixationen auf den Fluchtpunkt und auf vorausfahrende Fahrzeuge zusammen bei jedem Streckenabschnitt ca. 50% der Zeit beanspruchen, wobei je nach der Auftretenshäufigkeit vorausfahrender Fahrzeuge die Zusammensetzung dieses kumulierten Wertes schwankt. Beim vielbefahrenen Autobahnabschnitt² dominieren mit 31% Zeitanteil die Fixationen auf den Fluchtpunkt, gefolgt von 24% von Fixationen auf die Fahrzeuge der anderen Fahrspuren. 19% entfallen auf das vorausfahrende Fahrzeug. Der kurvenreiche, aber weniger stark frequentierte Abschnitt Ortsdurchfahrt³ setzt sich aus 42% an Fluchtpunktfixationen, 14% Spurkontrolle und nur 9% an Fixationen auf das vorausfahrende Fahrzeug zusammen. Den größten Anteil an Fluchtpunktfixationen mit 54% beinhaltet der mit der höchsten Durchschnittsgeschwindigkeit durchfahrene Autobahnabschnitt¹. Auch hier sind Fixationen auf die Fahrzeuge der anderen Fahrspuren (10%) festzustellen. Vorausfahrende Fahrzeuge sind meist weit entfernt, so dass diese nur zu einem Anteil von 5% registriert wurden.

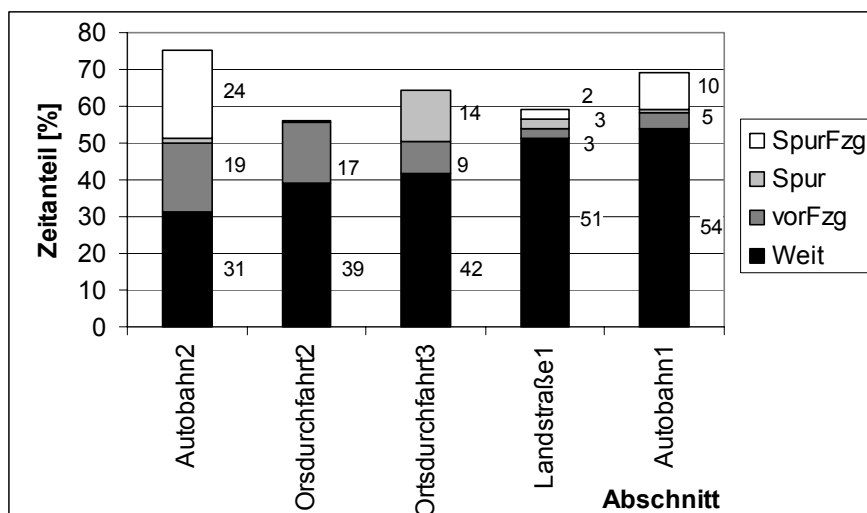


Abbildung 8.8: Mittlerer Zeitanteil der Fixationen auf die Kategorien SpurFzg, Spur, vorFzg und Weit bei unterschiedlichen Streckenabschnitten

Im theoretischen Teil konnte die Relevanz speziell dieser Blickkategorien herausgestellt werden, die sich in einem hohen ermittelten Prozentsatz manifestiert. Leider können aber aus den bekannten Gründen keine Richtwerte für ein Soll angegeben werden. Die erhaltenen Werte werden allerdings als mittleres Verhalten für die weitere Bewertung des Blickverhaltens bei Zusatzaufgabenbearbeitung herangezogen.

Weitere untersuchte kontinuierliche Aufgaben sind:

- die regelmäßige Kontrolle des rückwärtigen Verkehrs: Fixationen auf „rückFzg“ und
- die regelmäßige Kontrolle der Ist-Geschwindigkeit: Fixationen auf „Tacho“.

Sollwerte für diese beiden Aufgaben sind, wie in den Abschnitten 5.2.3 und 5.2.4 gezeigt wurde, stark von der jeweiligen Situation abhängig. Situationen mit mehr als einem Fahrstreifen pro Richtung weisen einen hohen Anteil an untersuchten Fahrten auf, bei denen mindestens ein Blick in den Spiegel innerhalb der Situationsdauer (ca. 60s) zu registrieren ist. Die Streckenabschnitte, die die visuelle Aufmerksamkeit primär auf den vorausliegenden Bereich fokussieren und bei denen nicht mit überholenden Fahrzeugen zu rechnen ist (z.B. wegen Kolonnenverkehr, Kurven, Innerortsbereiche) zeichnen sich durch einen hohen Anteil an Fahrten ohne einen einzigen Spiegelblick aus (Abbildung 8.9). Der Spitzenwert wird beim Abschnitt Ortdurchfahrt3 erreicht, bei dem bei ca. 65% der Fahrten kein einziges Mal in den Spiegel geblickt wird. Hier handelt es sich um einen sehr kurvenreichen Abschnitt innerorts, bei dem das Überholtwerden ausgeschlossen ist. Für den Fall, dass mindestens zwei Spiegelblicke registriert werden, ist die Zeitdauer zwischen zwei Spiegelblicken in Abbildung 8.10 dargestellt. Die Dauern sind aufgrund der teilweise niedrigen Anzahl registrierter Fixationen für alle Abschnitte zusammengefasst dargestellt. Man erkennt, dass die Verteilung exponentiell abfällt und der 95. Perzentil-Wert für die Dauer zwischen zwei Spiegelblicken 24s beträgt. Die Forderung nach mindestens 2 Blicken pro Minute ist, für den Fall, dass derartige Blicke überhaupt durchgeführt werden, erfüllt.

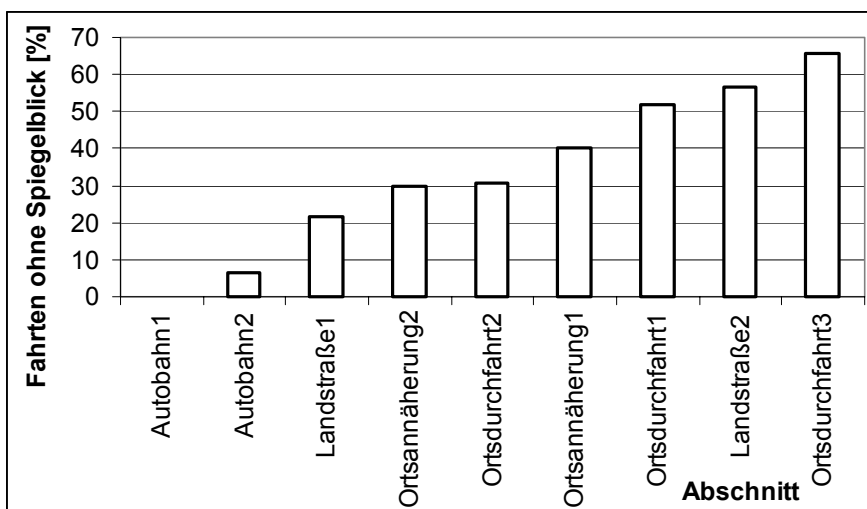


Abbildung 8.9: Anteil der Fahrten, bei denen kein Spiegelblick registriert wurde, unterschiedliche Streckenabschnitte

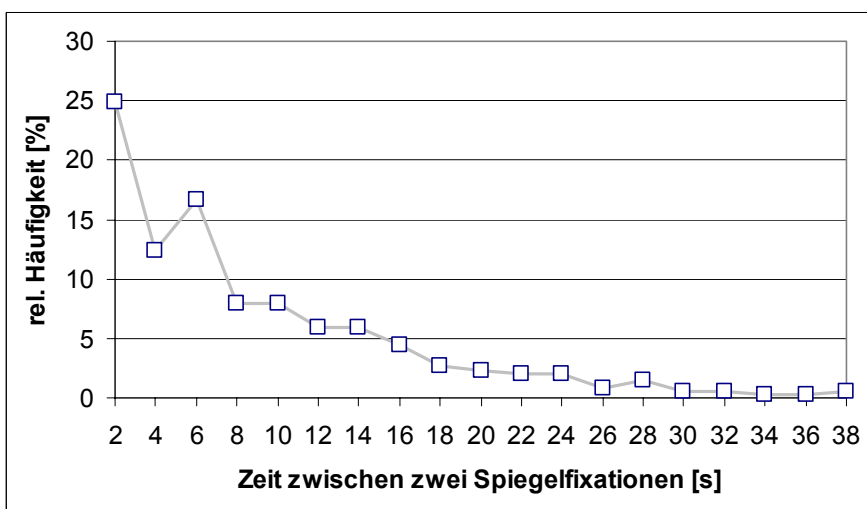


Abbildung 8.10: Häufigkeitsverteilung der Dauer zwischen zwei Spiegelfixationen, alle Streckenabschnitte

Ähnlich verhält sich der Sachverhalt bei den Tachometerfixationen. Bei vielen Streckenabschnitten sind bei einem nicht unerheblichen Anteil an Fahrten keine Fixationen zu registrieren (Abbildung 8.11). Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Abschnitte mit erhöhtem Kolonnenverkehr, so dass kontinuierliche Tachometerfixationen nicht zwingend erforderlich sind. Für den Fall, dass pro Fahrt mehr als zwei Tachofixationen existieren, sind die Zeitdauern zwischen zwei Blicken in Abbildung 8.12 dargestellt. Sie sind für alle Abschnitte aufgrund der teilweise niedrigen Anzahl registrierter Fixationen zusammengefasst dargestellt. Die Verteilung sinkt exponentiell, wobei der 95. Perzentil-Wert für die Dauer zwischen zwei Fixationen 20s beträgt.

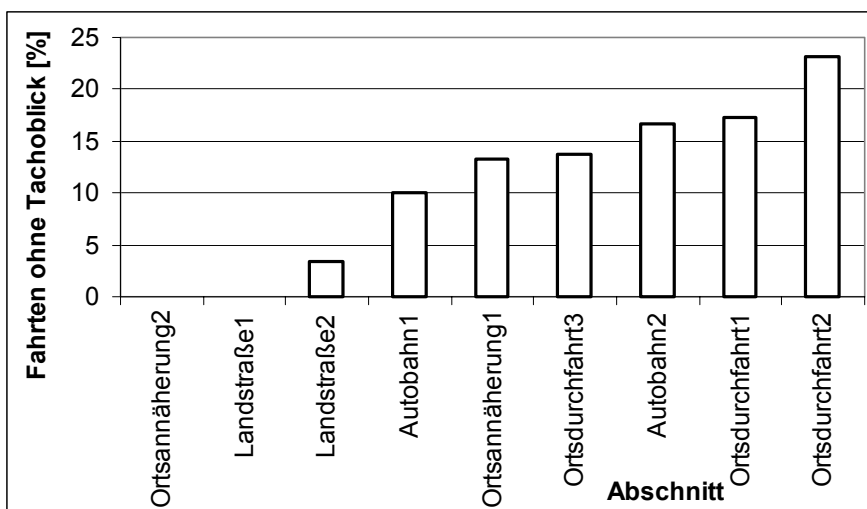


Abbildung 8.11: Anteil der Fahrten, bei denen kein Tachoblick registriert wurde, unterschiedliche Streckenabschnitte

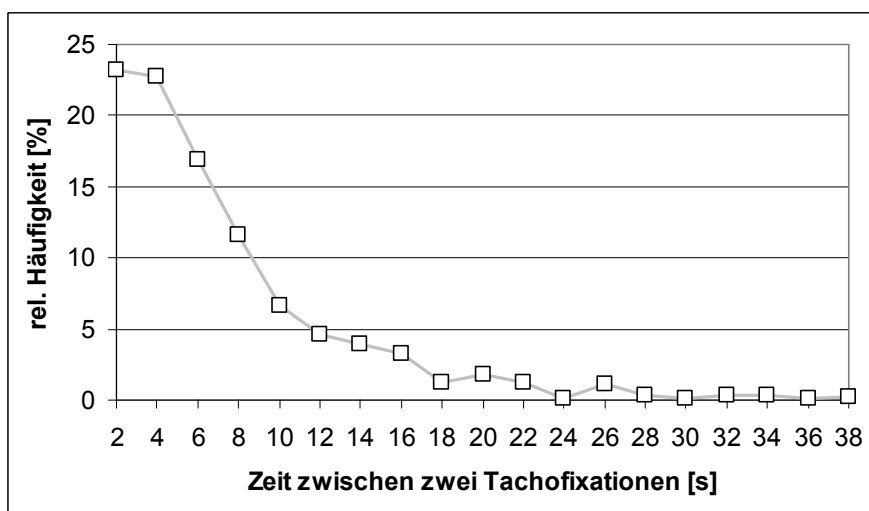


Abbildung 8.12: Dauer zwischen zwei Tachofixationen, alle Streckenabschnitte

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass, wenn auf den Tacho bzw. Spiegel überhaupt geblickt wird, dies mindestens 2 mal pro Minute geschieht und somit die Forderungen der Abschnitte 5.2.3 und 5.2.4 erfüllt ist. Doch oft wird in bestimmten Situationen erst überhaupt kein Blick festgestellt.

8.1.2.3 Situationsspezifische Aufgaben

Folgender Abschnitt behandelt die Analyse situativer visueller Aufgaben. Die Erfüllung der jeweiligen Aufgabe wird mit einem Prozentwert charakterisiert, der sich aus dem Quotienten der Anzahl der korrekt durchgeführten Aufgaben und der Anzahl der durchzuführenden Aufgaben errechnet. Dieses Maß stellt somit, wie in der Einleitung vorliegender Arbeit beschrieben wurde, einen Qualitätswert dar.

Bei der Durchsicht der Rohdaten fällt auf, dass die Anzahl durchzuführender Aufgaben nicht für alle Probanden gleich hoch ist. Der Grund dafür ist, dass manchmal die Bildqualität aufgrund äußerer Bedingungen, wie z.B. durch die blendende Sonne derart schlecht ist, so dass der aktuelle Blickort nicht bestimmt werden kann. In seltenen Fällen wurde die Beschilderung der Strecke wegen Baustellen etc. verändert, was sich in der Anzahl der gezählten Aufgaben auswirkt. Ein weiterer Grund kann in

der Verdeckung blickrelevanter Objekte (z.B. von Verkehrszeichen) durch andere Verkehrsteilnehmer liegen.

Nachdem einige visuelle Aufgaben relativ selten sind und deren Auftauchen stark von der jeweiligen Fahrsituation abhängen, werden die Ergebnisse für die untersuchten Abschnitte zusammengefasst dargestellt.

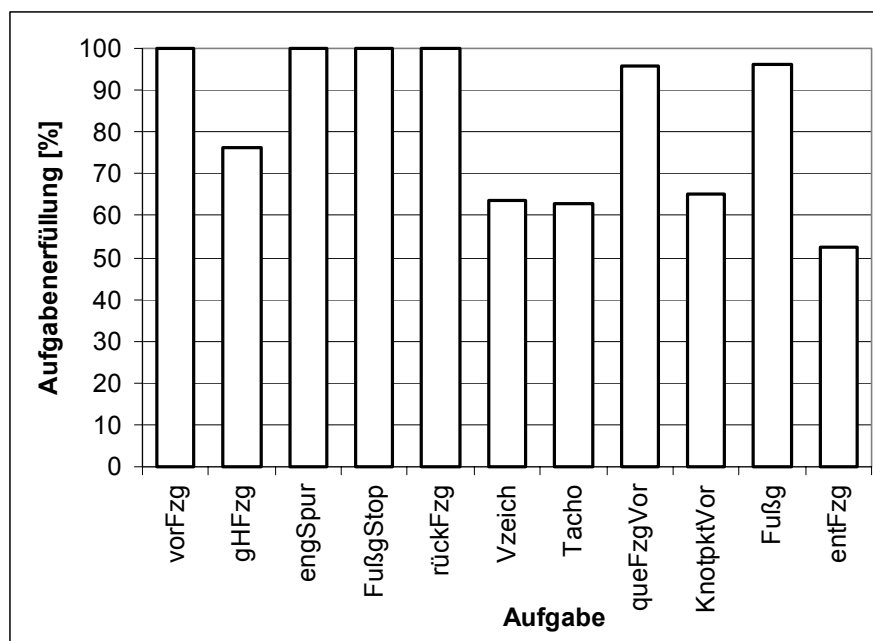


Abbildung 8.13: Erfüllung situationsspezifischer visueller Aufgaben, sortiert nach ihrer Fahraufgabenrelevanz

Abbildung 8.13 zeigt die prozentuale Erfüllung situationsspezifischer Aufgaben. Man erkennt, dass nicht alle Aufgaben zu 100% erfüllt werden. Vollkommen erfüllt werden nur folgende Aufgaben: die Kontrolle eines vorausfahrenden Fahrzeuges („vorFzg“), die Kontrolle von Engstellen („engSpur“), die Beobachtung von Fußgängern, die in den Verkehrsbereich treten („FußgStop“) und das Blicken in den Rückspiegel bei bestimmten Manövern („rückFzg“). Dies sind Aufgaben, die ausnahmslos nur foveal wahrgenommen werden können und der Kategorie I der essenziellen Blicke zugeordnet werden können. Der so genannte Schulterblick („gHFzg“) wird, obwohl er ebenfalls dieser Kategorie angehört, nur in 76% der Situationen durchgeführt. Ein Grund könnte dafür sein, dass viele erfahrene Fahrer statt über die Schulter zu blicken, mehrmals in den Spiegel schauen um sich somit ein Bild über die rückwärtige Situation innerhalb eines bestimmten Zeitraums zu machen. Dass sich kein anderes Fahrzeug neben dem eigenen befindet, kann somit z.T. aus dem Gedächtnisinhalt geschlossen werden. Dies entzieht sich jedoch, wie bereits an anderer Stelle behandelt wurde, einer Messung des Blickverhaltens.

Verkehrszeichen und der Tachometer werden im Fall der situativen Aufgaben nur zu jeweils ca. 64% beachtet. Beide Aufgaben lassen sich nicht eindeutig einer Hierarchieebene bzgl. der Fahraufgabenrelevanz zuordnen. Es scheint ein Trend vorhanden zu sein, dass Tempobegrenzungsschilder eher fixiert werden als andere Verkehrszeichen. Vorfahrtgebende Verkehrszeichen und Wegweiser sind in dieser Auswertung nicht berücksichtigt, da sie für unsere Probanden nicht wichtig waren, da die Strecke und die Vorfahrtsregelungen bekannt waren. Am Rande sei festgehalten, dass bei der Auswertung festgestellt werden kann, dass genau diese vorfahrtgebenden Zeichen zu den am wenigsten Beachteteten gehören. Trotzdem verbleibt ein

hoher Anteil an relativ wichtigen, nicht beachteten Verkehrszeichen. Zum einen handelt es sich um das Schild „Vorsicht Kinder“, das relativ unauffällig an einer Stelle steht, an der die Fahrer sich auf andere Stellen konzentrieren müssen (Ortsdurchfahrt³), zum anderen werden Tempobegrenzungen (Autobahn²) nicht fixiert. Im letzten Fall herrscht reger Kolonnenverkehr, so dass die eigene Geschwindigkeit nicht frei gewählt werden kann und das Ablesen dieses Verkehrszeichen mehr oder weniger überflüssig wird. Dass Verkehrszeichen in der Praxis nicht so häufig angeblickt werden wie sie sollten, belegt u.a. auch die Studie von Sprenger et al. (1999). Demnach werden Ampeln am häufigsten fixiert, wobei der Anteil ca. 90% beträgt. Tempobegrenzungsschilder werden nur zu ca. 60% und Gefahrenschilder nur zu ca. 45% beachtet.

Die eigene Geschwindigkeit wird dem Ergebnis zufolge auch nicht so oft situativ kontrolliert, sondern eher kontinuierlich. Die meisten Fahrer haben ein Gefühl für die eigene Geschwindigkeit entwickelt und wissen, dass ein Überschreiten derselben in den meisten Fällen nicht kritisch bezüglich der Fahrphysik ist, sondern eher rechtliche und finanzielle Konsequenzen nach sich zieht. Kritisch ist, im Sinne einer fahrphysikalischen Betrachtung, eine dem Straßenzustand, der Verkehrssituation und/oder den Sichtbedingungen unangepasste Geschwindigkeitswahl, was aber durch das häufigere Ablesen des Tachometers nicht verbessert wird, da der Fehler in der Wahl einer falschen Sollgeschwindigkeit liegt.

Gelangt man an Knotenpunkte, an denen man selbst die Vorfahrt besitzt, so kontrolliert man nicht immer, ob evtl. Fahrzeuge vorhanden sind, die einem die Vorfahrt nehmen können („KnotpktVor“, 65% der Situationen). Befindet sich ein solches Fahrzeug bereits am Knotenpunkt, so ist die Wahrscheinlichkeit, dass dessen regelkonformes Verhalten kontrolliert wird, viel höher („queFzgVor“, 96%). Fußgänger, die in den Fahrbereich gelangen könnten („Fußg“) werden zu einem relativ hohen Anteil von 96% beachtet. Der Grund kann in der Unberechenbarkeit dieser Verkehrsteilnehmergruppe und in deren Ungeschütztheit im Straßenverkehr liegen. Entgegenkommende Fahrzeuge („entFzg“) werden nur knapp über 50% fixiert. Zum einen liegt es daran, dass sie z.T. im fovealen Kegel beim Blick gerade aus auf die Fahrbahn liegen und der Kategorie „Weit“ zugerechnet (s.a. Abbildung 7.5). Sie werden aus diesem Grunde in weiter Entfernung auch scharf gesehen werden, ohne dass ein direkter Blick darauf gerichtet sein muss. Andererseits hängt die Quote auch stark vom Streckenabschnitt ab. Tendenziell ist dies im Ergebnis erkennbar, da beim Abschnitt Ortsdurchfahrt² derart viele Fahrzeuge entgegenkommen, dass sie unmöglich alle beachtet werden können, ohne andere, wichtigere visuelle Aufgaben zu vernachlässigen. Hier beträgt der Anteil nur 47%. Beim Abschnitt Ortsdurchfahrt³, bei dem entgegenkommende Fahrzeuge nur sporadisch auftreten, liegt der Anteil bei über 85%, da diese Blicke ohne Zeitdruck in das Blickmuster eingearbeitet werden können.

8.2 Das Fahrerverhalten bei Zusatzaufgabenbearbeitung

Dieser Abschnitt behandelt das Fahrerverhalten unter der Zusatzaufgabenbedingung und soll Unterschiede zum „normalen“ Fahren aufklären.

Die gewählten Zusatzaufgaben, die während der Fahrt zu bearbeiten waren, sollten nicht zu realitätsfern konstruiert sein, sondern einen Bezug zu bereits in einem Fahrzeug installierten Geräten aufweisen. Dies wurde im Fragebogen überprüft und erbrachte ein positives Ergebnis (Abbildung 8.14). Demnach finden über 76% der Personen die visuelle Aufgabe und über 86% die auditive Aufgabe zwischen mittel (mittlere Stufe) bis sehr gut mit bereits existierenden Systemen vergleichbar.

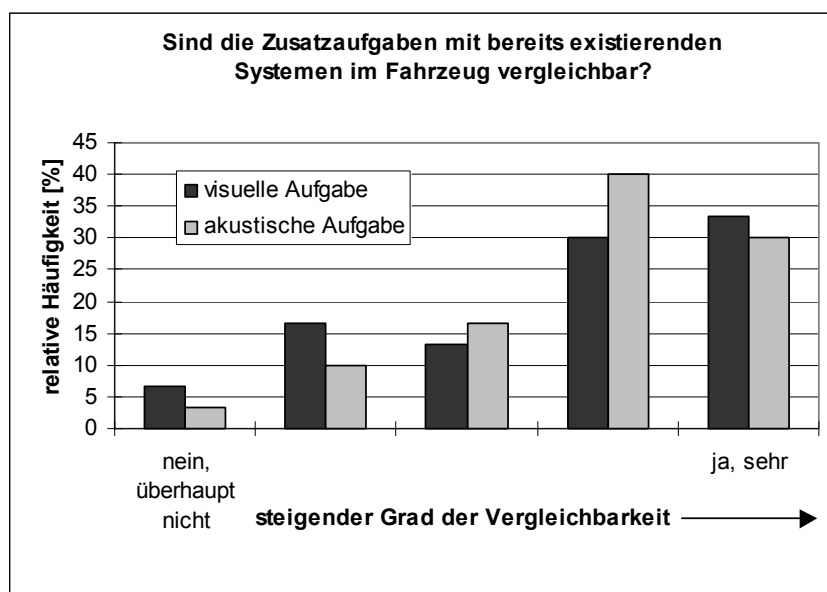


Abbildung 8.14: Vergleichbarkeit der Zusatzaufgaben mit realen Systemen im Fahrzeug

8.2.1 Bearbeitung der Zusatzaufgaben

Es stellt sich die Frage, ob durch die Doppelbelastung aus der Fahraufgabe und aus der Bearbeitung der Zusatzaufgabe nicht nur Fehler im Blick- oder im Fahrerverhalten auftreten können, sondern ob auch bei der Bearbeitung der Zusatzaufgaben ein Einfluss festzustellen ist. Dazu wurden zwei Parameter genauer betrachtet: die Qualität und die Durchführungsgeschwindigkeit der Bearbeitung. Die Qualität wird mit dem Quotienten aus der Anzahl korrekt bearbeiteter Signale und der Gesamtanzahl der Signale bestimmt, die Geschwindigkeit berechnet sich aus der Anzahl der bearbeiteten Signale pro Sekunde.

Eine ANOVA mit anschließendem Bonferoni-Test zeigt, dass bei keinem der beiden Zusatzaufgabentypen ein Einfluss des Streckenabschnittes auf die Bearbeitungsqualität der Zusatzaufgabe festgestellt werden kann. Die Qualität während der Fahrt entspricht sogar dem Wert im parkenden Fahrzeug und variiert im auditiven Fall zwischen 92% und 98%, während im visuellen Fall ca. 97% erreicht werden. Eine Ausnahme bilden bei Bearbeitung der auditiven Aufgabe die Kombinationen Im Stand-Ortsannäherung² und Ortsannäherung²-Landstraße², bei denen ein signifikanter Unterschied auftritt (Abbildung 8.15). Dies kann nicht anders erklärt werden, als durch die später festgestellte Tatsache, dass bei den ersten Versuchsfahrten

manchmal die Bestätigungstaste nicht richtig schaltete und somit Fehler aufgezeichnet wurden (auditiv: $F=2,976$, $\alpha=0,02$; visuell: $F=0,294$, $\alpha=0,841$, Tabelle 8.2).

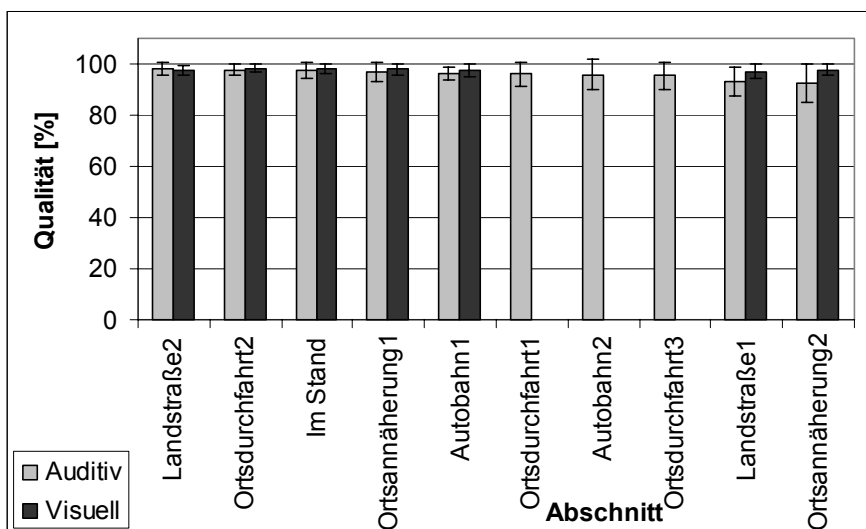


Abbildung 8.15: Qualität bei der Bearbeitung der Zusatzaufgaben bei unterschiedlichen Abschnitten und im Stand

Tabelle 8.2: α -Fehler: Qualitätsunterschiede bei auditiver Zusatzaufgabenbearbeitung

Auditiv Qualität [%]	Ortsdurchfahrt1	Ortsannäherung1	Ortsdurchfahrt2	Landstraße1	Autobahn1	Autobahn2	Ortsannäherung2	Landstraße2	Ortsdurchfahrt3
Im Stand	-	-	-	k.A.	-	-	*	-	-
Ortsdurchfahrt1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortsannäherung1	-	-	-	-	-	-	k.A.	-	-
Ortsdurchfahrt2	-	-	-	k.A.	-	-	k.A.	-	-
Landstraße1	-	-	-	-	-	-	-	k.A.	-
Autobahn1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Autobahn2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortsannäherung2	-	-	-	-	-	-	-	*	-
Landstraße2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Hinsichtlich der Bearbeitungsgeschwindigkeit stellt man fest, dass bei der visuellen Aufgabe jeweils ein signifikanter Unterschied zwischen der Bedingung im Stand und den einzelnen Fahrabschnitten besteht. Im Stand werden ca. 1,8 Symbole pro Sekunde bearbeitet, bei der Fahrbedingung hingegen schwankt der Wert um 1 Symbol pro Sekunde. Dies hängt damit zusammen, dass für diese Aufgabe der visuelle Sinneskanal erforderlich ist, der mit der Fahraufgabe geteilt werden muss.

Unter den jeweiligen Streckenabschnitten und im Vergleich zur Standbedingung sind bei der Bedingung mit der auditiven Zusatzaufgabe keine signifikanten Unterschiede vorhanden (auditiv: $F=1,091$, $\alpha=0,371$; visuell: $F=16,129$, $\alpha<0,000$, Abbildung 8.16, Tabelle 8.3).

Nachdem sich die Zusatzaufgabenbearbeitung bzgl. der untersuchten Parameter der Qualität und Bearbeitungsgeschwindigkeit als unabhängig vom jeweiligen befahrenen Streckenabschnitt herausstellt, sind potenziell beobachtete Fahrfehler nicht auf Schwankungen in der Zusatzaufgabenbearbeitung zurückzuführen.

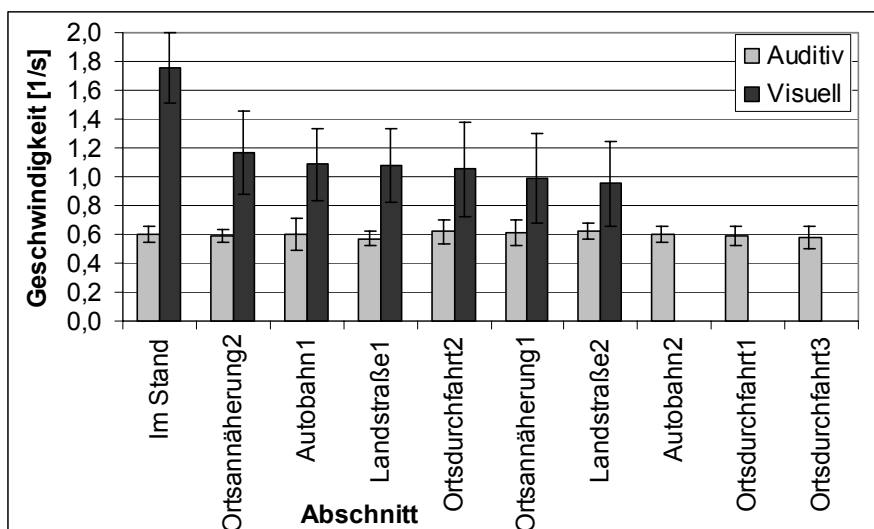


Abbildung 8.16: Geschwindigkeit bei der Bearbeitung der Zusatzaufgaben

Tabelle 8.3: α -Fehler: Geschwindigkeitsunterschiede bei visueller Zusatzaufgabenbearbeitung

Visuell	Ortsannäherung1	Ortsdurchfahrt2	Landstraße1	Autobahn1	Ortsannäherung2	Landstraße2
Im Stand	***	***	***	***	***	***
Ortsannäherung1		-	-	-	-	-
Ortsdurchfahrt2			-	-	-	-
Landstraße1				-	-	-
Autobahn1					-	-
Ortsannäherung2						-
Landstraße2						

Weitere Aussagen zur menschlichen Zuverlässigkeit bei der Bearbeitung dieser Zusatzaufgaben und zur HEP (Human Error Probability) des vorliegenden Versuches sind Sträter et al. (2001) zu entnehmen.

8.2.2 Fahrfehler und Kompensationsmechanismen

Welche Fahrfehler treten bei Bearbeitung der Zusatzaufgaben auf und sind evtl. Kompensationsmechanismen feststellbar? Bei der Fahrbedingung mit auditiver Zusatzaufgabe verschlechtert sich die Fahrqualität, gemessen an den Items „ruckartige Lenkkorrektur“, „Längsabstand“ und Spurführung um bis zu -10% gegenüber der Referenz. Bei 90% der Fahrten sind keine ruckartigen Lenkkorrekturen zu verzeichnen, ebenso wird der Mindestlängsabstand bei 83% nicht unterschritten. Eine korrekte Spurführung liegt in 82% der Fahrten vor. Ein starker Qualitätseinbruch ist nur beim Sicherungsverhalten festzustellen: ein akzeptables Sicherungsverhalten tritt nur noch bei 55% der Fahrten auf. Das Geschwindigkeitsverhalten ist mit dem der Referenzfahrt vergleichbar. Bei 66% der Fahrten ist die Geschwindigkeit korrekt, bei 26% zu hoch und bei 8% zu niedrig (Abbildung 8.17).

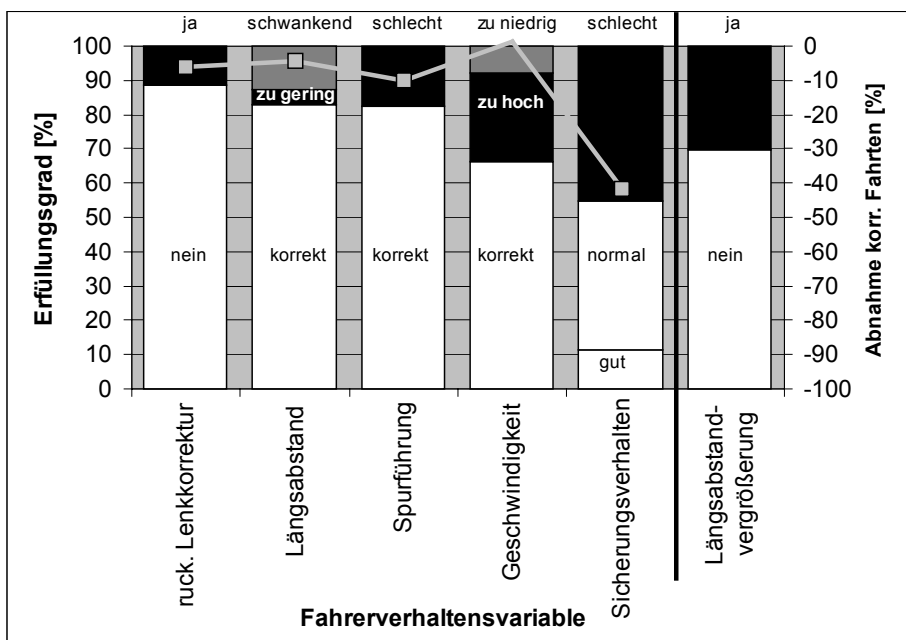


Abbildung 8.17: Fahrfehler und Kompensationsversuche, Fahrt mit auditiver Zusatzaufgabe

Wie Abbildung 8.18 zeigt, verschlechtert sich die Fahrperformance bei Bearbeitung der visuellen Aufgabe in allen untersuchten Kriterien. Der Anteil der Fahrten mit korrektem Längsabstand sinkt um -20% auf 70%. Besonders der Anteil schwankender Längsabstände steigt stark an, ein geringer Längsabstand tritt allerdings seltener als bei der Referenz auf. Beim Geschwindigkeitsverhalten ist nur eine geringe Veränderung im Vergleich zur Referenzfahrt festzustellen. Der Anteil der korrekten Fahrten beträgt gleichbleibend ca. 65%, doch der Anteil der Fahrten mit niedriger Geschwindigkeit ist mit 16% signifikant erhöht. Besonders große Unterschiede zur Referenz und auch zur auditiven Fahrt sind bei der ruckartigen Lenkkorrektur und bei der ungenauen Spurführung zu verzeichnen. Bei 43% ist eine ruckartige Lenkkorrektur und bei 75% eine ungenaue Spurführung zu verzeichnen. Ein akzeptables Sicherungsverhalten wird nur noch bei 37% der Fahrten festgestellt.

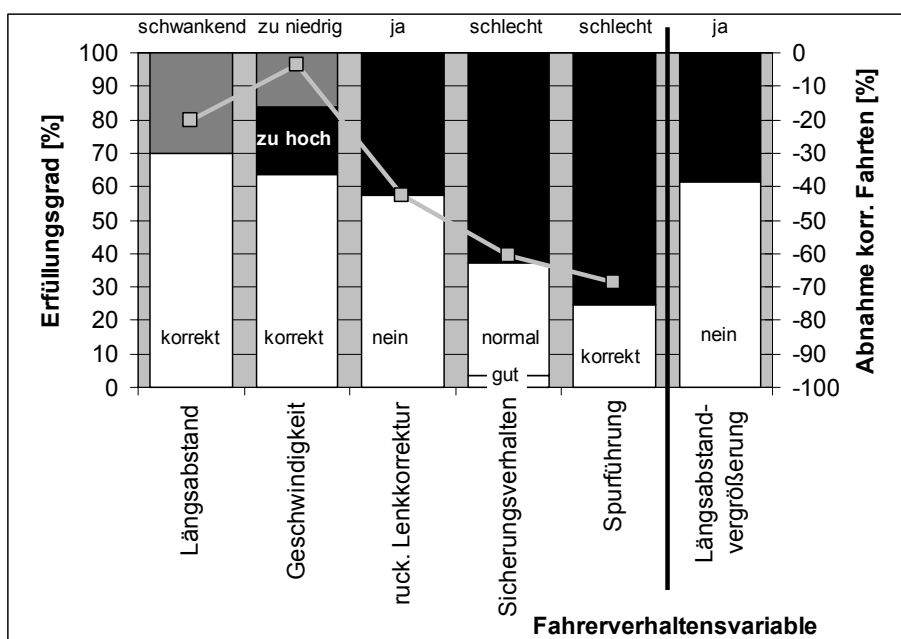


Abbildung 8.18: Fahrfehler und Kompensationsversuche, Fahrt mit visueller Zusatzaufgabe

Als Kompensationsmechanismus gilt u.a. das zusätzliche Vergrößern des Längsabstands, das bei 30% der auditiven und bei 39% der visuellen Fahrten zu verzeichnen ist. Des Weiteren werden im Vergleich zur Referenz bei den auditiven Fahrten 46% und bei den visuellen Fahrten 29% weniger Spurwechsel durchgeführt. Diese Reduktion ist allerdings nur für die auditive Bedingung signifikant (Tabelle 8.4).

Tabelle 8.4: α -Fehler bei Tests auf Veränderungen hinsichtlich der Fahrfehler und Kompensationsmechanismen im Vergleich zur Referenzfahrt

Item	Testart	auditiv	visuell
Geschwindigkeit	Chi-Quadrat	-	***
Längsabstand	Chi-Quadrat	***	***
ruckartige Lenkkorrektur	McNemar	*	***
Spurführung	Mc-Nemar	***	***
Anzahl Spurwechsel	T-Test, verbunden	*	-
Sicherungsverhalten	Chi-Quadrat	***	***

8.2.3 Blickverhalten

Dieser Abschnitt behandelt das Blickverhalten bei den Fahrten mit zusätzlich zu bearbeitenden Aufgaben. Wie im Abschnitt 8.1.2, bei dem das „normale“ Blickverhalten beschrieben ist, wird zunächst auf die Fixations- bzw. Blickdauern eingegangen. Weitere Unterkapitel behandeln den Vergleich zur Referenz hinsichtlich der kontinuierlichen Aufgaben und den Erfüllungsgrad der situativen Aufgaben.

8.2.3.1 Fixations- und Blickdauern

Bei Bearbeitung der auditiven Zusatzaufgabe ist wie bei den Referenzfahrten ein Einfluss des Streckenabschnitts auf die Verteilung der Fixationsdauern festzustellen. Höherkomplexe Abschnitte bewirken eine schmalere Verteilungsform mit ausgeprägterem Modalwert als die weniger komplexen. Abbildung 8.19 zeigt dies exemplarisch an den Abschnitten Ortsdurchfahrt3 (höherkomplex), Landstraße1 und Ortsannäherung2 (weniger komplex). Die Verteilung ist mit derjenigen der Referenzfahrt vergleichbar. Als einzigen Effekt der auditiven Zusatzaufgabe ist der extrem hohe Anteil an Fixationen über 2,5s zu nennen (s.a. Abbildung 8.22).

Bei Bearbeitung der visuellen Aufgabe ist der Einfluss des Streckenabschnitts in vergleichbarem Umfang vorhanden. Die Verteilungsform bleibt im Vergleich zur Referenzfahrt ebenfalls erhalten (Abbildung 8.20). Längere Fixationsdauern über 2,5s Dauer treten jedoch fast überhaupt nicht auf.

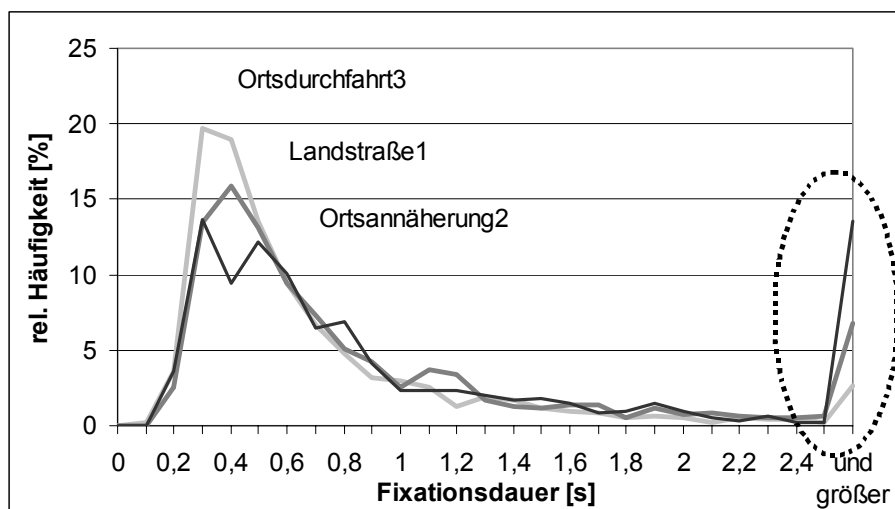


Abbildung 8.19: Häufigkeitsverteilung aller Fixationsdauern bei drei ausgewählten Streckenabschnitten, auditive Zusatzaufgabe

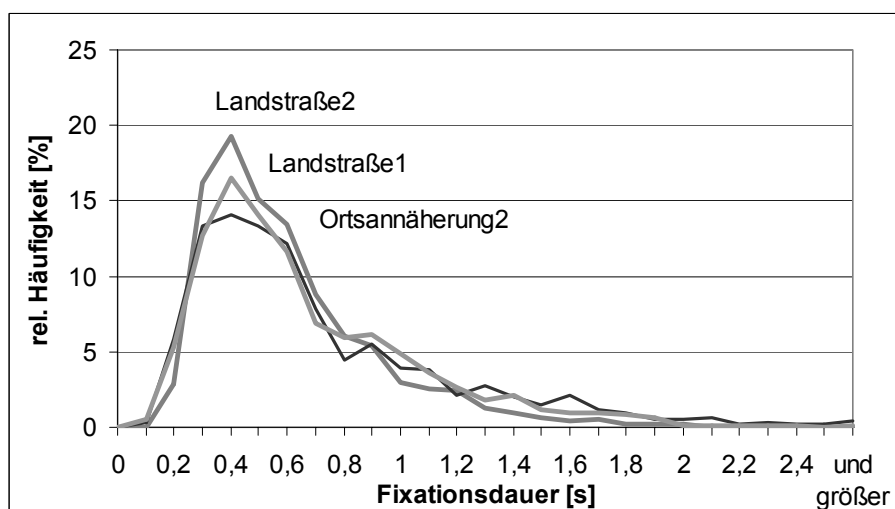


Abbildung 8.20: Häufigkeitsverteilung aller Fixationsdauern bei drei ausgewählten Streckenabschnitten, visuelle Zusatzaufgabe

Eine genauere Analyse der Fixationsdauern hinsichtlich der unterschiedlichen Blickkategorien bringt folgendes ans Licht: Bei Bearbeitung der visuellen Zusatzaufgabe sinken im Vergleich zur Referenzfahrt die mittleren Fixationsdauern aller Kategorien signifikant im Schnitt um -26%. Die Versuchspersonen versuchen Zeit für die Aufgabenbearbeitung zu gewinnen, indem sie die Fixationsdauern auf ein Minimum beschränken (Abbildung 8.21).

Wird hingegen die auditive Aufgabe bearbeitet, sinken zwar im Vergleich zur Referenz die Fixationsdauern derjenigen Kategorien, die sich innerhalb des Fahrzeugs befinden oder nichts mit der Fahraufgabe zu tun haben um ca. -13%. Die Blickkategorien, die beim Blick Geradeaus zu sehen sind (Fahrbahn, vorausfahrende und entgegenkommende Fahrzeuge), weisen eine erhebliche Steigerung um 50% (Mittelwert) auf. Diese Kategorien weisen auch die größten Standardabweichungen auf. Dies weist darauf hin, dass sich die Versuchspersonen auf das vermeintlich Wichtige, nämlich auf die Straße und vorausfahrende Fahrzeuge konzentrieren. Das Scanningverhalten der Umgebung ist jedoch stark reduziert, da ein Großteil der Probanden zu einem ausgeprägten starren Blick neigt. Die statistische Überprüfung

zeigt im Vergleich mit dem jeweiligen Referenzwert überall signifikante Unterschiede, bis auf die Fixationsdauern auf Verkehrszeichen (Tabelle 8.5). Ob diese reduzierten Fixationsdauern für die korrekte kognitive Erfassung der Verkehrssituation ausreichen, kann jedoch nicht ermittelt werden.

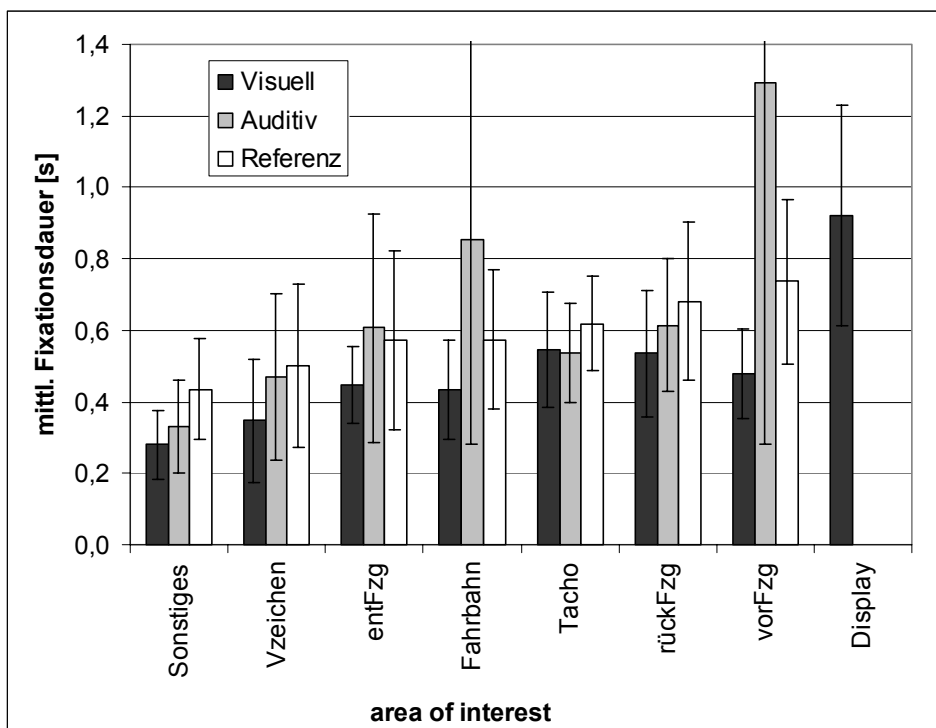


Abbildung 8.21: mittlere Fixationsdauern und Standardabweichungen auf ausgewählte aoi bei den Fahrten mit visueller und auditiver Zusatzaufgabe im Vergleich zur Referenzfahrt

Tabelle 8.5: α -Fehler beim Vergleich der mittleren Fixationsdauern bei der Referenzfahrt und der jeweilige Zusatzaufgabenfahrt, unterschieden nach den einzelnen Blickkategorien

t-test mit verbundenen Stichproben, α		
	Ref-Visuell	Ref-Auditiv
Fahrbahn	***	***
vorFzg	***	***
entFzg	**	**
rückFzg	***	**
Vzeichen	**	k.A.
Tacho	**	***
Sonstiges	**	***

Das 95. Perzentil bzgl. der Fixationsdauern soll, wie in Abschnitt 5.2 gefordert, unter 2s betragen. Im Fall der visuellen Zusatzaufgabe wird diese Forderung bei allen Streckenabschnitten erfüllt. Wie in Abbildung 8.22 dargestellt ist, ist dies für die auditiven Aufgabe nicht für jeden Streckenabschnitt der Fall. Auffallend hoch ist der Anteil der Fixationen über 2s bei den weniger komplexen Streckenabschnitten Ortsannäherung2 mit ca. 15%, Landstraße1 und Autobahn2 (jeweils ca. 10%). Die Abschnitte Autobahn1 (7%) und Ortsdurchfahrt1 (6%) überschreiten den Grenzwert ebenfalls.

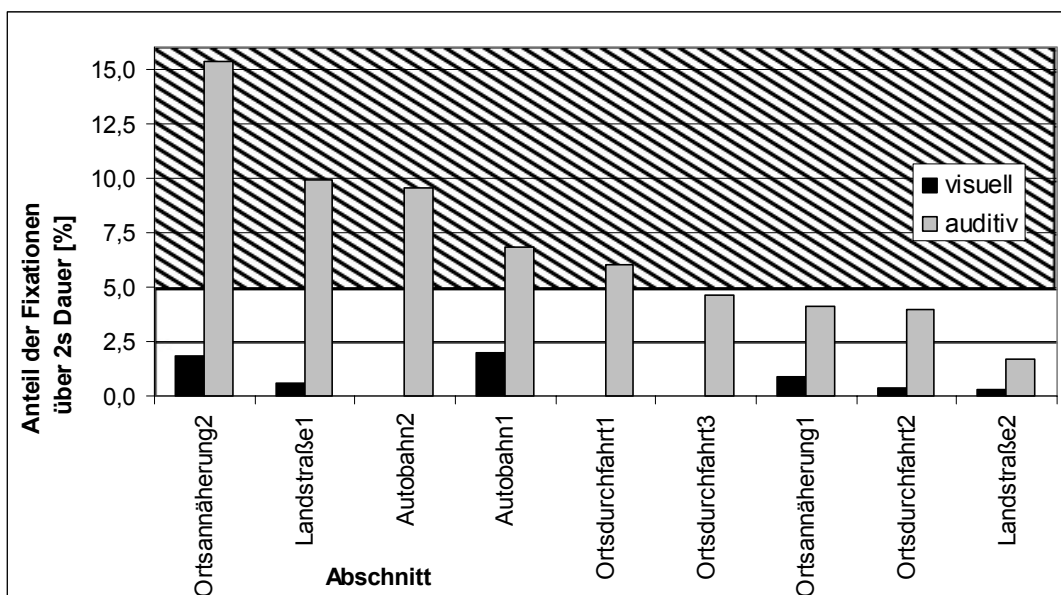


Abbildung 8.22: Anteil der Fixationen über 2s Dauer bei den verschiedenen Streckenabschnitten

Eine weitere Analyse der Daten deckt auf, welche Blickkategorie am meisten von längeren Fixationsdauern betroffen ist. Sie bestätigt die Vermutung, dass im Fall der auditiven Aufgabe der Blick, wie bei der Referenzfahrt, meist auf das vorausfahrende Fahrzeug (62%) oder auf die Fahrbahn (33%) gerichtet ist. Im Falle der visuellen Aufgabe ist bei Fixationen über 2s Dauer der Anteil der Blicke auf das Display (71%) dominant, auf die Fahrbahn entfallen noch 16,4% und auf das vorausfahrende Fahrzeug 11% (Abbildung 8.23). Gerade diese langandauernden Fixationen sind im auditiven Fall aufgrund der Art der angeblickten Objekte unkritisch, was bei der visuellen Aufgabe, aufgrund der damit verbundenen Abwendung in den Innenraum nicht ohne weiteres behauptet werden kann.

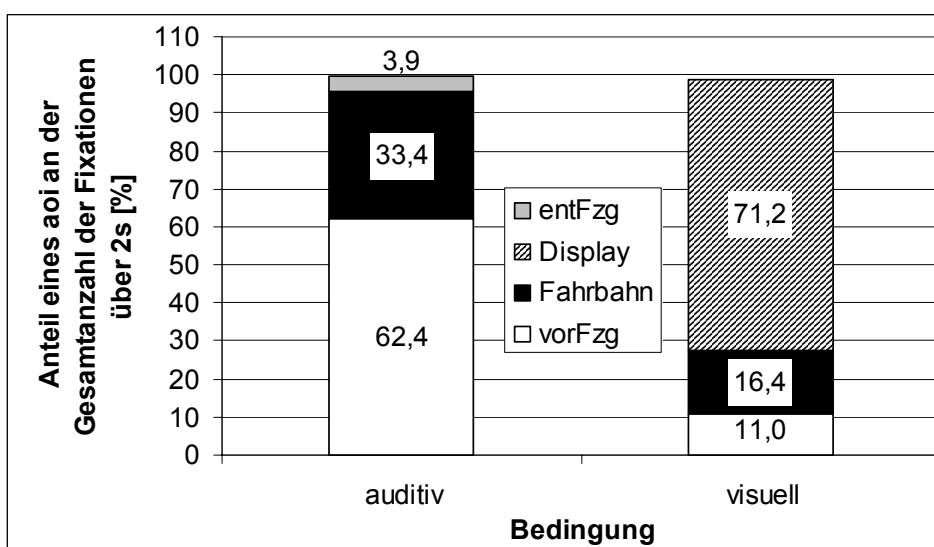


Abbildung 8.23: Anteil eines aoi an der Gesamtanzahl der Fixationen über 2s bei den Fahrten mit auditiver und bei visueller Zusatzaufgabe

Eine weitere Forderung besteht darin, dass das 95. Perzentil der Abwendungsdauern vom Verkehr weniger als 2s betragen soll. Im Falle der Fahrten mit auditiver Zusatzaufgabe zeigt Abbildung 8.24 exemplarisch für drei Streckenabschnitte, dass dieser

Wert für die Blickdauern auf „Sonstiges“ weit unterschritten wird. Man erkennt zudem, dass im Gegensatz zu den Referenzfahrten die Verteilung viel schmäler ist und sogar schon Dauern über 0,8s extrem selten sind. Der Modalwert beträgt zwischen 0,2s und 0,4s, das 95. Perzentil variiert zwischen 0,6s und 0,9s, je nach Abschnitt.

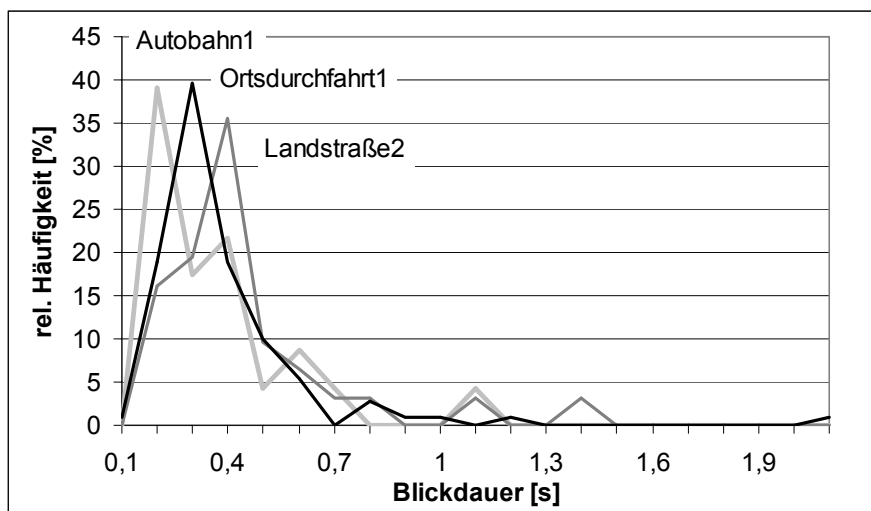


Abbildung 8.24: Häufigkeitsverteilung der Blickdauern auf „Sonstiges“ für drei exemplarische Streckenabschnitte bei auditiver Zusatzaufgabenbearbeitung

Interessanter ist der Sachverhalt bei den Fahrten mit visueller Zusatzaufgabe. Hier werden Abwendungen vom Verkehr fast ausschließlich durch Blicke auf das Display provoziert. Die Blickkategorie „Sonstiges“ tritt im Vergleich zum Display im Verhältnis 1:81 auf und wird deswegen nicht weiter berücksichtigt. Exemplarisch werden drei Streckenabschnitte näher betrachtet: Beim relativ komplexen Abschnitt Ortsannäherung1 weist die Häufigkeitsverteilung der Blickdauern auf das Display einen ausgeprägten Modalwert bei 0,5s auf. Beim niedrig-komplexen Abschnitt Autobahn1 zeigen sich zwei ausgeprägte lokale Maxima, eines bei 0,5s, das andere bei 1s. Beim ebenfalls niedrig-komplexen Abschnitt Ortsannäherung2 sind mehrere lokale Maxima bei 0,5s, 0,9s, 1,1s, 1,3s und 1,6s vorhanden.

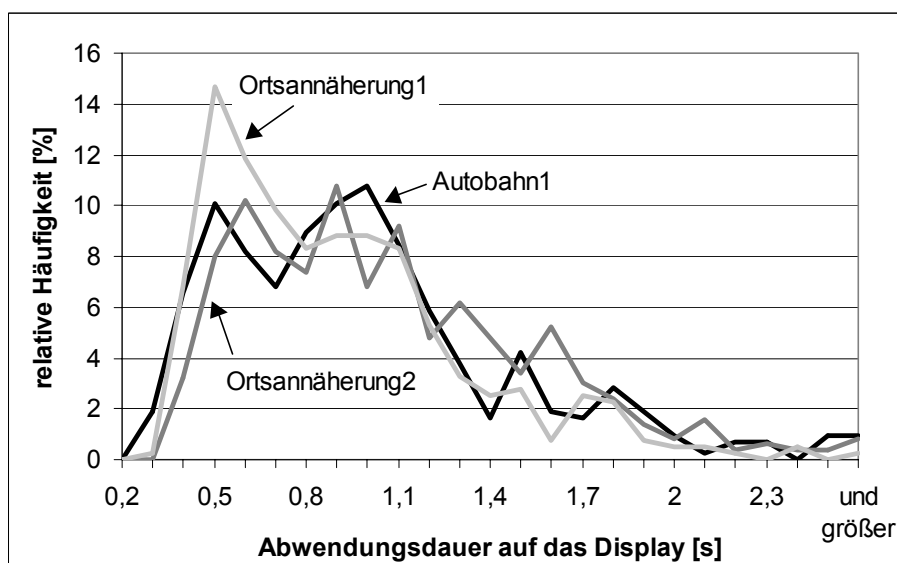


Abbildung 8.25: Häufigkeitsverteilung der Fixationsdauern auf das Display für die visuelle Aufgabe, in Abhängigkeit des Streckenabschnitts

Nachdem die Bearbeitung einer visuellen Zusatzaufgabe etwa im Bereich 0,3-0,5s liegt, kann somit das erste Maximum erklärt werden. Werden pro Blick mehrere Aufgaben sukzessive abgearbeitet, so sind die anderen Maxima, nach Abzug der einmal, bei der ersten Zuwendung auftretenden Sakkaden- und Akkomodationsdauer vom Verkehr zum Display als Vielfaches des ersten Wertes zu interpretieren. Offensichtlich entschließt sich der Fahrer gerade bei einer weniger komplexen Fahrumgebung zur Bearbeitung einer weiteren Aufgabe, wenn er der Meinung ist, dass die Verkehrssituation dies zulässt. Dennoch beträgt das 95. Perzentil der Abwendungsdauern für alle Abschnitte weniger als 2s. Somit gilt dieses Kriterium sowohl für die visuelle Abwendung auf das Display als auch für die Fixationen auf Sonstiges bei der auditiven Aufgabe als erfüllt.

8.2.3.2 Kontinuierliche Aufgaben

Wie bei der Analyse dieser Aufgaben bei der „normalen“ Fahrt stehen wir bei den Fahrten mit Zusatzaufgaben vor dem Problem, dass keine Grenzwerte für Blickparameter angegeben werden können. Als Lösung aus diesem Dilemma bietet sich die Zuhilfenahme des ermittelten Blickverhaltens bei „normaler“ Fahrt als mittleres Normverhalten an. Sind keine Veränderungen dazu feststellbar, so gilt das jeweils untersuchte Kriterium erfüllt. Konkret gilt es auch hier, folgende Punkte zu untersuchen:

- Fluchtpunktdominanz: Fixationen auf „Weit“,
- Kontrolle des vorausfahrenden Fahrzeuges: Fixationen auf „vorFzg“,
- Kontrolle der Fahrzeuge der anderen Fahrspuren in gleicher Richtung: Fixationen auf „SpurFzg“ und
- Kontrolle der Spureinhaltung in Kurven: Fixationen auf „Spur“

Vergleicht man die Zeitanteile der Fixationsdauern dieser Blickkategorien (Abbildung 8.26 und Abbildung 8.28) mit den Werten bei den Referenzfahrten, so stellt man fest, dass im Falle der auditiven Aufgabenbearbeitung der Wert für die Fluchtpunktfixationen („Weit“), je nach Abschnitt, zwischen 12% und 78% steigt (Abbildung 8.27). Gerade jene Streckenabschnitte, die bei der Referenz einen geringen Wert aufweisen, verzeichnen den größten Zuwachs, so dass die Zeitanteile der Fluchtpunktfixationen bei allen Streckenabschnitten nur noch geringe Schwankungen um 55% aufweist. Die Streckenabschnitte höherer Komplexität weisen bei auditiver Zusatzaufgabenbearbeitung geringere Veränderungen auf als diejenigen mit niedrigerer Komplexität. Bei der visuellen Aufgabe jedoch sinkt der Wert um 33% bis 48% (Abbildung 8.29), so dass nur noch zwischen 26% und 33% der Zeit auf den Fluchtpunkt geblickt wird.

Als etwas differenzierter stellt sich das Ergebnis für die Beobachtung des vorausfahrenden Fahrzeuges („vorFzg“) dar: Es zeigt sich gerade bei auditiver Aufgabe ein uneinheitliches Bild, wobei die Abschnitte mit geringem Grundniveau die höchsten Zuwächse verzeichnen, während der Wert für die restlichen Abschnitte stark absinkt. Der Zeitanteil beträgt, entsprechend der Häufigkeit vorausfahrender Fahrzeuge, zwischen 4% und 25%. Bei der visuellen Aufgabe sinkt der Wert einheitlich für alle untersuchten Abschnitte auf Werte zwischen 4% und 14%.

Bei der Analyse der Spurbearbeitung („Spur“), welches nur bei der Ortsdurchfahrt³ aufgrund des höheren Grundniveaus von 14% Sinn macht, ist bei der auditiven Bearbeitung ein Rückgang um 43% zu verzeichnen ist. Aussagen für die visuelle

Aufgabe können wegen der fehlenden Kombination mit diesem Streckenabschnitt nicht gemacht werden.

Man erkennt, dass der Wert für die wichtigen Blicke auf Verkehrsteilnehmer der anderen Fahrspuren („SpurFzg“) bei beiden Zusatzaufgabentypen und besonders stark für die visuelle Aufgabe im Vergleich zur Referenz absinkt (auditiv: 3%-15%,visuell: 1%-2%). Als einzige Ausnahme ist die Landstraße1 bei auditiver Aufgabe zu erwähnen, bei der der Wert leicht ansteigt, was aber aufgrund des geringen Grundniveaus als Ausreißer betrachtet werden kann. Die Vernachlässigung dieser Blicke ist deswegen als negativ zu bewerten, da das Verkehrsgeschehen weniger beobachtet wird und somit der Fahrer eher von einer kritischen Situation überrascht werden kann.

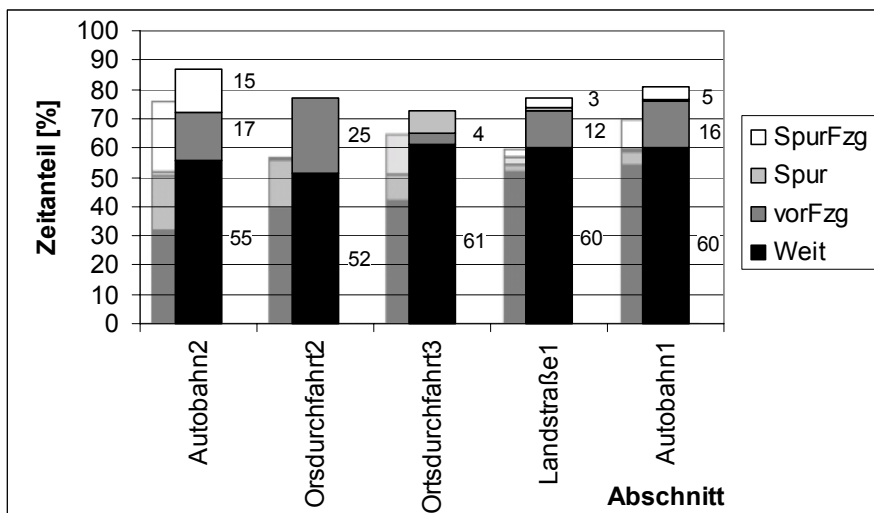


Abbildung 8.26: Mittlerer Zeitanteil der Fixationen auf die Kategorien SpurFzg, Spur, vorFzg und Weit bei unterschiedlichen Streckenabschnitten bei den Fahrten mit auditiver Zusatzaufgabe (transparent hinterlegt: Referenzfahrten)

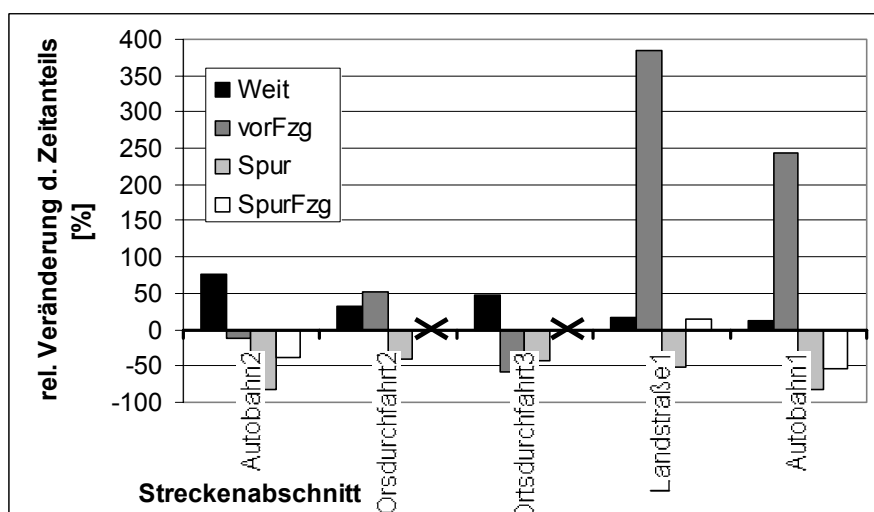


Abbildung 8.27: Relative Veränderung des Zeitanteils von Blicke ausgewählter Kategorien im Vergleich Fahrt mit auditiver Aufgabe – Referenzfahrt

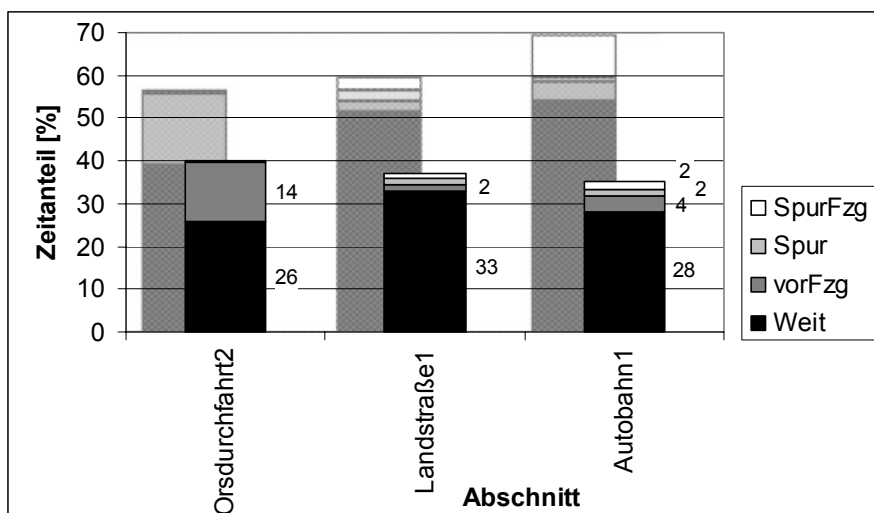


Abbildung 8.28: Mittlerer Zeitanteil der Fixationen auf die Kategorien SpurFzg, Spur, vorFzg und Weit bei unterschiedlichen Streckenabschnitten bei den Fahrten mit visueller Zusatzaufgabe (transparent hinterlegt: Referenzfahrten)

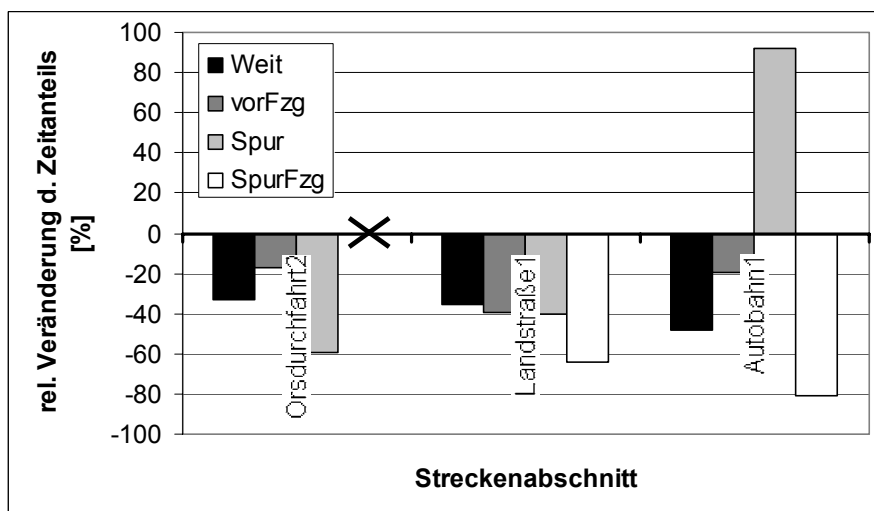


Abbildung 8.29: Relative Veränderung des Zeitanteils von Blicken ausgewählter Kategorien im Vergleich Fahrt mit visueller Aufgabe – Referenzfahrt

Weitere zu untersuchende kontinuierliche Aufgaben sind

- die regelmäßige Kontrolle des rückwärtigen Verkehrs: Fixationen auf „rückFzg“ und
- die regelmäßige Kontrolle der Ist-Geschwindigkeit: Fixationen auf „Tacho“.

Wie in Abbildung 8.30 dargestellt ist, steigt der Anteil der Fahrten ohne einen einzigen Spiegelblick für beide Zusatzaufgabenbedingungen z.T. sehr stark an. Die visuelle Aufgabe scheint die Fahrer noch stärker vom Blick in den Spiegel abzuhalten als die auditive Aufgabe. Der Anteil variiert, je nach Streckenabschnitt, bei der visuellen Aufgabe zwischen 50% und über 90%, bei der auditiven Aufgabe zwischen 20% und 80%. Die Unterschiede in diesem Parameter zwischen den Streckenabschnitten bei der Referenzfahrt bleiben in der Tendenz für die Fahrten mit Zusatzaufgabe erhalten. Sowohl bei den beiden Autobahnabschnitten als auch beim Abschnitt Landstraße1 ist jedoch zu berücksichtigen, dass unter der Zusatzaufgaben-

bearbeitung im Vergleich zur Referenz weniger Spurwechsel stattfinden und somit die Anzahl der Spiegelfixationen beim Spurwechsel niedriger ist.

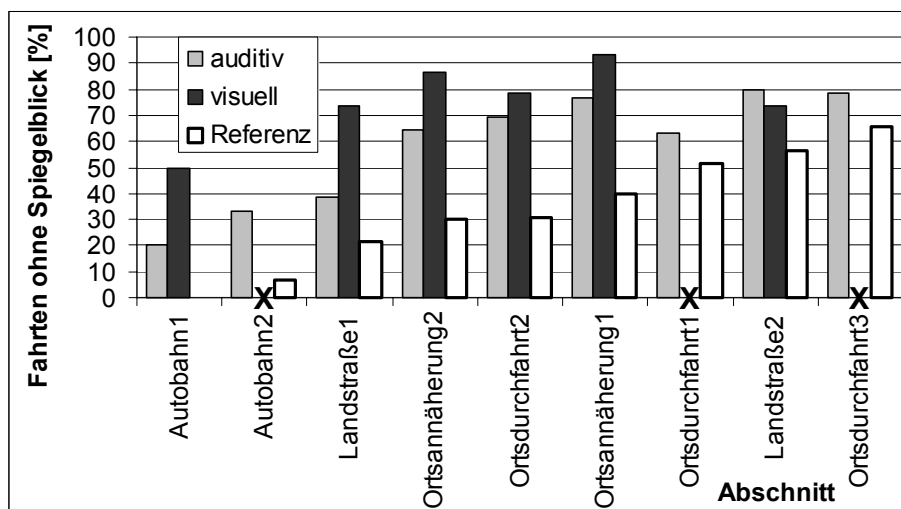


Abbildung 8.30: Anteil der Fahrten ohne Spiegelblick bei unterschiedlichen Streckenabschnitten und Fahrtbedingungen

Betrachtet man die Zeitdauer, die zwischen zwei Spiegelfixationen zu verzeichnen ist, so erkennt man, dass zwischen der Häufigkeitsverteilung der Referenzfahrten und der Fahrten mit auditiver Aufgabe kein gravierender Unterschied besteht (Daten aller Streckenabschnitte, Abbildung 8.31). Beide Verteilungen sinken exponentiell, wobei das 95. Perzentil 24s (Referenz) bzw. 20s (auditiv) beträgt. Bei Bearbeitung der visuellen Aufgabe beträgt das 95. Perzentil ebenfalls 20s, die Verteilungskurve steigt jedoch bis zum Maximum bei 4s an und fällt danach erst exponentiell ab. Der größte Unterschied zwischen der Referenz- und der Aufgabenbedingung besteht also darin, ob überhaupt in den Spiegel geblickt wird und nicht, wenn ja, wie häufig dies geschieht.

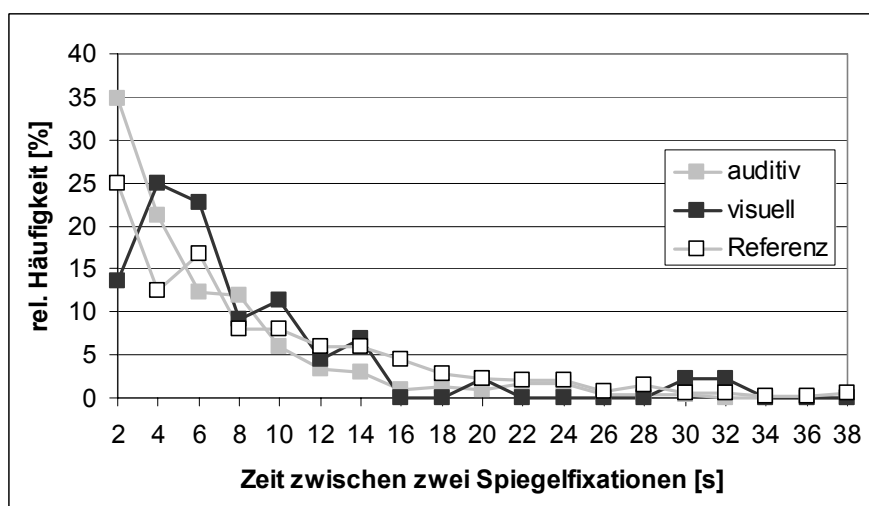


Abbildung 8.31: Dauer zwischen zwei Spiegelfixationen, alle Streckenabschnitte, unterschiedliche Fahrtbedingungen

Ähnlich verhält sich der Sachverhalt bei der Analyse der Tachometerfixationen. Bei Bearbeitung der Zusatzaufgaben steigt der Anteil der Fahrten ohne einen einzigen Blick auf den Tacho gemacht zu haben, im Vergleich zur Referenz stark an. Bei den

Fahrten mit visueller Aufgabe beträgt der Anteil zwischen 28% und 58%, bei den Fahrten mit auditiver Aufgabe zwischen 9% und 70% (Abbildung 8.32).

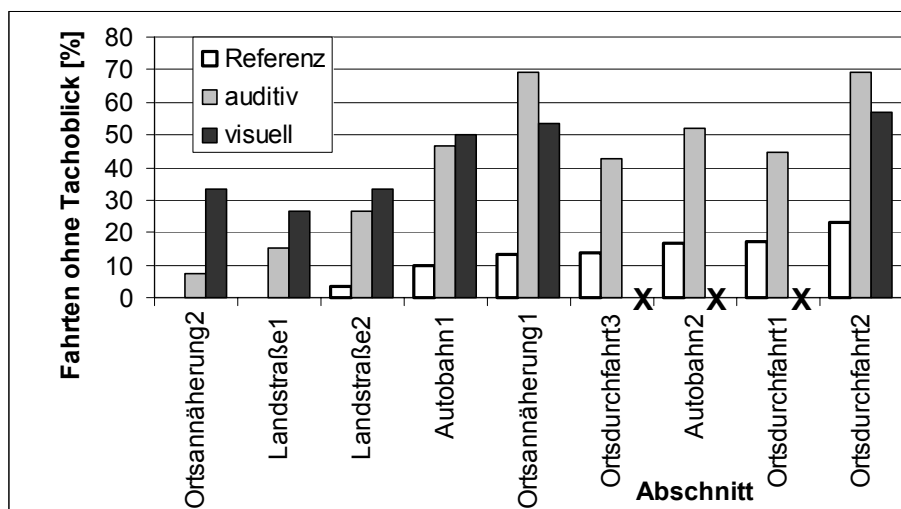


Abbildung 8.32: Anteil der Fahrten ohne Tachometerfixation bei unterschiedlichen Streckenabschnitten und Fahrtbedingungen

Wie Abbildung 8.33 zeigt, sind die Zeitdauern zwischen zwei Tachometerfixationen bei den Fahrten mit auditiver Aufgabe mit denen der Referenzfahrt vergleichbar. Wie bei den Spiegelfixationen sinkt die Häufigkeit mit steigender Dauer exponentiell. Bei Bearbeitung der visuellen Aufgabe ist auch hier der Effekt sichtbar, dass die Verteilung bis zum Maximum bei 6s stark ansteigt und dann exponentiell sinkt. Das 95. Perzentil beträgt bei der auditiven Bedingung 24s, bei der visuellen 22s, d.h. es wird in einer Minute mindestens 2 mal auf den Tachometer geblickt.

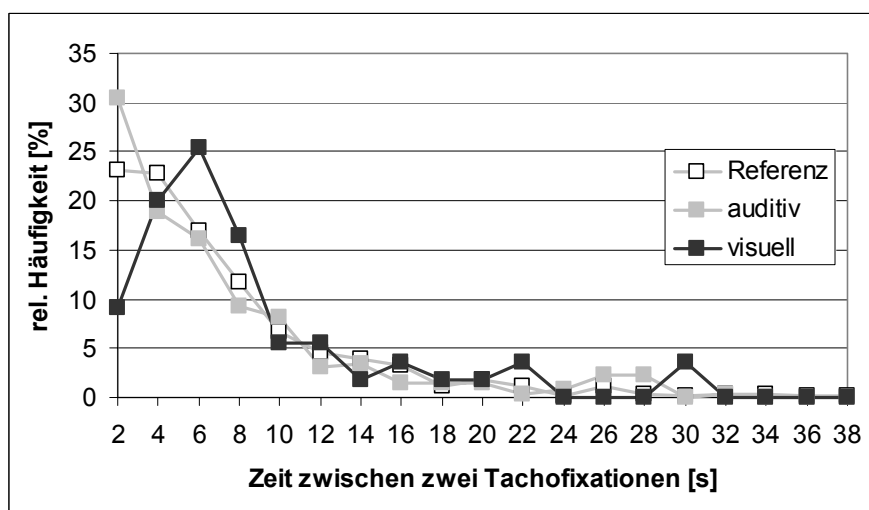


Abbildung 8.33: Dauer zwischen zwei Tachometerfixationen, alle Streckenabschnitte, unterschiedliche Fahrtbedingungen

Weiterhin soll ein zusätzlicher, die Verkehrssicherheit erhöhender Kompensationsmechanismus aufgezeigt werden: Während bei normaler Fahrt noch im Mittel ca. 7,4/min auf ein für die Fahraufgabe unrelevantes Objekt geblickt wird („Sonstiges“), so verringert sich dieser Wert bei den Fahrten mit auditiver Aufgabe um -65% auf ca. 2,6/min und bei visueller Aufgabe sogar um -96% auf ca. 0,3/min (Abbildung 8.34).

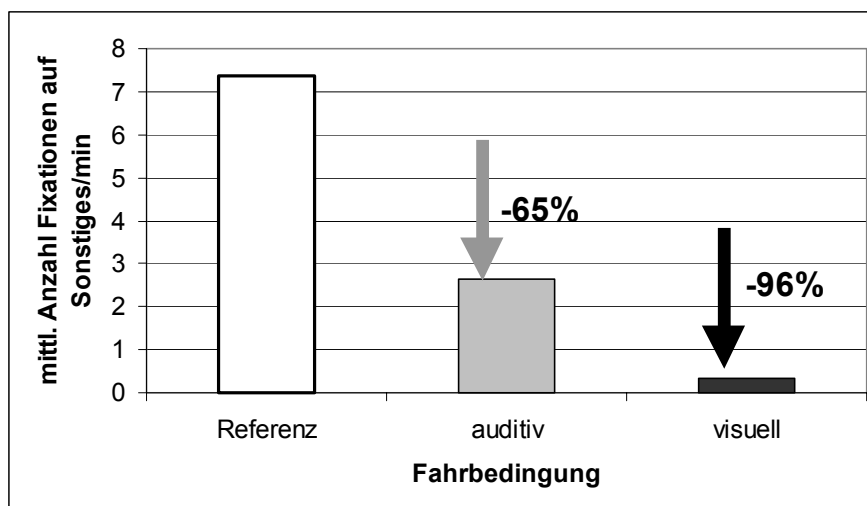


Abbildung 8.34: mittl. Anzahl Blicke auf Sonstiges pro Minute bei unterschiedlichen Fahrbedingungen

8.2.3.3 Situationsspezifische Aufgaben

Dieser Abschnitt behandelt die Erfüllung und Nichterfüllung situationsspezifischer Aufgaben. In Abbildung 8.35 sind die Erfüllungsgrade der jeweiligen visuellen Aufgaben bei den Fahrten mit Zusatzaufgabenbedingung im Vergleich zu den Referenzfahrten dargestellt. Die aufgeführten visuellen Aufgaben sind dabei von links nach rechts mit sinkender Fahraufgabenrelevanz unter Berücksichtigung der damit verbundenen Graubereiche (s.a. Abschnitt 5.1) geordnet. Soweit die Anzahl der jeweiligen beobachtbaren Ereignisse nicht anders angegeben ist, beträgt sie über 6 Beobachtungen.

Generell kann festgestellt werden, dass bei den Zusatzaufgabenfahrten nur in wenigen Fällen der Erfüllungsgrad der Referenz erreicht wird. Tendenziell ist die Blickqualität bei visueller Aufgabe sogar etwas schlechter zu beurteilen. Es ist jedoch zunächst kein Zusammenhang zwischen der Fahraufgabenrelevanz einer Aufgabe und dem Erfüllungsgrad erkennbar. Im Detail können folgende Aussagen getroffen werden:

Bei den Fahrten mit auditiver Zusatzaufgabe beträgt die Qualität der situativen visuellen Aufgabe auf vorausfahrende Fahrzeuge („vorFzg“) zu blicken nur 67%. Zu beachten ist hierbei jedoch die geringe Situationsanzahl von N=6. In nur 60% der Situationen wird die Aufgabe des so genannten Schulterblickes („gHFzg“) erfüllt. Enge Durchfahrten („engSpur“) erreichen zwar einen Erfüllungsgrad von 100%, die Anzahl der Situationen ist auch hier mit N=6 allerdings sehr klein. Auf Fußgänger, die im Verkehrsbereich explizit beobachtet werden mussten, waren bei beiden Zusatzaufgabenfahrten nicht vorhanden. Bei den vier zuvor vorgestellten Aufgaben handelt es sich jeweils um die Kategorie I der essenziellen Blicke. Aufgrund der geringen Anzahl beobachteter Ereignisse kann für die Fahrten mit visueller Aufgabe der Erfüllungsgrad dieser Kategorie nur für die vorausfahrenden Fahrzeuge, wobei ein Wert von 100% erreicht wird (aber N=2!), und für den Schulterblick mit 58% angegeben werden.

Während die situativ erforderliche Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs via Spiegel („rückFzg“) bei beiden Fahrtbedingungen noch relativ hohe Werte aufweisen (auditiv: 90%, visuell: 70%), so sinkt die Aufgabenerfüllung für die Kontrolle des Tachometers („Tacho“, auditiv: 36%, visuell: 25%) und die Fixierung von

Verkehrszeichen („Vzeichen“, auditiv: 36%, visuell: 36%) stark gegenüber dem Referenzwert.

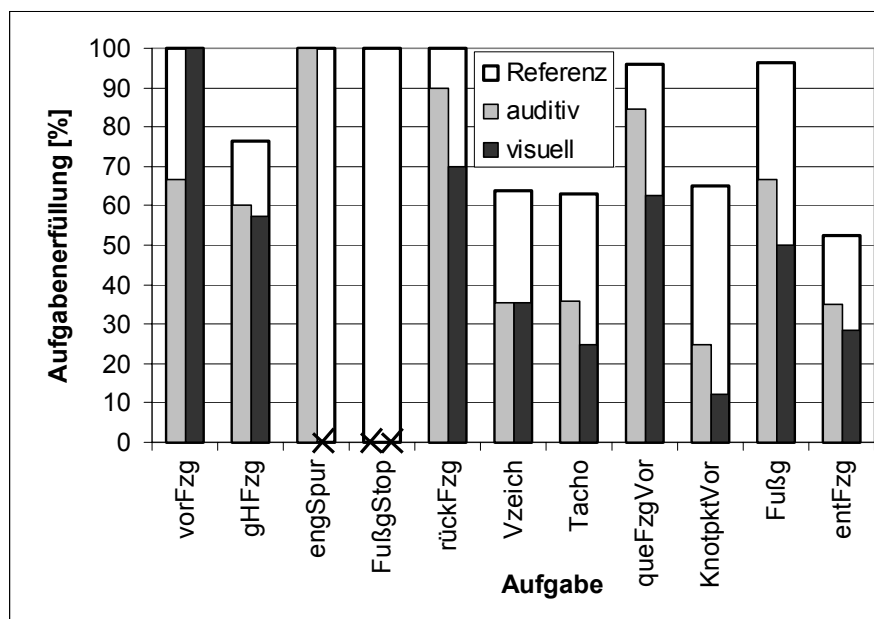


Abbildung 8.35: Erfüllung situationspezifischer visuelle Aufgaben bei visueller und auditiver Zusatzaufgabenbearbeitung im Vergleich zu den Referenzfahrten

Etwas besser wird die Aufgabe potenziell querende Fahrzeuge („queFzgVor“) zu überwachen erfüllt. Bei den Fahrten mit auditiver Zusatzaufgabe wird ein Wert von 84%, bei visueller Aufgabe ein Wert von 61% erreicht. Steht jedoch kein Fahrzeug an einem Knotenpunkt, sondern soll an diesem nach potenziellen Fahrzeugen gesucht werden („KnotpktVor“), so reduziert sich die Aufgabenerfüllung gegenüber der Referenz deutlich auf 25% im auditiven und auf 12% im visuellen Fall. Starke Einbußen sind auch bei der Beobachtung von Fußgängern, die in den Fahrbereich gelangen könnten („Fußg“), zu verzeichnen. Bei den Fahrten mit auditiver Aufgabe wird ein Fußgänger nur noch in 68% der Fälle, bei visueller Aufgabe in 50% der Fälle fixiert. Im letzten Fall ist die Anzahl der beobachtbaren Ereignisse jedoch mit $N=4$ recht gering. Die letzte untersuchte situative visuelle Aufgabe betrifft die Beobachtung entgegenkommender Fahrzeuge. Gegenüber der Referenz sind erhebliche Einbußen festzustellen, die im auditiven Fall zu einem Erfüllungsgrad von 35% und im visuellen Fall von 29% führen. Einen zusammenfassenden Überblick mit der genauen jeweiligen Anzahl der Situationen liefert die im Abschnitt 8.3.2 aufgeführte Tabelle 8.6.

8.2.4 Zusammenhang zwischen Blickparametern und Fahrfehlern

In diesem Abschnitt soll erörtert werden, ob zwischen spezifischen, beobachteten Fahrfehlern und Blickparametern ein vermuteter Zusammenhang aufgezeigt werden kann.

Es kann eine Korrelation zwischen dem Fahrfehler „ungenauere Spurführung“ und den Blickmaßen der maximalen bzw. mittleren Abwendungsdauer festgestellt werden. Mitunter fällt auf, dass schon bei relativ geringen mittleren Abwendungsdauern von 0,3s bis 0,6s bei 60% der Fahrten eine ungenaue Spurführung verzeichnet werden kann und bereits ab 1,2s bis 1,5s Dauer einen Wert von 100% beträgt ($R^2=0,84$). Mittlere Abwendungsdauer bedeutet hier, dass dies der Mittelwert aller Abwendungsdauern eines Probanden innerhalb einer Fahrsituation (z.B. Autobahn1) ist. Es gibt aber

keinen feststellbaren Grenzwert für Abwendungsdauern, der bei Überschreitung zum sprunghaften Anstieg dieses Fehlers führt (Abbildung 8.36). Nachdem zu vermuten ist, dass der Maximalwert innerhalb eines Abschnittes den größeren Einfluss auf die Spurführung besitzt, wird ebenso die Korrelation mit dieser Größe untersucht, die ebenfalls einen hohen Wert von $R^2=0,80$ erreicht.

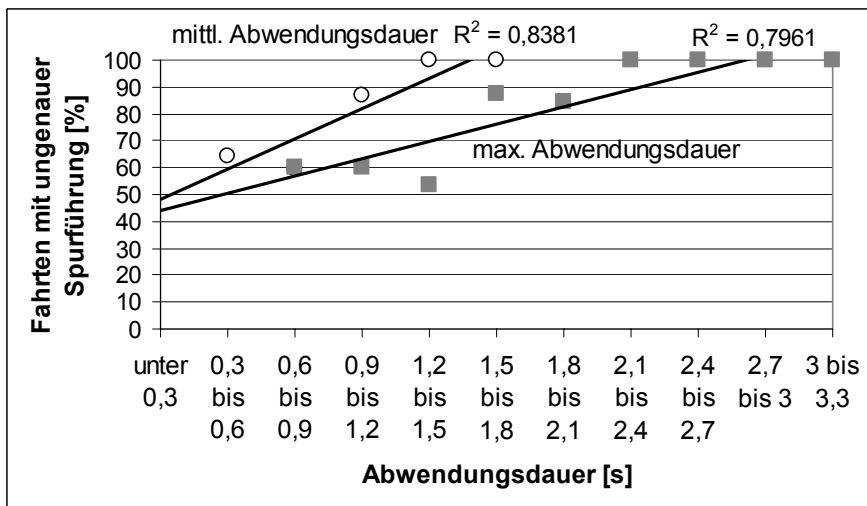


Abbildung 8.36: Korrelation zwischen den mittleren resp. maximalen Abwendungsdauern auf das Display und des Anteils an Fahrten mit ungenauer Spurführung

Untersucht man hingegen den Zusammenhang der Abwendungsdauern und der Häufigkeit an ruckartigen Lenkkorrekturen, so sind keine Korrelation feststellbar. Nachdem eine ungenaue Spurführung nicht zwingend mit einer ruckartigen Lenkkorrektur kompensiert werden muss, ist diese Korrelation nicht ausgeprägt (Abbildung 8.37).

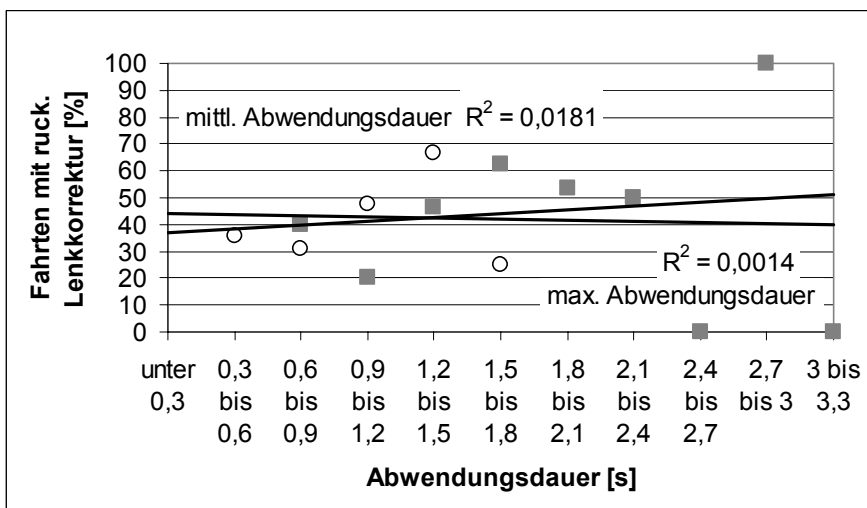


Abbildung 8.37: Korrelation zwischen den mittleren resp. maximalen Abwendungsdauern auf das Display und des Anteils an Fahrten mit ruckartigen Lenkkorrekturen

Diese Ergebnisse scheinen zunächst in Widerspruch mit der Arbeit von Green (1999) zu stehen, der Blickbewegungsgrößen für einen schlechten Prädiktor für sicherheitsrelevante Aspekte der Fahrzeugführung (z.B. für Spurüberschreitungen) hält. Diese Tatsache kann damit aufgeklärt werden, dass in unserem Fall das Kriterium der ungenauen Spurführung schon bei kleineren, von der Zusatzaufgabe beeinflussten

Spurabweichungen, angewendet wurde. Diese Abweichungen waren aber überwiegend ungefährlich, da noch innerhalb der eigenen Fahrspur gefahren wurde. Dass auch schon bei geringen Abwendungsdauern ungenaue Spurführungen zu verzeichnen sind, hängt ebenfalls mit der sensitiven Auslegung dieses Kriteriums durch den mitfahrenden Beobachter zusammen.

Ebenso kann eine Korrelation mit einem $R^2=0,752$ zwischen dem Fahrfehler „ungenaue Spur“ und der Verkehrsblindzeit festgestellt werden. Für den Fehler „ruckartige Lenkkorrektur“ existiert kein solcher Zusammenhang (Abbildung 8.38).

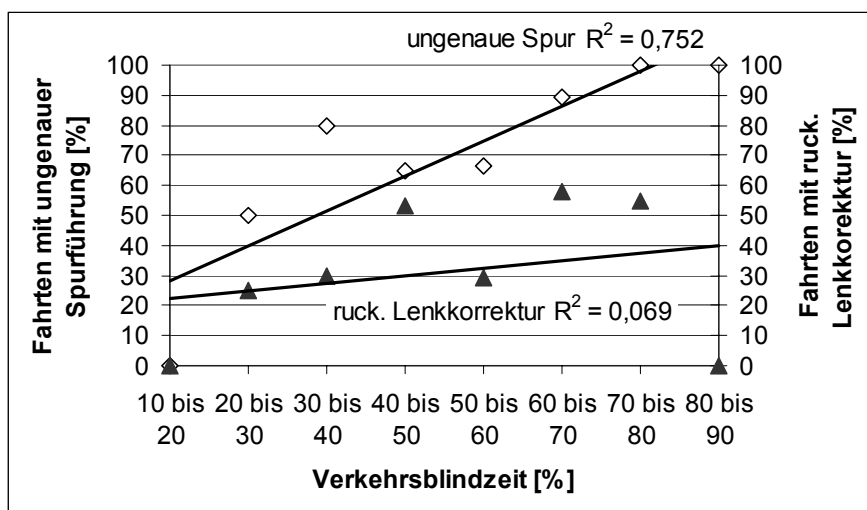


Abbildung 8.38: Korrelation zwischen dem Anteil der Verkehrsblindzeit und dem Anteil an Fahrten mit ruckartigen Lenkkorrekturen resp. mit ungenauer Spurführung

8.3 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Das Konzept der Unterteilung des Blickverhaltens in kontinuierliche und situative visuelle Aufgaben konnte erfolgreich eingesetzt werden. Kontinuierliche visuelle Aufgaben umfassen die regelmäßige Beobachtung der eigenen Spurführung und des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer. Situative Aufgaben zeichnen sich dadurch aus, dass ein engeres Zeitfenster existiert, innerhalb dessen Fixationen, Blicke oder Fixationssequenzen erfolgen müssen. Beide Aufgabentypen ergänzen und durchdringen sich gegenseitig, d.h. dass die Betrachtung einer einzelnen Fixation meist nicht zur eindeutigen Zuordnung genügt. Nachdem kontinuierliche Aufgaben, im Gegensatz zu situativen Aufgaben, nicht an fixe Zeitintervalle und –zeitpunkte gebunden sind, wurde die Auswertung für beide Typen getrennt vorgenommen. Aus diesem Grund ist die Darstellung beider Typen in einem einzigen Diagramm mittels Fixationssequenzen nicht immer möglich. In Abbildung 8.39 wird exemplarisch der Versuch unternommen, beide Aufgabentypen zu vereinen. Es zeigt in diesem speziellen Fall, einer Abbiegesituation, eine kontinuierliche Aufgabe, bei der der Fluchtpunkt fixiert („Weit“) wird. Weiterhin erkennt man die für jeden Probanden zum ähnlichen Zeitpunkt auftretende Aufgabe, den Knotenpunkt visuell zu sichern („queFzgVor“) ebenso wie ein Verkehrszeichen („Vzeichen“) abzulesen. Diese Darstellung gelingt hier aufgrund der Tatsache, dass die hier auftretenden situativen Aufgaben mittels Einzelfixationen beschrieben werden können.

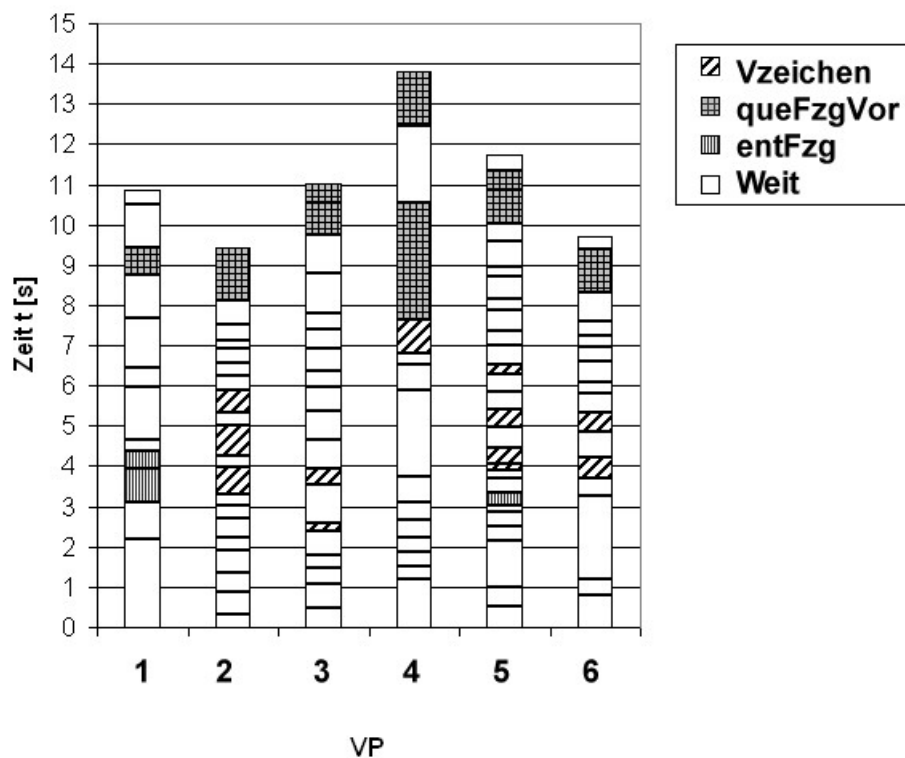


Abbildung 8.39: Beispielhaftes Fixationssequenz-Diagramm (Schweigert, 1999a), reales Blickverhalten von 6 Probanden in einer Abbiegesituation.

Es wurde weiterhin gezeigt, dass das Blickverhalten stark vom durchfahrenen Streckenabschnitt abhängig ist, was bei vielen Untersuchungen unberücksichtigt bleibt. Diese Abhängigkeit zeigt sich z.B. in einer unterschiedlichen Anzahl von Fixationen, im Abwendungsverhalten oder in unterschiedlichen Zeitanteilen bestimmter Blickkategorien (s.a. Schweigert, 1998). Gerade diese Abhängigkeit vom Streckenabschnitt ist als bedeutend heraus zu stellen, da das Versuchsdesign, insbesondere die Streckenauswahl einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis hat und so die Ergebnisse anderer Untersuchungen relativiert. Nicht nur die Komplexität eines Streckenabschnittes spielt demnach eine Rolle, sondern auch das z.T. damit verknüpfte Vorhandensein von visuellen Aufgaben, die es zu erfüllen gilt. Im Folgenden werden die Ergebnisse des Blickverhaltens bei Fahrt ohne Zusatzaufgaben (Referenz) und bei den Fahrten mit auditiver resp. visueller Zusatzaufgabe behandelt.

8.3.1 Erfüllung visueller Aufgaben bei „normaler“ Fahrt

Bis auf geringfügig erhöhte Geschwindigkeiten und z.T. geringe Abstände zum vorausfahrenden Fahrzeug sind bei den Fahrten keine weiteren Fahrfehler zu verzeichnen. Das Sicherungsverhalten, das sich auf das vom mitfahrenden Beobachter registrierte Blickverhalten bezieht, ist ebenfalls als akzeptabel einzustufen, so dass die Informationsaufnahme bei den „normalen“ Fahrten ausreichend zu sein scheint und im Falle der kontinuierlichen visuellen Aufgaben als Referenz zum späteren Vergleich mit den Zusatzaufgabenfahrten dienen kann.

Die Häufigkeitsverteilung von Blickdauern ist stark linksschief und besitzt einen ausgeprägten Modalwert bei 0,3s bis 0,6s. Es scheint einerseits eine Abhängigkeit vom Komplexitätsgrad des durchfahrenen Streckenabschnitts, andererseits von der Art des angeblickten Objekts zu existieren. Komplexere Streckenabschnitte weisen im

Mittel kürzere Fixationsdauern, weniger komplexe längere auf. Offenbar werden für komplexere Situationen mehr Informationen pro Zeiteinheit für die Fahraufgabe benötigt. Die festgestellte Verkürzung der Fixationsdauern bei größerem Schwierigkeitsgrad der Fahraufgabe ist in Übereinstimmung mit Ergebnissen von Miura (1986, 1987) und Schweigert (1998) zu sehen. Besonders kurz sind Fixationen auf für die Fahraufgabe unrelevante Objekte und für suchende Fixationen des so genannten Scanning. Länger sind sie für gezielte Fixationen, den Processingfixationen, die besonders häufig die Antizipation des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer beinhalten. Nachdem für die eigene Spur- und Bahnführung nicht nur die momentane Position eines anderen Fahrzeuges, sondern auch dessen potenzielle zukünftige Position von Interesse ist, müssen diese Objekte auch länger fixiert werden. Die Fixationsdauern, ungeachtet ihrer Kategorie bleiben jedoch unter dem Grenzwert von 2s. Ebenso sind die eyes-off-road-times in einem vertretbaren Rahmen. Nebenbei sei angemerkt, dass die Steuerung der Fixationszeiten nicht der Kontrolle des Bewusstseins unterliegt (Cohen, 1998).

Für die kontinuierlichen visuellen Aufgaben, worunter zum einen die Beobachtung des vorausfahrenden Fahrzeuges, der Fahrzeuge der anderen Fahrspuren, der Spureinhaltung und des Fluchtpunktes zählen, wurden die prozentualen Anteile der kumulierten Fixationsdauern auf die damit verknüpften Blickobjekte ermittelt. Die hohen Anteile dieser Kategorien in den Ergebnissen spiegeln ihren Bedeutungsgrad für die Fahraufgabe wider. Es können hierbei keine Grenzwerte angegeben werden, die erhaltenen Werte dienen als Referenz für den Vergleich mit den Fahrten mit Zusatzaufgaben. Zum anderen beinhalten sie die regelmäßige Kontrolle des rückwärtigen Verkehrs und des Tachometers. Für diese Aufgaben wurde weniger die Ablesehäufigkeit betrachtet, sondern vielmehr, ob die genannten Aufgaben überhaupt innerhalb eines Streckenabschnitts durchgeführt werden. Gerade der kontinuierlichen Beobachtung der Spiegel wird aufgrund der Zusammensetzung der Streckenabschnitte relativ wenig Beachtung geschenkt. Streckenabschnitte mit nur einer Fahrspur und bei denen ein Überholtwerden durch andere Fahrzeuge so gut wie ausgeschlossen werden kann, fallen durch einen hohen Anteil an Fahrten auf, bei denen nicht in Spiegel geblickt wird (z.T. bis zu 65%). Die regelmäßige Kontrolle des Tachometers hingegen spielt bei Abschnitten mit Kolonnenverkehr eher eine untergeordnete Rolle, da in den meisten Fällen davon ausgegangen werden kann, dass die gefahrene Geschwindigkeit unterhalb des Tempolimits bleibt.

Bei den situativen Aufgaben kann der Erfüllungsgrad angegeben werden. Er wird aus dem Quotienten aus der Anzahl der korrekt durchgeführten Aufgaben (Ist) und der Anzahl durchzuführender Aufgaben (Soll) gebildet. Man stellt fest, dass die meisten Aufgaben, auch bei der Referenzbedingung, nicht zu 100% erfüllt werden. Besonders kritisch ist die mangelnde Kontrolle des Parallelverkehrs beim Spurwechsellvorgang. Es ist nicht auszuschließen, dass die Probanden diese Aufgabe zu kompensieren versuchen, indem sie mehrmals in einem größeren Zeitraum in den Spiegel blicken. Mit Hilfe dieser Information aus dem Gedächtnisinhalt wird ausgeschlossen, dass sich neben dem eigenen Fahrzeug ein anderes befindet, worauf es letztlich ankommt. Ein ebenfalls geringer Prozentsatz kann bei der Fixation von Verkehrszeichen und des Tachometers festgestellt werden. Mittels peripherer Sicht kann eine grobe Einteilung, um welche Art von Verkehrszeichen es sich handelt, vorgenommen werden. Auf diese Art und Weise scheinen Autofahrer von vornherein in der Lage zu sein, die für sie interessanten Informationen (Blickzuwendung) von uninteressanten (keine Fixation) zu trennen. Dass Verkehrszeichen in der Praxis nicht so häufig angeblickt werden wie sie sollten, belegt u.a. auch die Studie von Sprenger et

al. (1999). Ampeln werden am häufigsten fixiert, es folgen Tempobegrenzungsschilder und zu einem geringen Prozentsatz Gefahrenschilder. Die situative Kontrolle des Tachometers scheint wohl zum erwarteten Nutzen in einem unverhältnismäßig hohen Aufwand für die Probanden zu stehen, was sich in einem relativ geringen Erfüllungsgrad äußert. Ebenso wird nicht an jedem Knotenpunkt, an dem man selbst die Vorfahrt besitzt, gezielt nach anderen Fahrzeugen gesucht. In manchen Fällen mag eine periphere Erkennung der Situation ausreichen, was eine Erklärung des ermittelten Werts ermöglicht. Entgegenkommende Fahrzeuge werden, insbesondere wenn sie gehäuft auftreten, nur sporadisch fixiert, da die ständige Beobachtung aller Fahrzeuge aufgrund anderer wichtiger visueller Aufgaben nicht möglich wäre. Bei einzelnen entgegenkommenden Fahrzeugen ist die Wahrscheinlichkeit, dass dieses fixiert wird deutlich höher. Alle anderen untersuchten Aufgaben werden ganz oder fast zu 100% erfüllt und bestätigen die Relevanz der definierten Aufgaben.

8.3.2 Erfüllung visueller Aufgaben bei Zusatzaufgabenbearbeitung

Die Qualität oder Geschwindigkeit der Zusatzaufgabenbearbeitung ist unabhängig von der Verkehrssituation. Als einziger Unterschied ist festzustellen, dass die visuelle Aufgabe im Vergleich zur Bearbeitung im parkenden Fahrzeug nicht kontinuierlich bearbeitet werden kann, da der visuelle Kanal mit der Fahraufgabe geteilt werden muss. Bei der auditiven Aufgabe ist jedoch kein Unterschied zur Bedienung im Stand nachweisbar. Es kann daraus geschlossen werden, dass die Probanden bei allen Fahrtbedingungen gleich stark belastet waren.

Durch die quasi-simultane Bearbeitung der Zusatzaufgaben ist trotz selbstgewählter Abwendungsdauern und –zeitpunkte eine fehlerfreie Fahraufgabe nicht möglich. Wie die Ergebnisse in Übereinstimmung mit Reichart (2000) zeigen, liegen die vom mitfahrenden Beobachter festgestellten Fahrfehler zumeist im Bereich der Bahnführungsaufgabe bzw. Antizipation. Besonders häufig treten schwankende Längsabstände und ein schlechtes Sicherungsverhalten auf. Im Fall der visuellen Aufgabe sind diese Fehler nicht nur stärker ausgeprägt, sondern es kommen noch Fehler in der Spurführung hinzu. Diese Fahrfehler sind auf eine Veränderung der Informationsaufnahme und –verarbeitung durch die Zusatzaufgaben zurückzuführen.

Viele Probanden vergrößern den Längsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug und führen weniger Spurwechsel durch, um die Belastung durch Fahr- und Zusatzaufgabe zu reduzieren. Zudem versuchen sie, zu Lasten der Fahraufgabe Zeit für die Zusatzaufgabenbearbeitung einzusparen, indem z.B. Blickdauern systematisch verringert werden. Eine Ausnahme bilden die Fixationsdauern auf die Fahrbahn und darauf befindliche Objekte bei Bearbeitung der auditiven Aufgabe. Hier steigen die Fixationsdauern derart an, dass das 2s Kriterium bei vielen Streckenabschnitten überschritten wird. Die eyes-off-road-times sind bei beiden Aufgabentypen in einem akzeptablen Bereich, da das 95. Perzentil dieser Dauern unter 2s bleibt. Die einzelnen Abwendungsdauern werden bei der visuellen Zusatzaufgabe an die Verkehrssituation angepasst.

Bei visueller Aufgabe besteht das Blickverhalten aus einem ständigen Wechsel zwischen Display und Fahrbahn voraus. Die auditive Aufgabe bindet den Blick stark auf den Fahrbahnbereich, wobei das Scanning weniger stark ausgeprägt ist („starrer Blick“). Bzgl. der Verteilungsform der Dauern ist kein prinzipieller Unterschied zur Referenz festzustellen. Der Einfluss des Streckenabschnitts und der Blickkategorien bleibt bei beiden Aufgabentypen tendenziell bestehen.

Bzgl. der visuellen Aufgabe ist festzuhalten, dass der Blick um 20%-80% weniger auf Objekten zur Erfüllung der kontinuierlichen Aufgaben ruht, da der visuelle Kanal mit der Zusatzaufgabe geteilt werden muss. Bei der auditiven Aufgabe wird die zu Verfügung stehende Blickzeit derart umverteilt, dass vermehrt auf das vorausfahrende Fahrzeug und auf den Fluchtpunkt geblickt wird, aber Fahrzeuge der anderen Fahrspuren eher vernachlässigt werden. Beide Zusatzaufgaben haben negative Veränderungen der kontinuierlichen Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs und des Tachometers zur Folge, die Anzahl an Fahrten ohne einen einzigen Blick auf entsprechende Objekte durchzuführen steigt stark an.

Auch bei den situativen visuellen Aufgaben ist ein deutlicher Einbruch der Aufgabenerfüllung zu verzeichnen, wenn zusätzlich die geforderten Aufgaben zu bearbeiten sind. Während bei den essenziellen Aufgaben der Rückgang noch gering ausfällt, beträgt er für Aufgaben der Kategorien II und III teilweise mehr als 50%. Sowohl die Kontrolle von Verkehrszeichen als auch des Tachometers ist sehr stark davon betroffen, ebenso wie die visuelle Suche nach anderen, nicht vorfahrtberechtigten Fahrzeugen an Knotenpunkten. Auch Fußgänger, die evtl. in den Fahrbereich gelangen könnten werden deutlich seltener beobachtet. Nachdem, wie zuvor bereits angesprochen wurde, z.T. die Möglichkeit einer Kompensation der fovealen Information durch periphere Wahrnehmung besteht, ist zu hinterfragen, ob dieser Mechanismus im Fall der Zusatzaufgabenbearbeitung greifen kann. Durch zusätzliche mentale Belastungen verengt sich das nutzbare periphere Gesichtsfeld (Miura, 1987), die eine weitere Verschlechterung der Wahrnehmung und Durchführung der genannten visuellen Aufgaben zur Folge hat. Mittels peripherem Sehen ist somit eine Kompensation ausgeschlossen, die geringere visuelle Aufgabenerfüllung bei Zusatzaufgabenbearbeitung spiegelt also eine tatsächliche Verschlechterung bei der Wahrnehmung wider.

Bei der Beobachtung des Fehlers „ungenauere Spurführung“ wurde registriert, ob innerhalb eines durchfahrenen Abschnitts dieser Fehler auftritt oder nicht. Wie viele Abwendungen oder bei welcher (Einzel-)Abwendung genau dieser Fehler zu verzeichnen ist, ist aufgrund der kumulierten Betrachtung nicht möglich. Aus diesem Grund ist die Validierung von Blickparametern an Fahrfehlern, um auf diese Weise Grenzwerte zu erhalten, trotz der nachgewiesenen Korrelationen zwischen den mittleren bzw. maximalen Abwendungsdauern und dem Fehler, eine ungenaue Spurführung zu verfolgen, mit Vorsicht zu genießen. Die erhaltenen Werte sind nicht als Absolutwerte zu verstehen, da nach dieser Methode schon bei geringsten Abwendungsdauern Fehler in der Spurführung feststellbar sind. Es sei an dieser Stelle ausdrücklich erwähnt, dass, obwohl die Spurführung als schlecht bewertet wurde, es zu keinerlei Spurüberschreitungen oder gar zu Konflikten kam.

Tabelle 8.6 zeigt im Überblick die Erfüllung der definierten Aufgaben sowohl für die Referenzfahrten als auch für die Fahrten mit Zusatzaufgaben. Der besseren Übersicht wegen sind alle Streckenabschnitte zusammengefasst, obwohl die Darstellung etwas verzerrt, da bei den Fahrten mit der visuellen Aufgabe nur drei Streckenabschnitte berücksichtigt werden. Die Prozentwerte der ersten vier kontinuierlichen Aufgaben beziehen sich auf den mittleren Anteil der kumulierten Fixationsdauern an der Gesamtdauer und drücken die zeitbezogene Wahrscheinlichkeit aus, dass auf dieses Objekt geblickt wird. Bei denjenigen Aufgaben, für die ein Grenzwert existiert, wird der Prozentsatz der erfüllten Fahrten aufgeführt. Nachdem die einzelnen Werte verschiedene Umfänge an Einzelwerten beinhalten ist die Größe des Umfanges zusätzlich mit aufgeführt. Die Kategorie gibt an, welche Hierarchieebene für die jeweilige visuelle Aufgabe hinsichtlich ihrer Relevanz für die Fahraufgabe zutrifft.

Weitere visuelle Aufgaben, wie z.B. das Verhalten bei Knotenpunkten, an denen man nicht vorfahrtberechtigt ist, sind jedoch nicht dargestellt, da sie im Rahmen der Untersuchung nicht analysiert wurden. Mit einer Ellipse gekennzeichnete Aufgaben weisen auf eine geringe Stichprobenmenge hin, so dass das Ergebnis unter diesem Gesichtspunkt relativiert zu betrachten ist.

Tabelle 8.6: Übersicht über die Erfüllung der definierten visuellen Aufgaben bei den Referenzfahrten und den Fahrten mit Zusatzaufgabenbearbeitung (alle Streckenabschnitte)

	visuelle Aufgabe	Parameter/Kriterium	Kategorie	Parameterwert, Erfüllungsgrad					
				Referenz		auditive ZA		visuelle ZA	
kontinuierliche Aufgaben	Fluchtpunktdominanz	mittl. Zeitant. Fixationen	I	44%	N=143	58%	N=96	29%	N=43
	Kontrolle des vorausfahrenden Fahrzeuges	mittl. Zeitant. Fixationen	I	10%	N=143	13%	N=96	6%	N=43
	Kontrolle der Spur	mittl. Zeitant. Fixationen	I	4%	N=143	3%	N=96	1%	N=43
	Kontrolle der Fahrzeuge der anderen Fahrspuren in gleicher Richtung	mittl. Zeitant. Fixationen	II	8%	N=143	5%	N=96	1%	N=43
	regelmäßige Kontrolle des rückwärtigen Verkehrs	Anteil Fahrten ohne Spiegelfixation	II, III	33%	N=262	58%	N=165	75%	N=88
	regelmäßige Kontrolle der Ist-Geschwindigkeit	Anteil Fahrten ohne Tachometerfixation	III	11%	N=262	42%	N=165	42%	N=88
	Wechsel des Blickortes innerhalb 2s Dauer	95. Perzentil der Blickdauern einer Fahrt <2s	I,II,III	85%	N=262	45%	N=165	94%	N=88
	eyes-off-road-time unter 2s Dauer	95. Perzentil aller Blickdauern <2s	IV	100%	(N=2298)	100%	(N=507)	100%	(N=2763)
situative Aufgaben	Kontrolle des vorausfahrenden Fahrzeuges	Erfüllungsgrad an Aufgaben	I	100%	N=11	67%	N=6	100%	N=2
	Kontrolle von Fahrzeugen auf gleicher Höhe	Erfüllungsgrad an Aufgaben	I	76%	N=38	60%	N=15	57%	N=7
	Kontrolle der Fahrzeugbegrenzungen bei Engstellen	Erfüllungsgrad an Aufgaben	I	100%	N=7	100%	N=6	-	N=0
	Spiegelblick beim Ausscheren und Überholen	Erfüllungsgrad an Aufgaben	I	100%	N=78	90%	N=29	70%	N=10
	Beobachtung von Fußgängern	Erfüllungsgrad an Aufgaben	I, II, III	96%	N=28	67%	N=21	50%	N=4
	Ablesen von Verkehrszeichen	Erfüllungsgrad an Aufgaben	I, III	64%	N=278	35%	N=155	35%	N=99
	Kontrolle der Ist-Geschwindigkeit	Erfüllungsgrad an Aufgaben	I, III	63%	N=81	36%	N=39	25%	N=16
	Kontrolle nicht vorfahrtberechtigter Fahrzeuge	Erfüllungsgrad an Aufgaben	II	96%	N=72	85%	N=26	63%	N=16
	Kontrolle ob nichtvorfahrtberechtigte Fahrzeuge vorhanden sind	Erfüllungsgrad an Aufgaben	II	65%	N=163	25%	N=125	12%	N=49
Beobachtung entgegengerichteter Fahrzeuge	Erfüllungsgrad an Aufgaben	II, III	52%	N=647	35%	N=335	28%	N=258	

In Abbildung 8.40 sind, als Zusammenfassung der in Tabelle 8.6 aufgeführten Teilergebnisse, verschiedene Blickverhaltensebenen dargestellt, die bei Bearbeitung von Zusatzaufgaben während der Fahrt im Vergleich zur Referenz Veränderungen aufweisen. Es wird dabei zwischen Kompensationsversuchen und Fehler im Blickverhalten unterschieden. Je tiefer die Ebene, desto wahrscheinlicher ist die Möglichkeit der Entstehung eines Verkehrskonfliktes.

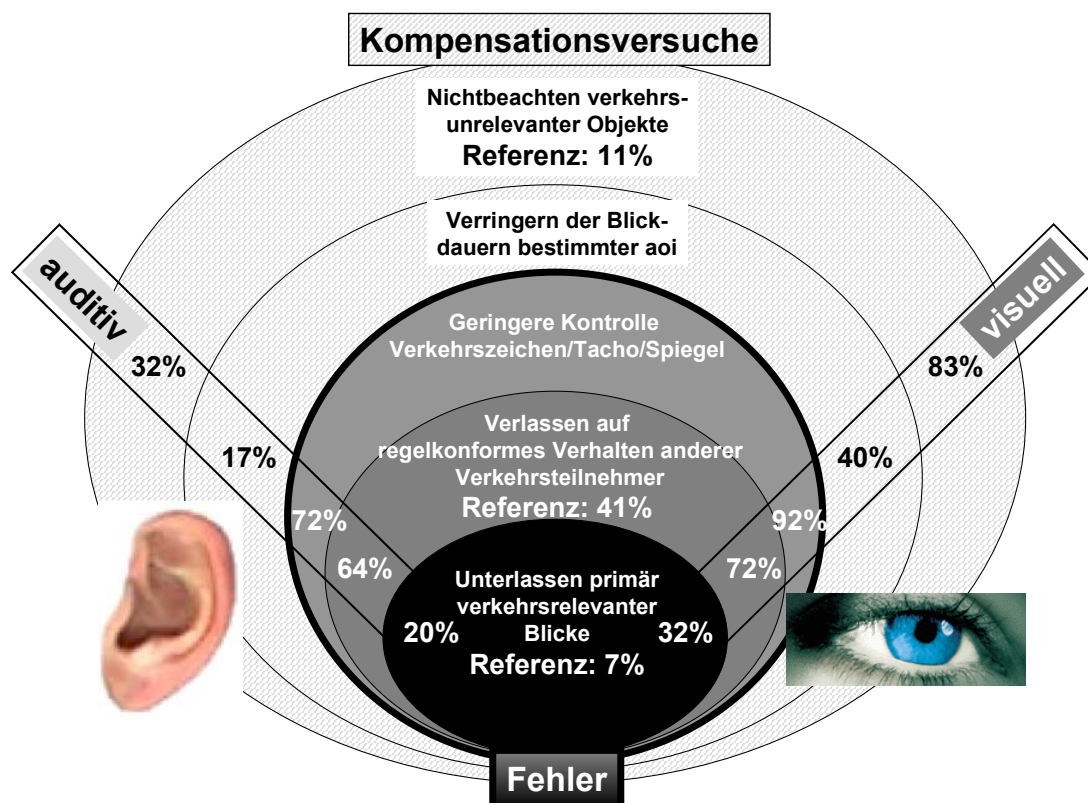


Abbildung 8.40: Prozentualer Anteil an Referenzfahrten und Fahrten oder Situationen mit Zusatzaufgabe, bei denen Kompensationsversuche oder sogar Fehler im Blickverhalten zu verzeichnen sind (Daten aller Abschnitte und aller Fahrer).

Eine Möglichkeit der Kompensation besteht darin, für die Fahraufgabe unrelevante Objekte nicht zu fixieren. Bei 11% der Referenzfahrten erregt dabei nicht ein einziges Objekt dieser Klasse die Aufmerksamkeit des Fahrers. Bei Bearbeitung der auditiven Aufgabe beträgt der Wert bereits 32% und bei der visuellen Aufgabe wird noch stärker kompensiert, wobei der Anteil der Fahrten ohne einen einzigen Blick auf „Sonstiges“ auf 83% ansteigt. Das Verringern von Blick/Fixationsdauern auf bestimmte Blickkategorien (alles außer „Weit“ und „vorFzg“) stellt eine weitere Möglichkeit dar, Zeit für die Zusatzaufgabenbearbeitung einzusparen. Im Vergleich zur Referenz ist dies signifikant in 17% der auditiven Fahrten der Fall. Sogar 40% der visuellen Fahrten weisen eine signifikante Verringerung auf. Ob allerdings die gewählten geringeren Fixationsdauern noch zur Beobachtung des Verkehrsgeschehens ausreichen, kann nicht festgestellt werden.

Im Vergleich zur Referenz lässt sich festhalten, dass bei 72% der Fahrten mit auditiver Zusatzaufgabe eine signifikante Verringerung der Kontrolle von Verkehrszeichen, des Tachometers und des Spiegels zu verzeichnen ist. Noch schlechter ist die Bilanz für die visuellen Fahrten, bei denen eine Verschlechterung bei 92% der Fahrten auftritt. Als Quintessenz bleibt weiterhin festzuhalten, dass bei Zusatzaufgabenbearbeitung sich die Fahrer stärker auf das verkehrsgerechte Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer verlassen und diese weniger beobachten. Gerade wenn der Fahrer durch Zusatzaufgaben beansprucht ist, verlässt er sich stärker auf das „normgerechte“ Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer, was aber fatale Folgen haben kann. So verlassen sich die Fahrer, wenn die auditive Aufgabe bearbeitet wird, bei 64% der Situationen auf das regelkonforme Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer. Bei Bearbeitung der visuellen Aufgabe sind es sogar 72%. Selbst bei den Referenzfahrten sind 41% davon betroffen. In einigen Fällen kommt es bei

der Zusatzaufgabenbearbeitung sogar zum Unterbleiben von essenziell wichtigen Blicken, die das Risiko eines Verkehrskonfliktes bedeutend erhöhen können. Das Unterlassen primär verkehrsrelevanter Blicke steigt bei Zusatzaufgabenbearbeitung (auditiv: 20% der Fahrten, visuell: 32%). Doch selbst bei der Referenzfahrt ist dieser Fehler bei 7% der Fahrten zu verzeichnen. Man sollte die Zahlenwerte nicht überbewerten, da wie an anderer Stelle erläutert wurde, nicht immer genau differenziert werden kann, welche Information ausschließlich über den gemessenen visuellen, fovealen Sinneskanal aufgenommen wird. Die Tendenzen, dass eine Verschlechterung der Informationsaufnahme bei Zusatzaufgabenbearbeitung festgestellt werden kann und welche Bereiche davon betroffen sind, ist als wesentliches Ergebnis vorliegender Arbeit zu betrachten.

Bei genauer Betrachtung handelt es sich bei dem vorgestellten Schalenmodell um eine weitere Konkretisierung des in Abschnitt 3.1, Abbildung 3.2 aufgeführten Informationsspeichermodells. Bei Belastung durch die Nebenaufgabe verlagert sich der Aufmerksamkeitsfokus zunehmend auf diejenigen Objekte, die für die rudimentäre Fahraufgabe, der Quer- und Längsführung, benötigt werden. Es findet somit eine Selektion und Reduktion der aufgenommenen visuellen Information statt, um mentale Ressourcen für die Nebenaufgabe bereit zu halten. Im Gegensatz zum Informationsspeichermodell, das in erster Linie einen quantitativen Ansatz verfolgt, bezieht sich jedoch das Schalenmodell auf den qualitativen Aspekt des Blickverhaltens.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Immer mehr und umfangreichere Zusatzgeräte im Fahrzeug, die das Komfort- und Kommunikationsbedürfnis des Fahrers befriedigen sollen, binden nicht nur die mentale Aufmerksamkeit, sondern erfordern z.T. zusätzlich Blickzuwendungen zu Displays oder Stellteilen. Da der visuelle Sinneskanal für die Informationsaufnahme zur Erfüllung der Fahraufgabe dominierend ist, ist zu erwarten, dass sich besonders die Analyse des Blickverhaltens als sensitiv in Bezug auf Veränderungen des Fahrerhaltens erweist. Vorliegende Arbeit befasst sich mit der Bewertung des Blickverhaltens von Fahrzeugführern, wobei ein neuer Zugang zu dieser Thematik gewählt wurde.

Die Durchsicht der Literatur zeigt, dass es in den meisten Fällen nicht möglich ist, das Blickverhalten eines Autofahrers, beschrieben durch eine Sequenz von Fixationen, vorherzusagen. Es existieren für ein und die selbe Situation viele richtige Blicksequenzen. Selbst wenn in einfachen Fällen eine Vorhersage möglich ist, beschränkt sie sich jedoch auf Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen zwei Blickkategorien. Wie kann also beurteilt werden, ob das Blickverhalten einer bestimmten Situation angemessen ist?

Um ein Verhalten allgemein bewerten zu können, muss das tatsächlich gemessene Verhalten mit einem Sollverhalten verglichen werden. Je geringer Abweichungen sind, desto höher ist die Qualität der Aufgabenerfüllung. Was in der Theorie einfach und logisch klingt, stellt sich in der Praxis bei der Frage nach einem Soll als diffizil heraus. Ein Abschnitt dieser Arbeit befasst sich aus diesem Grund mit der Frage, welche Aufgaben ein Autofahrer zu erfüllen hat. Ein bestehendes mentales Modell zur Bahnführung wird erweitert und dient zur Kategorisierung der definierten Fahraufgaben. Darauf aufbauend wird erläutert, welche Informationen für die Erfüllung dieser Fahraufgaben nötig sind. Wie gezeigt werden konnte, ist die explizite Definition eines „Solls“ nicht immer möglich, so dass als Vergleichsmaßstab auch das „normale“ Verhalten herangezogen muss.

Diese theoretischen Grundlagen ermöglichen die vorgeschlagene und verwendete Systematik der so genannten visuellen Aufgaben. Im Gegensatz zu vielen Untersuchungen, die das Blickverhalten ausschließlich auf der Ebene von Einzelfixationen oder –blicke betrachten, wird mit dem neuen Ansatz der visuellen Aufgaben eine Möglichkeit vorgestellt, mit der das Blickverhalten mittels verschiedener Parameter und auf unterschiedlichen Ebenen der Interpretation flexibel analysiert werden kann. Es wird dabei zwischen kontinuierlichen visuellen Aufgaben, bei denen einerseits die kontinuierliche Kontrolle der eigenen Fortbewegung auf der Fahrbahn und andererseits das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer beobachtet werden muss, und situativen visuellen Aufgaben unterschieden. Letztere beinhalten konkrete Forderungen an das Fahrerblickverhalten in bestimmten Situationen, während sich die Vorgabe eines Sollwerts für die kontinuierlichen Aufgaben einer genauen Quantifizierung weitestgehend entzieht. Es wird zudem erörtert, welche weiteren Informationsquellen außer der Nutzung des visuellen Sinneskanals dem Fahrer zu Verfügung stehen, um eine Entscheidungsbasis für sein Handeln aufzubauen.

Um die Validität des definierten Sollblickverhaltens zu überprüfen, wurde ein Feldversuch durchgeführt, bei dem insgesamt 30 Probanden eine festgelegte Strecke zu durchfahren hatten. Die Strecke beinhaltet 9 unterschiedliche Abschnitte, die sich hinsichtlich ihrer visuellen Komplexität voneinander unterscheiden. Bei der Ablenkung durch ein Zusatzsystem im Fahrzeug gilt es zu unterscheiden, ob diese rein

sensorischer Natur aufgrund eines Blickes oder einer Blicksequenz in den Fahrzeugraum entsteht, oder ob eine mentale Ablenkung vorliegt, die mit den Informationsaufnahme- und Entscheidungsprozessen beim Fahren interferiert. Bei den zusätzlich zu einer Referenzfahrt durchgeführten Fahrten war zum einen eine auditiv-mentale Aufgabe, zum anderen eine visuelle Aufgabe, die die Aufmerksamkeit der Fahrer beansprucht, durchzuführen. Um das Blickverhalten erfassen zu können, wurde das Blickerfassungssystem JANUS des Lehrstuhls für Ergonomie hard- und softwareseitig um wertvolle Funktionen, wie z.B. um Tools für die universelle Analyse von Blickparameter, erweitert.

Das Konzept der Unterteilung des Blickverhaltens in kontinuierliche und situative visuelle Aufgaben wurde erfolgreich eingesetzt. Es konnte gezeigt werden, dass das Fahrerverhalten ohne im Fahrzeug zu erledigende Zusatzaufgaben zum Großteil die definierten visuellen Aufgaben erfüllt. Abweichungen können mit den speziellen Erfordernissen bei den untersuchten Streckenabschnitten oder mit der Frage nach der Herkunft der für die Erfüllung der Fahraufgabe benötigten Information, die nicht immer foveal aufgenommen werden muss, beantwortet werden. Als Hauptergebnis bleibt festzuhalten, dass bei Zusatzaufgabenbearbeitung sich die Fahrer stärker auf das verkehrsgerechte Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer verlassen und diese weniger beobachten. Gerade wenn der Fahrer durch Zusatzaufgaben beansprucht ist, verlässt er sich stärker auf das „normgerechte“ Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer, was aber fatale Folgen haben kann. So verlassen sich die Fahrer bei 64% der Situationen auf das regelkonforme Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer, wenn die auditive Aufgabe bearbeitet wird. Bei der Bearbeitung der visuellen Aufgabe sind es 72% (Referenz: 41%). In einigen Fällen kommt es bei der Zusatzaufgabenbearbeitung sogar zum Unterbleiben von essenziell wichtigen Blicken, die das Risiko eines Verkehrskonfliktes bedeutend erhöhen können. Das Unterlassen primär verkehrsrelevanter Blicke steigt bei Zusatzaufgabenbearbeitung (auditiv: 20% der Fahrten, visuell: 32%, Referenz: 7%).

Obwohl die Probanden den Bearbeitungszeitpunkt und die –dauer frei wählen konnten, kam es, insbesondere bei Bearbeitung der visuellen Aufgabe, nicht nur zu Beeinträchtigungen der Blickbewegungen, sondern auch der Fahrperformanz. Obwohl die akustische Ausgabe von Systemmeldungen mit den bekannten Nachteilen, wie z.B. Maskierungseffekten behaftet ist, sollte sie präferiert werden, sofern es die Rahmenbedingungen zulassen. Doch auch diese Zusatzbelastung ist, wie gezeigt werden konnte, nicht unproblematisch für den Fahrer. Einen Ausweg bieten Ansätze zur situations- und fahrerzustandsabhängigen Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug, wie sie z.B. im Projekt S.A.N.T.O.S. (König et al., 2000) angedacht sind.

Da vorliegende Untersuchung einen ersten, breiten Überblick über das Fahrerblickverhalten liefert, ließen sich evtl. für Teilaspekte mit Hilfe von Simulatorversuchen mit stark kontrollierten Verkehrsbedingungen detailliertere Aussagen erzielen. In Zukunft würde dabei eine Kopplung eines Positionserfassungssystems für den Kopf in Verbindung mit den bereits zur Verfügung stehenden Koordinaten des Sehstrahls für Simulatorversuche eine immense Vereinfachung hinsichtlich des Auswertungsaufwandes bedeuten. Weitere Untersuchungen mit stark standardisierten Fahrsituationen sind besonders für die Erforschung der kontinuierlichen visuellen Aufgaben notwendig.

Literatur

- [1] Alm, H., Nilsson, L.: The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation. In: Accident analysis and prevention, 27, S. 707-715, 1995.
- [2] Assmann, E.: Untersuchung über den Einfluss einer Bremsweganzeige auf das Fahrerverhalten, Dissertation an der Technischen Universität München, 1985.
- [3] Bader, B.: Ergoplayer – Ein Tool zur videobasierten Tätigkeitsanalyse. Semesterarbeit am Lehrstuhl für Ergonomie der TU München. 2001.
- [4] Banbury, S. P., Macken, W. J., Tremblay, S., Jones, D. J.: Auditory distraction and short-term memory: Phenomena and practical implications. In: Human Factors, Vol. 43, No.1, S. 12-29, 2001.
- [5] v. Benda, H.: Die Skalierung der Gefährlichkeit von Straßenverkehrssituationen. I. Teil: Ein Klassifikationssystem für Verkehrssituationen aus Fahrersicht. FP 7320 im Auftrag der BASt. München: Technische Universität München, Lehrstuhl für Psychologie, 1977.
- [6] Beranek, R.: Vermessung von Blickpunkten durch automatische Bildanalyse für ergonomische Fragestellungen bei der Fahrzeugkonstruktion. Diplomarbeit an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 1996.
- [7] Bernotat, R.: Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. Ergonomics, Vol. 13, No. 3, S. 353-377, 1970.
- [8] Bhise, V. D., Rockwell, Th. H.: Role of peripheral vision and time sharing in driving. Paper presented at the American Association for Automotive Medicine, Colorado, Colorado Springs, October 1971.
- [9] Biegelmann, W.: Persönliche Mitteilung vom 12.6.01. Fahrlehrer der Fahrschule Willi Biegelmann, Aubingerstr. 45, 81243 München und Trainer bei der BMW Group, 2001.
- [10] Boer, E. R., Mulder, M.: To brake or not to brake: Scaling the curve. In: Gale, A. G. et al., (Hrsg.): Vision in Vehicles IX, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam, vsl. 2002.
- [11] Bolte, U.: Das Aktive Stellteil – ein ergonomisches Bedienkonzept. Fortschritt-Berichte des VDI, Reihe 17, Biotechnik, Nr. 75, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1991.
- [12] Bortz, J.: Statistik für Sozialwissenschaftler. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1993.
- [13] Bubb, H.: Untersuchung über die Anzeige des Bremsweges im Kraftfahrzeug. Forschungsbericht aus der Wehrtechnik. BMVg – FBWT 76-7, 1976.
- [14] Bubb, H.: Analyse der Geschwindigkeitswahrnehmung im Kraftfahrzeug. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 31, S. 103-112, 1977.

- [15] Bubb, H.: Informationswandel durch das System. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. Hanser Verlag, München, Wien, S. 333-390, 1993a.
- [16] Bubb, H.: Systemergonomische Gestaltung. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. Hanser Verlag, München, Wien, S. 390-420, 1993b.
- [17] Bubb, H.: Systemstruktur. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. Hanser Verlag, München, Wien, S. 305-333, 1993c.
- [18] Bubb, H.: Reliability of the driver. A method of driver modelling for evaluation of driver failure. In: Kuratorium f. Verkehrssicherheit (Hrsg.): Safety evaluation of traffic conflicts and other measures. Salzburg, S 165-178, 1993d.
- [19] Bubb, H.: Blickanalyse zu Ermittlung der Aufmerksamkeitszuwendung zu Informationssystemen. In: Informations- und Assistenzsysteme im Auto benutzergerecht gestalten. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M116, Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, S. 33-40, 2000.
- [20] Bubb, H.: Skript zur Vorlesung „Produktergonomie“ im SoSe 2001, Lehrstuhl für Ergonomie der TU München, 2001
- [21] Chatziastros, A., Wallis G. M., Bülthoff H. H.: The effect of view and surface texture on driver steering performance. In: Gale, A. G. et al., (Hrsg.): Vision in Vehicles VII, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam, S. 83-91, 1999.
- [22] Chatziastros, A., Wallis, G. M., Bülthoff, H. H.: The Use of optical flow and splay angle in steering a central path. Technical Report No. 72, Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik. Tübingen, 1999.
- [23] Chi, C.-F., Lin, F.-T.: A new method for describing search patterns and quantifying visual load using eye movement data. Int. Journal of Industrial Ergonomics 19, S. 249-257, 1997.
- [24] Coeckelbergh, T. R .M., Kooijman, A. C., Brouwer, W. H., Cornelissen, F. W.: Improving Driving Performance of Persons with Visual Field Defects: Results of a Pilot Study. In: Gale, A. G. et al., (Hrsg.): Vision in Vehicles VII, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam, S. 83-91, 1999.
- [25] Cohen, A.: Augenbewegungen des Autofahrers beim Vorbeifahren an unvorhersehbaren Hindernissen und auf freier Strecke. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 22. S. 68-76, 1976.
- [26] Cohen, A.: Visuelle Informationsaufnahme während der Fahrzeugsteuerung in Abhängigkeit der Umweltmerkmale und der Fahrpraxis. Schweizerische Zeitschrift für Psychologie, 44 (4), S. 249-288, 1985.
- [27] Cohen, A.: Nutzbarer Sehfeldumfang und seine Variation in Feldsituation. Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, 34 (1), S. 17-37, 1987.

- [28] Cohen, A. & Hirsig, R.: Zur Bedeutung des fovealen Sehens für die Informationsaufnahme bei hoher Beanspruchung. In: Derkum, H.: Sicht und Sicherheit im Straßenverkehr. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1990.
- [29] Cohen, A.: Visuelle Orientierung im Straßenverkehr. Eine empirische Untersuchung zur Theorie des visuellen Abtastens. Bfu-Report Nr. 34. Bern, 1998.
- [30] Donges, E.: Experimentelle Untersuchung des menschlichen Lenkverhaltens bei simulierter Straßenfahrt Teil 1. Automobiltechnische Zeitung, 77 Nr. 5, S. 141-146, 1975a.
- [31] Donges, E.: Experimentelle Untersuchung des menschlichen Lenkverhaltens bei simulierter Straßenfahrt Teil 2. In: Automobiltechnische Zeitung, 77 Nr.6, S. 185-190, 1975b.
- [32] Donges, E.: Ein regelungstechnisches Zwei-Ebenen-Modell des menschlichen Lenkverhaltens im Kraftfahrzeug. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 24/3, S. 98-112, 1978.
- [33] Ehmanns, D.: Simulationsmodell des menschlichen Spurwechselverhaltens. In: Der Fahrer im 21. Jahrhundert. VDI-Berichte, Nr. 1613. VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 203-216, 2001.
- [34] Färber, B.: Abstandswahrnehmung und Bremsverhalten von Kraftfahrern im fließenden Verkehr. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 32(1), S. 9-13, 1986.
- [35] Fairclough, S. H., Ashby, M. C., Parkes, A. M.: In-vehicle displays, visual workload and usability evaluation. In: Gale, A. G., Brown, I. D., Haslegrave, C. M., Kruysse, H. W., Taylor, S. P. (Hrsg.): Vision in Vehicles IV, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam, S. 245-254, 1993.
- [36] Fastenmeier, W. (Band-Hrsg.): Autofahrer und Verkehrssituation. In: Häcker, H. (Hrsg.), Reihe Mensch-Fahrzeug-Umwelt, Band 33, Verlag TÜV Rheinland, Deutscher Psychologen-Verlag, Bonn, 1995.
- [37] Fastenmeier, W., Hinderer, J., Lehnig, U., Gstalter, H.: Analyse von Spurwechselvorgängen im Verkehr. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 2001/1 (55), S. 15-23, 2001.
- [38] Fraser, T. M.: Rotary Acceleration. In: Parker, J. F. Jr., West, V. R. (Hrsg.): Bioastronautics Data Book. Second Edition. NASA, Washington, D. C., S.191-219, 1973.
- [39] Frisby, J. P.: Sehen. Optische Täuschungen, Gehirnfunktionen, Bildgedächtnis. Heinz Moos Verlag, München, 1983.
- [40] Gelau, C.: Aktuelle Entwicklungen der Risikohomöostasethorie. In: Schulz, U. (Hrsg.): Wahrnehmungs-, Entscheidungs- und Handlungsprozesse beim Führen eines Kraftfahrzeugs. LIT Verlag, Münster, S. 41-71, 1997.
- [41] Gengenbach, R.: Fahrerverhalten im PKW mit Head-Up-Display. Fortschritt-Berichte des VDI, Reihe 12, Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik, Nr. 330, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1997.

- [42] Gengenbach, R.: Blickerfassung im Kfz mit Janus. In: Rötting, M. und Seifert, K. (Hrsg.), Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik, Zentrum Mensch-Maschine-Systeme Spektrum, Band 8, Pro Universitate Verlag, S. 133-142, 1999.
- [43] Gibson, J. J.: Die Sinne und der Prozess der Wahrnehmung. Verlag Hans Huber, Bern, 1973a.
- [44] Gibson, J. J.: Die Wahrnehmung der visuellen Welt. Beltz Verlag, Weinheim und Basel, 1973b.
- [45] Godthelp, H.: Effects of vehicle handling characteristics on driving strategy. In: Human Factors 30 (2), 1988.
- [46] Gordon, D.A.: Perceptual Basis of vehicular guidance. In: Public Roads, Vol. 34, No. 3, S. 53-68, 1966.
- [47] Graf, W., Krüger, H.: Ergonomic evaluation of user-interfaces by means of eye-movement data; In: Smith, M. J., Salvendy, G. (eds.): In work with computers. Amsterdam, 1989.
- [48] Grashey, S.: Ein Klassifikationsansatz zur fertigkeitbasierten Verhaltensmodellierung beim Autofahren. Dissertation an der Universität der Bundeswehr München, 1999.
- [49] Grüsser, O.-J., Grüsser-Cornehls, U.: Gesichtssinn. In: Schmidt, R. F., Thews, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. 23. Auflage, Springer-Verlag, S. 249-290, 1987.
- [50] Hacker, W.: Arbeitspsychologie. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1986.
- [51] Hale, A. R., Stoop, J., Hommels, J.: Human error models as predictor of accident scenarios for designer in road transport systems. Ergonomics, 33, S. 1377-1387, 1990.
- [52] Harvey, L. O., Michon, J. A.: The Perception of Manoeuvres of Moving Vehicles. Progress Report I – Effects of Viewing Distance and Angular Operation. Institut for Perception RVS - TNO, Soesterberg, 1971.
- [53] Van der Horst, R.: Time-to-collision as a cue for decision-making in braking. In: Gale, A. G. (Hrsg.): Vision in Vehicles III, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam, S. 19-26, 1991.
- [54] Heller-Dixon, J., Langham, M.: The application of change blindness to understanding perceptual errors in driving. In: Gale, A. G. (Hrsg.): Vision in Vehicles IX, Elsevier North Holland Press, Amsterdam, 2002 (in Vorbereitung).
- [55] Isler, R. B.: Do drivers steer in the direction they look? In: Legg, S. J., Cohen, W. (Hrsg.): Toward the millennium. Proceedings of the 8th conference of the New Zealand Ergonomics society. Palmerston North, New Zealand, S. 55-56, 1998.

- [56] ISO/CD 15007: Road vehicles – Definitions and metrics related to the measurement of driver visual behaviour, ISO/TC22/SC13/WG8 N 115, 1997.
- [57] Johannsen, G.: Nebenaufgaben als Beanspruchungsmeßverfahren in Fahrzeugführungs-aufgaben. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Band 30, S. 45/50, 1976.
- [58] Johannsen, G.: Mensch-Maschine-Systeme. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1993.
- [59] Jürgensohn, T.: Hybride Fahrermodelle, Bd. 4, ZMMS-Spektrum. Sinzheim: Pro Universitate Verlag, 1997.
- [60] Jürgensohn, T.: Modellierung der Augenbewegungen von Autofahrern. In: Rötting, M., Seifert, K. (Hrsg.): Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik. ZMMS Spektrum Band 8, Pro Universitate Verlag, S. 143-150, 1999.
- [61] Kobayashi, N., Fukuda, R., Arai, S., Bubb, H., Fukuda, T.: What we look for in skin - Analysis of eye movements in skin assessment -, Proceeding of XXIth IFSCC (International Federation of the Societies of Cosmetic Chemists), Berlin International Congress, 2000.
- [62] König, W., Weiß, K.E., Gehrke, H., Haller, R.: S.A.N.T.O.S Situationsangepasste und Nutzer-Typzentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung. In: Bubb, H. (Hrsg.): Ergonomie und Verkehrssicherheit. GfA Herbstkonferenz vom 12.-13. Oktober 2002. Herbert Utz Verlag, München, S.106-113, 2000.
- [63] Kopf, M.: Ein Beitrag zur modellbasierten, adaptiven Fahrerunterstützung für das Fahren auf deutschen Autobahnen. Nr. 203 in VDI-Verlag, Reihe 12: Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.
- [64] Kornhuber, H. H.: Blickmotorik. In: Gauer, O. H., Kramer, K., Jung, R.: Physiologie des Menschen. Band 13: Sehen (Sinnesphysiologie III), Urban & Schwarzenbeck, München, Wien, Baltimore, S. 357-426, 1978.
- [65] Lamble, D., Laakso, M., Summala, H.: Detection thresholds in car following situations and peripheral vision: implications for positioning of visually demanding in-car displays. In: Ergonomics 42 (6), S. 807-815, 1999.
- [66] Land, M. F., Horwood, J.: How Speed Affects The Way Visual Information Is Used In Steering. In: Gale, A. G. et al., (Hrsg.): Vision in Vehicles VI, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam, S. 43-50, 1998.
- [67] Littig, W.: Erstellung eines Softwaretools zur Berechnung von Blickbewegungsdaten. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Ergonomie der TU München, 2000.
- [68] Liu, A.: Modelling changes in eye fixation patterns while driving. In: Gale, A. G. (Hrsg.): Vision in Vehicles IV. Elsevier North Holland Press, Amsterdam, S. 13-20, 1998.

- [69] Mackworth, N. H., Morandi, A. J.: The gaze selects informative details within pictures. *Perception & Psychophysics*, 2, S. 247-552, 1967.
- [70] McCarley J. S., Vais, M., Pringle, H., Kramer, A. F., Irwin, D. E., Strayer, D. L.: Conversation disrupts visual scanning of traffic scenes. In: Gale, A. G. (Hrsg.): *Vision in Vehicles IX*. Elsevier North Holland Press, Amsterdam, 2002 (in Vorbereitung).
- [71] McKnight A. J., Adams, B. B.: *Driver Education Task Analysis Volume I: Task Descriptions*. Department of Transportation, National Highway Safety Bureau, Washington, D.C, 1970.
- [72] Miura, T.: Coping with situational demands: A study of eye movements and peripheral vision performance. In: Gale, A. G., Freeman, M. H., Haslegrave, C. M., Smith, P., Taylor, S. P. (Hrsg.): *Vision in Vehicles*. Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam, S. 205-216, 1986
- [73] Miura, T.: Behavior orientated vision: Functional field of view and processing resource under a free eye movement condition. In: O'Regan, R., Revy-Schoen, A. (Hrsg.): *Eye movements: From physiology to cognition*. North Holland Press, S. 563-572, 1987.
- [74] Miura, T.: Visual search in intersections – an underlying mechanism. In: *IATSS Research Vol. 16 (1)*, 1992.
- [75] Möhler, W.: *Untersuchung der visuellen Wahrnehmung des Straßenraumes und dessen Einfluss auf das Fahrverhalten*, Dissertation, Technische Hochschule Aachen, 1987.
- [76] Müller-Limmroth, W.: Abschnitt 1.3 Sinnesorgane. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): *Ergonomie*. Hanser Verlag, München, Wien, S. 27-47, 1993.
- [77] Nilsson, L., Falkmer, T., Samuelsson, S.: Drivers' Ability to Acquire In-Car Information Presented in the Peripheral Field of View without Fixating – A Simulator Study. In: Gale, A. G. et al., (Hrsg.): *Vision in Vehicles VII*, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam, S. 83-91, 1999.
- [78] N.N.: *Fahrschüler-Ausbildungspaß der Barmenia-Versicherung*, Verlag Heinrich Vogel, München. 2001.
- [79] Nöcker, D.: *Abstandsregelung Autonomous intelligent cruise control*. VDI-Berichte 817, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990.
- [80] Noy, I.: *Workshop on ITS safety test & evaluation in Washington, D.C., 14.-15. April 1999*. International harmonized research activities: Intelligent transport systems, 1999.
- [81] Partmann, T., Reinig, H.-J., Struck, G.: *Blickbewegungsmessung als Werkzeug für die Gestaltung und Bewertung von bord- und straßenseitigen Informationssystemen für Kraftfahrer*. Forschungsvereinigung Automobiltechnik, Schriftenreihe Nr. 127, Frankfurt a. M., 1996.

- [82] Pfeifer, A., Schuchmann, M.: Datenanalyse mit SPSS für Windows. 2. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1996.
- [83] Pflieger, E., Berger, W. J., Pichler, C.: Unfallursachenforschung bei Unfallhäufungsstellen – Fallbeispiele für Informationsdefizite. In: Marx, E.: Informationsaufnahme des Verkehrsteilnehmers. Heft 24, Beiträge zur 3. Fachtagung Verkehrssicherheit am 5. November 1992 in Wien, Institut für Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur, Wien, S. 47-83, 1994.
- [84] Probst, T.: Thresholds for detection of changes in headway are elevated during car ride. In: Gale, A. G. (Hrsg.): Vision in Vehicles, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam 1986.
- [85] Rasmussen, J.: Skills, rules and knowledge; signals, signs, and symbols and other distinctions in human performance models. IEEE Trans. Systems, Man, Cybernetics, Vol. SMC-13, S. 257-266, 1983.
- [86] Reichart, G.: Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen – Möglichkeiten der Analyse und Bewertung. Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie der TU München, 2000.
- [87] Rensink, R.A., O'Regan, J.K., Clark, J.J.: To See or Not to See: The Need for Attention to Perceive Changes in Scenes. Psychological Science Vol. 8 (5), S. 368-373, 1997.
- [88] Rockwell, T. H.: Eye movement analysis of visual information acquisition in driving: an overview. Paper presented at the North Carolina State University, Raleigh, 1971.
- [89] Rötting, M.: Typen und Parameter von Augenbewegungen. In: Rötting, M. und Seifert, K. (Hrsg.), Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik, Zentrum Mensch-Maschine-Systeme Spektrum, Band 8, Pro Universitate Verlag, S. 1-18, 1999a.
- [90] Rötting, M.: Methoden zur Registrierung von Augenbewegungen. In: Rötting, M. und Seifert, K. (Hrsg.), Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik, Zentrum Mensch-Maschine-Systeme Spektrum, Band 8, Pro Universitate Verlag, S. 19-34, 1999b.
- [91] Schemmerer, U.: Mentales Fahrermodell für das Spur- und Abstandhalten. Diplomarbeit an der Katholischen Universität Eichstätt, 1993.
- [92] Schleidt, M.: Universeller Zeittakt im Wahrnehmen, Erleben und Verhalten. In: Spektrum der Wissenschaft, S. 111-114, 1992.
- [93] Schmidtke, H.: Handbuch der Ergonomie. Band 3, 2. Auflage, Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (Hrsg.), Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1989.
- [94] Schmidtke, H.: Abschnitt 6.5 Arbeitsplatzgestaltung. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. Hanser Verlag, München, Wien, S. 502-520, 1993.
- [95] Schober, H.: Das Sehen. VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1960.

- [96] Schroiff, H.-W.: Zum Stellenwert von Blickbewegungsdaten bei der Mikroanalyse kognitiver Prozesse. In: Issing, L. J., Mickasch, H. D., Haack, J. (Hrsg.): Blickbewegung und Bildverarbeitung, Peter Lang, Frankfurt a. M., Bern, New York, S. 57-82, 1986.
- [97] Schweigert, M.: Generierung eines Maßes zur visuellen Aufmerksamkeit von Kraftfahrzeugführern. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Ergonomie, TU München, 1998.
- [98] Schweigert, M.: Abkommensunfälle, Analyse des Blickverhaltens. Abschlußbericht an das Ludwig-Boltzmann-Institut für Verkehrsanalyse, interdisziplinäre Unfallforschung und Unfallrekonstruktion, Wien, Lehrstuhl für Ergonomie der TU München, 1999a
- [99] Schweigert, M.: Licht am Tag, Analyse des Blickverhaltens. Abschlußbericht an das Ludwig-Boltzmann-Institut für Verkehrsanalyse, interdisziplinäre Unfallforschung und Unfallrekonstruktion, Wien, Lehrstuhl für Ergonomie der TU München, 1999b.
- [100] Schweigert, M., Fukuda, R., Bubb, H.: Blicherfassung mit JANUS II – Messprinzip und Anwendungsbeispiele. In: Arbeitsgestaltung, Flexibilisierung, Kompetenzentwicklung, Tagungsband zum 47. Arbeitswissenschaftlichen Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, GfA Press, Dortmund, 2001.
- [101] Schweigert, M., Bubb, H.: Eye-Movements, Performance And Interference When Driving A Car And Performing Secondary Tasks. In: Gale, A.G. (Hrsg.): Vision in Vehicles IX, Elsevier North Holland Press, Amsterdam, vsl. 2002.
- [102] Seifert, K., Rötting, M., Jung, R.: Registrierung von Blickbewegungen im Kraftfahrzeug. In: Jürgensohn, T., Timpe, K.-P. (Hrsg.): Kraftfahrzeugführung. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 207-228, 2001.
- [103] Shinar, D., McDowell, E. D., Rockwell, T. H.: Eye Movements in Curve Negotiation. In: Human Factors, 19(1), S. 63-71, 1977.
- [104] Simons, D. J., Levin, D. T.: Change blindness. In: Trends in cognitive science, 1, S. 261-267, 1997.
- [105] Smiley, A.: Driver estimation: What road designers should know. Paper presented at: Transportation Research Board, 78th Annual Meeting Workshop on role of geometric design & human factors in setting speed, Januar, 1999.
- [106] Sprenger, A.: Nutzbares Sehfeld. Diskussionspapier zum Projekt „MoTiV“, AP5, Betreuungs- und Vertriebsgesellschaft Auto-Sicht-Sicherheit mbH, Köln, 1997.
- [107] Sprenger, A., Schneider, W., Derkum, H.: Traffic signs, visibility and recognition. In: Gale, A. G. et al., (Hrsg.): Vision in Vehicles VII, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam, S. 421-425, 1999.
- [108] Statistisches Bundesamt Deutschland: Fehlverhalten der Fahrzeugführer als Unfallursache. <http://www.destatis.de/basis/d/verk/verktab9.htm>, Wiesbaden, Stand 14. Juni 2002.

- [109] Steward, J. D.: Human Perception of angular acceleration and implications in motion simulator. Vol. 8, 1971.
- [110] Stowasser, S., Zülch, G.: Analyse von visuellen Prüftätigkeiten in der Bekleidungsindustrie mit Hilfe der Blickregistrierung. In: Arbeitsschutz – Managementsysteme – Risiken oder Chancen? 45. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, GfA Press, Dortmund, S. 341-343, 1999.
- [111] Sträter, O., Schweigert, M., J.-Fraczek, I.: The Impact of Errors of Commission on Human Reliability in a Car-Driving Task. In: Zio, E., Demichela, M., Piccinini, N. (Hrsg.): Safety and Reliability. Vol. 3, Politecnico di Torino, Italy. S. 1843-1850. 2001.
- [112] Straßenverkehrsordnung (StVO) vom 16. November 1970 (BGBl. I S. 1565, 1971 I S. 38), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 11. Dezember 2000 (BGBl. I S. 1690).
- [113] Summala, H., Nieminen, T., Punto, M.: Maintaining Lane Position with Peripheral Vision during In-Vehicle Tasks. In: Human Factors, 38 (3), S. 442-451, 1996.
- [114] Taieb-Maimon, M., Shinar, D.: Minimum and comfortable driving headways: Reality versus perception. In: Human Factors, Vol. 43 (1), S. 159-172, 2001.
- [115] Timpe, K.-P.: Fahrzeugführung: Anmerkungen zum Thema. In: Jürgensohn, T., Timpe, K.-P. (Hrsg.): Kraftfahrzeugführung. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 9-27, 2001.
- [116] Tomaske, W., Fortmüller, T.: Der Einfluss von Wahrnehmungsschwellen auf die Auslegung von Bewegungssystemen in der Fahrsimulation. In: Gärtner, K.-P., Grandt, M. (Hrsg.): Human Factors bei der Entwicklung von Fahrzeugen. Anhang 1 zum DGLR-Bericht 2001-06. 2001.
- [117] Uchida, N., Fujita, K., Katayama, T.: Detection of Vehicle Crossing Path at Intersection. In: Gale, A. G. et al., (Hrsg.): Vision in Vehicles VII, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam, S. 345-352, 1999.
- [118] Ueberle, H.: Erstellung eines Softwaretools zur Auswertung von Blickbewegungsdaten unter Berücksichtigung von softwareergonomischen Erkenntnissen. Semesterarbeit am Lehrstuhl für Ergonomie der TU München, 1999.
- [119] Underwood, G., Chapman, P., Crundall, D., Cooper, S., Wallén, R.: The visual control of steering and driving: Where do we look when negotiating curves? In: Gale, A. G. et al., (Hrsg.): Vision in Vehicles VII, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam, S. 33-42, 1999.
- [120] Underwood, G., Brocklehurst, N., Crundall, D., Underwood, J., Chapman, P.: Sequences of eye fixations while driving: effects of driving experience and sensitivity to types of roads. In: Gale, A.G. (Hrsg.): Vision in Vehicles IX. Elsevier North Holland Press, Amsterdam, vsl. 2002.
- [121] Ungerer, D.: Aufbau und Grenzen des vorausschauenden Fahrens. In: Marx, E.: Informationsaufnahme des Verkehrsteilnehmers. Heft 24, Beiträge zur 3.

- Fachtagung Verkehrssicherheit am 5. November 1992 in Wien, Institut für Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur, Wien, S. 9-16, 1994.
- [122] Weinberger, M.: Der Einfluss von Adaptive Cruise Control auf das Fahrerverhalten. Dissertation an der Technischen Universität München, 2001.
- [123] Wickens, C. D.: Engineering psychology and human performance. Charles E. Merrill publishing company, Columbus, Ohio, 1984.
- [124] Wierwille, W.W., Tijerina, L.: Darstellung des Zusammenhangs zwischen der visuellen Beanspruchung des Fahrers im Fahrzeug und dem Eintreten eines Unfalls. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 43, Heft 2, S. 67-74, 1997.
- [125] Wood, J. M., Higgins, K. E.: Visual Acuity and Driving Performance. In: Gale, A. G. et al., (Eds.): Vision in Vehicles VII, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam, S. 33-42, 1999.
- [126] Young, L. R., Sheena, D.: Survey of Eye Movement Recording Methods. Behaviour Research Methods & Instrumentation, Vol 7 (5), S. 397-429, 1975.
- [127] Zwahlen, H. T., Adams, C. C. Jr., DeBald D. P.: Safety aspects of CRT touch panel controls in automobiles. In: Gale, A.G. (Hrsg.): Vision in Vehicles II. Elsevier North Holland Press, Amsterdam, S. 335-344, 1988.
- [128] Zwahlen, H. T.: Eye scanning rules for drivers – how do they compare with actual observed eye scanning behavior? In: Proceedings of the conference on the strategic highway research program and traffic safety on two continents, part 2. Swedish road and traffic research institute, Linköping, Sweden, S. 165-195, 1991.

9. *Ich fühle mich im Moment ...*

ruhig	11	11	4	4	0	gestresst
erholt	3	12	8	5	0	müde
sicher	13	9	4	3	0	unsicher
gesund	16	7	4	1	1	krank

B) Angaben nach dem Versuch10. *Die Fahrten waren für mich im allgemeinen ...*

ruhig	12	10	7	1	0	stressig
erholsam	2	10	11	6	1	anstrengend
sicher	13	9	4	3	0	unsicher
kurz	3	9	12	5	0	lang
geregelt	15	15	0	0	0	konfus

11. *Die Bearbeitung der Zusatzaufgaben hat mich insgesamt während des Fahrens bei der visuellen Aufgabe*

sehr gestört	6	12	9	3	0	nicht gestört
--------------	---	----	---	---	---	---------------

bei der akustischen Aufgabe

sehr gestört	1	4	8	12	5	nicht gestört
--------------	---	---	---	----	---	---------------

12. *Es ist mir schwergefallen, mich während der Bearbeitung der Zusatzaufgaben auf die Spurführung zu konzentrieren:**bei der visuellen Aufgabe*

ja, sehr	2	9	6	10	3	nein, überhaupt nicht
----------	---	---	---	----	---	-----------------------

bei der akustischen Aufgabe

ja, sehr	0	2	4	11	13	nein, überhaupt nicht
----------	---	---	---	----	----	-----------------------

13. *Es ist mir schwergefallen, während der Bearbeitung der Zusatzaufgaben gleichzeitig den Verkehr zu beobachten:**bei der visuellen Aufgabe*

ja, sehr	6	13	4	7	0	nein, überhaupt nicht
----------	---	----	---	---	---	-----------------------

bei der akustischen Aufgabe

ja, sehr	2	2	8	11	7	nein, überhaupt nicht
----------	---	---	---	----	---	-----------------------

14. *Welchen der beiden Aufgabentypen bevorzugen Sie im Hinblick auf die Verkehrssicherheit?*

visuelle Aufgabe	0	0	3	2	25	akustische Aufgabe
------------------	---	---	---	---	----	--------------------

15. Glauben Sie, die Aufgaben sind mit bereits bestehenden Aufgaben oder zukünftigen Aufgaben im Fahrzeug vergleichbar (z.B. visuell: Einstellen eines Radiosenders, Handybedienung, Lüftungsbedienung; akustisch: Sprachausgabe von Navigationssystemen, Telefonieren am Steuer)?

visuelle Aufgabe

ja, sehr **10** **9** **4** **5** **2** nein, überhaupt nicht

wenn nein: warum: _____

akustische Aufgabe

ja, sehr **9** **12** **5** **3** **1** nein, überhaupt nicht

wenn nein: warum: _____

16. Sind Ihnen besondere Situationen im Zusammenhang mit den Zusatzaufgaben in Erinnerung geblieben?

- Bei Ankündigung, dass Aufgabe kommt, Geschwindigkeit verringert (VP1 Vorversuch)
- Sicherheitsabstand vergrößert, Tempo verringert bei Zusatzaufgabe (VP5)
- Konzentration auf Fahrgeschehen nimmt ab (VP2)
- Bei Spurwechsel wird die Zusatzaufgabe zurückgestellt (VP21)
- Je nach Verkehrsdichte größere Ablenkung oder nicht (VP1)
- Visuelle Aufgabe besser, da kontrollierbarer, Zeitpunkt und Dauer des Wegschauens kontrollierbar (VP1 Vorversuch)
- Vorteil visuell: schneller erfassbar (VP5)
- Bei viel Verkehr/Ortsdurchfahrt ist visuelle Aufgabe wesentlich schwieriger als die akustische (VP6)

17. Sonstige Anmerkungen:

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!